

Уштеде енергије у оптичким *WDM EPON* мрежама које користе *1Gb/s* и *10Gb/s* примопредајнике

Бојан Пајчин
Сектор за оптичке системе преноса
ИРИТЕЛ А.Д.
Београд, Србија
bojan@iritel.com

Петар Матавуљ
Одсек за физичку електронику
Електротехнички факултет Универзитета у Београду
Београд, Србија
matavulj@etf.bg.ac.rs

Мирјана Радивојевић
Рачунарски факултет
Универзитет Унион
Београд, Србија
mradivojevic@raf.edu.rs

Сажетак—Због све веће глобалне потрошње електричне енергије у којој потрошња телекомуникационих мрежа има значајан удео се приликом развоја уређаја за приступне телекомуникационе мреже тежи минимизацији потрошње електричне енергије код истих. *Fiber to the Home (FTTH)* је свакако једна од технологија која пружа *triple-play* сервисе крајњим корисницима, а способна је да и у будућности имплементира нове захтевне сервисе и да обезбеди корисницима захтевани *Quality of Service (QoS)*. У раду је представљена једна архитектура *WDM EPON* мреже која је заједно са механизмима за уштеду енергију симулирана, а резултати симулација приказују колике су могућности уштеде енергије у овим приступним мрежама. Симулације су рађене за примопредајнике који раде на брзинама од *1Gb/s* и *10 Gb/s*.

Кључне речи—*WDM EPON*; уштеда енергије; симулациона анализа; *QoS*; *1Gb/s*; *10 Gb/s*

I. Увод

Потрошња електричне енергије по проценама Америчке енергетске информационе управе (*U.S. Energy Information Administration*) ће се у целом свету 2040. године повећати за око 50% у односу на тренутну потрошњу [1]. Повеће потрошње електричне енергије подразумева повећање производње исте, што је у супротности са тенденцијама да се смањи испод одређеног нивоа емисија штетних гасова у атмосферу. Последње студије [2] показују да је удео савремених телекомуникационих мрежа у укупној потрошњи енергије чак 4%, па због тога треба тежити ка смањивању потрошње електричне енергије приликом развоја и имплементирања телекомуникационих мрежа.

У последњој декади евидентан је пораст броја крајњих корисника, као и појава великог броја апликација које су захтевне у погледу пропусног опсега, а то су видео конференција, видео на захтев (*VoD*), телевизија високе резолуције (*HDTV*), *IP* телевизија. То су само неки од фактора због којих постоји потреба за реализацијом модерне широкопојасне приступне мреже [3]. *EPON (Ethernet Passive Optical Network)* се сматра потенцијалним решењем када је у питању пружања широкопојасних сервиса крајњим корисницима, тј. *triple-play* сервиса. Пошто се непрекидно јављају нови сервиси који су у погледу пропусног опсега све захтевнији, јавља се и потреба за проширењем капацитета *EPON* мрежа које су једноканални системи (*single-channel*) [3]. То се постиже увођењем мултиплексирања по таласним дужинама у *EPON* и такве приступне мреже се називају *WDM EPON (Wavelength Division Multiplexing EPON)*.

Ради добијања штедљиве *WDM EPON* мреже потребно је да се потрошња електричне енергије *ONU (Optical Network Unit)* јединице сведе на што мањи ниво, а да се при том не наруши гарантовани *QoS (Quality of Service)* крајњем кориснику. Имплементирањем механизма за уштеду енергије у *FWPBA* модел *WDM EPON* мреже [4] се добија *Green WDM EPON*. У моделу који је представљен у раду се уштеда енергије постиже преласком *ONU* јединице из активног режима рада (када су активни сви примопредајници *ONU* јединице са пратећом електроником) у неактивни режим рада, односно у штедљиво коришћење елемената *ONU* јединице.

У следећем одељку је представљен *FWPBA* модел *WDM EPON* мреже, а потом су наведени и описани имплементирани механизми за уштеду енергије ради добијања *Green WDM EPON* система. У одељку III је

Рад је делимично финансиран средствима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије кроз пројекте TP32007 “Мултисервисна оптичка транспортна платформа OTN10/40/100 Gbps са DWDM/ROADM и Carrier Ethernet функционалностима” и 171011 “Фотонске компоненте и системи”

описан начин на који је вршена симулација представљене архитектуре, дате су вредности параметара са којима су симулације рађене и представљени су добијени резултати. На крају рада су продискутовани добијени резултати и дати су закључци у вези са резултатима симулација и даљим радом.

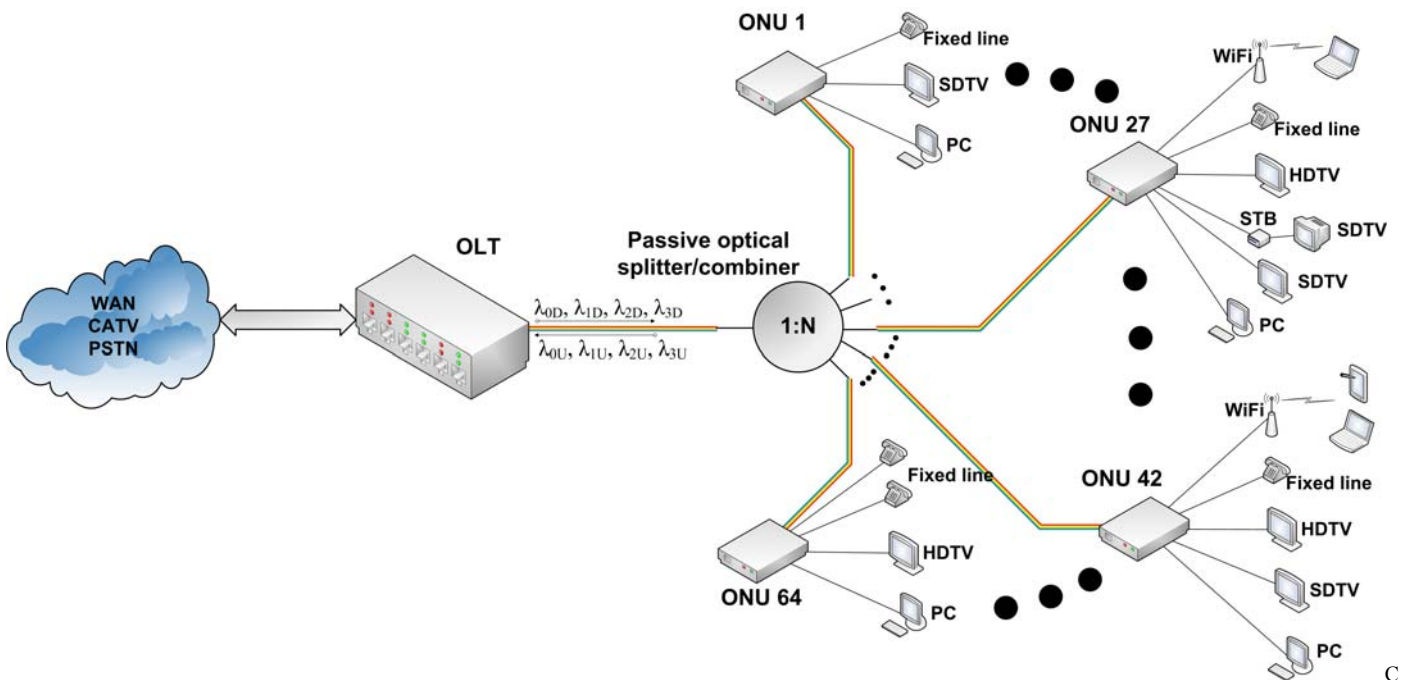
II. GREEN WDM EPON

Конвенционалну WDM EPON мрежу чине OLT (*Optical Line Terminal*) јединица која се налази на локацији провајдера сервиса, а која је преко пасивног оптичког раздвајача/сабирача сигнала повезана са више различитих терминалних ONU (*Optical Network Unit*) јединица које се налазе на локацијама крајњих корисника [3]. За пренос података се користи по једна таласна дужина за сваког корисника што изискује постојање тјубилног примопредајника у свакој ONU јединици. FWPBA модел подржава пренос саобраћаја коришћењем четири таласне дужине: λ_0 , λ_1 , λ_2 и λ_3 [4] (Сл. 1). Самим тим се у OLT и ONU јединицама имплементирају четири примопредајника фиксних таласних дужина, по један за сваку таласну дужину. Да би систем могао да подржи пренос мултимедијалних апликација у FWPBA моделу се имплементира директна подршка за QoS тако што се дефинише веза између таласне дужине која се користи за пренос података и класе саобраћаја којој тај податак припада. Таласне дужине које су резервисане за пренос у систему се користе на следећи начин: λ_1 за пренос EF саобраћаја највишег приоритета, λ_2 за пренос AF саобраћаја средњег приоритета, и λ_3 за пренос BE саобраћаја најнижег приоритета [4].

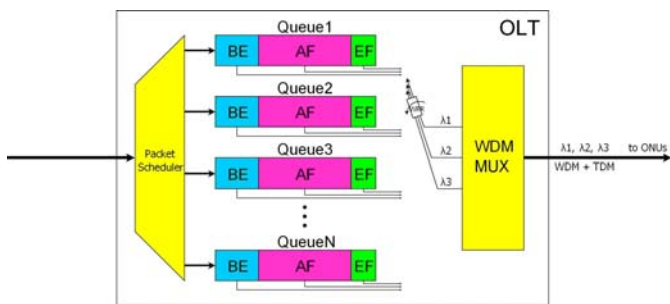
Што се тиче архитектуре нове ONU јединице са режимом спавања, то је у основи иста архитектура као код FWPBA WDM EPON ONU, с тим што је омогућен

прелазак јединице у *sleep mode* [5][6] користећи се својим уграђеним тајмером. Предност је у томе што се не захтева разматрање и развој нових ONU јединица, а може се остварити уштеда енергије искључивањем већине њеног хардвера (тј. електронских кола и елемената) када се прелази у *sleep mode*. Кад је у питању OLT јединица потребно је баферовање *downstream* саобраћаја и његова класификација најпре према одредишном ONU па потом и према класи саобраћаја. Због овога су потребне измене архитектуре OLT јединице, а те измене би се односиле на повећање меморије (бафера) и њихову организацију, као и промена алгоритма који прослеђује пакете из бафера ка ONU јединицама. Архитектура такве OLT јединице је приказана на Сл.2.

У предложеној шеми ONU јединица проводи у режиму мировања одређено време пре буђења ради слања/примања одређене количине баферисаног *upstream/downstream* саобраћаја. Главни циљ овакве стратегије је да се добије што је могуће већи период мировања ONU јединице како би се смањило укупно време буђења које се акумулира честим преласком ONU јединице између активног стања и стања мировања јер време буђења ONU јединице није период у коме се остварује уштеда енергије. Режим мировања на ONU иницира OLT, а тај поступак почиње тако што прво OLT чека док не прими све *request* поруке [4] са свих ONU јединица. У зависности од максималног кашњења пакета по класи саобраћаја, траженог капацитета у *request* порукама и баферованог саобраћаја OLT, који за све класе (тј. таласне дужине) зна колико је максимално дозвољено кашњења пакета, израчунава *time* слот за сваку ONU јединицу у којем ће јој бити омогућен пренос по свим таласним дужинама (класама саобраћаја). Потом OLT прави план преноса саобраћаја за ONU јединице, тако да



лика 1: Архитектура FWPBA модела WDM EPON мреже



Слика 2: Архитектура Green WDM EPON OLT јединице

саобраћај једне ONU буде пренесен за време алоцираног *time* слота те ONU јединице, док друге ONU нису активне како не би дошло до колизије. Следи слање ONU јединицама *grant* порука [4] у којима се налази израчунато време *time* слота сваке од њих и време трајања *sleep* циклуса. Ради овога потребно је да OLT разврстава пристигли саобраћај за ONU јединице по класама и крајњим ONU. Архитектура овакве OLT јединице је скицирана на слици 2. Након пријема *grant* порука ONU одмах прелази у режим мировања и на основу примљеног израчунатог *time* слота и подешава свој бројач (*timer*). Након буђења из режима мировања ONU јединица почиње да шаље/прима баферисани саобраћај директно на/са линка ка OLT. После завршетка слања *upstream* саобраћаја и слања *request* поруке ка OLT, свака ONU остаје у неактивном стању до добијања *grant* поруке од OLT.

III. СИМУЛАЦИЈА И РЕЗУЛТАТИ

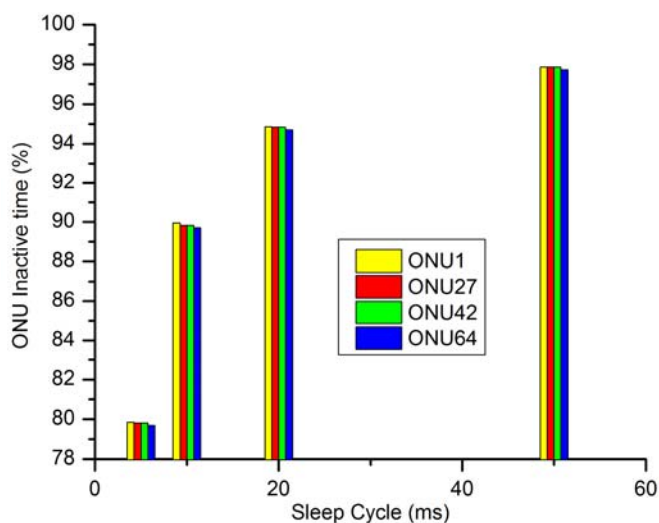
Представљени Green WDM EPON модел је анализиран кроз низ симулација које су направљене коришћењем програмског језика C. Симулирани модел одговара моделу приказаном на Сл. 1. Број корисника у симулираној Green WDM EPON је 64. За генераторе *downstream* и *upstream* саобраћаја коришћено је 65 генератора псеудослучајног броја (један за *downstream* саобраћај генерисан у OLT и 64 за *upstream* саобраћај генерисан у свакој ONU јединици). Пакети се генеришу у зависности од израчунате расподеле вероватноће генерисања добијене посматрањем протока и величине пакета које захтевају сервис додељени симулираним корисницима. За потребе симулација дефинисано је пет профила услуге коју провајдер пружа крајњим корисницима. Профил који је додељен највећем броју корисника садржи основни пакет услуга као што су широкопојасни приступ интернету брзином 10Mb/s у *downstream* смеру и 2Mb/s *upstream* смеру, једну IP телевизију са SDTV квалитетом канала и једну фиксну телефонску линију. Најмањем броју корисника је додељен најзахтевнији профил који садржи услуге IP телевизију са HDTV квалитетом канала, широкопојасни интернет 50/10 Mb/s, VoD и две фиксне телефонске линије. Остали профили корисника подразумевају сервисе који су по захтеваном пропусном опсегу и кашњењу између основног и најзахтевнијег профила. Профили који су коришћени у симулацијама су представљени на Сл. 1 кроз илустрације сервиса крајњих корисника. Симулације су рађене за битске брзине преноса у *downstream* и *upstream* смеру од 1Gb/s и 10Gb/s.

На Сл. 3 су приказани добијени резултати за симулације у којима су коришћени оптички примопредајници који раде на 10Gb/s. Резултати добијени у симулацијама у којима је брзина оптичких примопредајника је су за око 2% нижих вредности за све кориснике и све класе сервисе. Овакви резултати су и очекивани јер се при преносу података на 10Gb/s пакети који чекају на пренос у баферима већом брзином шаљу на оптичко влакно и време потребно за то је краће у односу на ситуацију када примопредајници раде на врзини од 1Gb/s. Самим тим су и *time* слотови које OLT додељује ONU јединица краћи у 10Gb/s симулацијама па је време које ONU јединице проведу у режиму мировања дуже за толико дуже и уштеда енергије је већа.

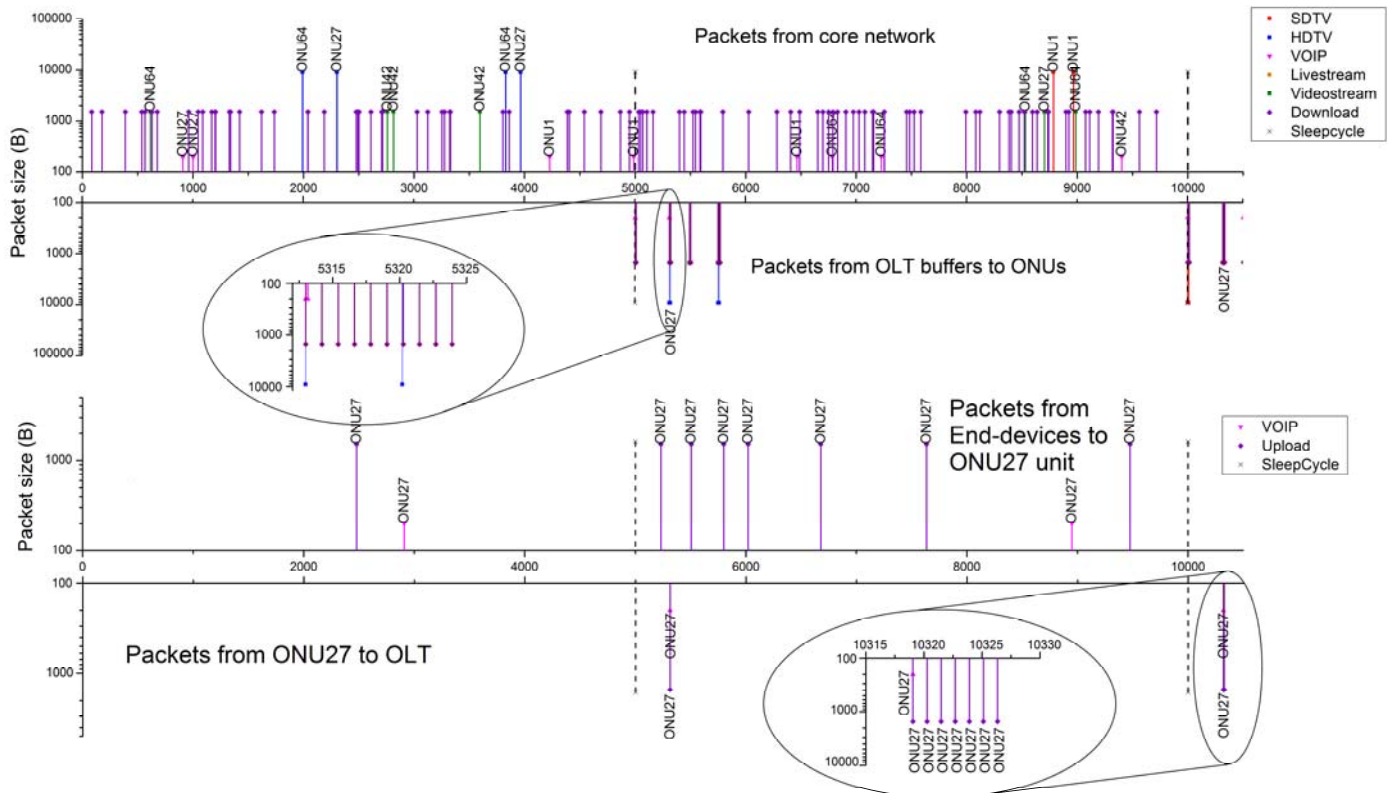
Током симулације подаци о свим генерисаним пакетима, временима њиховог генерисања, уписивања у бафер, ишчитавања из бафера, одредишту, дестинацији итд. се бележе као излазне вредности симулације. На основу тих података можемо да реконструисамо комплетан саобраћај који је генерисан током симулације ради добијања статистичких параметара. На Сл. 4 су графички представљени пакети који су генерисани у прва два циклуса спавања симулације и то за OLT и ONU27 јединицу. На горњој страни временског дијаграма за сваку јединицу су представљени пакети који су уписани у бафер те јединице у датом моменту, а са доње стране су представљени пакети који су ишчитани из бафера одговарајуће јединице. На временском дијаграму се јасно уочавају *time* слотови који су додељени ONU јединицама за пренос *downstream* и *upstream* саобраћаја.

IV. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Резултати симулација недвосмислено показују да се већа уштеда постиже на примопредајницима OLT и ONU јединица који раде на 10Gb/s. Али треба имати у виду да ти примопредајници домета до 40km имају максималну потрошњу од 1.5W [7] у односу на 1W [8] колико износи потрошња 1Gb/s интерфејса. Дакле, и након имплементираних механизма за уштеду енергије мања је



Слика 3: Процент уштеде енергије за репрезентативне ONU



Слика 4: Временски дијаграми генерисаних пакета за OLT (горњи дијаграм) и ONU27 јединицу (доњи дијаграм). Горња половина сваког дијаграма представља упис пакета у бафере јединице, а доња половина представља тренутке почетка исчитвања из бафера

потрошња 1Gb/s примопредајника. Такође треба имати у виду и да је тренутно цена 10Gb/s интерфејса за ред величине већа од 1Gb/s интерфејса. Неоспориво је да се са четири 10Gb/s интерфејса добија знатно већи пропусни опсег који може да подржи и најзахтевније сервисе на тржишту, као и оне који се тек најављују. Стога је због економске исплативости мреже оптимално решење да се ONU јединице реализују са четири 1Gb/s предајника и широкопојасним пријемницима који могу да детектују и 1Gb/s и 10Gb/s сигнал. Овакве ONU јединице би биле јефтиније у производњи од јединица које имају четири 10Gb/s предајника. Потом, OLT би се испрва опремио са четири изменљива 1Gb/s SFP интерфејса [7] који би се када буде потребно проширивати пропусни опсег услед захтева нових сервиса заменили 10Gb/s SFP+ интерфејсима [8]. До тада би и цена SFP+ интерфејсима била за ред величине ниже услед шире комерцијализације 40Gb/s и 100Gb/s интерфејса и појаве 400Gb/s интерфејса. Дакле, током целе експлоатације Green WDM EPON постојале би значајне уштеде енергије уз мања почетна улагања и уз јефтина будућа проширења, а да се при том не мењају ONU јединице које чине највећи број елемената ове мреже.

Такође, без измена OLT архитектуре и *downstream* преноса података ONU јединица би могла да оде у *sleep* резим једино гашењем свог предајника, тј. ласера, јер је OLT слао пакете на линију преноса непосредно по њиховом пристизању у бафере OLT-а, односно пакети се

шаљу ка свим ONU јединицама, а пријемник сваке ONU обрађује заглавље сваког пакета како би ONU знала да ли је тај пакет намењен њој или не (пакете који нису адресирани за ту ONU јединицу бивају једноставно одбачени). Пошто пакет за поједину ONU може у било ком тренутку током једног циклуса слања стићи у бафер OLT-а неопходно је да пријемник ONU јединице буде стално активан. Ова процесорска обрада заглавља пакета изискује доста ресурса, односно процесор у ONU јединици који је велики потрошач енергије има повећану потрошњу услед константног оптерећења. Након измена у начину преноса *downstream* саобраћаја пакети за једну ONU јединицу ће се преносити само у одређеном *time* слоту због чега је провера заглавља потребна само током додељеног *time* слота, док за обрадом заглавља пакета пристиглих ван овог *time* слота нема потребе јер су то пакети за друге ONU јединице. И на овај начин се увођењем режима мировања ONU јединице остварује уштеда енергије.

ЗАХВАЛНИЦА

Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије кроз пројекте TP32007 “Мултисервисна оптичка транспортна платформа OTN10/40/100 Gbps са DWDM/ROADM и Carrier Ethernet функционалностима” и 171011 “Фотонске компоненте и системи” је учествовало у финансирању овог рада.

- [1] U.S. Energy Information Administration: International Energy Outlook 2013, July 2013.; <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html>
- [2] A. Gladisch, C. Lange, R. Leppla, "Power efficiency of optical versus electronic access networks", Proc. European Conference and Exhibition on optical communications, Brussels, 2008.
- [3] M. Radivojević, P. Matavulj, "TEHNO-EKONOMSKO POREĐENJE JEDNOKANALNIH I VIŠEKANALNIH EPON MREŽA", XXXI Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2013, Beograd, 2013.
- [4] M. Radivojevic, P. Matavulj, The Emerging WDM EPON, 978-86-7466-449-0, Academic Mind, Belgrade, SRB (2012)
- [5] A. R. Dhaini, P. H. Ho, G. Shen, "Energy Efficiency in Ethernet Passive Optical Networks: How Long Can ONU Sleep?", University of Waterloo, Technical Report, Mar 2011.
- [6] J. Zhang, N. Ansari, "Toward Energy-Efficient 1G-EPON and 10G-EPON with Sleep-Aware MAC Control and Scheduling", IEEE Communication Magazine, February 2011.
- [7] Product Specification: 4 Gigabit RoHS Compliant CWDM SFP Transceiver FWLF1524P2yxx, Finisar Corporation, August 2015 Rev F
- [8] Product Specification: 10Gb/s, 40km Single Mode, Multi-Rate SFP+ Transceiver FTLX1672D3BCL, Finisar Corporation, September 2015 Rev C1

Due to increasing world consumption of electricity, in which consumption of telecommunication networks has a significant part, the development of devices for access telecommunications networks tends to minimize electricity consumption for the same. Fiber to the Home (FTTH) is certainly one of technology that provides triple-play services to end users, and is capable to implement new demanding services and provide customers the required Quality of Service (QoS) in the future. The paper presents one WDM EPON architecture, which together with the mechanisms for power saving is simulated, and the simulation results show what are the possibilities for energy savings in these access networks. Simulations were performed for transceivers operating at speeds of 1Gb/s and 10Gb/s.

**ENERGY SAVINGS IN OPTICAL WDM EPON WITH
1GB/S AND 10GB/S TRANSCEIVERS**

Bojan Pajčin, Petar Matavulj, Mirjana Radivojević