

# OGRANIČENJA U PRIMENI OPTIČKOG LINKA U OTVORENOM PROSTORU

Žarko Barbarić<sup>1</sup>

**Sadržaj-**Optički link u otvorenom prostoru koristi atmosferu kao prenosni medijum. Analiziran je nivo optičke snage prijemnika u funkciji geometrijske neusaglašenosti ose snopa i centra prijemne optike i transmittivnosti atmosfere. Pokazano je da se geometrijska odstupanja mogu korigovati preciznim pozicioniranjem prijemnika u odnosu na predajnik. Izračunata je spektralna transmittivnost atmosfere, korišćenjem programskog paketa MODTRAN. Dobijene su velike razlike spektralne transmittivnosti atmosfere, za ista rastojanja predajnika i prijemnika, pri različitim vremenskim uslovima. Iz čega sledi da je osnovno ograničenje u primeni optičkog linka u otvorenom prostoru transmittivnost atmosfere, koja se ne može kompenzovati.

**Ključne reči-**link, optički, geometrijski faktor, ograničenje, transmittivnost atmosfere.

## I UVOD

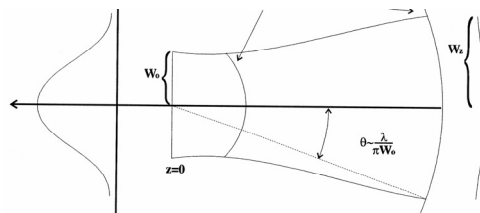
Potreba za sve većim brzinama prenosa informacija u urbanim sredinama, pre svega u velikim gradovima, dovela je do proširenja kapaciteta radio linkova i uvođenja optičkog bežičnog linka. Optički bežični link je u stvari laserski snop koji se prostire kroz atmosferu od predajnika do prijemnika. Namenjen je za upotrebu u urbanim sredinama, gde nije opravdano postavljanje optičkih kablova, a zahteva se velika brzina prenosa. Prednost optičkog linka bez vlakana u odnosu na radio i mikrotalasne linkove je velika brzina prenosa, već sada 1Gb/s, a nedostaci su pre svega ograničen dolet i raspoloživost optičkog linka u toku dana, meseca i godine. Bez obzira na navedena ograničenja na tržištu se nudi veliki broj optičkih linkova za mala (do 1 km), srednja (3 do 5 km) i velika rastojanja (do 10 km). Maksimalno rastojanje se uvek specifikiraju u odnosu na raspoloživost linka od 99,5% do 99,99%, koja zavisi od transmittivnosti atmosfere. Na tržištu već postoje optički linkovi koji rade u optičkim prozorima oko 0,85 $\mu$ m (0,75-0,85), 1,3 $\mu$ m (0,310) i 1,55 $\mu$ m (1,520-1,60).

U ovom radu se procenjuju ograničenja u primeni optičkog linka, na osnovu analize geometrijskog faktor i uticaj transmittivnosti atmosfere u opsegu navedenih talasnih dužina.

## II BILANS SNAGE U OPTIČKOM LINKU

Predajnik u optičkom linku je po pravilu laserska dioda, čije zračenje se moduliše nekom od poznatih metoda. Kao što je poznato [1], od tipa modulacije i detekcije signala zavisi potreban odnos signal-šum, za zadatu verovatnoću greške u prenosu. U ovom radu ne analiziraju se odnos signal-šum i verovatnoća greške nego samo prijemna optička snaga.

Predajnik optičkog linka zrači laserski snop, gde je raspodela gustine snage u svakom preseku Gausovog oblika, kao što je prikazano na Sl. 1 [1].



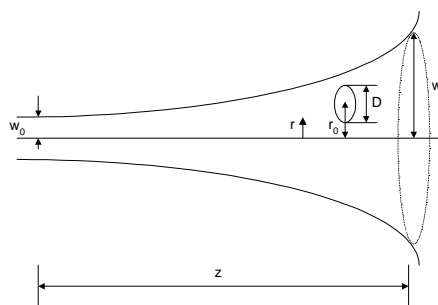
Sl. 1. Geometrijski parametri laserskog snopa  
Odnos primljene i ukupne predajne snage lasera u slobodnom prostoru, ako se prijemna optika nalazi na osi snopa, dat je relacijom

$$\frac{P_R}{P_T} = \left( 1 - \exp\left(-2 \frac{d^2}{w_z^2}\right) \right) \quad (1)$$

gde su:  $P_T$  i  $P_R$  - predajna i prijemna optička snaga, respektivno,  $d$  - poluprečnik prijemne optike,  $w_z$  - širina (radius) laserskog snopa na mestu prijemnika.

U dalekoj zoni  $1/e$  širina snopa je proporcionalna rastojanju između predajnika (lasera) i prijemnika,  $w_z = \theta z$ , gde je  $\theta$  divergencija snopa, a  $z$  je rastojanje od laserskog predajnika do prijemne optike. Relacija (1) pokazuje da odnos snaga zavisi samo od rastojanja, za dati optički link.

Međutim, u slučaju da je centar prijemne optike pomeren radijalno od ose snopa za  $r_0$  tada prijemnik, iste prijemne optike, prima manju gustinu snage. Na Sl. 2 je prikazan položaj centra prijemne optike, koja je za  $r_0$  radijalno pomeren od centra snopa.



Sl. 2. Radijalni pomeraj prijemne optike od ose snopa  
Na Sl. 2  $w_0$  predstavlja minimalnu širinu snopa na predaji,  $D$  je prečnik prijemne optike, a  $r$  je radijalno rastojanje bilo koje tačke u anvelopi snopa od ose snopa, na rastojanju  $z$  od mesta minimuma snopa. Relacija za odnos snaga, izvedena u [2], može aproksimirati izrazom

<sup>1</sup> Žarko Barbarić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Beograd

$$\frac{P_R}{P_T} = \left[ 1 - \exp\left(-2 \frac{d^2}{w_z^2}\right) \right] \exp\left(-2 \frac{r_0^2}{w_z^2}\right) \quad (2)$$

gde je  $d$  poluprečnik prijemne optike.

Relacija (2) ukazuje na potrebu vrlo preciznog pozicioniranja predajnika i prijemnika optičkog linka, tako da  $r_0$  iz (2) teži nuli.

Pored radijalnog odstupanja od ose snopa prijemna optika nije uvek normalna na osu snopa pa je primljena snaga funkcija i ugaonog odstupanja od normale. Uticaj ugaonih odstupanja od normale analizirano je u [3]. Analiza pokazuje da je neophodno i ugaono pozicioniranje predajne i prijemne optike. Ugaona odstupanja se u praksi donekle eliminiše upotrebom dvoosnih pozicionera prijemne optike. Radijalno i ugaonog odstupanja prijemne optike od ose laserskog snopa jednim imenom nazivamo geometrijski faktor optičkog linka.

U realnim uslovima optički link koristi atmosferu, kao kanal za prenos, odnosno laserski snop se prostire kroz atmosferu. Na odnos snaga, pored navedene geometrije, utiče i transmitivnost atmosfere na talasnoj dužini lasera. Konačno, za odnos snaga dobija se

$$\frac{P_R}{P_T} = \tau_A \left[ 1 - \exp\left(-2 \frac{d^2}{w_R^2}\right) \right] \exp\left(-2 \frac{r_0^2}{w_R^2}\right) \quad (3)$$

gde je  $\tau_A$  transmitivnost atmosfere u okolini talasne dužine lasera.

Relacija (3) opkazuje da je dnos snaga u realnim uslovima dodatno redukovan za transmitivnost atmosfere.

U opštem slučaju transmitivnost atmosfere je slučajna promenljiva, koja zavisi o mnogo faktora. Relacija za procenu spektralne transmitivnosti atmosfere, prema eksponencijalnoj aproksimaciji [4], data je poznatom relacijom

$$\tau_\lambda = \exp\left(-\frac{a_\lambda}{R_V} R\right) \quad (4)$$

gde su:  $R_V$  - optička vidljivost za talasnu dužinu  $0,55 \mu\text{m}$ ,  $R$  - rastojanje  $a_\lambda$  - koeficijent spektralnog slabljenja u atmosferi.

Koeficijent slabljenja, u funkciji talasne dužine, po Košiderovoj formuli [4], dat je u obliku

$$a_\lambda = 3,912 \left( \frac{0,55}{\lambda} \right)^q \quad (5)$$

gde se  $q$  računa iz relacije  $q=0,585(R_V)^{1/3}$ .

Iz (4) i (5) se vidi da je spektralna transmitivnost atmosfere, usled slabljenja, najmanja u prvom prozoru (oko  $0,85 \mu\text{m}$ ), pri istoj optičkoj vidljivosti.

### III TRANSMITIVNOST ATMOSFERE

Za procenu transmitivnosti atmosfere u optičkim i optoelektronskim sistemima koristi se više modela atmosfere [5]. Najpoznatiji su HITRAN, LOWTRAN, REALTRAN, LINETRAN i dr. Kvalitativna procena transmitivnosti atmosfere može se izvršiti eksponencijalnim modelom [6], a kvantitativna procena zahteva primenu nekog od poznatih modela.

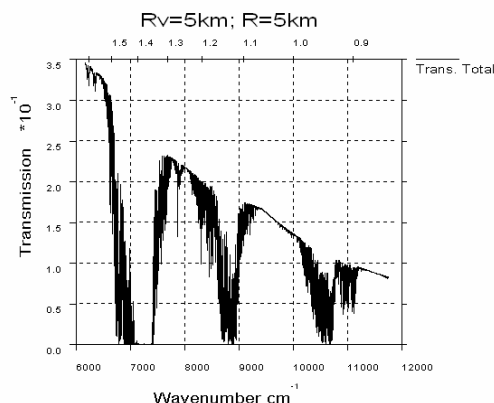
U ovom radu su prikazani rezultati za spektralnu transmitivnost atmosfere dobijeni korišćenjem modela MODTRAN, koji predstavlja modifikaciju poznatog modela LOWTRAN [7]. Primenom ovog programa

generisano je više rezultata za procenu transmitivnosti atmosfere.

U eksperimentima izabran je MODTRAN model atmosfere za područje  $45^\circ$  severne geografske dužine, januar mesec, horizontalna putanja laserskog snopa na visini iznad tla 20 m. Određena je spektralna transmisivnost atmosfere u spektralnom području od interes ( $0,85-1,620 \mu\text{m}$ ), za relativno malu optičku vidljivost 5km i veoma malu optičku vidljivost u uslovima magle.

U prvom eksperimentu optička vidljivost u urbanoj sredini iznosila je 5 km, a rastojanje predajnika i prijemnika je menjano 5, 3 i 1 km.

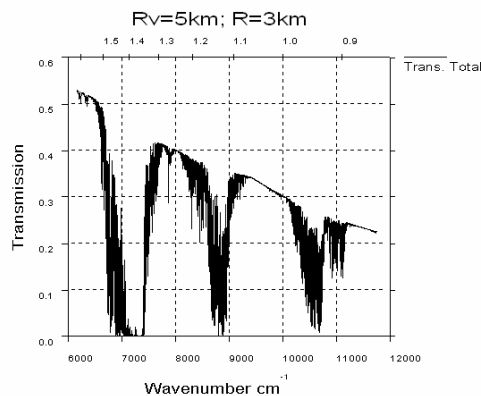
Na Sl. 3 prikazana je spektralna transmitivnost atmosfere u spektralnom području od interes ( $0,85-1,620 \mu\text{m}$ ) za  $R=5\text{km}$



Sl. 3. Spektralna transmitivnost atmosfere na horizontalnoj trasi 5km, visina 20m,  $R_V=5\text{km}$ .

Na Sl. 3 prikazan je dijagram spektralne transmitivnosti, gde je talasni broj na apscisi i preračunata talasna dužina u  $\mu\text{m}$  (na gornjoj liniji okvira). Pod jednakim klimatskim geografskim i geometrijskim uslovima najveća transmitivnost atmosfere je u trećem prozoru, odnosno najmanja redukcija primljene snage, kao i kod optičkih vlakana. Sa prikazanog dijagrama se vidi da je transmitivnost atmosfere oko 3,5 puta veća na talasnoj dužini  $1620\text{nm}$  od transmitivnosti na talasnoj dužini  $850\text{nm}$ .

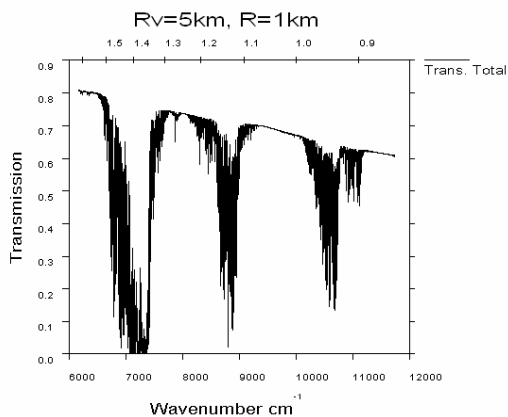
Na Sl. 4 prikazana je spektralna transmisivnost atmosfere u spektralnom području od interesa, ali za rastojanje predajnika i prijemnika 3km.



Sl. 4. .Spektralna transmitivnost atmosfere na horizontalnoj trasi 3 km, visina 20m,  $R_V=5\text{km}$ .

Dijagram sa silke 4 takođe pokazuje da je spektralna transmittivnost atmosfere veća u trećem nego u prvom optičkom prozoru. Poređenjem dijagrama sa Sl. 3 i Sl. 4 vidi se da je transmittivnost atmosfere veća za manje rastojanje između predajnika i prijemnika, pri istim uslovima u atmosferi. Treba primetiti da je transmittivnost na talasnoj dužini 1,6  $\mu\text{m}$  oko 0,35 za  $R=5$  km (Sl. 3) i oko 0,53 za  $R=3$  km.

Na Sl. 5 prikazana je spektralna transmittivnost atmosfere u spektralnom području od interesa, za optičku vidljivost 5 km, ali za rastojanje predajnika i prijemnika 1 km.

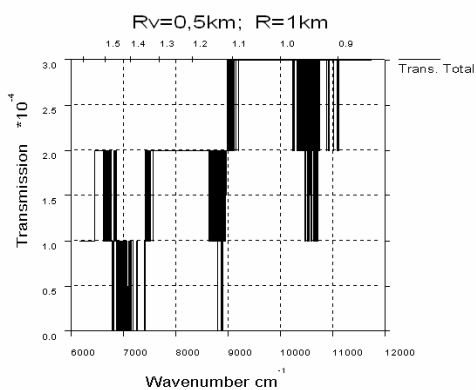


Sl. 5. Spektralna transmittivnost atmosfere na horizontalnoj trasi 1 km, visina 20 m,  $R_v=5$  km.

Dijagram na Sl. 5 pokazuje blagi rast spektralne transmittivnosti atmosfere sa povećanjem talasne dužine kao i na prethodna dva dijagrama. Poređenjem dijagrama sa Sl. 3 i Sl. 5 vidi se spektralna transmittivnost za rastojanje 5 km iznosi oko 0,35 a za rastojanje 1 km oko 0,8 u okolini talasne dužine 1,62  $\mu\text{m}$ .

U drugom eksperimentu izabrana je optička vidljivost 0,5 km u uslovima takozvane radiacione magle, rastojanje predajnika i prijemnika iznosilo je 1 km i 0,5 km.

Na Sl. 6 prikazana je spektralna transmittivnost atmosfere za rastojanje 1 km.

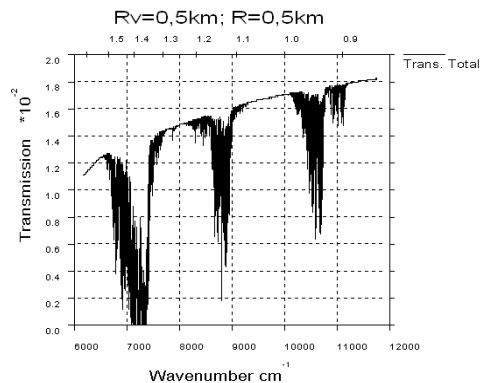


Sl. 6. Spektralna transmittivnost atmosfere u uslovima radiacione magle na horizontalnoj trasi dužine 1 km, visina 20 m,  $R_v=0,5$  km.

Za jednake klimatske geografske i geometrijske uslove najveća transmittivnost atmosfere je u prvom prozoru. Sa prikazanog dijagrama (Sl. 6) vidi se da je transmittivnost

atmofere manja na talasnoj dužini 1620 nm od transmittivnosti na talasnoj dužini 850 nm.

Na Sl. 7 prikazana je spektralna transmittivnost atmosfere za navedene parametre, ali za rastojanje predajnika i prijemnika 0,5 km.

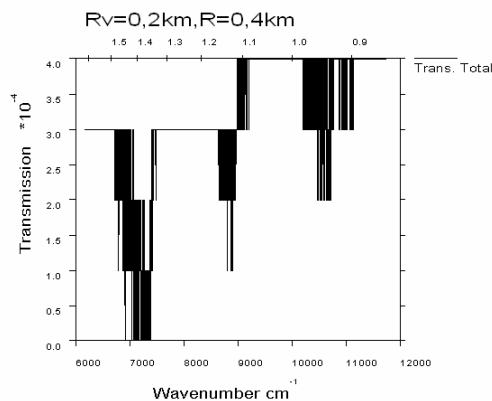


Sl. 7. Spektralna transmittivnost atmosfere u uslovima radiacione magle, na horizontalnoj trasi 0,5 km, visina 20 m,  $R_v=0,5$  km.

Spektralna transmittivnost atmosfere prikazana na Sl. 7 pokazuje takođe da je u uslovima radiacione magle veća transmittivnost u prvom atmosferskom prozoru. Poređenjem dijagrama sa Sl. 6 i Sl. 7 vidi se da se značajno menja transmittivnost atmosfere sa rastojanjem predajnika i prijemnika. Za povećanje rastojanja dva puta transmittivnost atmosfere se smanjila oko sto puta.

Opadanje spektralne transmittivnosti sa povećavanjem talasne dužine (Sl. 6 i Sl. 7) može se objasniti slabljenjem optičkog zračenja pri prolasku kroz takozvanu radiacionu maglu [6]. Spektralni koeficijent slabljenja se aproksimira odnosom polinoma drugog reda po talasnoj dužini i optičke vidljivosti.

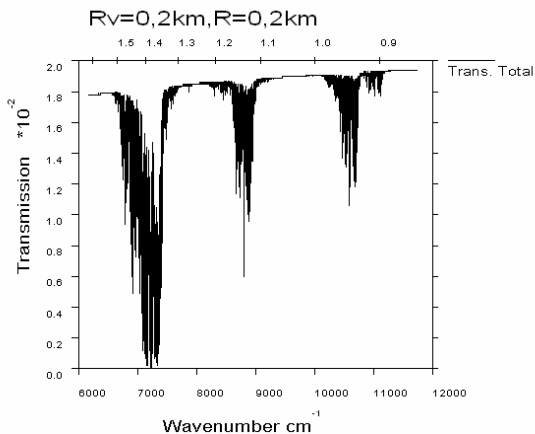
Pored takozvane radiacione magle za primenu optičkog linka svakako je od interesa i magla usled isparavanja sa površine vode i tla. U trećem eksperimentu izabrana je optička vidljivost 0,2 km kroz isparavajuću maglu, a rastojanje predajnika i prijemnika iznosilo je 0,4 i 0,2 km. Na Sl. 8 prikazan je dijagram spektralne transmittivnosti atmosfere u uslovima isparavajuće magle za horizontalno rastojanje predajnika i prijemnika 0,4 km.



Sl. 8. Spektralna transmittivnost atmosfere u uslovima isparavajuće magle, na horizontalnoj trasi dužine 2 km, visina 20 m,  $R_v=0,4$  km.

Sa slike 8 se vidi da praktično ne postoji mogućnost prenosa optičkih signala kroz jaku isparavajuću maglu kada je optička vidljivost svega 200m. U ovom slučaju spektralna transmitivnost atmosfere, za rastojanje predajnika i prijemnika 400m, je manja od  $2 \cdot 10^{-4}$ , u opsegu talasnih dužina od interesa.

Na Sl. 9 je prikazana spektralna transmitivnost atmosfere u uslovima jake isparavajuće magle za horizontalnu rastojanje predajnika i prijemnika 200m.



Sl. 9. Spektralna transmitivnost atmosfere u uslovima radiacione magle, na horizontalnoj trasi dužine 0,2km, visina 20m,  $R_v=0,2\text{km}$ .

Dijagram spektralne transmitivnosti na Sl. 9 pokazuje da je za horizontalno rastojanje jednako optičkoj vidljivosti spektralna transmitivnost reda  $2 \cdot 10^{-2}$ .

#### IV ZAKLJUČAK

Ograničenja primene optičkog linka se ogledaju prvenstveno u raspoloživosti linka, a ako postoji prenos da li zadovoljava uslov relativno male bitske greške u prenosu. Raspoloživost linka je funkcija bilansa snage u najlošijim uslovima u atmosferi. Naravno da greška u prenosu, kao i kod drugih telekomunikacionih sistema, zavisi od tipa modulacije i detekcije signala, osetljivosti prijemnika i dr. Osnovni problem je u potrebnoj velikoj dinamici predajne snage zbog geometrijske neusaglašenosti predajnika i prijemnika i drastične promene transmitivnosti atmosfere sa promenom vremenskih uslova u toku dužeg vremenskog intervala. Geometrijska neusaglašenost se kompenzuje preciznim pozicionerima na prijemnoj strani. Pa osnovno ograničenje optičkog linka ostaje transmitivnost atmosfere koja se menja i do 40 dB u toku godine.

Izvedene relacije za odnos prijemne i predajne snage pokazuju da je važno precizno podesiti ose predajnika i prijemnika, prilikom instalacije optičkog linka. Međutim, zbog uticaja vibracija zgrada i vetra neophodno je ugano pozicioniranje prijemnika kako bi se smanjio uticaj geometrijskog faktora na primenu optičkog linka.

Na uslove prostiranja optičkog zračenja kroz atmosferu ne može se uticati niti direktno kompenzovati ovaj uticaj. Povećavanjem snage predajnika i rad na dve ili tri talasne dužine, kao i povećavanjem osetljivosti prijemnika može se umanjiti ovaj uticaj. Dakle, osnovno ograničenje primene optičkog linka u otvorenom prostoru su vremenski uslovi za dato geografsko područje.

Odgovor na pitanje, raspoloživosti i realne daljine primene može se dati tek posle instaliranja i ispitivanja jednog sistema u dužem vremenskom periodu.

#### LITERATURA

- [1] Marinić, *Optičke telekomunikacije*, Građevinska knjiga, Beograd 1997.
- [2] Ž Barbarić, Ž Vukobrat, L. Mojlović, "An approach to the analysis of received power from a laser source", TELFOR 98.
- [3] Ž Barbarić, L. Manojlović, "Analiza primljene snage kroz kružnuaperuru u laserskom snopu", ETRAN 1999.
- [4] Vicent Delaye, Pierre Laheye, "High-resolution eye safe time of flight laser range finding", LETIDSYS-CEA Grenoble, France, 1999.
- [5] K. Seyrafi, S. Hovanessian, *Introduction to electro-optical imaging and tracking systems*, Artech House, Boston, 1998.
- [6] Oliver Bouchet, et. al., *Free-Space Optics Propagation and Communication*, ISTE Ltd., London, 2006.
- [7] M. Milošević, "Uticaj atmosfere i divergencije laserskog snopa na prijem podataka u optičkom komunikacionom sistemu u slobodnom prostoru", TELFOR, 2006.
- [8] Ontar Corporation, *PC ModWin Manual*, 1997.

#### ABSTRACT

Free-Space Optics limitations are analyzed. Ratio of transmitted and received powers in Free-Space Optics system is derived. This ratio shows the influence of displacement between receiving optics and central line of laser beam and the spectral transmittance of atmosphere.

The first Free-Space Optics limitation is function of displacement between receiving optics and central line of laser beam. There are radial displacements between the central line of laser beam and the center of the receiving optics, and the angular displacement between wave front and surface of the receiving optics. These displacements may be reduced by accuracy positioning receiving optics.

The second Free-Space Optics limitation from atmosphere conditions is derived. The spectral transmittance of atmosphere from MODTRAN computer model is calculated. The spectral transmittance of atmosphere shows very large difference as function of the weather condition. It can not be reduction, and the spectral transmittance of atmosphere is main Free-Space Optics limitation.

#### FREE-SPACE OPTICS LIMITATIONS

Žarko Barbarić