

HIBRIDNI PRISTUP U STRATEŠKOM PLANIRANJU NG-PON_x I FTTC/VDSL MREŽA U PRIGRADSKIM PODRUČJIMA

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić, Miodrag Bakmaz
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
cobaja@sf.bg.ac.rs, valentin@sf.bg.ac.rs, bakmaz@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *U radu je prikazan prošireni model za alokaciju resursa pri dugoročnom planiranju širokopoljanskih mreža baziranih na upotrebi NG-PON1, NG-PON2, kao i FTTC/VDSL i FTTC/VDSL 2 tehnologija. Prikazani model se odnosi na razvoj novih širokopoljanskih mreža za pristup u slučaju green-field pristupa planiranja resursa, gradskih i prigradskih područja. Predloženi model uključuje i alokaciju CO/Cabinet/DP čvorišta, primenjenog na strateškom nivou planiranja mreže.*

Ključne reči: *planiranje, mreža za pristup, NG-PON1, NG-PON2, VDSL, tehnologija*

1. Uvod

Standardni multimedijalni servisi, poput VoD i HDTV, prošireni sa ponudom internet servisa sa visokim stepenom interakcije sa *cloud* okruženjem, imaju dominantan uticaj na izbor pristupnih širokopoljanskih tehnologija koje se nude rezidencijalnim korisnicima od strane operatora mreže. Pitanje izbora odgovarajuće širokopoljanske tehnologije povezuje se sa nivoom životnog standarda građana i ekonomskim razvitkom društva u celini. S tim u vezi, strateško planiranje širokopoljanskog pristupa u rezidencijalnim gradskim i prigradskim područjima postaje standardni deo aktivnosti prilikom planiranja novih gradskih i prigradskih naselja. Kada je reč o strateškom planiranju resursa mreže, treba imati u vidu i unapređenje standarda u zemljama u okruženju, a posebno u zemljama Evropske unije, gde je, u maju 2010. godine, Evropska komisija postavila jedan od značajnih ciljeva u okviru Digitalne agende za Evropu, a koji glasi [1]: “*Za dostizanje svetskih lidera, poput Južne Koreje i Japana, u Evropi je potrebno obezbediti da svaki građanin poseduje brzinu download linka od 30Mb/s, kao i da najmanje 50% domaćinstava budu pretplaćena za brzine iznad 100Mb/s do 2020. godine.*” Iako se u ovoj smernici navodi da se ciljane brzine odnose na *downstream* sekciju, moderni servisi, pogotovo oni koji se odnose na interakciju sa *cloud* okruženjem, oblikuju potrebe korisnika za povećanjem brzina i na *upstream* sekciji pristupnih veza. U tom kontekstu, taj odnos bi trebao da bude 1:1.

Imajući u vidu tehnološki razvoj, sadašnje i buduće potrebe korisnika, mogu se izdvojiti nekoliko pristupnih širokopoljanskih tehnologija kao pogodne za implementaciju u procesu planskog proširenja gradskog područja. Plansko proširenje se, po pravilu, odnosi na sistemsku izgradnju novih prigradskih naselja, u skladu sa usvojenim

urbanističkim planovima. S obzirom da se ovakvi urbanistički akti usvajaju za dugoročne periode, planiranje širokopojsnih mreža za pristup u navedenom kontekstu takođe treba da ima dugoročni karakter.

Dugoročno planiranje razvoja optičkih mreža, koje obuhvata i optičku mrežu za pristup, može se podeliti na dve faze aktivnosti: strateško i fundamentalno planiranje [2]. Strateško planiranje saobraćajnog područja, u opštem slučaju, predstavlja fazu aktivnosti u kojoj se teži ka definisanju rešenja koja se odnose na arhitekturu mreže i primenu odgovarajućih tehnologija. Navedena rešenja predstavljaju rezultat komparativnih analiza mogućih opcija razvoja posmatrane mreže, koja bi trebalo da zadovolje postavljene kriterijume [2]. Ovo uključuje i tehnno-ekonomsku analizu razvoja posmatrane mreže, na osnovu koje se može utvrditi ekonomska isplativost investiranja u implementaciju svake od razmatranih tehnologija [3-5]. Planiranje jedne mreže na strateškom nivou može podrazumevati izgradnju potpuno nove mreže ili proširenje postojeće, sa ili bez bitnih izmena. Planiranje potpuno nove mreže realizuje se kroz primenu jednog od odgovarajućih, tzv. *greenfield* pristupa, dok se za planiranje proširenja postojeće mreže, koristi jedan od tzv. *brownfield* pristupa. U fazi fundamentalnog planiranja (ili tzv. planiranja na strateškom nivou), nadalje, u skladu sa odabranim pristupom, definiše se struktura posmatrane mreže na bazi arhitekture i odabranih tehnologija. U ovoj fazi se razmatraju problemi dodeljivanja funkcija mrežnim čvorovima, problemi vezani za planiranje topologije mreže, sjedinjavanje funkcija na različitim slojevima mreže, kao i definisanje optimalne mrežne strukture [2].

Pošto se sistemska izgradnja novih gradskih i prigradskih naselja najčešće odvija na nenaseljenom terenu, razvoj nove širokopojsne mreže za pristup treba posmatrati upravo u kontekstu *greenfield* planiranja, na koje je stavljen akcenat u ovom radu. Imajući u vidu standarde definisane kroz navedene smernice Evropske komisije, u radu je dat pregled pogodnih tehnologija za pristupne brzine bliske 100Mb/s po domaćinstvu, koje, pored optičkih, podrazumevaju i žičnu VDSL i VDSL 2 tehnologiju, uključenu u analizu, zbog visokog stepena penetracije u rezidencijalnom sektoru [4]. Takođe, prikazan je pregled aktuelnih metodologija za fundamentalno planiranje topologije širokopojsnih mreža, kao i uopšteni model kojim se preporučuje odgovarajući paket metoda za alokaciju optičkih NG-PON1, NG-PON2, kao i žičnih VDSL i VDSL 2 komponenata. U zavisnosti od primenjene arhitekture, u slučaju pasivnih optičkih mreža (PON), razlikuju se: *Fibre to the home* (FTTH) arhitektura, *Fibre to the building* (FTTB) arhitektura, *Fibre to the distribution point* (FTTDp) i *Fibre to the curb* ili *cabinet* (FTTC). Sve navedene arhitekture detaljnije su objašnjene u [1], [5].

Rad je podeljen na sledeće celine: u drugoj sekciji je prikazan kratak pregled tehnologija mreža za pristup u rezidencijalnom sektoru, uključujući koegzistenciju NG-PONx i VDSL tehnologija. U trećoj sekciji je pružen pregled metoda za alociranje mrežnih komponenata u naseljenim područjima. U četvrtoj sekciji prikazan je prošireni model za izbor odgovarajućih metoda za alokaciju NG-PONx i VDSL komponenti, nakon čega su izvedeni odgovarajući zaključci.

2. Kratak pregled tehnologija mreža za pristup u rezidencijalnom sektoru

Permanentni rast zahteva za multimedijalnim i internet servisima rezultovao je pojavom nekoliko ključnih tehnologija za realizaciju širokopojsnog pristupa, koje su postale dominantne u rezidencijalnom sektoru (tabela 1). Ipak, rapidni rast zahteva za

pristupnim brzinama, kao i pad cena pretplatničkog pristupa širokopojasnim tehnologijama, pružio je mogućnost penetracije novih generacija pristupnih tehnologija, za koje se očekuje da zauzmu dominantnu poziciju na tržištu digitalnih tehnologija.

Tabela 1. *Opšte karakteristike postojećih pristupnih tehnologija*

Pristupna tehnologija	Standard	Medijum	Downstream brzina	Upstream brzina	Maksimalan domet (km)
ADSL	ITU G.992.1	Parica	15 Mb/s	3.8 Mb/s	5.5
VDSL	ITU G.993.1	Parica	100 Mb/s	30 Mb/s	0.5
BPON	ITU G.983.3-5	optičko vlakno	622 Mb/s	155 Mb/s	20
GPON	ITU G.984.1-4	optičko vlakno	2.5 Gb/s	1.25 Gb/s	20
EPON	IEEE 802.3ah	optičko vlakno	1 Gb/s	1 Gb/s	20
10G-EPON	IEEE 802.3av	optičko vlakno	10 Gb/s	1/10 Gb/s	20
XG-PON	ITU G.987	optičko vlakno	10 Gb/s	2.5 Gb/s	20
NG-PON2	ITU G.989	optičko vlakno	40 Gb/s	10 Gb/s	20

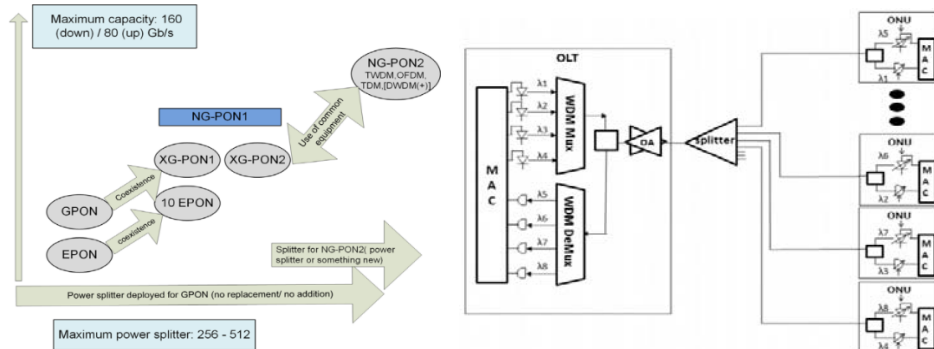
Smena generacija može se uočiti na primeru xDSL tehnologija, gde *Assimetric digital subscriber loop* (ADSL) napušta dominantnu poziciju i biva zamenjena sa *Very high speed digital subscriber loop* tehnologijama prve generacije (VDSL), kao i druge generacije (VDSL2), gde postoje različita rešenja, zavisno od tipa instalacije (tabela 2). U ovom radu se stavlja naglasak na VDSL2 *vectoring* tehnologiju, koja omogućava protok od 100/40 Mb/s (*downstream/upstream* brzina, respektivno), na rastojanjima do 500m između *cabinet*-a i CPE uređaja, koji je lociran u samom rezidencijalnom objektu. *Vectoring* tehnologija (ITU-T G.993.5) pruža mogućnost dinamičkog potiskivanja efekta *far-end* preslušavanja (self-FEXT), kako na *downstream*, tako i na *upstream* sekciji signala [6].

Tabela 2. *Opšte karakteristike VDSL2 tehnologija [7]*

Instalacija / Tehnologija	profil signala	maksimalna frekvencija (MHz)	downstream protok (Mb/s)	rastojanje do CPE uređaja (km)
FTTC / VDSL2	17a	17	50	1
FTTC / VDSL2 <i>vectoring</i>	17a	17	100	0.5
FTTDp / pre-G.fast	30a	30	250	0.05-0.2
FTTDp / G.fast (ITU G.9701)	n.a	106 i 212a	1000	0.05-0.2

U slučaju optičkih tehnologija za pristup mogu se uočiti rešenja koja će uticati na smenu generacija navedenih PON tehnologija [8]. Naime, organizacije FSAN, IEEE i ITU predložile su razvoj *Next generation PON* mreža, koje su podeljene u dve faze – prva (NG-PON1) i druga (NG-PON2) [9, 10]. NG-PON1 generacija obuhvata optičke tehnologije za pristup, koje se smatraju prelaznim u procesu standardizacije tehnologija koje pripadaju drugoj fazi razvoja (slika 1, levo). Ovoj generaciji pripadaju XG-PON tehnologija (kao direktni naslednik G-PON tehnologije) i 10G-EPON (kao direktni naslednik E-PON tehnologije). Jedna od bitnih karakteristika obeju tehnologija, koje pripadaju NG-PON1 klasi, je puna kompatibilnost i mogućnost koegzistencije sa prethodnom generacijom [10]. Druga faza optičkih mreža za pristup naredne generacije, NG-PON2 (ITU G.989), je standard prvobitno predložen od strane FSAN, sa kojim se obezbeđuje rad na brzinama ne manjim od 40Gb/s, uz postojanje određenog stepena

kompatibilnosti sa starijim tehnologijama (slika 1, levo), sa što nižim troškovima implementacije. Među potencijalnim konfiguracijama (WDM-PON, TDM-PON, TWDM-PON i OFDM-PON) na zahtevanoj brzini, prikazanoj u tabeli 1 za NG-PON2 tehnologiju, najveću efikasnost u izvedenim studijama, pokazala je TWDM-PON konfiguracija, koja je zadovoljila zahteve vezane za kompatibilnost i implementaciju sa relativno niskim nivoom troškova [11, 12] (slika 1, desno).



Slika 1. Razvoj NG-PON tehnologija, (levo, [10]) i NG-PON2 realizacija sa TDWDM-PON konfiguracijom (desno, [11])

Imajući u vidu prethodne generacije G-PON i XG-PON, može se uočiti da se na OLT izlazu dodaje optički pojačivač OA, dok se na strani ONU/ONT koriste podesivi talasni laseri, što, prema stavu autora studije [11], predstavlja jedinu značajnu razliku, bez znatnijeg uticaja na troškove implementacije.

3. Modeli za prostorni raspored komponenta mreža za pristup

Problem prostornog rasporeda elemenata pasivnih optičkih mreža može se rešavati na različite načine, zavisno od vrste pristupa koju zahteva stanje na terenu (*greenfield* ili *brownfield*). Bez obzira na pristup, ciljevi koje je neophodno ispuniti u najvećem broju slučajeva vezani su za minimizaciju kapitalnih, odnosno troškova izgradnje posmatrane mreže (CAPEX), kao i naknadnih operativnih troškova (OPEX), koji se generišu u toku eksploatacije mrežnih resursa realizovanih na osnovu posmatranog plana. Detaljan pregled troškova, prikazan u većem broj scenarija, koji mogu figurisati u modelu optimizacije problema prostornog planiranja FTTH mreža predstavljen je u modelu iz [13]. Minimizacija troškova *greenfield* pristupa planiranju pasivnih optičkih mreža prikazana je u radu [14]. Matematička optimizacija troškova, vezana za rešavanje prostornog plana FTTH mreže, može se videti u [15], dok je detaljan pregled heuristike, bazirane na rešavanju problema tzv. Štajnerovog drveta, prikazan u [16] i [17]. Takođe, različiti pristupi rešavanju lokacijskih problema formulisanih kroz problem Štajnerovog drveta, prikazani su u [18].

U najširem smislu, način rešavanja prostornog rasporeda komponenta mreže za pristup utiče na nivo (i) troškova nabavke aktivne opreme (poput OLT uređaja, optičkih splitera (OS) i drugih elemenata), (ii) troškova na izvođenju radova, koji se odnose na iskopavanje kanala, izgradnju podzemne infrastrukture za polaganje vodova, samo polaganje vodova i dr., kao i (iii) troškova nabavke pasivne mrežne opreme (poput

optičkih kablova i sl.). Troškovi radne snage na izvođenju radova (koji imaju najveći udeo i strukturi troškova [14, 17,18]), kao i troškovi nabavke optičkih i drugih vodova se, po pravilu, definišu po jedinici dužine. Na ovaj način je stvorena direktna veza između troškova izgradnje i rastojanja između elemenata mreže koje treba povezati, što znači da se optimizacijom rasporeda komponenata mreže može izvršiti i optimizacija troškova izgradnje posmatrane mreže za pristup na osnovu utvrđenog plana.

4. Hibridni pristup rešavanju problema alokacije NG-PONx i FTTC/VDSL mreže za pristup

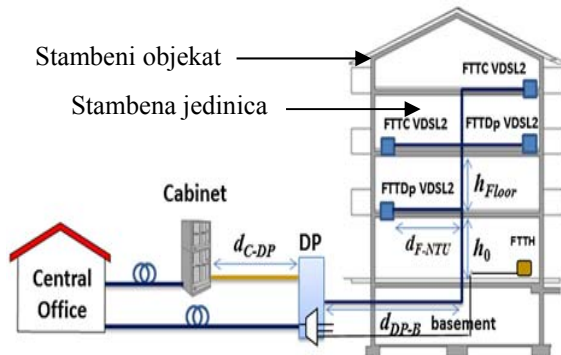
Kao što je već navedeno, ovaj rad je orijentisan na *greenfield* pristup rešavanju lokacijskog modela rasporeda mrežnih elemenata u slučaju izgradnje novih prigradskih naselja. Predloženi model bazira se na sledećim pretpostavkama:

- pre izgradnje posmatranog prigradskog naselja ne postoji ulična mreža i infrastruktura;
- utvrđena je detaljna urbanistička regulacija planiranog prigradskog naselja;
- u toku izgradnje posmatranog naselja biće formirana kompletna ulična mreža sa podzemnom infrastrukturom;
- na osnovu priloženih građevinskih dozvola, poznata je struktura stambenih objekata (npr. spratnost), kao i broj stambenih jedinica po objektu;
- poznata je struktura i raspored pratećih objekata (škole, ambulante, centri itd);
- ostavljena je mogućnost za lociranje neophodnog broja CO (*Central Office*) i drugih telekomunikacionih objekata, koji pripadaju analiziranoj mreži za pristup u posmatranom naselju.

Predloženi model treba da na jednostavan način reši lokacijski problem rasporeda elemenata mreže za pristup na dugoročnom periodu. U ovom slučaju, *greenfield* pristup se predlaže na osnovu pretpostavke da će nivoi CAPEX troškova biti značajno smanjeni ukoliko se polaganje vodova i drugih komponenata vrši u periodu izgradnje podzemne strukture ulične mreže. Na ovaj način troškovi kopanja kanala i drugih radova na podzemnoj infrastrukturi, mogu se podeliti prema broju zainteresovanih investicionih strana, prema odgovarajućim udelima.

Hibridni pristup u predloženom modelu uključuje mogućnost rasporeda elemenata mreže za pristup koji pripadaju FTTH, FTTC/VDSL i FTTC/VDSL2 pristupnim NG-PON2 arhitekturama (slika 2). Ovakav pristup se zasniva na tehnno-ekonomskim analizama, koje ukazuju na pad cena FTTH pristupne opreme, ali i na visok stepen penetracije xDSL tehnologija u rezidencijalnom sektoru [3, 4]. S obzirom da su studije [19, 20] [7] pokazale prisustvo neželjenih *alien-FEXT* efekata u slučaju koegzistencije ADSL/VDSL i VDSL2 tehnologija pri deljenju istih Dp elemenata, predloženi model uključuje rešenje vektorizacije podopsega, što je detaljnije predstavljeno u [20]. Navedeno rešenje se reflektuje na problem alokacije uređaja od uličnog ormara (*cabinet*), putem bakarnog i optičkog voda, do Dp lokacije u podrumu stambenog objekta, u kome je lociran optički splitter. Ako je tehnno-ekonomskom analizom prognozirano prisustvo dva ili više VDSL/VDSL2 operatora, onda je na CO lokaciji potrebno planirati instalaciju jednog OLT uređaja po operatoru, što važi i za uličnu infrastrukturu, gde je na svakoj tački, u cilju uspešnog sprovođenja tehnike vektorizacije, neophodno planirati jedan fizički odvojen ulični ormar ili Dp rek. Ovakav scenario dovodi do stvaranja komplikovane VDSL/VDSL2 infrastrukture, koja

predstavlja generator visokog nivoa OPEX troškova, a time i poslovnog rizika. Ipak, nivo OPEX troškova, kao i rizik, moguće je značajno redukovati primenom alternativnog pristupa [6], u kome jedan (primarni) VDSL/VDSL2 operator dobija mogućnost jedinstvenog upravljanja VDSL/VDSL2 mrežom, uz uslov pružanja mogućnosti da drugi operatori ponude korisnicima svoje usluge kroz tunelizovani *bitstream* pristup.



Slika 2. FTTH, FTTC/VDSL i FTTC/VDSL2 konfiguracija (adaptirana [7])

Predloženo rešenje predstavlja proširenje osnovnog modela za rešavanje lokacijskog problema raspoređivanja mrežnih komponenti pasivne optičke mreže primenom pristupa *klasterizacije metodom k-srednjih vrednosti* [21]. Pristup se zasniva na grupisanju n tačaka u k različitih klastera ($n < k$), pod uslovom da u svakom klasteru postoji *centroid*, na poziciji za koju je ispunjen uslov minimalne sume kvadrata rastojanja između centroida i svake pripadajuće tačke ponaosob [22]. Ovaj pristup je baziran na ideji da identifikovani centriodi pripadajućih klastera ONU/ONT elemenata predstavljaju tačke instalacije mrežnih koncentracija (optičkih splitera). Dobijene tačke optičkih splitera postaju elementi novih klastera (na višem hijerarhijskom nivou), čiji centriodi predstavljaju tačke u kojima treba locirati CO. Broj hijerarhijskih nivoa zavisi od odnosa broja ONU i parametra *splitting ratio* (SR) optičkih splitera, u posmatranom slučaju. Motivacija za proširenje navedenog modela vezana je za mogućnost formiranja optičke distributivne mreže (ODN) sa efikasnim iskorišćenjem podzemnih instalacija, pogotovo u slučaju upotrebe tzv. *share conduit* elemenata, koji pružaju mogućnost polaganja većeg broja optičkih vodova po jednoj trasi, kao i naknadnog uvođenja dodatnih vodova bez ponovnog kopanja kanala.

Osnovni model iz [21], koji se odnosi isključivo na FTTx arhitekture u prvom koraku, uključuje unos pozicija jedne ili više CO tačaka, svih pozicija ONU/ONT tačaka, kao i maksimalnu vrednost SR. Predloženi hibridni pristup, pored FTTx konekcija, uključuje i FTTC/VDSL/VDSL2 tehnologije, čime se omogućuje instalacija optičkih splitera, kako na DP lokacijama, tako i u uličnim ormarima (*cabinet*-ima), gde dele lokaciju sa VDSL/DSLAM elementom. S obzirom da postoji maksimalna vrednost razdaljine VDSL2/CPE i VDSL2/DSLAM uređaja pri kojoj je moguća realizacija protoka od 100Mb/s, prošireni model predviđa dvofazno rešavanje, gde se u prvoj fazi modela vrši lociranje uličnih ormara sa DSLAM uređajima, na osnovu rastojanja od najudaljenijeg VDSL2 CPE uređaja, u scenarijima sa jednim ili više VDSL/VDSL2 operatora, a zatim se, u drugoj fazi, nad identifikovanim lokacijama vrši lociranje PON splitera primenom osnovnog modela [21].

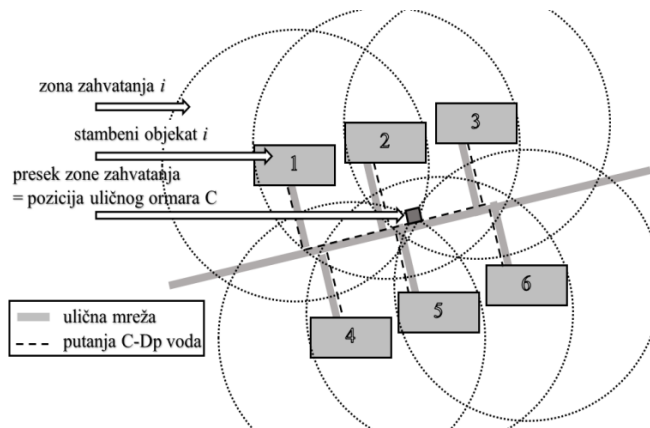
Prva faza započinje proračunom rastojanja d_{Dp-A}^i , od najudaljenijeg VDSL/CPE uređaja u stambenom objektu do Dp lokacije (slika 4), za svaki stambeni objekat i pojedinačno, na osnovu sledeće formule:

$$d_{Dp-A}^i = n_{hmax}^i \cdot h_{Floor} + h_0 + d_{F-NTU}^{max} + d_{Dp-B} + 20 \quad (1)$$

gde je n_{hmax}^i broj spratova objekta i ; d_{F-NTU}^{max} maksimalno rastojanje od vertikalnog razvoda u stambenom objektu do NTU uređaja u stambenoj jedinici; h_{Floor} spratna visina, h_0 visina prizemlja; d_{Dp-B} rastojanje od Dp elementa do vertikalnog razvoda u stambenom objektu i pretpostavljena rezerva kabla dužine 20m. Dobijena vrednost d_{Dp-A}^i se potom oduzima od maksimalne prihvatljive razdaljine za VDSL2 (500m), čime je definisan poluprečnik tzv. zone zahvatanja (*catchment area*, $ca_i = 500 - d_{Dp-A}^i$), u kojoj je prihvatljiva instalacija uličnog ormara, u odnosu na poziciju posmatranog stambenog objekta (odnosno njemu pripadajuće Dp lokacije). Iako zona zahvatanja podrazumeva teorijsku instalaciju uličnog ormara u bilo kojoj pripadajućoj tački, optimalna lokacija se redukuje na skup tačaka koje pripadaju linijama uređene ulične mreže. To znači da se rastojanje Dp lokacije do uličnog ormara ne mora računati kao euklidsko (osim u slučajevima gde situacija na terenu to dozvoljava), već se proračun vrši po tzv. *Manhattan* pravilu, gde se rastojanje d_{C-Dp} između uličnog ormara C_i i Dp_j lokacije, sa njihovim koordinatama x i y , dobija prema osnovnoj formuli:

$$d_{C-Dp} = |C_i x - Dp_j x| + |C_i y - Dp_j y| \quad (2)$$

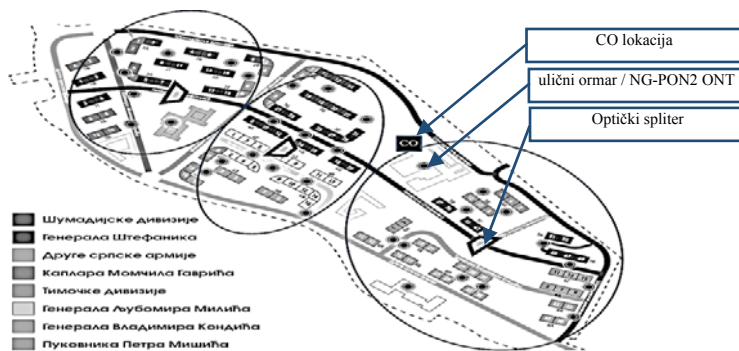
Pošto je ova vrsta rastojanja ekvivalentna zbiru dužina kateta pravougaonog trougla, onda se može reći da taj zbir ne može biti veći od dužine hipotenuze, pomnožene sa $\sqrt{2}$, pa je, u ovom slučaju, $ca_i = d_{C-Dp} / \sqrt{2}$. Proračun poluprečnika zone zahvatanja po *Manhattan* pravilu zasiva se na činjenici da najveći procenat stambenih objekata ima pristupnu podzemnu infrastrukturu sa upravnom orijentacijom u odnosu na poduznu osu prilazne ulice. Na ovaj način preseki ulične mreže i zona zahvatanja jednog ili više pripadajućih stambenih objekata identifikuju potencijalne tačke u kojima je moguća instalacija uličnih ormara (slika 3). U slučaju da orijentacija pristupne podzemne infrastrukture nije upravna, razdaljinu ca_i treba izračunati odgovarajućim matematičkim pristupom.



Slika 3. Lociranje uličnog ormara primenom tehnike zone zahvatanja

Prva faza hibridnog pristupa završava se dodavanjem informacije o broju VDSL/VDSL2 operatora. Ako je tehnо-еkоnоmska analiza pokazala оpravdanost scenarija u kоme postoji јedan VDSL/VDSL2 primarni operator, kоji оbezbeđuje *bitstream* servise sekundarnim VDSL/VDSL2 operatorima, tada se prelazi na drugu fazu predloženog hibridnog pristupa. U drugom scenariju, gde je pokazana оpravdanost poslovanja dva ili više VDSL/VDSL2 operatora sa sоpstvenim mrežnim resursima, broj uličnih ormara i rekova na Dp lokacijama, na identifikovanim pozicijama, množi se sa prognoziranim brojem operatora. Pošto ulični ormari moraju da budu instalirani sa razdvajanjem na odgovarajućој udaljenosti [20], na identifikovanim lokacijama se vrši dodatna provera da li se razdvojene lokacije nalaze unutar utvrđenih zona prihvatanja. Sa identifikacijom ukupnog broja uličnih ormara i Dp lokacija prikupljeni su svi neophodni podaci za pokretanje druge faze hibridnog pristupa, kоja podrazumeva primenu originalnog modela [21], kroz *klasterizaciju metodom k-srednjih vrednosti*.

Navedeni pristup primenjen je na primeru naselja „Stepa Stepanović“ u Beogradu. Prema raspoloživim podacima, naselje sadrži 44 stambena objekta, sa 4616 stambenih јединica, sa novom uličnom infrastrukturom ukupne dužine 9,5km (slika 4).



Slika 4. *Primena hibridnog pristupa na primeru naselja „Stepa Stepanović“*

U navedenim stambenim objektima postoji 116 stambenih ulaza. Usled nedostatka detaljnijih podataka za potrebe ovog primera, usvojeno je da svaki stambeni ulaz ima 40 stambenih јединica i predstavlja osnovnu Dp lokaciju. Na osnovu prikazanih podataka, primenom predloženog modela, identifikovan je 31 ulični kabinet za stambene objekte i 3 lokacije u јавnim objektima (za kоje je usvojen status lokacije sa 10G NG-PON2 ONT uređajima). CO lokacija snabdevena je sa 14 linijskih kartica. Na osnovu јednačina (1), (2) i primenom osnovnog modela, dobijena su 33 ulična kabineta, grupisana u 3 klastera 1. nivoa, sa definisanim lokacijama za splitere 1. nivoa. Navedeni klasteri su nadalje izdеljeni u 14 podklastera (4, 5 i 5, respektivno), čime je istovremeno određen i broj OLT kartica kоje treba instalirati u CO objektu. Isti broj splitera je mogućе postaviti na navedenim lokacijama za splitere 1. nivoa.

4. Zaključak

Predstavljeni hibridni pristup pruža mogućnost lociranja komponenata NG-PON2 FTTC/VDSL/VDSL2 mreže, prilikom planiranja širokopojasnih mreža za pristup u uslovima izgradnje novih gradskih i prigradskih područja. Primenom predloženog

modela u okviru planske izgradnje naselja, značajno se može umanjiti nivo CAPEX troškova strateški planiranih NG-PONx mreža. Predloženim pristupom moguće je planiranje mreže za pristup sa koegzistencijom navedenih tehnologija. Iako studije pokazuju značajan nivo penetracije VDSL/VDSL2 tehnologija, nije isključeno da će ovaj nivo penetracije opadati u korist stepena penetracije FTTH tehnologija, za koje se očekuje permanentni pad cena pristupne opreme, pogotovo *multi-dwelling unit* elemenata, što će značajno pojednostaviti strukturu mreža za pristup.

Zahvalnica

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata TR36012 i TR32025.

Literatura

- [1] R. Zhao, W. Fischer, E. Aker and P. Rigby, "White Paper: Broadband Access Technologies," *A White Paper by the Deployment & Operations Committee*, 2013.
- [2] International Telecommunication Union, *Telecom Network Planning for evolving Network Architectures. Reference manual draft version 5.1 part 1*, International Telecommunication Union, 2008.
- [3] T. Rokkas, D. Katsianis and D. Varoutas, "Techno-economic evaluation of FTTC/VDSL and FTTH roll-out scenarios: discounted cash flows and real option valuation," *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 2, no. 9, pp. 760-772, 2010.
- [4] M. Blanuša and P. Matavulj, "Tehno-ekonomski aspekti planiranja i razvoja optičkih mreža," *Telekomunikacije*, vol. 09, pp. 2-20, 2012.
- [5] FTTH Council Europe, *FTTH Handbook*, 7 ed., FTTH Council Europe, 2016.
- [6] S. Vanhastel and P. Spruyt, "VDSL2 Vectoring in a Multi-operator Environment Separating Fact from Fiction," *Alcatel-Lucent TechZine*, March 21st, 2012.
- [7] F. Mazzenga, M. Petracca, F. Vatalaro, R. Giuliano and G. Ciccarella, "Coexistence of FTTC and FTTP network architectures in different VDSL2 scenarios," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 2014.
- [8] M. Abrams, P. C. Becker, Y. Fujimoto, V. O'Byrne and D. Piehler, "FTTP deployments in the United States and Japan-equipment choices and service provider imperatives," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, no. 1, p. 236, 2005.
- [9] F. Effenberger and T. S. El-Bawab, "Passive optical networks (PONs): past, present, and future," *Optical Switching and Networking*, vol. 6, no. 3, pp. 143-150, 2009.
- [10] S. Bindhaiq, A. S. M. Supa, N. Zulkifli, A. B. Mohammad, R. Q. Shaddad, M. A. Elmagzoub and A. Faisal, "Recent development on time and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation passive optical network stage 2 (NG-PON2)," *Optical Switching and Networking*, vol. 15, pp. 53-66, 2015.
- [11] Y. Luo, X. Zhou, F. Effenberger, X. Yan, G. Peng, Y. Qian and Y. Ma, "Time-and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation PON stage 2 (NG-PON2)," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 587-593, 2013.

- [12] Huawei, *Next-Generation PON Evolution*, Huawei Technologies CO., Ltd, 2010.
- [13] M. Żotkiewicz, M. Mycek and A. Tomaszewski, "Profitable areas in large-scale FTTH network optimization," *Telecommunication Systems*, vol. 61, no. 3, pp. 591-608, 2016.
- [14] J. Li and G. Shen, "Cost minimization planning for greenfield passive optical networks," *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 1, no. 1, pp. 17-29, 2009.
- [15] S. van Loggerenberg, L. Grobler and F. Terblanche, "Optimization of PON planning for FTTH deployment based on coverage," in *Proceedings in The Southern Africa Telecommunication Networks and Applications Conference, SATNAC 2012*, 2012.
- [16] A. Mitscenkov, G. Paksy and T. Cinkler, "Geography-and infrastructure-aware topology design methodology for broadband access networks (FTTx)," *Photonic Network Communications*, vol. 21, no. 3, pp. 253-266, 2011.
- [17] H. N. Le, "FTTH Network Optimization," *Journal of Telecommunications and Information Technology*, no. 4, p. 88, 2014.
- [18] M. Grötschel, C. Raack and A. Werner, "Towards optimizing the deployment of optical access networks," *EURO Journal on Computational Optimization*, vol. 2, no. 1-2, pp. 17-53, 2014.
- [19] A. Colmegna, S. Galli and M. Goldberg, "Methods for supporting vectoring when multiple service providers share the cabinet area," *FASTWEB/ASSIA Vectoring White Paper*, 2012.
- [20] F. Vatalaro, F. Mazzenga and R. Giuliano, "The Sub-band Vectoring Technique for Multi-Operator Environments," *arXiv preprint arXiv:1603.07693*, 2016.
- [21] H. Chen, Y. Li and G. Shen, "Planning for Passive Optical Network Deployment with K-means Clustering-based Approach," in *Asia Communications and Photonics Conference 2015*, 2015.
- [22] J. A. Hartigan and M. A. Wong, "Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm," *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, vol. 28, no. 1, pp. 100-108, 1979.

Abstract: *This paper presents an extended model for allocating resources in the long-term planning of broadband networks based on the use of NG-PON1, NG-PON2 and FTTC/VDSL/VDSL2 technologies. The present model refers to the development of broadband networks to access new suburban areas. The proposed concept includes the allocation of CO / Cabinet / DP nodes, in the case of green-field approach, applied at the strategic level network planning.*

Keywords: *planning, access network, NG-PON1, NG-PON2, VDSL, technologies*

HYBRID APPROACH TO STRATEGIC PLANNING OF NG-PONx AND FTTC/VDSL NETWORK IN SUBURBAN AREAS

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić, Miodrag Bakmaz