

Měření vlivu velikosti překážek na přenos optickým pojítkem

Measurement of the influence of size of the obstacles onto an optical link transmission

J. Látal, P. Koudelka, J. Vitásek

jan.latal@vsb.cz, petr.koudelka@vsb.cz, jan.vitasek.st@vsb.cz

Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB-TU Ostrava

Abstrakt: Článek se zabývá optickým bezdrátovým spojem (OBS) a vlivem velikosti překážky na přenos pomocí tzv. atmosférického optického spoje (Free Space Optical Link, FSOL), který se využívá v těžko dostupných místech a zároveň, kde je nutné dosáhnout vyšších přenosových rychlostí. Přenosové rychlosti u bezdrátových sítí se stále zvyšují s každým přicházejícím standardem, přesto problémy se zabezpečením jsou stále přítomny. Výhodou bezdrátových technologií typu Wi-Fi či WiMAX může být jejich lepší odolnost vůči překážkám či atmosférickým výkyvům, nicméně nedosahují přenosových rychlostí srovnatelných s FSOL. Naopak FSOL jsou velmi náchylné na atmosférické změny a na překážky mezi dvěma stacionárními optickými spoji.

Abstract: The article deals with the optical wireless link (OBS) and the influence of the size of the obstacle onto the transfer by the so-called atmospheric optical link (Free Space Optical Link, FSOL), which are used in places that are hard to reach and where is required to achieve higher transmission speeds. Transmission speed of wireless networks are steadily increasing with each incoming standard, but security problems are still present. The advantage of wireless technologies like Wi-Fi and WiMAX may be a better resistance to atmospheric disturbances and obstacles, but do not have transmission speeds comparable to FSOL. Conversely FSOL are very susceptible to atmospheric changes and the barriers between two stationary optical links.

Měření vlivu velikosti překážek na přenos optickým pojitkem

J. Látal, P. Koudelka, J. Vitásek

Katedra telekomunikační techniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB-TU Ostrava
17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba

Email: jan.latal@vsb.cz, petr.koudelka@vsb.cz, jan.vitasek.st@vsb.cz

Abstrakt – Článek se zabývá optickým bezdrátovým spojem (OBS) a vlivem velikosti překážky na přenos pomocí tzv. atmosférického optického spoje (Free Space Optical Link, FSOL), který se využívá v těžko dostupných místech a zároveň, kde je nutné dosáhnout vyšších přenosových rychlostí. Přenosové rychlosti u bezdrátových sítí se stále zvyšují s každým přicházejícím standardem, přesto problémy se zabezpečením jsou stále přítomny. Výhodou bezdrátových technologií typu Wi-Fi či WiMAX může být jejich lepší odolnost vůči překážkám či atmosférickým výkyvům, nicméně nedosahují přenosových rychlostí srovnatelných s FSOL. Naopak FSOL jsou velmi náchylné na atmosférické změny a na překážky mezi dvěma stacionárními optickými spoji.

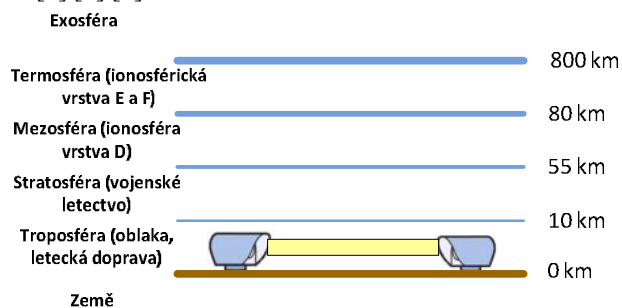
1 Úvod

Atmosférický optický spoj je komunikační zařízení, které používá světlo k přenosu informace mezi dvěma body skrze atmosférické přenosové prostředí. Již v roce 1880 bylo patentováno **A. G. Bellem** a jeho spolupracovníkem **Ch. S. Taintem** historicky první zařízení, které pracovalo na základě přenosu informace optickým svazkem [1]. Tato technologie v sobě skrývá přenosovou kapacitu optických sítí i jednoduchost a rychlost instalace bezdrátových sítí. Ve skutečnosti ve srovnání s přenosem optickými vlákny, kde působí odpor skla, dosahuje bezdrátová optika podstatně vyšších rychlostí ve vzduchu, které se skutečně přibližují rychlosti světla. Atmosférický optický spoj se využívá tam, kde je přenos optickými kabelem nepraktický (neefektivní, nedostupný některým jiným technologiím, rychlosti) nebo finančně moc náročný. Optické přenosové spoje jsou plně duplexní zařízení, která k přenosu využívají infračervený laserový zdroj, na kratší vzdálenosti lze použít jako zdroj světla i LED diody. Požadavkem FSOL (tzn. mezi dvěma hlavicemi) je přímá viditelnost (Line-Of-Sight, LOS), tj. volná cesta bez překážek. Maximální použitelný dosah v pozemských podmínkách je u některého typu zařízení až 10 km, ale stabilita a kvalita přenášeného signálu je silně závislá na atmosférických podmínkách, jako je déšť, mlha, prašnost atd. Bezpečnost optických přenosových spojů je velmi vysoká. Optické spoje mají proti nežádoucímu odposlechu vynikající ochranu. Paprsek je neviditelný a jeho šířka je velmi úzká. Pokus o odposlech by způsobil přerušování paprsku a tedy i spojení, čehož by si uživatel či poskytovatel internetového připojení (Internet Service Provider, ISP) ihned všiml. Výhody tohoto spoje jsou: jednoduchá, levná a rychlá instalace, žádné provozní poplatky, odolnost vůči elektromagnetickým interferencím, vysoká přenosová rychlost, nízká chybo-

vost (v případě správného dimenzování umístění a vzdálenosti spoje), spoj snadno překoná přírodní překážky jako je např. řeka, silnice. Nevýhody spoje jsou spojeny hlavně s citlivostí na atmosférické podmínky nebo na krátkodobé přerušování svazku způsobené přeletem ptáků. Nejdůležitějšími parametry určujícími kvalitu přenosu atmosférickými optickými pojitky jsou útlum, disperze, vlnová délka, úhlová šířka svazku a výkon optického zdroje signálu. V článku jsou postupně shrnuty důležité aspekty a definice pro určování kvalitativních parametrů spoje, postup měření a následně je v přehledných grafech vykresleno rozložení optického výkonu na rastru pro jednotlivé vzdálenosti a velikosti překážky mezi spoji a k nim uvedené patřičné informace o naměřených a vypočtených hodnotách [3] [4].

2 Atmosférické přenosové prostředí

Zemská atmosféra se skládá z několika vrstev, jak můžeme vidět na obrázku 1. Nejnižší vrstva se nazývá troposféra, sahá asi do výšky 10 km a právě v této vrstvě pracují optické spoje. Troposféra je charakteristická tím, že jsou zde vodní páry podléhající kondenzaci. V troposféře vznikají mnohé jevy, které jsou nehomogenní, nestacionární (dále se předpokládá, že rovněž dielektrické, lineární, nedisperzní, izotropní), které mají velký vliv na přenos optickými spoji. Mezi tyto stochastické jevy patří mlhy, oblaka, sněžení, déšť, bouřky, větry a větrné víry. Vlivy na kvalitativní parametry přenosu mají náhodný charakter. Optický svazek procházející takovým prostředím podléhá náhodným energetickým i tvarovým změnám a důsledkem jsou náhodné změny úrovně přijímaného výkonu [1] [2] [3].



Obrázek 1: Složení atmosféry země

Atmosférické jevy ovlivňují přijímaný optický výkon. Proto je nutné dávat si velký pozor při umísťování hlavic ve venkovním prostředí. Zvláště je nutné zabránit přímému ozáření foto-

diody sluncem. Je nutné také přihlídnout k četnosti výskytu ptactva v dané lokalitě. Přelet ptáku před hlavou spoje může zavinit přerušení svazku. Mezi nejvýznamnější jevy, které podstatně ovlivňují činnost optických spojů, patří:

- Absorpce a rozptyl světla na molekulách plynů a aerosolech
- Fluktuace optické intenzity vlivem turbulence atmosféry, deště, sněhu
- Fluktuace optické intenzity vlivem deformace optického svazku
- Záření pozadí
- Výskyt ptáků v ovzduší

Vlivem teplotního gradientu nebo mechanického působení dochází k tomu, že lokální teplota a tlak ovzduší se mění v prostoru i čase, důsledkem čehož je, že index lomu atmosférického přenosového prostředí je náhodnou funkcí souřadnic prostoru a času. Optický svazek procházející takovýmto prostředím podléhá energetickým i tvarovým změnám. Změny tvaru svazku (jeho rozšíření nebo odklon) mohou vyvolat změny úrovně přijímaného výkonu. Výše uvedené jevy působící společně na spoj vyvolávají současně extinkci intenzity. Uvedené jevy pak tedy dělíme na extinkci optické intenzity, turbulenci optické intenzity a přerušování svazku. Střední koeficient extinkce lze vyjádřit jako součet

$$\alpha = \alpha_{\text{abs}} + \alpha_{\text{r,m}} + \alpha_{\text{r,c}} + \alpha_{\text{fluk}}, \quad (1)$$

kde α_{abs} je člen, který zodpovídá za absorpci na molekulách, $\alpha_{\text{r,m}}$ je člen odpovídající rozptylu na molekulách (Rayleighův rozptyl), $\alpha_{\text{r,c}}$ je člen odpovídající rozptylu na částicích (Míuv rozptyl) a α_{fluk} je člen odpovídající střednímu zeslabení intenzity vlivem fluktuací. Pro energetickou bilanci spoje lze pak každý člen extinkce vyjádřit konkrétním způsobem [1] [2] [3]. Útlum optické intenzity v atmosférickém přenosovém prostředí je možno stanovit také pomocí koeficientu útlumu, jen místo délky vlákna je třeba dosadit délku trasy svazku v atmosféře. Pro koeficient útlumu v atmosférickém přenosovém prostředí pak platí následující vztah:

$$\alpha_{1,APP} = \frac{-1}{L_{APP}} \times 10 \log \frac{I_2}{I_1}, \quad (2)$$

Vztah mezi koeficientem extinkce v $[\text{km}^{-1}]$ a koeficientem útlumu definovaným (2) v $[\text{dBkm}^{-1}]$ je dán vztahem

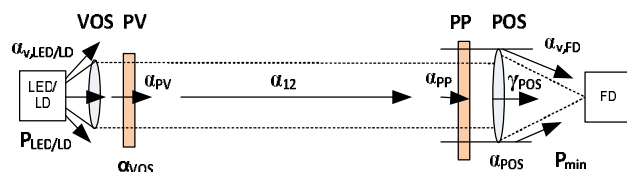
$$\alpha^{[\text{km}^{-1}]} = 0,23 \times \alpha_{1,APP}^{[\text{dBkm}^{-1}]} \quad (3)$$

Většina atmosférických optických přístrojů vysílá světlo o vlnových délkách kolem 850 nm a kolem 1550 nm. V rámci

bezpečného provozu vzhledem k lidskému zraku je možno u vlnové délky 1550 nm použít 50x více energie než u vlnových délek kolem 850 nm. To umožňuje přenos signálu na mnohem větší vzdálenost, nebo lepší schopnost pracovat i při velmi špatném počasí [1] [2] [3].

3 Energetická bilance spoje

Nejdůležitějšími parametry energetické bilance spoje jsou zobrazeny přehledně na obrázku 2.



Obrázek 2: Zobrazení míst útlumu a zesílení pro energetickou bilanci u optických bezdrátových spojů [2]

Vysvětlení jednotlivých pojmů: výkon LED/LD diody $P_{\text{LED/LD}}$, útlum vazby LED/LD - vysílací optická soustava $\alpha_{\text{v,LED/LD}}$, útlum šířením α_{12} , zesílení přijímací optické soustavy γ_{POS} , účinnost vazby přijímací optická soustava-fotodioda $\alpha_{\text{v,FD}}$, propustnost optických průzorů α_{PV} a α_{PP} , útlum vyvolaný nedokonalostí vzájemného zamíření hlavic spoje α_z , rezervu spoje na atmosférické přenosové prostředí ρ_{atm} , minimální hodnotu poměru signálu k šumu SNR_0 , minimální detekovatelný výkon fotodiody P_{MIN} , citlivost přijímacího systému P_0 a úroveň přijímaného výkonu, při které dochází k saturaci přijímače P_{MAX} .

Účinnost vazby $\alpha_{\text{v,LED/LD}}$ závisí hlavně na úhlové šířce, na rozložení svazku vyzářovaném LED/LD a na numerické apertuře (NA) vysílací optické soustavy. Pokud budeme vyjadřovat $\alpha_{\text{v,LED/LD}}$ v decibelech pak jej píšeme v následujícím vztahu

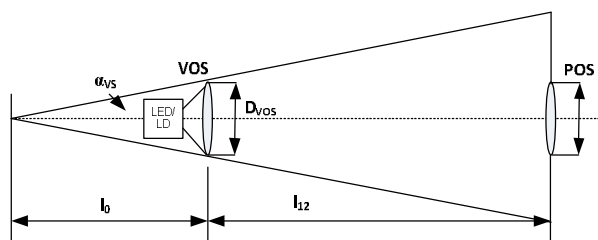
$$\alpha_{\text{v,LED/LD}} = \left| 10 \log \frac{P_{\text{VOS}}}{P_{\text{LED/LD}}} \right|, \quad (4)$$

kde pak P_{VOS} je výkon, který dopadá na aperturu vysílací optické soustavy. V praxi se setkáváme s tím, že útlum vazby je roven přibližně 1,5 dB. Útlum šíření je definován následujícím

$$\text{výrazem } \alpha_{12} = \left| 20 \log \frac{l_0}{l_0 + l_{12}} \right|, \quad (5)$$

kde pak l_{12} je vzdálenost, jenž je mezi optickými hlavicemi spoje a l_0 je tzv. pomocná délka, jejíž význam lze pozorovat v obrázku 3. Pro vyjádření pomocné délky l_0 je nutné znát některé z následujících parametrů, kterými jsou průměr vysílací optické soustavy D_{VOS} a úhlovou šířku vysílaného svazku

$$l_0 \approx \frac{D_{\text{VOS}}}{\alpha_{\text{VS}}}. [1] [2] [3] [4].$$

Obrázek 3: Význam veličiny l_0 (pomocné délky) [2]

Zesílení přijímací optické soustavy je dáno poměrem ploch přijímací a vysílací apertury, rozložením intenzity v Gaussově svazku a umístěním středu přijímací apertury v ose Gaussova svazku. Opět pokud budeme vyjadřovat vztah pro zesílení přijímací optické soustavy v decibelové míře, pak píšeme

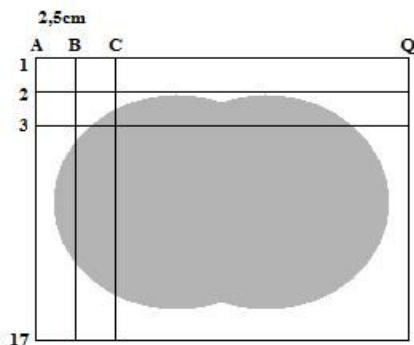
$$\gamma_{POS} = \left| 20 \log \frac{D_{POS}}{D_{VOS}} \right| + 3dB. \quad (6)$$

Účinnost vazby „přijímací optická soustava - fotodioda“ $\alpha_{v,FD}$, závisí (za předpokladu konstantního ozáření přijímací apertury) na poměru aktivní plochy fotodiody A_{FD} a velikosti stopy A_{spot} , kterou v ohniskové rovině přijímací optické soustavy vytváří přijaté světlo. Pro $A_{FD} \geq A_{spot}$ je $\alpha_{v,FD} = 0dB$. Rezervu spoje pro atmosférické přenosové prostředí ρ_{atm} odvozujeme na základě dlouhodobého měření útlumu atmosférického přenosového prostředí. Minimální hodnota SNR_0 se stanovuje v závislosti na typu použité modulace a požadované chybovosti BER. Například pro modulaci OOK (One-Off-Keying), která je modulací intenzitní, je $SNR=13,5dB$ při chybovosti spoje $BER=10^{-6}$. Minimální detekovatelný výkon přijímače P_{min} závisí na přenosové rychlosti, typu použité fotodiody a šumových parametrech předzesilovače. Pro fotodiodu PIN a přenosovou rychlost $v_p = 10$ Mbit/s bývá hodnota minimálního detekovatelného výkonu přijímače rovna $P_{min} \approx -43$ dBm. Citlivost přijímacího systému je definovaná jako minimální úroveň přijatého výkonu P_0 , která je nutná k dosažení stanovené hodnoty SNR_0 a vyjádří se $P_0 = P_{min} + SNR_0$. [1] [2] [3] [4]. Posledním neméně důležitým parametrem energetické bilance optických bezdrátových spojů je úroveň přijímaného výkonu, při které dochází k saturaci přijímače P_{max} . Oblast dynamiky přijímacího systému Δ_p je pak definovaná výrazem $\Delta_p = P_{max} - P_0$. Oblast dynamiky přijímacího systému je vzhledem k vysoké míře fluktuací výkonu (vlivy šumu atmosférického přenosového prostředí) významnou veličinou. Její hodnota v decibelové míře bývá $\Delta_p \approx 30$ dB. Útlum vyvolaný nedokonalostí vzájemného zamíření hlavic spoje α_z , je způsoben různými vlivy jakými jsou například nezkušenost obsluhy při zaměřování, mechanickými deformacemi úchytu hlavice při aretaci, teplotními deformacemi konzol apod. Empirickým průzkumem bylo zjištěno, že útlum α_z nepřevyšuje hodnotu 1,5 dB [1] [2] [3] [5].

4 Postup pro měření

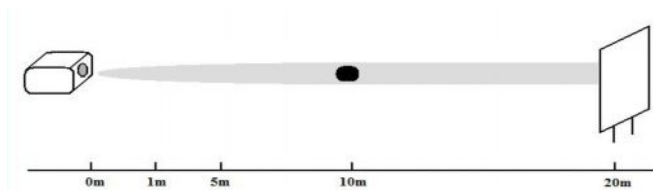
Cílem měření bylo zjistit jaký vliv má velikost překážky na přenos signálu pomocí optickým spojem. Na trase vysílaného paprsku optického spoje byly změřeny velikosti optického

výkonu. Optický výkon byl měřen v různých vzdálenostech od zdroje, po bodech na ploše kolmé k ose vysílaného paprsku tak, aby se dal výsledek zpracovat do grafické podoby. Poté byla vložena překážka do vysílaného paprsku a změřen její vliv na optický výkon signálu za ní. Měření se opakovalo v různých vzdálenostech od zdroje a s různě velkými překážkami umístěnými v různých vzdálenostech od zdroje. Při měření optického výkonu byla nastavena rastrová tabule do potřebné vzdálenosti. Pomocí měřiče optického výkonu (od fy. Thorlabs) bylo nalezeno na rastrové tabuli místo s největším optickým výkonem a toto místo bylo považováno za střed měřené plochy. Na rastrové ploše byla vytvořená síť a na střed rastrové plochy byl namířen optický svazek s optickým výkonem. Vzdálenost bodů v síti, znázorněná na obrázku 4, byla zvolena po 2,5 cm. Celková měřená plocha sítě měla rozměry čtverce o straně délky 40 cm. Optický výkon byl měřen v každém bodě sítě a výsledky byly zapsány do tabulky a poté došlo k vykreslení rozložení optického výkonu a vlivu překážky na spoj. Optický výkon byl nejprve měřen ve vzdálenostech 1 m, 5 m, 10 m a 20 m od vysílací hlavy bez překážky ve vysílaném paprsku. Poté byla do přenášeného paprsku vložena malá překážka, asi 5 - 10 cm velká, umístěná do vzdálenosti 1 m od vysílací hlavy a opět byl měřen optický výkon ve vzdálenostech 5 m, 10 m a 20 m. V dalším kroku byla do trasy paprsku vložena malá překážka do vzdálenosti 5 m od vysílací hlavy a měřen optický výkon ve vzdálenostech 10 m a 20 m od vysílací hlavy.



Obrázek 4: Znázornění měřicí sítě na rastrové tabuli. Tmavá plocha uprostřed představuje rozložení optického výkonu paprsku na ploše kolmé k ose vysílacího paprsku.

V posledním kroku byl optický výkon měřen ve vzdálenosti 20 m od vysílače při umístění malé překážky ve vzdálenosti 10 m od vysílače dle vyobrazení na obrázku 5. Celý proces měření byl opakován, avšak tentokrát s větší překážkou, která vysílací paprsek zastiňovala asi ze dvou třetin. Překážky byly umístěny do středu vysílaného paprsku.



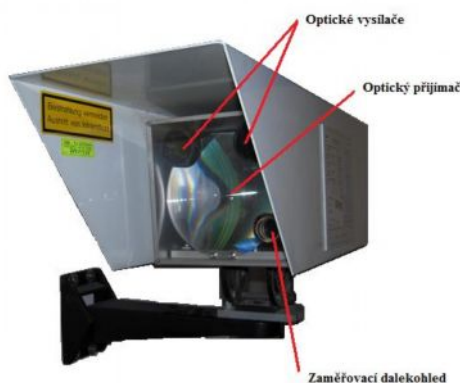
Obrázek 5: Příklad měřicího pracoviště při měření optického výkonu v 20m a překážky v 10m.

5 Postup pro měření

Hlavní část měřicího pracoviště byl optický spoj umístěn uvnitř budovy, tudíž bylo možno zanedbat většinu atmosférických jevů, které za jiných okolností mají na přenos velký vliv. Při měření byl použit optický spoj WOLink 4E1/300, znázorněn na obrázku 6. Jedná se o model se dvěma LED zdroji optického signálu, bližší specifikace lze nalézt v tabulce 1.

Tabulka 1: Technické parametry použitého spoje WOLink 4E1/300

Vlnová délka	850 nm
Úhlová šířka svazku	80 mrad
Apertura	100 x 5 mm ²
Maximální dosah	300 m
Přenosová rychlost	4 x 2048 Mbps



Obrázek 6: Hlava použitého optického spoje WOLink 4E1/300

6 Výsledky měření

V této části budou prezentovány výsledky naměřených hodnot získané při měření spoje. Výsledky jsou zpracovány do grafické podoby znázorňující kvantitativní rozložení optické intenzity na měřící rastrové tabuli. Měření probíhalo na chodbě budovy, z čehož vycházejí některá specifika. Hodnota optického výkonu se zvětšuje s rostoucí vzdáleností od podlahy na chodbě, což je způsobeno umístěním oken v horní části chodby a tím spojenou existencí parazitního světla pronikajícího okny. Avšak velikost rozdílu v horní a dolní části rastrové tabule je v porovnání s maximálními naměřenými hodnotami zanedbatelná. Naměřené hodnoty optického výkonu jsou pouze v určených bodech na rastrové tabuli. K porovnávání výsledku je ovšem potřeba znát hodnotu celkového optického výkonu na měřené ploše. Tato hodnota byla získána sumou hodnot optických výkonů v jednotlivých bodech vynásobenou hodnotou 6,25; jedná se obsah čtverce o straně 2,5 cm, což je vzdálenost jednotlivých bodů od sebe. Hodnota celkového optického výkonu na měřené ploše tak bude pouze přibližná, ale pro účely porovnání je dostatečná. Pro znázornění vlivu

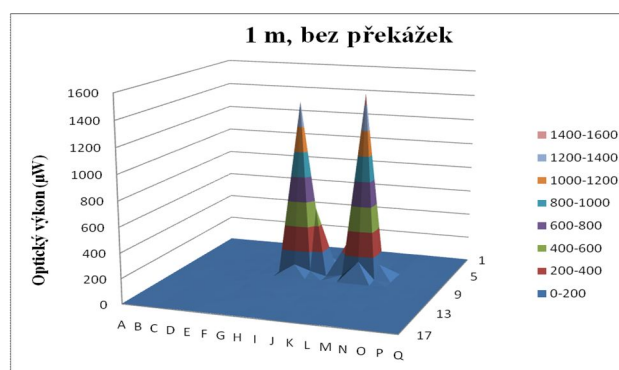
překážek na přenos optickými spoji byly porovnávány hodnoty poklesu optického výkonu v dané vzdálenosti od zdroje. Jelikož nebyla možnost určit velikost optického výkonu, který vystupuje přímo ze zdroje, tak byla použita jako vztažná hodnota, od které se bude určovat hodnota poklesu optického výkonu, hodnotu celkového optického výkonu na měřené ploše ve vzdálenosti 1 m od zdroje.

$$L = -10 \log \left(\frac{P}{P_{1m}} \right), \quad (7)$$

kde L je hodnota poklesu optického výkonu vůči optickému výkonu ve vzdálenosti 1 m od zdroje, P je hodnota celkového optického výkonu na měřené ploše, P_{1m} je hodnota celkového optického výkonu na měřené ploše ve vzdálenosti 1 m od zdroje. Pro porovnání vlivu jednotlivých překážek při měření v různých vzdálenostech je potřeba hodnoty poklesu optického výkonu vztáhnout k jejich vzdálenostem od zdroje, tak získáme hodnotu vztáženého poklesu optického výkonu L_v . Například když hodnota poklesu optického výkonu měřená v 5 m s malou překážkou v 1 m je 3,26 dB, tak od této hodnoty se musí odečíst hodnota poklesu optického výkonu měřená v 5 m bez překážky, což je 0,84 dB. Takže pak hodnota poklesu optického výkonu vztážená ke vzdálenosti, ve které se nachází, je 2,42 dB. Až tato hodnota je vhodná pro porovnávání vlivu při měření v různých vzdálenostech od zdroje. [6] Tento proces je nutné udělat proto, že pokles optické intenzity nezávisí pouze na překážce, ale také na vzdálenosti od zdroje. Při hodnotě L_v větší než 3 dB se dá vliv překážky na přenos považovat za významný.

6.1 Měření v 1 m

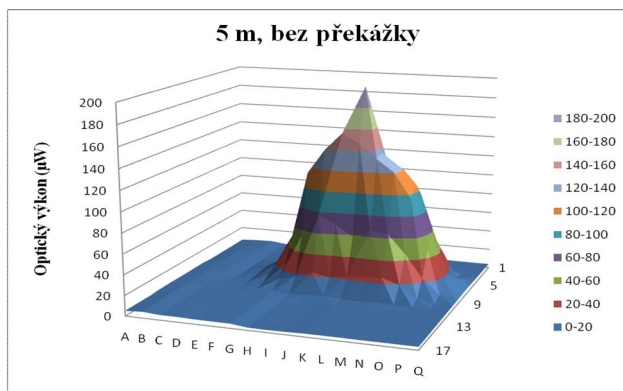
Na úvod poznamenejme, že všechny obrázky tj. 7 až 22 mají popis os následující: osa x popisuje optický výkon, osa y obsahuje měřící body na rastru v horizontálním směru (řady A-Q), osa z měřící body na rastru ve vertikálním směru (1-17). V případě osy y a z vycházíme z obrázku 4, kdy byl vytvořen rastr pro měření rozložení optického výkonu. Jedná se o hodnoty naměřené na rastrové tabuli ve vzdálenosti 1 m od vysílací hlavičky. Do spoje, kde se šířil optický paprsek, nebyla vložena žádná překážka. Výsledky měření jsou znázorněny na obrázku 7.



Obrázek 7: Optický výkon na ploše kolmé k ose šíření paprsku ve vzdálenosti 1 m od zdroje. [6]

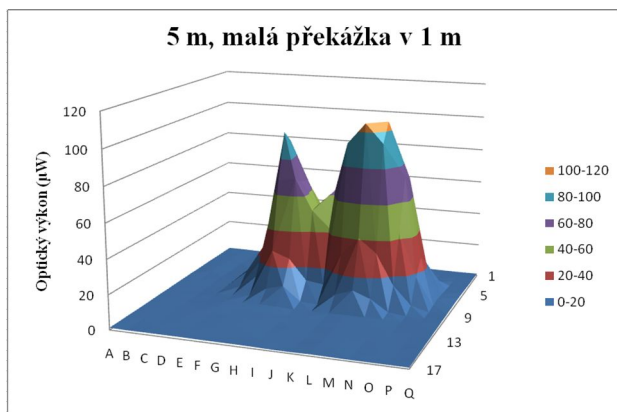
Na obrázku 7 je patrná existence dvou výkonových ohnisek způsobená tím, že vysílací hlava využívá dvou LED zdrojů infračerveného signálu. Hodnota celkového optického výkonu je přibližně 40 mW. Tato hodnota byla poté použita jako vztažná k určení poklesu optického výkonu.

6.2 Měření v 5 m

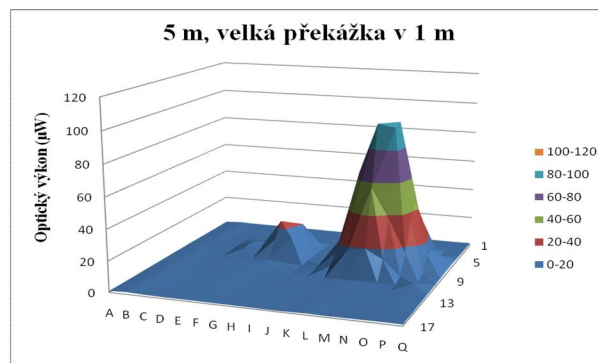


Obrázek 8: Optický výkon na ploše kolmé k ose šíření paprsku ve vzdálenosti 5 m od zdroje. [6]

Na obrázku 8 je patrné, že s rostoucí vzdáleností od zdroje se mění rozložení optického výkonu. Jednotlivá ohniska splývají a největší hodnoty je dosaženo mezi oběma zdroji. Na dalších obrázcích (obrázek 9 a 10) je vidět rozložení optického výkonu ve vzdálenosti 5 m od zdrojové hlavy s malou, respektive velkou, překážkou ve vysílacím paprsku ve vzdálenosti 1 m od zdroje. Na obou obrázcích 9 a 10 je patrné zastínění signálu ve střední části grafu. Hodnota celkového optického výkonu v 5 m je přibližně 33,9 mW. Hodnota poklesu optického výkonu $L_{5m} = 0,84$ dB. Hodnota celkového optického výkonu v 5 m při zastínění malou překážkou je přibližně 18,9 mW, tedy $L_{5m\text{pře.malá}} = 3,26$ dB, $L_v = L_{5m\text{pře.malá}} - L_{5m} = 2,42$ dB. Hodnota celkového optického výkonu při zastínění velkou překážkou je přibližně 10,2 mW, tedy $L_{5m\text{pře.velká}} = 5,93$ dB, $L_v = 5,09$ dB. Obě překážky mají velký vliv na pokles optického výkonu, ovšem v případě velké překážky je vliv na přenos velmi významný a zařízení by při provozu na větší vzdálenost pravděpodobně nefungovalo. [6]

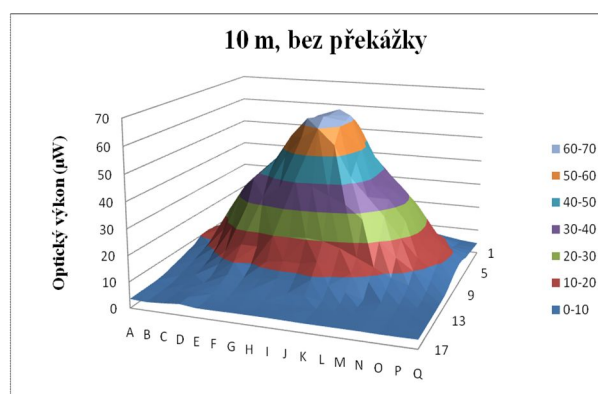


Obrázek 9: Optický výkon ve vzdálenosti 5 m od zdroje s malou překážkou v 1 m [6]



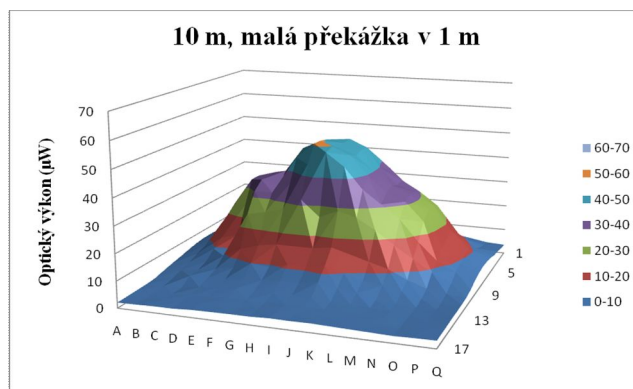
Obrázek 10: Optický výkon ve vzdálenosti 5 m od zdroje s velkou překážkou v 1 m [6]

6.3 Měření v 10 m

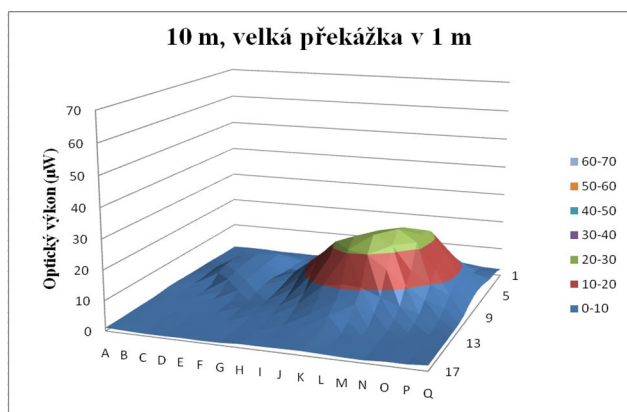


Obrázek 11: Optický výkon na ploše kolmé k ose šíření paprsku ve vzdálenosti 5 m od zdroje [6]

Obě ohniska už plně splýnula v jednolité kužel. Optický svazek je již rozprostřen na celé měřené ploše, to je zapříčiněno poměrně velkou úhlovou šířkou vysílaného paprsku. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 10 m bez překážky (obrázek 11) je 32,4 mW, $L_{10m} = 0,92$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 10 m s malou překážkou v 1 m (obrázek 12) je 26,9 mW, $L_{10m\text{pře.malá}} = 1,72$ dB, $L_v = 0,8$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 10 m s velkou překážkou v 1 m (obrázek 13) je 10,1 mW, $L_{10m\text{pře.velká}} = 5,98$ dB, $L_v = 5,06$ dB.

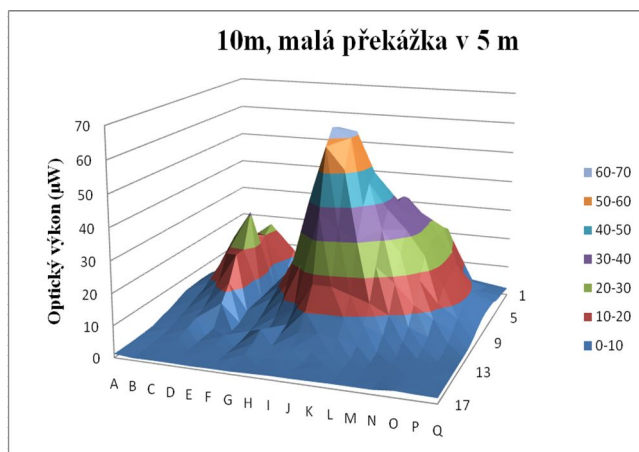


Obrázek 12: Optický výkon ve vzdálenosti 10 m od zdroje s malou překážkou v 1 m [6]

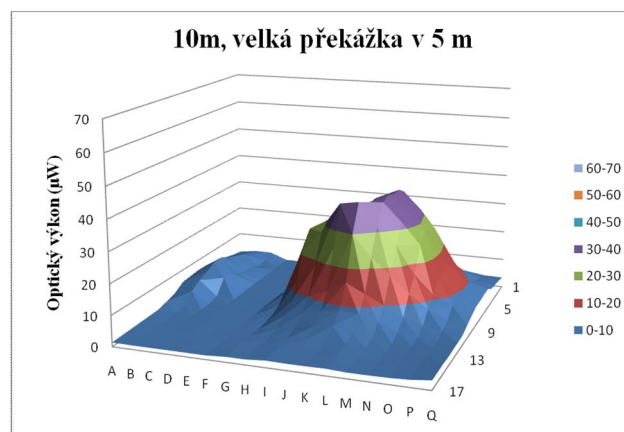


Obrázek 13: Optický výkon ve vzdálenosti 10 m od zdroje s velkou překážkou v 1 m [6]

Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 10 m s malou překážkou v 5 m (obrázek 14) je 19,5 mW, $L_{10\text{mpře.malá}} = 3,12$ dB, $L_v = 2,2$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 10 m s velkou překážkou (obrázek 15) v 5 m je 15,8 mW, $L_{10\text{mpře.velká}} = 4,03$ dB, $L_v = 3,11$ dB. Z obrázků 14 a 15 je vidět, že překážky ve vzdálenosti 5 m od zdroje způsobují hlavně lokální ztrátu optického výkonu, hodnoty v mnohých bodech se shodují s hodnotami při měření bez překážek. Na druhé straně překážky blíže ke zdroji, tedy v 1 m, způsobují ztrátu optického výkonu na celé měřené ploše. Obecně je patrné, že větší překážky mají větší vliv na přenos optickými spoji. Vztažný pokles optického výkonu L_v při měření s velkými překážkami ukázal velmi silný vliv na přenos, a to $L_v = 5,06$ dB s překážkou v 1 m a $L_v = 3,11$ dB s překážkou v 5 m. Při měření s malými překážkami nebyl vliv tak významný a v případě malé překážky v 1 m bylo $L_v = 0,8$ dB, což byl nejmenší vliv ze všech měření [6].

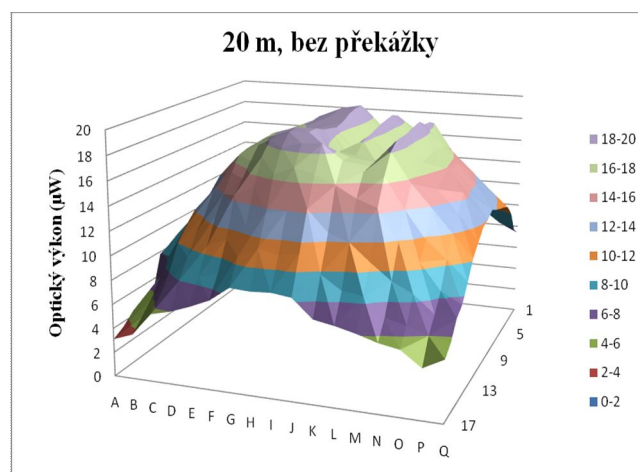


Obrázek 14: Optický výkon ve vzdálenosti 10 m od zdroje s malou překážkou v 5 m [6]



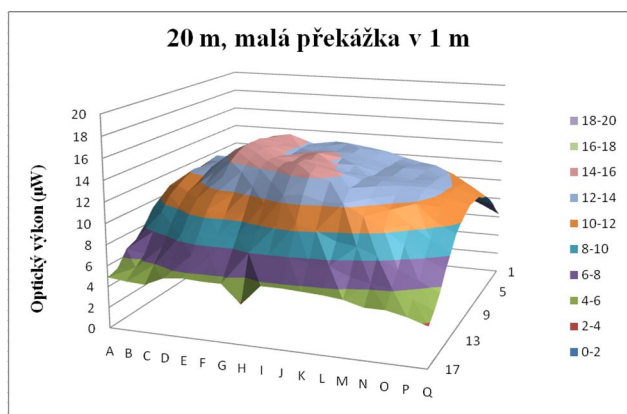
Obrázek 15: Optický výkon ve vzdálenosti 10 m od zdroje s velkou překážkou v 5 m [6]

6.4 Měření v 20 m

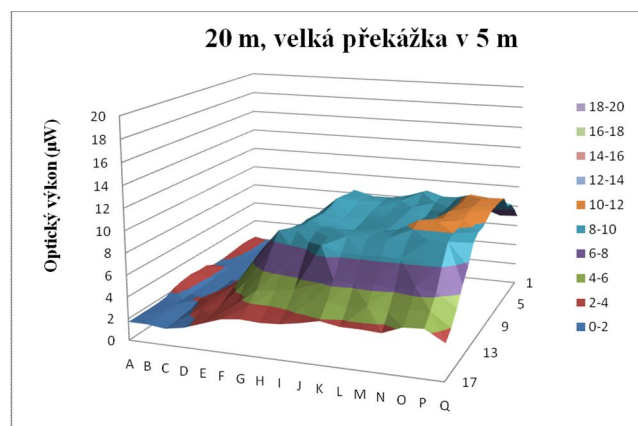


Obrázek 16: Optický výkon na ploše kolmé k ose šíření parkuru ve vzdálenosti 20 m od zdroje [6]

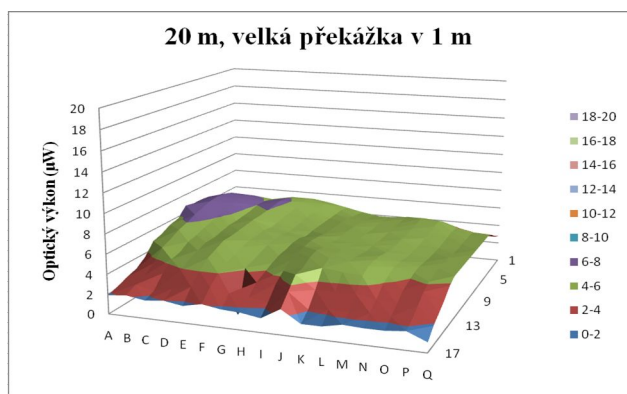
Plocha, na které se rozprostírá optický výkon, je ve 20 m už tak veliká, že se celá nevejde do měřené plochy, ovšem jedná se pouze o okrajové části, ve kterých výkon není tak veliký, takže to má zanedbatelný vliv na měření. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m bez překážky (obrázek 16) je 24,2 mW, $L_{20\text{m}} = 2,18$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m s malou překážkou (obrázek 17) v 1 m je 20 mW, $L_{1\text{mpře.malá}} = 3,01$ dB, $L_v = 0,83$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m s velkou překážkou (obrázek 18) v 1 m je 8,1 mW, $L_{1\text{mpře.velká}} = 6,94$ dB, $L_v = 4,76$ dB.



Obrázek 17: Optický výkon ve vzdálenosti 20 m od zdroje s malou překážkou v 1 m [6]

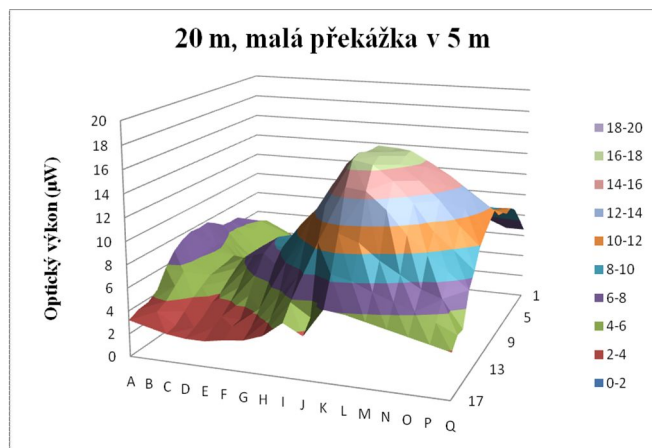


Obrázek 20: Optický výkon ve vzdálenosti 20 m od zdroje s velkou překážkou v 5 m [6]

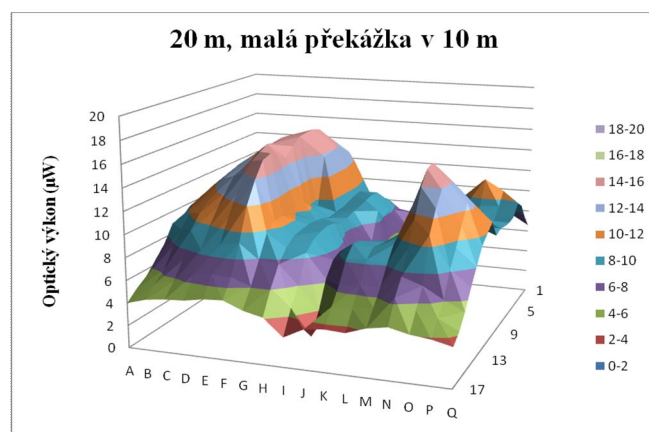


Obrázek 18: Optický výkon ve vzdálenosti 20 m od zdroje s velkou překážkou v 1 m [6]

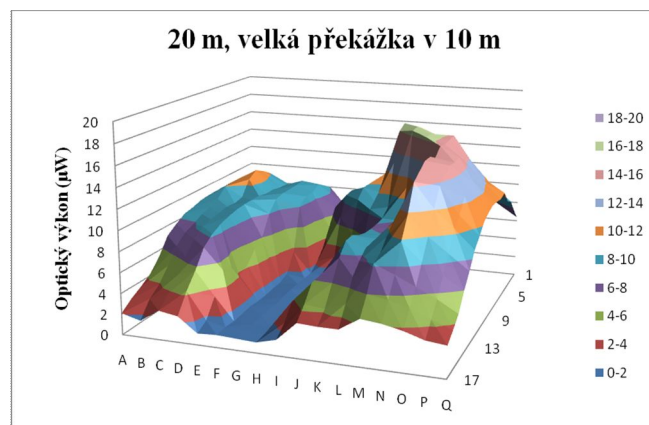
Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m s malou překážkou (obrázek 19) v 5 m je 14,5 mW, $L_{5\text{mpře.malá}} = 4,41$ dB, $L_v = 2,23$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m s velkou překážkou (obrázek 20) v 5 m je 11,1 mW, $L_{5\text{mpře.velká}} = 5,57$ dB, $L_v = 3,39$ dB.



Obrázek 19: Optický výkon ve vzdálenosti 20 m od zdroje s malou překážkou v 5 m [6]



Obrázek 21: Optický výkon ve vzdálenosti 20 m od zdroje s malou překážkou v 10 m [6]



Obrázek 22: Optický výkon ve vzdálenosti 20 m od zdroje s velkou překážkou v 10 m [6]

Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m s malou překážkou (obrázek 21) v 10 m je 15,8 mW, $L_{10\text{mpře.malá}} = 4,03$ dB, $L_v = 1,85$ dB. Hodnota celkového optického výkonu ve vzdálenosti 20 m s velkou překážkou (obrázek 22) v 10 m je 13,6 mW, $L_{10\text{mpře.velká}} = 4,69$ dB, $L_v = 2,51$ dB. Obecně opět platí, že čím větší překážka, tím větší vliv na přenos. U velkých překážek tedy platí, že čím je překážka dál od zdroje, tím menší vliv na přenos má. Největší vliv malé překážky byl při umístění v 5 m [6].

7 Závěr

Ukazuje se, že atmosférické optické spoje jsou specifickým zařízením, nehodícím se universálně ke každému připojení k internetu nebo lokální síti. Atmosférické optické spoje pracují nejlépe za dobrého počasí a na krátkou vzdálenost v posledních letech probíhají rozsáhlé výzkumy v oblasti studia dalekých atmosférických spojů. Zařízení se velmi hodí do hustě zastavěných metropolitních oblastí, v nichž jen málo budov vlastní vysokorychlostní připojení až do budovy. Užítí najde v místech, kde je obtížné nebo příliš nákladné zavedení optického kabelu či jiné komunikační technologie. Vhodné je využití atmosférických optických spojů při budování dočasných krátkodobých sítí, nebo při přemístění spoje. Měření bylo prováděno na optickém spoji WOLink 4E1/300 se dvěma LED zdroji optického signálu. Obecně výsledky ukazují na fakt, že čím větší překážku do svazku položíme, tím větší vliv na přenos optickým spojením bude mít. U překážek, které jsou velké, ale ne tolik, aby plně zastínily optický svazek, se dá z měření vyvodit závěr, že čím blíže k vysílači tím je vliv na přenos výraznější. Menší překážky naopak způsobují největší vliv na přenos přibližně uprostřed délky spoje. Dle naměřených hodnot, výsledky splnily očekávání, že velikost vlivu překážky se dá odvodit z paprskové optiky. Je to dáno hlavně faktem, že měření bylo prováděno ve stálém prostředí na chodbě v budově a taky faktem, že měření bylo prováděno pouze na vzdálenost maximálně 20 m. K dalším závěrům by bylo potřeba udělat větší množství měření a také na větších vzdálenostech od zdroje. Problém optických spojů s překážkou mezi optickými spoji není příliš častý, tudíž chybovost spoje nebývá tolik zvýšena. Měření se provádělo na přístrojích se dvěma LED zdroji, mnohé modernější přístroje dnes disponují více zdroji, čímž se vliv překážek opět snižuje.

Poděkování

Článek vznikl za přispění Grantové agentury České republiky s číslem GA102/09/0550 „Studium optických svazků pro atmosférické statické a mobilní komunikace“ a interního grantu IGA BI4549951, SP/2010185. Autoři rovněž děkují Bc. Janu Šnapkovi.

Literatura

- [1] WILFERT, O., FILKA, Z.: *Optické (laserové) bezdrátové spoje*. [online]. 2009, [cit. 2009-12-20]. Dostupné z WWW: <www.urel.feec.vutbr.cz/web.../Wilfert_Kolka_opticke_spoje.pdf>
- [2] WILFERT, O.: *Optoelektronika* [online]. 2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://vcielka.darksun.sk/~jnx/download/optics/Optoelektronika%20b.pdf>>
- [3] ROCKWELL, D., MECHERLE, S.: *Wavelength selection for optical wireless communications systems* [online]. 2001 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://www.freespaceoptic.com/WhitePapers/wavelength_selection.pdf>

[4] BLOOM, S.: *The physics of free - space optics* [online]. 2002 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.freespaceoptic.com/WhitePapers/Physics%20of%20Freespace%20Optics.pdf>>

[5] KVÍČALA, R.: *Chybovost a dostupnost atmosférických optických spojů* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 103 s. Vedoucí disertační práce prof. Ing. Otakar Wilfert, CSc.

[6] ŠNAPKA, J.: *Měření vlivu velikosti překážek na přenos optickým pojítkem* Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 50 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.

[7] GARLINGTON, T., BABBITT, J., LONG, G.: *Analysis of free space optics as a transmission technology* [online]. 2005 [cit. 2009-04-12]. Dostupný z WWW: <http://www.hqisec.army.mil/isec/publications/Analysis_of_Free_Space_Optics_as_a_Transmission_Technology_Mar05.pdf>