

mr. sc. Džemo Borovina, dipl. ing.
JP Elektroprivreda BiH
dz.borovina@elektroprivreda.ba

Mirela Softić, dipl. ing.
JP Elektroprivreda BiH
m.softic@elektroprivreda.ba

KORELACIJA KARAKTERISTIKA OPTIČKIH VLAKANA I ZEMNIH UŽADI U OPGW KABLOVIMA SA ASPEKTA VREMENA

SAŽETAK

U radu će se predstaviti model koji prikazuje zavisnost podužnog slabljenja na vlaknima (na 1310 nm) od vremena. Ovaj model je primijenjen na vrijednostima parametara konkretnih OPGW kablova (različitih tipova i na različitim DV), a u cilju donošenja zaključka o tome da li i na koji način, u posmatranom vremenskom periodu, starenje utiče na degradaciju osobina vlakana.

Uz pretpostavku da se podužno slabljenje neće mijenjati u narednom periodu, izvršeno je poređenje karakteristika optičkih vlakana (u skladu sa ITU-T preporukama) i „životnog vijeka“ zemnih užadi u OPGW kابلu.

Ključne riječi: OPGW, optička vlakna, linearni regresioni model, starenje, slabljenje

CORRELATION OF OPTICAL FIBERS AND GROUND WIRE IN OPGW IN TERMS OF AGING

SUMMARY

This paper describes the model which presents dependency between aging and attenuation of optical fibers (at 1310 nm). This model is applied on real parameters of specific OPGW cables (different types of cables and different power lines). This analyze is performed toward making decision if and how, in considered time period, aging influences on optical fibers characteristics degradation.

With assumption that the fiber attenuation doesn't change in future, the comparison between optical fiber characteristics (according to ITU-T recommendations) and life time of ground wires in OPGW has been performed.

Key words: OPGW, optical fibers, linear regression model, aging, attenuation

1. UVOD

Zemno uže sa integriranim optičkim vlaknima OPGW, Optical Power Ground Wire, predstavlja najčešće korišteni tip optičkih kablova u telekomunikacionim sistemima elektroprivrednih kompanija. Sa elektroenergetskog aspekta OPGW kabl ima funkciju zemnog užeta. Pored toga, obzirom na integrirana optička vlakna, ovaj kabl predstavlja fiber optički komunikacioni kabl.

Brojne instalacije ovog tipa optičkog kabla već duži niz godina su u upotrebi širom svijeta, pa tako i u Bosni i Hercegovini, te se postavlja logično pitanje degradacije karakteristika OPGW kabla i vlakana tokom eksploatacije. Poseban značaj pri razmatranju degradacije karakteristika kablova i vlakana treba posvetiti aspektu starenja, odnosno vijeku trajanja.

Ključno pitanje koje se u radu obrađuje jeste pitanje razloga degradacije karakteristika OPGW kablova. Ti razlozi mogu biti elektroenergetske i telekomunikacione prirode. Elektroenergetski razlozi mogu podrazumijevati degradaciju karakteristika zemnog užeta, koje više nije u stanju da se ponaša kao adekvatno uzemljenje za naponsku liniju, ili pak neke druge komponente dalekovoda. Degradacija telekomunikacionih karakteristika kablova podrazumijeva degradaciju karakteristika optičkih vlakana kao što su slabljenje, refleksija i disperzija, a koji dovode do promijena performansi vezanih za kapacitet i informacionu brzinu u kanalu.

2. DEGRADACIJA KARAKTERISTIKA OPGW KABLA SA ELEKTROENERGETSKOG I TELEKOMUNIKACIONOG ASPEKTA

Kao što je naprijed navedeno, elektroenergetski razlozi podrazumijevaju degradaciju karakteristika zemnog užeta ili pak neke druge komponente dalekovoda. Zemna užad, usljed raznih vremenskih i atmosferskih uticaja (niske i visoke temperature, snijega, kiše, leda, vjetrova, te atmosferskih pražnjenja), gube svoja mehanička svojstva, te u teškim vremenskim uslovima (kao što je na primjer vlažan snijeg koji se lijepi na užadi i stvara velika opterećenja) dolazi do njihovog pucanja. Na osnovu brojnih istraživanja karakteristika zemne užadi koja su rađena u svijetu, pokazano je da se predviđen rok trajanja zemnih užadi kreće između 35 i 40 godina [1]. Od ostalih komponenti dalekovoda (dalekovodni stubovi, fazna užad, ovjesna oprema i izolatori) najosjetljiviju komponentu predstavlja dalekovodni stub. Naime, zbog raznih vremenskih i atmosferskih uticaja (niske i visoke temperature, snijeg, kiša, led, vjetrovi) dalekovodni stubovi nakon 30 do 40 godina gube svoja prvobitna mehanička svojstva i više nisu pouzdani nosioci faznih i zemnih užadi. Degradirane karakteristike stubova mogu dovesti do njihovog lomljenja i padanja, što uzrokuje havarije u elektroenergetskom sistemu. Stoga se može reći da je predviđeni vijek trajanja dalekovodnih stubova oko 40 godina. Tokom demontaže stubova dolazi do oštećenja užadi i narušavanja njihovih mehaničkih karakteristika, tako da se ista ne instaliraju ponovo, nego se vrši zamjena postojećih zemnih užadi novim [1]. Na osnovu prethodnog, može se reći da je u većini slučajeva, elektroenergetski razlog zamjene zemnih užadi degradacija karakteristika dalekovodnog stuba, a ne samog zemnog užeta.

Degradacija telekomunikacionih karakteristika kablova podrazumijeva degradaciju optičkih karakteristika vlakna, kao što je npr. slabljenje, refleksija, disperzija, a koji dovode do promijena performansi vezanih za kapacitet i informacionu brzinu u kanalu. Obzirom na složenost postupka testiranja svih pomenutih parametara, u ovom radu smo se opredijelili za slabljenje kao relevantan parametar za ocjenu degradacije karakteristika optičkih vlakana integriranih u OPGW kablove. U tom kontekstu, u ovom radu se tretira pitanje uticaja starosti na degradaciju slabljenja optičkih vlakana.

Cilj ovog rada je da se na konkretnim kablovima ispita da li je vrijeme upotrebljivosti optičkih vlakana u OPGW kablovima duže od vremena upotrebljivosti samog zemnog užeta, odnosno da li je osnovni razlog zamjene zemnog užeta elektroenergetske ili telekomunikacione prirode.

3. LINEARNI REGRESIONI MODEL

U cilju procjene uticaja starenja na vrijednosti slabljenja optičkih vlakana koristiće se linearni regresioni model.

U najširem smislu, regresiona analiza predstavlja granu teorijske statistike, koja se bavi analizom zavisnosti između dvije ili više slučajnih veličina. Zadatak regresione analize je nalaženje i proučavanje modela koji povezuje slučajne veličine. Regresijom se u statistici naziva zavisnost jedne slučajne varijable (Y) od druge varijable (X) koja je neslučajna promjenljiva. Radi se o statističkoj zavisnosti oblika:

$$Y = f(X) + \varepsilon \quad (1)$$

U naprijed navedenoj formuli $f(X)$ predstavlja funkciju kojom se modelira zavisnost između X i Y , a ε je slučajna varijabla nezavisna od X . Naime, u realnosti je rijetko moguće izvesti čistu potvrdu teoretske zakonitosti $Y = f(X)$, zbog nestabilnosti veličina X i Y , te okolnih faktora koji se ne mogu očuvati konstantnim tokom izvođenja mjerenja. Upravo taj uticaj slučajnih faktora se modelira normalnom varijablom ε , sa srednjom vrijednosti $E(\varepsilon)=0$ i nepoznatom varijansom σ^2 [2]. Veličina ε predstavlja slučajnu grešku koja nastaje iz raznih razloga [3].

Najprostiji regresioni model zavisnosti slučajne veličine Y od neslučajne veličine X predstavljen je na sljedeći način:

$$f(X) = a + bX \quad (2)$$

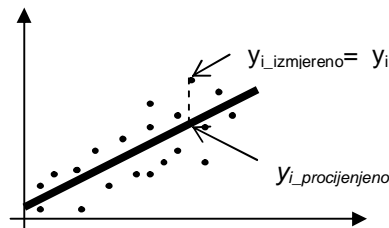
Veličine a i b su nepoznati parametri i taj model predstavlja linearan regresioni model, koji povezuje slučajnu veličinu Y , neslučajnu veličinu X , te parametre a i b .

Kako je X neslučajna promjenjiva, njene vrijednosti se unaprijed odabiru i kao takve formiraju skup vrijednosti (x_1, x_2, \dots) . Za konkretno x_i , mjerenjem se dobijaju konkretne vrijednosti slučajne varijable Y , koje sada poprimaju vrijednosti (y_1, y_2, \dots) .

Kada bi bilo moguće izvršiti savršena mjerenja, tada bi bilo koje dvije tačke dobijene mjerenjem (x_1, y_1) i (x_2, y_2) , uz uslov da je $x_1 \neq x_2$, potpuno određivale regresione koeficijente a i b . Međutim, obzirom da je poznato da su savršena mjerenja praktično nedostižna, realniji opis mjerenja definiše se na sljedeći način:

$$y_i = a + bx_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Ranije pomenuta slučajna promenljiva ε je slučajnog karaktera i pojavljuje se usljed greške u mjerenju. Dakle, ukoliko se kao rezultati mjerenja slučajne varijable Y u funkciji vrijednosti neslučajne, unaprijed odabrane varijable X dobiju tačke (x_i, y_i) potrebno je, sa maksimalnom tačnošću, naći model u vidu linearne krive, na osnovu kojeg će biti moguće procijeniti vrijednost u bilo kojoj tački za koju nije izvršeno mjerenje.



Slika 1. Linearni regresioni model

Prethodno opisani model predstavlja jednostavni linearni regresioni model, u kome je X nezavisna ili kontrolisana promenljiva, Y zavisna observirana slučajna promenljiva, a ε nekontrolisana slučajna promenljiva, koja predstavlja slučajno odstupanje između procijenjene vrijednosti varijable Y , $y_{i_procijenjeno}$ (koja leži na linearnoj regresionoj krivoj) i stvarne izmjerene vrednosti varijable Y , $y_{i_izmjereno} = y_i$. Sada se postavlja pitanje izbora parametara a i b , takvih da prethodno spomenuto odstupanje procijenjene vrijednosti $y_{i_procijenjeno}$ sa linearne regresione krive od stvarnih rezultata mjerenja y_i , bude minimalno. U tom smislu, najčešće se koristi metoda najmanjih kvadrata.

Jedan pristup tačkastoj ocjeni parametara regresije a i b , poznat pod nazivom metod najmanjih kvadrata, nalaže da se ocjene pomenutih parametara, označenih sa \hat{a} i \hat{b} , biraju tako da suma kvadrata razlika izmjerenih vrijednosti uzoraka $y_{i_izmjereno}$ za $X = x_i$, i vrijednosti Y , očitane sa linearne krive, $y_{i_procijenjeno}$, $\hat{a} + \hat{b}x_i$, bude minimalna. Na osnovu rezultata do kojih se došlo u [2] i [3], ocjene parametara \hat{a} i \hat{b} , dobijene metodom najmanjih kvadrata, mogu se predstaviti kao:

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (4)$$

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{b} \bar{x}, \quad (5)$$

pri čemu je:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (7)$$

U ovom radu potrebno je naći zavisnost između slabljenja na vlaknima i vremena. U tom slučaju, vrijednosti x_i predstavljaju vremenske trenutke u kojima se vrše mjerenja slabljenja, a y_i vrijednosti slabljenja na vlaknima u tim trenucima.

Vrijednosti odsječka i nagiba linearne regresione krive, proračunate pomoću izraza (4) - (7) predstavljaju procjene dobijene metodom najmanjih kvadrata. Odgovarajući linearni regresioni model, u tom slučaju, dat je na sljedeći način:

$$\hat{y}_i = \hat{a} + \hat{b}x_i, \text{ odnosno } \hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}X \quad (8)$$

4. PRIMJENA LINEARNOG REGRESIONOG MODELA ZA DOBIJANJE ZAVISNOSTI IZMEĐU SLABLJENJA OPTIČKIH VLAKANA I VREMENA

Zadatak ovog poglavlja je da se, korištenjem linearnog regresionog modela, ispita da li starenje vlakana utiče na njegove osobine, u prvom redu na slabljenje optičkih vlakana. Naime, u prethodnom poglavlju je razvijen matematički model, koji treba da pokaže funkcionalnu zavisnost između vremena i starenja. Da bi se model mogao primjeniti, potrebno je izvršiti mjerenja slabljenja optičkih vlakana, u različitim vremenskim trenucima. U tom cilju, napravljena su eksperimentalna mjerenja slabljenja vlakana na pet trasa fiber optičkog sistema JP Elektroprivreda BiH:

- a) IT sala (PTZ Sarajevo) - TS 400/110 kV Sarajevo 10,
- b) TS Tuzla - TS Tuzla Centar,
- c) TS Zenica 2 - TS Tuzla 4,
- d) TS Zenica 1 - TS Travnik 1,
- e) TE Tuzla - TS Gradačac.

U cilju ispitivanja uticaja starenja na slabljenje optičkih vlakana izvršena su po tri mjerenja na pomenutim optičkim trasama u različitim vremenskim trenucima. Prvo mjerenje izvršeno je prilikom same instalacije kablova, a ostala mjerenja su vršena nakon određenog vremenskog perioda. Ova izmjerena slabljenja optičkih vlakana predstavljaju ulazne podatke za razvijeni linearni regresioni model.

U nastavku teksta će se prikazati analiza promjene slabljenja na jednom linku, a zatim će se samo predstaviti rezultati analize i na ostala četiri razmatrana linka.

4.1. Analiza promjene slabljenja na dionici IT sala - TS 400/110 kV Sarajevo 10

U ovom poglavlju je tretirano slabljenje optičkog linka na dionici IT sala - TS 400/110 kV Sarajevo 10 i to na proizvoljno odabranom vlaknu broj 1.

Slučajna varijabla x iz linearnog regresionog modela predstavlja u ovom slučaju vrijeme t kada je izvršeno mjerenje. Zavisna slučajna varijabla y predstavlja vrijednost podužnog slabljenja na vlaknu α , izmjerenu u posmatranom trenutku. Kako su, za potrebe ovog rada, izvršena tri mjerenja slabljenja na vlaknima, to se ona mogu prikazati u parovima rezultata mjerenja (t_1, α_1) , (t_2, α_2) i (t_3, α_3) . Godina instalacije se može uzeti kao nulta godina, tako da je t_1 uvijek jednako nuli. t_2 i t_3 predstavljaju razliku vremena,

protetkih od instalacije kabla na trasi i datuma kojeg su mjerenja izvršena. Izražavaju se u mjesecima ili godinama.

Tabela I. Rezultati mjerenja

Vrijeme (mjeseci)	A - 1310nm (dB)	a (dB/km)
$t_0 = 0$	5.3	0.5988
$t_1 = 56$	5.2	0.5875
$t_2 = 65$	5.5	0.6214

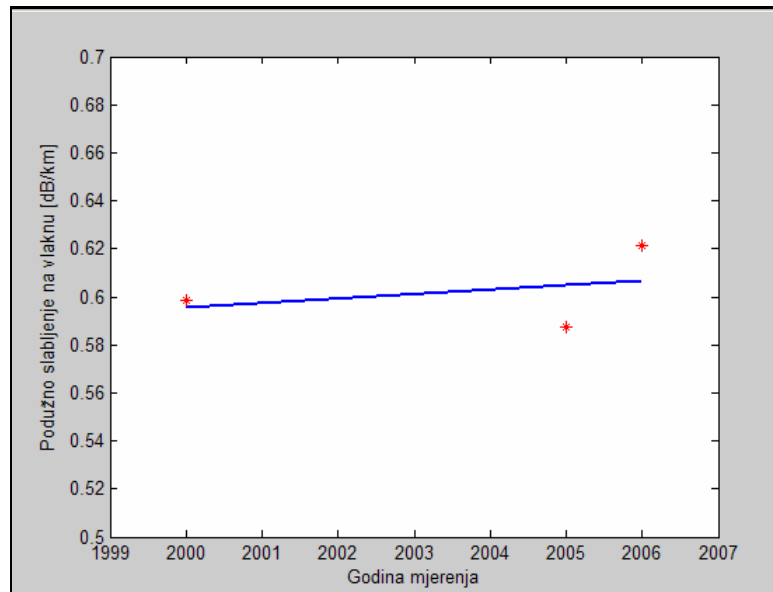
Iako je za razmatranje slabljenja optičkog linka relevantan parametar izmjereno ukupno slabljenje (kolona A – 1310 nm), u svrhu posmatranja i predstavljanja ostalih dionica i njihove komparacije, u nastavku teksta će se razmatrati podužno slabljenje optičkih vlakana (obzirom da su sve trase proizvoljnih i međusobno različitih dužina).

Primjenom formula (4) – (7) na predstavljene eksperimentalne vrijednosti dobijaju se sljedeće vrijednosti koeficijenata:

$$\hat{a} = 0.59588 \text{ dB}$$

$$\hat{b} = 0.0018226 \text{ dB/godini.}$$

Uvrštavanjem dobijenih vrijednosti u linearnu regresionu jednačinu (8) dobija se prava, koja predstavlja linearni regresioni model u konkretnom slučaju:

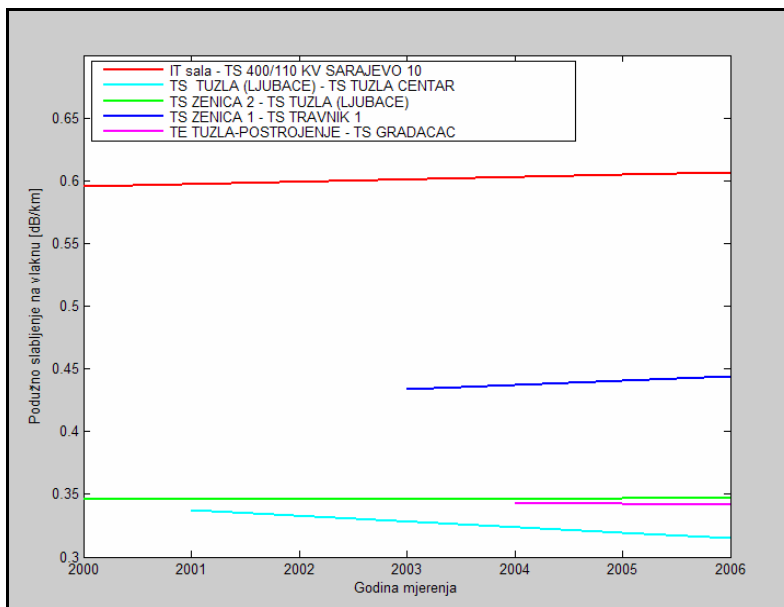


Slika 3. Linearna regresiona prava

Sa prave se može uočiti tendencija povećanja slabljenja u vremenu na konkretnom vlaknu. Naime, za 6 godina podužno slabljenje se povećalo za 3.7% u odnosu na vrijednost izmjerenu prilikom instalacije. Međutim, s obzirom da je analiza urađena na osnovu samo tri mjerenja, teško je reći da li se radi o trendu ili slučajnosti.

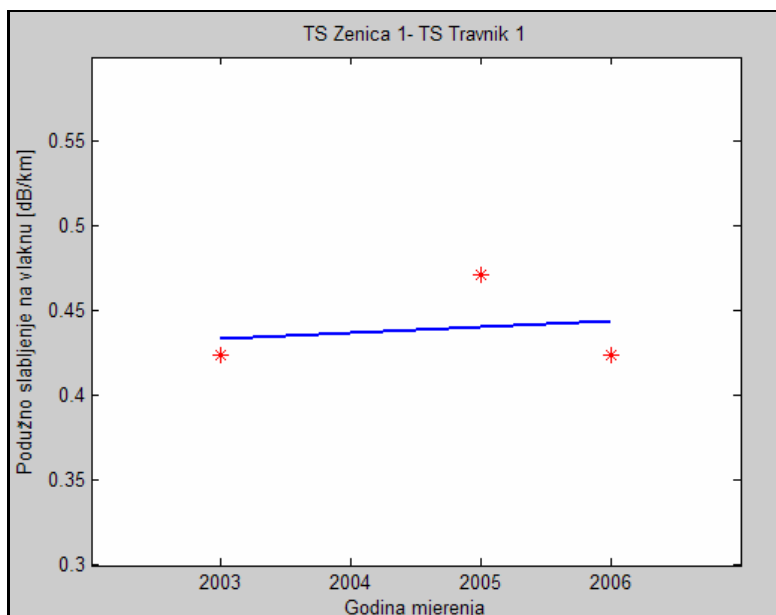
4.2. Analiza promjene slabljenja na ostalim dionicama

Ista analiza je sprovedena na četiri preostale dionice i dobijene su linearne regresione krive koje su prikazane na slici 4.



Slika 4. Usporedni pregled linearnih regresionih pravih za 5 različitih trasa

Najveća degradacija karakteristika (podužnog slabljenja) vlakana za analizirane trase, uočena je na trasi TS Zenica 1- TS Travnik 1, pa će se u nastavku ova trasa detaljnije analizirati.



Slika 5. Linearna regresiona kriva za trasu TS Zenica 1- TS Travnik 1

Na Slici 5. prikazana je linearna regresiona kriva dobijena za trasu TS Zenica 1- TS Travnik 1. Podužno slabljenje se u periodu unutar kojeg su vršena mjerenja povećalo za 0.01 dB/km, uzimajući u obzir rezultate dobijene primjenom modela.

Ukoliko se pretpostavi da se tendencija promjene podužnog slabljenja u narednom periodu neće mijenjati, pomoću linearnog regresionog modela se može predvidjeti vrijednost podužnog slabljenja na vlaknima 35 godina nakon instalacije. U konkretnom slučaju, podužno slabljenje će se promijeniti za 0.016 dB/km. Na svim ostalim trasama, primjenom istog modela, dobiće se još manje vrijednosti promjene podužnog slabljenja.

Iz prethodnog se može zaključiti da u slučaju svih posmatranih trasa, starenje nije značajnije doprinijelo degradaciji slabljenja optičkih vlaknima, te da nakon 35 godina podužno slabljenje ostaje unutar standardima propisanih dozvoljenih granica. Ako je suditi po predstavljenom uzorku, ni nakon 35 godina, karakteristike vlakana se neće degradirati do nivoa da je OPGW kablove potrebno mijenjati iz pomenutog razloga.

5. ZAKLJUČAK

Najčešće korišteni tip optičkog kabla u telekomunikacionim sistemima elektroprivrednih kompanija je OPGW kabl. Stoga su brojne instalacije ovog tipa optičkog kabla već duži niz godina u upotrebi širom svijeta, pa tako i u Bosni i Hercegovini, te se postavlja logično pitanje degradacije karakteristika OPGW kabla i vlakana tokom eksploatacije. Pri razmatranju degradacije karakteristika kablova i vlakana poseban značaj treba posvetiti aspektu starenja, odnosno vijeku trajanja.

Preliminarni rezultati istraživanja predstavljenog u ovom radu ukazuju na mogućnost ocjene vremena upotrebljivosti užeta korištenjem statističkih modela. Naime, u radu je u cilju procijene trajanja optičkih vlakana u OPGW kablju, korištenjem linearne regresije, razvijen model koji korelira vrijeme i slabljenje u optičkim vlaknima OPGW kablova. U modelu su korišteni stvarni rezultati mjerenja slabljenja na vlaknima JP EP BiH, u toku određenog vremenskog perioda. Na osnovu pomenutog modela, zaključeno je da slabljenje u vlaknima i nakon 35 godina eksploatacije, neće biti degradirano do nivoa da implicira zamjenu OPGW kablova, što nadalje ukazuje na elektroenergetske, a ne telekomunikacione razloge zamijene OPGW kablova.

Međutim, relevantni parametri mjereni su u samo tri vremenska trenutka, sa razmakom od maksimalno šest godine, tako da, na osnovu dostavljenih vrijednosti, nije mogla biti urađena potpuna verifikacija razvijenog modela. Da bi se model do kraja potvrdio potrebno je nastaviti sa započetim mjerenjima tokom dužeg vremenskog perioda. U tom slučaju će, nakon izvjesnog vremenskog perioda, predstavljeni model biti u potpunosti testiran, a rezultati i zaključci ovog ispitivanja u potpunosti verifikirani.

LITERATURA

- [1] Džemo Borovina, Pamela Begović, Anida Sarajlić: "Korelisanost vijeka trajanja optičkih kablova i komponenata dalekovoda, u elektroenergetskim sistemima", BiHTEL 2006
- [2] M. Merkle: "Verovatnoća i statistika za inženjere i studente tehnike", Akademska misao Beograd, 2002.
- [3] Dr Vladislav M. Milošević: "Teorijska statistika-teorija statističkog zaključivanja", Naučna knjiga Beograd, 1995
- [4] Džemo Borovina: „Analiza upotrebe optičkih vlakana (na 1550 nm) integrisanih u zemnovodnom užetu“, VIII Savjetovanje BH K CIGRÉ, 2007
- [5] Džemo Borovina, Magistarski rad „Uticaj stabilnosti karakteristika u procesu optimalnog odabira i upotrebe fiber optičkih vlakana u elektroenergetskim kompanijama“, Sarajevo, 2006