

## PRIMENA PLASTIČNIH OPTIČKIH VLAKANA U MREŽAMA ZA PRISTUP NOVE GENERACIJE

Vujo Drndarević, Nenad Jevtić  
Saobraćajni fakultet, Beograd

**Sadržaj:** U radu su analizirane mogućnosti primene plastičnih optičkih vlakana (*Plastic Optical Fiber, POF*) u realizaciji telekomunikacionih mreža za pristup i kućnih lokalnih mreža. Pored prikaza karakteristika plastičnih optičkih vlakana, dat je pregled pasivnih i aktivnih optičkih komponenti pogodnih za realizaciju komunikacionih sistema na bazi *POF* tehnologija. Najnovija istraživanja pokazuju da se uz pomoć plastičnih optičkih vlakana mogu ostvariti brzine prenosa do 10 Gb/s na rastojanjima do 50 m i brzine prenosa do 1 Gb/s na rastojanjima do 300 m. Zahvaljujući brojnim dobrim karakteristikama i velikim potencijalima kojima raspolaže, može se očekivati da *POF* tehnologija zauzme centralno mesto u razvoju mreža za pristup nove generacije.

**Ključne reči:** *plastična optička vlakna, optički predajnici, optički prijemnici, mreže za pristup, kućne lokalne mreže*

### 1. Uvod

Razvoj mreža za pristup ili najisturenijih segmenata ovih mreža (*edge network*), pomoću kojih se neposredno povezuju savremeni komunikacioni korisnički uređaji raspoređeni u radnom prostoru ili u prostoru za stanovanje, primetno zaostaje u odnosu na razvoj ostalih elemenata savremenih komunikacionih sistema [1]. Ako se ovakav trend nastavi sasvim je izvesno da će korisničke mreže ili mreže za pristup postati usko grlo celog komunikacionog sistema. S druge strane, zahtevi za velikim brzinama prenosa, stalnom raspoloživošću veza i visokim kvalitetom prenosa do krajnjeg korisnika predstavljaju ključne zahteve koji se postavljaju pred telekomunikacione operatere i provajdere koji žele da plasiraju svoje usluge na tržištu. Od telekomunikacionih operatere se zahteva i da korisnicima pruže nove servise, kao što su Internet protokol TV (*Internet Protocol TV, IPTV*), video na zahtev (*Video on Demand, VoD*) i dr., koje nije moguće ostvariti korišćenjem klasičnih xDSL veza.

Pored napred navedenih tehničkih zahteva, pred najisturenije segmente mreža za pristup postavljaju se još dva podjednako važna zahteva: niska cena i jednostavna izrada mrežne instalacije. Najpogodnije bi bilo da krajnji korisnik može sam, bez pomoći profesionalca, da realizuje mrežu unutar svog radnog ili stambenog prostora.

Korisničke mreže za pristup mogu se realizovati korišćenjem bežičnih veza, kablovskih veza ili kombinovanjem ovih tehnologija. Za realizaciju bežičnih komunikacionih mreža za pristup na raspolaganju stoji veći broj sistema, kao što su: bežične lokalne mreže (*WLAN, IEEE 802.11*), Bluetooth, GSM sistem mobilnih komunikacija, brzih HSPA (*High-Speed Packet Access*) protokol i najnovije LTE (*Long-Term Evolution*) tehnologije. Ove

mreže obezbeđuju korisniku određeni stepen mobilnosti uz ograničenu i često promenljivu brzinu prenosa. Za realizaciju kablovskih mreža na raspolaganju stoje neoklopljene upredene parice (UTP), koaksijalni kablovi, HomePNE linije, komunikacija preko elektroenergetskih vodova (*Power Line Communication, PLC*) i dr. U novije vreme primetne su aktivnosti usmerene na primenu optičkih vlakana u realizaciji mreža za pristup, klasičnih staklenih jednomodnih i višemodnih i plastičnih optičkih vlakna, koja mogu da obezbede veće brzine prenosa uz visok kvalitet servisa (QoS).

U mrežama sa kombinovanim žičnim i bežičnim vezama (bežične, PLC i koaksijalne LAN tehnologije), ne može se garantovati QoS bez primene robustne MAC (*Medium Access Control*) strategije kontrole pristupa mediju. U pogledu žičnih veza, primena UTP kablova duži niz godina predstavlja najprisutnije rešenje. Međutim, imajući u vidu trend rasta cena metala, posebno bakra, zatim osetljivost žičnih veza na elektromagnetne smetnje (*Electromagnetic Interference, EMI*) kao i zahtev da se žični komunikacioni kablovi ne postavljaju u iste kanale sa energetskim kablovima, žične veze ne predstavljaju najpogodnije rešenje za kućne mrežne instalacije.

Zahteve za velikom brzinom prenosa i garantovanim QoS najlakše je ispuniti korišćenjem optičkih komunikacionih sistema. U isto vreme, korišćenjem optičkih vlakana, obezbeđuje se potpuna imunost na elektromagnetne smetnje i mogućnost postavljanja kablova u iste kanale sa elektroenergetskim vodovima. Pri tome, moguće je koristiti klasična staklena optička vlakna, ali treba napomenuti da rad sa njima zahteva dobru obučenost i kvalifikovanost izvođača, što za sobom povlači povećanje cene čitave investicije. Za realizaciju novih komunikacionih mreža za pristup i ekonomičnih kućnih komunikacionih mreža kao i za zamenu starih instalacija novim po principu uradi-sam, na tržištu se već nude plastična (polimerna) optička vlakna (*Plastic Optical Fiber, POF*).

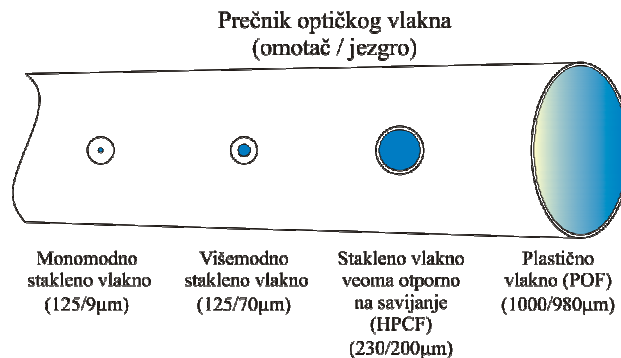
Premda su u ovom trenutku brzine prenosa preko POF vlakana ograničena na 1 Gb/s na rastojanjima do 100m [2], najnovija istraživanja kako u oblasti tehnologije tako i u oblasti razvoja pogodnih modulacionih postupaka pokazuju da su na pomolu rešenja koja će obezbediti prenos brzinom od nekoliko Gb/s na rastojanjima od 200 m do 300 m [3].

Ovaj rad pisan je u formi pregleda trenutnog stanja u primeni plastičnih optičkih vlakana u realizaciji mreža za pristup i kućnih lokalnih mreža. Iznete analize zasnivaju se uglavnom na podacima do kojih se došlo preko raspoložive literature. Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju iznete su osnovne karakteristike plastičnih optičkih vlakana. Treće poglavlje posvećeno je pregledu aktivnih i pasivnih optičkih komponenti koje se koriste sa POF vlaknima. U četvrtom poglavlju analizirane su mogućnosti primene POF tehnologije u realizaciji nove generacije mreža za pristup za prenos na malim i umerenim rastojanjima, kao i za realizaciju kućnih lokalnih mreža. Na kraju, sumirane su prednosti primene POF vlakana u mrežama za pristup, izvršena su poređenja optičkih i klasičnih tehnologija i izvučeni zaključci u vezi perspektive POF tehnologija kao dugoročnog rešenja problema realizacije najisturenijih segmenata mreža za pristup.

## 2. Karakteristike plastičnih optičkih vlakana

Otička vlakna sa jezgrom od silicijuma ili stakla već duži niz godina imaju ključnu ulogu u razvoju telekomunikacionih mreža koje se koriste za prenos na velikim i srednjim rastojanjima. U poslednje vreme čine se povećani naponi da se tehnologija optičkih vlakana primeni i u komunikacijama na kratkim rastojanjima. Na tom putu posebna pažnja se poklanja razvoju i mogućnostima primene plastičnih optičkih vlakana koja predstavljaju ekonomičnu alternativu klasičnim optičkim vlaknima za prenos na malim i umerenim rastojanjima.

S obzirom da je elastičnost polimera višestruko veća od silicijuma, jezgro plastičnih optičkih vlakna po pravilu ima veliki prečnik, pri čemu je zadržana neophodna savitljivost. Za razliku od klasičnih silicijumskih optičkih vlakana kod kojih jezgro zauzima samo 1 % poprečnog preseka vlakna, kod POF vlakna jezgru pripada preko 95 % preseka vlakna kroz koji se prenosi svetlosni signal (Slika 2.1).



Slika 2.1 Poprečni presek različitih tipova optičkih vlakana

POF vlakana, kao što se vidi sa slike 2.1, imaju prečnik reda 1000 µm, pri čemu je prečnik samog jezgra reda 980 µm. S obzirom da POF vlakno raspolaže ovako velikim prečnikom, ne zahteva se izuzetna preciznost završetka vlakna, a prisustvo manjih nečistoća nema izrazito negativno dejstvo na performanse prenosnog sistema. Samim tim, od delova prenosnog sistema, kao što su npr. optički konetori, ne zahteva se veoma visoka preciznost, te i njihova cena nije visoka. Dopusnene tolerancije pri povezivanju POF vlakana daju mogućnost da instalaterske radove obavljaju i lica koja nisu usko specijalizovana za rad sa optičkim kablovima, koristeći pri tom jednostavne alate, što donosi dodatne uštede.

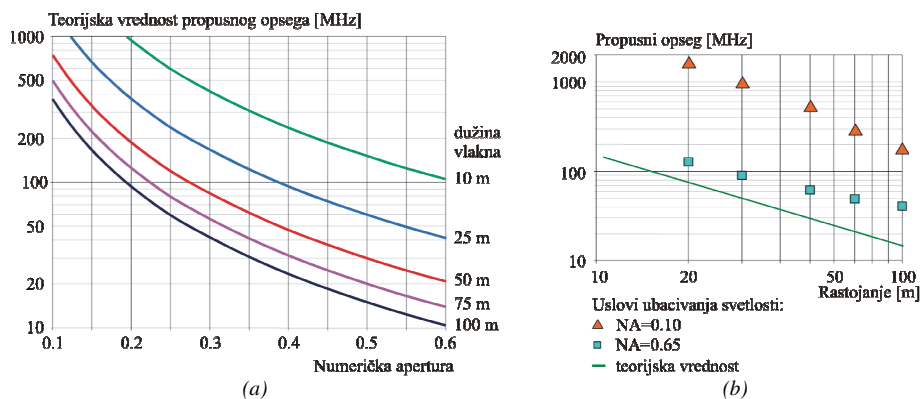
Za razliku od staklenih vlakana, kod kojih je teško postići veliku razliku indeksa prelamanja jezgra i omotača, što za posledicu ima relativno mali ugao prihvatanja koji ne prelazi 17°, kod POF vlakana moguće je ostvariti veliku razliku indeksa prelamanja jezgra i omotača. Tipična vrednost numeričke aperture POF vlakna je  $NA=0.5$ , što odgovara uglu prihvatanja od 30°. Vrednosti numeričke aperture za različite vrste plastičnih optičkih vlakana prikazane su u tabeli 2.1.

Velike vrednosti numeričke aperture i ugla prihvatanja olakšavaju spajanje izvora svetlosti sa POF vlaknima i smanjuju gubitke usled savijanja vlakna, ali sa porastom ugla prihvatanja raste broj optičkih modova te usled disperzije dolazi do smanjenja propusnog opsega vlakna. Na slici 2.2a prikazana je teorijska zavisnost propusnog opsega optičkog vlakna od numeričke aperture [4].

Praktična merenja propusnog opsega pokazuju značajna odstupanja od teorijskih predviđanja. Na primer, teorijsko predviđanje propusnog opsega standardnog POF vlakna numeričke aperture 0.5 iznosi oko 15 MHz na rastojanju od 100 m ( $15 \text{ MHz} \cdot 100 \text{ m}$ ), dok se merenjem dobijaju vrednosti od oko  $40 \text{ MHz} \cdot 100 \text{ m}$  (slika 2.2b).

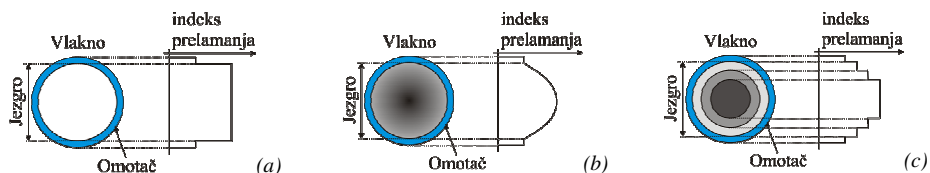
Rezultati merenja prikazani na slici 2.2b pokazuju da propusni opseg zavisi od ugla ubacivanja svetlosti u optičko vlakno. Ova činjenica se može iskoristiti za povećanje propusnog opsega u praktičnim primenama. Za primene u kojima se zahteva veliki propusni opseg često se koriste POF vlakna sa smanjenom numeričkom aperturom (*low-NA POF*). U pomenutim primenama koriste se vlakna sa  $NA=0.3$ , čime se postiže propusni opseg i do 100 MHz na rastojanju od 100 m.

Kao i kod klasičnih optičkih vlakana, POF vlakna mogu imati različite profile indeksa prelamanja. Prethodna razmatranja odnose se na stepenast profil indeksa prelamanja (*step index, SI*). Propusni opseg POF vlakna može se višestruko povećati ako se koristi gradijentni profil indeksa prelamanja (*graded index, GI*). Za razliku od SI-POF vlakana kod kojih se indeks prelamanja jezgra ne menja, kod GI-POF vlakana indeks prelamanja postepeno raste idući od omotača ka sredini jezgra. Pogodnim izborom oblika profila postižu se vrednosti proizvoda propusnog opsega i rastojanja do  $2 \text{ GHz} \cdot 100 \text{ m}$ , pri  $NA=0.2$ .



Slika 2.2 Teorijska vrednost propusnog opsega u funkciji NA (a) i eksperimentalni rezultati merenja propusnog opsega (b) [4]

U novije vreme prisutna su i vlakna sa višestepenim indeksom prelamanja. Prenos kroz vlakna sa višestepenim indeksom prelamanja odvija se kombinovanjem principa prenosa koji su zastupljeni kod dva prethodno pomenuta tipa vlakana, čime se povećanje propusnog opsega ostvaruje na način koji je tehnološki jednostavniji. Kod POF vlakana sa višestepenim indeksom prelamanja postižu se vrednosti proizvoda propusnog opsega i rastojanja od 500 MHz · 100 m, pri NA=0.3. Na slici 2.3 prikazane su strukture i profili indeksa prelamanja plastičnih optičkih vlakana.



Slika 2.3 Strukture i profili indeksa prelamanja POF vlakana: stepenast (a), gradijentni (b) i višestepeni (c)

Jezgro plastičnih optičkih vlakna izrađuju se od transparentnih amorfnih polimera koji se nazivaju termoplastika. Danas se za izradu POF vlakana najčešće koristi poli metil metakrilat (*poly methyl methacrylate, PMMA*) koji je poznatiji pod nazivom plexiglas (*plexiglas*).

Prenos preko PMMA plastičnih optičkih vlakana vrši se u opsegu talasnih dužina od 520 nm do 780 nm, dakle u vidljivom spektru svetlosti. Za prenos se koriste signali u određenim opsezima talasnih dužina (tzv. prozori) u kojima funkcija slabljenja vlakna ima lokalne minimume. Ovi minimumi se nalaze na 530 nm, 570 nm i 650 nm. Slabljenje PMMA vlakna u posmatranom opsegu su relativno velika i iznose oko 80 dB/km na 570nm, odnosno 150 dB/km na 650nm.

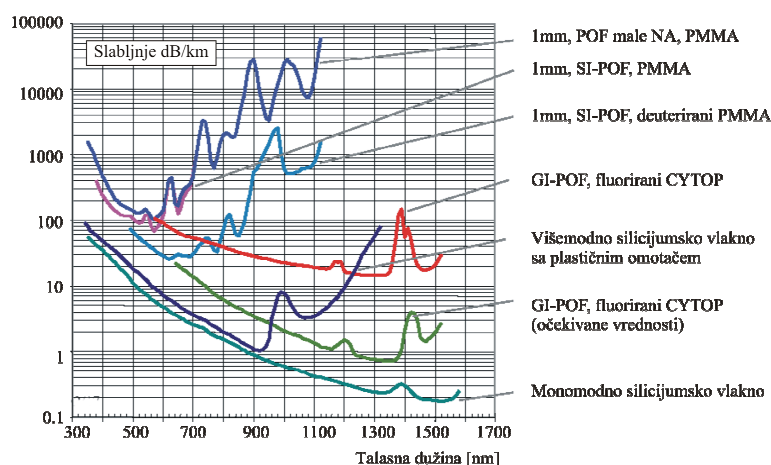
Drugi često korišćeni materijali za jezgro POF vlakna su polikarbonati (*polycarbonate, PC*) i polistireni (*polystyrene, PS*). Polikarbonatna jezgra unose nešto veće slabljenje ali su pogodnija za aplikacije u kojima su vlakna izložena povišenim temperaturama, dok se polistirenom mogu postići nešto manja slabljenja u odnosu na PMMA vlakna.

U novije vreme za izradu jezgra POF vlakna koriste se deuterirani (*deuterated, d-PMMA*) i perfluorirani (*perfluorinated polymers, PF*) polimeri, kojima se značajno smanjuje slabljenje i povećava propusni opseg vlakana. Slabljenje deuteriranih polimera povezano je sa samom tehnologijom izrade vlakna, ali je tipično za red veličine manje od slabljenja kod PMMA polimera,

dok se propusni opseg kreće i do 10 GHz na rastojanju od 50 m. Perfluorirani polimeri su komplikovaniji za izradu, ali vlakna izrađena od ovih materijala imaju manje slabljenje od vlakana čije je jezgro od deuteriranog polimera. Teorijski minimum slabljenja za vlakna izrađena od perfluoriranih polimera je ispod 0.2 dB/km [4], međutim ove vrednosti u praksi još uvek nisu dostignute. Do sada su najbolji rezultati po pitanju slabljenja vlakna postignuti sa materijalom CYTOP (*Cyclic Transparent Optical Plymer*) sa kojim je ostvareno slabljenje reda 10 dB/km na talasnim dužinama od 1300nm. Može se očekivati da će vlakna izrađena korišćenjem CYTOP materijala imati slabljenje manje od 1 dB/km. S obzirom da se kod vlakana od perfluoriranih polimera prenos vrši unutar spektra od 650 nm do 1300 nm, sa ovim vlaknima se mogu koristiti komponente razvijene za staklena vlakna koje rade na talasnim dužinama od 850 nm do 1300 nm.

Na slici 2.4 prikazana je zavisnost slabljenja od talasne dužine kod različitih vrsta plastičnih i silicijumskih vlakna [5]. Tipične vrednosti najvažnijih parametara POF vlakana prikazana su u tabeli 2.1 [4, 6].

Slabljenje POF vlakna je relativno veliko i ono, kao što je napred pokazano, za PMMA vlakna iznosi oko 150 dB/km, dok je kod vlakana sa deuteriranim polimerima oko 80 dB/km. S obzirom na ovako visoko slabljenje, primena POF vlakana ograničena je na prenos na rastojanjima do nekoliko stotina metara pa i kraćim. Međutim, upotrebom POF vlakana sa perfluoriranim polimerima, čija su slabljenja ispod 20 dB/km, omogućen je prenos na rastojanjima do jednog kilometra. Ovim plastična optička vlakna postaju konkurentna tehnologija ne samo bakarnim provodnicima već i multimodnim staklenim vlaknima. Korišćenjem POF vlakana sa perfluoriranim polimerom uspešno su postignute brzine i do 11 Gb/s na rastojanjima do 100m bez multipleksiranja po talasnim dužinama [7]. Kao što je poznato, za prenos na većim rastojanjima koriste se klasična monomodna staklena vlakna kod kojih je slabljenje ispod 0.2 dB/km.



Slika 2.4 Spektar slabljenja različitih optičkih vlakana [5]

Tabela 2.1 Tipične vrednosti najvažnijih parametara POF vlakana

Materijal	Radius jezgra (μm)	NA	Indeks prelamanja	Slabljenje (dB/km)	Propusni opseg
PMMA	250 – 1000	0.5	1.492	80 (570 nm), 150 (650 nm)	40 Mhz · 100 m
PC	500 – 1000	0.78	1.582	800 (660 nm), 450 (770 nm)	17 Mhz · 100 m
PS	500 – 1000	0.56	1.592	114 (670 nm)	15 Mhz · 100 m
d-PMMA	120 – 500	-	-	80 (650 nm)	1.2 GHz · 300 m
CYTOP	120	-	1.353	15 (1300 nm)	509 Mhz · km

Na tržištu su prisutna SI-POF kao i GI-POF vlakna većeg broja proizvođača (Ashai, Lucent, Toray, Optimedia i dr.). U praktičnoj primeni od SI-POF vlakana se očekuje da imaju slabljenje manje od 160 dB/km kada se koriste za prenos na talasnim dužinama od 650 nm, odnosno da je slabljenje manje od 90 dB/km kada se koriste za prenos na talasnim dužinama od 510 nm. Proizvod propusnog opsega i rastojanja treba da je veći od  $40 \text{ MHz} \cdot 100 \text{ m}$  na talasnoj dužini od 650 nm, a da slabljenju ne prelazi 0.5 dB kada radijus savijanja vlakna iznosi 25 mm. Napred navedene vrednosti svakako moraju biti predmet odgovarajućih standarda, što bi pomoglo da se na tržištu pojave novi kvalitetni proizvodi.

Prema postojećem standardu IEC 60793-2-40, POF vlakna su podeljena u osam klasa [8]. Klase A4a do A4c odnose se na SI-POF tipa PMMA. Vlakna ovog tipa koja imaju prečnik 1 mm najčešće se koriste u automobilskim komunikacionim instalacijama, sistemima automatskog upravljanja i u kućnim mrežama (IEEE 1394 i brzi Ethernet). Klasa A4d obuhvata SI-POF vlakna sa smanjenom numeričkom aperturom (0.30 ili 0.25) koja imaju veliki radijus savijanja (od 50 do 70 mm), što ih čini nepodesnim za mnoge primene. Zanimljivo je da pomenuti standard ne tretira odvojeno vlakna za primenu u komunikacijama, već se ona opisuju zajedno sa vlaknima za osvetljenje i senzorske primene.

### 3. Komponente komunikacionih sistema sa POF vlaknima

Optičke prenosne sisteme koji koriste POF vlakna čine tri celine: predajnik, prenosna linija (kanal) i prijemnik. Predajnik vrši konverziju električnog u svetlosni signal i povezivanje svetlosnog signala na ulaz optičkog vlakna. Prenosna linija, u posmatranom slučaju plastično optičko vlakno, prenosi optički signal do prijemnika. Prenosna linija, pored samog optičkog vlakna, može sadržati i dodatne komponente. Prijemnik vrši konverziju svetlosnog u električni signal. Od prenosnog sistema se zahteva da se signal na prijemu u što je moguće većoj meri podudara sa predajnim. U ostvarenju ovog zahteva uz optičko vlakno, o kome je više reči bilo u prethodnom poglavlju, važnu ulogu imaju predajnici i prijemnici.

Pored optičkog vlakna, kao što je napred istaknuto, u prenosnom sistemu je neophodno koristiti i druge pasivne i aktivne optičke komponente [9]. U pasivne komponente spadaju: konektori, kapleri, filteri, mikseri i atenuatori. Aktivne komponente sistema su: izvori svetlosti, prijemnici i primopredajnici. U nastavku će biti iznete osnovne karakteristike aktivnih i pasivnih komponenti koje se koriste u sistemima sa POF vlaknom.

#### 3.1 Aktivne komponente

Savremeni optički primopredajnici gotovo isključivo se grade na bazi poluprovodničkih dioda. Razlozi za to su sledeći: male dimenzije (ispod  $1 \text{ mm}^3$ ), velike brzine rada (nekoliko ns do 0.1 ns), visoka efikasnost (preko 50 %), širok opseg talasnih dužina (200 nm do  $10^4 \text{ nm}$ ), uzak spektralni opseg, mala površina i mali ugao emitovanog zračenja, velika pouzdanost i niska cena.

Kao izvori svetlosti za prenos preko plastičnih optičkih vlakana najčešće se koriste svetleće diode (*Light Emitting Diode, LED*), laserske diode (*Laser Diode, LD*) i, u novije vreme, VCSEL laserske diode (*Vertical Cavity Surface Emitting Laser*).

LED diode predstavljaju najstariju i najjednostavniju poluprovodničku strukturu koja emituje svetlost. Interna efikasnost LED diode prelazi 50 % ali, zbog velikog rasipanja svetlosti, eksterna efikasnost je ispod 10 %.

Laserska dioda ima istu strukturu kao i LED dioda, međutim, zbog stimulisano zračenja efikasnost joj je mnogo veća od efikasnosti LED diode. Talasna dužina emitovane svetlosti određena je karakteristikama poluprovodničkog materijala i rezonatora. Za razliku od LED dioda koje emituju nekoherentnu svetlost čija se talasna dužina nalazi u opsegu od oko 10 nm, kod laserskih dioda ovaj opseg je znatno uži i ne prelazi nekoliko nm.

Laserske diode koje zrače upravno na površinu diode (*Vertical-Cavity Surface Emitting Laser –VCSEL*) posebno su pogodne za primenu sa POF vlaknima. Pored velike efikasnosti, VCSEL diode imaju i do 3 puta manju temperaturnu zavisnost talasne dužine svetlosti nego LED

diode. VCSEL diode svetlost emituju upravno na strukturu diode, što olakšava povezivanje sa vlaknom. Struja praga VCSEL dioda je mala, što omogućuje rad i pri vrlo malim snagama. Svetlost koju emituje VCSEL diode nalazi se u vrlo uskom opsegu talasnih dužina a ugao emitovanog zračenja je mali, što predstavlja posebnu pogodnost kada se dioda povezuje sa vlaknom. Na tržištu su prisutne VCSEL diode velike snaga za talasne dužine od 780 nm do 850 nm koje omogućuju prenos i pri brzinama do 12 Gb/s. One mogu raditi i na temperaturama do 125 °C.

LED diode sa rezonantnom šupljinom (*Resonant Cavity LED*), koje predstavljaju noviji proizvod na tržištu, imaju sličnu strukturu kao VCSEL diode. Kod ovih dioda nije izražena struja praga, što pojednostavljuje pobudu. Spektar svetlosti koju emituje RC LED dioda je širi od spektra VCSEL dioda, a efikasnost ovih dioda ne prelazi nekoliko procenata ako se ne koristi sočivo za fokusiranje svetlosnog snopa. RC LED diode omogućuju prenos pri brzini do 100 Mb/s.

Na kraju, pomenućemo i LED diode bez rezonantne šupljine (*Near Resonant Cavity LED* - *NRC LED*) kod kojih ne dolazi do stimulisanog zračenja. Zahvaljujući specijalnoj obradi površine preko koje svetlost napušta diodu, postiže se da je ugao zračenja manji od 17° uz efikasnost koja prelazi 50%. Poređenje napred navedenih izvora svetlosti sistematizovano je u Tabeli 3.1.

Tabela 3.1 *Primena različitih izvora svetlosti za prenos kroz PMMA optičko vlakno*

	LED	LD	VCSEL	RC LED	NRC LED
530 nm	da	ne	ne	ne	ne
570 nm	da	ne	ne	da	ne
650 nm	da	da	da	da	ne
Brzina prenosa	250 Mb/s	4 Gb/s	10 Gb/s	100 Mb/s	1.3 Gb/s

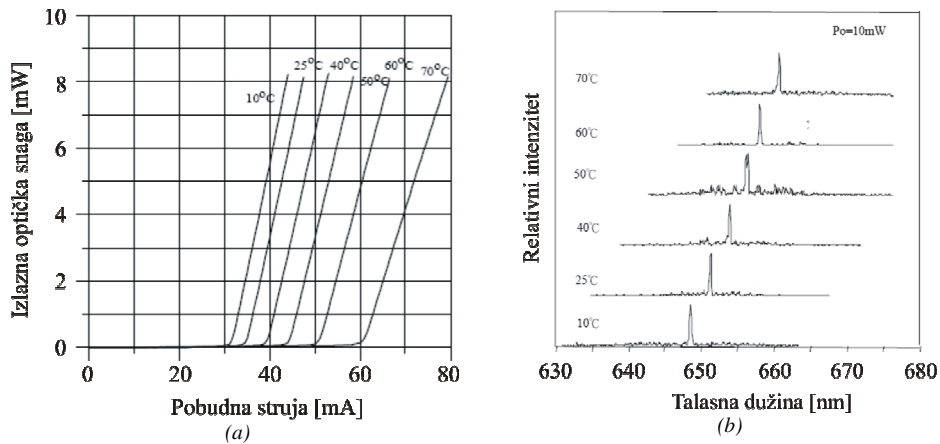
Pri izboru izvora svetlosti za POF sisteme posebno treba imati u vidu osnovne zahteve koji se odnose na jednostavnost izrade komunikacione mreže i nisku cenu investicije. Iz tih razloga, kao izvori svetlosti posebno su atraktivne LED i laserske diode koje se standardno koriste za osvetljenje, odnosno kao izvori svetlosti kod svetlosnih pointera i čitača bar kodova. Ove komponente, zahvaljujući masovnoj proizvodnji, imaju veoma nisku cenu. Na slici 3.1 prikazana je zavisnost izlazne snage od pobudne struje pri različitim temperaturama (sl 3.1a) i spektra zračenja od temperature (sl.3.1b) za tipičnu lasersku diodu [10].

Za prenos preko PMMA optičkih vlakana na talasnim dužinama 530 nm, 570 nm i 650 nm kao izvori svetlosti mogu se koristiti se LED diode. Uz pomoć ovih izvora svetlosti postižu se brzine prenosa do 250 Mb/s. Ako se kao izvor svetlosti koristi laserska dioda, onda brzine prenosa idu i do 4 Gb/s. VCSEL laserske diode se koriste za prenos na 650 nm pri brzinama koje tipično iznose 1.2 Gb/s.

Za prenos preko perfluoriranih optičkih vlakana na talasnim dužinama od 650 nm koriste se isti izvori svetlosti kao i kod PMMA vlakana, dok se za prenos na talasnim dužinama 850 nm i 1300 nm koriste laserske diode, kao i kod klasičnih staklenih vlakana.

Za prenos na malim rastojanjima pri brzinama od 1 Gb/s potrebno je koristiti laserske izvore svetlosti. U ovom trenutku najpovoljnije rešenje, uzimajući u obzir propusni opseg, snagu, pouzdanost i cenu, predstavljaju laserske diode koje emisiju vrše bočno (*Edge-Emitting LD*), dok je primena VCSEL lasera još uvek ograničena zbog izražene temperaturske zavisnosti i kratkog životnog veka.

Za konverziju optičkog u električni signal na prijemu komunikacionog sistema koriste se fotodiode. Najvažnije karakteristike fotodioda su osetljivost i brzina.



Slika 3.1 Zavisnost izlazne snage od pobudne struje pri različitim temperaturama (a) i spektra zračenja od temperature (b) tipične laserske diode [10]

S obzirom da je energija fotona svetlosti data izrazom:

$$E = hc/\lambda, \quad (3.1)$$

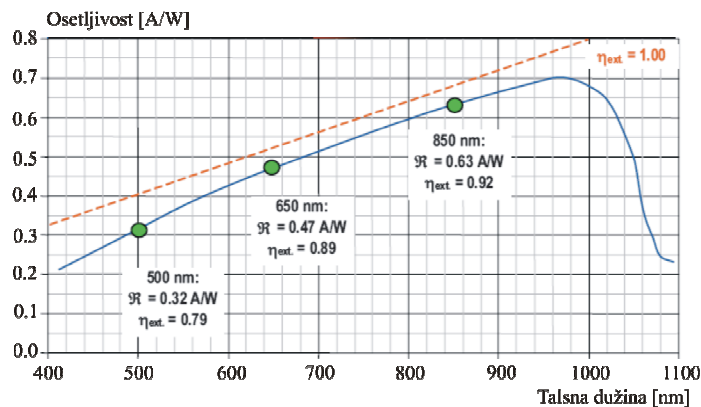
( $h$  – Plankova konstanta,  $c$  – brzina prostiranja svetlosti a  $\lambda$  – talasna dužina), pri talasnoj dužini od  $1.24 \mu\text{m}$  foton ima energiju 1 eV.

Struja fotodiode data je izrazom:

$$I_{FD} [A] = P_{opt} \eta_{ext} \lambda / 1.24 (\mu\text{m}), \quad (3.2)$$

pri čemu je  $P_{opt}$  optička snaga svetlosnog signala a  $\eta_{ext}$  eksterna efikasnost fotodiode.

Kao što se vidi iz izraza (3.2) što je manja talasna dužina svetlosti, manja je i struja fotodiode pri određenoj optičkoj snazi signala. S druge strane, LED diode koje rade na manjim talasnim dužinama emituju veću optičku snagu od onih koje rade na većim talasnim dužinama, ako se pretpostavi da im je efikasnost ista. Na osnovu ove analize može se zaključiti da su pobudna struja LED diode i struja fotodiode u relaciji koja nije funkcija talasne dužine svetlosti. Na slici 3.2 Prikazana je zavisnost odziva tipične fotodiode od talasne dužine svetlosti [11].



Slika 3.2 Zavisnost osetljivosti tipične Si-PIN fotodiode od talasne dužine svetlosti [11]

Kao što se vidi sa slike 3.2, osetljivost diode je najveća na talasnim dužinama u okolini 950 nm. S druge strane, kvantna efikasnost ne pada ispod 90 % i na manjim talasnim dužinama, sve



do 650 nm. Na talasnim dužinama preko 1000 nm energija fotona se smanjuje i efikasnost rapidno opada.

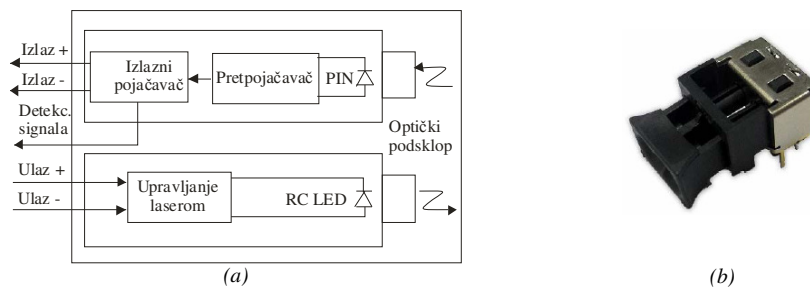
Kao prijemnici u sistemima sa POF vlaknima koriste se sledeća tri tipa fotodiode: PIN fotodiode, avelanž fotodiode (APD) i metal-poluprovodnik-metal fotodiode (*metal-semiconductor-metal photodiode, MSM PD*). Zahvaljujući niskoj ceni i jednostavnoj primeni, u POF sistemima se kao prijemnici najčešće koriste PIN fotodiode. S obzirom da imaju veoma malu kapacitivnost, MSM fotodiode imaju veliku brzinu rada (30 GHz) ali one, zbog visoke cene, još uvek ne nalaze širu primenu u POF sistemima. Poređenje tri navedena tipa fotodiode izvršeno je preko tabele 3.2.

Table 3.2 Poređenje karakteristika fotodiode

	MSM	PIN	APD
kapacitivnost	+++	++	+
S/Š	-	++	+++
napajanje	-	+	- - -
osetljivost	++	++	+++
cena	-	+++	+

Pored zasebnih predajnika i prijemnika, na tržištu je prisutan veliki izbor integrisanih optičkih primopredajnika (*Fiber Optic Transceiver - FOT*). Oni se koriste za konverziju signala u opsegu od nekoliko desetina Mb/s do 1.25 Gb/s. Integrisani primopredajnici sadrže sve neophodne elemente u jednom kućištu: izvor svetlosti (RCLED/LED/VCSEL), drajvere, pojačavače i fotodetektor. S obzirom da se veza izvora svetlosti i vlakna ostvaruje jednostavno, moguće je i izvor svetlosti i prateću elektroniku smestiti u sam konektor (slika 3.3b).

Predajni deo primopredajnika OptoLock™ (sl. 3.3a) sadrži RC LED diodu na 650 nm sa aperturom podešenom za povezivanje na POF vlakno. Pobuda LED diode ostvaruje se pomoću odgovarajućeg CMOS drajverskog integrisanog kola. Ulaz ovog kola prilagođen je logičkim signalima različitih naponskih nivoa. Na prijemu se koristi PIN fotodiode i odgovarajuće kolo prijemnika. Primopredajnik vrši detekciju optičkog signala, što se može koristiti za indikaciju prekida veze.



Slika 3.3 Blok šema (a) i fizički izgled (b) primopredajnika APAC Opto, OptoLock™ za POF vlakna, 650 nm, 155 Mb/s [12]

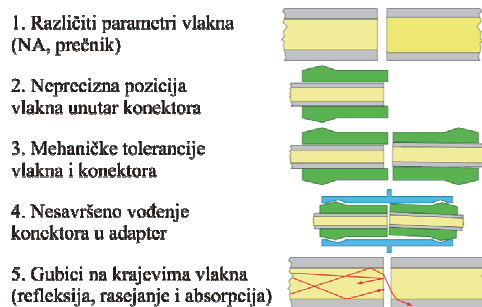
### 3.2 Pasivne komponente

Jedna od najvećih prednosti POF vlakana u odnosu na druge medije upravo se odnosi na mogućnosti jednostavnog povezivanja. Za povezivanje plastičnih optičkih vlakana koriste se odgovarajući konektori i kapleri. Imajući u vidu činjenicu da su POF vlakna mnogo deblja od staklenih (prečnik POF vlakna je oko 1 mm, u poređenju sa 8 do 100 μm kod staklenih), konektori

za POF vlakna su jednostavniji pa samim tim i jeftiniji od konektora za staklena vlakna. U isto vreme, konektori za POF vlakna manje su osetljivi na oštećenja, uzdužna i poprečna smicanja, ugaonu nepodešenost i zaprljanost.

Mehanička stabilnost konektora povezana je sa samom konstrukcijom, koja može biti metalna ili plastična. I u jednoj i u drugoj varijanti nude se konektori za simpleks i dupleks vezu pomoću POF vlakana. U okviru ovog izlaganja posebna pažnja biće posvećena konektorima i kaplerima, komponentama koje se najčešće koriste u realizaciji komunikacione mreže sa POF vlaknima.

Najvažnija karakteristika konektora svakako je slabljenje. Slabljenje svetlosti posledica je: loše podešenosti vlakana, neuparenosti parametara vlakna, refleksije, absorpcije i rasejanja (slika 3.4).

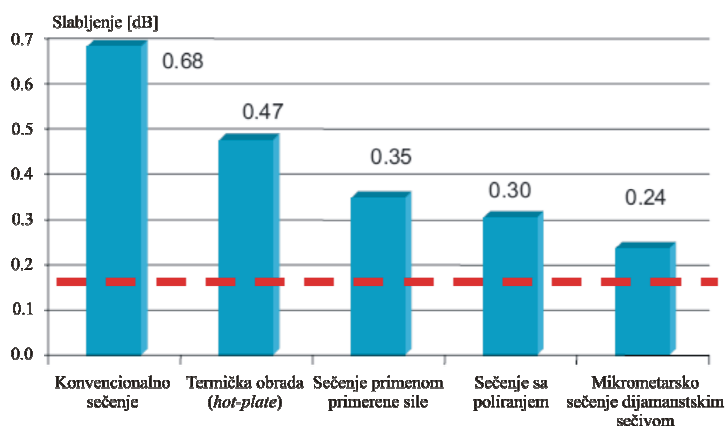


Slika 3.4 Ilustracija uzroka slabljenja pri povezivanju POF vlakna

Slabljenje konektora usko je povezano sa obradom kraja vlakna. Za obradu kraja POF vlakna primenjuju se sledeći postupci:

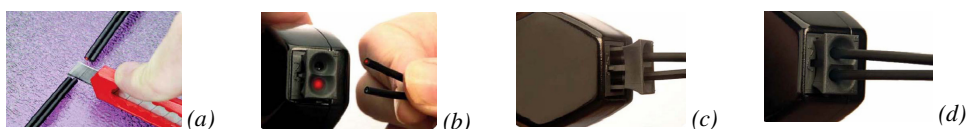
- Sečenje i poliranje finim brusnim papirom.
- Termička obrada kraja kabla (*hot-plate*),
- Sečenje žiletom za jednokratnu upotrebu,
- Lasersko sečenje,
- Mikrometarsko sečenje dijamantskim sečivom,
- Sečenje primenom primerene sile, prema ref [13].

Na slici 3.5 prikazano je slabljenje konektora pri različitim procedurama obrade kraja POF vlakna. Teorijska granica slabljenja (isprekidana linija) iznosi 0.17 dB i određena je Fresnelovom refleksijom [13].



Slika 3.5 Slabljenje koje unosi konektor pri različitim procedurama obrade POF vlakna

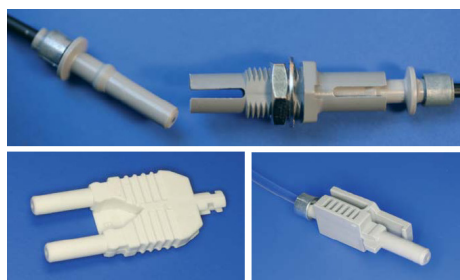
Povezivanje POF vlakna na izvor svetlosti ili prijemnik izvodi se, kao što je naglašeno, veoma jednostavno. Na slici 3.6 ilustrovan je postupak povezivanja POF vlakna sa primopredajnikom. Najpre se jednostavnim sekačem odseče kabl na potrebnu dužinu (sl.3.6a), razdvoje se vlakna (sl. 3.6b), uvuku u odgovarajuće otvore na konektoru (sl 3.6c) i, uz mali pritisak, zabrave u konektor (sl. 3.6d). Cela operacija povezivanja traje nepunih 30 sekundi.



Slika 3.6. Postupak povezivanja plastičnog optičkog vlakna sa primopredajnikom

U novije vreme na tržištu je prisutan veliki broj različitih tipova konektora za POF vlakna. Oni se mogu svrstati u nekoliko kategorija:

- Specijalni plug-in konektori za POF vlakna, tzv. V-pin konektori (*V-versatile*), sl. 3.7.
- Plug-in konektori razvijeni za staklena vlakna prilagođeni za POF (Fiber verzija SMA konektora – FSMA, ST i SC konektori),
- Konektori koji imaju dimenzije identične dimenzijama mrežnih konektora SC-RJ i RCC45 (sl.3.8),
- Konektori po posebnim standardima (D2B, F07),
- Hibridni konektori za kombinovane žične i POF veze (MOST konektori).

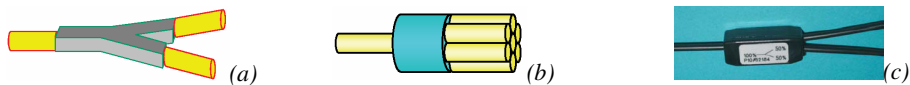


Slika 3.7 Primeri V-pin konektora: simpleks konektor za krimpovanje (gore); dupleks konektor (dole levo) i konektor sa sigurnosnom bravicom (dole desno)



Slika 3.8. SC-RJ konektor (levo) sa primopredajnikom (u sredini) i kaplerom (desno) [14]

Spajanje jednog sa dva ili više POF vlakna vrši se pomoću odgovarajućih kaplera (slika 3.9). Detaljan opis realizacije kaplera za POF vlakna može se naći u literaturi [15].



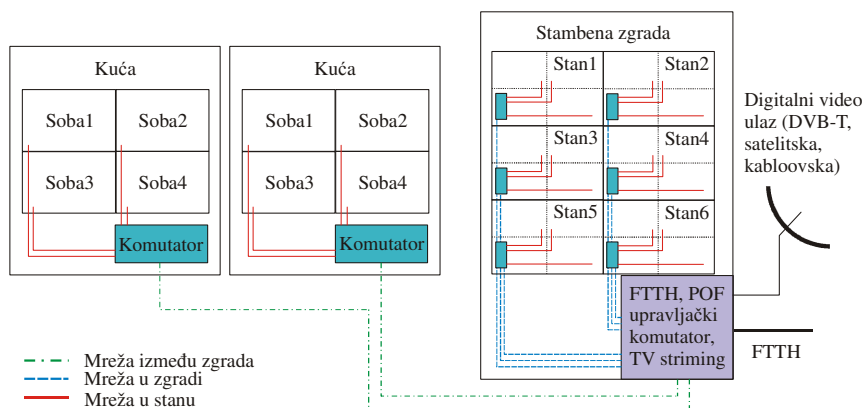
Slika 3.9 Princip povezivanja dva (a) ili više (b) POF vlakana; Izgled POF kaplera (c)

#### 4. Primena plastičnih optičkih vlakana

Arhitektura mreža za pristup u velikoj meri je povezana sa tipom stanovanja u posmatranoj oblasti. U našim gradovima većina stanovništva živi u zgradama, od kojih određeni broj dostiže i veoma veliku spratnost, a manji procenat stanuje u individualnim kućama. Samim tim i odgovarajuće širokopolasne mreže, koje obezbeđuju korisnicima pristup raznovrsnim servisima, moraju imati heterogenu strukturu.

Brojni su razlozi zbog kojih mrežama za pristup, najisturenijim segmentima mreža za pristup (*Edge Network, EN*) i kućnim lokalnim mrežama (*Home Area Network, HAN*) treba posvetiti posebnu pažnju, kako sa stanovišta topologije tako i praktične realizacije. Navešćemo samo najvažnije. Zbog evidentnog kašnjenja u razvoju, ove mreže prete da postanu usko grlo celog komunikacionog sistema. S druge strane, mreže za pristup i kućne mreže masovno su zastupljene tako da je udeo ovih komunikacionih mreža veoma značajan u ukupnoj ceni komunikacionog sistema.

Najistureniji segmenti mreže za pristup obuhvataju mrežu između stambenih zgrada i mrežu unutar same zgrade (sl. 4.1). Potrebno je naglasiti da kod nas, po pravilu, mreže između stambenih zgrada i unutar samih zgrada realizuju telekomunikacioni operateri, dok mreže u stanovima izvode sami korisnici. Ovu činjenicu treba imati u vidu pri izboru tehnologije na kojoj se baziraju rešenja pojedinih segmenata mreže.



Slika 4.1 Infrastruktura mreže za pristup

Primena optičkih komunikacija, posebno POF vlakana, prepoznaje se kao najizglednija mogućnost za dugoročno rešenje problema mreža za pristup [16]. U tabeli 4.1 dat je pregled osnovnih karakteristika mreža za pristup i mrežne opreme bazirane na POF tehnologiji.

Tabela 4.1 *Specifikacije ivičnih mreža i odgovarajuće rešenja na bazi POF vlakana*

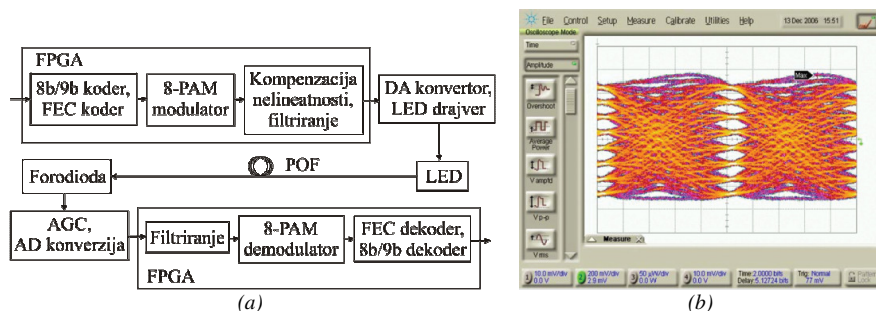
	<b>Specifikacije</b>	<b>Rešenje na bazi POF</b>
Mreža između zgrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veze između zgrada ili kratke FTTH veze</li> <li>• Rastojanje: &lt; 300 m</li> <li>• Brzina prenosa: 100 Mb/s brzi <i>Ethernet</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prenosni sistemi bazirani na VINAX-CPE, kolo kompatibilno sa VDSL2 standardnom za VDSL CPE aplikacije (proizvođač <i>Infineon</i>)</li> <li>• 520 nm POF primopredajnik</li> <li>• Cena sistema je približno ista kao za električni VDSL2 sistem</li> <li>• Sistem zahteva POF konektore visokog kvaliteta kao što su EM-RJ ili SC-RJ i profesionalne instalatere</li> </ul>
Mreža u zgradi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veze između mesta ulaska instalacije u zgradu i mesta ulaska instalacije u stan</li> <li>• Rastojanje: &lt; 70 m</li> <li>• Brzina prenosa: 100 Mb/s brzi <i>Ethernet</i>, potencijalno 1 Gb/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simpleks POF, 470 nm, integrisani primopredajnik i komutator sa portovima 100 Mb/s</li> <li>• Zbog otpornosti na elektromagnetne smetnje, POF mogu da koriste postojeće kanale za električne vodove</li> </ul>
Mreža u stanu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veze između ulaska instalacije u stan i uređaja</li> <li>• Rastojanje: &lt; 50 m</li> <li>• Brzina prenosa: 1 Gb/s <i>Ethernet</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primopredajnik sa <i>subcarrier</i> modulaciom</li> <li>• Za polaganje POF kablova mogu se koristiti postojeći kanale za električne vodove</li> </ul>

Imajući u vidu dugogodišnje pozitivno iskustvo i dobre rezultate koji se postižu primenom POF vlakana u mnogim segmentima automatizacije proizvodnje i u automobilskoj industriji, European Economic Commission (EEC) je 2006. god. inicirala projekat POF-ALL (*Paving The Optical Future with Affordable Lightning fast Links*) sa ciljem da se usavrše i primene POF tehnologije u realizaciji mreža velikog kapaciteta za manja rastojanja, koje bi služile za povezivanje rezidencijalnih korisnika umesto postojećih ADSL linija. Projekat je zvanično završen 2008. godine da bi, sa istom temom i u istoj organizaciji, pod nazivom POF-PLUS, bio nastavljen 2008. god. uz planirano trajanje od 3 godine.

S obzirom na značaj koja napred navedena istraživanja mogu imati na razvoj telekomunikacija u zemljama Evropske unije, kao i mogućnosti da se i u našoj sredini koriste pozitivna iskustva do kojih se došlo, ovde će biti napravljen osvrt na iskustva i rezultate koji su ostvareni na projektima POF-ALL i POF-PLUS. U nastavku, izneti su osnovni rezultati istraživanja u oblasti prenosa pomoću POF vlakana na mala i umerena rastojanja koja su ostvarena na projektu POF-ALL [1].

#### **4.1 Prenos na umerenim rastojanjima**

Propusni opseg standardnih SI-POF vlakana dužine 100 m iznosi oko 50 MHz, što dopušta prenos pri brzinama do 100 Mb/s uz korišćenje prenosa u osnovnom opsegu bez povratka na nulu (*Non-Return-to-Zero, NRZ*). Međutim, zbog jake disperzije u POF vlaknu koje ima prečnik 1 mm, propusni opseg ne prelazi 15 MHz za dužine vlakna od 300 m. Da bi se omogućio prenos pri brzinama od 100 Mb/s na rastojanjima većim od 200 m neophodno je pribеći usavršenim modulacionim postupcima, kao što je višenivovska impulsna amplitudska modulacija (*Pulse Amplitude Modulation, PAM*) (sl. 4.2a).



Slika 4.2 Blok šema sistema za 8-PAM prenos preko standardnog SI-POF vlakna (a); Dijagram oka na prijemu, brzina prenosa 100 Mb/s, dužina vlakna 200m (b)

Za realizaciju 8-PAM modulacije i drugih odgovarajućih blokova na predaji i prijemu koji se koriste u sistemu sa slike 4.2a, neophodno je koristiti napredne algoritme digitalne obrade signala (*Digital Signal Processing, DSP*). Pored 8-PAM modulacije na predaji i demulacije na prijemu, algoritamski se izvodi korekcija grešaka, filtriranje, linearizaciju karakteristike LED diode, ekstrakcija takta na prijemu i druge funkcije. Svi moduli DSP algoritma na predajnoj odnosno prijemnoj strani realizovani su u jednom programabilnom logičkom kolu tipa FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Prikazani sistem realizovan je na nivou prototipa koji omogućuje prenos bez greške na rastojanjima do 200 m preko standardnih SI-POF vlakana. Dijagram oka realizovanog sistema prikazan je na slici 4.2b [1].

Pored primene 8-PAM modulacije vršene su analize mogućnosti primene modulacije sa više nosilaca (*Multi-Carrier Modulation, MCM*), koja se naziva i DMT modulacija (*Discrete Multitone, DMT*). Ovaj metod prenosa preko SI-POF predložen je u radu [17]. Preko prototipskog sistema demonstrirane su mogućnosti prenosa bez greške na rastojanjima do 200m pri brzinama od 100 Mb/s uz kašnjenje od oko 1.1 ms.

#### 4.2 Prenos na malim rastojanjima

Kao što prethodna analiza pokazuje, usled prisustva jake modalne disperzije primena SI-POF vlakana za prenose pri brzinama reda gigabita u sekundi moguća je jedino uz korišćenje najsvremenijih modulacionih postupaka. Kao izlaz iz ove situacije, na tržištu su se pojavila GI-POF vlakna koja se, zahvaljujući smanjenoj modalnoj disperziji kao posledica gradijentnog koeficijenta refleksije jezgra, mogu koristiti za prenose u Gb/s opsegu primenom jednostavnog binarnog NRZ koda [4].

Primenom GI-POF vlakana za prenos pri brzinama reda gigabit u sekundi problem se sa medijuma za prenos seli u oblast optoelektronskih komponenti. Na predaji se, kao izvor svetlosti, mora koristiti veoma brz izvor svetlosti talasne dužine 650 nm. S druge strane, na prijemu se mora koristiti prijemnik velike efikasne površine reda 1 mm<sup>2</sup>. Oba ova zahteva nisu se javljala kod klasičnih optičkih sistema prenosa te je neophodno, paralelno sa razvojem POF vlakana vršiti razvoj odgovarajućih optoelektronskih komponenti: izvora svetlosti, fotodioda i odgovarajućih interfejsnih kola.

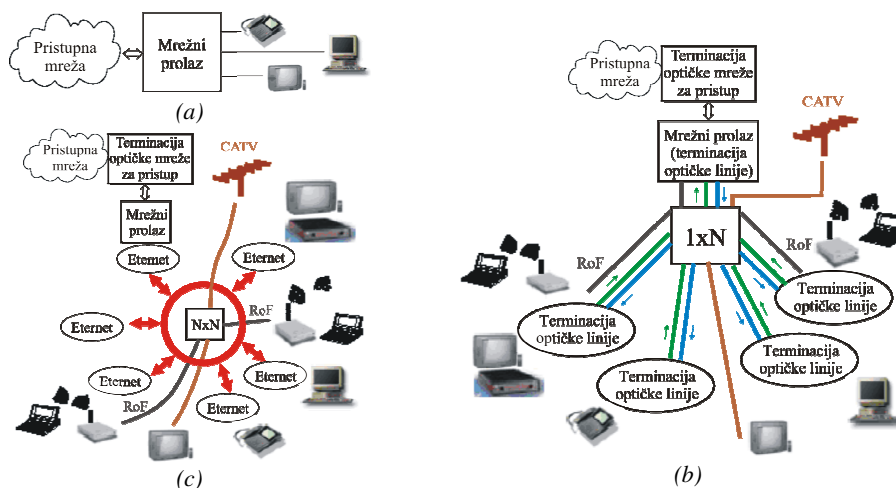
U primeni GI-POF vlakana kao predajnik veoma uspešno se može koristiti laserska dioda koja svetlost emituje bočno (*EE LD*) razvijena za DVD uređaje. Ova dioda, zahvaljujući masovnoj proizvodnji, ima veoma prihvatljivu cenu. Na strani prijema, pored koncepta koji podrazumeva korišćenje većeg broja fotodioda kako bi se ostvarila zahtevana efikasna površina, čine se napori da se razviju nove strukture fotodiode koje imaju male kapacitivnosti, kao i odgovarajuća interfejsna kola koja bi omogućila brz odziv ovakvih dioda. U okviru projekta POF-ALL korišćenjem GI-POF vlakna i napred opisanih primopredajnika ostvareni su prenosi na rastojanjima od 50 m pri brzini 1.25 Gb/s.

Performanse sistema za prenos na kratkim rastojanjima, kao i u slučaju prenosa preko POF vlakana na umerenim rastojanjima, mogu se popraviti korišćenjem usavršenih modulacionih postupaka kao što su PAM i DMT. Međutim, ovi tipovi modulacije zahtevaju modifikaciju kako analogne elektronike primopredajnika, tako i elektronike za digitalnu obradu signala, što povećava cenu celog sistema.

#### 4.3 Kućne lokalne mreže

Kućna lokalna mreža treba da poveže kućni mrežni prolaz (*Home Gateway, HG*) sa većim brojem pristupnih tačaka (*Access Points, AP*) raspoređenih unutar stana ili radnog prostora. Pristup korisničkih uređaja mrežnim servisima vrši se preko AP. Racionalno je planirati bar jednu AP po prostoriji, a maksimalna rastojanja između AP i HG kod kućnih instalacija obično ne prelaze 50 m.

Najjednostavnija organizacija kućne mreže ima zvezdastu arhitekturu. Povezivanje se vrši po principu od tačke to tačke (*point-to-point*) a kao HG može se koristiti Ethernet mrežni prolaz ili IP ruter (sl. 4.3a). Na tržištu su se već pojavili mrežni prolazi sa priključcima za POF kablove, kao zamena za do sada najčešće primenjivanu mrežnu opremu koja koristi UTP/STP bakarne kablove i RJ45 priključnice [18].



Slika 4.3 Arhitekture kućne mreže na bazi POF tehnologije: (a) klasična, od tačke do tačke; (b) 1xN arhitektura po ugledu na pasivne optičke mreže; (c) NxN arhitektura po ugledu na LAN mreže

Veća fleksibilnost kućne mreže postiže se primenom transparentnih arhitektura. Ovde se pre svega misli na 1xN mrežnu strukturu po ugledu na arhitekturu pasivne optičke mreže (*Passive Optical Network, PON*) (sl. 4.3b) i na NxN strukturu po ugledu na klasične LAN kablovske mreže (sl.4.3c). Ove mrežne strukture podrazumevaju korišćenje odgovarajućih multipleksera, splitera, kaplera i drugih optičkih komponenti vezanih za implementaciju multipleksiranja po talasnim dužinama (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*). U ovom trenutku komercijalno su raspoložive potrebne komponente za klasična jednomodna optička vlakna (SMF) ali ne i za POF vlakna, tako da se POF vlakna sada mogu koristiti samo za realizaciju kućnih mreža sa strukturom od tačke do tačke.

## 5. Zaključak

U ovom radu dat je pregled karakteristika i mogućnosti primene plastičnih optičkih vlakana u realizaciji mreža za pristup i kućnih lokalnih mreža nove generacije. Radi dobijanja kompletne slike o ovom novom optičkom medijumu, pored samog POF vlakna prikazane su i osnovne aktivne i pasivne komponente koje pripadaju POF tehnologiji. Posebna pažnja poklonjena je primeni POF vlakana, i u tom smislu prikazani su rezultati najnovijih istraživanja.

Na osnovu izvršenih analiza i prikazanih rezultata može se zaključiti da optička vlakna, klasična staklena i nova plastična optička vlakna, pružaju značajne prednosti u odnosu na druge kablovske strukture. Na ovom mestu je potrebno istaći da šira primena optičkih vlakana u realizaciji mreža za pristup i kućnih lokalnih mreža ne isključuje buduću primenu bežičnih tehnologija u ovim segmentima komunikacionog sistema. Bežični prenos, koji se odvija pri brzinama reda 100 Mb/s, ostaje prisutan unutar objekata korisnika, ali se podrazumeva da kičmu ovog sistema čini optička kablovska struktura koja dozvoljava prenos pri brzinama od nekoliko Gb/s. Radi boljeg sagledavanja potencijala koje nude optički medijumi, u tabeli 5.1 uporedno su prikazane osnovne karakteristike plastičnih vlakana, staklenih vlakana i bakarnih provodnika koji se koriste u savremenim komunikacionim sistemima.

Tabela 5.1 *Karakteristike plastikčnih vlakana, staklenih vlakana i bakarnih provodnika koji se koriste u savremenim komunikacionim sistemima*

	<b>Plastična vlakna</b>	<b>Staklena vlakna</b>	<b>Bakarni provodnici</b>
Cena komponenti	Potencijalno niska	Visoka	Niska
Gubici	Veliki-srednji (kratka rastojanja)	Srednji-mali (veća rastojanja)	Veliki
Povezivanje	Lako za povezivanje, zahtevaju jednostavnu obuku i alate	Komplikovanija za povezivanje, zahtevaju posebne alate i obuku	Lako
Rukovanje	Lako	Potreban je trening i pažljivo rukovanje	Lako
Fleksibilnost	Fleksibilna	Lomljiva	Fleksibilni
Radni opseg talasnih dužina	Vidljiva svetlost	Infracrvena svetlost	–
Numerička apertura	Velika (0.4)	Mala (0.1-0.2)	–
Propusni opseg	Veliki (11Gb/s na 100 m)	Veoma veliki (40 Gb/s)	Ograničen na 100Mb/s na 100 m
Oprema za testir.	Niske cene	Skupa	Visoka cena
Cena sistema	U celini niska	Visoka	Srednja

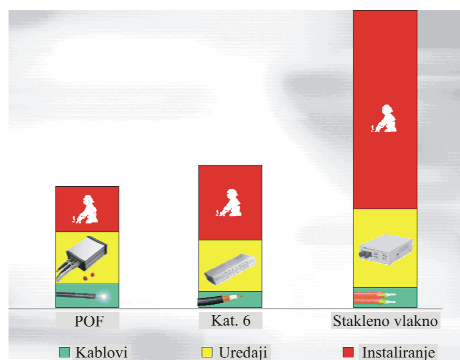
Istraživanja tržišta pokazuju da se prodaja POF vlakana u poslednjih nekoliko godina povećava po stopi od 20 % (Tabela 5.2). Za razliku od klasičnih optičkih vlakana koja svoju primenu nalaze skoro isključivo u oblasti telekomunikacija, POF vlakna veliku primenu nalaze u industrijskim komunikacijama i u automobilskoj industriji. Samim tim, trenutni pad ulaganja u razvoj telekomunikacionih sistema skoro da nije imao efekta na obim proizvodnje i prodaje POF vlakana. Kao što se može videti iz tabele 5.2 trenutno najveći potrošač POF vlakana je upravo automobilska industrija.



Tabela 5.2. Obim prodaje POF komponenti (kablovi, konektori, primopredajnici) po oblastima od 2003. do 2008. god. izražen u milionima \$ [19]

Godina	Osnovno povezivanje	Inter-konekcije	Uređaji široke potrošnje	Industrijska primena	Auto	Medicina	Ukupno
2003	20	46	157	150	187	55	615
2004	26	54	193	176	262	64	775
2005	43	73	228	212	335	73	964
2006	67	81	269	233	394	84	1128
2007	89	102	300	278	473	94	1336
2008	117	124	374	328	567	105	1615

Kada su u pitanju mreže za pristup i kućne lokalne mreže zahteva se, kao što je naglašeno i u samom uvodu, da pored niske cene kabla i komponenti i cena izrade mrežne instalacije bude niska, a da instalaciju mogu izvesti ili po potrebi proširiti i sami korisnici. Prilagođenost POF tehnologije napred navedenim zahtevima najlakše je sagledati preko ilustracije prikazane na slici 5.1 na kojoj su upoređene vrednost kabla, opreme i rada za različita rešenja komunikacione mreže [2].



Slika 5.1. Uporedna analiza cene komunikacionog sistema realizovanog korišćenjem POF vlakana, klasičnih kablova i staklenih optičkih vlakana [2]

Ključne prednosti POF tehnologije u odnosu na druga kablovska rešenja mreža za pristup sastoji se u jednostavnosti izrade instalacije, kabl ima mali prečnik, malu težinu, fleksibilan je, potpuno je imun na EMI, otporan je na vlagu, koroziju i prašinu. Rad sa POF vlaknima je potpuno bezbedan, za prenos se može koristiti svetlosni signal u vidljivom spektru koji je bezopasan za vid, a provera veza je izuzetno jednostavna pošto je signal vidljiv i golim okom. Međutim, da bi POF vlakna zauzela svoje mesto u mrežama za pristup najnovije generacije potreban je dalji rad na: usavršavanje optoelektronskih komponenti primopredajnika za rad pri brzinama od nekoliko Gb/s uz poboljšanje linearnosti, propusnog opsega i pouzdanosti; razvoj lasera i fotodioda za montažu na štampanim pločicama, pogodnih za višežilne POF kablove; razvoj višežilnih (*ribbon*) POF kablova; razvoj za rukovanje i instalisanje veoma jednostavnih konektora i kablova, čime bi se obezbedila niska cena instalisanja i pružila mogućnost za izradu instalacije po principu uradi sam; proširenje propusnog opsega primenom novih tehnologija i usavršenih modulacionih postupaka.

## Literatura

- [1] Möllers I., et al., "Plastic Optical Fiber Technology for Reliable Home Networking: Overview and Results of the EU Project POF-ALL", *IEEE Communications Magazine*, August 2009., pp. 58-68.

- [2] Luceat, POF Seminar, Kista, May 2008, [www.acreo.com/upload/Publications/](http://www.acreo.com/upload/Publications/)
- [3] Gaudino R. et al., "Status and Recent Results from the POF-ALL EU Project: Toward Improved Capacity and New Application of Large-Core POF, Proceedings of Int. Conf. on POF, pp. 79-84, Turin, Italy (2007)
- [4] O. Ziemann et al., "*POF-Handbook — Optical Short Range Transmission Systems*", Springer, 2008.
- [5] Nico Gérard Harbach, "*Fiber Bragg Gratings in Polymer Optical Fibers*", doktorska teza, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Švajcerska, 2008, <http://library.epfl.ch/theses>
- [6] Cai Bo, Ji Xiao-li, Zhang Chao-can, "*The Characteristics and Application of Polymer Optical Fiber*", Journal of Wuhan University of Technology, vol. 18, no. 4, pp. 41-43, 2003
- [7] Ton Koonen, et al. "*In-House Networks Using Multimode Polymer Optical Fiber for Broadband Wireless Services*", Photonic Network Communication, pp. 177-187, 2003, <http://www.brabantbreedband.nl/PDF/Publications>
- [8] IEC, <http://www.iec.ch>
- [9] V. Drndarević, Elektronika, Poglavlje 11. Optoelektronske komponente, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd 2005.
- [10] UNION OPTRONICS CORP., 650nm Red Laser Diode SLD-650-P10-RG-05, <http://www.uocnet.com/pdf/sld-650-p10-rg-05.pdf>.
- [11] Hamamatsu Photonics K.K., Si PIN Photodiode S6801, <http://sales.hamamatsu.com>
- [12] APAC Opto, <http://www.apacoe.com.tw>
- [13] D. Moll, H. Poisel: „Polymer Optical Fiber Termination - A Never Ending Story“, POF'2000, Boston, 05.-08.09.2000.
- [14] H. Christen: „SC POF: Der weltweit meist eingesetzte optische Steckverbinder jetzt auch für POF“, 19. Meeting of the ITG-SC 5.4.1, Wetzikon, 08.03.2005.
- [15] Club des Fibres Optiques Plastiques (CFOP) France: „Plastic Optical Fibres - Practical Applications“, edited by J. Marcou, John Wiley & Sons, Masson, 1997.
- [16] Gaudino et al., "Future Internet in Home Networks: Towards Optical Solutions?," chapter in Towards the Future Internet, G. Tselentis et al., Eds., IOS Press, 2009, pp. 160–72.
- [17] R. Gaudino et al., "On the ultimate Capacity of SI-POF Links and the Use of OFDM: Recent result from the POF\_ALL Project", 16<sup>th</sup> Int'l Conf. Polymer Optical Fiber, Turin, Italy, Sept. 2007.
- [18] B. Lücke: „Fast Ethernet POF Components with Bare-Fiber Adapter for IPTV and Home Networking“, 21. Meeting of the ITG-SC 5.4.1, Oldenburg, 12.05.2006.
- [19] Paul Polishuk, Plastic Optical Fibers Branch Out, The Industrial Physicist, <http://www.pofto.com>

**Abstract:** *In this paper the possibilities of application of plastic optical fiber (POF) for the implementation of telecommunication access network and home network was considered. In addition to the review of the characteristics of plastic optical fiber, active and passive POF optical components have been studied. The results of latest research shows that data transmission rates of 10 Gb/s over 50 m and 1 Gb/s over 300 m can be achieved with POF technology. Thanks to the many good features and great potentials available, it can be expected that the POF become the technology of the choose in the development of new generations of access and home networks.*

**Key words:** *Plastic Optical Fiber (POF), Optical Transmitters, Optical Receivers, Access Network, Home Network*

## **APPLICATION OF PLASTIC OPTICAL FIBER IN THE NEW GENERATION OF ACCESS NETWORK**

Vujo Drndarević, Nenad Jevtić