

# Uticaj temperature sredine na promenu disperzije instaliranog optičkog vlakna

Miljan Stamenović<sup>1</sup>, Rade Sekulić<sup>2</sup>, Nikola Slavković<sup>3</sup>

**Sadržaj.** Cilj rada je provera stabilnosti disperzije signala na instaliranim OPGW (Optical Ground Wire) kablovima u različitim temperaturnim uslovima sredine. Merenja su vršena u terenskim uslovima pri niskim temperaturama zimskog perioda, i pri visokim temperaturama letnjeg perioda. Merna metoda zasniva se na reflektometarskim ispitivanjima parametara optičkog vlakna u vremenskom domenu upotrebom OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) uredjaja. Rezultati ovog istraživanja uglavnom potvrđuju teorijske, i rezultate dobijene u laboratorijskim uslovima.

**Ključne reči-** disperzija materijala, disperzija polarizacionog moda, hromatska disperzija, optičko vlakno, reflektometrija, temperatura, talasovodna disperzija.

## I. UVOD

**H**ROMATSKA disperzija, CD (Chromatic Dispersion), u monomodnim vlaknima, predstavlja jedan od ljučnih parametara u pogledu ograničenja kapaciteta i kvaliteta prenosa signala. Pored hromatske disperzije, izvor produženja svetlosnog impulsa može biti i diferencijalno grupno kašnjenje (DGD- Differential group delay). DGD predstavlja ograničavajući faktor u pogledu propusnog opsega monomodnog vlakna u komunikacionim sistemima sa većim distancama i višegigabitnim protokom podataka. U monomodnom vlaknu ipak postoje dva ortogonalno polarisana moda koji se prostiru u različitim ravnima. Kako optičko vlakno nije idealne u pogledu kružne simetrije i drugih konstrukcionih karakteristika, a takođe pri proizvodnji i instaliranju kabla nije moguće ostvariti izotropan indeks prelamanja, tj. konstantnu grupnu brzinu polarizacionih modova. Dva polarizaciona moda prostiru se različitim brzinama koje odgovaraju indeksima prelamanja duž različitih putanja. Razlika putanja ovih modova na kraju vlakna izražena u ps, iskazuje disperziju polarizacionih modova.

Takođe, pretpostavlja se da je vrednost PMD (Polarization Mode Dispersion) zadovoljavajuća, ako je

manja do 10% širine impulsa. Da bi bio zadovoljen kvalitet protoka vrednost BER (Bit Error Rate), koja odgovara ukupnoj disperziji koja ne sme biti veća od 10% trajanja impulsa. Npr. za standardni prenosni sistem koji radi sa protocima od 10Gb/s, maksimalna vrednost ukupne disperzije ne sme preći vrednost od 10ps. OPGW kablovi instalirani su na dalekovodnoj energetske mreži tako da je uticaj vremenskih prilika neizbežan. Promena temperature u spoljnim uslovima dešava se u toku različitih vremenskih prilika u opsegu od -20°C do + 45°C. Optički transmisioni sistem je najčešće ostvaren kao SDH STM 16 prenos na protok od 2,4 GHz, a to je prenos na kome se mora voditi računa o uticaju ukupne disperzije na degradaciju signala, naročito na dužim relacijama. Promena temperature utiče i na promenu indeksa prelamanja svetlosti, što dalje rezultuje različitim putanjama svetlosti duž optičkog vlakna. Razlike u temperaturi uzrokuju takođe i promene nivoa Rejllijevog rasejanja u vlaknu. [1,2].

## II. DISPERZIJA MATERIJALA I TALASOVODNA DISPERZIJA

Disperzija materijala je posledica zavisnosti indeksa prelamanja u vlaknu od prenošene talasne dužine. Talasovodna disperzija se javlja kao rezultat zavisnosti prečnika moda od talasne dužine, i uslovljena je konstrukcijom optičkog vlakna. Naime prečnik polja moda je u zavisnosti od konstrukcije vlakna najčešće veći od prečnika samog jezgra, i zalazi delimično u omotač vlakna. U takvom slučaju uvodi se efektivni indeks prelamanja vlakna kao funkcija oba postojeća indeksa prelamanja, u jezgu i omotaču iskazana jednačinom (1).

$$n_{eff} = n_2 + b(\lambda)(n_1 - n_2) \quad (1)$$

Hromatsku disperziju (CD) je daleko lakše kompenzovati od disperzije polarizacionih modova PMD. Spektrar prenošenog optičkog signala uvek obuhvata opseg talasnih dužina, bez obzira na kvalitet samog izvora. Usled postojanja više talasnih dužina, zastupljene su različite grupne brzine komponenti prenošenog signala u optičkom vlaknu. Elektromagnetski talasi se prostiru se prostiru ne samo kroz jezgro, već i kroz omotač vlakna. Zahvaljujući konstrukciji vlakna može se prilagoditi hromatska disperzija željenoj vrednosti na određenoj talasnoj dužini. [1,2]

<sup>1</sup> Miljan Stamenović, A.D: "Telefonija", Beograd

<sup>2</sup> Rade Sekulić, A.D. "Telefonija", Beograd

<sup>3</sup> Nikola Slavković, Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, Zdravka Čelara 16, 11000 Beograd (tel. +381 11 3291 220, e-mail: nikola.slavkovic@ict.edu.rs)

To je i motiv proizvodnje vlakana prema ITU-T preporukama G.652<sup>4</sup> i G.655<sup>5</sup>, kod kojih je talasna dužina nulte disperzije u prvom odnosno drugom optičkom prozoru respektivno.

Indeks prelamanja nekog optičkog materijala može biti izražen interpolacijom Sellmeier-ovom formulom koja ima fizičku osnovu u Lorencovom oscilatornom modelu [3]:

$$n = \sqrt{\frac{1}{c} \left( A + \frac{B \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - C} + \frac{D \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - E} \right)} \quad (2)$$

gde je  $\lambda$ , vrednost talasne dužine u mikrometrima, a A, B, D i E su koeficijenti vezani za karakteristike samog stakla. (pinto)

Zavisnost hromatske disperzije od talasne dužine se može predstaviti jednačinom

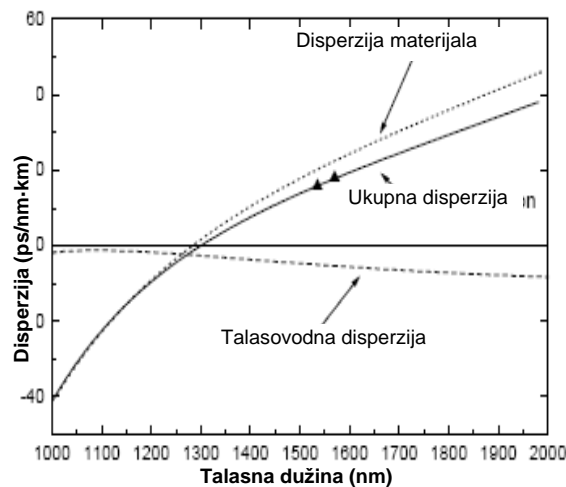
$$D(\lambda) = - \left( \frac{\lambda}{c} \right) \frac{d^2 n_{eff}}{d\lambda^2} \quad (3)$$

Gde je  $\lambda$  talasna dužina, a  $n$  indeks prelamanja vlakna.

Kada se u jednačinu (3) zameni drugi izvod jednačine (1), dobija se izraz, pogodan u većini aplikacija optičkog vlakna [1]:

$$D(\lambda) = - \left( \frac{\lambda}{c} \right) \left( \frac{d^2 n_2}{d\lambda^2} + \delta n_1 \frac{d^2 b(\lambda)}{d\lambda^2} \right) \quad (4)$$

gde je  $b(\lambda)$  funkcija talasne dužine, a  $\delta n_1 = (n_1 - n_2)$



Slika 1. Zavisnost komponenti ukupne disperzije od talasne dužine

<sup>4</sup> ITU-T 652 odnosi se na geometrijske i prenosne karakteristike monomodnog optičkog vlakna i kabla sa hromatskom disperzijom i tzv. cut off talasnom dužinom koje nisu pomenene izvan opsega u okolini 1310nm. Ovim se preporučuje upotreba monomodnog optičkog vlakna koje ima talasnu dužinu nulte disperzije na vrednosti oko 1310 nm, i koje je optimizovano za prenos u toj oblasti talasnih dužina, a može se upotrebiti i u prenosu na 1550 nm, ali u tom opsegu talasnih dužina vlakno nije optimizovano.

<sup>5</sup> ITU-T G.655 preporuka se odnosi na monomodna optička vlakna i kablove sa hromatskom disperzijom (apsolutna vrednost) koja je veća od nekih nenultih vrednosti unutar opsega optičkog prošora u okolini 1550nm. Ova hromatska disperzija sprečava razvoj procesa četvorotalasnog mešanja, nelinearnog efekta koji može znatno uticati na degradaciju prenosa u DWDM (dense wavelength division multiplexing) sistemima. Ova vlakna optimizovana su za prenos u opsegu talasnih dužina od 1530 do 1565 nm.

Promene hromatske disperzije sa temperaturom potiču od kristalnih vibracija unutar stakla, koje dovode do promene indeksa prelamanja, kroz čiju promenu se može iskazati i promena disperzije i nagiba disperzije. Ako se ukupna hromatska disperzija modeluje izrazom [3]:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (5)$$

gde je  $\lambda_0$  talasna dužina nulte disperzije i  $S_0$  nagib krive hromatske disperzije na talasnoj dužini nulte disperzije,  $\lambda_0$ . Oba parametra zavise od temperature pa važi:

$$\frac{\partial D}{\partial T} = \frac{1}{4} \cdot \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \cdot \frac{\partial S_0}{\partial T} - \frac{S_0 \lambda_0^3}{\lambda^3} \cdot \frac{\partial \lambda_0}{\partial T} \quad (6)$$

Kod mreža sa predviđenim velikim kapacitetom prenosa, i kompenzovanim vlaknima važan je nagib hromatske disperzije koji odgovara tačnoj talasnoj dužini prenosa:

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = \frac{S_0}{4} \left( 1 + 3 \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \quad (7)$$

čija se temperaturna zavisnost dobija kao:

$$\frac{\partial}{\partial T} \frac{\partial D}{\partial \lambda} = \frac{1}{4} \cdot \left( 1 + 3 \cdot \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \cdot \frac{\partial S_0}{\partial T} + 3 \cdot S_0 \cdot \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \cdot \frac{\partial \lambda_0}{\partial T} \quad (8)[3]$$

### III. REZULTATI MERENJA

Merenja su vršena na OPGW kablovima proizvođača Draka Comteq, koji sadrže optička vlakna čije su karakteristike u skladu sa preporukama ITU-T G.652 i G.655. Merenja su vršena na postojećim deonicama TS Pančevo- TS Zrenjanin u dužini od oko 75 km. Hromatska disperzija meri se instrumentom Agilent, sa modulom N3916AL [4].

Disperzija se određuje direktno, reflektometarskom metodom u vremenskom domenu, tako što se meri vreme preleta svetlosti duž vlakna na različitim talasnim dužinama. Instrument koji je korišćen meri vreme preleta na četiri talasne dužine 1310nm, 1480nm, 1550nm i 1625nm. Algoritam za dobijanje vrednosti hromatske disperzije sastoji se u sledećem: meri se vreme odziva impulsa sa drugog kraja vlakna za svaku od četiri talasne dužine, a potom se na osnovu izmerenih vremena na ovim talasnim dužinama i Selmeirovih aproksimacija dobija zavisnost grupnog kašnjenja od talasne dužine, nagib disperzije, i iz tačaka sa grafika zavisnosti kašnjenja impulsa u zavisnosti od talasne dužine, određuje tip krive.[1]

Disperzija se proračunava kao prvi izvod vremena po talasnoj dužini, a nagib kao izvod disperzije po talasnoj dužini Odnosno:

$$D = d\tau/d\lambda \quad (9)$$

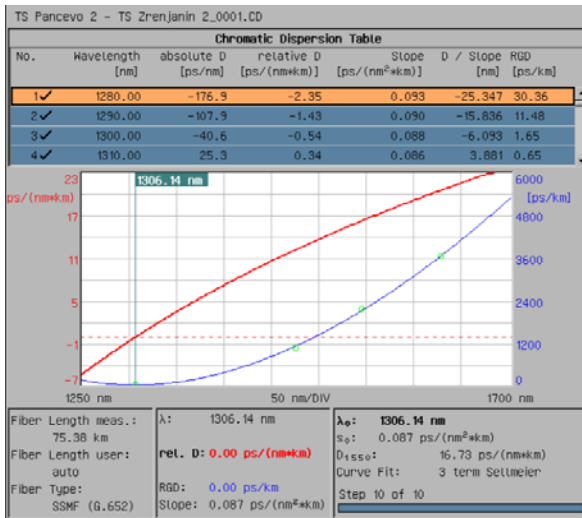
$$S_\lambda = dD/d\lambda \quad (10)$$

Pri merenju hromatske disperzije na G652 optičkim vlaknima korišćena je Selmeir-ova aproksimacija trećeg reda a kod G655 vlakana, četvrtog reda. [5]

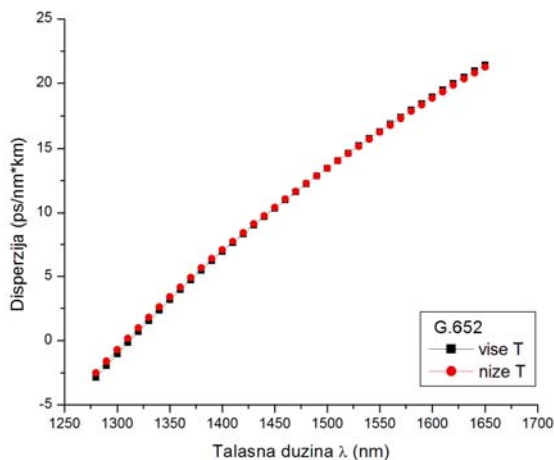
Kako se kašnjenje meri samo za četiri talasne dužine, nemoguće je precizno odrediti krivu zavisnosti kašnjenja od talasne dužine pa se pribegava „fitovanju“ u skladu sa dobijenim vrednostima, a sve prema određenim modelima optičkih vlakana, u skladu sa standardom FOTP-224, za određeni tip optičkog vlakna. U memoriji samog instrumenta mora se nalaziti matematička formula koja opisuje ponašanje određenog tipa vlakna prema modelu u skladu sa FOTP-224. [1]

Ceo postupak u toku merenja se odvija proračunom u samom instrumentu, nakon čega se na ekranu predstavlja grafik zavisnosti vrednosti disperzije u odnosu na opseg talasnih dužina, kao što je pokazano na Sl.2.

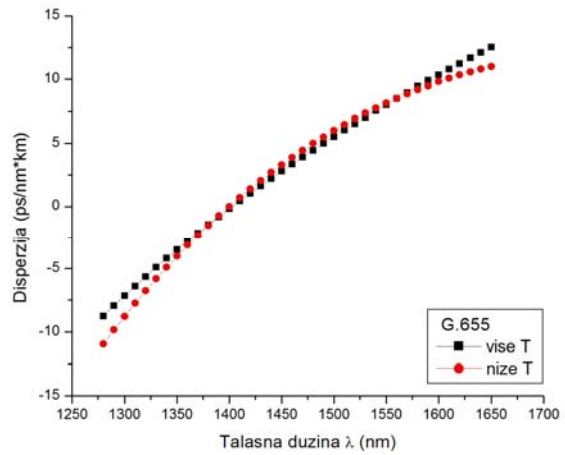
Na osnovu Sellmeier-ovih aproksimacija trećeg i četvrtog reda, i postojeće zavisnosti grupnog kašnjenja od talasne dužine, moguće je odrediti sve vrednosti disperzije u opsegu talasnih dužina sa određenim korakom- 10nm. Grafici zavisnosti disperzije kabla (sa po 24 vlakna oba tipa prema G.652 i G.655) od talasne dužine na osnovu merenja u letnjim i zimskim terenskim uslovima i pomenutih aproksimacija, prikazani su na slikama 3. i 4.



Slika 2. Ekran uredjaja Agilent pri merenju hromatske disperzije reflektometrom na četiri talasne dužine

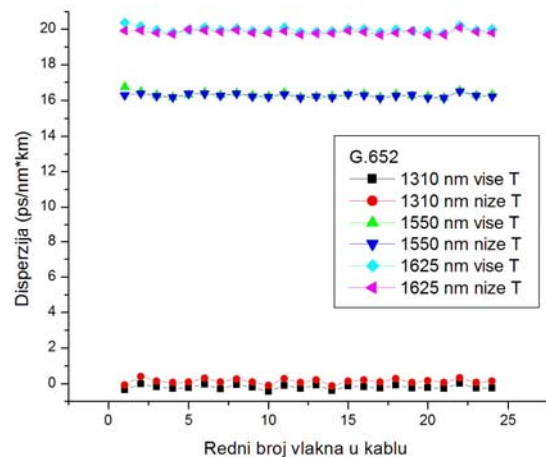


Slika 3. Zavisnost vrednosti hromatske disperzije kabla od talasne dužine, na vlaknu G.652

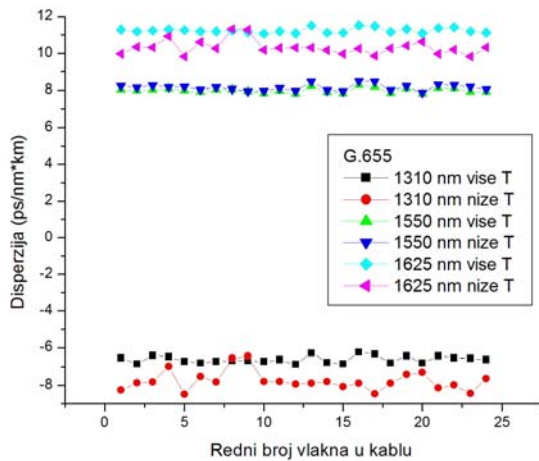


Slika 4. Zavisnost vrednosti hromatske disperzije kabla od talasne dužine, na vlaknu G.655

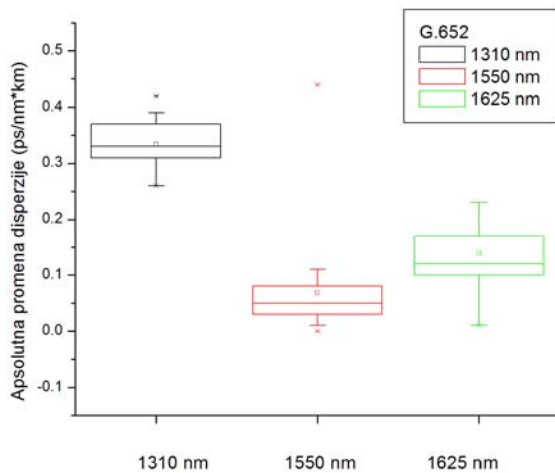
Na osnovu vrednosti disperzije za svaku talasnu dužinu u svakom od vlakana kabla moguće je odrediti srednju promenu disperzije kabla pri visokim i niskim temperaturama, na instaliranim deonicama, što je pokazano na slikama 5. i 6. Svaki kabl sadrži 24 vlakna prema G.652 i G.655 preporuci. Prosečna vrednost disperzije za G.652 vlakna je oko 19 ps na 1625 nm i 16 ps na 1550 nm. Za G.655 vlakna prosečna vrednost je oko 8 ps na 1550 nm i oko 11 ps na 1625 nm. Ovakve vrednosti, hromatske disperzije je moguće kompenzovati. Problem predstavlja promena disperzije. Na pojedinačnim vlaknima promena disperzije dostiže i do 1,5 ps pri promeni temperature od oko 35°C, što je pokazano box dijagramima na slikama 7 i 8. za G.652 i G.655 vlakna respektivno.



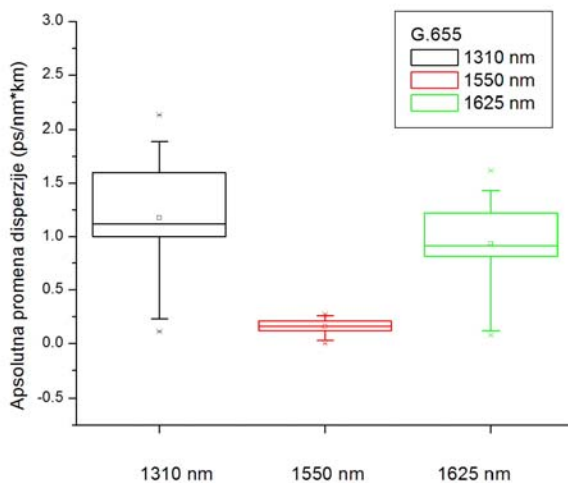
Slika 5. Promena vrednosti hromatske disperzije po vlaknima G.652



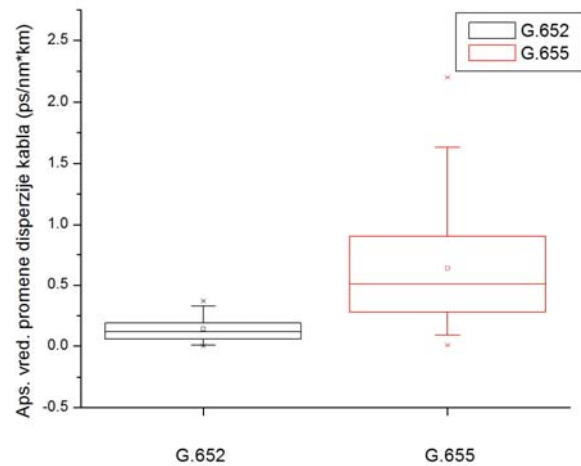
Slika 6. Promena vrednosti hromatske disperzije po vlaknima G.655



Slika 7. Apsolutna promena vrednosti hromatske disperzije po talasnim dužinama za G.652 vlakna



Slika 7. Apsolutna promena vrednosti hromatske disperzije po talasnim dužinama za G.655 vlakna



#### IV. ZAKLJUČAK

Promena temperature izaziva promene optičkih karakteristika vlakna. Osnovni zaključak ovog istraživanja je da je promena temperature uslovlila promenu ukupne disperzije optičkog signala.

U sistemima sa protokom 2,4 Gb/s u kojima je dozvoljena vrednost ukupne disperzije od 40 ps promena spolašnje temperature neće bitnije uticati na ispravan rad sistema.

Kod sistema većih kapaciteta, sa protokom od 40 Gb/s ukupna dozvoljena disperzija je 2 ps, pa se uticaj temperature na promenu disperzije ne sme zanemariti. Takvi sistemi zahtevaju da se pri kompenzaciji uračunava i promena disperzije usled promena temperature.

#### LITERATURA

- [1] D.Anderson, L.Johnson, F.G.Bell, *Troubleshooting Optical Fiber Networks*, Elsevier Academic Press, San Diego, CA, USA, 2004.
- [2] Andrija Kunarac, "Disperzija polarizacionog moda i hromatska disperzija u telekomunikacionim mrežama sa bitskim protocima od 10Gbit/s i većim", TELFOR, Beograd 2002.
- [3] P. S. Andree, A. N. Pinto, J. L. Pinto, "Effect of temperature on the single mode fibers chromatic dispersion", *Journale of Microwaves and Optoelectronics*, Vol. 3, N° 5, (65-68), (July 2004)
- [4] www. agilent.com
- [5] www. corning.com/opticalfiber

#### ABSTRACT

The paper considers the variation of dispersion in different temperature conditions, on installed OPGW (Optical Ground Wire) cables. The measurements were performed in field, during the summer and winter period. The used measurement method is based on the time domain optical testing of fibres, by using the OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) device. The results of this research are compared to theoretical, and laboratory results obtained.

#### ENVIRONMENT TEMPERATURE INFLUENCE ON DISPERSION VARIATION ON INSTALLED OPTICAL FIBRE

Miljan Stamenović, Rade Sekulić, Nikola Slavković