

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Popis atmosféry z hlediska šíření optického i radiového
signálu

Martin Dlask

Bakalářská práce
2011

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin DLASK**
Osobní číslo: **I07409**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Popis atmosféry z hlediska šíření optického i radiového signálu.**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Vyberte významné parametry atmosféry, které ovlivňují útlum a trajektorii optických bezkabelových spojů i radiového spoje. Zaměřte se především na index lomu a jeho profil i na strukturní index atmosféry. Najděte jejich vztah k útlumu a výsledky pokud možno ověřte experimentem např. na Milešově.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Vladimír Brázda, "Vliv mlhy na útlum optických bezdrátových spojů"
FEI UPCE-bakalářská práce 2009

Ondřej Fišer, "Interakce elektromagnetického pole s dešťovým prostředím se zřetelem na predikci útlumu na družicových spojích." Kandidátská disertační práce, ČVUT-FEL, 1986

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

Datum zadání bakalářské práce: **16. prosince 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2011**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2011

Prohlášení autora

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 5. 8. 2011

Martin Dlask

Poděkování

Zde bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Ondřeji Fišerovi, Csc., za jeho odborné vedení, přístup, rady, pomoc při řešení problémů a také za jeho čas, který mi přes jeho nabitý program byl ochoten věnovat. Dále bych chtěl poděkovat kolegovi Ing. Vladimíru Brázdovi, který mě zasvětil do problému s danou tematikou a byl mi ochoten kdykoliv a cokoliv vysvětlit. V neposlední řadě nesmím zapomenout na pomoc od Ing. Martina Hájka, který byl ochoten nám pomoci řešit problém s poškozeným převáděcím souborem pro data, aby je bylo možné vidět v podobě jiné než dvojkové.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá optickým bezkabelovým spojem a problémem vlivu atmosférických jevů (především větru) na útlum optického bezkabelového spoje. Dále jsou v této práci statisticky zpracovány výsledky měření atmosférických jevů na útlum optického bezkabelového spoje na experimentálním spoji nainstalovaným v Praze.

Klíčová slova

Optický bezkabelový spoj, turbulentní energie, rychlost větru, sonická teplota, útlum.

Title

Description of the atmosphere from the spread of optical and radio signal..

Annotation

This bachelor work deals with free space optics communications and challenge the influence of atmospheric phenomena (especially wind) on the signal attenuation. Furthermore, in this work statistically processed results of measurements of atmospheric phenomena on the attenuation of the optical connections on the experimental free space optics installed in Prague.

Keywords

Free space optics, turbulent energy, wind speed, sonic temperature, attenuation

Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Optický bezkabelový spoj	13
2.1 Výhody OBS	14
2.2 Nevýhody OBS.....	15
3 Účinky atmosféry na OBS	16
4 Turbulence a vítr	18
4.1 Vliv turbulencí větru na OBS	18
4.2 Vítr.....	18
4.3 Charakteristika proudění.....	19
4.3.1 Laminární proudění	20
4.3.2 Turbulentní proudění	20
4.3.3 Potenciálové proudění	21
4.3.4 Skutečné proudění v atmosféře.....	21
4.3.5 Vliv terénu na deformaci proudění.....	22
4.3.6 Vliv překážek na proudění.....	22
5 Strukturní index lomu	23
5.1 Strukturní index lomu.....	23
5.2 Sonický anemometr	24
5.2.1 3D sonický Anemometr Metek USA-1	24
6 Řešený optický spoj v Praze	25
7 Popis dat z měřicího pracoviště v Praze	27
7.1 Surová data	27
7.2 Upravená data	28
7.2.1 Větrná data.....	28
7.2.2 Útlumová data	30
8 Výsledky	30
9 Závěr	47
Literatura	49

Příloha A – Popis přílohy	50
Příloha B – Zdrojový kód souboru snaduzkorelace.m.....	51

Seznam zkratek

APD	Lavinová fotodioda
ČMI	Český metrologický institut
ET	Turbulentní energie
IRED	Infračervená luminiscenční dioda
I2D	Intenzita turbulence ve 2D
I3D	Intenzita turbulence ve 3D
LD	Laserová dioda
Max	Maximum
Med	Medián
Min	Minimum
OBS	Optický bezkabelový spoj
P	Korelace typu Pearson
S	Korelace typu Spearman
Sm.od.	Směrodatná odchylka
Stř.hod	Střední hodnota
Teplota	Sonická teplota
u_std	Směrodatná odchylka u složky větru
ÚFA AV ČR	Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR, v.v.i
v_std	Směrodatná odchylka v složky větru
w_std	Směrodatná odchylka w složky větru

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Hybridní spoj	14
Obrázek 2 - Snellův zákon.....	17
Obrázek 3 - Vysílač OBS	17
Obrázek 4 - Větrná růžice.....	19
Obrázek 5 - Laminární proudění	20
Obrázek 6 - Turbulentní proudění	21
Obrázek 7 - Sonický anemometr nainstalovaný v ÚFA AV ČR.....	24
Obrázek 8 - Satelitní pohled na údolí v Praze, kde je nainstalovaný OBS.....	25
Obrázek 9 - Distrometr a sonický anemometr nainstalovaný v Praze.....	26
Obrázek 10 - Velikost korelací parametrů větru s útlumem v říjnu 2010.....	32
Obrázek 11 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v listopadu 2010	33
Obrázek 12 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v září 2010.....	34
Obrázek 13 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v květnu 2011	35
Obrázek 14 – Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v červnu 2011.....	37
Obrázek 15 – Vliv sonické teploty na útlum v květnu 2011	37
Obrázek 16 – Velikost korelací ET s útlumem pomocí P a S korelací v květnu 2011	40
Obrázek 17 – Bodový graf P a S korelace ET s útlumem v květnu 2011	41
Obrázek 18 – Korelace sonické teploty s útlumem v květnu 2011	41
Obrázek 19 – Bodový graf závislosti korelace sonické teploty s útlumem v květnu 2011.	42
Obrázek 20 – Bodový graf P a S korelace sonické teploty s útlumem v červnu 2011.....	43
Obrázek 21 – Vliv turbulentní energie na útlum v červnu 2011	44
Obrázek 22 – Velikost korelace sonické teploty s útlumem v červnu 2011	44
Obrázek 23 – Průměrovaný bodový graf závislosti útlum-turbulentní energie.....	45
Obrázek 24 – Průměrovaný bodový graf závislosti sonická teplota - útlum.....	46

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení světla podle vlnové délky.....	13
Tabulka 2 - Tabulka zkratk a vysvětlivek ke korelacím.....	30
Tabulka 3 - Tabulka korelací větrných parametrů s útlumem v říjnu 2010.....	31
Tabulka 4 - Tabulka korelací větrných parametrů s útlumem v listopadu 2010.....	32
Tabulka 5 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v září 2010.....	33
Tabulka 6 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v části května 2010.....	35
Tabulka 7 – Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v červnu 2011.....	36
Tabulka 8 – Velikost korelací ET a sonické teploty s útlumem v květnu 2011.....	39
Tabulka 9 – Velikost korelací ET a sonické teploty s útlumem v červnu 2011.....	43

1 Úvod

V dnešní době používáme optické spoje, kvůli jejich velkým přenosovým kapacitám. Optické spoje se dají rozdělit na dvě skupiny, dle typu přenosové cesty. Jsou vedeny pomocí bezdrátového spojení nebo kabelem.

Ve své bakalářské práci jsem se měl zabývat optickým bezkabelovým spojením (OBS), který je používán jako náhrada v místech, kde je použití optického kabelového spoje nákladné nebo dokonce i nemožné. OBS je spoj, který jako přenosové médium používá úzký světelný paprsek – tzv. svazek, který se šíří ve volné atmosféře. OBS jde použít i jako článek v síti optických kabelových spojů tam, kde je z jakýchkoliv důvodů není možné vést signál kabelem.

Dále se zabývám atmosférickými jevy, které různými způsoby ovlivňují útlum signálu na optickém a radiovém spoji. Toho se využívá zejména při konstrukci hybridních systémů, na kterém je kombinován radiový a optický spoj. V tomto případě bude vždy v činnosti pouze jeden systém a to ten, který má v daný časový okamžik menší útlum.

Pro praktickou část výzkumu na OBS jsem použil data, z ČMI a ÚFA AV ČR v Praze, kde se nachází spoj dlouhý 853m na nezastíněném terénu překážkou. OBS pracuje na vlnové délce 850 nm, vysílací výkon je 16dBm, divergenční úhel je 9mrad, optická apertura 512cm², rezerva na únik je cca 17dB, elevační úhel z ÚFA AV ČR na ČMI je 2,2° a výškový rozdíl je 33m.

2 Optický bezkabelový spoj

Dosah OBS byl dříve pár set metrů a ještě ne zcela stabilní, ale dnes již zvládají bez problému kilometrové i větší vzdálenosti. Je tvořen vysílačem a přijímačem. Jako vysílač se mohou používat laserové diody (LD) nebo elektroluminiscenční diody (IRED). V přijímači je buďto fotodiody typu PIN nebo lavinová fotodiody (APD). Princip spočívá v tom, že vysílač vyšle signál namodulovaný na optickou nosnou vlnu a na přijímači tuto vlnu zpracujeme. Modulace se může provádět v optickém modulátoru nebo pro polovodičové prvky přímo a to tak, že se zvýší nebo sníží budící proud diody. Vysílá se v pásmu 850nm, 1060 nm nebo 1550 nm (Tabulka 1)[2][9], ale provádí se experimenty i na jiných vlnových délkách. V tabulce jsou tučně zvýrazněny hodnoty, na kterých se vysílá. OBS vysílá v infračerveném spektru a není okem viditelný, proto právě je nebezpečný v přímém kontaktu s okem může dojít k dočasné i trvalé poruše zraku, dokonce i oslepnutí.

Tabulka 1 - Rozdělení světla podle vlnové délky

Oblast záření	Pásmo	Vlnová délka	Kmitočet [THz]
Ultrafialové	1	100-280 nm	2998-1071
	2	208-315 nm	1071-952
	3	315-380 nm	952-789
Viditelné světlo	4	380-780 nm	789-384
Infračervené	5	780-1430 nm	384-214
	6	1,4-3 μm	214-100
	7	3μm-1mm	100-0,3

Pro větší spolehlivost se používá hybridní spojení (Obrázek 1), kde při výpadku optické části je spoj záložně spojen pomocí radiového spoje. Moderní radiové spoje pracují na frekvenci přes 50GHz a dosahují až rychlostí 10Gbit/s. Takovéto hybridní spoje zaručují využití výhod obou systémů pro zvýšení kvality, efektivity, stability a pohotovosti spoje. Radiový spoj není rušen mlhou a OBS není tak náchylný na silný déšť [4].



Obrázek 1 - Hybridní spoj

Spolehlivost (dostupnost) spoje je definována vztahem (2.1) .

$$P_{av} = \frac{T - T_{un}}{T} = \frac{T - \sum \tau_i}{T} * 100[\%] \quad (2.1)$$

Kde τ_i jsou časové úseky během kterých došlo k jednotlivým výpadkům po dobu dostatečně dlouhé periody [9].

T je doba, po kterou sledujeme výpadky

T_{un} – doba výpadku

2.1 Výhody OBS

Mezi největší výhody OBS patří:

- Nelicencované – doposud není potřeba povolení k provozování OBS.
- Bezpečnost dat – díky úzkému paprsku je téměř nemožné signál odposlouchávat. Odposlech by musel být v dráze paprsku a to by bylo dobře poznat.
- Pracují v rozsahu optických vlnových délek, tím pádem nedochází k žádnému znečišťování životního prostředí vyzařováním elektromagnetické energie.
- Potenciál OBS je v šířce přenosu pásma odpovídající s optickým vláknem a proto se mohou stát článkem optické kabelové sítě.
- Přenosová rychlost 1.5Mbps až 2.5 Gbps.

2.2 Nevýhody OBS

Mezi největší nevýhody patří:

- Nevhodné pro větší vzdálenosti- použití jen do jednotek kilometrů, technologie se však vyvíjí a již dnes je možnost přenést data na vzdálenost desítek kilometrů pomocí kaskádního řazení spojů.
- Přímá viditelnost – nemožnost vyhnout se občasnému přerušení paprsku např. prolétající pták. Jedná se o krátkodobý výpadek a ten je řešen pomocí moderní technologie tak, že detekuje přerušení a opětovně odešle data, které se cestou ztratily.
- Menší spolehlivost – na OBS je větší vliv atmosférických jevů. To je také důvod proto, aby spoje, kde dochází k přenosu důležitých dat ,byl zálohovaný paralelním radiovým spojením, který se aktivuje při výpadku OBS.
- Účinky atmosféry na radiový spoj a na OBS jsou poněkud rozdílné. U OBS je největším problémem mlha a v horských oblastech nízká oblačnost, ovšem u radiového spoje útlum zvětšuje silný déšť, kroupy s deštěm, husté sněžení[3][6].

3 Účinky atmosféry na OBS

Použitelnost každého spoje závisí na jeho výkonové bilanci a na parametrech atmosféry v místě spoje. Na přímé dohlednosti má na OBS největší vliv aktuální stav počasí. Spoje na kratší vzdálenosti (stovky metrů) jsou ovlivňovány nejvíce větrem, mlhou, a nízkou oblačností. Spoje na kilometr a více jsou ovlivňovány nejvíce prudkým deštěm nebo sněhem. Tyto přírodní jevy mají u OBS největší vliv na rozptyl a útlum.

Útlum se nejvíce projevuje tak, že při průchodu energie nějakou částicí např. mlhy nebo deště dojde k částečnému pohlcení této energie. Bylo zjištěno, že na útlum mají vliv i složky větru. Rychlost větru nám útlum neovlivňuje, avšak velikosti rychlosti změny vyvolají turbulence, která na útlum vliv mají. Tam kde se vyskytují větrné turbulence dochází k nehomogenitě indexu lomu a paprsek se tak mlže ohýbat. Po fyzikální stránce probíhá vliv větru na útlum OBS tak, že vítr způsobí změny na směr optického signálu a ten potom na přijímač nedopadne celý, ale jen jeho část.

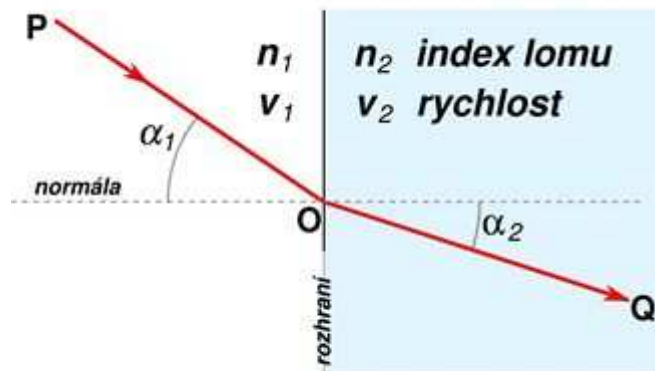
Rozptyl se nejvíce projevuje tak, že paprsek při změně prostředí se láme a tím pádem se na přijímači nezachytí jeho celek, ale jen jeho nerozptýlená část. Toto je podle Snellova zákonu lomu. „Uvažujme dvě různá prostředí, jejichž rozhraní je rovinné. Jsou-li indexy lomu těchto dvou prostředí n_1 resp. n_2 , a označíme-li úhly dopadajícího resp. lomeného svazku α_1 resp. α_2 (měřeno ke kolmici rozhraní), pak podle Snellova zákona [10] (Obrázek 2) platí:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad (3.1)$$

nebo také v jiném tvaru (v_1 a v_2 jsou rychlosti šíření vlnění v daném prostředí)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.2)$$

Úhly se vždy měří od normály, tj. při kolmém dopadu je $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$. Paprsky se šíří vždy přímočaře.“



Obrázek 2 - Snellův zákon

Nesmíme ještě zapomenout na výpadky, způsobené přímým slunečním zářením. Pokud by přímé sluneční paprsky dopadaly přímo na přijímací fotodetektor, pak by mohlo dojít k saturaci a krátkodobému výpadku spojení. Toto je ošetřeno v praxi buďto clonou v podobně jakéhosi “kšiltu“ (Obrázek 3) nebo filtrem, který se dává před přijímač [6][9].



Obrázek 3 - Vysílač OBS

Model OBS se skládá ze dvou částí

- Stacionární model - zisku vysílače nebo přijímače.
- Statický model – současný stav atmosféry pro místo, kde je OBS nainstalován.

4 Turbulence a vítr

Turbulence v atmosféře mají za následek mnoho jevů ovlivňujících kolísání výkonu OBS v atmosféře. U OBS se jedná nejvíce o rozptyl či redistribuci signálu. Turbulenci a rozptyl je dobré uvažovat při návrhu nebo instalaci OBS. Absorpci na hydrometeorech můžeme zanedbat.

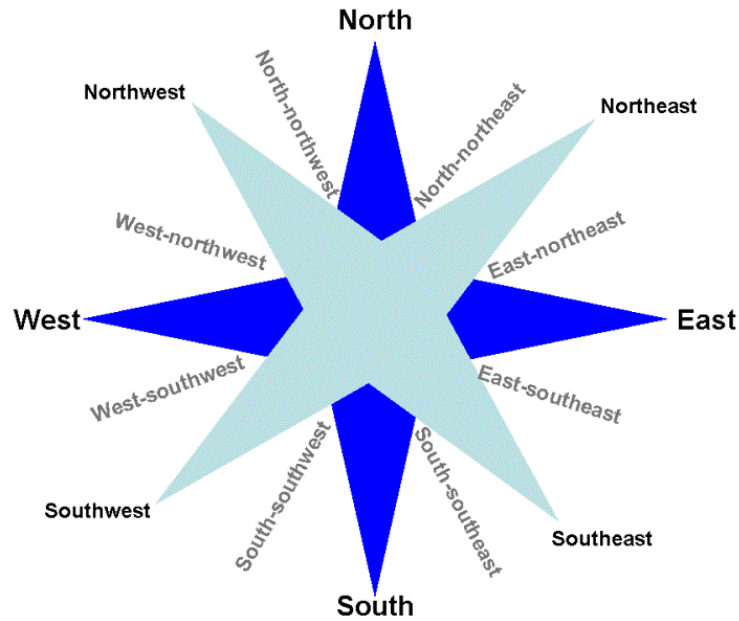
4.1 Vliv turbulencí větru na OBS

Největší účinky atmosférických turbulencí na OBS jsou: fázový posun, zkreslení, paprsek se rozšiřuje, mění dráhu a přerozděluje intenzitu uvnitř paprsku. Chvilkové přerozdělení síly, vlivem turbulence, je z důvodu neuspořádaného toku výměny vzduchu a z teplotních gradientů uvnitř optické cesty způsobené změnou teploty vzduchu a hustoty. Zóny neboli víry v různých velikostech a s odlišnými hustotami chovající se jako čočky rozptylu světla od své určené trasy. Pak se části laserového paprsku mohou rozdělit a jít různými cestami a na přijímač mohou dojít s rozdílnou fází. Součet signálů s různou fází může být destruktivní či konstruktivní v jakémkoliv daném časovém okamžiku, a způsobuje prostorové přerozdělení signálu, následkem čehož se snižuje přijímaný optický výkon [3].

4.2 Vítr

Pohyb částice vzduchem vzhledem k zemskému povrchu v daném časovém okamžiku se nazývá vítr. Částici chápeme jako tak velký soubor molekul, který můžeme považovat za homogenní objem vzduchu. Vítr lze v libovolném bodě pozorování charakterizovat: směrem větru odkud vane, rychlostí větru a nárazovostí větru. Jedná se o okamžitou odchylku rychlosti větru o 5 m/s a více.

Směr větru odkud vane se udává buďto pomocí světových stran nebo pomocí azimutu. Azimut se udává ve stupních 0-360°, ale v meteorologii se používají světové strany označené anglickými písmeny. N - north (sever), S - south (jih), E - east (východ), W - west (západ) a jejich dalšími kombinacemi v mezisměrech. Růžice (Obrázek 4) [5] na určování směru větru může být určena 36-,32-,16-,12-, nebo 8-mi směrná [3].



Obrázek 4 - Větrná růžice

Měření dokazují, že rychlost i směr větru se mohou neperiodicky a rychle měnit, obzvláště v přízemních vrstvách atmosféry. Tyto změny jsou způsobeny vznikem, zánikem nebo přemístěním složek všeobecné cirkulace atmosféry a jsou vyvolány turbulentní charakteristikou proudění. Ve skutečné atmosféře má proudění převážně turbulentní charakter a jsou pro něj typické turbulentní pulzace rychlosti větru.

4.3 Charakteristika proudění

Rychle se měnící proudění, které si můžeme zjednodušeně představit jako neuspořádaně se pohybující víry různých velikostí se jmenuje turbulentní. Představme si, že do tekutiny, která proudí, přimícháme vhodné barvivo, aby nám zviditelnilo proudnice. Tyto proudnice mají v případě turbulentního proudění nepravidelný tvar rychle se měnící v čase a je prakticky nemožné je sledovat na větší vzdálenosti. Laminární proudění je takové proudění, při kterém jsou proudnice vodorovné a nepromíchávají se. Turbulentní proudění je naprosto odlišné od proudění laminárního, takže kdybychom přidali vhodné barvivo do laminárního proudění, viděli by jsme, že proudnice jsou v pohybující se tekutině stabilní, hladké a je možné je sledovat i na větší vzdálenosti. Je jasné jak z teorie tak z praxe, že proudění se stane turbulentní právě tehdy, když jsou setrvačné síly v tekutině dostatečně velké oproti silám vazkého tření, charakterizované Reynoldsovým číslem Re (4.1). Jedná se o číslo, které udává vztah mezi setrvačnými silami a viskozitou (odpor prostředí v důsledku tření) [3][10].

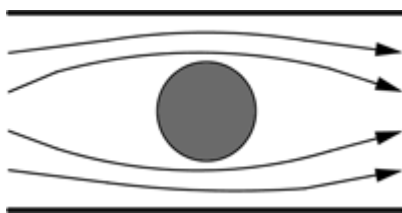
$$Re = \frac{v_s d}{\nu} \quad (4.1)$$

kde v_s znamená střední hodnotu proudění kapaliny uvnitř daného průřezu, d značí průřez a ν je kinematická viskozita.

Reynoldsovo číslo nám pomáhá určit, jestli se jedná o laminární nebo turbulentní proudění. Současně také platí, že čím je Reynoldsovo číslo větší, tak je menší vliv jednotlivých třecích sil částic na celkový odpor prostředí. Když je hodnota Reynoldsova čísla velká, pak se jedná o turbulentní proudění, pro malou hodnotu čísla je proudění laminární. V případě, že dochází ke stavu blížení se Reynoldsova čísla k nekonečnu, jedná se o potenciálové proudění [3].

4.3.1 Laminární proudění

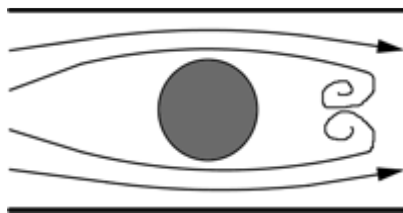
Laminární proudění (Obrázek 5) [8] poznáme tak, že se proudnice nemísí a jsou rovnoběžné, přičemž částice se pohybují vedle sebe jakoby ve vrstvách tzv. „destičkách“. Nejbližší vrstva tekutiny přilne k povrchu, a po té druhá, třetí atd. Z důvodu rovnoměrného rozložení proudnic kolem válce, je také rozložení působících sil souměrné a působí na těleso souměrně jen malou výslednou tlakovou silou. Pro ideální kapalinu platí, že je tato síla nulová [3].



Obrázek 5 - Laminární proudění

4.3.2 Turbulentní proudění

Turbulentní proudění (Obrázek 6) [8] poznáme tak, že se proudnice mísí a jsou neuspořádané, přičemž částice vykonávají při proudění pohyb nejen, aby je posunul, ale také svůj vlastní pohyb, a ten je zdrojem pro zakládání vírů. Všechny částice v kapalině se pohybují jinou rychlostí. K tomuto jevu dochází při větších rychlostech proudu, protože se proudnice od tělesa pláště jakoby odtrhávají a za tělesem vznikne turbulentní proudění. Na čelní hranu tělesa působí větší tlaková síla, než tlaková síla působící na zadní straně pláště tělesa a tam dochází k tvoření vírů. Výsledek celého tohoto jevu se jmenuje odpor prostředí, přičemž výslednice se nazývá hydrodynamická síla [3].



Obrázek 6 - Turbulentní proudění

4.3.3 Potenciálové proudění

Při proudění potenciálovém se dá vyjádřit pomocí rychlosti pole kapaliny gradient určitého skalárního pole, také označované jako nevířivé proudění, protože při něm nedochází ke vzniku vírů.[3]

4.3.4 Skutečné proudění v atmosféře

Proudění vzduchu ve skutečné atmosféře má zcela nepravidelnou a statisticky náhodnou strukturu, protože se okamžité hodnoty rychlosti proudění v každém bodě mění rychle s časem, nejkratší časové změny odpovídají řádově 10^{-1} - 10^{-2} s, někdy však ještě méně. Pro vyjádření těchto rychlých změn předpokládáme, že skutečná okamžitá rychlost v se zapíše jako součet střední rychlosti \bar{v} a turbulentní složky v' za určitého a vhodně zvoleného časového intervalu. Výsledek se často jeví jako negaussovské rozložení těchto rychlých změn, kterou můžeme přeložit přes proudění a to je důsledek existence neuspořádaného pohybu turbulentních vírů různých měřítek [3].

$$v = \bar{v} + v' \quad (4.2)$$

Nebo ve složkách:

$$v_x = \bar{v}_x + v'_x \quad (4.3)$$

$$v_y = \bar{v}_y + v'_y \quad (4.4)$$

$$v_z = \bar{v}_z + v'_z \quad (4.5)$$

Střední rychlost proudění je dána vztahem:

$$\bar{v}(x, y, z) = \frac{1}{t^*} \int_{t-\frac{t^*}{2}}^{t+\frac{t^*}{2}} v(x, y, z) dt \quad (4.6)$$

Vztah představuje průměrnou rychlost proudění v daném bodě za námi vhodně zvolený interval o délce časového úseku t^* . Pro získání reprezentativní hodnoty, která se v čase moc rychle nemění, musíme vzít dostatečně dlouhý časový interval. Ovšem pokud chceme předejít problémům, je třeba zvolit ne tak velké t^* (v našem případě při teplotě

$t^*=1\text{min}$), jinak dojde k vyhlazení významných časových změn střední hodnoty rychlosti proudění. Zdroje turbulencí ve skutečné atmosféře:

- Mechanická turbulence
- Termická turbulence

Mechanické turbulence jsou v mezní vrstvě tvořena třením proudícího vzduchu o povrch Země, který vyvolává vertikální gradient velikosti proudící rychlosti. Jedná se o gradient, který je v interakci s polem fluktuací rychlosti proudění a teploty vzduchu. Tento gradient se pozná tak, že dojde k neturbulentnímu přenosu hybnosti od výše položených a rychleji se pohybujících vrstev vzduchu směrem dolů. Turbulentní víry vznikají a rozvíjejí se tak, že dochází k nestabilnímu teplotnímu vrstvení, to představuje mechanismus produkující turbulence. Ovšem stabilní zvrstvení tlumí tento rozvoj a můžeme tedy říci, že se jedná o negativní zdroj turbulence [3].

4.3.5 Vliv terénu na deformaci proudění

Když proudění narazí na vertikální překážku, pak nastává obtékání nebo přetékaní jednotlivých členitostí překážky. Když dochází k těmto jevům, tak jako vedlejší produkt vznikají procesy s kladnou a zápornou akcelerací a velmi důležitou roli u těchto procesů hraje teplotní gradient. Pro představu použijeme izolovanou horu, která bude mít kruhový půdorys. Pak je dokázáno a platí :

- Na vrcholu hory je rychlost větru vyšší o 80% oproti neovlivněné rychlosti profilem hory rychlosti, která je před horou.
- Větrný stín hory způsobí, že rychlost větru za horou je o 20 až 40% menší než-li rychlost, která je neovlivněná profilem hory a je tudíž před ní [3].

4.3.6 Vliv překážek na proudění

Na dům, keř, strom a podobné typy překážek reaguje proudění tak, že se mění jeho rychlost a vzniká zóna turbulence. Toto popisuje natékající proudění směrem odkud vítr vane. Pro nenatékající proudění platí, že překážku zčásti obteče a z části přeteče, přičemž pokud může, proudí i z části skrz překážku.

Představme si izolovanou překážku, např. stěnu o výšce H , potom při netékání je překážkou vzduch vytlačován nahoru, ovšem před překážkou se nám vytvoří poměrně malá turbulentní zóna. Pomocí proudnic, které se směrem k vrcholu zhušťují k sobě, dojdeme k tomu, že se vzduchové částice nad překážkou zrychlují. Na druhé (závětrné) straně dochází k postupnému spojování proudnic vzduchových složek přetékaných i obtékajících a dochází k tvorbě turbulentní zóny. Zóna je velká zhruba tak, jako pětinasobek výšky překážky. Turbulentní zóny jsou tím menší, čím je překážka více propustnější [3].

5 Strukturní index lomu

V extrémních atmosférických podmínkách může docházet ke změnám indexu lomu, který tak může výrazně ovlivnit dráhu optického paprsku. Vzpomeňme si například na velká tepla, kdy vzniká zrcadlení nad rozpálenou vozovkou. Tyto extrémní změny teploty vyvolávají extrémní kolísání indexu lomu. Přestože optické spoje z pravidla neprocházejí takovýmto místem, naskytla se nám otázka, jak mohou turbulentní změny indexu lomu vzduchu ovlivňovat útlum OBS [4].

5.1 Strukturní index lomu

Z teoretických znalostí vyplývá, že útlum optického signálu v čisté atmosféře je ovlivňován stukturálním indexem lomu. Strukturní index lomu je definován dvěma vzorci :

$$SF(R) = M \left((F(x_1, t) - F(x_2, t))^2 \right) \quad (5.1)$$

$$SF(R) = CF^2 R^{\frac{2}{3}} \quad (5.2)$$

Strukturní index lomu popisuje nehomogenitu indexu lomu, která způsobuje rozptylování optického paprsku a to v konečném důsledku způsobuje útlum. Hluběji se touto problematikou zabývají autoři článku [4]. První vzorec (5.1) je definice strukturní funkce $SF(R)$. $F(x_1, t)$, $F(x_2, t)$ jsou okamžité hodnoty vířivých toků v bodech x_1 a x_2 a v daném čase t , R je vzdálenost bodů x_1 a x_2 . M je symbol pro průměrování hodnot.

Druhý vzorec (5.2) ukazuje závislost strukturní funkce na vzdálenosti R . Zde se ukazuje důsledek Kolmogorovy hypotézy. Tato hypotéza říká, že struktura turbulentního proudění v určité části prostoru závisí pouze na turbulentní energii převedené na teplo. Použitím obou vzorců můžeme zjistit strukturní index lomu.

Nejsou žádné prostředky pro přímé měření strukturního indexu lomu v atmosféře, ale můžeme ho vypočítat z vlhkosti vzduchu, tlaku a teploty. Protože index lomu vzduchu závisí na hustotě, můžeme místo strukturního indexu lomu měřit strukturní index sonické teploty. Sonická teplota se měří pomocí sonického anemometru. Tato teplota je zjištěna pomocí rychlosti zvuku, která závisí na hustotě vzduchu stejně tak, jako index lomu zvukových vln. Můžeme tak nahradit strukturní index lomu strukturním indexem sonické teploty. Pro tyto účely jsem pro praktickou část své bakalářské práce použil data z anemometru (Obrázek 7) (Obrázek 9) nainstalovaném v ÚFA AV ČR v Praze.



Obrázek 7 - Sonický anemometr nainstalovaný v ÚFA AV ČR

5.2 Sonický anemometr

Sonický anemometr je zařízení k měření větru, mimo jiné sonické teploty pomocí ultrazvukových signálů. Vycházíme z toho, že známe rychlost zvuku v klidné atmosféře. Jakmile se rychlost vzduchu změní, rychlost zvuku se změní také. Sonický anemometr poté začne měřit větrné složky ve třech směrech a zároveň snímat okamžitou teplotu v tom samém místě pomocí zvuku, protože rychlost zvuku závisí na rychlosti větru. Ze zvukového signálu můžeme odhadovat, že rychlost zvuku bude měřítkem pro teplotu. Pro odhadnutí teploty vzduchu pomocí rychlosti zvuku musíme uvažovat i to, že tato rychlost je ovlivněna teplotou vzduchu a jeho vlhkostí. Pro výpočet strukturní funkce je potřeba mít informace o struktuře prostoru teplotního pole. Využíváme pro to běžně používanou hypotézu tzv. zamrzlé turbulence. Předpokládáme, že v okolí anemometru je homogenní prostor, tudíž naměřená hodnota je hodnotou okolí. Je požadavek na to, aby průměrná rychlost proudění byla dostatečně velká, a tím pádem mohou být časové změny v dané struktuře zanedbány. Takže můžeme nahradit měření ve dvou různých bodech měření jednobodovým v různých časech. Časový rozdíl je úměrný R/U kde R je vzdálenost a U je průměrná rychlost větru [6].

5.2.1 3D sonický Anemometr Metek USA-1

Sonické anemometry jsou rychlé a spolehlivé senzory na měření větru. Anemometr Metek USA-1 využívá třech nerovnoběžných cest, po kterých posílá ultrazvukové pulzy. Tyto pulzy slouží ke změření rychlosti a směru větru. Z toho se dají dopočítat tři ortogonální složky větru x , y , z viz praktická část mé bakalářské práce. Přijímač a vysílač jsou od sebe vzdáleny 175 cm a celý anemometr váží 2.3 kg. Na tomto anemometru nenajdeme žádné pohyblivé části a jeho celková plocha (velikost) je malá. Výhoda sonického anemometru oproti miskovému je ta, že má větší odolnost proti námraze. Sonický anemometr navíc využívá vnitřní elektrické ohřívání, kde na každé hlavě s čidlem je topení s výkonem 50W. Toto topení způsobuje, že může nastat znehodnocení měření při

atmosférických srážkách, což je patrně velká nevýhoda. Časová konstanta sonického anemometru je velmi malá [3].

6 Řešený optický spoj v Praze

V této práci testujeme atmosférické jevy, které mají negativní vliv na útlum OBS, který se šíří volnou atmosférou. Přesněji řečeno zpracováváme větrná a útlumová data z testovacího optického bezkabelového spoje, který je nainstalovaný v Praze mezi dvěma ústavu. Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR, v.v.i. (ÚFA AV ČR) má na střeše své budovy daný vysílač optického signálu, který je nasměrován přes údolí (Obrázek 8) na protilehlou budovu patřící Českému metrologickému institutu (ČMI), na kterém je přijímač OBS. Červeně je znázorněna dráha OBS od vysílače k přijímači, anemometr měřící sonickou teplotu a rychlost větru je nainstalován přesně v místě, kam ukazuje modrá šipka. Je tudíž zcela jasné, že anemometr a vysílač OBS jsou od sebe pár metrů vzdáleny, ale hodnoty jsou v blízkosti spoje, takže jsou také předmětem zkoumání.

Spoj je dlouhý 853m na nezastíněném terénu překážkou. OBS pracuje na vlnové délce 850nm, vysílací výkon je 16dBm, divergenční úhel je 9mrad, optická apertura 512cm², rezerva na únik je cca 17dB, elevační úhel z ÚFA AV ČR na ČMI je 2,2° a výškový rozdíl je 33m[4].



Obrázek 8 - Satelitní pohled na údolí v Praze, kde je nainstalovaný OBS

ÚFA AV ČR v Praze v červenci 2010 zakoupil distrometr (Obrázek 9), jehož nedílnou součástí je 3D sonický anemometr Metek USA-1(5.2.1). Tento anemometr nám ukazuje aktuální online data větrných parametrů atmosféry, ale také je ukládá pro pozdější použití do binárních souborů. Dostali jsme větrná data od září roku 2010 do dubna roku 2011. Zapisovací soubor měl data ukládat po 0.1 a 3.0 vteřinách, oproti Milešovce kde se

data ukládají po 0.1 vteřiny. Online data se ukazovala v pořádku, bohužel v zaznamenaných starých datech byl později nalezen problém, protože zapisovací soubor pro uložení binárních dat byl částečně poškozen a nedostali jsme všechna potřebná data. V praxi to znamenalo, že jsme dat měli málo. V prvopočátku jsme mysleli, že se jedná o chybu ve čtecím souboru, který měl větrná binární uložená data převést do podoby (textový soubor), aby s nimi bylo možné pracovat v MatLabu. S tímto problémem nám pomáhal Ing. Martin Hájek (UPCE), s jehož pomocí se povedla ještě hrstka dalších dat převést a tím pádem i zachránit. Zbytek, jak se později ukázalo je zřejmě nenávratně ztracen z důvodu softwarové chyby rakouského výrobce. Chyba byla v zapisování, takže nám nezbylo nic jiného, nežli pracovat s tím málem dat, co jsme měli k dispozici. Zachráněná data jsme převedli do textového souboru, vyhodnotili a požádali jsme ČMI v Praze o data útlumu na spoji ÚFA AV ČR – ČMI pro dny, které se povedlo zachránit. Data o útlumu byla měřena po 1 vteřině, což neodpovídalo našim záznamům z anemometru, které byla zapsána po 3 vteřinách. Tento problém jsme vyřešili tak, že jsme data zprůměrovali, abychom měli záznamy po 1 minutě, což je standart pro výzkum šíření vln. Později ještě ÚFA AV ČR požádal rakouského výrobce distrometru o vyřešení problému se zapisováním dat ze sonického anemometru a rakouský výrobce problém po čase odstranil a uznal svou chybu. Po odstranění problému jsme mohli pracovat ještě s daty za období 1.5.2011 – 12.6.2011. Pro ty samé dny jsme požádali ČMI o útlumová data z atmosféry. Z období před opravením zapisování dat ze sonického anemometru se nám podařilo “vytáhnout“ necelých 10% dnů, ve kterých jsme atmosférické jevy chtěli zkoumat. Přestože je sonický anemometr renomované firmy, je nutné kontrolovat ukládání dat.



Obrázek 9 - Distrometr a sonický anemometr nainstalovaný v Praze

7 Popis dat z měřicího pracoviště v Praze

V ÚFA AV ČR je anemometr, který ukládá větrná data na osobní počítač. Osobní počítač je připojen na intranet, takže větrná data lze stáhnout pomocí protokolu FTP.

7.1 Surová data

Bohužel nemáme možnost ukázky čistých surových větrných dat z anemometru, ani útlumových z OBS. Data z anemometru jsou zapsána v binární podobě, které po převodu na textový soubor pomocí spouštěcího type_wnd.exe souboru vypadají následovně:

```
=====
                        =====
                |
                | THE 2D-VIDEO-DISTROMETER |
                |
                | TYPE_WND |
                |
                | (Apr. 07, 2002, 17:06, internal version no. 4.005) |
                |
                |
                | JOANNEUM RESEARCH, GRAZ/AUSTRIA |
                |
=====
                        =====
```

PRINTOUT OF V11121_1.wd

```
00:00:00 t= 11.72 deg C vel= 0.89 m/s dir= 312 deg vel_z= -0.10 m/s
00:00:03 t= 11.43 deg C vel= 0.70 m/s dir= 311 deg vel_z= 0.24 m/s
00:00:06 t= 11.42 deg C vel= 0.66 m/s dir= 292 deg vel_z= 0.12 m/s
00:00:09 t= 11.60 deg C vel= 0.87 m/s dir= 307 deg vel_z= 0.09 m/s
00:00:12 t= 11.73 deg C vel= 0.93 m/s dir= 301 deg vel_z= 0.09 m/s
00:00:15 t= 11.64 deg C vel= 0.82 m/s dir= 301 deg vel_z= 0.10 m/s
00:00:18 t= 11.91 deg C vel= 0.97 m/s dir= 297 deg vel_z= 0.07 m/s
00:00:21 t= 11.87 deg C vel= 0.95 m/s dir= 293 deg vel_z= -0.01 m/s
00:00:24 t= 12.53 deg C vel= 1.04 m/s dir= 283 deg vel_z= 0.11 m/s
00:00:27 t= 11.73 deg C vel= 0.92 m/s dir= 291 deg vel_z= -0.07 m/s
00:00:30 t= 11.76 deg C vel= 0.84 m/s dir= 295 deg vel_z= 0.00 m/s
00:00:33 t= 11.74 deg C vel= 0.76 m/s dir= 291 deg vel_z= 0.05 m/s
00:00:36 t= 11.73 deg C vel= 0.70 m/s dir= 301 deg vel_z= 0.07 m/s
00:00:39 t= 11.74 deg C vel= 0.71 m/s dir= 297 deg vel_z= 0.06 m/s
00:00:42 t= 11.72 deg C vel= 0.64 m/s dir= 290 deg vel_z= 0.05 m/s
```

00:00:45	t= 11.73 deg C	vel= 0.66 m/s	dir= 291 deg	vel_z= 0.06 m/s
00:00:48	t= 11.72 deg C	vel= 0.64 m/s	dir= 293 deg	vel_z= 0.07 m/s
00:00:51	t= 11.70 deg C	vel= 0.64 m/s	dir= 294 deg	vel_z= 0.01 m/s
00:00:54	t= 11.72 deg C	vel= 0.72 m/s	dir= 300 deg	vel_z= -0.05 m/s
00:00:57	t= 11.72 deg C	vel= 0.83 m/s	dir= 298 deg	vel_z= -0.07 m/s
00:01:00	t= 11.72 deg C	vel= 0.65 m/s	dir= 288 deg	vel_z= -0.13 m/s
00:01:03	t= 11.74 deg C	vel= 0.60 m/s	dir= 293 deg	vel_z= 0.07 m/s

Přesto, že se jedná o převod dat z formátu .wd na formát .txt (.data) stále se jedná o surová data, protože s nimi není prováděná žádná matematická operace. Jméno převáděného souboru pro tuto ukázkou je V11121_1.wd. čísla v názvu označují rok a den, kdy je měření prováděno. První dvě čísla označují rok ve kterém měříme (rok 2011, proto začíná jméno souboru číslem 11) a zbytek ukazuje kolikátý den od 1. ledna je měření prováděno (výchozí 1.leden VXX001). V uvedeném případě je vidět, že je rok 2011 a měření je provedeno 121.den v roce, tedy datum měření je 1. května 2011. Popis převedených dat vypadá následovně. V prvním sloupci je informace o čase, kde na první pozici je hodina, na druhé minuta a na třetí je vteřina. Pozice jsou od sebe oddělené dvojtečkou. Všimněme si, že je prováděn záznam každé tři vteřiny. Čas se měří od půlnoci do půlnoci, proto se začíná na hodnotě 00:00:00 a končí 23:59:57. Ve druhém sloupci je údaj ukazující sonickou teplotu ve °C. Ve třetím sloupci najdeme g složku rychlosti větru a ve čtvrtém najdeme úhel směru větru neboli azimut a v posledním sloupci najdeme informaci o z souřadnici směru větru. Každý soubor by měl obsahovat 28 800 řádků na kterých jsou větrná data, a ještě před nimi je zhruba dalších 18 řádků, na kterých je hlavička od rakouského výrobce.

Surová data o útlumu vlastní pouze ČMI, která data i zpracovává a poskytla nám je pro tuto práci. Data jsou v binární podobě s příponou .mat, připravenou pro další práci v programu MatLab.

7.2 Upravená data

Bylo potřeba data připravit na korelování tak, abychom měli stejně veliké matice udávající časovou osu. Toho dosáhneme tak, že zprůměrujeme větrná i útlumová data po 1 minutě.

7.2.1 Větrná data

Větrná surová data jsme nejprve potřebovali upravit do sloupců tak, aby je mohl načíst program MatLab. Upravili jsme si převáděcí soubor type_wnd.exe tak, aby nám vypisoval čistě sloupce s hodnotami a ne text. Při úpravě spouštěcího převáděcího souboru jsme udělali menší změnu. Anemometr snímá hodnotu po 0.1s, ale průměruje ji v intervalu za dobu 3s. Zmíněná změna nebyla jen oříznutí výstupních dat od všeho textu, ale došlo i

k posunutí intervalu snímání. Ze spodní hranice 0s jsme ji posunuli na hranici horní, tedy na 3s. Data po dalším převodu vypadají následovně:

00	00	03	11.72	0.89	312	-0.10
00	00	06	11.43	0.70	311	0.24
00	00	09	11.42	0.66	292	0.12
00	00	12	11.60	0.87	307	0.09
00	00	15	11.73	0.93	301	0.09
00	00	18	11.64	0.82	301	0.10
00	00	21	11.91	0.97	297	0.07
00	00	24	11.87	0.95	293	-0.01
00	00	27	12.53	1.04	283	0.11
00	00	30	11.73	0.92	291	-0.07
00	00	33	11.76	0.84	295	0.00
00	00	36	11.74	0.76	291	0.05
00	00	39	11.73	0.70	301	0.07
00	00	42	11.74	0.71	297	0.06
00	00	45	11.72	0.64	290	0.05
00	00	48	11.73	0.66	291	0.06

Pořadí sloupců se oproti předchozímu příkladu nezměnilo. V prvních třech je informace o čase (hodina, minuta, vteřina) a v následujících je vidět sonická teplota, rychlost g složky větru, azimut a v posledním je z složka větru. Takto ořezaná data jsme již mohli načíst do pracovního prostředí MatLab a dále s nimi pracovat. Z dat g složky větru jsme museli nejprve přepočítat (7.2) u a v složky větru, abychom je potom mohli dosadit do vzorců pro turbulentní energii (7.3) intenzitu turbulence 2D (7.1) a 3D (7.4) [7]. Po vypočítání všech potřebných údajů jsme se soustředili na synchronizaci času dat větrných a útlumových, proto jsme si zvolili zprůměrovat oboje data tak, abychom měli záznam každou 1 minutu. Takto vypočítané parametry atmosféry jsme opět uložili do binárního souboru s příponou .mat pro pozdější pracování. Soubory jsou uloženy a očíslovány přesně tak, že každý den dat je pojmenován jako jeho pořadové číslo v roce (např. 1.1. má číslo 1).

$$I(2D) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (g - \bar{g})^2}}{\bar{g}} \quad (7.1)$$

$$g = \sqrt{(u^2 + v^2)} \quad (7.2)$$

$$E_T = 0.5 * \frac{1}{N} \sum ((u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 + (w - \bar{w})^2) \quad (7.3)$$

$$I(3D) = \frac{\sqrt{\sum ((u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 + (w - \bar{w})^2)}}{\sqrt{N} \sqrt{(\bar{u})^2 + (\bar{v})^2 + (\bar{w})^2}} \quad (7.4)$$

Pozn. Složky u , v a w odpovídající složkám z anemometru, výše nazývané jako x , y a z .

7.2.2 Útlumová data

Data s útlumem jsme dostali z ČMI jako binární soubor s příponou .mat měřené po 1 vteřině. Útlumová data jsou pojmenována ve tvaru GFLAXXXXXXXXXC2.mat. kde jednotlivá X znamenají: na prvních čtyřech pozicích (zleva) je označení roku, na dalších dvou je měsíc a na poslední dvojici (vpravo) je označení dne. Jméno souboru s útlumem je tedy např. GFLA20110108C2.mat. Bylo potřeba sjednotit časovou osu matic útlumu a ostatních parametrů, takže jsme zprůměrovali útlumy po 1 minutě a opětovně uložili do binárního souboru končícího .mat. Tudiž bohužel není možnost ukázat, jak data vypadají. Soubor po zprůměrování do 1 min jsme pojmenovali pouze ve tvaru: rok, měsíc, den aby s nimi později byla jednodušší práce. Výsledný název je tedy např. 20110108.mat .

8 Výsledky

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou větrných dat za již zmíněné období září 2010 – červen 2011 a jejich porovnání s daty útlumu OBS. Porovnávání jsme prováděli pomocí analýzy, známé jako korelace. Byli použity dva typy korelací: Pearsonova a Spearmanova. Pearsonova korelace je korelace často nazývaná jako lineární. Probíhá tak, že se porovnávají (korelují) prvky tak, jak jdou za sebou. Oproti tomu Spearmanova korelace se dělá tak, že se prvky seřadí od jejich nejnižší hodnoty po jejich nejvyšší, a až potom se provádí porovnávání. Pro výpočet korelací jsme použili pracovní prostředí MatLab a prováděli jsme korelace v něm. První Průzkumy jsme se zaměřili na prozkoumání různých parametrů atmosféry, které ovlivňují OBS. Pro přehlednost výsledků a tabulek je přiložena pomocná tabulka (Tabulka 2).

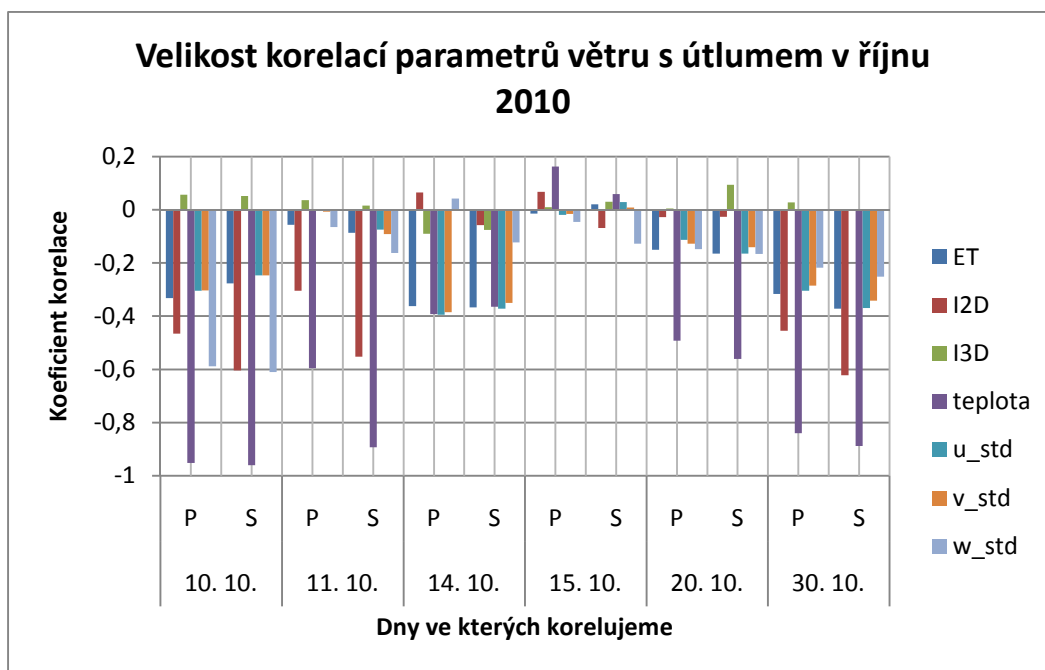
Tabulka 2 - Tabulka zkratk a vysvětlivek ke korelacím

Tabulka zkratk a vysvětlivek ke korelacím	
Zkratka	Znamená
P	Pearsonova korelace
S	Spearmanova korelace
teplota	Sonická teplota
I2D	Intenzita turbulence ve 2D
I3D	Intenzita turbulence ve 3D
ET	Turbulentní energie
u_std	Směrodatná odchylka u složky větru
v_std	Směrodatná odchylka v složky větru
w_std	Směrodatná odchylka w složky větru
stř.hod.	Střední hodnota
med	Medián
sm.od.	Směrodatná odchylka
min	Minimum
max	Maximum

V následující tabulce jsou provedeny oba typy korelací pro 6 dnů, ve kterých máme větrná data v měsíci říjen v roce 2011 (Tabulka 3). V tabulce vidíme velikost korelačních koeficientů pro jednotlivé typy korelací. Nejvíce se nám jeví korelace se sonickou teplotou, kde je v některých místech až -90%. Jako druhý parametr vhodný k dalšímu zkoumání se nám nabízí intenzita turbulence nebo turbulentní energie, které místy dosahují také velice dobrých korelačních výsledků. Záporné znaménko u korelačních koeficientů znamená, že je zde nepřímá úměra. Po vynásobení korelačního koeficientu hodnotou 100 dostaneme výsledek korelace v %.

Tabulka 3 - Tabulka korelací větrných parametrů s útlumem v říjnu 2010

	10. 10.		11. 10.		14. 10.	
	P	S	P	S	P	S
ET	-0,33173	-0,27677	-0,05645	-0,08641	-0,36229	-0,36636
I2D	-0,46586	-0,60423	-0,3048	-0,55296	0,065921	-0,05788
I3D	0,057353	0,051809	0,036136	0,01662	-0,0896	-0,07546
teplota	-0,95234	-0,96031	-0,59608	-0,89291	-0,39229	-0,36426
u_std	-0,30396	-0,24671	-0,00139	-0,07407	-0,39496	-0,37138
v_std	-0,30272	-0,24666	-0,00618	-0,09048	-0,38504	-0,35061
w_std	-0,58814	-0,6097	-0,06426	-0,16184	0,042352	-0,1228
	15. 10.		20. 10.		30. 10.	
	P	S	P	S	P	S
ET	-0,01422	0,020965	-0,14975	-0,16477	-0,31668	-0,37182
I2D	0,068252	-0,06789	-0,02685	-0,02581	-0,45519	-0,62204
I3D	0,009709	0,031114	0,004921	0,094462	0,027857	0,001482
teplota	0,162866	0,059493	-0,49173	-0,56124	-0,83972	-0,88899
u_std	-0,01936	0,029846	-0,11255	-0,16506	-0,30424	-0,36966
v_std	-0,01534	0,009367	-0,12667	-0,14047	-0,28558	-0,341
w_std	-0,04513	-0,12746	-0,14708	-0,16573	-0,21751	-0,25084



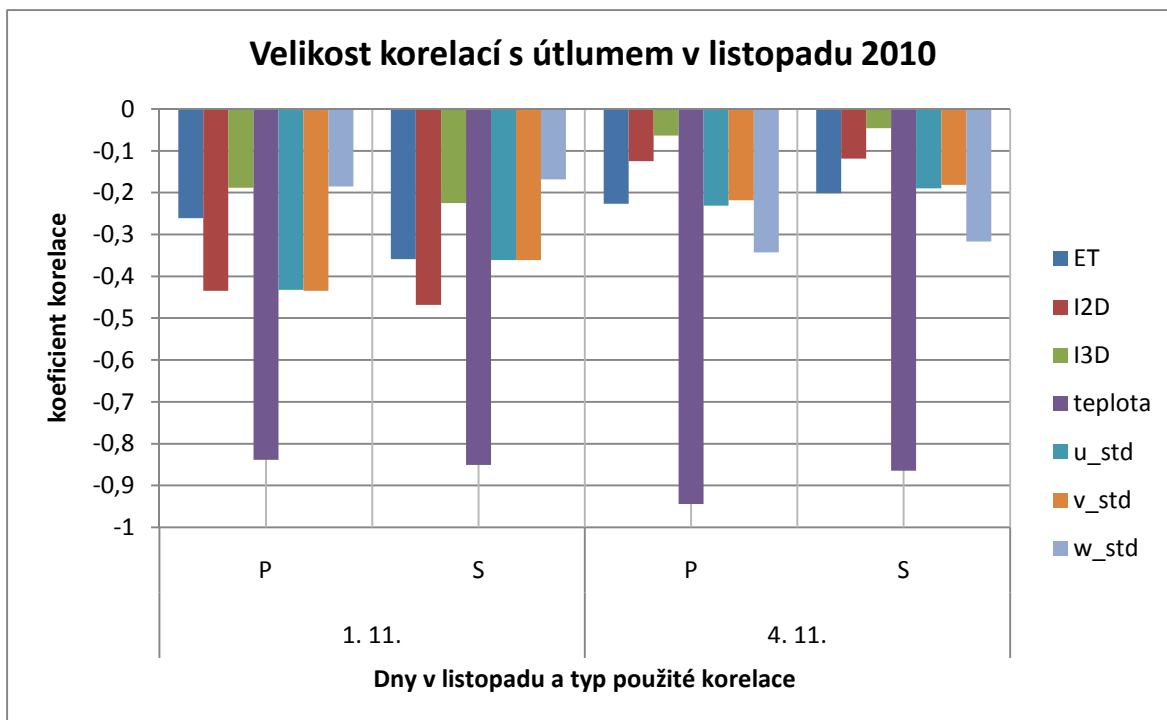
Obrázek 10 - Velikost korelací parametrů větru s útlumem v říjnu 2010

V grafu(Obrázek 10) je jasně viditelná nejlepší korelace útlumu se sonickou teplotou, proto si ji vybereme pro pozdější výzkum spolu s turbulentní energií, která byla před provedením výzkumu korelace se sonickou teplotou hlavní favorit, na útlum OBS. Velice kvalitně vychází i velikost korelačního koeficientu dne 10.10.2010, kde byla hodnota korelačního koeficientu w_std přibližně -60% pro oba typy použitých korelací. Naopak hodnota korelačního koeficientu I3D pro všechny tyto dny vychází velice malá.

Pro zajímavost zde můžeme ukázat dva zkoumané dny v listopadu na podzim roku 2010 (Tabulka 4). Zajímavé je, že všechny korelace provedené v těchto dvou dnech vycházejí záporné, ale nejvíc zajímavá je hodnota korelačního koeficientu pro Pearsonovu i Spearmanovu korelaci útlumu se sonickou teplotou. V obou dnech je tato korelace vidět s výslednicí přes -80% (v tabulce hodnoty -0,8), což je naprosto vynikající výsledek. Je škoda, že máme v tomto měsíci tak málo dat, byl by potřeba důkladnější průzkum.

Tabulka 4 - Tabulka korelací větrných parametrů s útlumem v listopadu 2010

	1. 11.		4. 11.	
	P	S	P	S
ET	-0,26118	-0,35914	-0,22668	-0,20144
I2D	-0,43475	-0,46828	-0,12451	-0,11884
I3D	-0,18851	-0,22534	-0,06383	-0,04561
teplota	-0,83861	-0,85054	-0,94435	-0,86481
u_std	-0,4324	-0,36122	-0,23075	-0,19013
v_std	-0,43461	-0,36129	-0,21772	-0,18111
w_std	-0,18517	-0,16871	-0,3427	-0,31645



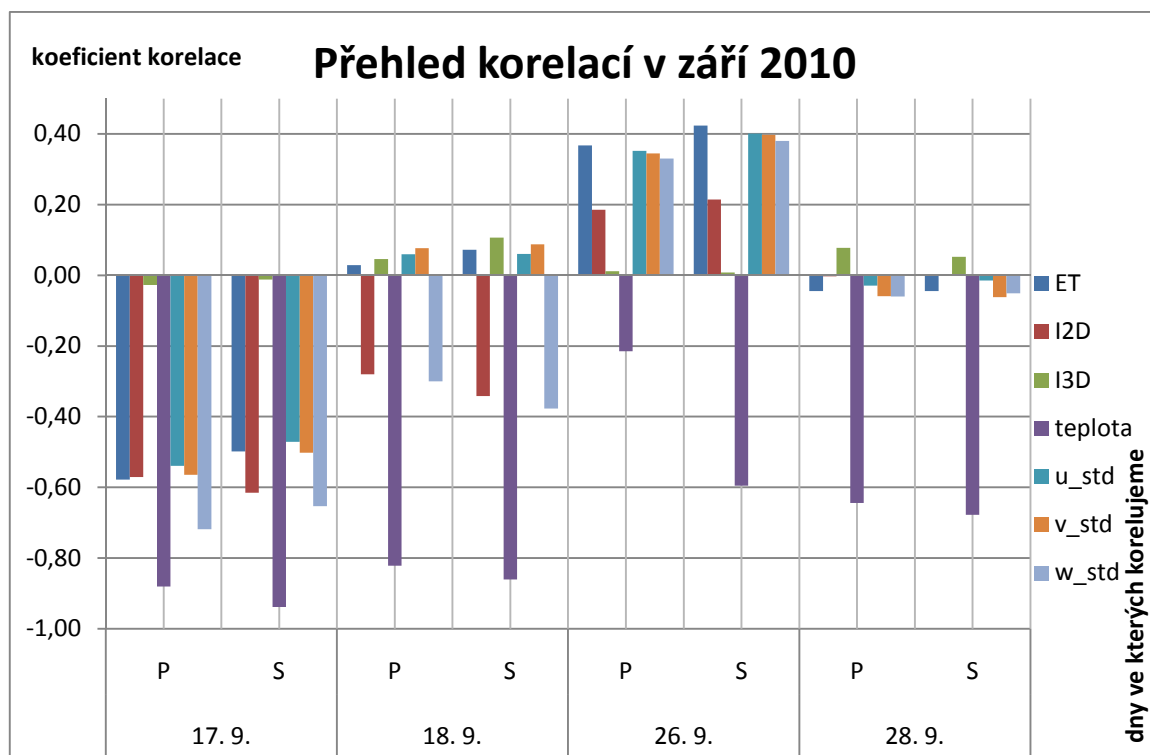
Obrázek 11 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v listopadu 2010

Z grafu (Obrázek 11) je patrné, že dobré korelace útlumu jsou s intenzitou turbulence 2D, a turbulentní energií, ale občas i se všemi odchylkami směru větru. 3D intenzita turbulence nemá na útlum OBS až takový vliv, protože korelace s útlumem je zde maximálně 20% a to ještě jenom jednou.

Nyní se podívejme na měsíc září (Tabulka 5), ve kterém dochází k zajímavému jevu, a to je rozdíl 40% mezi typy použité korelace. Spearmanova korelace útlumu se sonickou teplotou dosahuje -60% a Pearsonova pouze -21% a to konkrétně dne 26.9.2010.

Tabulka 5 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v září 2010

	17. 9.		18. 9.		26. 9.		28. 9.	
	P	S	P	S	P	S	P	S
ET	-0,58	-0,50	0,03	0,07	0,37	0,42	-0,04	-0,04
I2D	-0,57	-0,62	-0,28	-0,34	0,19	0,21	0,00	0,00
I3D	-0,03	-0,01	0,05	0,11	0,01	0,01	0,08	0,05
teplota	-0,88	-0,94	-0,82	-0,86	-0,21	-0,60	-0,64	-0,68
u_std	-0,54	-0,47	0,06	0,06	0,35	0,40	-0,03	-0,02
v_std	-0,56	-0,50	0,08	0,09	0,34	0,40	-0,06	-0,06
w_std	-0,72	-0,65	-0,30	-0,38	0,33	0,38	-0,06	-0,05



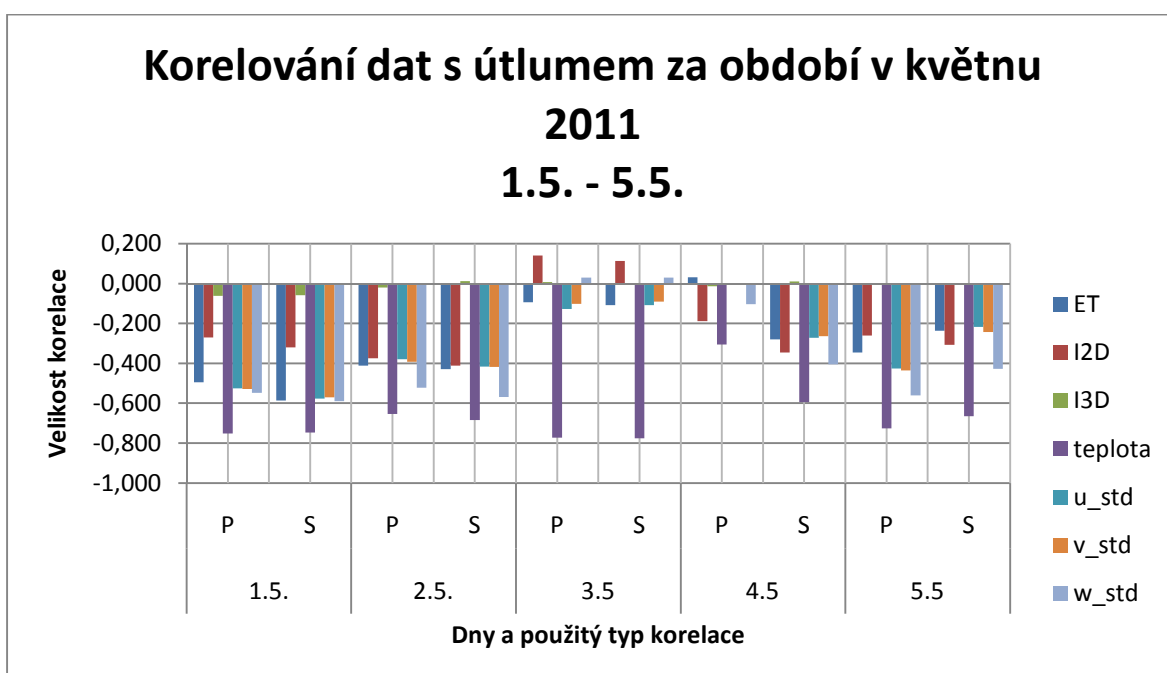
Obrázek 12 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v září 2010

Víme, že 17.9.2011 nemáme všechna data za celý úsek 24 hodin, takže zřejmě proto nám vychází tak velká korelace (skoro 95%) (Obrázek 12) útlumu se sonickou teplotou. Zvláštní je, že dne 26.9.2011 ve kterém máme 100% dat, nám vychází zbytek korelovaných parametrů atmosféry jako kladný. Ze všech dosud ukázaných grafů je zřejmé, že se dají pro určení korelací použít obě metody, jak Pearsonova tak i Spearmanova.

Věříme, že nejzajímavější část výzkumu bude ta, kde máme více než měsíc dat, takřka jdoucích po sobě. Tato data se nám povedlo získat po opravě zapisujícího souboru z anemometru. Jedná se tedy o květen – červen roku 2011. Na začátku měsíce května (tzn. 1.5. – 5.5.) jsou viditelné velké korelace útlumu se sonickou teplotou a to v případě použití obou typů korelací (Tabulka 6). Nejmenší korelaci nám v tomto časovém úseku vykazuje den 4.5., kde hodnota Pearsonova korelačního koeficientu dosahuje oproti zbylým dnům jenom -30%, ale v tento den hodnota koeficientu Spearmanovy korelace dosahuje skoro -60% a to je 30% rozdíl. Je nutné brát v úvahu, že 4.5. máme ovšem jen 60% větrných dat z celého dne. Mimo zmiňovaný den se jinak hodnota koeficientu korelací pohybuje mezi -60 až -77%, kde je 77% zároveň i maximum v tomto časovém úseku.

Tabulka 6 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v části května 2010

	1.5.		2.5.		3.5		4.5		5.5	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
ET	-0,495	-0,587	-0,412	-0,429	-0,094	-0,108	0,031	-0,280	-0,346	-0,237
I2D	-0,271	-0,320	-0,374	-0,412	0,140	0,113	-0,189	-0,345	-0,261	-0,307
I3D	-0,062	-0,059	-0,020	0,012	0,007	0,003	-0,014	0,011	-0,007	-0,005
teplota	-0,751	-0,747	-0,654	-0,684	-0,772	-0,776	-0,305	-0,594	-0,726	-0,664
u_std	-0,525	-0,577	-0,379	-0,416	-0,128	-0,109	-0,001	-0,273	-0,425	-0,217
v_std	-0,529	-0,570	-0,392	-0,418	-0,101	-0,091	0,003	-0,264	-0,435	-0,242
w_std	-0,548	-0,590	-0,522	-0,569	0,029	0,030	-0,103	-0,404	-0,561	-0,428



Obrázek 13 - Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v květnu 2011

Z grafu (Obrázek 13) je zřejmé, že první dva dny v měsíci květnu nám vykazují pro všechny větrné parametry mimo I3D velké hodnoty korelačních koeficientů. Nejvíce je zde výrazné ovlivnění útlumu signálu sonickou teplotou, kde je hodnota mezi -65 až -75%. Dále je výrazná korelace se všemi třemi složkami směru větru -od 38% do -59%. Nejvíce však vyniká *w* složka, která dosahuje při použití Spearmanovy korelace -59%. V dalších dnech je viditelná pouze výrazná korelace u sonické teploty, občas u směrů větru a nejvíce je zde opět viditelná *w* složka směru větru.

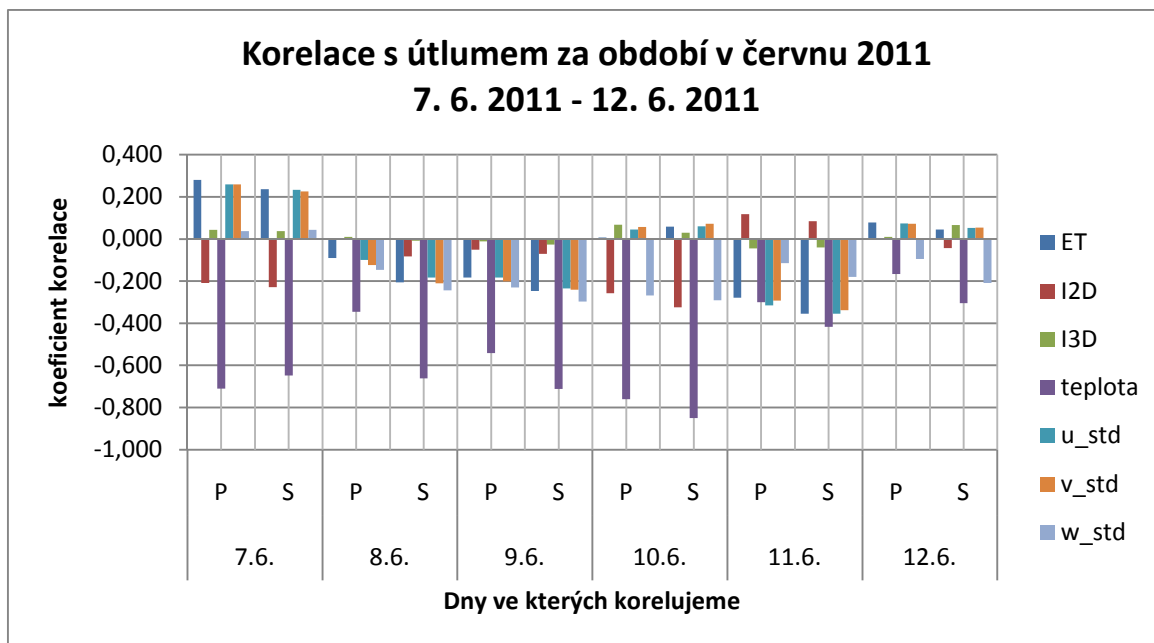
Než přejdeme k vyhodnocení celého května a června dohromady, podívejme se ještě na posledních 6 dnů (Tabulka 7), ve kterých jsme výzkum prováděli. Jedná se o časový úsek 7.6.2011 – 12.6.2011.

Tabulka 7 – Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v červnu 2011

	7.6.		8.6.		9.6.	
	P	S	P	S	P	S
ET	0,281	0,236	-0,091	-0,206	-0,183	-0,247
I2D	-0,209	-0,229	0,002	-0,082	-0,050	-0,071
I3D	0,044	0,038	0,010	-0,008	-0,011	-0,026
teplota	-0,710	-0,647	-0,345	-0,661	-0,542	-0,712
u_std	0,260	0,233	-0,099	-0,182	-0,184	-0,234
v_std	0,259	0,225	-0,124	-0,211	-0,202	-0,240
w_std	0,037	0,044	-0,146	-0,243	-0,230	-0,297
	10.6.		11.6.		12.6.	
	P	S	P	S	P	S
ET	0,006	0,058	-0,279	-0,354	0,079	0,046
I2D	-0,257	-0,325	0,118	0,085	0,003	-0,043
I3D	0,067	0,030	-0,045	-0,040	0,010	0,066
teplota	-0,761	-0,851	-0,300	-0,416	-0,166	-0,304
u_std	0,046	0,061	-0,315	-0,355	0,073	0,052
v_std	0,058	0,072	-0,293	-0,338	0,073	0,053
w_std	-0,268	-0,290	-0,114	-0,180	-0,095	-0,209

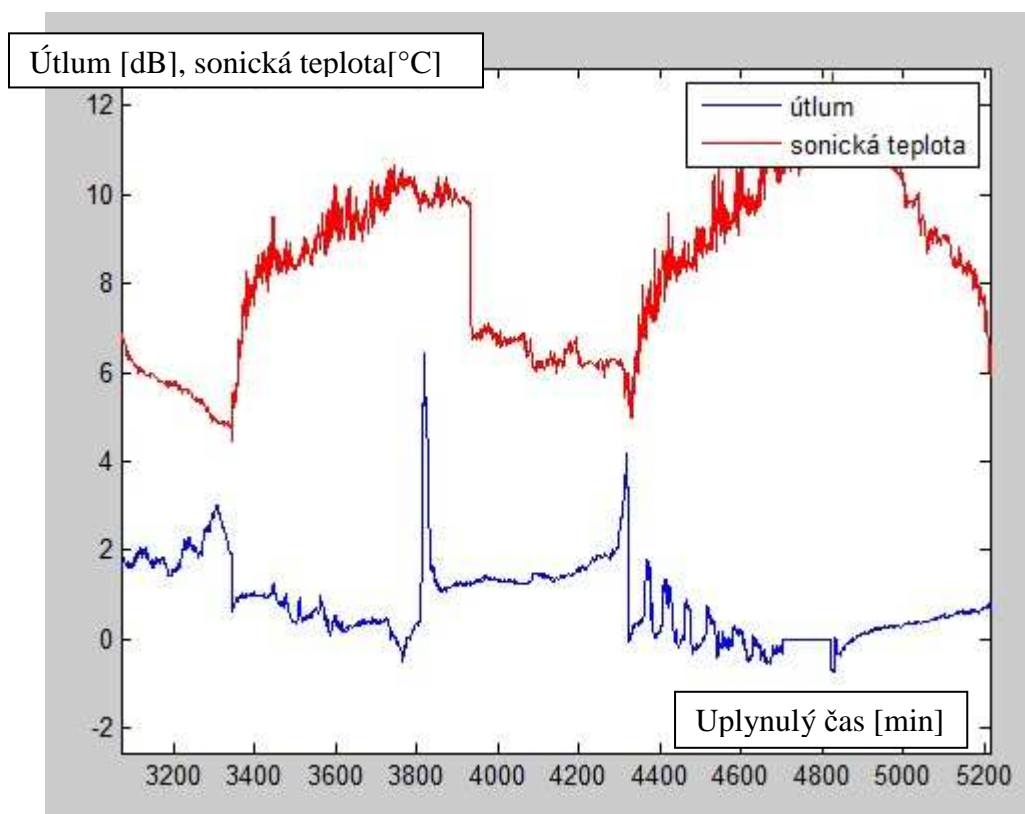
Podívejme se na den 8.6.2011 kde je opět rozdíl korelace sonické teploty s útlumem OBS podle typu použité korelace. Rozdíl mezi korelacemi je zde 30% stejně tak, jako ve dne 4.5.2011 (Tabulka 6). 8.6.2011 máme však 95 % zaznamenaných větrných dat z celého dne a můžeme zde tvrdit, že vypočítané výsledky jsou věrohodnější. Spearmanova korelace vypočte korelační koeficient za předpokladu, že není lineární závislost mezi měřenou veličinou a OBS. Z tohoto důvodu zde dochází k lepším korelačním výsledkům. Je tedy zřejmé, že pro dny s větší hodnotou Spearmanova korelačního koeficientu u sonické teploty dochází převážně k nelineárním změnám rychlosti větru.

Z grafu (Obrázek 14) je zřejmé, že veličina nejvíce ovlivňující útlum na OBS je zde opět sonická teplota, která dosahuje 10.6.2011 pomocí Spearmanovy korelační metody až -85%. Dále v grafu můžeme vidět korelace ostatních parametrů, které 10.6.2011 a 11.6.2011 dosahují místy až -35% a to u veličiny známé jako turbulentní energie.



Obrázek 14 – Velikost korelací větrných parametrů s útlumem v červnu 2011

Protože se u turbulentní energie předem předpokládal její vliv na útlum OBS, vybereme si ji spolu se sonickou teplotou, která se nám v dosavadním průběhu jeví jako veličina nejvíce ovlivňující útlum OBS pro další zkoumání.



Obrázek 15 – Vliv sonické teploty na útlum v květnu 2011

Na obrázku (Obrázek 15) je vidět nepřímá závislost útlumu OBS na sonické teplotě. Na ose x je vidět kolikátá minuta měření běží, takže z toho by bylo možné dopočítat o jaký úsek se kdy jedná, to však není předmětem našeho výzkumu. Nás pouze zajímá, zda sonická teplota ovlivňuje útlum na OBS, a je patrné, že ano.

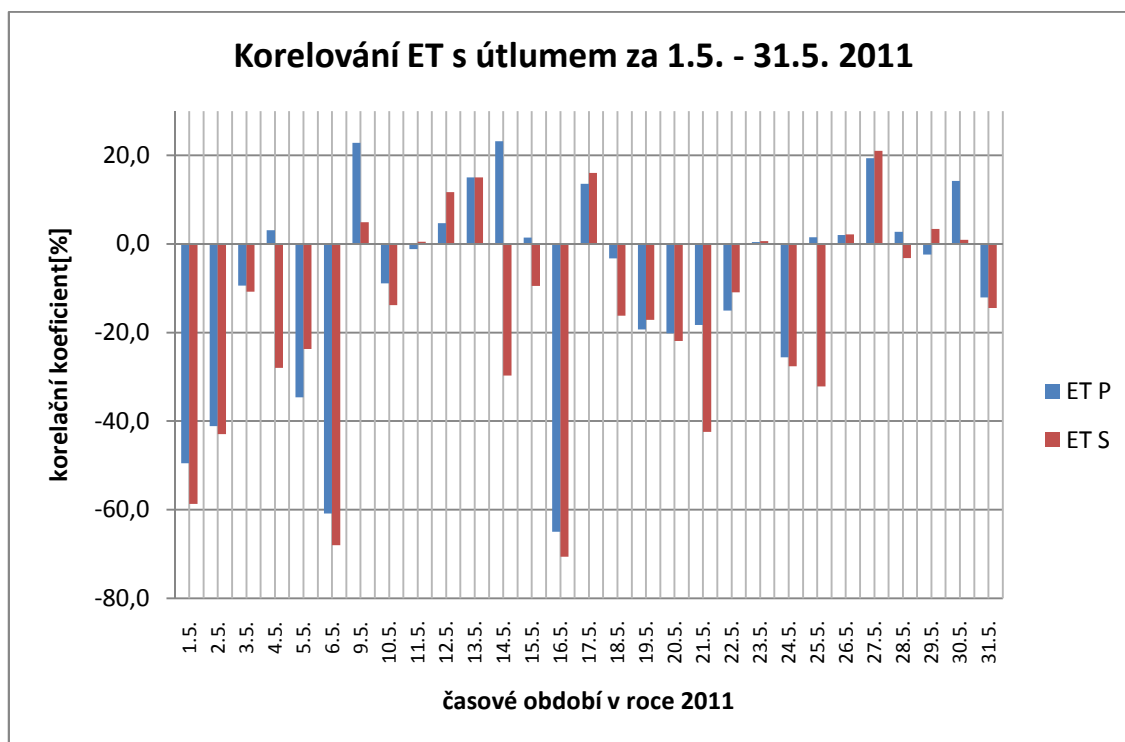
Následující tabulka (Tabulka 8) ukazuje hodnoty koeficientů Pearsonovy a Spearmanovy korelace pro turbulentní energii a sonickou teplotu po dobu jednoho měsíce, konkrétně 1.5.2011-31.5.2011. Dole na konci tabulky jsou vypočítané hodnoty: střední hodnoty, mediány, směrodatné odchylky, minima a maxima pro každý den, typ korelace a parametr atmosféry. Hodnota minima nám vlastně ukazuje maximální hodnotu korelačního koeficientu pro nepřímou závislost daného parametru atmosféry na útlum OBS. Hodnota maxima naopak ukazuje maximální hodnotu korelačního koeficientu pro lineární závislost daného parametru atmosféry na útlum OBS. Střední hodnota ukazuje aritmetický průměr čísel v daném sloupci pro daný typ korelace a danou veličinu. Nejlépe vychází střední hodnota Spearmanova korelačního koeficientu v daném měsíci pro sonickou teplotu, kde dosáhl hodnoty -43.7 %, hodnota Pearsonova korelačního koeficientu pro sonickou teplotu nám vyšel -29.3%. Výsledek ukazuje, že sonická teplota nepřímo ovlivňuje útlum OBS.

Tabulka 8 – Velikost korelací ET a sonické teploty s útlumem v květnu 2011

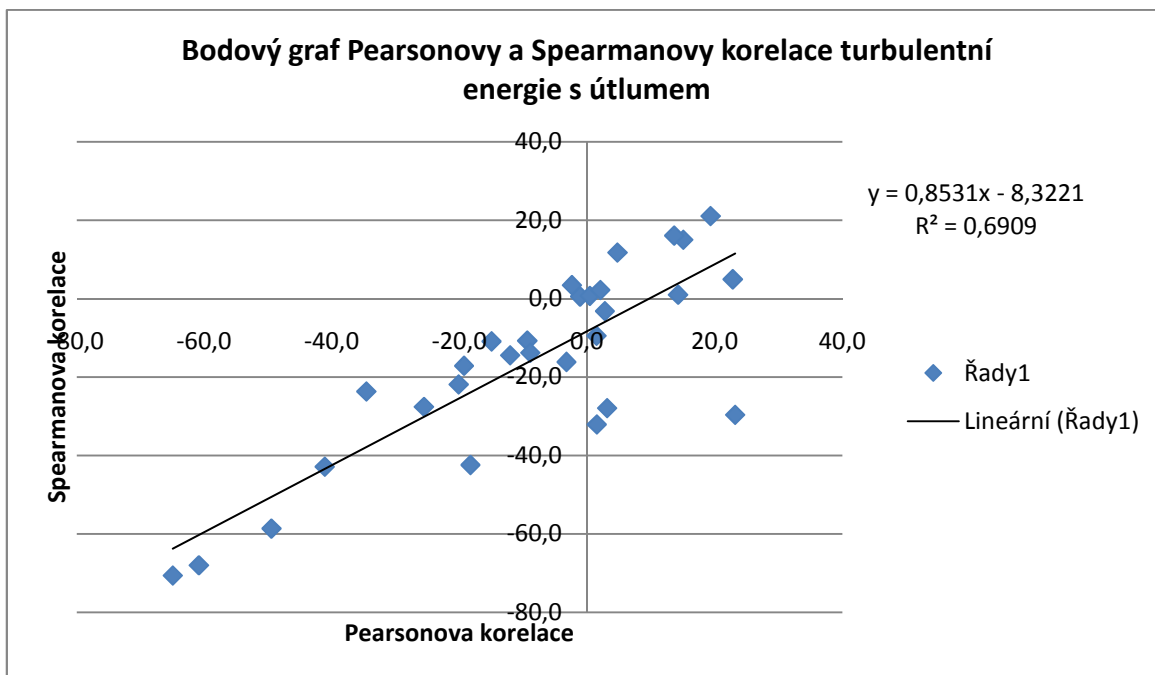
Dny	ET		T	
	P	S	P	S
1.5.	-49,5	-58,7	-75,1	-74,7
2.5.	-41,2	-42,9	-65,4	-68,4
3.5.	-9,4	-10,8	-77,2	-77,6
4.5.	3,1	-28,0	-30,5	-59,4
5.5.	-34,6	-23,7	-72,6	-66,4
6.5.	-60,9	-68,0	-97,4	-97,9
9.5.	22,8	4,9	34,4	6,7
10.5.	-8,9	-13,8	-14,6	-14,8
11.5.	-1,1	0,5	17,9	6,1
12.5.	4,7	11,7	-12,3	-13,4
13.5.	15,1	15,0	-83,6	-85,9
14.5.	23,2	-29,7	-41,4	-70,0
15.5.	1,4	-9,5	3,0	-43,7
16.5.	-65,0	-70,6	-95,4	-91,5
17.5.	13,6	16,1	-82,9	-88,8
18.5.	-3,3	-16,2	-5,0	-31,9
19.5.	-19,3	-17,2	2,9	-3,5
20.5.	-20,2	-21,9	2,3	0,2
21.5.	-18,3	-42,4	-41,8	-69,6
22.5.	-15,0	-10,9	-8,5	-8,0
23.5.	0,4	0,7	-9,4	-37,9
24.5.	-25,6	-27,6	6,8	-1,1
25.5.	1,5	-32,1	-1,8	-37,6
26.5.	2,0	2,2	0,8	-10,7
27.5.	19,3	21,0	-66,3	-66,4
28.5.	2,8	-3,2	-35,9	-76,5
29.5.	-2,4	3,4	-24,5	-53,1
30.5.	14,2	1,0	22,1	14,2
31.5.	-12,1	-14,5	1,3	-10,7
stř.hod.	-9,1	-16,0	-29,3	-42,5
med	-2,4	-13,8	-14,6	-43,7
sm.od.	22,99	23,59	38,04	34,57
min	-65,0	-70,6	-97,4	-97,9
max	23,2	21,0	34,4	14,2

Z grafu (Obrázek 16) je vidět, že hodnoty korelačních koeficientů pro turbulentní energii vychází povětšinou větší do záporných hodnot pro Spearmanův typ korelace. Nejlepší výsledek za toto období jsme dosáhli dne 16.5.2011 pro Spearmanův koeficient

korelace, kde jeho hodnota dosáhla -70.6%. Lineární Pearsonova korelace v tento den dosáhla hodnoty korelačního koeficientu -65%. Hodnoty korelací v některé dny dosahují velice dobrých výsledků. Hodnota koeficientu korelace pro 6.5.2011 vychází také velmi dobře, ale je třeba uvažovat, že tento den máme jen 38% naměřených dat, tudíž by výsledky nemusely být tak přesné. Vzhledem k faktu, že povětšinou hodnota korelačního koeficientu není větší než 30% do záporných hodnot můžeme asi říci, že se nám nepovedlo potvrdit vliv turbulentní energie na útlum OBS.

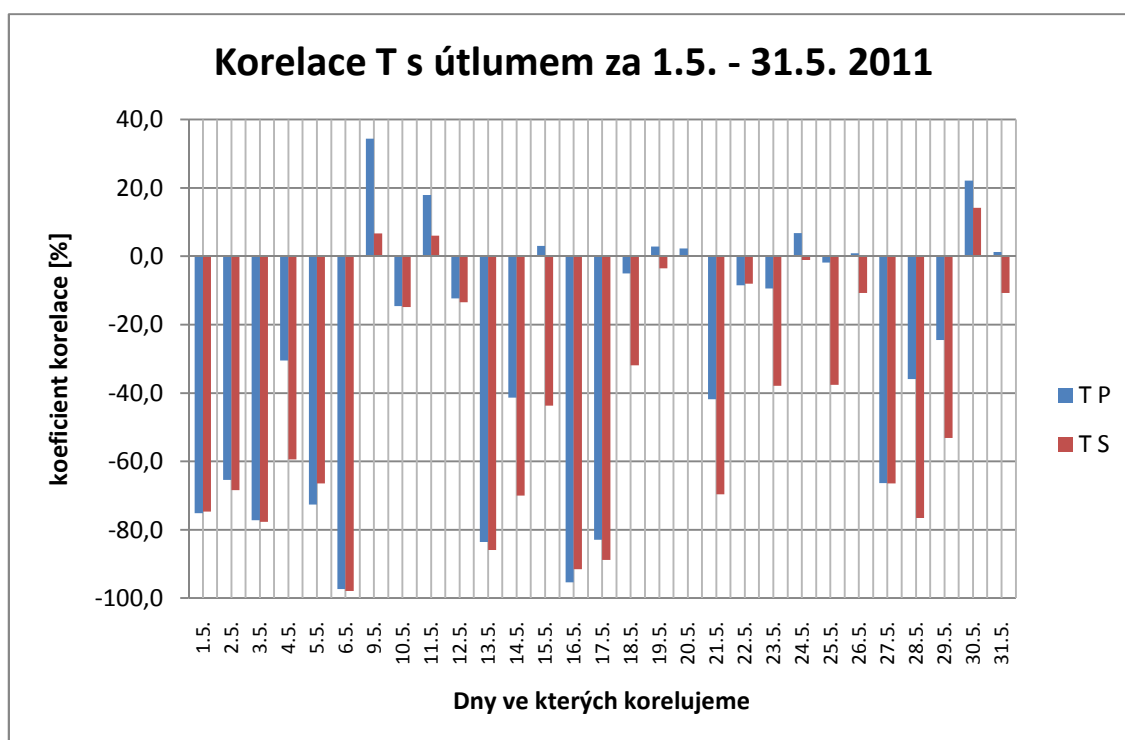


Obrázek 16 – Velikost korelací ET s útlumem pomocí P a S korelací v květnu 2011



Obrázek 17 – Bodový graf P a S korelace ET s útlumem v květnu 2011

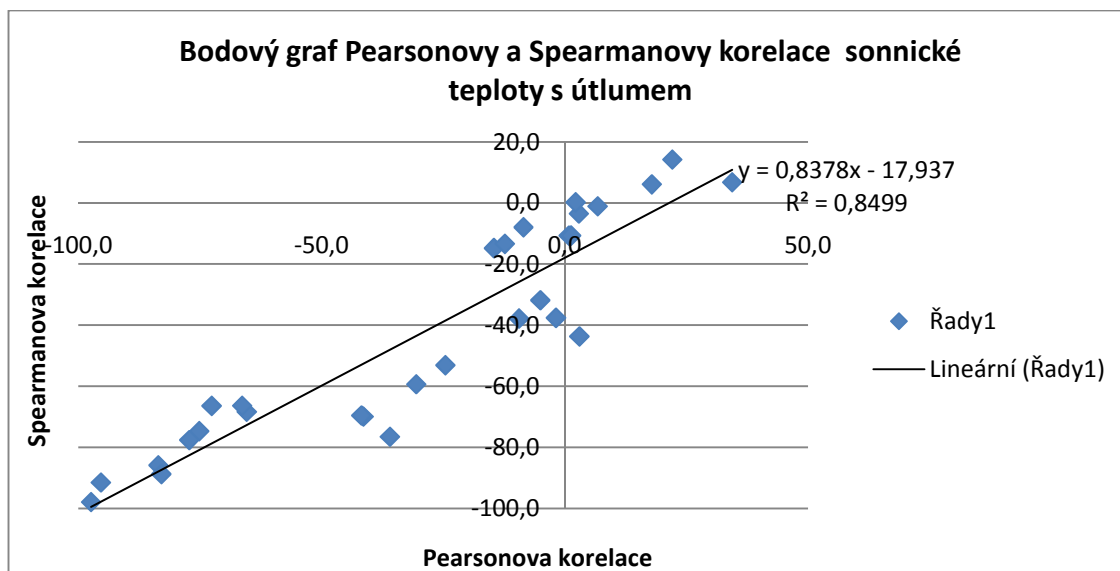
Bodový graf Pearsonovy a Spearmanovy korelace je vidět na předchozím obrázku (Obrázek 17). Vzájemná korelace Pearsonovy a Spearmanovy korelace nám vyšla 69%.



Obrázek 18 – Korelace sonické teploty s útlumem v květnu 2011

Na předchozím grafu (Obrázek 18) vidíme výborné výsledky korelačních koeficientů pro oba typy použitých korelací útlumu se sonickou teplotou. Nejlépe se nám jeví hodnota korelačního koeficientu pro oba typy korelace dne 6.5.2011, bohužel v něm

máme jen 38% dat a výsledky nelze brát s takovou vahou. Oproti tomu výsledky 13.5.2011 , 16.5.2011 , 17.5.2011 ukazují, že je útlum OBS velkou měrou ovlivňován sonickou teplotou. Výsledky ukazují hodnoty korelačních koeficientů přes 80%, což je pro nás nečekané. Doporučili by jsme v tomto případě pro tyto dny další průzkum, aby se potvrdil předpoklad o ovlivňování útlumu signálu OBS sonickou teplotou.



Obrázek 19 – Bodový graf závislosti korelace sonické teploty s útlumem v květnu 2011

Na obrázku (Obrázek 19) je bodový graf Pearsonovy a Spearmanovy korelace. Pro toto období vychází vztah mezi dvěma korelacemi $y=0.8378x-17.937$. Vzájemná korelace Pearsonovy korelační metody a Spearmanovy korelační metody je 85%.

V následující tabulce (Tabulka 9) je poslední zde ukázané období. Jedná se o 1.-12. června roku 2011. Dole v tabulce můžeme najít střední hodnoty, směrodatné odchylky, mediány, minima a maxima pro každý parametr atmosféry a pro každý typ použité korelace stejně tak, jako je tomu v tabulce předchozí (Tabulka 8) .

Střední hodnoty v období od 1.6.2011 do 12.6.2011 pro turbulentní energii vychází pro oba typy použitých korelací malé. Je to dáno zejména tím, že se hodnoty korelačních koeficientů pro oba typy korelací pohybují v kladných i záporných hodnotách. Jenom dvakrát přitom hodnota korelačního koeficientu překročila hranici -30% což ukazuje, že v tomto měsíci zřejmě turbulentní energie neměla na útlum OBS vliv přímý ani nepřímý vliv, ale útlum na OBS je způsoben jiným atmosférickým jevem např. sonickou teplotou.

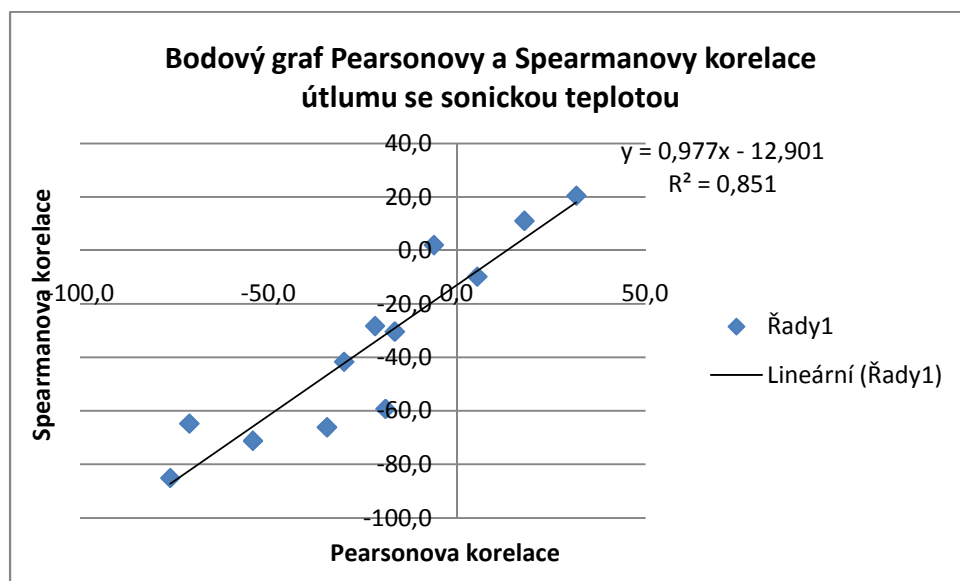
Sonická teplota překračuje hranici hodnoty korelačního koeficientu -30% v polovině dnech v daném zkoumaném časovém horizontu a pro oba dva typy použitých korelací. Maximum najdeme v hodnotě -85.1% pro použitou Spearmanovu korelační metodu dne 10.6.2011. Hodnota korelačního koeficientu je velmi vysoká, doporučili bychom zde důkladnější průzkum. Pearsonova metoda korelace v tento den dosáhla hodnoty korelačního koeficientu -76.1%. Jelikož je střední hodnota korelačních koeficientů

v tabulkách (Tabulka 8)(Tabulka 9) pokaždé přes -30%, je pravděpodobné, že teorie o ovlivňování útlumu OBS vlivem sonické teploty bude pravdivá.

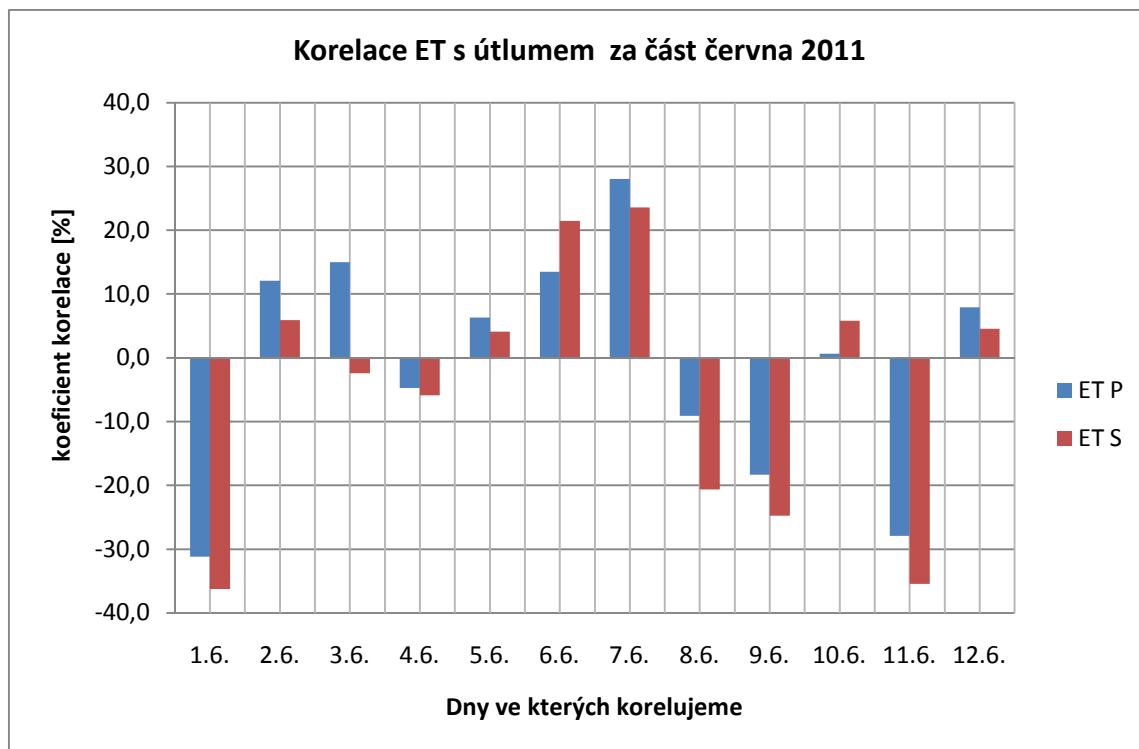
Tabulka 9 – Velikost korelací ET a sonické teploty s útlumem v červnu 2011

Dny	ET		T	
	P	S	P	S
1.6.	-31,2	-36,3	-21,8	-28,3
2.6.	12,1	5,9	-19,0	-59,2
3.6.	15,0	-2,4	31,6	20,4
4.6.	-4,8	-5,9	5,3	-9,9
5.6.	6,3	4,1	-6,2	2,0
6.6.	13,5	21,5	17,8	11,0
7.6.	28,1	23,6	-71,0	-64,7
8.6.	-9,1	-20,6	-34,5	-66,1
9.6.	-18,3	-24,7	-54,2	-71,2
10.6.	0,6	5,8	-76,1	-85,1
11.6.	-27,9	-35,4	-30,0	-41,6
12.6.	7,9	4,6	-16,6	-30,4
stř.hod.	-0,6	-5,0	-22,9	-35,3
med	3,5	0,8	-20,4	-36,0
sm.od.	17,40	19,30	31,72	33,60
min	-31,2	-36,3	-76,1	-85,1
max	28,1	23,6	31,6	20,4

Bodový graf (Obrázek 20) Pearsonovy a Spearmanovy korelace ukazuje pro sonickou teplotu v období 1.6.2011-12.6.2011 vzájemnou korelaci 85%.

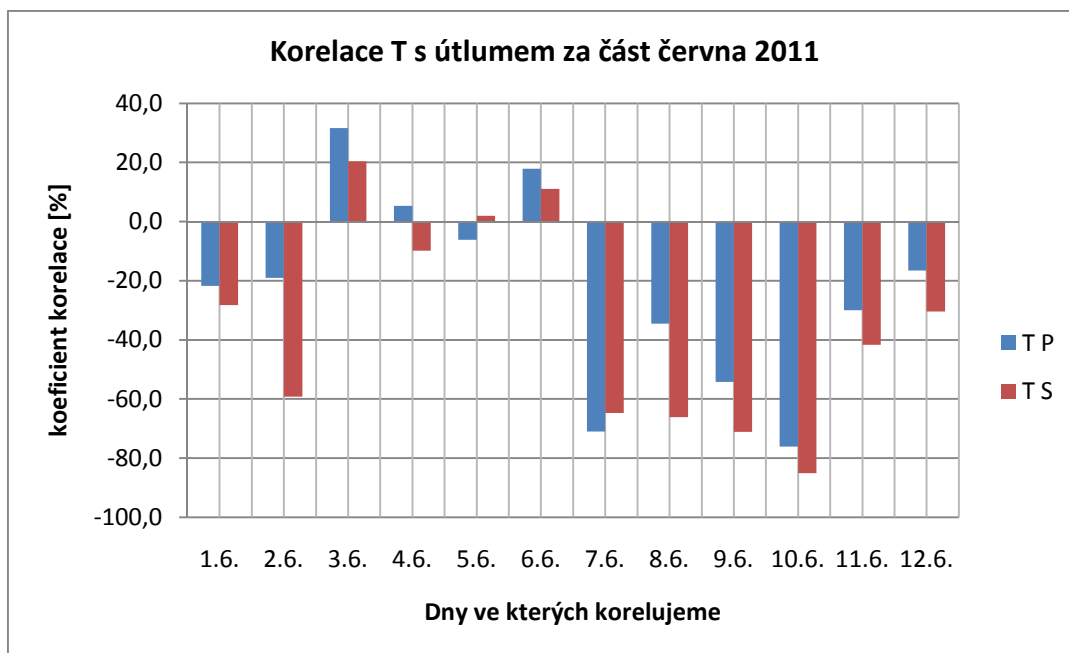


Obrázek 20 – Bodový graf P a S korelace sonické teploty s útlumem v červnu 2011



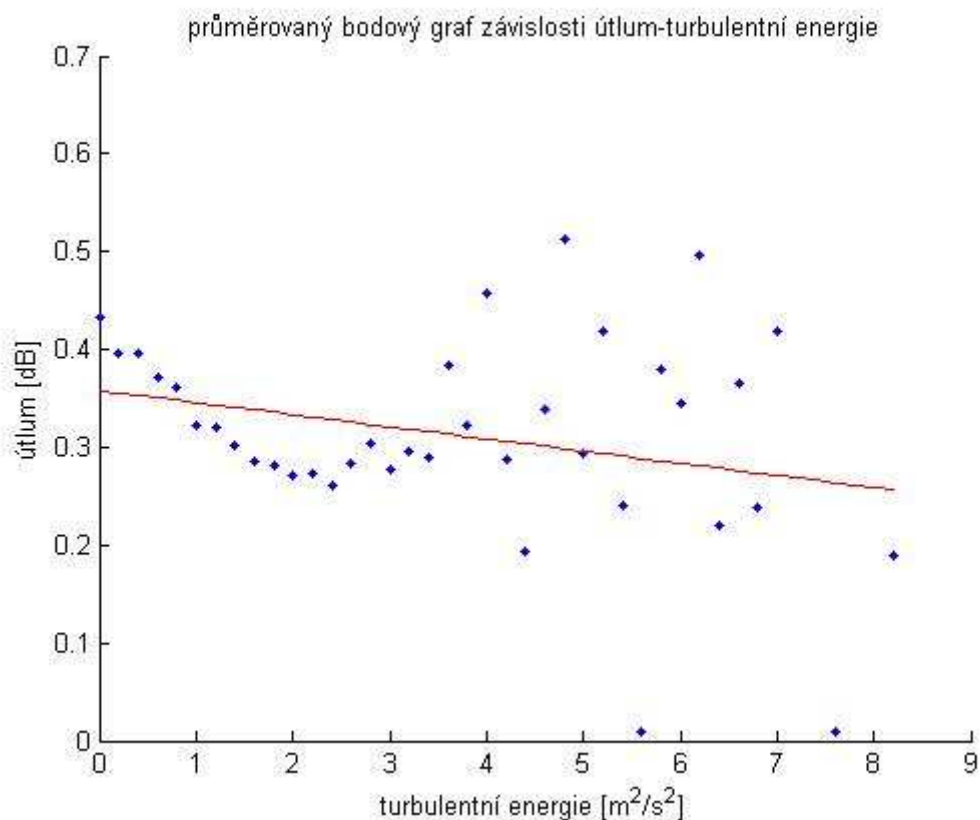
Obrázek 21 – Vliv turbulentní energie na útlum v červnu 2011

Na grafu (Obrázek 21) je vidět vliv turbulentní energie na útlum každý den v daném časovém horizontu. Graf ukazuje jak kladné tak i záporné hodnoty korelačních koeficientů. Pro náš výzkum to znamená, že jsme nedosáhli potvrzení předpokladu o vlivu turbulentní energie na OBS.



Obrázek 22 – Velikost korelace sonické teploty s útlumem v červnu 2011

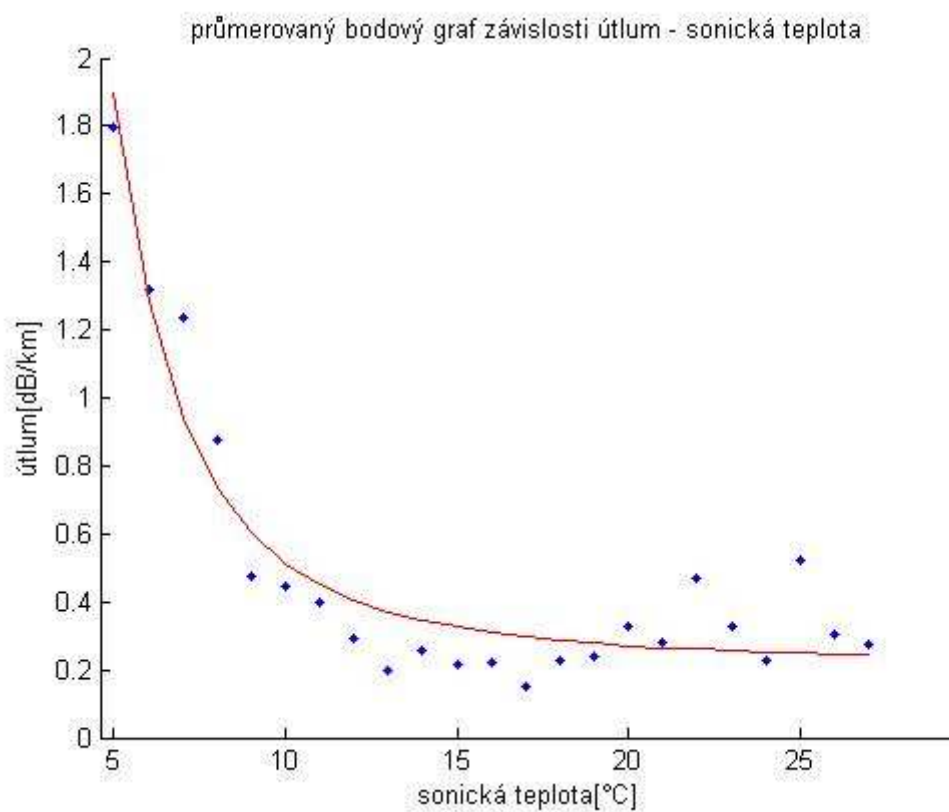
Na grafu (Obrázek 22) je zobrazena korelace sonické teploty s útlumem. Z grafu lze soudit, že sonická teplota zřejmě má vliv na útlum OBS a to nepřímo úměrný. Největší hodnota korelačního koeficientu sonické teploty s útlumem dosáhla 10.6.2011 kde po použití Spearmanovy korelace byla hodnota korelačního koeficientu 85%.



Obrázek 23 – Průměrovaný bodový graf závislosti útlum-turbulentní energie

Z předchozího grafu (Obrázek 23) je vidět, že vztah útlumu s turbulentní energií pro hodnoty turbulentní energie mezi hodnotami 0-3 m²/s² by mohla být lineární. Od hodnoty 3m²/s² však jsou hodnoty útlumu pro každou hodnotu turbulentní energie rozprostřeny v grafu nepravidelně. Je to zřejmě důsledek toho, že se nám nepovedlo prokázat závislost turbulentní energie na útlumu. Pro znázorněný graf jsme našli vztah $y = -0,029x + 0,36$.

Poslední obrázek (Obrázek 24) nám ukazuje průměrovaný bodový graf závislosti sonické teploty a útlumu. Je z něho patrné, že při zvětšující se hodnotě sonické teploty bude útlum klesat, ovšem pouze do asi 22°C, potom totiž občas hodnota útlumu vyskočí mírně do vyšších hodnot. Je třeba zde provést důkladnější výzkum a mít změřených zřejmě ještě více hodnot, aby byla každá zprůměrovaná hodnota co nejpřesnější. Povedlo se nám najít vztah $y = 96.34x^{-2.52} + 0.22$



Obrázek 24 – Průměrovaný bodový graf závislosti sonická teplota - útlum

9 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo najít parametry atmosféry, které ovlivňují útlum na optickém bezkabelovém spoji. K dispozici jsem měl data z anemometru o směrech a rychlostech větru a o sonické teplotě. Z optického bezkabelového spoje v Praze, data útlumu. Výzkum byl prováděn po dobu jednoho roku, ale musel být zaměřen především na období května a začátek června roku 2011 z důvodu chybějícího velkého množství dat.

Větrná data z anemometru jsem nejprve musel převést z binárního kódu do podoby textového souboru a upravit, aby mohl tento textový soubor být načten programem MatLab a zpracováván. Z větrných dat jsem musel v prostředí MatLab nejprve vypočítat s pomocí známých a publikovaných vzorců parametry větru jako turbulentní energie, intenzity turbulencí 2D a 3D. Nejprve jsem však potřeboval přepočítat 2D g směrovou složku větru, na složky větru v horizontální a vertikální ose, aby je bylo možné dosadit do výše zmíněných vzorců. Po této úpravě byla data připravena na pozdější práci, ale to pouze do doby, než bylo zjištěno, že útlumová data jsou zaznamenávána každou vteřinu. Bylo tedy potřeba, aby data měla sjednocenou časovou osu. Tento problém byl vyřešen zprůměrováním hodnot vždy za jednu minutu jak pro data větrná, tak pro útlumová. Jedna minuta je standard pro výzkum větru, proto byla zvolena tato hodnota časového intervalu. Z dat ještě potom bylo potřeba vybrat úseky, kdy anemometr neměřil a smazat je. To jsme provedli ošetřením v programu MatLab.

Pro nalezení míry závislosti mezi útlumem a ostatními větrnými parametry byl použit statistický parametr známý jako korelace. Použité korelace byly lineární (Pearsonova) a nelineární (Spearmanova). Aby bylo možné provádět přesnější a věrohodnější korelace, je dobré použít pro porovnání delší časový úsek. Vzájemná korelace Pearsonovy a Spearmanovy korelace pro dvojici útlum-sonická teplota jsou pro období 1.5.2011-31.5.2011 85% a pro období 1.6.2011-12.6.2011 také 85%. Závislost se jeví jako lineární. Při srovnání obou koeficientů je třeba říci, že Spearmanův korelační koeficient vychází ve většině případů větší oproti Pearsonovu korelačnímu koeficientu.

Výsledek práce ukázal, že největší vliv z vytipovaných parametrů větru na útlum OBS má sonická teplota. Spearmanova korelace pro dvojici útlum-sonická teplota za období 1.5.2011-12.6.2011 dosahuje ve většině případů přes 50% do záporné hodnoty. Pearsonova korelace skoro pokaždé překročí hodnotu 30% do záporné hodnoty. Na základě těchto dvou informací můžeme tvrdit, že sonická teplota nepřímo úměrně ovlivňuje útlum signálu OBS. To znamená, že s rostoucí teplotou klesá útlum signálu OBS. Tento významný objev bude potřebovat ještě důkladnější a dlouhodobější studie např. na Milešově. Za nejdůležitější přínos bakalářské práce považuji nalezené aproximační vztahy (metodou průměrovaných bodových grafů) mezi útlumem a sonickou teplotou, popřípadě mezi útlumem a turbulentní energií. Cíl práce byl podle mého názoru splněn je však nutné sdělit, že se nepodařilo dokázat vliv turbulentní energie na útlum OBS.

Nalezené vztahy mohou pomoci při dalším výzkumu útlumu OBS vlivem sonické teploty. Doporučuji dlouhodobě místo sledovat a zkoumat, jestli se z dlouhodobého hlediska útlum OBS vlivem sonické teploty nebude měnit.

Zpracovaná problematika vlivu parametrů větru na útlum OBS se ukázala složitější a rozsáhlejší, než se původně předpokládalo. Proto oproti zadání byla, po dohodě s vedoucím bakalářské práce, vypuštěna pasáž o indexu lomu. Strukturní index atmosféry byl zpracován pouze teoreticky. Dosažené výsledky byly odvozeny z dat experimentálního OBS a anemometru v Praze.

Z důvodu dodržení rozsahu bakalářské práce jsou zbylé tabulky, grafy zdrojové kódy apod. dodány na přiloženém CD.

Literatura

1. **FILKA, M.** *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vydání první. Brno :Centa, spol. s r.o., 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
2. **FIŠER, O. et al:** *Attenuation measurement on dual-wavelength optical free-space link*. Proc. of Spie, session Atmospheric Optics: Models, Measurements and Target-in-the-Loop propagation III), 3-4 August 2009, San Diego, United States, pp. 7463-1 - 7463-11.
3. **JAROŠ, J.** *Analýza anemometrických záznamů a vliv větrných turbulencí na fluktuaci radiokomunikačního signálu, Bakalářská práce, UPa 2009*. [online]. Dostupný na: < http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/34696/1/Jaro%C5%A1J_Analyzaanemometrickych_OF_2009.pdf >.
4. **KVIČERA, V.; GRÁBNER, M.; FIŠER, O.** Hybridní optické/rádiové systémy. In *Sborník 11. seminář Šíření optického signálu v atmosféře* [CD-ROM]. Pardubice 6. 5.2010. Univerzita Pardubice.
5. **MAINE.GOV** . *how to 'read' a windrose* [online]. 2005 [cit. 2011-06-06]. Dostupný na:< <http://www.maine.gov/dep/air/meteorology/Windrosehelp.htm> >.
6. **POPOVSKÝ P.** *Přehled vlivu meteorologických parametrů na degradaci signálu optických i radiových spojů* [online]. 2011 [cit. 2011-07-07]. Dostupný na: < http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/39166/1/PopovskyP_PrehledVlivu_OF_2011.pdf >.
7. **STULL, R.B.** *Boundary layer meteorology*. Kluwer Academic Publisher. 1998. 500 p. ISBN 90-277-2768-6.
8. **TECHMANIA.** *Obtékání těles* [online]. 2008 [cit. 2011-07-07]. Dostupný na:< http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=280>.
9. **WILFERT, O.; KOLKA, Z.** *Optické (laserové) bezdrátové sítě* [online]. 2009 [cit.2010-08-10]. Dostupný na: < http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_pages/projekty/clanky/Wilfert_Kolka_opticke_spoje.pdf >.
10. **WIKIPEDIE.** *Snellův zákon* [online]. 2011 [cit.2011-07-07]. Dostupný na:< http://cs.wikipedia.org/wiki/Snell%C5%AFv_z%C3%A1kon >.

Příloha A – Popis přílohy

V příloze B se nachází zdrojový kód pouze jednoho z programů. Tento program načítá soubory s útlumem a s větrnými daty již zprůměrovanými po 1 minutě a vypočítává z nich hodnoty korelačních koeficientů pro každý den zvlášť. Zbytek zdrojových kódů je dodána na přiloženém CD spolu s daty, se kterými jsem pracoval.

Příloha B – Zdrojový kód souboru snaduzkorelace.m

```
clear all;clc;
load('20110527.mat');
load('147');
s=1;%start
k=length(ET)%konec

B=B(s:k);
I2D=I2D(s:k);
I3D=I3D(s:k);
u_std=u_std(s:k);
v_std=v_std(s:k);
w_std=w_std(s:k);
ET=ET(s:k);
teplota=teplota(s:k);

nany=isnan(ET);
ind=find(nany==0);
B=B(ind);
ET=ET(ind);
I2D=I2D(ind);
I3D=I3D(ind);
teplota=teplota(ind);
u_std=u_std(ind);
v_std=v_std(ind);
w_std=w_std(ind);
k=length(ET)
I2Dcoef=corrcoef(I2D,B);
I2Dcorcoef1=I2Dcoef(1,2);
I3Dcoef=corrcoef(I3D,B);
I3Dcorcoef1=I3Dcoef(1,2);
ETcoef=corrcoef(ET,B);
ETcorcoef1=ETcoef(1,2);
ucoef=corrcoef(u_std,B);
ucorcoef1=ucoef(1,2);
vcoef=corrcoef(v_std,B);
vcorcoef1=vcoef(1,2);
wcoef=corrcoef(w_std,B);
wcorcoef1=wcoef(1,2);
teplotacoeff=corrcoef(teplota,B);
teplotacorcoef1=teplotacoeff(1,2);
I2Dcorr=corr(I2D',B','type','Spearman');
I3Dcorr=corr(I3D',B','type','Spearman');
ETcorr=corr(ET',B','type','Spearman');
w_stdcorr=corr(w_std',B','type','Spearman');
u_stdcorr=corr(u_std',B','type','Spearman');
v_stdcorr=corr(v_std',B','type','Spearman');
teplotacorr=corr(teplota',B','type','Spearman');
x=(s:k)/60;
y=(s:k)/60;
vysledek(:,1)=[ETcorcoef1 I2Dcorcoef1 I3Dcorcoef1 teplotacorcoef1
ucorcoef1 vcorcoef1 wcorcoef1];
vysledek(:,2)=[ETcorr I2Dcorr I3Dcorr teplotacorr u_stdcorr v_stdcorr
w_stdcorr];
```