FTTH – TEHNOLOGIJA BUDUĆNOSTI ILI SADAŠNJOSTI

Vladica Tintor, Petar Matavulj, Jovan Radunović
Elektrotehnički fakultet u Beogradu

I UVOD

Svedoci smo da danas postoji povećana potreba za servisima sa visokim protocima, pouzdanom prenosu govora i visoko kvalitetnom slikom. Sa stanovišta korisnika potpuno je svejedno da li će se ovi servisi obezbediti preko DSL-a, kablovskog modema, ili bežičnom komunikacijom sve dok postoji brz i pouzdan prenos. FTTH (*Fiber to the Home*) je svakako jedna od tehnologija koje gore pomenute zahteve može da ispuni. Među ekspertima postoji slaganje da je FTTH najsposobnija da sprovede buduće servise do lokacija korisnika[1]. U suštini, mnogi veruju da jednom kada se optičko vlakno položi u kablovsku kanalizaciju ono će postati jedini kablovski medijum iz razloga suštinski neograničenog propusnog opsega, čime se omogućava mnogo više servisa u odnosu na bakarnu paricu ili bežični prenos prenos.

Danas na hiljade domaćinstava širom sveta imaju pristup različitim širokopojasnim servisima preko FTTH tehnologije. Ona omogućava tzv. *triple-play* servis, odnosno istovremeni prenos glasa, videa i podataka. Na ovaj način mnogim korisnicima se omogućava da uče na daljinu, da izvrše medicinski pregled, da rade kod kuće, kao i mnoge druge privilegije.

II RAZVOJ FTTH TEHNOLOGIJE

FTTH tehnologija se razvila usled nekoliko pojava na tržištu[2]:

- Nagli razvoj i velika rasprostranjenost i upotreba Internet servisa;
- Povećana konkurencija na tržištu provajdera servisa i opreme;
- Velika kompleksnost postojećih sistema usled velikih zahteva;
- Smanjenje cena opreme koja prati FTTH arhitekturu;
- Sve češći zahtev da se razvijaju samo one tehnologije koje imaju jasnu perspektivu ekonomski isplativog razvoja u budućnosti.

Mreže bazirane na optičkim vlaknima su se razvijale usled potreba korisnika za multimedijalnim servisima koji su brzi, pouzdani i kvalitetni. Da bi se odgovorilo na te zahteve neophodne su dvosmerne, širokopojasne i fleksibilne mreže. FTTH omogućava servis provajderima da ponude različite komunikacione i zabavne servise, što uključuje prenos govora, pristup Internetu sa velikim protokom, širokopojasnu kablovsku televiziju, širokopojasnu satelitsku televiziju, interaktivni dvosmerni prenos video zapisa itd. Svi ovi servisi se obezbeđuju preko optičke mreže koja se razvlači do lokacije samog korisnika. Dodatno, FTTH na bazi multiplesiranja po talasnim dužinama (*wavelength division multiplexing* – WDM), otvara dodatni prostor za buduće servise. Takođe, intenzivno se proučava mogućnost statističkog multipleksiranja *bursty* saobraćaja (gust saobraćaj kratkih optičkih signala), kao što je IP prenos podataka.

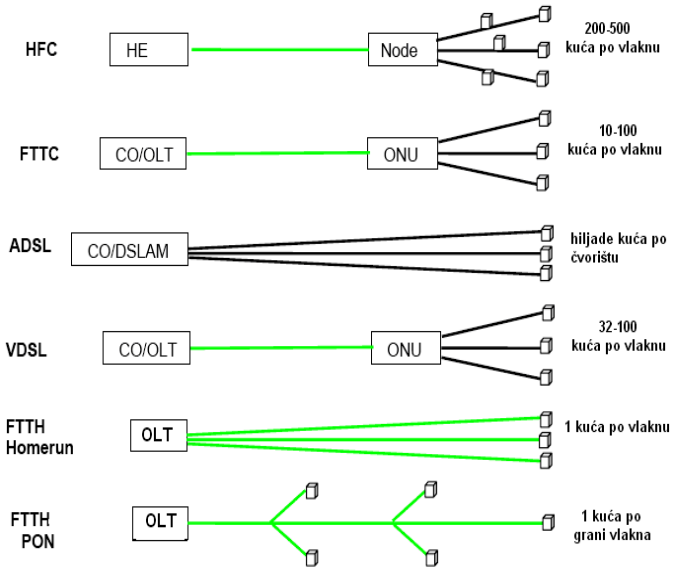
Prve firme koje su počele sa pružanjem usluga preko FTTH su bile mala preduzeća sa manje od 150 zaposlenih. Prvi poslovi su bili u manjim naseljima i udaljenim ruralnim sredinama, a potom se prelazilo na velike gradove[3]. Jedan od prvih načina ponude servisa je bio *greenfield housing*, odnosno agencije za nekretnine su uz nove kuće nudile već ugrađenu FTTH aplikaciju. Potom se prešlo na razvlačenje optičkih vlakana od lokalnih trafostanica i objekata lokalne samouprave do lokacije korisnika.

III NAČIN REALIZACIJE FTTH ARHITEKTURE

Na slici 1 je prikazan tehnološki razvoj implementacije optičkog vlakna u pretplatničkoj petlji. Prvi korak u upotrebi vlakna kao prenosnog medijuma se realizovao preko tehnologija HFC (*hibrid fiber coax*) i VDSL (*very high speed subscriber line*)[3]. Najdirektniji pristup jeste point-to-point topologija, odnosno po jedno vlakno od centralnog čvorišta do svakog korisnika (*FTTH Homerun*). Ako je lokacija korisnika udaljena tada je ekonomičnije da se razvlači manji broj vlakana sa velikim protocima, a multipleksiranje da se vrši pomoću pasivnih optičkih komponenti, što predstavlja strukturu pasivne optičke mreže (*Passive Optical Network - PON*). Alternativa *FTTH Homerun* arihtekture je FTTC (*Fiber to the Curb*) u kojem krajnji terminal PON mreže opslužuje nekoliko kuća preko bakarnih parica kao pristupnog kabla.

Servis	Medijum	Propusni opseg medijuma	Protok	Standard
DSL	Bakarna parica	10KHz	ADSL:0.1//1Mb/s VDSL:6Mb/s	G.922
HFC	Koaksijalni kabl	1GHz	0.4//2Mb/s	DOCSIS 1.1
APON	Optičko vlakno	25 THz	155//622Mb/s	G.983
EPON	Optičko vlakno	25 THz	10//1000Mb/s	802.3ah

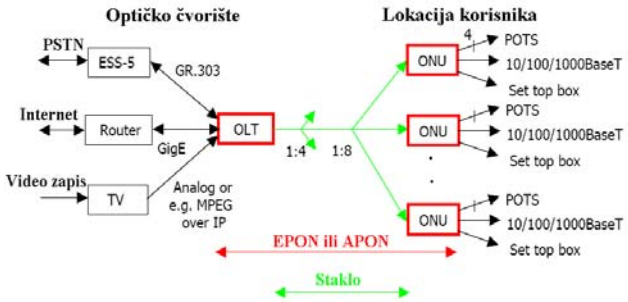
Tabela 1. Rezime tehnologija "poslednje milje".



Slika 1. Tehnološki razvoj FTTH aplikacije (vlakno je označeno zelenom, a bakar crnom linijom).

U FTTH sistemu oprema u čvorištu (*OLT – Optical Line Termination*) je povezana sa javnom fiksnom telefonskom mrežom (*public switched telephone network – PSTN*) i Internetom ATM i *Ethernet* intefejsima, kao i sa video servisima od kablovske i/ili satelitske televizije (slika 2). Svi ovi signali se potom kombinuju i ubacuju u vlakno koristeći WDM tehniku, a zatim prenose do korisnika pasivnim optičkim razdelnikom. Razdelnik može da opsluži od 2 do 32 korisnika, a nalazi se na udaljenosti oko 10 km od čvorišta[2]. Signal se potom prenosi naredni kilometar optičkim vlaknom do lokacije korisnika. Na lokaciji korisnika optički signal se konvertuje u električni signal opto-elektronskim konvertorom unutar optičke mrežne jedinice (*Optical Network Unit – ONU*). ONU razdvaja signal na servise po zahtevu korisnika. U idealnom slučaju ONU bi imao standardizovani i integrisani interfejs tako da se ne bi zahtevali posebni *set-top box*-ovi za svaki servis pojedinačno.

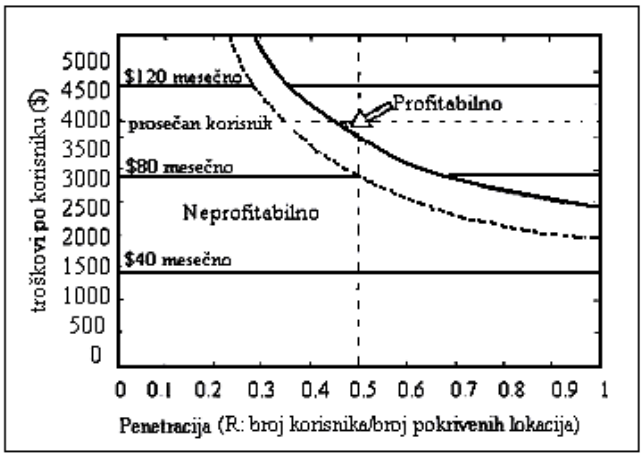
U tabeli 1 su prikazane sumarne karakteristike nekoliko tehnologija: DSL, HFC i PON mreža na bazi Eterneta i ATM-a (EPON i APON, respektivno)[3]. Kao što se može primetiti upotreba optičkog vlakna kao medijuma omogućava višestruko povećanje propusnog opsega sistema.



Slika 2. Tipična rezidencijalna PON mreža koja obezbeđuje triple-play servis (izvor:[3]).

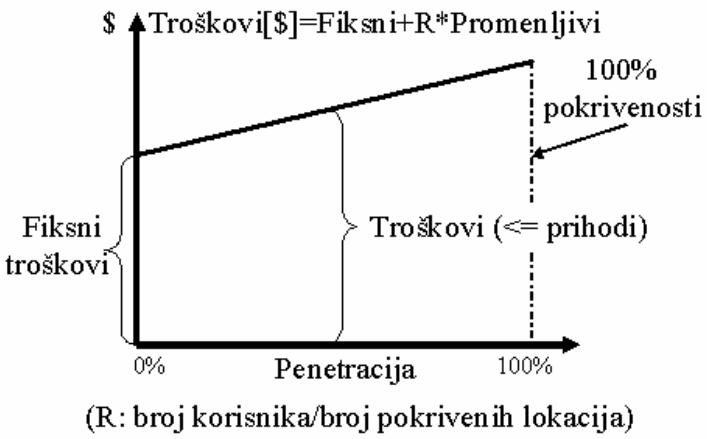
IV EKONOMSKI PARAMETRI

Jednostavan model zavisnosti mrežnih troškova od penetracije[I] je prikazan na slici 3. Ovde se razlikuju dva tipa troškova: fiksni i promenljivi[1]. U fiksne troškove se ubrajaju infrastrukturni troškovi (izgradnja stanice gde se smešta optičko čvorište), operativni troškovi (postavljanje mreže, testiranje i njeno održavanje) i troškovi za optičko vlakno (izbor materijala, mogućnosti deljenja vlakana, gustina stambenih objekata, njihova rasprostranjenost na terenu, troškovi za vazdušnu ili kanalizacionu instalaciju i slično). Svi ovi troškovi se moraju uračunati pre nego što se prvi korisnik prijavi za servis, i to je početni kapital koji svaki operater mora



Slika 3. Zavisnost troškova mreže od penetracije.

[I] Procenat broja korisnika koji su se prijavili za FTTH servis od ukupno potencijalnih korisnika.



Slika 4. Zavisnost ukupnih troškova od penetracije.

da uloži. Jasno je da je broj potencijalnih korisnika veći ukoliko je mreža razgranata.

Kada se infrastruktura postavi počinje obračunavanje promenljivih troškova koji zavise od udaljenosti svakog korisnika od optičkog čvorišta. Rezultati iz tabele 2[1] za 2002. godinu za SAD pokazuju da su fiksni troškovi $820, a promenljivi $610 usrednjeno po korisniku. Dakle, ako bi penetracija bila 100% (odnosno ako bi se svi korisnici u prečniku od 10km oko lokacije čvorišta prijavili za servis) ukupni usrednjeni troškovi bi bili $1430. Pored vlakna mreža zahteva terminale koje će obezbediti servis. Njihova cena se procenjuje na $200 za terminale koji opslužuju PON, i $800 usrednjeno za kućni terminal, u čiju cenu ulazi $500 za hardver i $300 za instaliranje. Ukupni troškovi po korisniku su dati u poslednjem redu tabele 2, a njihova zavisnost od penetracije je dat na slici 4.

Razvoj tehnologije obećava smanjenje cena terminala i vlakana, te je na slici 4 tačkastom krivom dato predviđanje troškova u budućnosti, odnosno u tabeli 2 su u zagradama dati aproksimativni budući troškovi. Procena je [1] da su fiksni troškovi ti koji najviše utiču na oblik i nagib krive sa slike 4, i ako bi se korisnik odlučio za pretplatu od $120 mesečno to bi na trogodišnjem periodu bilo $4320 čime bi se otplatili troškovi za infrastrukturu, kao i kamata, a operator bi višak zarade mogao da uloži u nove servise, tehnologiju, marketing, korisničku službu itd. Na slici je dat primer tri različite visine pretplate ($40, $80, $120), i što je veća penetracija pretplata može da bude manja, ali i dalje da bude profitabilna za operatera.

U sledećoj tabeli je dat prikaz cena po bitu *download*-a pojednih servisa koji se danas nude na tržištu. Na primer ako bi se *video-on-demand* plaćao po ceni telefona jedan film bi koštao $600, i obrnuto ako bi se telefon plaćao po ceni VoD mogli bismo da pričamo pola godine po 8 sati dnevno, a račun bi bio $1. Ova prosta računica sugeriše da u slučaju integrisanog prenosa slike, govora i podataka (*triple-play service*), odnosno integrisane naplate servisa ukupni račun bi svakako bio manji nego zbir svih troškova koji se plaćaju za svaki servis posebno.

V STEPEN PENETRACIJE I PRISUTNOST NA TRŽIŠTU

Usled zahteva korisnika za širokopojanim servisima FTTH se prepoznaje kao krajnje rešenje, uzimajući u obzir karakteristike konkurentnih tehnologija i tendenciju pada cena optičkih vlakana i komponenti. Ali kada se krajnjim korisnicima ponudi

	Fiksni			Promenljivi		
	Materijal	Rad	Ukupno	Materijal	Rad	Ukupno
Vlakno	$150 ($150)	$670 ($600)	$820 ($750)	$70 ($70)	$540 ($440)	$610 ($510)
Terminal	$200 ($200)	$0 ($0)	$200 ($200)	$500 ($350)	$300 ($150)	$800 ($500)
Ukupno	$350 ($350)	$670 ($600)	$1020 ($950)	$570 ($420)	$ 840 ($590)	$1410 ($1010)

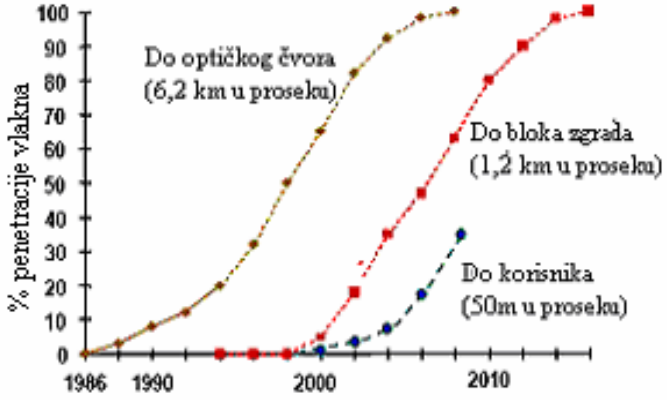
Tabela 2. Aproksimativne vrednosti fiksnih i promenljivih troškova za vlakno i terminale**.**

	Troškovi standardnih servisa u p$/bitu ($1p\$=10^{-12}\$$)
Telefon	$\frac{\$0.05}{\text{min}} \times \frac{1\,\text{min}}{60\text{s}} \times \frac{1\text{s}}{64\times10^3\,\text{bita}} = 13{,}000\text{p\$/b}$
Internet	$\frac{\$40}{\text{mesec}} \times \frac{1\text{ mesec}}{30\text{ dana}} \times \frac{1\text{ dan}}{3\text{h gledanja}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{6\text{ strana}} \times \frac{1\text{ strana}}{0.5\times10^6\,\text{bita}} = 2500\text{p\$/b}$
VoD	$\frac{\$3/\text{film}}{6\times10^6\text{b/s}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \times \frac{1\text{ film}}{2\text{h}} = 70\text{p\$/b}$
Cable TV	$\frac{\$30}{\text{mesec}} \times \frac{1\text{ mesec}}{30\text{ dana}} \times \frac{1\text{ dan}}{7\text{h gledanja}} \times \frac{1\text{h}}{2\text{ kanala}\times3600\text{s/h}} \times \frac{1\text{ kanal}}{5\times10^6\text{ b/s}} = 4\text{p\$/b}$

Tabela 3. Prikaz cena po bitu downloud-a pojedinih servisa.

suštinski identični servisi preko bakarne parice, koaksijalnog kabla, satelitske veze, radio veze, elektrodistributivne mreže ili optičkog vlakna, odluka se prvenstveno donosi na osnovu cene pretplate, a potom prema drugim faktorima kao što je sposobnost podržavanja budućih servisa, mogućnost povećanja postojećeg protoka i slično, u čemu je FTTH u velikoj prednosti. Činjenica jeste da je sve veći broj korisnika koji traže *peer-to-peer file* transfer i *streaming* aplikacije, što je svakako obećavajuće za FTTH tehnologiju. Danas postoje servisi koji jedino (ili najbolje) rade preko FTTH tehnologije ali korisnici za to ili ne znaju ili nisu još uvek zainteresovani. Zbog toga se često čuje među analitičarima tržišta da je glavini razlog za trenutno mali broj korisnika FTTH mreže nedostatak edukacije korisnika [4].

Slika 5 prikazuje dosadašnji i predikcioni prikaz procenta penetracije optičkog vlakna do optičkog čvora, bloka zgrada i lokacije korisnika. Može se zapaziti da se očekuje nagli porast broja FTTH korisnika u bliskoj budućnosti.

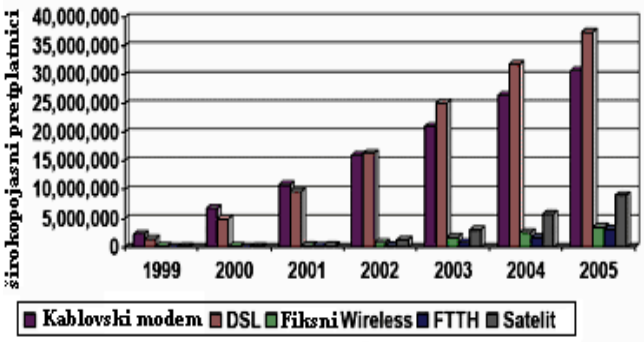


Slika 5. Penetracija vlakna (izvor[3]).

	2002	2005
Japan	97.000	4.000.000
Švedska	75.000	-
Italija	50.700	-
SAD	33.000	300.000

Tabela 4. Broj FTTH preplatnika.

U tabeli 4 su dati podaci iz 2002. i 2005. godine o broju korisnika u četiri zemlje sveta koje imaju najviše FTTH pretplatnika [3] [5], a u tabeli 5 su date osobine FTTH tržišta u tim zemljama.



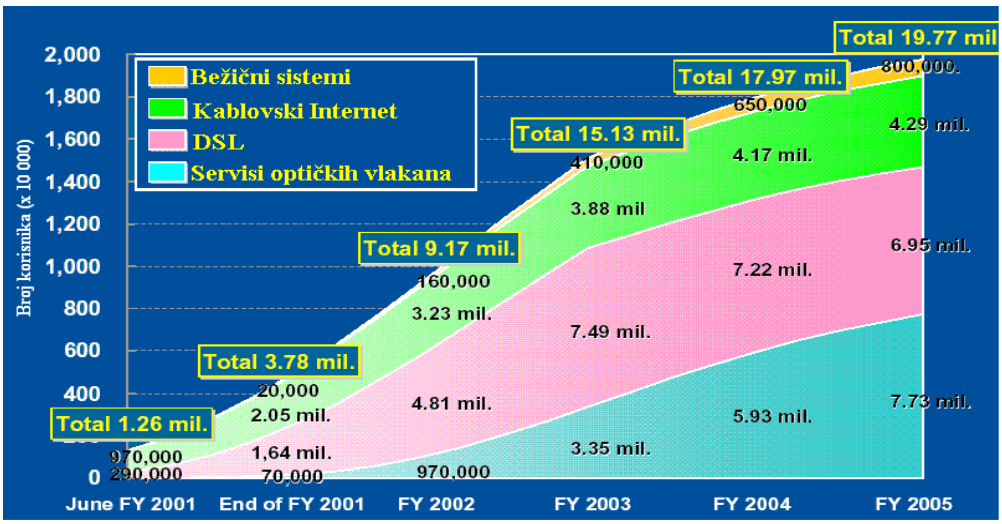
Slika 6. Tržište širokopojasnih tehnologija širom sveta (Izvor [5]).

Na slici 6 je dat uporedni prikaz porasta broja korisnika različitih tehnologija. Može se primetiti da FTTH ima procentualno najbrži skok po broju pretplatnika.

Grafički prikaz strategije IT razvoja Japana koja je napravljena 2001. godine dat je na slici 7. Ona ima za cilj da Japan postane najnaprednija IT nacija, što se obezbeđuje izdradnjom infrastrukture i zaštitom konkurencije. U ovom procesu važan zadatak je prelazak sa POTS-a (*Plain Old Telephone Service*) na IP telefoniju i sa kablovskih distrubutivnih sistema sa metalnim provodnicima na FFTH. Primetna je sve veća upotreba optike, a prosečna mesečna pretplata za 100Mb/s FTTH servisa različitih provajdera u Japanu za 2002. godinu je data u tabeli 6 [5]. Skoriji izveštaji pokazuju da je trenutna prosečna pretplata oko $41. Takođe, interesantno da je u novembru 2004. godine NTT kompanija postavila cilj da do 2010. godine opsluži 30 miliona koisnika [6][8].

	SAD	Japan	Švedska	Italija
Trenutna aktivnost	veoma niska	Visoka	skromna	Niska
Arhitektura mreže	PON i *Point to point*	*Point to Point*	*Point to Point*	*Point to Point*
Prenos signala	ATM i *Ethernet*	*Ethernet*	*Ethernet*	*Ethernet*
Servisi	POTS, VoIP, 10/100Mb/s *Data, Analog video, Digital video*	10/100 Mb/s *Data*	POTS, VoIP, 10/100Mb/s *Data, Digital video*	POTS, VoIP, 10/100Mb/s *Data, Analog video, Digital video*
Mreža	vlasništvo operatera	vlasništvo operatera	otvoren pristup	otvoren pristup
Aktivnost Vlade	veoma niska	Niska	skromna	niska

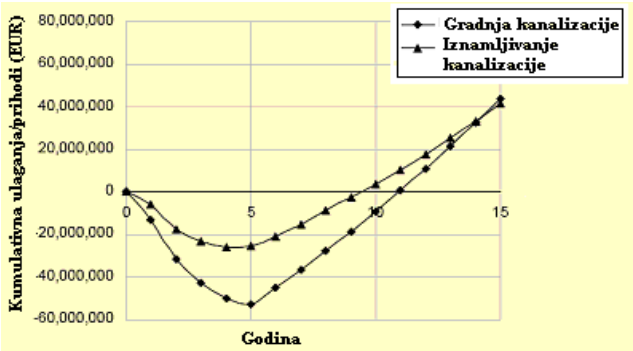
Tabela 5. Poređenje FTTH tržišta.



Slika 7. Predviđanje razvoja širokopojasne tehnologije od strane japanske vlade (Izvor [5]).

NTT	Usen	Tepco	Kyushu	Kansai
$58	$51	$50	$46	$50

Tabela 6. Mesečna naknada za 100 Mb/s FTTH servisa u Japanu.



Slika 8. Finansijska isplativost investicija(Izvor [5]).

Na slici 8 je dat prikaz procene ulaganja operatora u infrastrukturu, kao i vreme neophodno da bi se uloženi novac povratio. Jasno se vidi dugoročna isplativost uloženih investicija u slučaju izgradnje nove kablovske kanalizacije i u slučaju iznamljivanja postojećih.

VI BUDUĆNOST FTTH TEHNOLOGIJE

Očigledno je da postoji tendencija rasta potrebe za dvosmernim prenosom slike kao što je interaktivna televizija, učenje na daljinu, videokonferencija, videotelefoni, itd. Sposobnost da se odgovori na ove zahteve kao i da se konstantno dodaju novi servisi vrši veliki pritisak na konkurenciju. Ali sa druge strane ova sposobnost provajderima omogućava brze i velike prihode. Jedna od posledica jeste da potražnja za optičkim tehnologijama, kao što je FTTH, raste. Poboljšanja u oblasti WDM-a će dodatno unaprediti tehnologiju, što će omogućiti dodatne servise provajderima i mogućnost da isplate uloženo. Sledeća činjenica koja ide na ruku razvoja FTTH jeste trend uklanjanja pravnih prepreka i prilagođavanja postojećih standarda koji su do sada favorizovali druge tehnologije [3]. Ovo predstavlja jednu od funkcija Agencija za telekomunikacije kao regulatornog tela da sve tehnologije imaju jednak tretman na tržištu.

U ovom trenutku očigledno je da se tržište razvijenih zemalja nalazi na prekretnici. Korisnici bi hteli viši kvalitet života što između ostalog podrazumeva više razvijenih servisa, višenamenske integrisane mreže i manje troškove. Provajderi mreže se suočavaju sa nesigurnim investicijama po pitanju budućeg razvoja u tehnološkom i servisnom smislu. Agencije za telekomunikacije imaju obavezu poboljšanja infrastrukture u cilju većeg broja kvalitetnih servisa i veće protoke podataka. Ovo će usloviti povećanje bruto godišnjeg proizvoda, ali ne odabirom pobednika i stvaranjem gubitnika, već puštanjem da tržišna konkurencija o tome odluči.

VII ZAKLJUČAK

Postoji nekoliko ključnih osobina FTTH tehnologije, koje treba posebno istaći:

• koristi se pasivna mreža bez aktivnih komponenti što dramatično smanjuje troškove;
• do svakog korisnika se razvlači po jedno vlakno, što omogućava pružanje velikog broja različitih servisa, čime se i prihodi povećavaju;
• koriste se lokalne baterije kao rezervno napajanje, a potrošnja snage je jako mala;
• pouzdana i fleksibilna tehnologija;

• visoka otpornost na smetnje i preslušavanja.
• integrisan skup servisa (jedna pristupna tačka za sve usluge);
• integrisan sistem naplate (princip *one door stop*);
• podržava nove servise sa simetričnim i vrlo velikim protocima;
• FTTH mreža je *future-proof* (zahtevani trenutni protok može da se po potrebi značajno poveća);

LITERATURA

[1] Nicholas Frigo et al, *A View of Fiber to the Home Economics*, IEEE Commun. Mag., vol. 42, August 2004, pp. S16-S23.
[2] *Fiber to the Home*, Tutorial http://www.iec.org/online/tutorials/fiber_home/
[3] Paul Green, *Fiber-to-the-Home White Paper* 2003.
[4] Robert Pease, *Fiber-to-home proponents speak out against negative deployment myths*, Lightwave articles, February 2003.
[5] John Jay, *An Overview of International Fiber to the Home Deployment*, Presentation to Corning Optical Fiber, 2002.
[6] Hiromichi Shinohara, *Broadband Access in Japan: Rapidly Growing FTTH Market,* vol.43, september 2005, pp.72-78.
[7] David Kettler et al, *Driving Fiber to the Home*, IEEE Commun. Mag., vol. 39, November 2000, pp. 106-110.
[8] Yong-Kyung Lee and Dongmyun Lee, *Broadband Access in Korea: Experience and Future Perspective*, IEEE Commun. Mag., vol. 41, December 2003, pp. 30-36.
[9] http://www.ftthcouncil.org/

Abstract: The promise, main characteristics and technical evolution of Fiber-to-the-Home (FTTH) networks are reviewed in this work. The emphasis is on the benefits for the FTTH customers, which include both quality of service and economical monthly fees. That is why the number of subscribers is constantly rising worldwide, which is depicted on several figures and tables. It is predicted that FTTH architecture will be prevailing, dominant and most capable technology for delivering future broadband services to the home. Once fiber is installed, it will become the only wireline access medium due to unlimited bandwidth.

FTTH – PRESENT OR FUTURE TECHNOLOGY

Vladica Tintor, Petar Matavulj, Jovan Radunović