

SOFTWARESKI ALAT ZA PROCJENU ODRŽIVOG RAZVOJA FTTH PRISTUPNIH MREŽA

Zijad Havić, email: zijad.havic54@gmail.com

Halid Žigić, email: halid_zigic@hotmail.com

Internacionalni univerzitet Travnik

Meldin Žigić, email: Meldin.zigic@aismart.eu

Evropski univerzitet “Kallos” Tuzla

Sažetak: U ovom radu je predstavljen softverski alat namijenjen za procjenu održivog razvoja (Fibre to the Home-FTTH) sljedeće generacije optičkih pristupnih mreža. Softverski alat CABA (Capex, Availability, Broadband, Energy) se zasniva na matematičkim modelima koji obuhvataju aspekte mrežnog troška, raspoloživosti, širinu propusnog pojasa i potrošnje energije. Modeli uključuju specifične zahtjeve za analizu pristupnih mreža u gradskim, prigradskim, i ruralnim sredinama. Predikcija broja pretplatnika je zasnovana na Gompertzovom modelu. Alat omogućuje sljedeće analize: ukupni trošak mreže, ukupni trošak po pretplatniku, prihode, period povrata sredstava, osjetljivost na promjene troška mrežnih elemenata, predikcija potrošnje energije i nivo raspoloživosti. Da bi se alat provjerio, određeni su studijski slučajevi pristupnih mreža radi procjene i komparacije: GPON, P2P and WDM. Rezultati analize su prezentirani u numeričkom i grafičkom obliku. Promjenom ulaznih parametara specifični lokalni uslovi za FTTH pristupnu mrežu mogu se uzeti u obzir izvršiti procjenu održivog razvoja.

Glavne riječi: Optička pristupna mreža; softverski alat; FTTH; CapEx; analize osjetljivosti

SOFTWARE TOOL FOR ASSESSMENT OF FTTH ACCESS NETWORKS

Abstract: In the paper is presented developed software tool intended for assessment of Fibre To The Home (FTTH) next generation optical access networks. The software tool CABA is based on mathematical models that comprise aspects of network Cost, Availability, Bandwidth and Energy. The models include specific requirements for analysis of access networks in urban, suburban and rural areas. Subscribers prediction is based on Gompertz model. The tool provides the following analyses: total cost of the network, the cost per subscriber, revenue, the payback period, sensitivity to cost changes of network elements, prediction of the power consumption and level of availability. In order to verify the tool, selected case studies of access network are assessed and compared: GPON, P2P and WDM. The results of analyses are presented in numerical and graphical form. By changing input parameters any specific local condition of FTTH access network can be taken in to account and assessment carried out.

Keywords: component; Optical access network; software tool; FTTH; CapEx; sensitivity analysis

1. UVOD

Cilj ovog rada je da predstavi razvijeni softverski alat za procjenu Fiber To The Home (FTTH) pristupne mreže. Softverski alat pomaže nam da proširimo znanje o tehnološkoj osnovi i metodologiji ekonomske procjene. Softverski alat omogućuje detaljan pregled i uvod u oba slučaja. Trenutno, telekom operateri prilagođavaju svoje mreže za triple-play usluge koje

pružaju Internet, IP Televiziju (IPTV) i Voice-over-IP (VoIP) usluge prenešene preko iste mreže povećavajući zahtjeve za propusnim pojasom. Optičko vlakno kao osnova pristupnih mreža može omogućiti buduća rješenja za interaktivne multimedijске aplikacije. FTTH je rješenje koje je ustanju da spriječi usko grlo u kapacitetu u pristupnoj mreži. Softverski alat omogućava jednostavan način za izračunavanje ukupnog troška, prihoda i troškovnu održivost implementacije pristupne mreže, trošak po pretplatniku, analize raspoloživosti, potrošnju energije i osjetljivost implementacije pristupne mreže. Metodologiju za procjenu pristupne mreže možemo naći kod mnogih autora. Evropski istraživački projekti European Research Projects su TERA, TONIC [3, 15], Techno-Economic Research-Tehno - ekonomsko istraživanje za buduće infrastrukture pristupnih mreža (TERRAIN), multiservisni pristup svuda- Multi service Access Everywhere (MUSE) itd. Autori su analizirali nekoliko razvojnih scenarija za Fiber to the Home (FTTH) koristeći različite softverske alate. Oni su utvrdili izvodivost FTTH mreže na nacionalnom nivou u njihovim zemljama. Mi ćemo provjeriti razvijen softverski alat procjenjujući i analizirajući tri razvojna scenarija FTTH pristupnih mreža koristeći softverski alat CABE (Cost, Availability, Bandwidth, Energy); GPON, P2P, and WDM.

U poglavlju II je objašnjen model pristupne mreže. U poglavlju III softverski alat, a u poglavlju IV studijski slučajevi. U poglavlju V je zaključak.

2. MODELI PRISTUPNIH MREŽA

Rad predstavlja nekoliko modela ali su oni promatrani integrirano. U radu je predstavljen model troška, potrošnja energije, model raspoloživosti i Gompertzov model predikcije pretplatnika.

Funkcija troška $cost(t)$ se definiše [1]:

$$cost(t) = \sum_{t=1}^T \sum_{j=0}^c \left[\frac{d_c(t)}{g_c} \right] \cdot p_c(t) \quad (1)$$

Sa

c broj vrsta opreme ili rova koji se instaliraju,

d_c zahtijevani iznos c tipa opreme instalirane u vremenu t (godina),

g_c granularnost c tipa opreme, n.pr. km vlakna kabla na bubnju, broj portova po OLT-kartici (Optical Line Termination- Optički linijski završetak),

p_c cijena c opreme za danu granularnost.

Funkcija troška se može podijeliti na:

$cost_{CO}$ – trošak opreme u centrali u CO (Central Office) ovisno od broja optičkih portova,

$cost_L$ – trošak rova između CO i pretplatničke opreme (CPE) ovisno od duljine rova,

$cost_{CP}$ trošak pretplatničke opreme.

Funkciju troška se uglavnom sastoji od iskopa telekomunikacijskog rova i troškova opreme. Trošak $cost_L$ ima dva dijela: troška za optička vlakna i troška za iskop. CO sadrži OLT koji je instaliran u odgovarajuću šasiju. Korišteni OLT sadrži četiri OLT porta, sa priključenjem maksimalno 64 ONU jedinice (Optical Network Unit) kod pretplatnika. U sljedećem pasusu, izračunaćemo funkciju troška, sa softverskim alatom i uporediti GPON, P2P i WDM funkcije troška.

Funkcija $cost_L$ je trošak rova (vlakno u zaštitnoj cijevi rova). Funkcija $cost_{CO}$ funkcija troška opreme. Razvijene su formule za P2P, P2MP i WDM uvažavajući $N(t)$ – broj pretplatnika,

$f_{g1}, f_{g2}, f_{g3}, f_f$ – granularnost reka, kartice, šasijske i optičkog kabl

L_{trench} – prosječnu duljinu rova,

C_{fibre} – cijena optičkog kabl,

$Crack, C_{port}, C_{shelf}$ – troškovi reka, porta i,šasijske ,respektivno.

Analitički model raspoloživosti je definiran za P2P:

$$A_{P2P}(t) = A_{OLT}(t) \cdot A_{ONU}(t) \cdot A_{Fcable}(t) \cdot A_{Dcable}(t) \cdot A_{Icable}(t) \quad (1)$$

za P2MP

$$A_{P2MP}(t) = A_{OLT}(t) \cdot A_{split}(t) \cdot A_{ONU}(t) \cdot A_{Fcable}(t) \cdot A_{Dcable}(t) \cdot A_{Icable}(t) \quad (2)$$

za WDM

$$A_{WDM}(t) = A_{OLT}(t) \cdot A_{AWG}(t) \cdot A_{ONU}(t) \cdot A_{Fcable}(t) \cdot A_{Dcable}(t) \cdot A_{Icable}(t) \quad (3)$$

sa:

$A_{OLT}, A_{split}, A_{ONU}, A_{cable}$ – raspoloživost OLT, splitera, ONU i ,kabl, respektivno.

Podaci o neraspoloživosti komponenata pristupne mreže su prikazani u Tabeli I. [17]

TABELA 1 NERASPOLOŽIVOST KOMPONENATA [17]

Komponente	Neraspoloživost
OLT (WDM PON) 3.2 Gbit/s	5.12E-07
OLT (TDM PON) 1 Gbit/s	5.12E-07
OLT(AON) 1 Gbit/s	5.12E-07
OLT(P2P with 16 lasers) 4 Gbit/s	5.12E-07
ONU (WDM PON)	1.54E-06
ONU (TDM PON)	1.54E-06
ONU (AON)	1.54E-06
ONU (P2P)	1.54E-06
Splitter 1x2	3.00E-07
Splitter 1x16 (2x16)	7.20E-07
AWG 1x16 (4x16)	1.20E-06
RN (AON)	3.00E-05
Vlakno (/km)	1.37E-05

Potrošnja energije za svaku strukturu je evaluirana kao potrošnje komponenata. Podaci o potrošnji energije su prezentirani u Tabeli II. [11]

TABELA 2. POTROŠNJA ENERGIJE KOMPONENATA (W) [11]

	GPON 32 spliter	P2P	FTTB	WDM
OLT/port	2.33	1.5	2	2.5
ONU/Modem	10	3	12	2.5
UKUPNO	10.7	4.4	14	5

3. SOFTVERSKI ALAT

Softverski alat omogućava skup procedura za procjenu sljedećih parametara pristupnih mreža: ukupni trošak mreže, trošak po pretplatniku, prihodi, period povrata sredstava, ukupna

potrošnja energije i pregled raspoloživosti. Dodatne procedure se odnose na analizu osjetljivosti koja pokazuje porast ili pad NPV sa promjenom troška mrežnih elemenata. Analize troška i raspoloživosti su zasnovani na analitičkim izrazima za modele pristupne mreže definisanim u Odjeljku II a ulazni podaci u Tabelama II, III, IV and V. Analize su urađene u MATLAB, uključujući prezentaciju rezultata analiza u grafičkoj formi.

Pri ocjeni pristupnih mreža uključene su sljedeće pretpostavke:

1. Pretpostavljeno vrijeme implementacije pristupne mreže je 10 godina.
2. Broj pretplatnika ovisi od područja gdje se gradi pristupna mreža. Kod područja sa većim brojem pretplatnika se očekuje kraću duljinu rova i kablova. Sljedeće kategorije gustoće pretplatnika su korištene: [BH Telecom, Sarajevo]

Ruralno područje < 500 korisnika / km² sa dužinom rova od 90 m po pretplatniku.

TABELA 3. TROŠKOVI OPREME KORIŠTENI U P2MP I P2P [BH TELECOM]

Komponente	Trošak (€)	Broj pretplatnika
OLT	24,000	256
Šasija za OLT	60,000	5,120
1:2 splitter	12	64
1:4 splitter	31	32
1:8 splitter	58	8
ONU	150	1
Rack (P2P)	1,500	2,400
Ram	800	480
OLTcard (P2P Ethernet)	5,000	24
ONU (P2P)	130	1

Prigradska zona 1.000 – 2.000 korisnika / km² sa dužinom rova 20 m po pretplatniku.

Gradska zona > 2.000 korisnika / km² sa dužinom rova od 8 m po pretplatniku.

1. Pesimistično i optimistično predviđanje – očekivani pretplatnici koji zahtijevaju usluge. Pesimističko predviđanje predviđa od 10% do 30% priključenja od ukupnog broja pretplatnika.
2. Gompertzov model predikcije predviđa broj pretplatnika u razdoblju od 10 godina.

Koristeći model iz odjeljka II i ulazne podatke dobićemo ukupan trošak pristupne mreže, neto sadašnju vrijednost - net present value (NPV), nivo raspoloživosti i predikciju potrošnje energije.

4. STUDIJSKI SLUČAJ

Statičke analize troška su zasnovane na fiksnim ulaznim parametrima. Model je razvijen da izračuna i analizira troškove i prihode buduće FTTH mreže i mogućnost implementacije FTTH tehnologije.

Sa softverskim alatom smo izračunali ukupni trošak CapEx za FTTH razvoj u urbanoj zoni (Slika 1). CapEx trošak po pretplatniku u urbanoj zoni je prikazan na slici 2 i Tabeli IV. Tablela

IV prikazuje trošak po pretplatniku i ukupne troškove za P2P, P2MP (GPON), i WDM tehnologiju.

TABELA 4. TROŠAK PO PRETPLATNIKU

Tehnologija	Trošak (M€)			Trošak/pretplatnik(€)		
	Urb.	Suburb.	Rur.	Urb.	Suburb.	Rur.
P2MP(GPON)	54.5	120	541	332	493	1.442
P2P	59.2	128	530	324	522	1.472
WDM	70.3	147	598	594	615	1.780

Primjer izračunavanja ukupnog troška i prihoda je predstavljen grafički i numerički na Slikama 1 i 3.

Unešeni su sljedeći podaci:

period implementacije (2012-2022),

broj korisnika (20,000),

postotak broja priključenja (40% ukupnog broja pretplatnika),

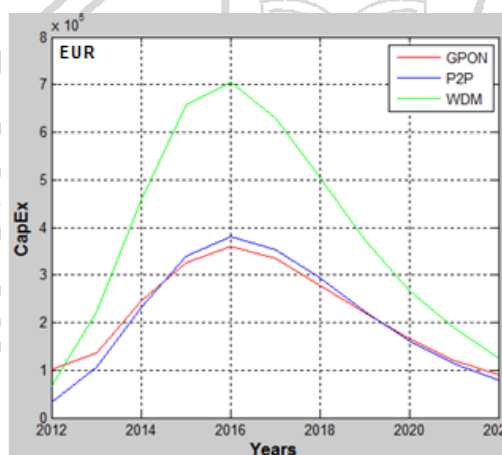
Gompertzovi parametri - 4 godine do maksimalnog broja priključaka i brzina priključenja od 0.6,

odabir tehnologije

prosječna dužina rova u području implementacije (8 m po pretplatniku za urbanu zonu i 90 m za ruralnu sredinu),

jedinična cijena rova i

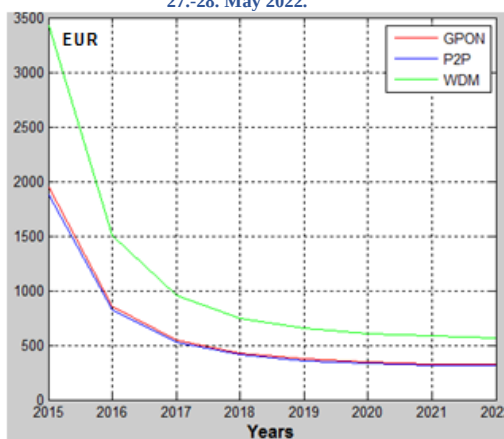
odluka da li je izračunavanje sa ili bez diskonta.



Slika 1. CapEx za GPON, P2P and WDM

CapEx krivulja pokazuje maksimalnu vrijednost nakon 4 godine implementacije pristupne mreže. Kao što se može vidjeti, početna i završna godina implementacije ima nizak broj priključenih pretplatnika pa stoga manji broj ugrađenih elemenata i manji trošak.

Krivulja prihoda je dobijena u skladu sa podacima iz Tabele V u skladu sa dinamikom definisanom Gompertzovom krivuljom predikcije.



Slika 2. Trošak po pretplatniku za P2MP, GPON i WDM

Trošak po korisniku opada idući prema kraju implementacije. Ovo je pokazano na Slici 2. Glavnina prihoda se generiše od pretplate pretplatnika. Tabela V pokazuje odgovarajući mjesečni prihod (Flat Fee). Koristeći ulazne podatke iz Tabele V dobijamo predikciju prihoda pristupne mreže. Predikcija prihoda je pokazana na Slici 3.

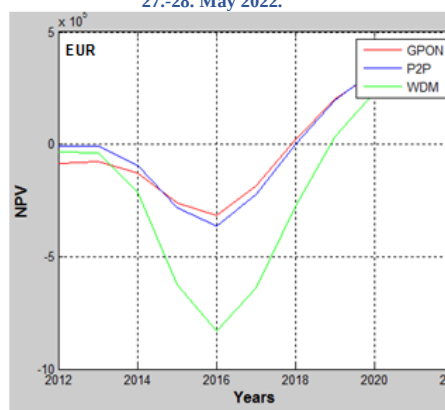
TABELA 5. MJESEČNA TARIFA

Pretplata	Tarifa (EUR/month)		Udio (%)	
	Residen ti.	Bisnis	Residen t.	Bisnis
Ekonom.	10	80	30	10
Standard	20	120	60	60
Premium	30	300	10	30



Slika 3. Predikcija prihoda za sve tehnologije

Koristeći alat može se izračunati neto sadašnja vrijednost Net Present Value (NPV). Neto sadašnja vrijednost je razlika ukupnog troška implementacije pristupne mreže i prihoda od mreže. Softverski alat izračunava NPV pomoću formule (4) [1].



Slika 4. NPV i period povrata sa periodom razvoja

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

gdje je:

- t – vrijeme priliva novca
- CF_t – priliv novca u vremenu t ,
- T – ukupno trajanje projekta i
- r – diskontna vrijednost npr. 10%)

Kao što je vidljivo na slici 4. FTTH razvoj generira pozitivan NPV i payback nakon 6 godina. Za procjenu održivog razvoja FTTH mreže bitna je analiza osjetljivosti. U analizi osjetljivosti, istražujemo kako se promjenom ulaznih parametara utječe na prihod, ako su ostali parametric fiksni. Potrebno je da se uradi analiza osjetljivosti kako bi se odredio utjecaj pojedinih parametara na uspjeh implementacije. Pri izračunu analize osjetljivosti net present value NPV t.j. indikator isplativosti se koriste cijene iznešene u tabelama III, IV i V. Cijena jednog elementa se mijenja dok se cijene ostalih elemenata drže konstantnim. Promjena cijene izabrane komponente se mijenja unutar interval od $\pm 30\%$ od početne cijene.

Nakon promjene cijene selektiranog parametra izračunava se NPV ponovo. Upoređujući postignuti NPV vrijednost može se vidjeti osjetljivost pristupne mreže.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \text{prihod} - \text{trošak} \quad (12)$$

$$NPV_x = \sum_{t=0}^T k \cdot \text{prihod} - n \cdot \text{trošak} \quad (13)$$

Gdje je:

$k = (0.7 - 1.3)$ sa $n = 1$ – promjena prihoda za $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 30\%$

$n = (0.7 - 1.3)$ sa $k = 1$ – promjena cijene za $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 30\%$

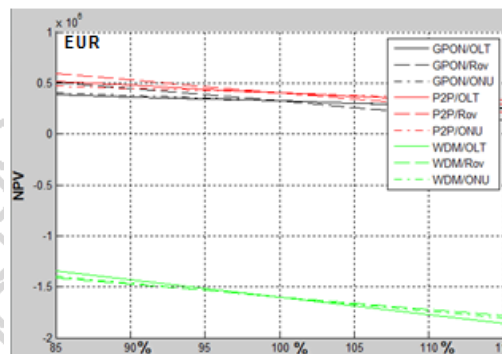
$x = (0 - 6)$ broj iteracija – broj izračunavanja prema procentu promjene.

Investicioni troškovi modernizacije pristupne mreže su visoki i period implementacije može trajati nekoliko godina. Investitor mora predvidjeti razvoj pristupne mreže u budućnosti. Predikcija uvijek nosi rizik vezano za zahtjev za predikcijom usluga, cijene mrežnih komponenti, troškove održavanja nove mrežne arhitekture. Softverski alat dozvoljava lakšu i bržu analizu u slučaju promjena za vrijeme implementacije.

NPV vrijednost kao i mjera osjetljivosti su indikator koliko se NPV početna vrijednost promjenila sa promjenom ulaznih parametara. Kao primjer mijenjali smo trošak ONU jedinice, trošak linijske kartice i cijenu rova $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ and $\pm 15\%$. Rezultat je prikazan na slici 5.

Osjetljivost svake varijable utječe na nagib krivulje – strmija krivulja znači veći utjecaj na promjenu NPV vrijednosti ili veću osjetljivost.

Softverski alat omogućuje izračunavanje raspoloživosti mreža. Izračunavanje raspoloživosti se zasniva na modelu raspoloživosti podataka mrežnih elemenata. Vrijednost raspoloživosti ja prikazana u Tabeli VI. Koristeći softverski alat i formule 1, 2 i 3 možemo izračunati raspoloživost pristupne mreže.



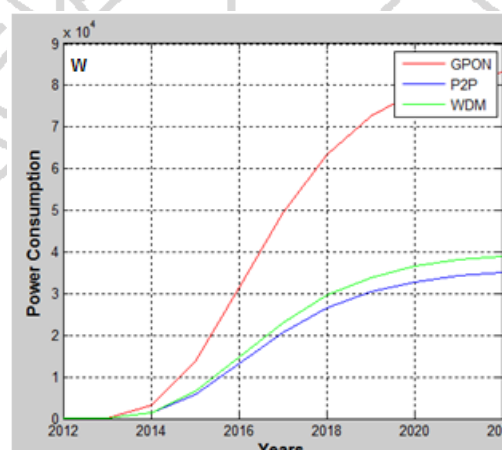
Slika 5. Analize osjetljivosti NPV za promjenu troška rova, OLT-a i ONU

TABELA 6. RASPOLOŽIVOST

Raspoloživost A(t)			
Tehnologija	PON	P2P	WDM
	0,999833077	0,999943	0,999833397

Potrošnja energije raste proporcionalno sa veličinom širokopojasne telekomunikacione mreže. Uzimajući u obzir cijenu energije i utjecaj potrošnje energije na okolinu, važan zahtjev pri odabiru pristupne mreže je odabir tehnologije i arhitekture da bi se minimizirali i potrošnja energije i troškova za energiju..

Softverski alat koristi Gompertzov model predikcije zasnovan na broju očekivanih pretplatnika. Aktivna oprema u centrali i oprema kod pretplatnika su izvor potrošnje energije.



Slika 6. Potrošnja energije i broj pretplatnika za različite tehnologije

Slika 6 prikazuje potrošnju energije za svaku odabranu tehnologiju kao funkcija broja pretplatnika. Nivo potrošnje energije je evidentan kod GPON tehnologije, kao u Tabeli II.

5. ZAKLJUČAK

Rad predstavlja softverski alat namijenjen da procijeni održivi razvoj Fiber To The Home sljedeće generacije optičkih pristupnih mreža. Ulazni podaci i matematički modeli obuhvataju podatke troška mrežnih komponenti, podatke o raspoloživosti i podatke o potrošnji energije i potrebne formule za evaluaciju. Broj pretplatnika je procijenjen u skladu sa Gompertzovim modelom

Softverski alat CABA izračunava ukupni trošak mreže, trošak po pretplatniku, prihode, period povrata sredstava, nivo potrošnje energije i nivo raspoloživosti. Analize osjetljivosti daju promjene (NPV) pri promjeni troška mrežnih elemenata. Dobiveni rezultati koristeći softverski alat su predstavljeni grafički i numerički. Na primjer, rezultati na slici 5 prikazuju nam da P2P i P2MP tehnologije imaju pozitivan NPV a WDM tehnologija ima negativan NPV za fiksni broj pretplatnika. Povećanjem troškova za iskop, OLT i ONU, NPV opada.

Cilj ovih analiza je bio da prikaže isplativost FTTH razvoja i usporedba razvojnih scenarija u urbanoj, suburbanj i ruralnoj zoni. Demonstrirali smo prednost bržeg izračunavanja i analize bilo kojeg scenarija pristupnih mreža.

Promjenom ulaznih parametara alata, u bilo kojoj specifičnoj sredini može se izvršiti procjena izvodivosti FTTH pristupne mreže.

LITERATURA

- [1] K. Casier, S. Verburgge, J. Van Ooteghem, D. Colle, R. Meersman, M. Pickavet, and P. Demeester, “Impact of sensitivity and iterative calculation on cost-based pricing”, Proc. of CTTE 2007, 6th Conference on Telecommunication Techno-Economics, Helsinki, Finland, June 2007.
- [2] DSL Forum (<http://www.dslforum.org/>).
- [3] European Research Project TONIC, <http://www-nrc.nokia.com/tonic>
- [4] P. E. Green, “Fiber-to-the-Home: The Next Big Broadband Thing”, IEEE Communications Magazine, vol. 42, pp. 100-106, Sep. 2004.
- [5] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force, (<http://www.ieee802.org/3/ah/>).
- [6] IEEE 802.3av Task Force, 10Gb/s Ethernet Passive Optical Network, (<http://www.ieee802.org/3/av/>).
- [7] ITU-T G.984.1, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics”, March 2003.
- [8] ITU-T G.984.2, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification”, March 2003.
- [9] ITU-T G.984.3, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification”, February 2004.
- [10] (4)ITU-T Recommendations, “G-series: Transmission systems and media, digital systems and networks” (<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>).
- [11] KEYMILE: „Access to the world, FTTH/B: Point to Point vs PON”, pages 1-40, March 2011.
- [12] B. Lannoo, L. Verslegers, D. Colle, M. Pickavet, M. Gagnaire, and P. Demeester, “Analytical Model for the IPACT Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for EPONs”, Journal of Optical Networking, vol. 6, pp. 677-688, June 2007.
- [13] Point Topic: Global broadband statistics (<http://www.point-topic.com>)
- [14] H. M. Sigurdsson, “Techno-Economics of Residential Broadband Deployment”, PhD Thesis, Technical University of Denmark, 2007.

- [15] T. Smura „Techno-economic analysis of IEEE 802.16a-Based fixed wireless access networks“ PhD Thesis, Helsinki, April 27,2004. Finland
- [16] S. Verbrugge, K. Casier, B. Lannoo, J. Van Ooteghem, R. Meersman, D. Colle, and P. Demeester, “FTTH deployment and its impact on network maintenance and repair costs”, Proc. on International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), 2008.
- [17] L. Wosinska, J. Chen, C. Machuca, M. Kantor, “Impact of Protection Mechanisms on Cost in PONs“, (Invited paper) Proc. of RONEXT 2009. 22202009.

