

"EUROPE'S ENERGY TRANSITION AND SUSTAINABLE MOBILITY WITH CHALLENGES TO THE SITUATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA"
**POTROŠNJA ENERGIJE PRISTUPNIH MREŽA NOVE GENERACIJE
I TRANZICIJA NA FOTONAPONSKE ČELIJE / ENERGY
CONSUMPTION OF NEW GENERATION ACCESS NETWORKS AND
TRANSITION TO PHOTOVOLTAIC CELLS**

Doc. Dr. Zijad Havić, email: zijad.havic54@gmail.com
Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku
Bekir Fulan, BA, email: bekir.fulan@gmail.com
Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku
Amira Trako, BA, email: amira.grabus1@hotmail.com
Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku

Pregledni članak

Sažetak: Količina prometa širokopojsnih telekomunikacijskih mreža raste brzo a isto tako i potrošnja električne energije. Uzimajući u obzir porast cijene energije i utjecaj potrošnje na okolinu, porast potrošnje energije predstavlja problem i zahtijeva optimalne telekomunikacijske tehnologije s aspekta utroška energije. Grupa japanskih istraživača u projektu Akari objavila je da je potrošnja električne energije pristupnih mreže dostigla razinu od 8 milijardi kWh u 2006. Predviđen je porast potrošnje na 103,3 milijardi kWh do 2025. što je predviđeni porast od 13 puta a i velika emisija CO₂. Radi toga je potrebno svesti potrošnju električne energije aktivnih uređaja na nižu razinu. Pristupnu mrežu potrebno je oblikovati tako da se zadrži ista razina funkcionalnosti uz niži utrošak energije u budućnosti i smanjenu emisiju. U ovom radu, fokusirali smo se na energetska analizu FTTH optičkih pristupnih mreža i FTTB pristupnih mreža koje imaju bakrenu paricu od aktivnog stupnja do pretplatnika. Optičke tehnologije su široko rasprostranjene u telekomunikacijskim pristupnim mrežama i trenutno čine osnovu fizičke mrežne infrastrukture u najvećem dijelu svijeta.
Ključne riječi: Mreža, telekomunikacije, optika, energija.

Abstract: The amount of traffic in broadband telecommunication networks is growing rapidly and so is the consumption of electricity. Taking into account the increase in the price of energy and the impact of consumption on the environment, the increase in energy consumption is a problem and requires optimal telecommunication technologies from the aspect of energy consumption. A group of Japanese researchers in the Akari project announced that the electricity consumption of access networks reached the level of 8 billion kWh in 2006. It is predicted that consumption will increase to 103.3 billion kWh by 2025, which is a predicted increase of 13 times and a large CO₂ emission. For this reason, it is necessary to reduce the electricity consumption of active devices to a lower level. The access network needs to be designed so that the same level of functionality is maintained with lower energy consumption in the future and reduced emissions. In this paper, we focused on the energy analysis of FTTH optical access networks and FTTB access networks that have a copper pair from the active stage to the subscriber. Optical technologies are widespread in telecommunications access networks and currently form the basis of physical network infrastructure in most of the world.

Keywords: Network, telecommunications, optics, energy.

1. Uvod

Pretplatnički zahtjev za širokopojasnim uslugama (triple play) i pristup u telekomunikacionim mrežama igra ključnu ulogu u razvoju konkurentnosti i oblikovanja društva. Korisnici telekomunikacionih usluga postaju zahtjevniji prema uslugama koje koriste a tehnološka inovativnost kontinuirano snižava cijenu komunikacione opreme - aktualnija postaje i primjena FTTH tehnologija. Cilj rada je da analizira tranziciju napajanja iz klasičnog način napajanja električnom energijom iz javne energetske mreže na napajanje primjenom fotonaponskih ćelija i planiranje mreža nove generacije s obzirom na novi način napajanja.

Smjernice telekom operatera za buduće pristupne mreže

Telekom operateri u svakodnevnim aktivnostima definiraju smjernice za implementaciju pristupnih mreža. U uslovima tranzicije na napajanje fotonaponskim ćelijama, postavlja se pitanje da li je moguće realizirati sve planirane odredbe:

1. Velika brzina- brzine moraju zadovoljiti buduće potrebe
2. Skalabilnost – proširivost različitim uređajima (serveri- senzori) uz dodjelu adresa
3. Otvorenost na konkurenciju
4. Stabilnost- mreža mora biti raspoloživa (medicinska njega, kontrola prometa,SOS)
5. Sigurnost-mora omogućiti siguran pristup (autentifikacija)
6. Jednostavnost – povećana pouzdanost
7. Smanjena potrošnja električne energije – brojni uređaji zahtijevaju veliku potrošnju el. energije
8. Isplativost – mreža mora troškovno zadovoljavati društvene mogućnosti

2. FTTH arhitektura –tranzicija napajanja

Razlikujemo tri vrste arhitekture FTTH mreža. Sve tri vrste imaju zajednički problem pri instalaciji a, odnosi se na varijabilan broj priključenih pretplatnika. To podrazumijeva potreban broj linijskih kartica u aktivnom stupnju u centrali sa potrebnim brojem portova koji zahtijevaju potreban nivo snage. Neophodno je obratiti pažnju i na rashlađivanje prostora u kojem je smješten aktivni stupanj pristupne mreže.

a) Home run vlakno

Ova arhitektura podrazumijeva da se svaki korisnik priključuje s jednim dodijeljenim vlaknom na centralu. Primarni dio mreže sastoji se od kablova s velikim brojem vlakana koja se približavanjem korisniku dijele u optičkim spojnicama, na kablove manjeg kapaciteta (FP-*flexibility points*). U lokalnoj centrali, P2P sistem treba port za svakog korisnika dok port kod GPON sistema podržava 32 ili 64 korisnika. P2P portovi rade na 100 Mbit/s, a GPON portovi rade na 2,5 Gbit/s prema korisniku i 1,25 Gbit/s od korisnika. Relativni odnos potrošnje energije GPON i P2P sistema ovisi o broju aktivnih korisnika. U praksi GPON portovi ne rade uvijek punim kapacitetom. Ušteda energije po korisniku povećava se ako više korisnika dijeli energiju potrebnu za generiranje 2,5 Gbit/s OLT linijske kartice. Stoga, za veći broj aktivnih korisnika (>30%), GPON je energetski efikasniji od P2P u lokalnoj centrali. Međutim, u slučaju manjeg broja aktivnih korisnika na GPON sistemu (2–3 korisnika), veća zahtijevana snaga za OLT nije raspoređena na više korisnika da bi se značajno razlikovala od potrošnje ekvivalentnog P2P sistema.

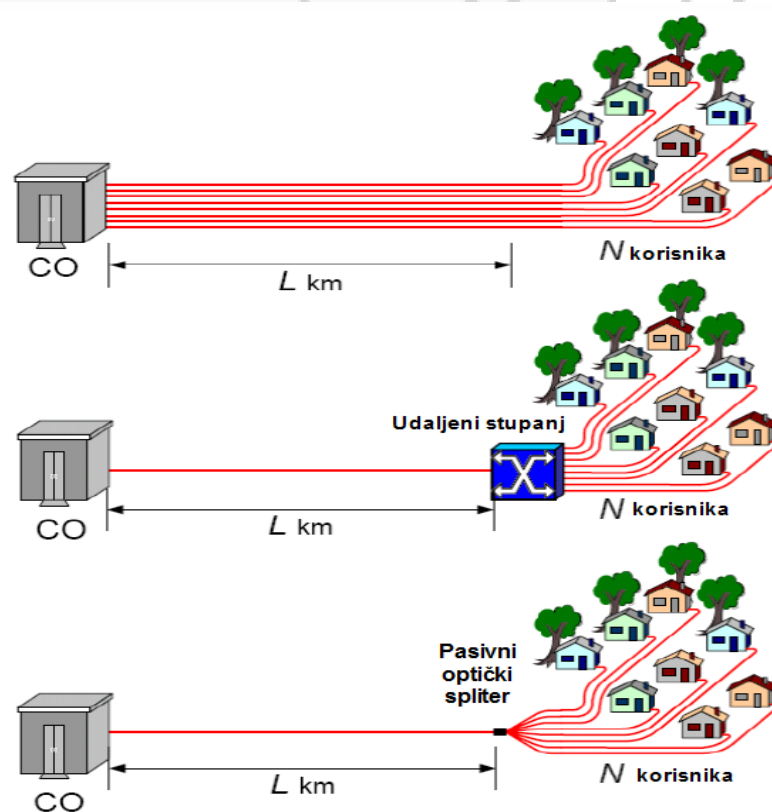
b) Arhitektura aktivne zvijezde

Arhitektura aktivne zvijezde (*active star*) podrazumijeva da se na izvjesnoj udaljenosti od centrale instalira aktivni korisnički stepen (SC – *street cabinet*). Najčešće se koriste Ethernet linijske kartice. Logično je da je lokalno napajanje obavezno a dio korisnika koji je bio priključen na VDSL strukturu s bakrenim paricama sada se priključuje s optičkim vlaknima.

c) PON (Passive Optical Network)

Pasivnu optičku mrežu (*Passive Optical Network*) karakterizira dijeljenje prijenosnog medija pasivnim djeliteljem u obliku razgranatog stabla. Arhitektura je slična onoj aktivne zvijezde s tim da je umjesto aktivnog čvora instaliran pasivni djelitelj. Pojedinačno GPON portovi troše više električne energije nego portovi kod P2P. Sve tri arhitekture zahtijevaju iskop dugih dionica od centrale do pretplatničkog mjesta, opsežne montažne radove kao i radove kod pretplatnika prilikom priključenja.

PON tehnologije su poboljšane s obzirom na potrošnju energije poboljšanjem tehnologije integriranih krugova, kvalitetnijim laserima i energetski efikasnijim procesorima koji isključuju neaktivne funkcije u radu mreže. Mrežni elementi koji bitno utječu na potrošnju električne energije kod PON mreže su linijske kartice u OLT-u s kontrolnom karticom i ONU uređaj smješten kod korisnika. Na slici 1 prikazane su sve tri arhitekture.



Slika 1. Tri arhitekture FTTH mreže (home ran vlakno, aktivna zvijezda i pasivna optička mreža)

d) WDM

Da bi se odredila potrošnja električne energije mrežnih elemenata u WDM mreži pretpostavili smo model zasnovan na realnoj vrijednosti potrošnje električne energije objavljen od strane proizvođača. Takav model podrazumijeva različite komponente i podsisteme mrežnih

elemenata koji troše električnu energiju. Model omogućava analizu potrošnje energije u aktivnom čvoru i na linkovima WDM mreže bez obzira na topologiju i količinu prenesenih podataka. Model je fokusiran na realne vrijednosti potrošnje energije pojedinih mrežih elemenata. Mrežni elementi čiji rad ovisi o potrošnji električne energije kod WDM mreže su linijske kartice u OLT-u s kontrolnom karticom i ONU uređaj smješten kod korisnika.

e) FTTB/C

xDSL je dominantna širokopojasna pristupna tehnologija u Europi gdje 66% korisnika koriste xDSL za pristup Internetu. Prijenosni medij od aktivnog stepena je upređena bakrena parica. Važno je istaknuti da je razina potrošnje električne energije FTTB tehnologije viša od potrošnje energije pristupnih mreža temeljenih na FTTH tehnologiji. Važno je kod xDSL tehnologije smanjiti elektromagnetnu interferenciju odnosno preslušavanja između signala različitih parica u istom kablju. Smanjenjem preslušavanja povećava se efikasnost xDSL sistema i energetsku efikasnost xDSL linija. DSM ograničava nivo prijenosnog signala tako da se potrošnja energije kod DSL linija minimizira. Niža razina prijenosnog signala smanjiti će energiju potrošenu na DSL modemu.

Ulazni parametri za potrošnju električne energije su:

- broj linijskih i kontrolnih kartica u agregacijskom čvoru u centrali
- broj linijskih kartica u aktivnom stupnju
- broj CPE uređaja kod pretplatnika
- potrošnja svake linijske kartice i CPE uređaja (W)

Izlazni parametri potrošnje električne energije su:

- potrošnja električne energije linijskih i agregacijskih kartica (W)
- potrošnja CPE uređaja kod pretplatnika (W)
- ukupna potrošnja po pretplatniku (W)
- ukupna potrošnja električne energije pristupne mreže (W)

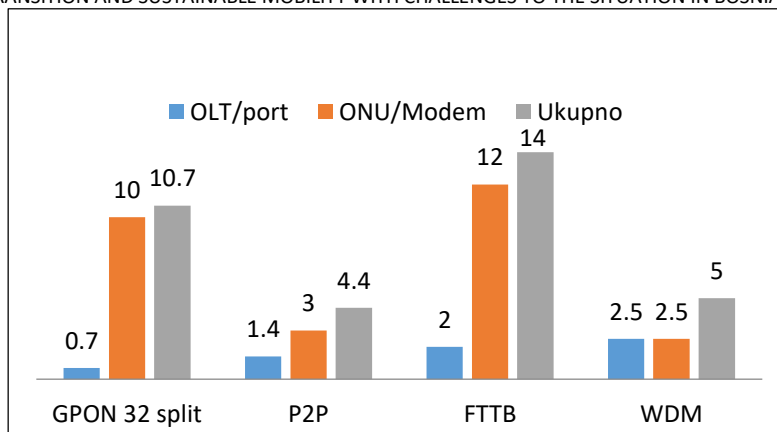
Ukupna potrošnja električne energije se dobije primjenom formule

$$EE_{UK} = N(t) \cdot (EE_{CO} + EE_{AS} + EE_{CP})$$

Gdje je suma utroška energije u centrali EE_{CO} , energije aktivnog stupnja EE_{AS} i potrošnje energije kod pretplatnika EE_{CP} , i sve pomnoženo s brojem pretplatnika $N(t)$.

3. Potrošnja električne energije pristupnih mreža nove generacije

Autor u [10] predstavlja osnovni model potrošnje energije za pristupne mreže. U radu je korišten model koji omogućava izračunavanje potrošnje energije jednog pretplatnika bilo da se radi o tehnologiji P2P, PON, FTTN ili WDM. Model podrazumijeva zbir utroška energije na pojedinačnim komponentama mreže koji zahtijevaju napajanje električnom energijom. Svaka tehnologija ima svoju specifičnost s aspekta potrošnje energije a ona se ogleda u različitim ugradbenim komponentama. Efikasnost pristupne mreže može se definirati odnosom utroška energije i prenesene količine podataka. Kod optičkih pristupnih mreža, potrošnja energije opada po prenijetom bitu s porastom prosječne brzine prijenosa. Grafikon potrošnje energije za jednog pretplatnika, prema podacima proizvođača opreme [18] za različite pristupne mreže prikazan je na slici 2.



Slika 2. Potrošnja električne energije po korisniku za različite tehnologije (W) [18]

Ukupna potrošnja električne energije FTTB mreže je 14 W po pretplatniku od čega 12 W troši modemska jedinica a 2 W port na linijskoj kartici. Iz slike je vidljivo da P2P i WDM pristupne mreže imaju nižu razinu potrošnje u usporedbi s FTTB i GPON mrežama. Proizvod broja pretplatnika po godinama implementacije i potrošnje energije po pretplatniku za svaku tehnologiju dobije se predviđanja rasta potrošnje energije kroz period implementacije prikazanih tehnologija.

3.1 Podmodel potrošnje električne energije u optičkim mrežama

Pristupna mreža čini veći dio telekomunikacijske mreže i glavni je potrošač električne energije, zbog prisustva velikog broja aktivnih elemenata. Postojeće analize pokazuju da pristupne mreže troše oko 70% ukupne potrošnje električne energije cjelokupne telekomunikacijske mreže. Svaki korisnik posjeduje vlastiti modem. Potrošnja električne energije po korisniku optičke mreže je zbir potrošnje linijske kartice i potrošnje modema kod pretplatnika i navedena je u tabeli 1. U Tabeli 1. naveden je podatak o širini propusnog pojasa širokopojasne mreže, potrošnja električne energije po korisniku i efikasnost mreže kroz broj prenešenih bita po vatu energije.

Tabela 1. Potrošnja električne energije arhitektura pristupnih mreža [18] i [20]

Potrošnja (W)	FTTB	PON (32 djelitelj)	P2P	WDM
OLT/ DSLAM (port)	2 W	0,7 W	1,4 W	2,5 W
Modem kod pretplatnika	12 W	10 W	3 W	2,5 W
Ukupno	14 W	10,7 W	4,4 W	5 W

Tabela 2. Propusni pojas, potrošnja po korisniku i potrošnja po prenijetom bitu optičkih mreža [19]

Parametri	FTTB	PON (32 djelitelj)	P2P	WDM
Mbit/s	50	77,8	100	>100
W/korisnik	14	10,7	4,4	5
Mbit/W	7,14	7,4	22	>20

$$E_{FTTH} = \frac{B(\text{Mbit/s})}{E(W)} = \frac{78}{10,7} = 7,29 \frac{(\text{Mbit/s})}{(W)}; E_{FTTC} = \frac{B}{E} = \frac{20}{14} = 1,42$$

gdje su:

E – potrošnja energije FTTC mreže po korisniku (W)

B - širina propusnog pojasa po korisniku

3.2 Podmodel potrošnje električne energije u gradskoj mreži (8000 pretplatnika)

Model potrošnje električne energije optičke pasivne mreže podrazumijeva zbir potrošnje energije mrežnih elemenata koji su priključeni na izvor električne energije. Spojni dio mreže koji podrazumijeva optičke kablove, djelatnike i popratnu opremu ima pasivni karakter. Mrežni element u centrali koji se uzima u razmatranje pri potrošnji električne energije je OLT s linijskim karticama, dok kod korisnika ONU jedinica zahtijeva priključak na električnu mrežu. Linijska kartica GPON mreže omogućava brzinu prijenosa 2,5 Gbit/s što zahtijeva veću potrošnju za razliku od porta P2P mreže koji generira 100 Mbit/s. Porastom broja korisnika priključenih na port P2MP mreže, zbog dijeljenja potrošene energije na pretplatnike, navedena razlika u potrošnji energije značajno se smanjuje. Mrežni elementi WDM arhitekture su mali potrošači energije što je vidljivo iz gornje tabele. Udaljeni mrežni element AWG je pasivni element s podešenim prizmama za propuštanje određene valne duljine za svakog pretplatnika. Za izračunavanje maksimalne potrošnje energije korišten je programski alat uz pretpostavku da područje implementacije ima 8.000 pretplatnika. Predikciju potrošnje električne energije za gradsku mrežu korišten je Gompertzov model [19] predikcije.

Arhitektura	Maksimalna potrošnja (W) na kraju izgradnje
FTTB	44,8 kW
P2MP(32 djelitelj)	34,2 kW
P2P	14,08 kW
WDM	16 kW

Tabela 3. Maksimalna potrošnja energije na kraju izgradnje i priključenja 8000 pretplatnika

Vidljivo je da P2P mreže imaju širi propusni pojas, troše manje energije po korisniku a to ima za posljedicu da prenose veću količinu informacija po jedinici potrošene energije.

3.3 Mogućnost napajanja optičkih mreža primjenom solarnih panela

Solarni panel je kombinacija mnogih pojedinačnih solarnih ćelija. U njima se električna energija stvara zračenjem sunčeve svjetlosti. Spajanje nekoliko solarnih panela rezultira solarnim ili fotonaponskim sistemom. Ovisno o komponentama i veličini sistema, solarna energija može opskrbiti aktivni stepen (OLT) električnom energijom koju sami proizvedu. Solarni panel, poznat i kao solarni modul, fotonaponski modul ili solarni panel, odgovoran je za pretvaranje svjetlosti u električnu energiju. Otkriće solarne energije datira još od 1950-ih. Od 1980-ih, tehnologija je postala važnija za snabdijevanje električnom energijom brojnih uređaja. Zahvaljujući intenzivnom istraživanju i stalnom padu troškova, solarna energija je napravila još jedan veliki iskorak. Solarni panel se sastoji od 120 solarnih ćelija. Kombinacija nekoliko solarnih modula naziva se solarni sistem. Koliko je solarnih panela potrebno za solarni sistem zavisi od lokalnih uslova, na primjer, sunčani sati u regiji, potrošnja energije u mreži itd. Solarni panel se sastoji od različitih slojeva s različitim funkcijama. Gornji dio modula ima prednju staklenu ploču i plastični sloj ispod koji osiguravaju optimalnu zaštitu od vanjskih utjecaja kao što su temperatura, padavine ili vlaga.



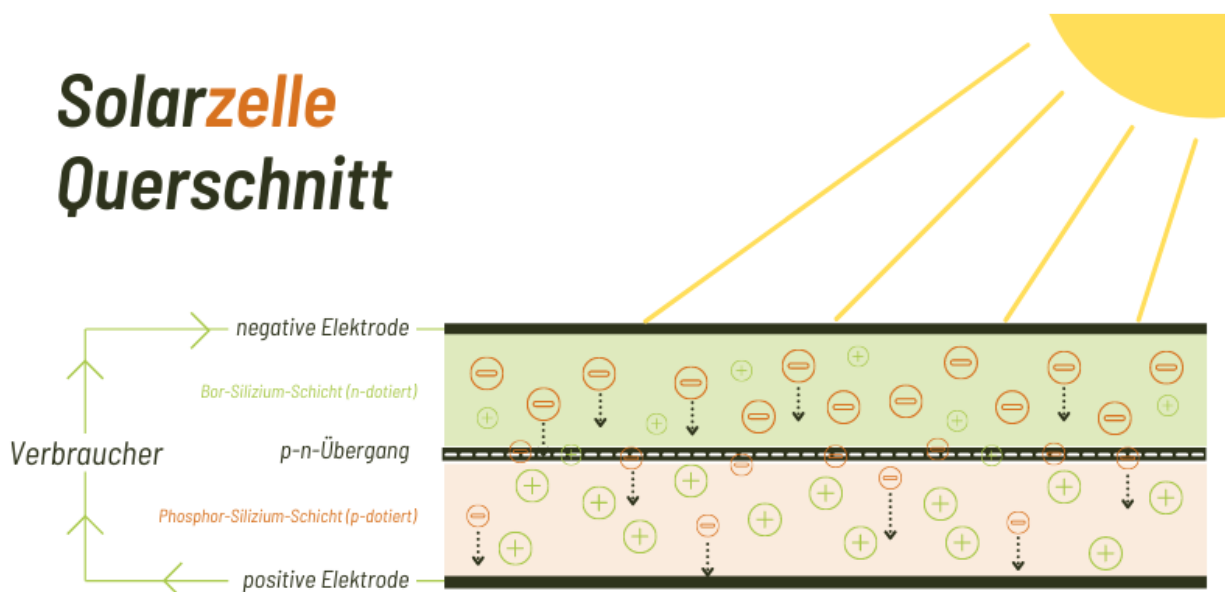
Slika 3. Solarni panel

Gornji sloj solarnih ćelija formira plavi „sloj protiv refleksije”. Ovo sprečava refleksiju svjetlosti. Proizvodnja električne energije od sunčeve svjetlosti solarnog panela zasnovana je na takozvanom foto efektu. Proces je sljedeći:

Solarna ćelija se sastoji od negativnog i pozitivnog polarizovanog silicijumskog sloja. Jedan od dva sloja se uvijek sastoji od poluprovodničkog silicijuma i elementa s nedostatkom elektrona, najčešće bora. Drugi sloj ćelije sastoji se od silicija i elementa sa viškom elektrona, obično fosfora. Sloj bor-silicij je negativno nabijen, a sloj fosfor-silicijum je pozitivno nabijen. Dva sloja silicijuma su razdvojena slojem atoma bora koji su već preuzeli dodatni elektron. Ovaj sloj se naziva i p-n spoj. Višak elektrona u sloju bor-silicijum sada se aktivira upadom sunčeve svjetlosti visoke energije. Kako bi se uspostavila ravnoteža unutar ćelije, elektroni sada migriraju iz negativno nabijenog sloja bor-silicij preko p-n spoja u pozitivni sloj fosfor-silicij. Ova razmjena stvara stalan protok elektrona unutar ćelije. Da bi se ovaj tok elektrona pretvorio u kolo, u posljednjem koraku elektroni se vraćaju na negativnu elektrodu preko vanjskog, metalnog vodiča iz pozitivne elektrode - preko međupotrošača. Solarna energija teče.

Budući da solarni panel pretvara sunčeve zrake u jednosmjernu struju, potrebno je za neke uređaje solarnu struju pretvoriti u naizmjeničnu struju uz pomoć pretvarača. Bitno je da performanse solarnog panela ne zavise od temperature već od intenziteta upadne svjetlosti. Peak

"EUROPE'S ENERGY TRANSITION AND SUSTAINABLE MOBILITY WITH CHALLENGES TO THE SITUATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA"
opisuje maksimalne performanse solarnog sistema. Što je više svjetlosti ozračeno, solarni panel stvara veću energiju.



Slika 4. Uticaj sunca na elektrone p i n tipa Solarnih panela

4. Zaključak

U prvom dijelu rada provedena je analiza optičkih mreža sljedeće generacije i navedeni rezultati istraživanja pojedinih autora na području potrošnje električne energije pristupnih mreža. Tehnički modeli zasnovani su na dokumentu Europske komisije koja je predložila tehnologije pristupnih mreža sljedeće generacije. Uz pomoć matematičkog modela i predložene metode analize prikazan je analitički modeli i metode za predviđanje potrošnje električne energije pristupnih mreža. Metoda analize implementirana je u okviru programskog alata [19] koji predviđa i izračunava utrošak električne energije. Na temelju primijenjene metodologije može se potvrditi sljedeća hipoteza i činjenica Pristupne mreže sljedeće generacije s optičkim vlaknima od centrale do korisnika (FTTH) pokazuju manju potrošnju električne energije od mreže koje u sebi sadrže bakrene dionice. Uzimajući u obzir maksimalnu iskorištenost i visoku efikasnost, modernih solarnih modula da mogu postići snagu od 350 do 450 Wp i podataka iz Tabele 3. o maksimalnoj potrošnji energije na kraju izgradnje i priključenja 8000 pretplatnika može se izračunati broj potrebnih solarnih modula. Predložena metodologija tehno-ekonomske analize primjenjiva je također za analizu pristupnih mreža u drugim zemljama uz primjenu lokalnih parametara uz zaključak da solarni moduli mogu biti primijenjeni za napajanje aktivne opreme u pristupnim mrežama.

5. Literatura

- [1] B. Lannoo, L. Verslegers, D. Colle, M. Pickavet, M. Gagnaire, P. Demeester, “Analytical Model for the IPACT Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for EPONs”, *Journal of Optical Networking*, ISSN 1536-5379, vol. 6, no. 6, pp. 677-688, Jun. 2007.
- [2] S. Verbrugge, K. Casier, B. Lannoo, J. Van Ooteghem, R. Meersman, D. Colle, P. Demeester, “FTTH deployment and its impact on network maintenance and repair costs”, accepted for ICTON/RONEXT 2008
- [3] B. Lannoo, S. Verbrugge, J. Van Ooteghem, B. Quinart, M. Casteleyn, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester, “Business Model for a Mobile WiMAX Deployment in Belgium”, published in “Mobile WiMAX”, Chapter 18, ISBN: 978-0-470-51941-7, Edited by K-C Chen, J. R. B. de Marca, Published by John Wiley & Sons, Feb. 2008, pp. 353-375.
- [4] ITU-T Recommendations, “G-series: Transmission systems and media, digital systems and networks” (<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>).
- [5] DSL Forum (<http://www.dslforum.org/>).
- [6] J. M. Cioffi, S. Jagannathan, M. Mohseni, G. Ginis, “CuPON: The Copper Alternative to PON 100 Gb/s DSL Networks”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 6, pp. 132-139, Jun. 2007.
- [7] Point Topic: Global broadband statistics (<http://www.point-topic.com>)
- [8] DOCSIS (<http://www.docsis.org/>).
- [9] CableLabs (<http://www.cablelabs.com/>).
- [10] P. E. Green, “Fiber-to-the-Home: The Next Big Broadband Thing”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 9, pp. 100-106, Sep. 2004.
- [11] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force (<http://www.ieee802.org/3/ah/>).
- [12] IEEE 802.3av Task Force, 10Gb/s Ethernet Passive Optical Network, (<https://www.ieee802.org/3/av/>).
- [13] ITU-T G.984.1, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON):General characteristics,” Mar. 2003.
- [14] ITU-T G.984.2, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON):Physical Media layer specification,” Mar. 2003.
- [15] ITU-T G.984.3, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON):Transmission convergence layer specification,” Feb. 2004.
- [16] ITU-T G.984.4, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification,” Jun. 2004.
- [17] ITU-T G.984.5, “Enhancement band for gigabit capable optical access networks”, Sep. 2007.
- [18] Huawei Digital Power SUSTAINABILITY REPORT, 2021
- [19] Z. Havić, Usporedna analiza arhitektura i scenarija uvođenja optičke pristupne mreže sljedeće generacije, DOKTORSKA DISERTACIJA
- [20] ADVA: Performance, Cost, and Energy Consumption in Next-Generation WDM-based Access *BROADNETS 2010*, Athens, October 2010, pp.1-20.