

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza útlumů signálu v atmosféře pro rozvoj telekomunikací v dopravních
aplikacích s využitím experimentu Aldo - Alphasat

Bc. Alena Langrová

Diplomová práce

2015

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Alena Langrová**
Osobní číslo: **D11878**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní management, marketing a logistika**
Název tématu: **Analýza útlumů signálu v atmosféře pro rozvoj telekomunikací
v dopravních aplikacích s využitím experimentu
Aldo - Alphasat**
Zadávací 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. Charakteristika a význam bezdrátových komunikací pro dopravu a telematiku
 2. Analýza současného stavu problematiky mikrovlnných bezdrátových spojů v dopravní sféře a katalog přetrvávajících problémů
 3. Návrh metodiky pro tvorbu bezdrátových spojů s využitím experimentu s družicí Aldo - Alphasat
 4. Verifikace a zhodnocení přínosů zavedení metodiky
- Závěr

Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Fišer, CSc.**
AV ČR, Ústav fyziky atmosféry

Datum zadání diplomové práce: **28. listopadu 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



doc. Ing. Ivo Drahoš, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Libor Svadlenka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. listopadu 2014

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci 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 20. 8. 2015

Bc. Alena Langrová

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Ondřeji Fišerovi, CSc. za vstřícný přístup a cenné rady při zpracovávání diplomové práce.

ANOTACE

Práce se zaměřuje na zpracování dat z družice Alphasat a jejich následné využití pro tvorbu nových stanic. Ke sběru dat jsou využívány přijímací stanice Alphasat v Akademii věd ČR v Praze pro kmitočty v pásmech 20 GHz a 40 GHz. Konkrétně jsou analyzovány očekávané útlumy deštěm, vodními parami a oblaky. V práci je také uveden postup, jak ze zaznamenaného signálu z družice, který je kolísavý nejen vlivem stavu atmosféry, ale také vlivem prostorové nestability družice, vyseparovat samotný atmosférický útlum, který je předmětem širokého celosvětového výzkumu s ohledem na racionální plánování družicových spojů. Součástí práce je i přehled stávajícího stavu telekomunikací v ČR.

KLÍČOVÁ SLOVA

telekomunikace, družice, Alphasat, atmosférický útlum, aproximace

TITLE

Analysis of atmospheric signal attenuation to develop transport telecommunications with help of Aldo – Alphasat experiment

ANNOTATION

This master thesis focuses on data processing from satellite Alphasat and their further using for developing of the new stations. For data collecting are used the receiver stations Alphasat at The Czech Academy of Sciences in Prague for frequencies in the bands 20 GHz and 40 GHz. Specifically, the expected attenuations by rain, water vapor and clouds are analyzed. The work also describe the procedure how, from the received signal from the satellite, which is fluctuating not only due to the state of the atmosphere, but also due to the spatial instability of satellites, extract the actual atmospheric attenuation, which is, with the respect to the rational planning of satellite links, the subject of extensive global research. The thesis also includes the brief overview of the current state of telecommunications in the Czech Republic.

KEYWORDS

telecommunications, satellites, Alphasat, atmospheric attenuation, approximation

OBSAH

ÚVOD	8
1 CHARAKTERISTIKA A VÝZNAM BEZDRÁTOVÝCH KOMUNIKACÍ PRO DOPRAVU A TELEMATIKU	9
1.1 Historie telekomunikace	9
1.2 Využití telekomunikačních prostředků	10
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY MIKROVLNNÝCH BEZDRÁTOVÝCH SPOJŮ V DOPRAVNÍ SFÉŘE A KATALOG PŘETRVÁVAJÍCÍCH PROBLÉMŮ	12
2.1 Historie a vývoj přijímačů družicového signálu v ČR	12
2.1.1 Vývoj mezinárodních telematických společenství	14
2.1.2 První družice	19
2.1.3 Družicové systémy a výzkumné programy v dnešní době	21
2.1.4 Družice Alphasat a experiment Aldo Paraboni (SCIEEX)	22
2.2 Katalog přetrvávajících problémů	23
2.2.1 Poloha družice	23
2.2.2 Atmosférický útlum	24
3 NÁVRH METODIKY PRO TVORBU BEZDRÁTOVÝCH SPOJŮ S VYUŽITÍM EXPERIMENTU S DRUŽICÍ ALDO - ALPHASAT	26
3.1 Výška deště	26
3.2 Měrný útlum deštěm	28
3.2.1 Odhad celkového útlumu deštěm družicového spoje na úrovni distribuční funkce	31
3.3 Útlum vodní párou	33
3.4 Útlum oblaky	35
3.5 Separace atmosférického útlumu poklesu signálu vlivem polohy družice	37
3.5.1 Metody extrakce hodnot atmosférického útlumu z družicových dat	39
3.6 Dílčí závěr	44
4 VERIFIKACE A ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ ZAVEDENÍ METODIKY	45
ZÁVĚR	46
POUŽITÁ LITERATURA	48
SEZNAM TABULEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM ZKRATEK	52
SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Dnes je nejmodernějším prostředkem komunikace směrový spoj, ať už běžně vnímaný pozemský nebo ten pro většinu obyvatel hůře představitelný – družicový spoj. Družicový spoj umožňuje přenášet, zpracovávat a analyzovat data a informace. Poznatky z těchto analýz mohou sloužit ve vědeckém výzkumu, mohou být využity ke zkvalitnění života lidí a v neposlední řadě jsou nezbytné pro správné fungování družicových spojení využívaných např. při přenosu dat mezi různými subjekty. Díky přenosu dat – dopravě, je možné prohlížet webové stránky, uskutečňovat telefonické hovory mezi opačnými konci světa, sledovat televizní a poslouchat rozhlasové vysílání a také uskutečňovat elektronické platby. Přestože jsou družicové spoje s úspěchem provozovány již několik desetiletí, existují stále některé problémy, spojené například s atmosférickými jevy, které daná spojení a zejména tvorbu nových, komplikují.

Cílem této práce je zpracovat metodiku pro výpočet parametrů nových spojů s využitím družice Alphasat [1], které jsou dostupné v evropských městech včetně Prahy. Přijímače pro příjem z těchto i dalších družic mohou být využívány při přepravě a zpracování dat. Taková metodika pak neslouží jen pro vědecké účely, ale nachází praktické využití i pro veřejný sektor, kde je dnes kvalita družicového spojení nezbytným aspektem.

1 CHARAKTERISTIKA A VÝZNAM BEZDRÁTOVÝCH KOMUNIKACÍ PRO DOPRAVU A TELEMATIKU

Pod pojmem komunikace je možné zahrnout celou řadu prostředků běžně užívaných v každodenním styku s okolním světem. Výsledkem a zároveň nezbytnou součástí vývoje člověka a civilizace jako takového je komunikace – slovo, mluvení, jazyk. Odmyslíme-li si dlouhý vývoj na poli komunikace – skřeky, malování v jeskyních, kouřové signály, Morseova abeceda apod., dostáváme se k moderním prostředkům komunikace – internetu, telefonům, rozhlasu, které využívají právě družicového spojení. Všechny moderní komunikační způsoby komunikace a přenosu dat se souhrnně nazývají telematika.

V případě mé práce se zaměřuji zejména na telekomunikace, tedy prostředky pro přenosu hlasového signálu – přímá hlasová komunikace, případně přepis hlasu na jiný prostředek, která je z hlediska důležitosti např. z pohledu možných válečných konfliktů esenciální.

1.1 Historie telekomunikace

První telefony byly podle dochovaných záznamů známy již v roce 968, kdy se však jednalo o rouru – trubkový telefon. První použitelný elektrický telefon bývá přisuzován Alexandru Grahamu Bellovi, nicméně podle novějších poznatků je pravděpodobným prvním



Obrázek 1 Švédský telefon pro manuální ústředny (1896) [2]

vynálezcem Antonio Meucci, který prezentoval svůj vynález již v roce 1860 (o 16 let dříve). Telefon využíval elektromagnetického mikrofону a sluchátka a právě vhodný mikrofon byl největším problémem při dalším vývoji telefonu. Pokrok nastal s vynálezem uhlíkového mikrofónu (Thomas Alva Edison), který se v podstatě používá dodnes. První telefonní přenosy v použitelném měřítku se uskutečňovaly prostřednictvím ústředny, kde spojovatel propojil žádanou linku s žadatelem přímo kabelem. Dalším krokem bylo nahrazení spojovatele automatickým voličem, který byl ovládán číselnicí na přístroji žadatele o spojení [2].

Pro možnost přenosu více telefonních hovorů jedním párem vodičů byly vynalezeny sofistikované metody kódování (PCM, TDM, apod.).

Další rozvoj komunikace přinesly radiokomunikace, kdy se signál přenáší ve formě šířené elektromagnetické vlny prostorem nad zemí. Po prvních pokusech se všesměrovými vysílači bylo vhodné přejít na směrové spoje, které jsou schopny uskutečnit až několik tisíc telefonických spojení současně a to na vzdálenosti tisíců km s pomocí radioreléových spojů.

1.2 Využití telekomunikačních prostředků

Kromě telefonních hovorů bylo možno přenášet na základě neustálého zdokonalování radioreléových spojů také internet, objemy dat, modulované signály rozhlasových a televizních pořadů, obchodní zprávy, depeše, meteorologické zprávy, dopravní informace apod.

Mimořádný význam mají radiokomunikace i v dopravě. Jedná se zejména o hlavní komunikační prostředek v Integrovaném záchranném systému Policie České republiky, Hasičského záchranného sboru, Armády České republiky a Záchrané služby nejen při živelných katastrofách např. povodně, požáry ale i pro běžnou pracovní komunikaci. V případě výpadků nebo umělého vyřazení hlavních radiokomunikačních systémů (např. Systém MATRA) je k dispozici záložní radiokomunikační spojení [3].

Radiokomunikační systém je využíván v oblasti železniční, silniční, letecké a lodní dopravy a přepravy, ať už ve vnitrostátním nebo mezinárodním styku. Železniční doprava využívá radiokomunikace na komunikaci, přenos dat, zabezpečovací systémy apod.

Silniční přeprava využívá radiokomunikace na přenos dat, na informační panely, při krizových situacích (oranžové telefony na dálnicích). Stejně tak i letecká doprava - Řízení leteckého provozu nemůže bez radiokomunikace fungovat, neboť veškeré povely, pokyny a příkazy jsou předávány prostřednictvím radiokomunikace. Zprávy o počasí zejména snímky meteorologických radarů a družic jsou prostřednictvím radiokomunikačních prostředků

předávány koncovým uživatelům – ve všech druzích dopravy. Tyto údaje jsou dále předávány i občanům, kteří např. poslouchají předpověď počasí.

Radiokomunikační systémy mohou být využity i pro méně běžné aplikace, jejichž funkci však značně usnadňují. Např. v České republice je díky radiokomunikačním systémům vybíráno mýto na vybraných silničních úsecích. Způsob vybírání mýta je díky těmto systémům hospodárný a přispívá tak ke zkvalitnění dopravního systému v ČR.

Naproti tomu např. GPS, který je běžně využíván, je považován za součást radiokomunikačních prostředků, ale ve skutečnosti je založen na jiném technologickém principu zpracování dat. Zjednodušeně řečeno, přijímové zařízení GPS souřadnic vyhodnotí přijímaný signál z družice, zde na Zemi ještě přes jedno zařízení, a koncovému uživateli poskytne detailní obraz, kde se nacházíte.

Radiokomunikace a možnosti, které v současné době nabízejí a zajisté ještě nabízet mohou a budou, nejen v rámci vědy, výzkumu a všeobecného pokroku, ale i v obchodních strategiích při snaze o zvyšování podílu na trhu oslovením nových (mladých) klientů zejména v dopravní oblasti, kde se snaží využívat nové technologické možnosti, které jim umožňují on-line rezervace jízdenek, rezervaci místenek, objednávku (booking) letenek bez nutnosti vytištění či chození osobně na dané pobočky společností, jsou nedílnou součástí života všech vyspělých civilizací.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY MIKROVLNNÝCH BEZDRÁTOVÝCH SPOJŮ V DOPRAVNÍ SFÉŘE A KATALOG PŘETRVAJÍCÍCH PROBLÉMŮ

Aby radiokomunikace fungovaly a byly ještě více prospěšné zejména pro oblast dopravy, je potřeba se seznámit s principy šíření radiového signálu, možnostmi zpracování dat a celkové interpretaci výsledků. Pro mikrovlnný přenos je běžně využíváno datových spojů, ale v poslední době se kvůli zvyšujícím se nárokům na přenosovou kapacitu stále více rozšiřuje také využití přenosu prostřednictvím atmosférického prostoru (zejména družic), který je považován za nehmotné přírodní bohatství [4].

2.1 Historie a vývoj přijímačů družicového signálu v ČR

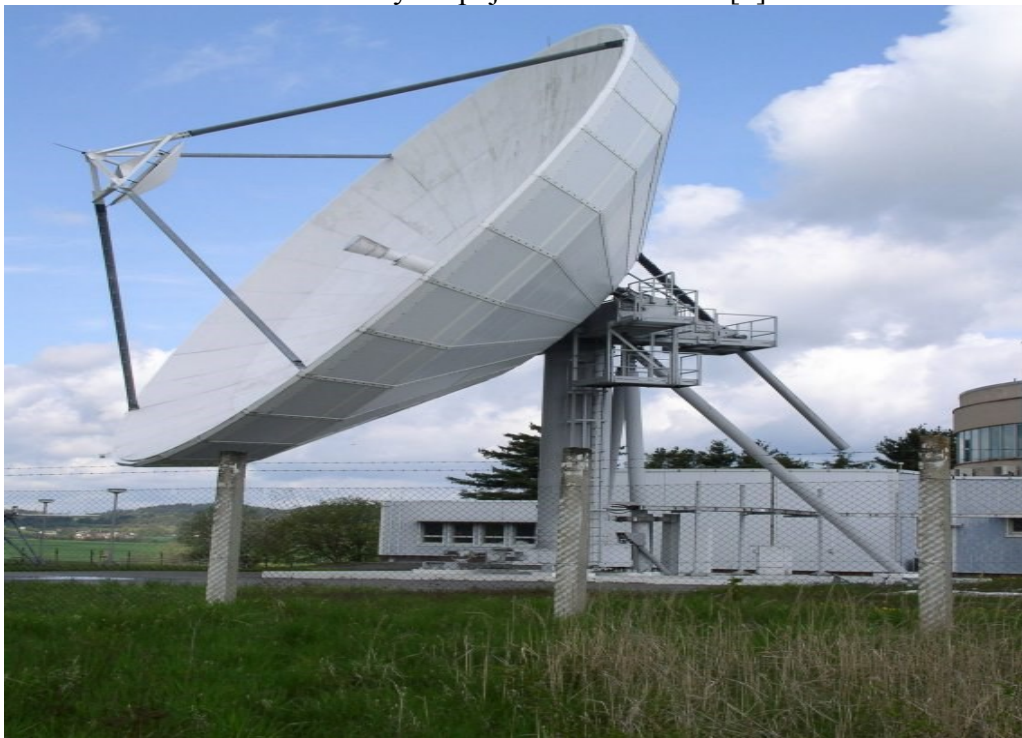
V současné době je nejmodernější možností komunikace družicový, též směrový, spoj. Směrový spoj se vyznačuje úzkým směřováním vysílané energie – pouze k jedné anténě jednoho přijímače (na rozdíl od požadavku na všesměrové pokrytí signálem např. u televizních vysílačů).

Směrové spoje pracují v pásmu jak všeobecně známých radiových vln, tak již dnes i v pásmu vln optických. Vzhledem k dostupným prostředkům (přijímač Alphasat v Praze) se v této práci zaměřuji na pásmo radiových vln.

Historie České republiky, přesněji řečeno ČSSR - Československé socialistické republiky, nám podává informace, že země byla vyspělým státem, který byl aktivním účastníkem mezinárodního telekomunikačního systému, provozu a zejména vývoje. Československo se zapojilo do mezinárodního projektu Intersputnik [5] a vybudovalo v roce 1975 pozemní stanici v katastru obce Sedlec – Prčice. Stanice byla vybavena otočnou parabolickou anténou o průměru 25 metrů. Místo bylo zvoleno s ohledem na tehdejší technické možnosti, kdy bylo třeba tuto stanici umístit do oblasti bez průmyslového a radiového rušení, chráněnou kolem dokola kopci (dnes se zde nalézá známý lyžařský areál Monínek). Signál se poté šířil přes radioreléový bod Javorová skála do Prahy. Tato stanice funguje dodnes.



Obrázek 2 Středisko družicových spojů Sedlec – Prčice [6]



Obrázek 3 Parabolická anténa, Středisko družicových spojů

Dále v roce 1984 prostřednictvím družice HORIZONT a přijímací stanice Moskva docházelo k postupnému rozvoji přenosu a zpracování dat a informací pro širokou veřejnost – zejména televizního a rozhlasového vysílání.

S postupným zlevňováním technologií se počet stanic schopných přijímat družicové signály postupně rozšiřoval, až do dnešní podoby, kdy prakticky každý, kdo přijímá televizní

vysílání přes satelit je svým způsobem přijímačem družicového signálu (např. družice ASTRA).

2.1.1 Vývoj mezinárodních telematických společenství

Ministerstvo průmyslu a obchodu (dále jen MPO) zastupuje Českou republiku v těchto mezinárodních družicových organizacích:

- **ITSO - International Telecommunication Satellite Organization** (Mezinárodní telekomunikační družicová organizace) [7],
- **Eutelsat IGO - European Telecommunication Satellite Organization** (Evropská telekomunikační družicová organizace) [8],
- **Intersputnik - Intersputnik International Organization of Space Communications** (Mezinárodní organizace družicových spojů) [9].

Prostřednictvím těchto organizací Česká republika zabezpečuje úkoly v oblasti elektronických komunikací pro televizní a rozhlasové vysílání, hlasové služby a veřejné i neveřejné datové sítě. MPO Českou republiku zastupuje v technických otázkách, včetně regulace těchto služeb v souladu s požadavky ITU (Mezinárodní telekomunikační unie) a CEPT (Evropská konference poštovních a telekomunikačních správ).

ITSO je mezivládní organizace. Vznikla v roce 2002 restrukturalizací původní mezivládní organizace Intelsat působící od roku 1964. Dnes v sobě sdružuje 150 států a jejím hlavním posláním je dohled nad celosvětovým poskytováním mezinárodních veřejných družicových telekomunikačních služeb (hlasové, datové, rozhlasové a televizní služby), které zajišťuje privatizovaná společnost Intelsat Ltd.

ITSO dále dohlíží na plnění přijatých "Základních zásad ITSO", kterými jsou:

- udržování globálního propojení a pokrytí,
- poskytování služby svým zákazníkům - členům ITSO s životně důležitým družicovým propojením (Life Connectivity Obligation - LCO)
- poskytování nediskriminačního přístupu ke všem službám společnosti Intelsat.

Tyto zásady jsou zakotveny v dohodě o veřejné službě (Public Service Agreement, PSA) a smlouvě LCO, které byly uzavřeny na základě Dohody o ITSO se společností Intelsat Ltd.

Nejvyšším vrcholným orgánem je Shromáždění stran ITSO. Shromáždění vyhodnocuje plnění základních zásad organizace a závazků uvedených v dohodě o veřejné službě (PSA) a smlouvě LCO ze strany společnosti Intelsat Ltd. dále se zabývá kontrolou plnění úkolů přijatých na předchozích shromážděních, vytváří koncepci a úkoly pro další rozvoj organizace, schvaluje rozpočet na příští období a volí generálního ředitele, členy Poradního výboru a Panelu právních expertů ITSO. Řádné shromáždění se koná zpravidla jednou za dva roky.

Výkonným orgánem mezi dvěma shromážděními je Sekretariát ITSO, v čele s generálním ředitelem - José Toscanem. Sekretariát plní úkoly stanovené Shromážděním stran ITSO, kontroluje plnění dohody PSA a smlouvy LCO a zajišťuje administrativní agendu organizace. Generální ředitel má k dispozici dva poradní orgány: Panel právních expertů pro legislativní otázky a dále Poradní výbor, který průběžně hodnotí plnění dohody PSA, smlouvy LCO a rozpočtu ITSO a předkládá návrhy témat do agendy Shromáždění stran. K řešení naléhavých a odborných témat jsou zřizovány ad hoc pracovní skupiny.

Sídlem ITSO je Washington, D. C. (USA). Odbornou gesci a zastupování České republiky vykonává MPO - odbor elektronických komunikací na základě usnesení vlády č. 669 z 9. prosince 1992.

Eutelsat IGO je mezivládní organizací, která v současné době sdružuje 49 evropských států. Vrcholným orgánem je Shromáždění stran, které zasedá zpravidla jednou za 2 roky. Na základě plné moci vlády se ho účastní zástupci členských států. Shromáždění jmenuje na čtyřleté období výkonného tajemníka, který je zodpovědný za všechny činnosti svěřené Sekretariátu organizace. Podpůrným orgánem je Poradní výbor, složený z volených členů.

Organizace EUTELSAT byla založena 17 členskými státy Evropské konference poštovních a telekomunikačních správ (CEPT) v roce 1977 s cílem vytvořit a provozovat v rámci Evropy družicovou soustavu poskytující telekomunikační služby pro přenos televizního a rádiového vysílání, telefonních hovorů a dat. V červenci 2001 došlo k její privatizaci a transformaci na komerční společnost EUTELSAT S. A. a mezivládní organizaci

EUTELSAT IGO, pověřenou jejím dohledem. Všechna práva k využívání kosmického segmentu byla převedena na privatizovanou společnost. Hlavní úlohou EUTELSAT IGO je dohlížet, aby družicová soustava byla provozována v souladu se základními principy. Sídlo této mezivládní organizace i komerční společnosti EUTELSAT S. A. je v Paříži (Francie).

Intersputnik je mezivládní organizace, která byla založena v roce 1971. Vrcholným orgánem organizace je Rada, složená ze zástupců členských států, které jmenuje národní vláda. Cílem organizace je zakládání, provozování a vývoj komunikačních systémů založených na principech družicové komunikace, zejména pro mezinárodní rozhlasové a TV přenosy, datové a telefonní přenosy, případně pro poskytování jiných služeb. V současné době Intersputnik sdružuje 25 členských států a je otevřen vládám všech států, které souhlasí s jejími principy a závazky.

Státní orgány členských států se sdružují v Poradním výboru, který se věnuje především finanční účasti, struktuře organizace, plánům rozvoje či provozním záležitostem transpondérů družic. Dalším orgánem Intersputniku je Revizní komise, která dohlíží na finanční aktivity organizace. Komisi tvoří tři členové volení na tříleté funkční období z občanů členských států organizace. Sídlem Mezinárodní organizace družicových spojů je Moskva (Ruská federace).

ITU – MEZINÁRODNÍ TELEKOMUNIKAČNÍ UNIE

Tato unie je agenturou působící pod záštitou OSN (Organizace spojených národů), do její gesce spadá problematika informačních a komunikačních technologií. Odbornou organizací působící v rámci OSN je od roku 1947 a je to nejstarší mezinárodní organizace, která kdy v OSN působila. Oficiální název zní: International Telecommunication Union

Sídlem ITU – je Ženeva, hlavní město Švýcarska.

Unie byla založena 17. května 1865 v Paříži jako Mezinárodní telegrafní unie. Prvotním impulsem byla francouzská vláda a její požadavek na koordinaci telegrafního provozu (trhu) v Evropě. Spolupráci v této oblasti slíbil a zakládající dokumenty i podepsal ruský car. Po objevení rádia a telefonu se její působnost rozšířila i o tyto prostředky komunikace. V rámci vývoje světa a Unie samotné došlo v roce 1924 ke zřízení dvou poradních sborů:

- CCIT – Mezinárodní poradní sbor pro telegraf,
- CCIF – Mezinárodní poradní sbor pro telefon.

Oba tyto sbory se v roce 1956 slučují pod jeden s názvem CCITT. V roce 1927 byl zřízen Mezinárodní poradní sbor pro radiokomunikace – CCIR.

Unie se v rámci své vnitřní struktury, která odráží vývoj v rámci radiokomunikací, technologií a telematiky vůbec dělí na několik sektorů, konkrétně na tyto tři:

ITU – R – sektor Radiokomunikací

Vypracovává charakteristiky po technické stránce kosmických a pozemních bezdrátových služeb, dále zpracovává technické studie, které mohou (ve většině případů i) sloužit jako základ nebo opora pro rozhodování v právních otázkách. Tyto výměny názorů probíhají v rámci radiokomunikačních konferencí.

ITU –T – sektor Normalizace telekomunikací

Hlavní náplní práce tohoto sektoru je tvorba tarifních zásad, včetně metod účtování popř. rozúčtování poplatků za mezinárodní služby. Dalším významným úkolem je stanovení technických norem (funkce, provoz, údržba) pro telekomunikační systémy, služby, sítě...

ITU – D – sektor Rozvoje telekomunikací

Úkolem je zajištění informovanosti všech pracovníků Unie, dále pak ostatních vědeckých pracovníků tj. připravují, kontrolují, editují a vydávají směrnice, nařízení, příručky týkající se dopravy dat. Vytváření strategií a politiky pro management sítí.

Všechny sektory pracují podle stejného scénáře, tj. mají studijní skupiny, členem této skupiny je expert na danou problematiku z příslušné členské země.

EVROPSKÁ KOSMICKÁ AGENTURA (ESA)

Jedná se evropskou kosmickou agenturou, Česká republika je členem od roku 2008. Spolupracujícím státem je Kanada a ostatní členské státy jsou: Belgie, Dánsko, Finsko, Francie, Irsko, Itálie, Německo, Nizozemí, Norsko, Portugalsko, Rakousko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Velká Británie. Za toto členství platí členské státy roční příspěvky, které

nejsou nijak malé. Na druhou stranu však členské státy a jejich instituce a podnikatelské subjekty dostávají granty a kontrakty v oblasti vědy a výzkumu v kosmu.

V Paříži (Francie) sídlí ředitelství pro oblasti:

- vědeckých programů,
- kosmické stanice,
- kosmických dopravních prostředků,
- telekomunikačního programu,
- průzkumu Země a program mikropřitažlivosti.

V Noordwijku (Nizozemí) se nachází hlavní pracovní centrum – středisko ESTEC – Evropské centrum pro kosmický výzkum a technologii.

Program OPEX

Původně se jednalo o pracovní skupinu působící v rámci ESA, jejich úkolem byl výzkum šíření mikrovln na družicových spojích, měla dvě části – experimentální, která disponovala družicí Olympus a praktickou. Praktická část koordinovala činnosti a koncentrovala výslednou činnost v ESTECu. Oficiálně byl OPEX založen v roce 1981.

Družice Olympus, byla experimentální, nebyla tedy určena pro potřeby veřejného sektoru. Jejím úkolem bylo měření degračních účinků atmosféry. Byla vypuštěna v červenci v roce 1989 a do plného provozu byla uvedena v roce 1991. Její životnost byla předčasně ukončena srážkou meteoritem v roce 1994.

Experiment Italsat

Italsat je poměrně složitý italský výzkumný program. Základem byla italská družice "Italsat1" (pozice 13 ° E) vybavena majákovými vysílači. Majákový vysílač má o konstantní výkon, který slouží k registraci úrovně přijímaného signálu na Zemi. Družice fungovala v letech 1991 až 2001. Majákové vysílače pracovaly ve třech kmitočtových pásmech.

Tento výzkumný program vhodně navázal na předchozí experiment Sirio. Kromě útlumu se v programu Italsat vyhodnocovala také depolarizace a vztah útlum-depolarizace. Předpokládalo se vzrůst depolarizace s útlumem. Výjimku tvoří účinek ledu – útlum je relativně malý, ale vliv na depolarizaci je značný. Novinkou programu bylo tedy měření úhlu

dopadu signálu z družice. Podle teorie se úhel dopadu mění v rozmezí $\pm 0,05^\circ$ vlivem změn indexu lomu atmosféry v prostoru. Důležité jsou i jeho náhlé časové změny např. při výskytu dešťů, při změnách vlhkosti vzduchu apod. V roce 1996 byla uvedena do provozu telekomunikační družice Italsat 2 (pozice $12,4^\circ$ E). Pro výzkum šíření vln atmosférou bylo možné použít telemetrický kanál operující na kmitočtu 18,685 GHz. Družice Italsat 2 skončila svůj provoz v červenci 2002.

Program Interkosmos

Interkosmos je mezinárodní program, nejedná se tedy o žádnou organizaci, za kterou je často zaměňován. Tento program byl spuštěn v roce 1966 a byl mezivládními dohodami podepsán v roce 1972. Cílem byla vědeckovýzkumná spolupráce a mírové využití kosmického prostoru. Program měl 5 stálých pracovních skupin, které se jednou za rok scházely na zhodnocení výsledků tohoto experimentu. Setkání probíhala v Dubně u Moskvy, kde bylo zřízeno mezinárodní středisko družicových spojů.

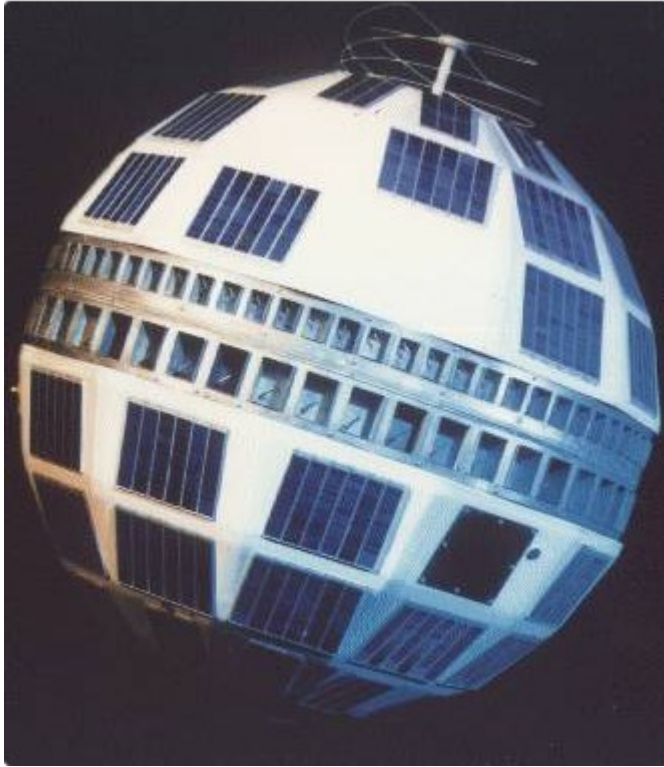
2.1.2 První družice

Přenos dat a informací jak na krátké tak i na velmi dlouhé vzdálenosti pro celý svět zajišťuje několik desítek až stovek družic. Každá družice má svůj specifický význam, vývoj a účel, ke kterému byla sestrojena. Každá z těchto družic byla vyvinuta a financována někým jiným - např. vládou dané země, grantem, soukromým subjektem nebo na základě mezinárodní spolupráce.

Družice Telstar 1

Telstar 1 – byla americká telekomunikační družice, vypuštěna jako první na oběžnou dráhu dne 10. Července 1962. Hned druhý den po svém umístění na oběžné dráze uskutečnila historicky první přenos televizního signálu mezi kontinenty – mezi USA a Evropou, přenos byl dlouhý asi 20 minut.

Z technického pohledu se jednalo o tvar připomínající kouli, průměr měla družice cca. 90 cm a byla na povrchu pokryta solárními panely. Obíhala kolem Země zhruba 150 minut v eliptické dráze. Po zmíněných 150 minutách zmizela družice Telstar 1 za horizontem. Do dnešní doby je známo, že družice se stále nachází na oběžné dráze.

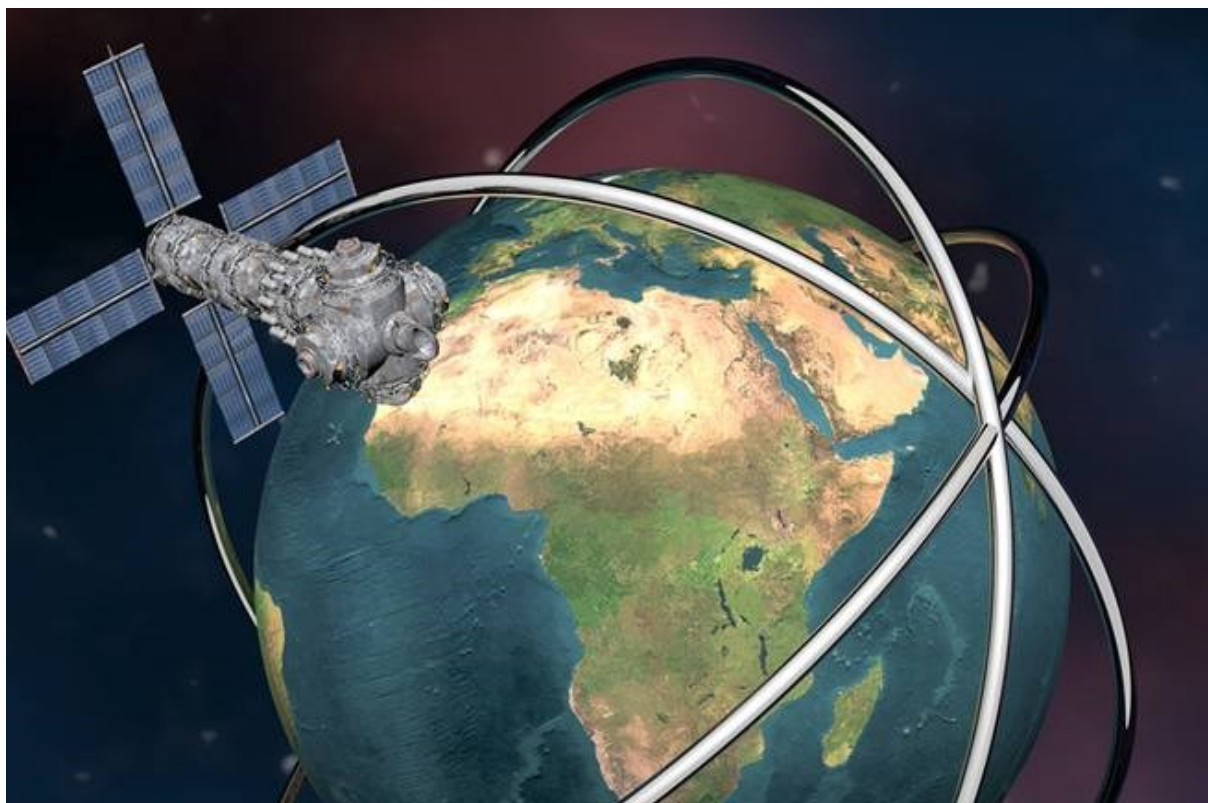


Obrázek 4 Družice Telstar 1 [10]

Družice INTELSAT 1

Družice Intelsatu 1 též nazývaná jako Early Bird (Ranní ptáče), byla první komerční americkou družicí vyslanou na oběžnou dráhu. Vyslána byla dne 6. dubna 1965.

Technické parametry družice byly a vlastně ještě jsou – hmotnost 25 kg, délka 1 metr, průměr 70 cm, oficiální aktivní provozní doba byla 18 měsíců. Ve skutečnosti byla vyřazena po 4 letech v lednu v roce 1969, stále je na oběžné dráze. Ve své době zvládala 240 telefonních hovorů najednou nebo jednu televizní linku mezi Evropu a Amerikou.



Obrázek 5 Družice INTELSTAT 1 [11]

2.1.3 Družicové systémy a výzkumné programy v dnešní době

K pokrytí celého světa je zapotřebí minimálně tři geostacionárních družic.

Komunikační družice obecně dělíme podle vzdálenosti (výšky) v jaké obíhají okolo zeměkoule na:

LEO – nízká, 80 km – 2 000 km nad povrchem Země, v této výšce jsou zpravidla umístěny vesmírné stanice. Signál má velmi nízké zpoždění přenosu.

MEO – střední, 2 000 km – 35 786 km, zde jsou umísťovány navigační satelity

GEO – geostacionární, družice je zdánlivě na jednom místě, je to však jen zdánlivý pohled protože se družice otáčí synchronizovaně se Zemí, satelity umístěné v této oblasti pokrývají cca. 1/3 povrchu Země a využívají se zejména pro televizní a rádiové spojení a přenosy. Mezi tyto satelity patří také INMARSAT používaný pro satelitní mobilní komunikaci. Pod tento projekt patří i družice Alphasat (není geostacionární), kterou jsem využila i při tvorbě metodiky.

HEO – vysoké, více jak 35 786 km a jejich oběh je delší než 1 den (24 hodin), v této výšce bývají umístěny vědecké satelity např. k výzkumu Slunce a jeho aktivit.

V dnešní době může mít družicový spoj každá domácnost, přes družicový spoj se dnes přenáší i signál mobilního telefonu - např. v USA v jejich odlehlých oblastech. Zmenšení

rozměrů družicových komunikačních prostředků až na ručně přenosné je umožněno vývojem nízko šumových součástek a zvýšením výkonu na satelitech – družicích.

2.1.4 Družice Alphasat a experiment Aldo Paraboni (SCIEX)

Největším evropským veřejně-privátním projektem je Alphasat, který byl primárně vyvinut za účelem rozšíření satelitní mobilní sítě Inmarsat.

Prvotní impulz ke vzniku této družice dal profesor italské univerzity v Římě Aldo Paraboni. Profesor Paraboni se kompletního uvedení experimentu do praxe nedožil, krátce před zahájením experimentu zemřel. Tým spolupracovníků se na jeho počest rozhodl název experimentu rozšířit o jeho jméno, tedy Aldo Paraboni Alphasat.

V Praze je na základě mezinárodní spolupráce a díky přátelství nejen v osobní, ale i pracovní rovině s profesorem Parabonim, a v neposlední řadě i vědeckým poznatkům doc. Ondřeje Fišera - vedoucího práce, umístěn ve dvojím provedení přijímač družice Alphasat experimentu Aldo Paraboni Alphasat. První přijímač (parabolická anténa) je pro frekvenci 19,701 GHz a druhý je pro 39,402 GHz (Obrázek 6). Kmitočty jsou koherentní.

Určení parametrů přijímací stanice Ústavu fyziky atmosféry AV ČR je takovéto:

- Elevační úhel: 31,75°
- Nadmořská výška: 274 metrů nad mořem
- Zeměpisná šířka: 50,04° severní šířky
- Zeměpisná délka: 14,48° východní délky

Přijímač s frekvencí 19,701 GHz a přijímač s frekvencí 39,402 GHz vyrobila společnost BTV Klimkovice, poskytuje i servis a nastavení pro potřeby Akademie věd, antény



Obrázek 6 Přijímače signálu z družice Alphasat

jsou od firmy Andrew - technicky vzato jde o ofsetové parabolické antény, jejichž průměr je 180 cm. Zadní strany jsou v našich klimatických podmínkách vyhřívány kvůli zamezení tvorby námrazy a zadržování sněhu, dále jsou ve středech (v ohniscích) antény umístěny konvertory (přenašeče signálu). Tyto konvertory se skládají z termostatů nastavených na stabilní venkovní teplotu 40 °C, tato teplota je nastavena záměrně, aby byl zajištěn stejný zisk zpracovávaného signálu v závislosti na změnách klimatických podmínek. Činnost je řízena mikroprocesory.

Zisk antén:

- 76,7 dB pro 19,701 GHz
- 76,6 dB pro 39,402 GHz

Tabulka 1 Parametry majákového signálu pro svazek Ka a Q [12]

Pásmo	Ka	Q
Kmitočet	19,701 GHz	39,402 GHz
Polarizace, sklon vůči horizontální rovině	Lineární: sklon 0° (V-Z)	Lineární: sklon 45° (SZ-JV)
Zeměpisné souřadnice maxima signálu	32,5°N 20°E	45,4°N 9,5°E
EIRP	19,5 dBW	26,5 dBW

Alphasat - jedná se o družici, která je na oběžné dráze, je omezena její životnost a jedním z úkolů této družice je zkoumat, zda a pokud ano, tak k jak velkým dochází v rámci přenosu dat útlumům těchto přenosů /experiment SCIEX/. Co se týče ovládání a kontroly technického stavu družice, tak tuto oblast mají na starosti v Itálii. Celkově 7 pracovišť zpracovává a analyzuje data, všechny pracoviště mimo jiné spolupracují s ITU - což je mezinárodní telekomunikační organizace, která poté výsledky z daných pracovišť dále zkoumá, vyhodnocuje, vydává jednotlivé reporty a po konzultaci dílčích výsledků vydává doporučení. Téma se poté jedenkrát za určité období zpracuje do "Handbooku" (příručka).

2.2 Katalog přetrvávajících problémů

2.2.1 Poloha družice

Důležitým, avšak dosti problematickým prvkem je skutečnost, že družice není stacionární. Nelze si ji tedy představit jako něco, co je na „pevno“ posazeno v kosmickém prostoru a co se nehýbe. Tato družice se pohybuje okolo své osy, která vytváří jakousi elipsu.

Družice Alphasat není geostacionární, parabolická anténa přijímače se dívá do jednoho bodu a v určité části vyjíždí anténa mimo až o 3 stupně.

Pohyb družice je predikovatelný, neboť kmitá (pohybuje se, pracovníci Akademie věd v neformálních rozhovorech říkají, že družice „courá“) v elipse, která z pohledu Země vytváří přímku. Družice je na základě tohoto svého pohybu označována jako kvazistacionární.

Řídící centrum v Itálii posílá týden dopředu informaci, kde se družice bude nacházet, tj. v jakém azimutu se bude pohybovat „courat“.

Zpracování údajů z družice prostřednictvím výše zmiňovaných parabolických ofsetových přijímačů započalo v únoru 2015.

2.2.2 Atmosférický útlum

Družicové spoje je důležité správně navrhnout s ohledem na kvalitu spojení, protože signál z vysílače, např. na družici, musí dopadnout na zpracovatelné úrovni na vstup přijímače. Kromě predikovatelných jevů jako je výkon vysílače, zisky antén vysílače a přijímače, šumového čísla přijímače, vzdálenosti je třeba brát v úvahu i náhodný atmosférický útlum. Z atmosférických útlumů v ČR dominuje déšť, ale také vodní páry, atmosférické plyny a oblaka, částečně také sníh (zejména mokrý sníh), kroupy apod. V práci se zaměřuji na dominantní faktory, tedy na útlum deštěm, vodními parami a oblaky (laicky řečeno mraky).

Z důvodu existence atmosférických útlumů provádějí výzkumná pracoviště (zejména akademická a vysokoškolská) výzkum vlivu stavu atmosféry na degradaci signálu spoje družice – Země, přičemž degradaci rozumíme útlum, depolarizaci, fázové zpoždění signálu. V této práci se z důvodu převažujícího vlivu v podmínkách ČR zaměřuji pouze na útlum.

Úkolem výzkumu tedy je kvalifikovaně odhadnout očekávaný útlum mezi družicí a pozemskou stanicí, jeho časovou distribuční funkci a formulovat závislost na měřitelných parametrech atmosféry. Poslední jmenované má zejména ekonomický význam, protože intenzitu dešťových srážek můžeme změřit srážkoměrem za přibližně 25 tisíc Kč a s pomocí empirických nebo fyzikálně matematických modelů odhadnout atmosférický útlum družicového signálu. Toto by šlo i změřit s pomocí skutečné družice a družicového přijímače, cena by však byla o několik řádů vyšší.

Atmosférický útlum lze odhadnout také pomocí radiometrů, jejichž cena je srovnatelná s cenou srážkoměru, avšak radiometr útlum měří z principu pouze do hodnoty 10 dB (decibelů).

Mezi další ostatní možné příčiny útlumu signálu typické pro Českou republiku patří následující vlivy:

- **Kroupy:** patří mezi atmosférické srážky a dále je možné je interpretovat jako hydrometeory. Zpravidla se jedná o sněhové nebo ledové hrudky kulovitého nebo nepravidelného tvaru, které jsou ještě navíc při dopadu na zemský povrch pokryté vrstvou či několika vrstvami zmrzlé vody. Tato krusta zmrzlé vody vzniká v bouřkových oblacích. Jejich velikost dosahuje od 5 milimetrů až do několika centimetrů v průměru. Padání krup se označuje jako krupobití.
- **Vodní pára:** je plynné skupenství vody, která se nachází všude kolem nás. Vodní pára vzniká nejčastěji vypařováním, popřípadě také sublimací. Množství vodní páry v okolním prostředí se udává humiditou neboli vlhkostí.
- **Mlha:** je důsledek kondenzace v přízemní vrstvě vzduchu. Vzniká tehdy, poklesne-li teplota vzduchu na teplotu rosného bodu. Podle způsobu, kterým dochází k ochlazení vzdušné masy, rozlišujeme několik typů mlhy. Příkladem je radiační mlha, mlha z vypařování, městská mlha atd. Mlha se častěji tvoří v místě zasaženém exhalacemi. Ty vytvářejí kondenzační centra vhodná pro vznik mlhy. Mlha se od oblaku odlišuje pouze tím, že se dotýká zemského povrchu, zatímco oblak nikoliv.
- **Děšť:** tento jev je pro experiment nejdůležitější. Pro využití poznatků o dešťových srážkách je třeba formulovat a zvládnout problematiku měrného útlumu deštěm. Většina aspektů se v tomto oboru dá vyjádřit matematicky nebo statisticky jako např. okamžitý útlum.

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

$$\gamma(R) = k \cdot R^\alpha \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] \quad (1)$$

kde R je intenzita srážek mm/h

γ je měrný útlum deštěm

k a α jsou konstanty pro výpočet útlumu deštěm

Ve své bakalářské práci jsem pracovala s jiným označením měrného útlumu $\alpha(R)$. Toto označení bylo doporučením ITU-R změněno na viz předcházející vzorec ((1). Detailnější popis popsanych veličin je uveden v následujících kapitolách.

3 NÁVRH METODIKY PRO TVORBU BEZDRÁTOVÝCH SPOJŮ S VYUŽITÍM EXPERIMENTU S DRUŽICÍ ALDO - ALPHASAT

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, při využívání dat z družic je nezbytné respektovat zejména polohu družice a atmosférický útlum. Tyto faktory však nejsou důležité jen pro využití již stávajících přijímacích stanic, ale také při dimenzování stanic a spojů nových. Díky celosvětové rozšířenosti sítě přijímačů je možné stanovit kritické parametry prakticky pro libovolnou lokalitu a díky tomu plánovanou stanici z hlediska těchto parametrů přizpůsobit.

Mezi pozorované parametry patří

- Výška deště
- Intenzita dešťových srážek
- Obsah tekuté vody v atmosféře (LWC)
- Integrovaný obsah vodní páry
- Poloha družice a přijímací stanice

3.1 Výška deště

K určení výšky deště používáme různé modely. Například model **ITU-R P.839-4**. Daný model stanovuje výšku deště jako výška nulové izotermy zvýšené o 360 metrů [13].

$$h_R = h_0 + 0,36 \text{ [km]} \quad (2)$$

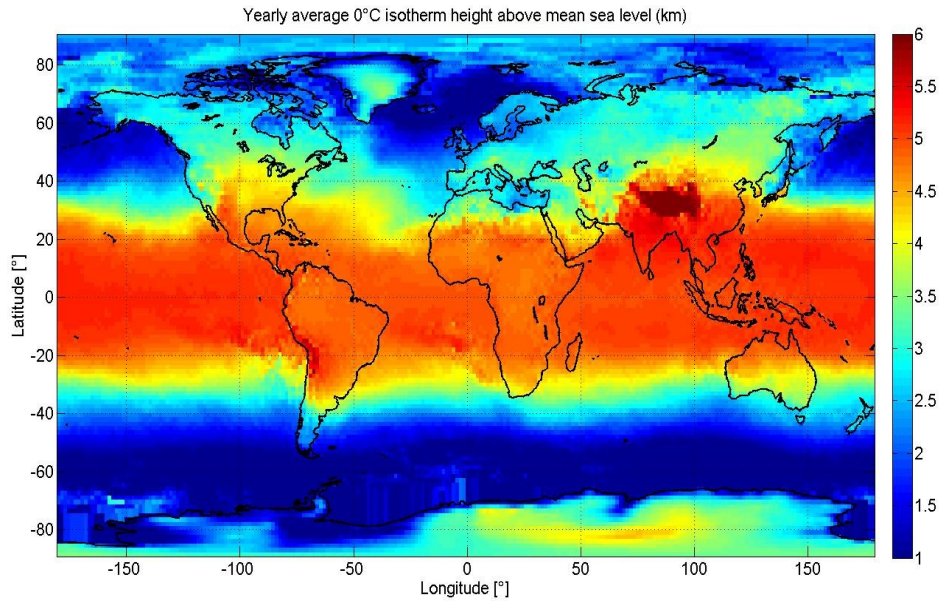
kde h_R - výška deště

h_0 - výška nulové izotermy; hodnota je odvozena od hladiny moře. Pro Prahu platí hodnota 250 metrů

Ze zeměpisných souřadnic areálu Akademie věd v Praze jsem za pomoci tabulek ITU-R průměrných výšek nulové izotermy pro celý svět zjistila, že 28. řádek odpovídá zeměpisné šířce $49,5^\circ$, zatímco 27. řádku odpovídá zeměpisná šířka 51° . Je tedy nutné zjistit hladinu nulové izotermy v měřícím pracovišti – interpolovat:

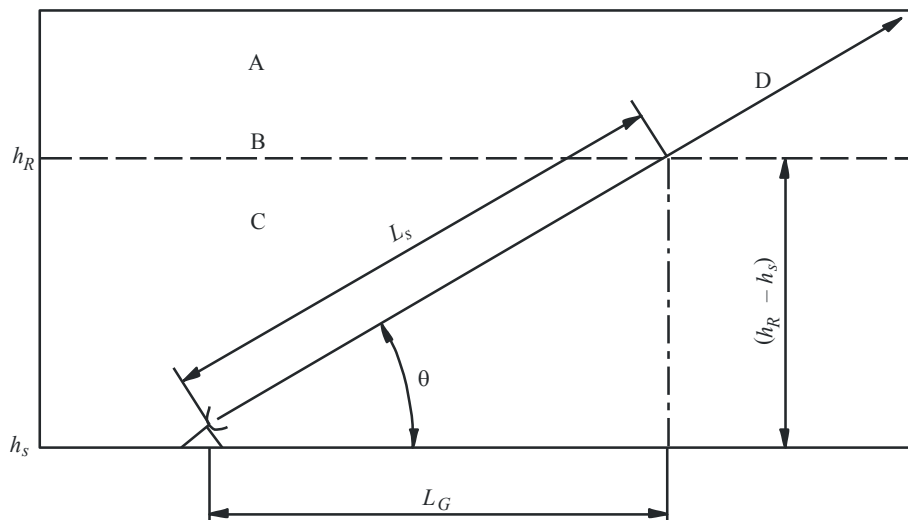
$$H_{\text{Spořilov}} = \frac{h_{51} - h_{49,5}}{3} + h_{49,5} \quad (3)$$

Po dosazení je pak výška nulové izotermy pro ÚFA $H_{\text{Spořilov}} = 4,215 \text{ km}$



Obrázek 7 Mapa výšek nulové izotermy [14]

Obrázek 7 znázorňuje mapu světa, osa x je zeměpisná délka, osa y je zeměpisná šířka a dle barevnosti jsou označeny jednotlivé výšky nulové izotermy (roční průměry) v kilometrech. Na tomto obrázku je Česká republika zařazena mezi výšku 4,5 km – 5 km, v současnosti podle nové metodiky je u nás výška počítána na 3,5 km – 4 km. **Výška deště je tedy v Praze 3,04 km za rok.** Toto číslo je vypočítáno dle nové metodiky.



- A: frozen precipitation
- B: rain height
- C: liquid precipitation
- D: Earth-space path

P.0618-01

Obrázek 8 Grafické znázornění průchodu družicového spoje deštěm [12], D je dráha spoje, B je výška deště, C je dešťová oblast

3.2 Měrný útlum deštěm

Odvození a výpočet měrného útlumu je podrobně popsán v ITU-R P. 838-3 [15] a je mu také věnována kapitola v mé bakalářské práci. Měrný útlum vyjadřuje bodovou informaci o útlumu deštěm, přepočtenou na kilometr délky (nebo velmi krátkého úseku za předpokladu homogenity deště). Obvyklá jednotka je dB/km.

Podle ITU-R a jím vydaného dokumentu P.838-3 [15] je v současné době doporučeno odhadnout měrný útlum deštěm $\gamma(R)$ (km/dB) ((1) s využitím následujících vztahů, které zohledňují závislost nejen na kmitočtu, ale i na elevaci družicového spoje a na polarizaci:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2 \tau] / 2 \quad (4)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2 \tau] / 2k \quad (5)$$

kde index H (V) představuje horizontální (vertikální) polarizaci

θ je elevační úhel spoje

γ vyjadřuje polarizaci vůči horizontální rovině ($\tau = 0^\circ$ pro horizontální polarizaci, $\tau = 90^\circ$ pro vertikální polarizaci, $\tau = 45^\circ$ pro kruhovou polarizaci)

parametry k_H , k_V , α_H , α_V jsou koeficienty, jež jsou ve zmíněném doporučení ITU-R tabelovány s krokem 1 GHz pro kmitočty od 6 GHz do 100 GHz.

Tabulka 2 Parametry potřebné pro výpočet koeficientů k_H , k_V , α_H , α_V – extrahováno z [15]

k_H (vertikální polarizace)					
j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5,33980	-0,10008	1,13098	-0,18961	0,71147
2	-0,35351	1,26970	0,45400		
3	-0,23789	0,86036	0,15354		
4	-0,94158	0,64552	0,16817		
k_V (vertikální polarizace)					
j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3,80595	0,56934	0,81061	-0,16398	0,63297
2	-3,44965	-0,22911	0,51059		
3	-0,39902	0,73042	0,11899		
4	0,50167	1,07319	0,27195		

α_H					
j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0,14318	1,82442	-0,55187	0,67849	-1,95537
2	0,29591	0,77564	0,19822		
3	0,32177	0,63773	0,13164		
4	-5,37610	-0,96230	1,47828		
5	16,1721	-3,29980	3,43990		
α_V					
j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0,07771	2,33840	-0,76284	-0,053739	0,83433
2	0,56727	0,95545	0,54039		
3	-0,20238	1,14520	0,26809		
4	-48,2991	0,791669	0,116226		
5	48,5833	0,791459	0,116479		

V následující tabulce jsou vyčísleny koeficienty potřebné pro výpočet měrného útlumu deštěm k a α a příklad vypočteného měrného útlumu deštěm $\gamma(R)$ pro intenzitu srážek $R = 32$ mm/h. Parametrem údajů v tabulce je polarizační úhel τ . V tabulce je uvedena citlivost veličin na 1 GHz změny. Údaj v řádku pro měrný útlum deštěm g tedy udává změnu tohoto útlumu v dB/km, pokud se kmitočet změní o 1 GHz.

V dalších řádcích je o 1 GHz snížená hodnota /citlivost/ a při detailnější kontrole je patrné, že se změní útlum deštěm o 0,2248 dB/km. Čili na 1 km dojde ke snížení útlumu deštěm o 0,2248 dB, při 10km vzdálenosti se jedná o 2,248 dB.

Polarizační úhel má několik hodnot:

- 90° - tato hodnota odpovídá úhlu při vertikální polarizaci se zemským povrchem
- 80° - tato hodnota odpovídá úhlu, v jakém elevuje družice Alphasat ve vztahu k zemskému povrchu

Tabulka 3 Hodnoty koeficientů pro útlum deštěm

Přijímač 19,701 GHz				
19,701 GHz	$\tau = 90^\circ$	$\tau = 80^\circ$	$\tau = 45^\circ$	$\tau = 0^\circ$
k [-]	0,0925	0,0924	0,0908	0,089
α [-]	0,9968	0,9983	1,0228	1,0498
γ [dB/km]	2,9272	2,9395	3,1427	3,3848
19,701-1 GHz	$\tau = 90^\circ$	$\tau = 80^\circ$	$\tau = 45^\circ$	$\tau = 0^\circ$
k [-]	0,0828	0,0827	0,0807	0,0786
α [-]	1,0057	1,0073	1,0329	1,0615
γ [dB/km]	2,7024	2,7132	2,8934	3,1115
	Citlivost/GHz	Citlivost/GHz	Citlivost/GHz	Citlivost/GHz
k [-]	0,0097	0,0097	0,0101	0,0104
α [-]	-0,0089	-0,009	-0,0101	-0,0117
γ [dB/km]	0,2248	0,2263	0,2493	0,2733
Přijímač 39,402 GHz				
39,402 GHz	$\tau = 90^\circ$	$\tau = 80^\circ$	$\tau = 45^\circ$	$\tau = 0^\circ$
k (-)	0,4166	0,4169	0,4223	0,428
α (-)	0,8496	0,8501	0,8589	0,868
γ (dB/km)	7,915	7,9372	8,2876	8,6687
39,402-1 GHz	$\tau = 90^\circ$	$\tau = 80^\circ$	$\tau = 45^\circ$	$\tau = 0^\circ$
k (-)	0,3951	0,3955	0,4008	0,4065
α (-)	0,8563	0,8568	0,8658	0,8751
γ (dB/km)	7,6831	7,7054	8,0565	8,4384
	Citlivost/GHz	Citlivost/GHz	Citlivost/GHz	Citlivost/GHz
k (-)	0,0215	0,0214	0,0215	0,0215
α (-)	-0,0067	-0,0067	-0,0069	-0,0071
γ (dB/km)	0,2319	0,2318	0,2311	0,2303

Orientačně (ale dosti přesně) lze parametry k a α vypočítat z následujících vztahů, kde A je pomocný parametr daný výrazem:

$$A = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10} f + c_k \quad (6)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha \quad (7)$$

kde f je kmitočet (GHz)
a pro koeficient k platí $k = 10^4$

3.2.1 Odhad celkového útlumu deštěm družicového spoje na úrovni distribuční funkce

V září roku 2013 vydala ITU-R nové doporučení ITU-R P.618-11 pro odhad útlumu deštěm na šikmých (družicových) spojích.

Myšlenka vychází ze staršího doporučení ITU-R 618-7 z roku 2001, kdy se za vstupní meteorologický údaj dodala intenzita dešťových srážek $R_{0,01}$ (exceedance probability) na úrovni pravděpodobnosti překročení 0,01 %. Orientačně ji lze vyčíst z mapy v doporučení ITU-R P.837. Z dlouhodobých měření v ČR použiji ověřenou hodnotu (VÚS, TESTCOM, ÚFA AV ČR, v.v.i.) $R_{0,01} = 32$ mm/h. Z tohoto údaje jsem za pomoci zpřesněných vzorců vypočetla útlum spoje $A_{0,01}$ (v dB) na úrovni překročení také 0,01 %. Ze zobecněné univerzální závislosti útlum - pravděpodobnost překročení lze pak určit distribuční funkci útlumu deště na hladinách překročení p mezi 0,001 % až 5 % a pro průměrný rok (uvedená modifikace vzorce platí pro zeměpisnou šířku nad 36 °, což je i případ stanice v Praze) [16]:

$$A_p = A_{0,01} \left(\frac{p}{0,01} \right)^{-(0,655 + 0,0331 \ln(p) - 0,0451 \ln(A_{0,01}))} \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

Výšku deště h_R doporučuje model převzít podle doporučení ITU-R P.839. Jde o roční průměrnou výšku nulové izotermie zvýšenou o 360 m. Pokud není výška nulové izotermie známa, nabízí ji ITU-R také v tabulce pro celou Zemi. Pro Prahu je hodnota průměrné výšky nulové izotermie podle ITU-R 2,7 km, a tudíž výška dešťové oblasti je v Praze $h_R = 3$ km.

Uvedu další rovnice pro výpočet predikce útlumu deštěm, které nejsou univerzální jako v dokumentu ITU-R P.618-11, ale jsou přizpůsobeny, nebo byly vybrány variace odpovídající podmínkám Prahy - Spořilov, kde se nachází přijímač družice Alphasat.

Délka šikmého spoje (viz Obrázek 8) "statistickým" deštěm , kde h_s je nadmořská výška stanice (v našem případě 274 m n.m.) se vypočte ze vztahu [16]

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad [\text{km}] \quad (9)$$

kde θ je elevační úhel.

Projekce L_s do horizontální roviny lze pak jednoduše vyjádřit jako [16]:

$$L_G = L_s \cos \theta \quad [\text{km}] \quad (10)$$

Pro měrný útlum deštěm γ_R platí vztah (1), kde za R dosadíme $R_{0,01}$.

Na základě regrese z mnoha měření doporučuje ITU-R výpočet horizontálního redukčního dráhového faktoru podle vztahu [16]:

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_r}{f}} - 0,38 (1 - e^{-2L_G})} \quad (11)$$

Horizontální redukční dráhový faktor vychází pro podmínky v Praze $r_{0,01} = 0,8$.

Pomocný úhel ζ pak dané doporučení určuje jako [16]:

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0,01}} \right), \quad (12)$$

který vychází pro Prahu a příjem družice Alphasat $\zeta = 37,6^\circ$. Jelikož je tento pomocný úhel větší, než úhel elevační ($31,75^\circ$), použije se tato alternativa pro délku dráhy "statistickým" deštěm [16]:

$$L_R = \frac{L_G r_{0,01}}{\cos \theta} \quad [\text{km}] \quad (13)$$

V našem případě vychází $L_R = 4,2$ km.

Metoda ITU-R dále zavádí vertikální přizpůsobovací faktor $v_{0,01}$, který se pro zeměpisné šířky nad 36° vypočte podle vzorce [16]:

$$v_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31 (1 - e^{-(\theta)}) \frac{\sqrt{L_R \gamma_r}}{f^2} - 0,45 \right)} \quad (14)$$

Pro Prahu a družici Alphasat vychází $v_{0,01} = 1,13$.

Efektivní délka dráhy paprsku "statistickým" deštěm na spojnici družice Alphasat - přijímač v Praze - Spořilově se pak vypočte z jednoduchého vztahu (hodnota je 4,8 km) [16]

$$L_E = L_R v_{0,01} \quad [\text{km}] \quad (15)$$

a celkový útlum na hladině převýšení 1 % vyjde 13,22 dB (pro 19,701 GHz) a 40,9 dB (pro 39,401 GHz) podle následujícího jednoduchého vztahu [16]:

$$A_{0,01} = \gamma_R L_E \quad [\text{dB}] \quad (16)$$

Pro porovnání metod výpočtů byly pro výpočet parametrů stanice použity kromě výše uvedené metody také starší metody dle Karasawy [17] a CCIR [18]. Výsledky jsou patrné z tabulek 3 a 4. Z výsledků je patrné, že nejvyšší rozdíl mezi metodami je patrný při nižších hodnotách převýšení.

Přijímač: 19,701 GHz

Tabulka 4 Celkový útlum deštěm – porovnání modelů; přijímač 19,701 GHz

Pravděpodobnost převýšení (%)	ITU-R (nový model)	Karasawa	CCIR
0,1	27,00	25,40	25,50
1	13,20	11,80	11,90
10	4,60	4,50	4,60
100	1,10	1,40	1,40

Přijímač: 39,401 GHz

Tabulka 5 Celkový útlum deštěm – porovnání modelů; přijímač 39,401 GHz

Pravděpodobnost převýšení (%)	ITU-R (nový model)	Karasawa	CCIR
0,1	74,20	72,60	72,90
1	40,90	33,90	34,00
10	15,80	13,00	13,00
100	4,30	4,10	4,10

3.3 Útlum vodní párou

Pro výpočet útlumu vodní párou byla v roce 1992 vypracováno první doporučení ITU-R P.676. Doporučení bylo několikrát přepracováno, nejnovější verze pochází z roku 2013: P.676-10 (09/2013). Z metodiky uvedené v tomto doporučení lze po dosazení hodnot pro ÚFA Spořilov získat pro hodnotu útlumu vodní párou následující vztah:

$$A_w(P) = \frac{0,0173 V_t(P) \gamma_w(f, p_{ref}, p_{v,ref}, t_{ref})}{\gamma_w(f_{ref}, p_{ref}, p_{v,ref}, t_{ref})} \quad [\text{dB}] \quad (17)$$

kde f je frekvence [GHz]

$$f_{ref} = 20,6 \text{ [GHz]}$$

$$p_{ref} = 780 \text{ [hPa]}$$

$$\rho_{v,ref} = \frac{V_t(P)}{4} \text{ [g/m}^3\text{]}$$

$$t_{ref} = 14 \ln \left(\frac{0,22 V_t(P)}{4} \right) + 3 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$V_t(P)$ je integrovaný obsah vodní páry na dané pravděpodobnosti převýšení P (kg/m^2 nebo mm), který může být získán buď z radiosondových profilů nebo z radiometrických měření nebo doporučení ITU-R P.836 a

$\gamma_w(f, p, \rho, t)$: je specifický útlum vodní parou jako funkce frekvence, tlaku, hustoty vodní páry a teploty získaných z následujících vztahů (výraz je zjednodušen pro kmitočty do 40 GHz)

$$\gamma_w = \left\{ \frac{3,98 \eta_1 \exp[2,23(1-r_t)]}{(f-22,235)^2 + 9,42 \eta_1^2} g(f, 22) + \frac{11,96 \eta_1 \exp[0,7(1-r_t)]}{(f-183,31)^2 + 11,14 \eta_1^2} \right\} f^2 r_t^{2,5} \rho \times 10^{-4}$$

$$\eta_1 = 0,955 r_p r_t^{0,68} + 0,006 \rho$$

$$\eta_2 = 0,735 r_p r_t^{0,5} + 0,0353 r_t^4 \rho \quad (18)$$

$$g(f, f_i) = 1 + \left(\frac{f - f_i}{f + f_i} \right)^2$$

kde f je frekvence [GHz]

$r_p = p_{tot}/1013$, kde p_{tot} představuje celkový tlak vzduchu

$$r_t = 288/(273 + t)$$

p je tlak [hPa]

t je teplota ($^\circ\text{C}$), kde v případě nedostupnosti adekvátních teplotních dat může být střední hodnota teploty získána odečtem map v doporučení ITU-R P.1510.

ρ je hustota vodní páry [g/m^3]

Při použití dat z Alphasat je možné pro hodnoty integrované vodní páry $V_t(P)$ v závislosti na pravděpodobnosti převýšení pro průměrný rok získat z tabelovaných hodnot pro celý svět v materiálech ITU-R následující tabulku (pro lokalitu ÚFA Spořilov):

Tabulka 6 Závislost množství vodní páry a útlumu na pravděpodobnosti převýšení – lokalita Spořilov

V_t [kg/m ²]	Pravděpodobnost převýšení P [%]	A_w [dB]	
		19,701 GHz	39,402 GHz
25,519	10	0,441	0,093
28,566	5	0,494	0,104
30,421	3	0,526	0,111
33,819	1	0,585	0,123
35,694	0,5	0,618	0,130
36,617	0,3	0,633	0,133
38,962	0,1	0,674	0,142

3.4 Útlum oblaky

Útlum oblak družicových spojů se počítá podobně, jako útlum deštěm. Základem výpočtu je součin měrného útlumu (který se v případě oblaků udává vztažený na jeden gram kapalné vody na metr krychlový) a délky dráhy modifikované obsahem kapalné vody L_{red} [19].

$$A_C = \frac{L_{red} K_l}{\sin \theta} \quad [\text{dB}] \quad \text{pro elevace } 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ \quad (19)$$

kde θ je elevační úhel

K_l je měrný útlum oblaky vztažený na jeden gram kapalné vody na metr krychlový

L_{red} je sloupcový obsah kapalné vody místa družicového přijímače (kg/m², ekvivalent je mm), ITU-R jeho hodnoty pro statistické hladiny překročení 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 a 99 % průměrného roku publikuje ve formě digitálních map [19].

Měrný útlum se podle ITU-R počítá ze vztahu

$$K_l = \frac{0.819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad [(\text{dB/km})/(\text{g/m}^3)] \quad (20)$$

kde f je kmitočet [GHz],

ϵ' (ϵ'') je reálná (imaginární) permitivita oblačné vody

a η je pomocný parametr dle následujícího vztahu [19]:

$$\eta = \frac{2 + \varepsilon'}{\varepsilon''} \quad (21)$$

Imaginární část komplexní permitivity se vypočte podle vzorce

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{f_p [1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{f_s [1 + (f/f_s)^2]} \quad (22)$$

Reálná část komplexní permitivity se vypočte podle vzorce

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{[1 + (f/f_p)^2]} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{[1 + (f/f_s)^2]} + \varepsilon_2 \quad (23)$$

kde $\varepsilon_0 = 77,66 + 103,3 (\theta - 1)$

$$\varepsilon_1 = 0,0671\varepsilon_0$$

$$\varepsilon_2 = 3,52$$

$$\theta = \frac{300}{T}, \text{ kde } T \text{ je teplota vody (K).}$$

Další potřebné parametry se vypočtou z následujících rovnic:

$$f_p = 20,20 - 146 (\theta - 1) + 316 (\theta - 1)^2 \quad [\text{GHz}] \quad (24)$$

$$f_s = 39,8f_p \quad [\text{GHz}] \quad (25)$$

Při použití dat z Alphasat je možné pro sloupcový obsah kapalné vody místa družicového přijímače (kg/m^2 , ekvivalent je mm) L_{red} v závislosti na pravděpodobnosti převýšení P pro průměrný rok získat z tabelovaných hodnot pro celý svět v materiálech ITU-R následující tabulku (pro lokalitu ÚFA Spořilov):

Tabulka 7 Závislost množství obsahu kapalné vody a útlumu oblaky na pravděpodobnosti převýšení – lokalita Spořilov

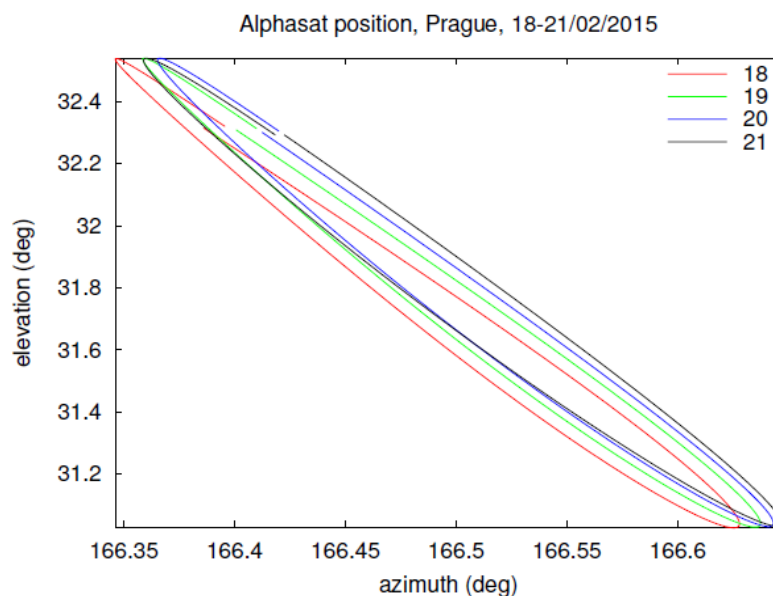
L_{red} [kg/m^2]	Pravděpodobnost převýšení [%]	A_C [dB] 19,701 GHz	A_C [dB] 39,402 GHz
0,446	10	0,196	0,750
0,672	5	0,295	1,130
0,856	3	0,376	1,439
1,194	1	0,524	2,008
1,387	0,5	0,609	2,332
1,517	0,3	0,666	2,551
1,7524	0,1	0,769	2,946

3.5 Separace atmosférického útlumu poklesu signálu vlivem polohy družice

Družice Aldo Paraboni Alphasat se z pohledu zeměpisného umístění nalézá na 23. poledníku, Česká republika se nalézá na 15. poledníku a 0. poledník (Greenwichský poledník) prochází Velkou Británií – Londýnem.

Při pohledu na pohyb družice z 23. poledníku, bude její pohyb vnímán jako posun nahoru a dolů, odborně se tomuto pohybu říká elevační (grafické znázornění je přímka).

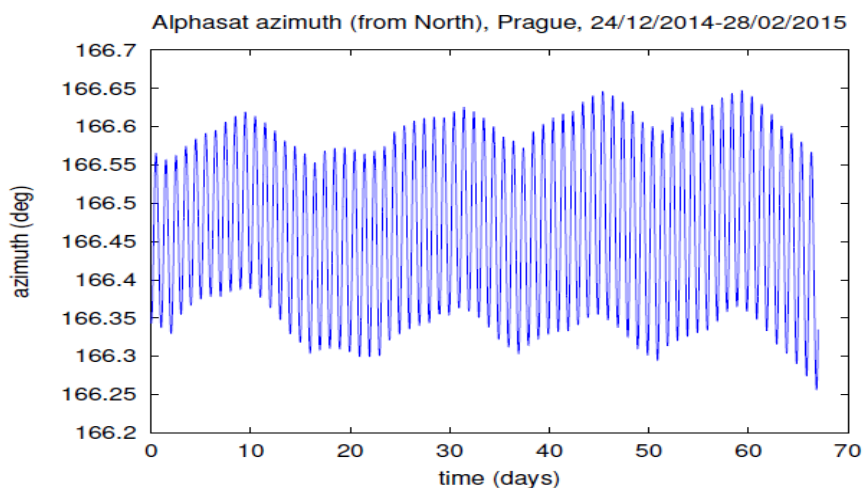
V případě pohledu z naší zeměpisné šířky a délky už nebude pohyb družice vnímán jen elevačně, ale její pohyb bude u nás vnímán jako eliptický (většinou elevační, ale zároveň v malé míře azimutální) viz následující obrázek.



Obrázek 9 Znázornění pohybu družice Alphasat – z pohledu lokality Praha-Spořilov [20]

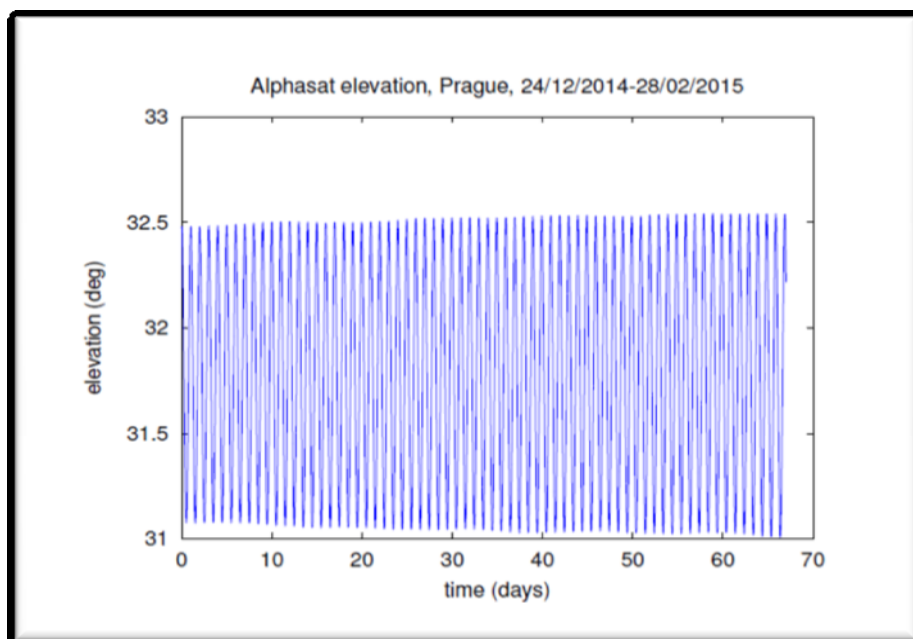
Na obrázku je v barevném provedení detailně znázorněn pohyb družice z pohledu zeměpisné polohy přijímače Alphasat v Ústavu fyziky atmosféry v Praze na Spořilově a zároveň je viditelná šíře azimutálního pohybu v tendencích 0,25 stupně.

Grafické znázornění pohybu azimutu v čase – ve dnech, měřítko pro azimut bylo mnohonásobně zvětšeno vůči měřítku elevačního pohybu, je patrný z následujícího obrázku (**Obrázek 10**). Pohyb je zaznamenán mezi dvěma měsíci – 24.12.2014 – 28.02.2015.



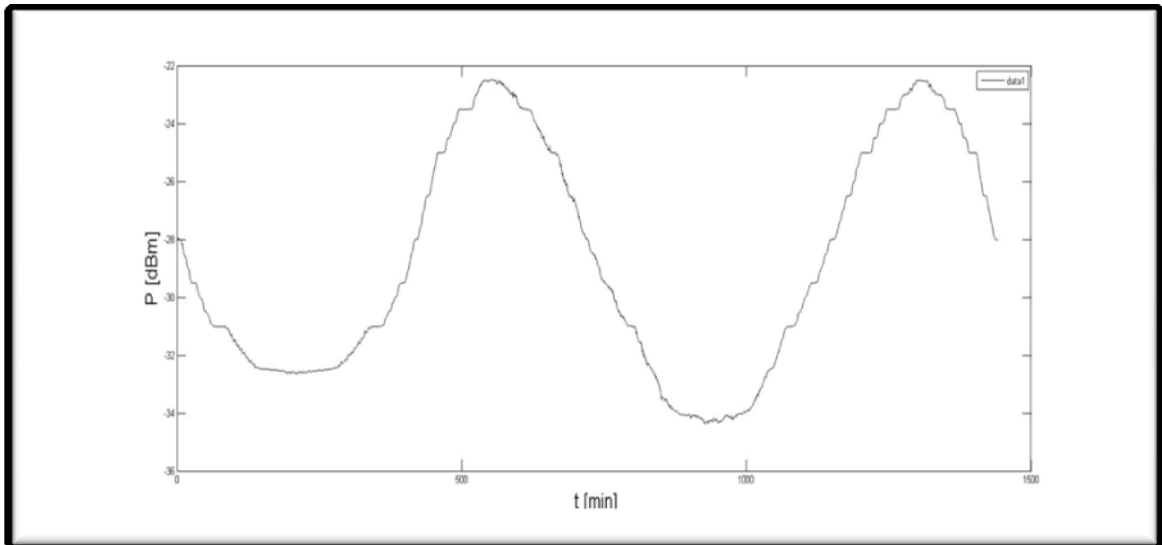
Obrázek 10 Pohyb azimutu – družice Alphasat (lokality Praha-Spořilov) [20]

Ve stejném rozmezí lze pozorovat elevační pohyb – viz Obrázek 11, elevační pohyb v rozmezí 1,5 stupně v časovém rozmezí 24. 12. 2014 do 28. 02. 2015.



Obrázek 11 Elevační pohyb – Alphasat (lokality Praha-Spořilov) [20]

Signál z družice za časovou jednotku 24 hodin = 1 den, v tomto případě bez deště i jiného atmosférického útlumu, v rámci grafického znázornění vytváří přibližně sinusovou/cosinusovou funkci. Přičemž úroveň přijatého signálu je vyjadřována v dBm (decibelech nad miliwattem) a čas t v minutách, naměřená data viz **Obrázek 12**.

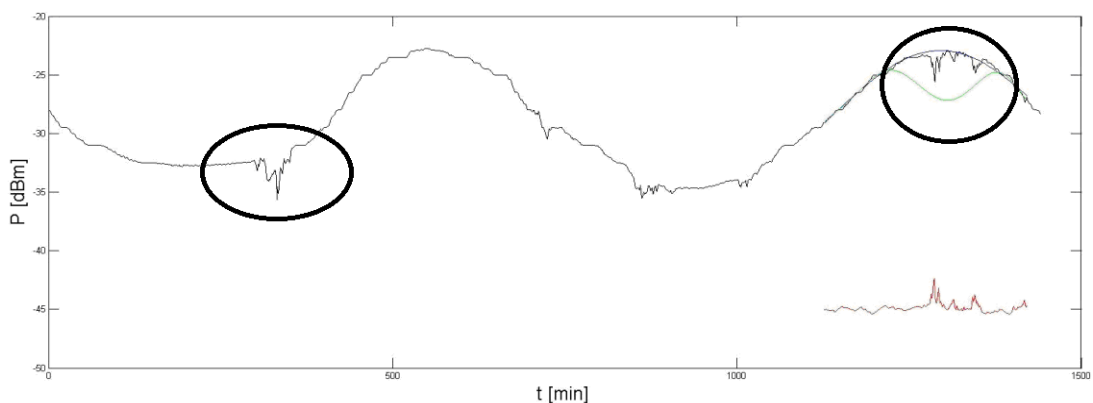


Obrázek 12 Záznam signálu z družice (bez atmosférických útlumů) za periodu 24 hodin

Tento obrázek nám znázorňuje stav za 24 hodin, ve kterých nebyl zaznamenán žádný atmosférický útlum. Z tohoto stavu jsem vycházela při snaze o co nejpřesnější extrakci případného atmosférického útlumu jiný den a zároveň v rámci diplomové práce při návrhu algoritmu pro extrakci možného atmosférického útlumu.

3.5.1 Metody extrakce hodnot atmosférického útlumu z družicových dat

Obrázek 13 znázorňuje denní průběh úrovně signálu, kdy došlo ke dvěma útlumovým událostem, které jsem označila výraznou elipsou. Průběhy vyznačené zeleně a modře v útlumu na pravé straně obrázku jsou vysvětleny v dalším textu. Červenou barvou je dole naznačen průběh atmosférického útlumu.

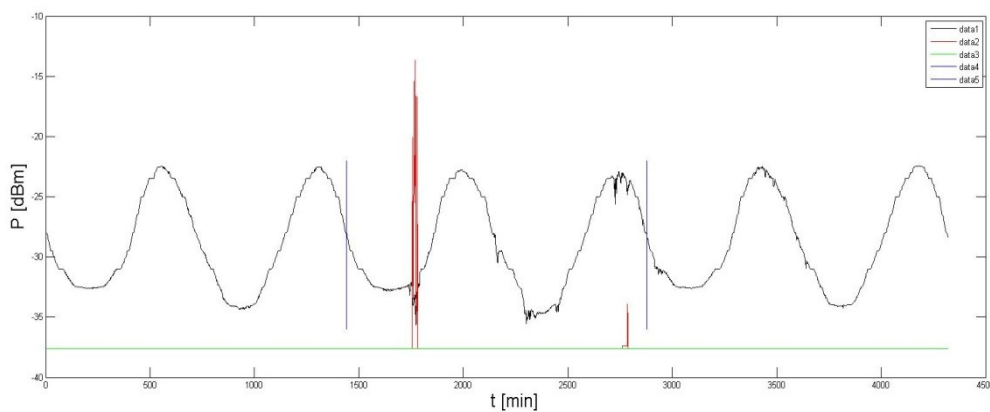


Obrázek 13 Záznam signálu z družice s atmosférickými útlumy

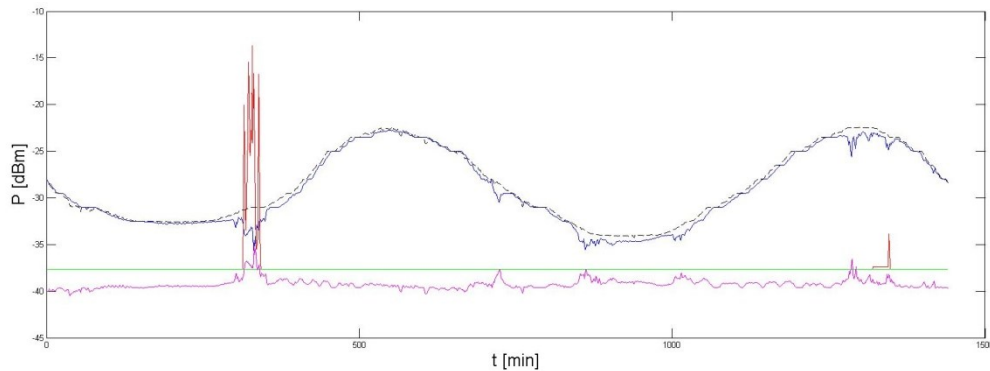
Metody

A) šablona z bezútlumových dní

Připravila jsem program "Prubeh" v Matlabu – program, který zobrazí z dat družicového signálu průběh úrovně signálu ve zvolený den a zároveň i průběh za den předchozí a i za následující - Obrázek 14. Pokud se ve zvolený den vyskytne viditelný "nepravidelný" pokles signálu a předchozí či následující den nikoliv, je možné vytvořit z předešlého či následujícího dne šablonu (výběr provádím "ručně" po zhlédnutí třídního průběhu). Rozdíl úrovně signálu daného dne a šablony nám udává hledaný atmosférický útlum, který pak program uloží do nové databanky atmosférických útlumů. Příklad – viz Obrázek 15, kromě šablony (čárkovaně) znázorňuje i intenzitu srážek a extrahovaný průběh atmosférického útlumu (fialová barva). Modrá barva označuje detailní záznam z našeho přijímače. Černá čárkovaná křivka znázorňuje ideální průběh úrovně signálu z předchozího dne – tedy tak jak to vypadá, když není žádná útlumová událost. Červená (zelená) barva orientačně znázorňuje intenzitu srážek z místa blízkého družicovému přijímači (pracoviště ČMI ve vzdálenosti 800m).



Obrázek 14 Záznam signálu z družice – bezútlumové dny i den se záznamem atmosférického útlumu



Obrázek 15 Extrahovaný průběh

Vzhledem k tomu, že v našich klimatických podmínkách bývají nejsilnějším zdrojem atmosférického útlumu signálu dešťové srážky, využívám možnosti záznamů (srážkoměrů), které registrují časový průběh intenzit srážek. Jeden srážkoměr je umístěn přímo u přijímače a druhý je umístěn o 800 metrů směrem k družici Alphasat – nachází se na pozemku Českého metrologického institutu v Praze 4. Pokud je na pravidelném záznamu úrovně signálu zaznamenám měřitelný pokles úrovně přijímaného signálu (atmosférický útlum), mohu jeho velikost orientačně porovnat se záznamy z obou srážkoměrů a získat tak vysokou pravděpodobnost, že se jedná o zaznamenaný útlum způsobený dešťovými srážkami. Útlum deštěm je totiž mezi atmosférickými útlumy dominantní. Pokud nastane případ, že náš přijímač zaznamená útlumovou událost a zařízení hydrometeorologického institutu nikoli, neznamená to v žádném případě poruchu, ba naopak. Jedná se o názorný důkaz toho, že srážky se mohou vyskytovat na několika místech současně či mohou být prostorově omezené a tudíž zaznamenané pouze v jedné lokalitě (jen jedním srážkoměrem).

B) Interpolační metody

Dalšími metodami, kterými je možné formulovat úroveň signálu družice bez dodatečného atmosférického útlumu, jsou interpolace úrovně signálu v časech, kdy dochází k atmosférickému útlumu. Musíme tedy sestavit křivku, která co nejlépe vystihuje časový průběh signálu, jaký by byl bez atmosférického útlumu. Při pohledu na Obrázek 13 se nabízí například funkce $\cosinus(t)$, popř. funkce $\sin(t)$.

B1) Aproximace funkcí cosinus

Aproximační funkci hypotetického bezútlumového průběhu jsem na základě tvaru průběhu hledala ve tvaru

$$S_1 \approx A \cos(B \cdot t + C) + D \quad (26)$$

kde A, B, C a D jsou body získané nelineární regresí

Postupovala jsem tak, že na grafu (vytvořeném mnou vyvinutým programem "Průběh") průběhu útlumu najdeme "hladké" oblasti bez zjevného poklesu úrovně (tedy bez atmosférického útlumu). Přeneseme korespondující dvojice bodů $y(i)$ a $X(i)$ (úroveň signálu v dBm a čas v minutách) do mnou vytvořeného dalšího programu "Interegrese", který s pomocí standardní funkce "nlinfit" vrátí regresí vypočítané parametry A, B, C, D , přičemž funkci ((26)) jsem vepsala do zvláštního Matlabovského podprogramu "funkce1":

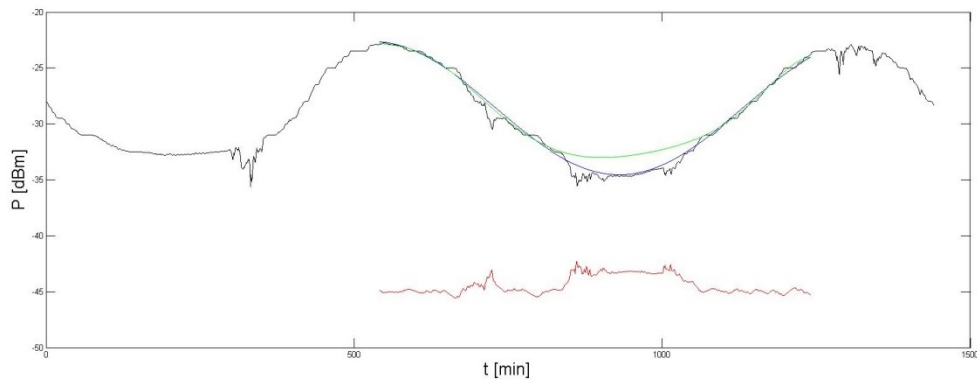
```
function [y] = funkce1(beta, X)
y = beta (1) .* cos((beta (2) * X(:) + beta (3))) + beta (4);
```

Potvrdilo se mi, že lineární interpolace je podle teorie nestabilní. Zjistila jsem, že je důležité nastavit správný (optimální) počáteční odhad parametrů A, B, C a D (v programu koeficientům A, B, C a D odpovídají prvky pole „beta“). Osvědčilo se mi zadat tyto počáteční parametry:

$A=4, B= \pi/300, C= - \pi/200, D= -26.$

Nicméně u tohoto způsobu počítání, vzhledem k tomu, že se jedná o nelineární regresní analýzu, která je nestabilní, je nutná i vizuální kontrola výsledků. Podle mých zkušeností nahrazování průběhu úrovně signálu s pomocí této modifikace funkce cosinus vyhoví minimálně v polovině zkoumaných případů.

Příklad odvození útlumu touto metodou znázorňuje Obrázek 16. Modrou barvou je znázorněna aproximace průběhu bezútlumového signálu z družice funkcí cosinus (rovnici ((26))). Dole je červeně znázorněn odpovídající průběh atmosférického útlumu.



Obrázek 16 Znáornění aproximace průběhu úrovně signálu bez atmosférického útlumu funkcí cosinus

B2) Aproximace polynomem

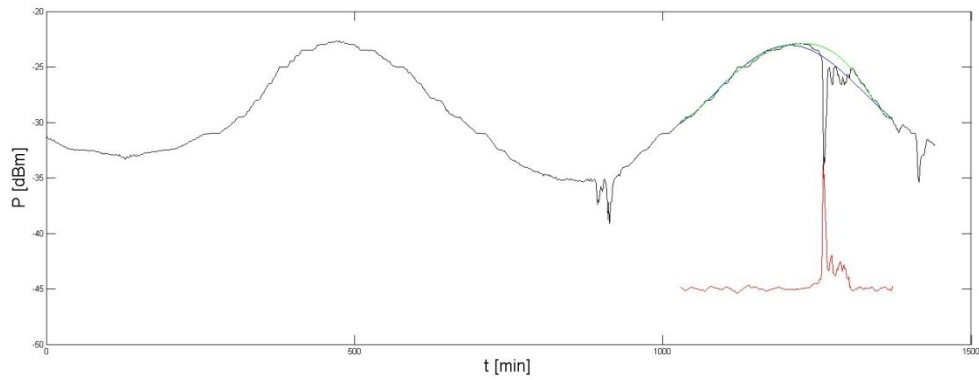
Pro aproximaci jsem zkusmo zvolila polynom 7. stupně

$$S_1 \approx a_7 \cdot t^7 + a_6 \cdot t^6 + \dots a_1 \cdot t^1 + a_0 \quad (27)$$

kde a_x označuje koeficient x -tého stupně polynomu

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, metoda náhrady bezútlumového průběhu s pomocí funkce cosinus nevyhovuje vždy, proto jsem se rozhodla zkusit nahradit část průběhu úrovně signálu bez útlumu polynomem n -tého stupně. Využila jsem standardní funkci v programu Matlab "polyfit." Stupeň polynomu byl zvolen 7, který je po ověření na vyšších stupních dostatečným (pro vyšší stupně jsou již koeficienty nulové). I zde je každopádně stále nutná vizuální kontrola aproximace polynomem, neboť v občasných případech dochází k tzv. zákmitům (příklad viz Obrázek 17).

Z naměřených dat vyplývá potřeba využívat obě aproximační funkce (cosinus i polynom). Rozhodnout se pro jednu z nich je potřeba na základě individuálního vizuálního posouzení grafu. Aproximace polynomem je zeleně naznačena i na předchozím obrázku. Je vidět, že zde není vhodná a aproximace funkcí cosinus je mnohem přesvědčivější. Naopak, na následujícím obrázku je na útlumové události vpravo vidět, že aproximace polynomem (zeleně) je vhodnější, než aproximace funkcí cosinus (modře), jejíž průběh dává nižší hodnoty úrovně signálu, než je skutečnost (černá barva).



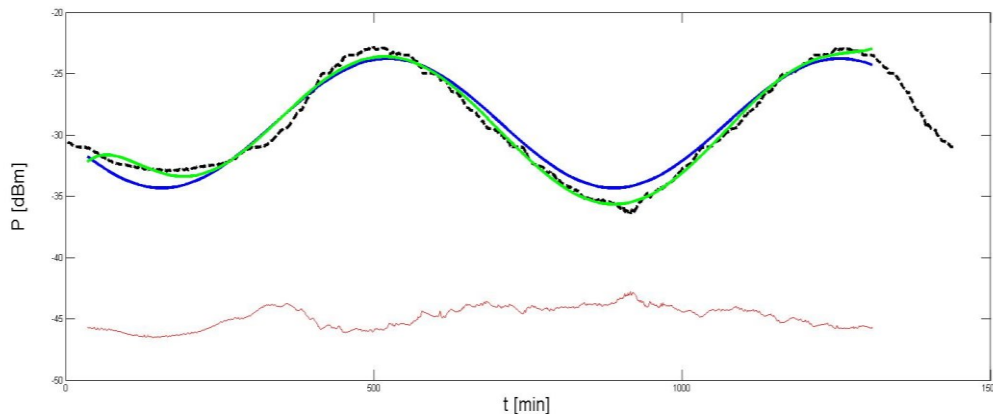
Obrázek 17 Aproximace úrovně signálu družice polynomem sedmého stupně

3.6 Dílčí závěr

Pomocí výše popsaných metod je možné extrahovat hodnoty atmosférického útlumu pro danou lokalitu. Danou lokalitu je možné kdykoliv pomocí zeměpisných souřadnic změnit a díky tomu odhadnout parametry útlumu v lokalitě, kde se předpokládá vybudování nových dopravních datových spojů.

4 VERIFIKACE A ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ ZAVEDENÍ METODIKY

V předchozích kapitolách byly detailně popsány způsoby zpracování družicových signálů s využitím družice Alphasat. Použití aproximace polynomem na reálných datech v rozmezí 24 hodin je patrná z následujícího obrázku (Obrázek 18)



Obrázek 18 Aproximace 24hodinových dat úrovně signálu (černě), polynomem (zeleně) a cosinem (modře)

Modrá barva znázorňuje přibližnou funkci cosinu, která simuluje pokles signálu pouze pohybem družice za 24 hodin, při ideálních atmosférických podmínkách – tedy bez jakéhokoli atmosférického útlumu. Černá barva nám znázorňuje skutečný, reálný obraz pohybu družice i s veškerými atmosférickými útlumy.

Daná aproximace polynomem v levé části grafu (zelená barva) ukazuje zákmity, ve středu a na konci obrázku je patrná dobrá shoda s reálnými daty. Z tohoto důvodu nelze tento typ aproximace doporučit pro použití na delší časové úseky.

I přes nedostatky v oblasti závislosti konkrétních dat na způsobu aproximace lze uvedenou metodu extrakce parametrů – atmosférického útlumu deštěm s úspěchem použít. Výhodou metody je fakt, že nepotřebuje žádná další zařízení ani složité numerické modely. Je třeba se vždy individuálně („ručně“) rozhodnout mezi aproximací polynomem nebo cosinem. Metoda je tak rychlá, jednoduchá a relativně spolehlivá. Na základě metody extrakce hodnot atmosférického útlumu z naměřených dat je možné stanovit optimální parametry nových přijímacích stanic, které tak budou přizpůsobeny přímo na danou lokalitu.

ZÁVĚR

V práci byla popsána problematika stavu mikrovlnných bezdrátových spojů z hlediska atmosférického útlumu se zaměřením na dopravní sféru – telekomunikace. Byly diskutovány hlavní problémy komunikace.

V rámci praktické části práce byla analyzována reálná data z přijímacích stanic instalovaných v Akademii věd ČR z družice Alphasat v kmitočtových pásmech 19 GHz a 39 GHz.

V prvním bodě byly využity vztahy pro výpočet jednotlivých složek atmosférického útlumu pomocí metodik formulovaných dle příslušných doporučené ITU-R. Metodiky jsou v práci popsány a původní zdrojové programy (kódy) jsou uvedeny v přílohách v jazyce MATLAB. Výsledky s použitím konkrétních meteorologických dat pro stanici ÚFA v Praze na Spořilově prokázaly, že největší složku atmosférického útlumu tvoří útlum deštěm, který je řádově vyšší než útlum vodní parou či oblaky. Obecně platí, a bylo potvrzeno, že atmosférický útlum roste s kmitočtem. Jsou však výjimky způsobené rezonančními atmosférickými jevy. To se potvrdilo v případě útlumu vodní parou, kdy v pásmu 19 GHz byl vypočtený útlum překvapivě vyšší než v pásmu 39 GHz. Na kmitočtu 22,4 GHz nastává totiž rezonance vodní páry, a proto útlumy blízké tomuto kmitočtu jsou vyšší, než jinak očekávané s kmitočtem monotonně rostoucí hodnoty útlumu vodní parou.

Tabulka 8 Porovnání útlumu deštěm, vodní parou a mraky – metodika ITU-R

Pravděpodobnost převýšení [%]	A_R [dB]	A_R [dB]	A_W [dB]	A_W [dB]	A_C [dB]	A_C [dB]
	19,701 GHz	39,402 GHz	19,701 GHz	39,402 GHz	19,701 GHz	39,402 GHz
10	4,5	15,8	0,441	0,093	0,196	0,750
5	---	---	0,494	0,104	0,295	1,130
3	---	---	0,526	0,111	0,376	1,439
1	11,8	40,9	0,585	0,123	0,524	2,008
0,5	---	---	0,618	0,130	0,609	2,332
0,3	---	---	0,633	0,133	0,666	2,551
0,1	25,4	74,2	0,674	0,142	0,769	2,946

Dále byla prezentována nová původní metoda extrakce velikosti atmosférického útlumu z dat naměřených při různé prostorové poloze družice. Změna polohy družice totiž

způsobuje kolísání přijatého výkonu přijímačem na Zemi. Tato metoda umožňuje díky znalosti minimálního množství dat relativně přesně určit velikosti atmosférického útlumu v libovolné lokalitě. Pro extrakci bylo využito aproximace časového průběhu kolísání úrovně přijímaného signálu z družice cosinusoidou nebo polynomem sedmého stupně. Rozdíl reálného signálu a výše zmíněné aproximace je pak hledaný atmosférický útlum. V práci je uvedeno několik příkladů extrakce atmosférického útlumu ze záznamu úrovně signálu z družice.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Overview ARTES 8 Alhabus/Alphasat | ESA Telecommunications. *ESA Telecommunications* [online]. 2013 [cit. 2015-07-18]. Dostupné z: <https://artes.esa.int/artes-8/overview>
- [2] Telefon. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2015-07-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Telefon>
- [3] ČESKO. Zákon 239 ze dne 28. června 2000 o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 73, s.3461-3474. Dostupný také z <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/sb073-00.pdf>. ISSN 1211-1244.
- [4] FIŠER, Ondřej. *Interakce elektromagnetického pole s dešťovým prostředím se zřetelem na predikci útlumu deštěm na družicových spojích*. Praha, 1986. Disertační práce. ČVUT v Praze, FEL.
- [5] NEIL, B., V. BOROVKOV a O. RODRIGUEZ. Intersputnik: current status and future prospects. In: *Proceedings of The 2nd International Conference on Satellite Communications*. IEEE, 1996, s. 21-23. DOI: 10.1109/ICSC.1996.865344. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=865344>
- [6] Středisko družicových spojů u Měšetic - město Sedlec-Prčice. *Město Sedlec-Prčice* [online]. [cit. 2015-07-10]. Dostupné z: <http://www.sedlec-prcice.cz/text/cz/stredisko-druzicovych-spoju-u-mesetic/>
- [7] International Telecommunications Satellite Organization. *International Telecommunications Satellite Organization* [online]. 2015 [cit. 2015-07-21]. Dostupné z: www.itso.int
- [8] *EUTELSAT igo* [online]. 2015 [cit. 2015-07-21]. Dostupné z: www.eutelsatigo.int
- [9] *Intersputnik* [online]. 2015 [cit. 2015-07-21]. Dostupné z: <http://www.intersputnik.com/>
- [10] Telstar 1: Družice, která změnila svět. Díky ní existuje přenos televizního kanálu mezi kontinenty. *National Geographic Česko* [online]. 2012 [cit. 2015-07-18]. Dostupné z: <http://www.national-geographic.cz/clanky/telstar-1-druzice-ktera-zmenila-svet-diky-ni-existuje-prenos-televizniho-kanalu-mezi-kontinenty.html>
- [11] Družice Ranní ptáče před 50 lety započala komerční využívání vesmíru | Věda | Lidovky.cz. *Lidovky* [online]. 2015 [cit. 2015-07-21]. Dostupné z: http://relax.lidovky.cz/druzice-ranni-ptace-pred-50-lety-zapocala-komercni-vyuzivani-vesmiru-1id/-veda.aspx?c=A150404_213220_ln_veda_ele

- [12] PEK, Viktor. *Výzkum šíření satelitního signálu v pásmu Ka a Q v rámci experimentu Aldo Paraboni Alphasat*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [13] P.839 : Rain height model for prediction methods. *ITU: Committed to connecting the world* [online]. 2013 [cit. 2015-08-19]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.839-4-201309-I/en>
- [14] FIŠER, Ondřej. Přednášky z předmětu Šíření signálu v mobilních komunikacích. 2014 [cit. 2015-07-21].
- [15] P.838 : Specific attenuation model for rain for use in prediction methods. *ITU: Committed to connecting the world* [online]. 2013 [cit. 2015-08-19]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.838-3-200503-I/en>
- [16] P.618 : Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. *ITU: Committed to connecting the world* [online]. 2013 [cit. 2015-08-19]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.618/en>
- [17] YAMADA, M., Y. KARASAWA, M. YASUNAGA a B. ARBESSER-RASTBURG. An improved prediction method for rain attenuation in satellite communications operating at 10-20 GHz. *Radio Science* [online]. 1987, **22**(6): 1053-1062 [cit. 2015-07-21]. DOI: 10.1029/RS022i006p01053. ISSN 00486604. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1029/RS022i006p01053>
- [18] CCIR Handbook on satellite communications (fixed-satellite service). *International Journal of Satellite Communications* [online]. 1986, **4**(1): 59-59 [cit. 2015-07-21]. DOI: 10.1002/sat.4600040107. ISSN 07372884. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/sat.4600040107>
- [19] P.840 : Attenuation due to clouds and fog. *ITU: Committed to connecting the world* [online]. 2013 [cit. 2015-08-19]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.840/en>
- [20] GRABNER, Martin. ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT. *Analysis of orbital parameters of Alphasat Aldo satellite*. Praha, 2015.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Parametry majákového signálu pro svazek Ka a Q [12].....	23
Tabulka 2 Parametry potřebné pro výpočet koeficientů k_H , k_V , α_H , α_V – extrahováno z [15].....	28
Tabulka 3 Hodnoty koeficientů pro útlum deštěm (dB/km).....	30
Tabulka 4 Celkový útlum deštěm – porovnání modelů; přijímač 19,701 GHz.....	33
Tabulka 5 Celkový útlum deštěm – porovnání modelů; přijímač 39,401 GHz.....	33
Tabulka 6 Závislost množství vodní páry a útlumu na pravděpodobnosti převýšení – lokalita Spořilov.....	35
Tabulka 7 Závislost množství obsahu kapalné vody na pravděpodobnosti převýšení – lokalita Spořilov.....	36
Tabulka 8 Porovnání útlumu deštěm, vodní parou a mraky – metodika ITU-R.....	46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Švédský telefon pro manuální ústředny (1896) [2].....	9
Obrázek 2 Středisko družicových spojů Sedlec – Prčice [6].....	13
Obrázek 3 Parabolická anténa, Středisko družicových spojů.....	13
Obrázek 4 Družice Telstar 1 [10]	20
Obrázek 5 Družice INTELSTAT 1 [11].....	21
Obrázek 6 Přijímače signálu z družice Alphasat	22
Obrázek 7 Mapa výšek nulové izotermy [14]	27
Obrázek 8 Grafické znázornění průchodu družicového spoje deštěm [12], D je dráha spoje, B je výška deště, C je dešťová oblast	27
Obrázek 9 Znázornění pohybu družice Alphasat – z pohledu lokality Praha-Spořilov [20]...37	37
Obrázek 10 Pohyb azimutu – družice Alphasat (lokality Praha-Spořilov) [20].....	38
Obrázek 11 Elevační pohyb – Alphasat (lokality Praha-Spořilov) [20].....	38
Obrázek 12 Záznam signálu z družice (bez atmosférických útlumů) za periodu 24 hodin	39
Obrázek 13 Záznam signálu z družice s atmosférickými útlumy.....	39
Obrázek 14 Záznam signálu z družice – bezútlumové dny i den se záznamem atmosférického útlumu	40
Obrázek 15 Extrahovaný průběh	41
Obrázek 16 Znázornění aproximace průběhu úrovně signálu bez atmosférického útlumu funkcí cosinus	43
Obrázek 17 Aproximace úrovně signálu družice polynomem sedmého stupně.....	44
Obrázek 18 Aproximace 24hodinových dat úrovně signálu (černě), polynomem (zeleně) a cosinem (modře)	45

SEZNAM ZKRATEK

AV ČR	Akademie věd České republiky
CCIF	Mezinárodní poradní sbor pro telefon
CCIT	Mezinárodní poradní sbor pro telegraf
CEPT	Evropská konference poštovních a telekomunikačních správ
ČMI	Český metrologický institut
GPS	Global Positioning System
ITU	Mezinárodní telekomunikační unie
ITU- R	Mezinárodní telekomunikační unie – sekce Radiokomunikace
LCO	Life Connectivity Obligation
LWS	Obsah tekuté vody v atmosféře
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
PCM	Pulse-code modulation, modulační metoda
PSA	Dohoda o veřejné službě
TDM	Time division multiplex, multiplex s časovým dělením
ÚFA	Ústav fyziky atmosféry
VÚS	Výzkumný ústav spojů

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A** – Program na zobrazení útlumu dle data
- Příloha B** – Program na výpočet útlumu vodní párou
- Příloha C** – Aproximace polynomem, aproximace cosinem – zápis v programovacím jazyku „Matlab“

Příloha A Program na zobrazení útlumu dle data

```
clear; clc;
close all;
load Databaze_20150616.mat
% indexy pole 1.5.2015 0.00 je 110880
% a 1.5.2015 v 24.00 je index 112320
% a 2.5. v 0.00 tentyz index 112320 ..atd
% rozdil, cili pocet minut za 24h je 1440

% dej datum v kvetnu
D=6;
M=+1; % M=-1 predesly den, +1 nasledujici den
tpoc=110880-1440+D*1440;
tkon=tpoc+1440;
% +/- den
tpocm=tpoc-1440;
tkonp=tpoc+2*1440;
pole=tkonp-tpocm+1;
tt1(1:pole)=t(tpocm:tkonp);
rr1(1:pole)=rr(tpocm:tkonp);
rr1_CMI(1:pole)=rr_CMI(tpocm:tkonp);

s1s13=s1(tpocm:tkonp); mini=min(s1s13)-2;
for i=1:pole
    tt(i)=(tt1(i)-tt1(1))*(24*60);
end

plot(tt,s1s13,'k');
hold on;
rrr=rr(tpocm:tkonp);
plot(tt,rrr+mini,'r');
hold on;
rrr_CMI=rr_CMI(tpocm:tkonp); %-mini;
plot(tt,rrr_CMI+mini,'g');
hold on;
plot([1440 1440],[-22 -36],'b');
plot([2880 2880],[-22 -36],'b');
% a ted deste
hold off;

% konec

clear tt1;
clear tt;

tt1(1:1441)=t(tpoc:tkon);
for i=1:1441
    tt(i)=(tt1(i)-tt1(1))*(24*60); end
s1s1=s1(tpoc:tkon);
figure;
plot(tt,s1s1);
hold on;
rrrr=rr(tpoc:tkon);
plot(tt,rrrr+mini,'r');
hold on;
rrrr_CMI=rr_CMI(tpoc:tkon);
```

```

plot(tt,rrrr_CMI+mini,'g');

% plot((tt.-tpoc)*24,rr_CMI(tpoc:tkon),'r');

% plot((t(110880:112320)-t(110880))*24,rr(110880:112320)-36,'r');
% hold on;
% plot((t(110880:112320)-t(110880))*24,rr_CMI(110880:112320)-36,'g');

%%%%%%%%%%%%%% prubeh s1 den predem

if(M==-1)
hold on;
plot((t(tpocm:(tpocm+1441))-
t(tpocm))*24*60,s1(tpocm:(tpocm+1441)),'k--');
% vypocty utlumu
A(1:1441) = s1(tpocm:(tpocm+1440))-s1s1(1:1441); %=s1(tpoc:tkon);
hold on;

plot((t((tkonp-1440):tkonp)-t(tkonp-1441))*24*60,A(1:1441)+mini-
2,'m');
end

% ***** prubeh nasl. den
if(M==1)
hold on;
plot((t((tkonp-1441):tkonp)-t(tkonp-1441))*24*60,s1((tkonp-
1441):tkonp),'k--');

% vypocty utlumu
A(1:1441) = s1((tkonp-1440):tkonp)-s1s1(1:1441); %=s1(tpoc:tkon);
hold on;

plot((t((tkonp-1440):tkonp)-t(tkonp-1441))*24*60,A(1:1441)+mini-
2,'m');

end

% plot(
((t(tkonp-1441):tkonp)-pos)*24*60,s1( (tkonp-
1441):t(tkonp)),'k--');

% ((110880-1440):(112320-1440)),'k--');

% plot(t(110880:112320),s2(110880:112320));
% figure
% plot(t(110880:112320),s1(110880:112320));
% figure
% plot(t(110880:112320),rr(110880:112320));
% figure
% plot(t(110880:112320),rr_cmi(110880:112320));
%
%
% plot(t(110880:112320),rr_CMI(110880:112320));
% t(112320)- t(110880)

aaa=0;

```


Příloha B Program na výpočet útlumu vodní párou

```
clear all;

% Okamzity merny utlum na 1 g
t=15;
f=19.701;
p=1023.15; % standardni tlak v hPa 800 az 1100
ro=7.5;
ptot=1000; % dle DR jde o normalni tlak dole na Zemi

%Pomocne parametry
% rp=ptot/1013; % ptot je "total air pressure"
% rt=288/(273+t);
%
% e1=etal(rp,rt,ro);
% A1=((3.98*e1*exp(2.23*(1-rt)))*g(f,22))/(9.42*e1*e1+(f-22.235)^2);
% A2=(11.96*e1*exp(0.7*(1-rt)))/(11.14*e1*e1+(f-183.31)^2);
% gvw=(A1+A2)*0.0001*f*f*ro*rt^2.5;

alf=mu(f,t,p,ptot,ro); % merny utlum, jen pro zajimavost dB/km

% STATISTIKA ERKKI
% V=40; STARE % doplnit z dat v gridovane tab pro dane
% procento prevyseni a pro Prahu
V=[25.519
28.566
30.421
33.819
35.694
36.617
38.962];

tref=3+14*log(0.22*V/4);
rovref=V/4;
horni=mu(f,tref',p,ptot,rovref');
dolni=mu(20.6,tref,p,ptot,rovref);

u1=0.0173*horni/dolni; u=V*u1;
% 10 procent
% 5 procent
% 3 procenta
% 1 procento
% 0,5 procent
% 0,3 procento
% 0,1 procento

utlum=[ 19
3.05 % dB/km merny 22.4 GHz je maximum utlumu vodni pary
0.3019
0.3379
0.3599
0.4001
0.4223
0.4332
0.4609
39
```

```
0.92 % dB/km merny
0.3019
0.3379
0.3599
0.4001
0.4223
0.4332
0.4609
];
aaa=0;
% a=4; b=5; w=g(a,b);   funguje volani ppgm
```

Příloha C Aproximace polynomem, aproximace cosinem – zápis v programovacím jazyku „Matlab“

```
clear; clc;
close all;
load Database_20150616.mat
% indexy pole 1.5.2015 0.00 je 110880
% a 1.5.2015 v 24.00 je index 112320
% a 2.5. v 0.00 tentyz index 112320 ..atd
% rozdil, cili pocet minut za 24h je 1440

% cos regrese

% dej datum v kvetnu
D=15;
M=-1; % M=-1 predesly den, +1 nasledujici den
stopa=0; % 1 pro polynom....0 pro cosinus
tpoc=110880-1440+D*1440;
tkon=tpoc+1440;
% +/- den
tpocm=tpoc-1440;
tkonp=tpoc+2*1440;
pole=tkonp-tpocm+1;
ttl(1:pole)=t(tpocm:tkonp);
rr1(1:pole)=rr(tpocm:tkonp);
rr1_CMI(1:pole)=rr_CMI(tpocm:tkonp);

s1s13=s1(tpocm:tkonp); mini=min(s1s13)-2;
for i=1:pole
    tt(i)=(ttl(i)-ttl(1))*(24*60);

end

plot(tt,s1s13,'k');
hold on;
rrr=rr(tpocm:tkonp);
plot(tt,rrr+mini,'r');
hold on;
rrr_CMI=rr_CMI(tpocm:tkonp); %-mini;
plot(tt,rrr_CMI+mini,'g');
hold on;
plot([1440 1440],[-22 -36],'b');
plot([2880 2880],[-22 -36],'b');
% a ted deste
hold off;

% konec

clear ttl;
clear tt;

ttl(1:1441)=t(tpoc:tkon);
for i=1:1441
    tt(i)=(ttl(i)-ttl(1))*(24*60); end
s1s1=s1(tpoc:tkon);
figure;
plot(tt,s1s1);
```

```

hold on;
rrrr=rr(tpoc:tkon);
plot(tt,rrrr+mini,'r');
hold on;
rrrr_CMI=rr_CMI(tpoc:tkon);
plot(tt,rrrr_CMI+mini,'g');

% plot((tt.-tpoc)*24,rr_CMI(tpoc:tkon),'r');

% plot((t(110880:112320)-t(110880))*24,rr(110880:112320)-36,'r');
% hold on;
% plot((t(110880:112320)-t(110880))*24,rr_CMI(110880:112320)-36,'g');

%%%%%%%%%%%%%% prubeh s1 den predem

if(M==-1)
hold on;
plot((t(tpocm:(tpocm+1441))-
t(tpocm))*24*60,s1(tpocm:(tpocm+1441)),'k--');
% vypocty utlumu
A(1:1441) = s1(tpocm:(tpocm+1440))- s1s1(1:1441); %=s1(tpoc:tkon);
hold on;

plot((t((tkonp-1440):tkonp)-t(tkonp-1441))*24*60,A(1:1441)+mini-
2,'m');

end

% ***** prubeh nasl. den
if(M==1)
hold on;
plot((t((tkonp-1441):tkonp)-t(tkonp-1441))*24*60,s1((tkonp-
1441):tkonp),'k--');

% vypocty utlumu
A(1:1441) = s1((tkonp-1440):tkonp)- s1s1(1:1441); %=s1(tpoc:tkon);
hold on;

plot((t((tkonp-1440):tkonp)-t(tkonp-1441))*24*60,A(1:1441)+mini-
2,'m');
a23=1;
end

```