

D2 I 02

**UTICAJ SPOLJAŠNJE TEMPERATURE NA KARAKTERISTIKE
INSTALIRANOG OPTIČKOG VLAKNA**

M. STAMENović*

PS Telefonija AD

D. LALović, P. MITROVIĆ

EPS, Projekat Telekomunikacije

Beograd

Srbija

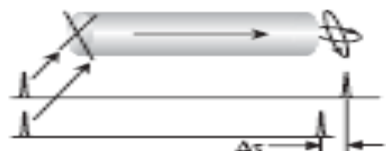
KRATAK SADRŽAJ: *Cilj ovog rada je utvrđivanje stabilnosti karakteristika optičkih vlakana instaliranih OPGW kablova u zavisnosti od spoljašnje temperature. Za ova istraživanja koristili smo merenja vršena u ekstremnim temperaturnim uslovima, zimi kada je najhladnije i leti pri maksimalnim temperaturama. Mereno je slabljenje, disperzija polarizacionog moda i hromatska disperzija. Rezultati ovog istraživanja potvrđuju u najvećoj meri teorijske i rezultate dobijene u laboratorijskim uslovima. Osnovni zaključak ovog istraživanja je da je promena temperature uslovlila promenu optičke dužine, slabljenja i disperzija optičkog signala. Promene karakteristika optičkog vlakna neće bitnije uticati na rad sistema brzine prenosa 2.4 Gb/s. Kod sistema sa velikim brzinama protoka ovaj uticaj ne možemo zanemariti.*

KLJUČNE REČI: *Optičko vlakno – Temperatura - Disperzija polarizacionog moda - Hromatska disperzija.*

* Miljan Stamenović, PS Telefonija AD, Kumodraška 241, Beograd,
miljan.stamenovic@telefonija.co.yu

1. Uvod

Temperatura je jedan od faktora koji utiče na podužno slabljenje optičkog signala kao i na polarizacionu i hromatsku disperziju. OPGW kablovi instalirani su na dalekovodnoj energetske mreži tako da je uticaj vremenskih prilika neizbežan. Promena temperature, padavine, vetar utiču na karakteristike optičkog vlakna. Promena temperature može se definisati u opsegu od -20°C do $+45^{\circ}\text{C}$ tako da se njen uticaj na optička vlakna ne može zanemariti. Sistem funkcioniše preko SDH STM -16 prenosa na brzini od 2,4 Gbit/s tako da se mora voditi računa o uticaju disperzija na degradaciju signala naročito na dužim relacijama. Promena temperature utiče na promenu indeksa prelamanja svetlosti, što utiče na putanju svetlosti duž optičkog vlakna. Takođe na atome u silicijumskom vlaknu, a to dovodi do promene Rejljevog rasejanja. Najveći uticaj na slabljenje ima upravo Rejljevo rasejanje preko 95% ukupnog slabljenja. Još je značajno u opsegu talasnih dužina koje se koriste slabljenje usled apsorpcije. Usled promene indeksa prelamanja, menja se i optička dužina vlakna, odnosno menja se dužina puta koji pređe svetlost u vlaknu. Disperzija polarizacionog moda (PMD) utiče na degradaciju signala. Monomodno vlakno nije u potpunosti monomodno. Osnovni mod sadrži dva ortogonalno polarisana moda koji se prostiru u različitim ravnima. Optičko vlakno nema idealnu kružnu simetriju a takodje pri proizvodnji i instaliranju kabla nije moguće ostvariti izotropan indeks prelamanja odnosno konstantnu grupnu brzinu polarizacionih modova[1]. Dva polarizaciona moda prostiru se različitim brzinama koje odgovaraju indeksima prelamanja duž spore i brze ose vlakna. Njihov pomeraj na kraju vlakna izražen u ps, odgovara disperziji polarizacionih modova. Takođe, pretpostavlja se da je vrednost PMD zadovoljavajuća ako je manja do 10% dužine trajanja bita. Tako da na sistemu koji mi posmatramo PMD je ograničen na 40 ps.

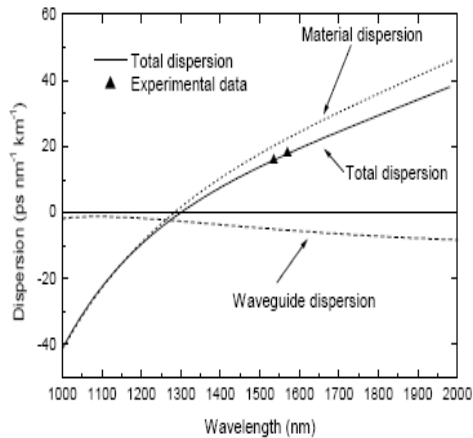


Slika 1. Vreme prostiranja svetlosti duž spore i brze ose

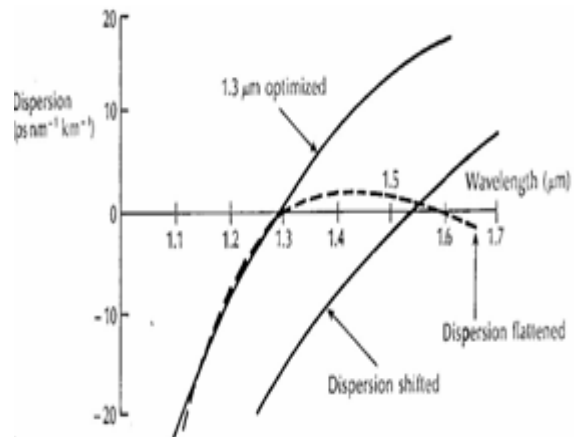


Slika 2. Polarisana svetlost

PMD i hromatska disperzija (CD) su ograničavajući faktor u mrežama sa velikim brzinama protoka. CD možemo kompenzovati dok je PMD jako teško kompenzovati. Hromatsku disperziju čine materijalna i talasovodna disperzija. Optički impulsi nose digitalnu informaciju koja obuhvata konačan spektar talasnih dužina. Različite talasne dužine putuju različitim grupnim brzinama u optičkom vlaknu. Kako svaki impuls svetlosti postoji u izvesnom opsegu talasnih dužina on će se raširiti u izvesnoj meri. Talasovodna disperzija je uslovljena oblikom odnosno konstrukcijom optičkog vlakna. Elektromagnetno polje se prostire ne samo u jezgu već i u omotaču. Preklapanje polja jako zavisi od talasne dužine. Uticaj materijalne i talasovodne disperzije je različit. Zahvaljujući tome, odnosno konstrukciji vlakna možemo prilagoditi hromatsku disperziju talasnoj dužini. Tako imamo vlakna G.652 i G.655 tipa kod kojih je talasna dužina nulte disperzije u drugom odnosno trećem optičkom prozoru respektivno.



Slika 3. Materijalna i talasovodna disperzija

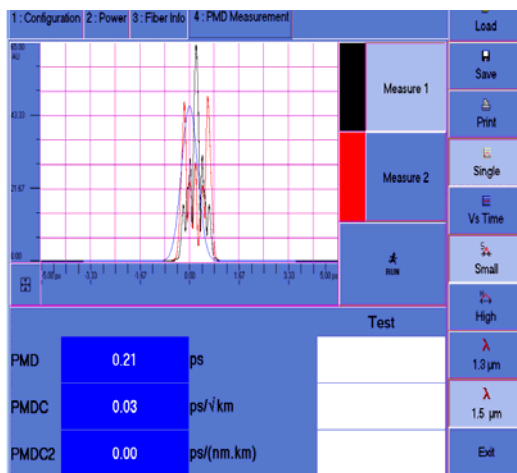


Slika 4. Hromatska disperzija

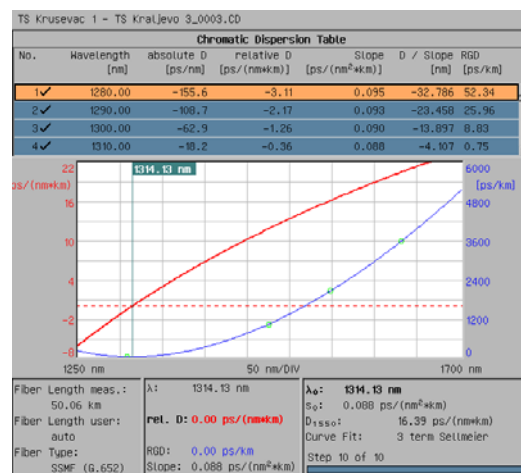
2. Metode merenja

Merenja su vršena na OPGW kablovima proizvođača Draka Comteq. Kablovi sadrže optička vlakna G.652 i G.655 tipa.

Slabljenje na optičkim linkovima mereno je OTDR metodom instrumentima NETTEST CMA 5000 i Agilent N3900A, tako da je slabljenje na linku mereno istim instrumentom i leti i zimi. PMD je merena instrumentom CMA 5000 PMD 1600 a hromatska disperzija instrumentom Agilent korišćenjem modula N3916AL.



Slika 4. Merenje polarizacione disperzije



Slika 5. Merenje hromatske disperzije

Merenje polarizacione disperzije je zasnovano na interferometrijskoj metodi uz korišćenje mikelsonovog interferometra[2]. Merenja ovom metodom su jako brza. PMD je određen korelacionom funkcijom elektromagnetnog polja. Polarizovana svetlost se na jednom kraju vlakna ubacuje a na drugom se detektuje optička snaga svetlosti u obe ravni u kojima se prostire. Pokretno ogledalo se pomera sve dok optička snaga u obe ravni ne bude skoro identična. U zavisnosti od pomeraja ogledala L proračunava se PMD na vrlo jednostavan način. Hromatska disperzija je merena instrumentom Agilent korišćenjem modula N3916AL[3]. Disperzija se određuje indirektno a meri se vreme preleta svetlosti duž vlakna na različitim talasnim dužinama. Instrument koji smo koristili meri vreme preleta na četiri talasne dužine 1310nm, 1480nm, 1550nm i 1625nm. Na osnovu izmerenih vremena na ovim talasnim

dužinama i Selmeirovih aproksimacija dobija se zavisnost kašnjenja od talasne dužine[4]. Disperzija se proračunava kao prvi izvod vremena po talasnoj dužini. Odnosno:

$$D = d\tau / d\lambda \quad (1)$$

$$S_\lambda = dD / d\lambda \quad (2)$$

gde je S_λ nagib disperzije. Pri merenju CD na G.652 optičkim vlaknima koristili smo Selmeirovu aproksimaciju trećeg reda a kod G.655 vlakana četvrtog reda.

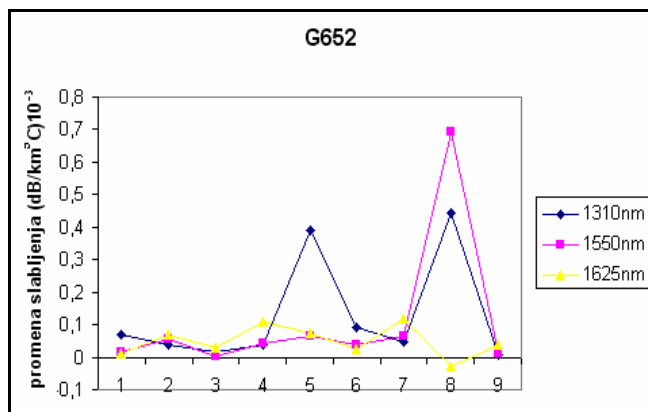
3. Rezultati merenja

3.1. Merenja optičke dužine

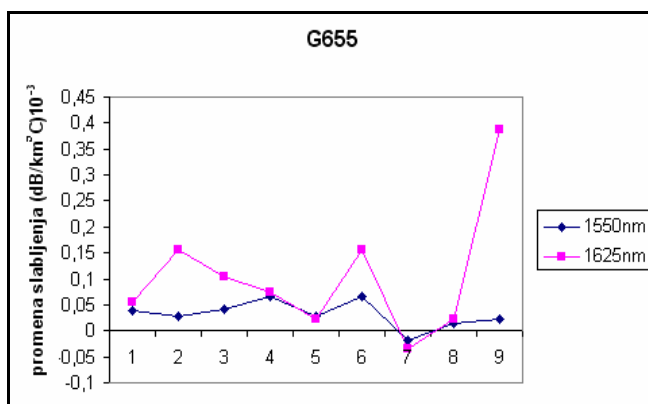
Merenjem optičke dužine trasa zimi i leti eksperimentalno je dobijena zavisnost optičke dužine od promene temperature:

$$\frac{1}{L} \frac{\Delta L}{\Delta T} = 6.5 \cdot 10^{-7} \frac{1}{^\circ C} \quad (3)$$

3.2. Merenje slabljenja



Slika 6. Promena podužnog slabljenja kod G.652 vlakana



Slika 7. Promena podužnog slabljenja kod G.655 vlakana

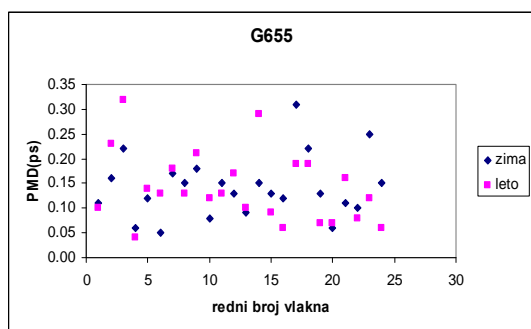
Na slikama 6 i 7 prikazana je promena podužnog slabljenja na devet deonica. Sa porastom temperature povećava se i slabljenje optičkog signala duž vlakna. Najmanje promene slabljenja su na talasnoj dužini od 1550nm. Kao što se vidi sa slika 6 i 7 ova talasna dužina je najmanje temperaturno zavisna kod obe vrste vlakana.

3.3. Merenje disperzije polariziranog moda

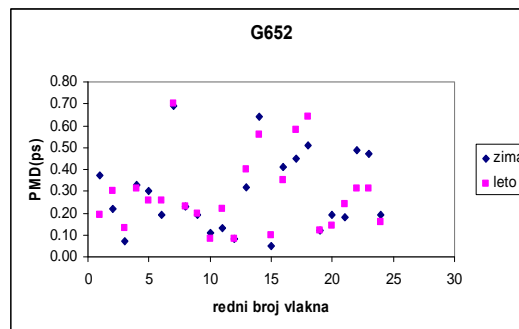
Strogo utvrđivanje zavisnosti PMD od temperature na osnovu izvršenih merenja nije moguće. PMD je merena na talasnoj dužini 1550nm kojoj su prilagođena G.655 vlakna. Kao što se vidi na slikama G.655 vlakna u istom kablu imaju prosečno mnogo manje vrednosti disperzije od G.652 vlakana. Na promenu PMD ne utiče presudno temperatura ali iz merenja izvršenih na 312 vlakana G.655 tipa ustanovljena je sledeća promena polarizacione disperzije:

$$\frac{\Delta D}{\Delta T} = 3.2 \cdot 10^{-5} \frac{ps}{\sqrt{km} \cdot ^\circ C} \quad (4)$$

Ovaj rezultat ,ako se primeni na trasi od 100km i promeni temperature od 40 °C, uzrokuje promenu disperzije od 0,0128 ps .



Slika 8. PMD na G.655 vlaknima



Slika 9. PMD na G.652 vlaknima

Slika 8. i 9. pokazuju da temperatura nema presudan uticaj na vrednost PMD.

3.4. Merenje hromatske disperzije

Izvodimo jednačinu koja prikazuje zavisnost hromatske disperzije od temperature u trećem optičkom prozoru. Pre svega interesuje nas stabilnost talasnih dužina trećeg optičkog prozora u kome se vrši prenos u sistemima sa velikim brzinama protoka. Indeks prelamanja nekog optičkog materijala može biti izražen Selmeirovom formulom koja ima fizičku osnovu u Lorencovom oscilatornom modelu :

$$n = \sqrt{\frac{1}{C} \left(A + \frac{B \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - C} + \frac{D \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - E} \right)} \quad (5)$$

gde su A,B,C,D i E konstante. Hromatsku disperziju dobijamo kao zbir materijalne i talasovodne disperzije i možemo je modelovati jednačinom:

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

gde je λ_0 talasna dužina nulte disperzije i S_0 nagib hromatske disperzije na λ_0 . Oba parametra zavise od temperature zbog čega je :

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

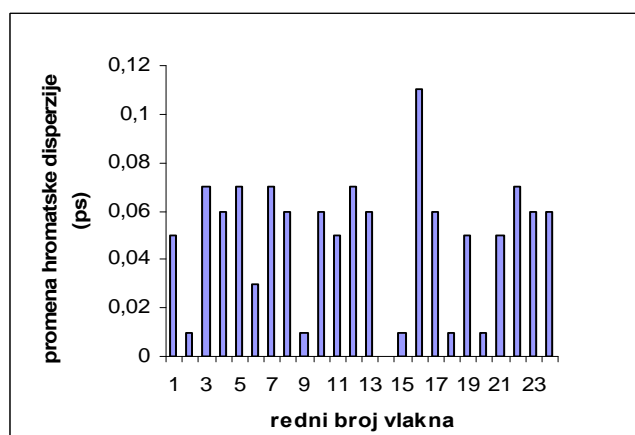
Za mreže sa velikim brzinama protoka mnogo je bitniji nagib hromatske disperzije na talasnoj dužini prenosa od S_0 nagiba hromatske disperzije na λ_0 :

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

čija se temperaturna zavisnost dobija kao:

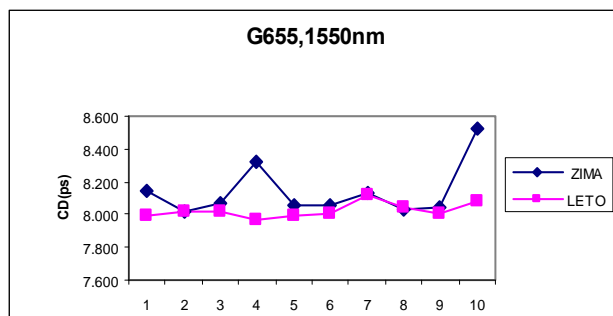
$$\frac{\partial}{\partial T} \frac{\partial D}{\partial \lambda} = \frac{1}{4} \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \cdot \frac{\partial S_0}{\partial T} + 3 \cdot S_0 \cdot \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \cdot \frac{\partial \lambda_0}{\partial T} \quad (9)$$

Porastom temperature na talasnim dužinama trećeg optičkog prozora smanjuje se disperzija dok porastom temperature raste nagib disperzije.

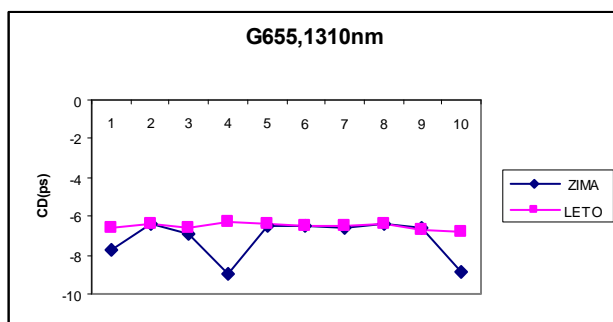


Slika 10. Promena hromatske disperzije ,predstavlja razliku izmerene CD u zimskom i letnjem periodu kod G.655 vlakana na 1550nm

Na slici 10 prikazana je promena disperzije,razlika izmerene CD u zimskom i letnjem periodu na 24 optička vlakna G655 tipa na talasnoj dužini 1550nm.Vidi se da je ta promena pozitivna odnosno disperzija je veća na nižoj temperature.Ovaj rezultat potvrđuje teorijsku analizu.

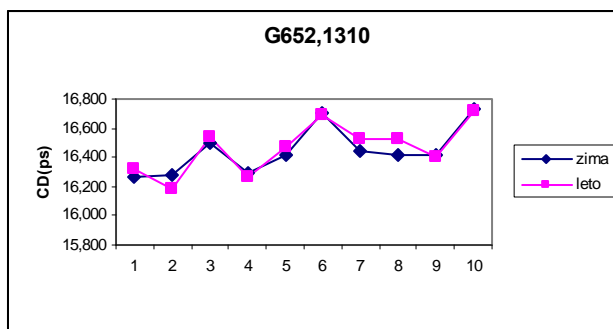


Slika 11. Promena srednje vrednosti hromatske disperzije

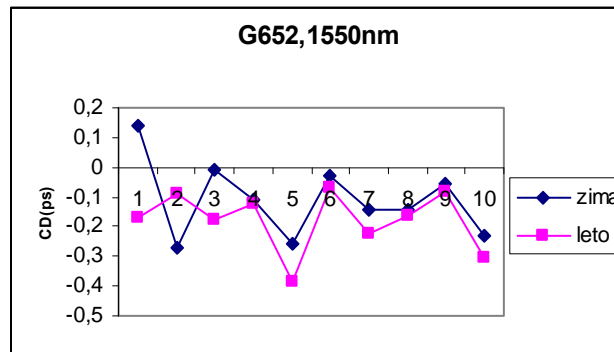


Slika 12. Promena srednje vrednosti hromatske disperzije

Slika 11 i 12 predstavljaju prosečnu disperziju na deset instaliranih deonica. Svaki kabal sadrži 24 vlakna G.655 tipa. Prosečna vrednost disperzije je oko 8 ps. Ta vrednost, a i bilo koja vrednost hromatske disperzije se može kompenzovati. Problem predstavlja promena disperzije. Na pojedinačnim vlaknima promena disperzije dostiže i do 1 ps pri promeni temperature od 35°C. Na sistemu brzine 40 Gbit/s ukupna dozvoljena disperzija je 2 ps. Takvi sistemi zahtevaju da se pri kompenzaciji uračunava i promena disperzije usled temperature. Na sistemu brzine 2.4 Gbit/s gde je dozvoljena disperzija 40 ps promena spoljašnje temperature neće uticati na ispravan rad sistema.



Slika 13. Promena srednje vrednosti hromatske disperzije



Slika 14. Promena srednje vrednosti hromatske disperzije

Na slikama 13 i 14 prikazana je promena disperzije kod G.652 vlakana čija je talasna dužina prilagođena drugom optičkom prozoru. Zavisnost disperzije od temperature je mnogo stabilnija na talasnoj dužini 1310nm nego na 1550nm.

4. Zaključak

Promena temperature izaziva promene optičkih karakteristika vlakna. Slabljenje pokazuje najveću stabilnost u odnosu na promenu temperature na talasnoj dužini od 1550nm. Disperzija polarizacionog moda varira u pojedinačnim merenjima ali uticaj temperature na prosečnu vrednost disperzije je jako mali. Hromatska disperzija se povećava u trećem optičkom prozoru sa smanjenom temperature. Ove promene hromatske disperzije neće uticati na rad sistema brzine prenosa podataka 2.4Gbit/s ali kod bržih sistema uticaj temperature se mora uzeti u obzir pri kompenzaciji hromatske disperzije.

Reference

- [1] Andrija Kunarac, Disperzija polarizacionog moda i hromatska disperzija u telekomunikacionim mrežama sa bitskim protocima od 10Gbit/s i većim
- [2] www.anritsu.com
- [3] www.agilent.com
- [4] www.corning.com/opticalfiber
- [5] P.S.Andrre, 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)

Abstract

In this letter we investigate the effect of temperature on the optical fiber performance. For research we measured the optical fiber attenuation, polarisation mode dispersion and chromatic dispersion, in extreme temperature condition. Results of this measurements avers theory research. Temperature changes create optical fiber variations of the dispersion, optical length and attenuation. Temperatures effects on the performance of 2.4 Gb/s optical systems are not so important. Temperature has great effect on the performance of higt speed systems(40 Gb/s).