

Šíření optického a radiového signálu v prostředí s hydrometeory a větrnými turbulencemi

Ing. Martin Grábner, Ph.D., odd. frekvenčního inženýrství, Český metrologický institut, Hvoždanská 3, 148 01 Praha 4, tel. 271192226, email: mgrabner@cmi.cz

Dizertační práce Ing. Jiřího Peška představuje příspěvek do odborné problematiky popisu šíření elektromagnetických vln v prostředí zemské atmosféry. I když se v názvu práce objevuje pojem „radiového signálu“, dizertace se dominantně věnuje šíření optického signálu ve viditelné a infračervené oblasti spektra a je tak relevantní zejména pro charakterizaci přenosového kanálu optických bezkabelových spojů (OBS). To, že **je zvolené téma aktuální**, dokládají mimo jiného i četné publikace na toto téma v současné odborné literatuře, reference na některé z nich jsou uvedeny v seznamu literatury. Vznikají nové modely pro určení útlumu optického signálu při šíření v hydrometeorech a pro popis vlivu šíření optického signálu v turbulentní atmosféře, které si kladou za cíl přesněji určit atmosférické vlivy na přenosový kanál a získat podklady pro návrh OBS spojů. Předložená dizertační práce v tomto úsilí pokračuje a klade si cíle uvedené v kapitole 2, tj. a) vývoj experimentálního systému pro měření meteorologických parametrů pro určení strukturní konstanty indexu lomu vzduchu, b) popis vlivu větru na útlum na spoji OBS, c) analýza experimentálních měření a matematické modelování vlivu turbulencí popsaných strukturní konstantou na útlum optického spoje. Kromě těchto cílů se v práci nachází řada výsledků z oblasti modelování šíření v hydrometeorech.

Práce je členěna do deseti kapitol, nultá a devátá tvoří úvod a závěr. V úvodu je shrnuta motivace práce, v kapitole 1 je uveden stručný přehled řešené problematiky a kapitola 2 obsahuje cíle dizertace. Kapitola 3 se věnuje přehledu technologie OBS. Čtvrtá kapitola „Ztráty v atmosféře“ uvádí popis útlumu optického signálu absorpcí a rozptylem na částicích atmosféry. Zejména se zaměřuje na útlum v hydrometeorech jako je déšť a mlha. Jsou zde uvedeny některé empirické a teoretické vztahy pro numerické modelování tohoto útlumu. Je zde také naznačen pokus o simulaci šíření světla v kapce pomocí metody geometrické optiky. Kapitola 5 stručně představuje vliv větrných turbulencí na OBS a uvádí definiční vztahy pro strukturní konstantu indexu lomu a teploty a také vztah pro index lomu vzduchu.

Šestá kapitola popisuje experimenty na observatoři Milešovka a laboratorní experimenty na zahraničním pracovišti univerzity Northumbria v Newcastleu ve Velké Británii. Na Milešovce byla porovnána měřená dohlednost a útlum na skloněném optickém spoji s délkou dráhy 60 metrů. Byl navržen empirický model (vztah 6.3) pro určení útlumu na základě dohlednosti a v části 6.2.2 byl naznačen postup odvození útlumu na spoji s nehomogenním rozložením měrného útlumu vlivem nízké oblačnosti. Na základě analýzy dat ze sonického anemometru byl navržen vztah 6.8 mezi útlumem a turbulentní energií. V části 6.2.4 je z měření indexu lomu odvozena strukturní konstanta a její časový průběh je porovnán s průběhem útlumu ve stejném čase. V části 6.3 jsou popsány laboratorní experimenty v mlžné komoře, které vyústily ve zřejmě nejvýznamnější výsledek práce, tj. popis závislosti útlumu na dohlednosti v závislosti na vlnové délce. Kapitola 7 popisuje vývoj zařízení pro měření prostorového rozložení indexu lomu vzduchu na Milešovce a analyzuje základní výsledky těchto měření včetně například denního chodu indexu lomu. Jsou zde také porovnány časové průběhy útlumu vypočteného z odvozené strukturní konstanty a útlumu měřeného na optickém spoji. V kapitole 8 je

popsán vývoj zařízení pro měření pohybu a deformace paprsku na optickém spoji. V závislosti na síle a směru větru jsou analyzovány parametry svazku jako plocha, pozice středu a odchylka od kruhovosti. V závěru dizertace je práce shrnuta a zhodnocena, přičemž za nejvýznamnější výsledky autor považuje vztah 6.3 pro útlum v mlze a vztah 6.8 pro útlum vlivem větru. Nicméně nelze opominout ani významný příspěvek autora v oblasti vývoje a konstrukce experimentálních měření na observatoři Milešovka a na pracovišti Northumbria, bez kterého by nebylo možno získat prezentované výsledky.

Předložená dizertační práce má poměrně široký záběr, pokud jde o výběr témat, a je z ní patrný zájem Ing. Peška zejména o experimentální stránku výzkumu, která je však v oboru šíření elektromagnetických vln téměř nepostradatelná. Mohu jen vyzdvihnout jeho schopnosti a příspěvky v oblasti konstrukce experimentů jak na Milešovce, tak i v zahraniční laboratoři, kde nakonec vedly i k vývoji modelu pro útlum v mlze, který byl poté publikován ve významném impaktovaném časopise, viz publikace Ijaz et al, JLT, 2013. Na druhé straně se tento široký záběr bohužel trochu podepsal na úrovni zpracování a vyhodnocení získaných dat, které někdy působí jako nedokončené nebo které mohlo být provedeno podrobněji. Na některých místech v práci nalezneme pouze naznačení toho, čím se autor snad chtěl zabývat podrobněji, ale z nějakého důvodu nepokračoval (např. část 4.3.2 – rozptyl na dešťové kapce).

Sledovaný **cíl dizertační práce byl splněn**. Autor úspěšně zkonstruoval systém pro měření indexu lomu, navrhnul empirický vztah pro útlum vlivem větru a provedl zpracování měřených dat s ohledem na zhodnocení vlivu turbulencí popsaných strukturní konstantou na útlum optického signálu. Dále navrhnul empirický model pro útlum v mlze vycházející s pozorování na observatoři Milešovka. Osobně za neméně důležitý považuji jeho podíl na experimentálních i teoretických pracích v zahraniční laboratoři.

Následuje podrobnější kritická analýza obsahu dizertační práce.

Formální připomínky

Práce je psána v českém jazyce a nejsou zde žádné problémy se srozumitelností, jen popis některých grafů není úplně jasný. Překlepy se vyskytují jen sporadicky (např. první věta na str. 56 nebo „parné“ místo „patrné“ na str. 71). Členění práce je poměrně přehledné. Použitá literatura je citována a není tedy problém identifikovat vlastní příspěvek autora.

Obsahové připomínky, otázky a polemické body

Kapitola 4

Na str. 26 je uveden názor, že Mieův rozptyl nezahrnuje absorpci a proto nemusí dávat výsledky v souladu s experimentem. To se mi zdá minimálně zavádějící, protože v principu dává teorie Mieova rozptylu možnost vypočítat jak rozptylový tak absorpční průřez kulové rozptylující částice a to pomocí komplexního indexu lomu.

V části 4.3.2 je simulace rozptylu na dešťové kapce pomocí geometrické optiky. Není jasné, jaký byl cíl této simulace, a není uvedeno žádné byt jen kvalitativní zhodnocení.

Ve výpočtu útlumu souboru kapek, Q_{ext} ve vzorci 4.10 na str. 32 nemůže být přímo průřez ale jen poměr průřezu vůči geometrickému průřezu, tj. $Q_{\text{ext}} = C_{\text{ext}}/C_{\text{geom}}$, kde $C_{\text{geom}} = \pi r^2$. Místo dN/dr má být pouze $N(r)$, pokud platí definice (4.9). V referenci ITU-R 1817, odkud byl vztah asi převzat, je zřejmě jiná definice rozdělení $N(r)$.

Ve vztahu (4.12) na str. 34 by mělo být znaménko mínus, aby dohlednost vycházela kladná, podobně ve vztahu (4.13). V rovnicích (4.14) a (4.15) by mělo být místo „ $10\ln(\dots)$ “ zapsáno „ $10(\log e)(\dots)$ “.

Kapitola 6

V obrázku 20 na str. 46 je Kimův vzorec zřejmě zakreslen chybně. Vzhledem k délce spoje 60 metrů je specifický útlum $A[\text{dB/km}]$ $(1000/60)$ krát (tj. přibližně 16,7 krát) větší než je měřený útlum na spoji. Při dohlednosti $V=1000$ m, ukazuje červená křivka (Kim) asi 7 dB/60m tj. asi 116,9 dB/km. Kimův vzorec (4.13) však pro vlnovou délku 830 nm predikuje jen 13.8 dB/km. To také ukazuje, že se měřená data útlumu ve vztahu k dohlednosti na Milešovce výrazně vymykají standardním modelům. Vztah (6.3) odvozený z dat z Milešovky je tedy nutno chápat jen jako ryze lokální model, který neplatí v jiných lokalitách.

Odvození výšky rozhraní nízké oblačnosti je na str. 47 popsáno jen slovně a ne zcela jasně. Např. není jasná souvislost s empirickým vztahem (6.4), pokud vůbec existuje. Jsou zde zmíněné „dílní útlumy“ dány přepočtenými hodnotami dohlednosti měřenými na koncích spoje (tj. nahoře a dole)?

V obrázku 25 na str. 51 není popsána vertikální osa strukturní konstanty, která se porovnává s útlumem. Jde o samotnou strukturní konstantu nebo o přepočtený útlum pomocí Rytova vztahu?

Na str. 56 je zmíněna nová metoda měření s použitím širokospektrálního zdroje světla. O jaký zdroj šlo, a byla známa jeho spektrální charakteristika? Ovlivnilo spektrum tohoto zdroje nějak výsledky?

Kapitola 9

V závěru je zmíněn možný vliv znečištění vzduchu z Lovosických továren na výsledky měření na Milešovce. To je dosti odvážné vysvětlení vzhledem k tomu, že měření útlumu v Praze a Brně na experimentálních spojích OBS nevykazovala velké odchylky od standardních modelů jako je Kimův.

Otázky k obhajobě:

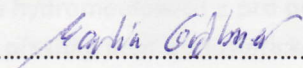
V závěru práce jsem nenašel nastínění perspektivy možného budoucího vývoje v předmětné oblasti dizertace. Proto bych, kromě případného zodpovězení některých otázek a upřesnění nejasností vypsaných výše, u obhajoby rád slyšel názor Ing. Peška na budoucí vývoj v oblasti modelování šíření optického signálu v atmosféře. Kde například vidí prostor pro další zpřesňování jím navržených nebo jiných podobných modelů?

Závěr

Konstatuji, že předložená dizertace má charakter tvůrčí vědecké práce. Výsledky prezentované v dizertaci již prošly odbornou oponenturou ve formě recenzních řízení časopiseckých a konferenčních příspěvků a nepochybně obohacují stupeň poznání v předmětné oblasti. Práci proto **doporučuji k obhajobě**.

V Praze dne 8. 1. 2018

Ing. Martin Grábner, Ph.D.


.....