

ANALIZA IZGRADNJE SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE U GRADSKOM KOTARU PLOKITE

Župić, Ante Krešimir

Graduate thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:228:105487>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE
Specijalistički diplomski stručni studij elektrotehnike

ANTE KREŠIMIR ŽUPIĆ

ZAVRŠNIRAD

**ANALIZA IZGRADNJE SVJETLOVODNE PRISTUPNE
MREŽE U GRADSKOM KOTARU PLOKITE**

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij elektrotehnike

Predmet: Svjetlovodni sustavi

ZAVRŠNIRAD

Kandidat: Ante Krešimir Župić

Naslov rada: Analiza izgradnje svjetlovodne pristupne mreže u gradskom kotaru
Plokte

Mentor: dr.sc. Damir Brešković

Split, 2024.

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	2
2.	ARHITEKTURA I TOPOLOGIJA MREŽE.....	3
2.1.	ZNAČAJKE ARHITEKTURE FTTH MREŽE	3
2.1.1.	Topologija "točka –točka"	4
2.1.2.	Topologija "točka - više točaka"	6
2.1.3.	Kombinacija topologije „točka – točka“ i „točka – više točka“	9
3.	SASTAVNI ELEMENTI - PASIVNI DIO FTTH MREŽE	11
3.1.	SVJETLOVODNI RAZDJELNIK	12
3.2.	SVJETLOVODNA SPOJNA PRISTUPNA MREŽA.....	13
3.3.	DISTRIBUCIJSKI ČVOR.....	13
3.3.1.	Primjeri za pozicioniranje distribucijskog čvora	15
3.3.2.	Način određivanja kapaciteta distribucijskog čvora	15
3.4.	SVJETLOVODNA DISTRIBUCIJSKA MREŽA	16
3.5.	IZVEDBA KUĆNE INSTALACIJE	18
4.	PRINCIPI PLANIRANJA SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE.....	20
4.1.	PRINCIP PLANIRANJA SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE - OTVORENI FTTH MODEL	20
4.2.	OSNOVNI PRINCIPI ZA PLANIRANJE MREŽE - URBANO PODRUČJE.....	22
4.2.1.	Princip planiranja kapaciteta svjetlovodne distribucijske mreže - urbano područje	23
5.	ANALIZA IZGRADNJE SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE U GRADSKOM KOTARU PLOKITE.....	25
5.1.	PODRUČJE OBUHVATA	25
5.2.	TREUTNO STANJE DOSTUPNOSTI ŠIROKOPOJASNE MREŽE	26
5.3.	IMPLEMENTACIJA FTTH MREŽE UNUTAR OBUHVATA.....	31
5.4.	PRORAČUN.....	41
6.	ZAKLJUČAK.....	45
	LITERATURA.....	46
	POPIS SLIKA	50
	POPIS TABLICA.....	51

Sažetak

Analiza izgradnje svjetlovodne pristupne mreže u gradskom kotaru Plokite

Cilj ovog diplomskog rada je pružiti sveobuhvatan uvid u planiranje i izgradnju Fiber to the Home (FTTH) mreže, s posebnim naglaskom na arhitekturama, topologijama, sastavnim elementima te principima planiranja svjetlovodne pristupne mreže. Kroz analize različitih modela i studiju slučaja izgradnje u urbanom okruženju, posebno u kvartu Plokite u Splitu, rad ima za cilj pridonijeti razumijevanju tehnologije FTTH, istražiti izazove u planiranju te pružiti smjernice za efikasnu implementaciju ove napredne telekomunikacijske infrastrukture.

Ključne riječi: FTTH, distribucijska mreža, optički sprežnik, optički razdjelnik, OLT, ONT

Summary

Analysis of the construction of fiber optic access network in the city district of Plokite

The goal of this master's thesis is to provide a comprehensive insight into the planning and construction of Fiber to the Home (FTTH) networks, with a particular emphasis on architectures, topologies, key components, and planning principles of the optical access network. Through analyses of various models and a case study of implementation in an urban setting, specifically in the Plokite neighborhood in Split, the thesis aims to contribute to understanding FTTH technology, explore challenges in planning, and offer guidelines for the efficient implementation of this advanced telecommunication infrastructure.

Key words: FTTH, distribution network, optical coupler, optical splitter, OLT, ONT

1. UVOD

Tema ovoga rada je proces izgradnje svjetlovodne pristupne mreže koji će biti prikazan kroz praktični primjer izgradnje svjetlovodne pristupne mreže na području kotara Plokite u gradu Splitu. Cilj rada je dati uvid o izgradnji svjetlovodne pristupne mreže u gradskom kotaru Plokite s više aspekata kroz teorijsku i praktičnu analizu teme.

Ovaj rad podijeljen je na dva dijela (teorijski i praktični) sa ukupno četiri glavna poglavlja. Prvo poglavlje daje opći teorijski pregled arhitekture i topologije FTTH mreže. Pri planiranju i projektiranju mreže bitno je odrediti njenu arhitekturu i topologiju.

Drugo poglavlje daje prikaz strukture pasivnoga dijela FTTH mreže koja je podijeljena na četiri osnovne prostorne cjeline koje uključuju središnji dio FTTx čvora odnosno pripadajući mu ODF dio, spojni pristupni mrežni dio, distribucijski mrežni dio i kućne instalacije.

Treće poglavlje daje detaljniji pregled o planiranju svjetlovodne pristupne mreže prema otvorenom modelu te prikaz razlika u odnosu na prijašnje modele.

U četvrtom poglavlju nalazi se praktični dio koji se odnosi na analizu izgradnje svjetlovodne pristupne mreže u gradskom kotaru Plokite u Splitu. Na kraju rada nalazi se zaključak kao osobni osvrt autora na temu i sadržaj ovoga rada.

2. ARHITEKTURA I TOPOLOGIJA MREŽE

Prilikom planiranja i projektiranja svjetlovodne mreže bitno je odrediti njenu arhitekturu i topologiju. Topologija mreže definira niz različitih kategorija prema kojima se određuju komponente te mreže, a na temelju tih kategorija mreža se može rastaviti na manje komponente kako bi se stvorio raspored elemenata (tlocrt). Potrebno je naglasiti da na odabir topologije i arhitekture imaju utjecaj mogućnosti i svojstva sadašnje arhitekture, tržišni zahtjevi, važeća zakonska regulativa i određeni poslovni ciljevi koji definiraju vremenski okvir i visinu investiranja.

Razvitak telekomunikacijskih mreža doveo je do razvoja određenih arhitektura pristupnih mreža koje mogu isporučiti visokokvalitetne širokopolasne usluge svakom korisniku danas i u doglednoj budućnosti putem optičkih vlakana. Jedna od opće prihvaćenih arhitektura je takozvana FTTH (engl. Fiber To The Home) arhitektura, koja se u pojedinim slučajevima može kombinirati s FTTB (engl. Fiber To The Building) arhitekturom [1]. FTTH i FTTB arhitekture imaju najvišu razinu usluge u pogledu ostvarivanja svih prednosti optičkih mreža [2].

2.1. Značajke arhitekture FTTH mreže

Vođenje svjetlovodnih niti od glavnoga FTTx čvora ili centrale (engl. Central office) do krajnjeg korisnika naziva se FTTH arhitektura mreže. Kod FTTH arhitekture mreže u primjeni su dvije temeljne topologije mreže [3]:

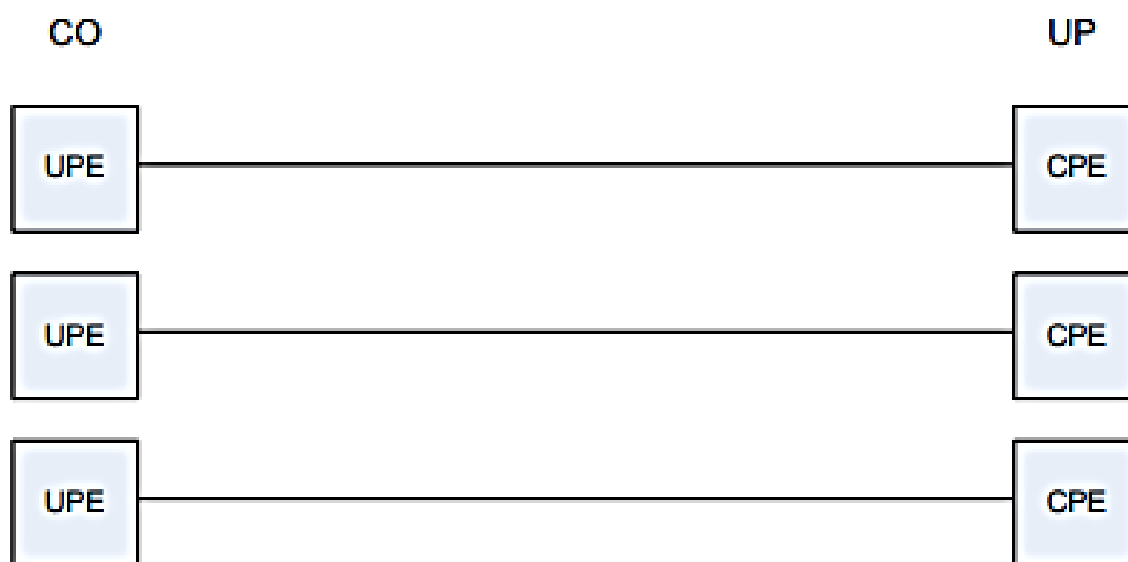
- topologija točka – točka (engl. Point to Point, P2P),
- topologija točka – više točaka (engl. Point to Multi Point, P2MP).

U sljedećem potpoglavlju ovoga dijela rada bit će prikazane navedene topologije s prikazom nedostataka i prednosti. Obje spomenute topologije imaju svoje verzije kroz specifične modele mreže zbog drugačijih situacija unutar kableske kanalizacije, a to se prvenstveno odnosi na stupanj zauzeća, raspoložive dimenzije cijevi i raspoloživost kanalizacije [1]. Obzirom na nisku cijenu ugradnje svjetlovodnih kablova, tehnologija svjetlovodnih mreža

je na zadovoljavajućoj razini da bi se mogla koristiti u svim aspektima postavljanja novih konfiguracija mreža [4].

2.1.1. Topologija "točka –točka"

Kod ove topologije svjetlovodne pristupne mreže svaki pojedini korisnik unutar svoga prostora ima zagarantirano minimum jedno svjetlovodno vlakno čiji je fizički završetak s druge strane pri ODF-u unutar glavnoga čvora. Drugim riječima, jednom korisniku pripada jedno vlakno koje mu je u potpunosti posvećeno [1]. Kod ove topologije mreže moguće je upotrijebiti EFM (engl. Ethernet to the First Mile) platformu koja za prenošenje signala po jednoj standardnoj jednomodnoj niti upotrebljava valne duljine 1310 nanometara i 1550 nanometara tj. 1490 nanometara. Valna duljina koja iznosi 1550 nanometara ili 1490 nanometara upotrebljava se za prenošenje signala od opreme, na strani centrale (UPE na Slici 2.1.), do terminalne opreme koja se nalazi na strani korisnika (CPE na Slici 2.1.). Valna duljina 1310 nanometara upotrebljava se za prenošenje signala od korisnika (CPE na Slici 2.1.) do centrale (UPE na Slici 2.1.) [1]. Upstream podatkovni signali su multipleksirani zajedno uz pomoć TDMA (engl. Time Division Multiple Access) metode gdje je svakom korisniku dodijeljen jedan ili više vremenskih odsječaka [5].



Slika 2.1. Topologija „točka-točka“ [1]

Radi visokog prijenosnoga kapaciteta kojeg posjeduju FTTH mreže od točke do točke najprikladnije je iskorištavanje pri uslugama prijenosa videa u realnom vremenu. Primjeri su prijenos televizijskog signala koji ima visoku razlučivost, cjelokupni video na zahtjev, tele-edukacije, telekonferencije itd. Ovakve mreže su otporne na impulsne smetnje i radiofrekvencijske interferencije te kod njih dolazi do manjeg gušenja signala [6].

Ovdje ćemo navesti pojedine prednosti P2P topologije u usporedbi s P2MP topologijom [1]:

- veća fleksibilnost pri davanju usluga,
- veća prijenosna širina,
- posvećenost pojedinom korisniku,
- jednostavnije planiranje,
- jednostavnije mjerenje, nadziranje i detekcija kvara.

Također, treba spomenuti nedostatke P2P topologije [1]:

- povećani kapitalni i operativni troškovi (održavanje, električna energija i sl.),
- veća utilizacija DTK zbog većeg broja potrebnih svjetlovođa,
- povećani izdatci pri saniranju kvarova,
- povišena potrošnja električne energije.

Ova je topologija svjetlovodne pristupne mreže prikladna kako bi se umrežili poslovni korisnici prvenstveno zbog velike brzine prijenosa koja je veća od 1 Gb/s. U skladu s važećim regulatornim propisima, topologija mreže koja je opisana u ovom dijelu rada obavezna je unutar svjetlovodne pristupne mreže i to u segmentu od distribucijskoga čvora do krajnjega korisnika te označava svjetlovodnu distribucijsku pristupnu mrežu. Vrijedi napomenuti da nije obavezna u segmentu svjetlovodne spojne pristupne mreže gdje njena uporaba zavisi o poslovnom odlučivanju mrežnoga operatera [1]. Također, ova topologija može integrirati PON tehnologiju s implementiranjem pasivnog optičkog razdjelnika unutar pristupnog čvora [7]. PON služi za raspodjelu (multipleksira) prijenosnih širina svjetlovodnih vlakana u magistrali [8].

2.1.2. Topologija "točka - više točaka"

U okviru ove topologije pristupne svjetlovodne mreže podrazumijeva se da svaki pojedini korisnik ima u svojem prostoru zagarantirano jedno svjetlovodno vlakno. Dijeljenjem svjetlovodne snage, korisnik dobiva isti signal kao i njegova skupina susjednih korisnika. S druge strane na ODF-u glavnome čvoru ista skupina korisnika dijeli jedno zajedničko svjetlovodno vlakno (veza ODF – sprežnika).

Drugim riječima, na strani glavnoga čvora skupini korisnika posvećeno je jedno vlakno, što je ostvareno s ugrađivanjem sprežnika svjetlovodne snage koji se još naziva djelitelj ili na engleskom jeziku Splitter. Pri ovoj topologiji mreže koristi se GPON platforma koja za prenošenje signala po jednoj standardnoj jednomodnoj niti upotrebljava tri valne duljine, 1310 nanometra, 1490 nanometara i 1550 nanometara. Valna duljina koja iznosi 1310 nanometra upotrebljava se za prenošenje signala od korisnika (engl. Optical Network Terminal, ONT na Slici 2.4.) ka centrali (engl. Optical Line Terminal, OLT na Slici 2.4.). Optički mrežni terminal (ONT) unutar optičkih sustava poput FTTP (engl. Fiber To The Premises) sustava vrši prenošenje signala uz pomoć tehnologije optičkih vlakana do korisničkog posjeda. Operator korisnik spaja svoj ONT uređaj na priključnu kutiju u prostoru krajnjeg korisnika [9]. Ovom vrstom tehnologije nije omogućena provedba električnog napajanja do opreme i nije prikladna za izravnu vezu s opremom korisnika što je razlikuje od velikog broja drugih telefonskih tehnologija. ONT se upotrebljava na strani korisnika da bi se „zaustavio“ dovod optičkog signala, demultipleksirao optički signal na dijelove (internet, televizija, signali govora) te osiguralo napajanje telefonskih aparata korisnika. S obzirom da ONT uglavnom mora uzeti napajanje s korisničkog posjeda, veliki broj ONT terminala posjeduje opciju upotrebe vlastite pomoćne baterije da bi mogli kontinuirano posluživati korisnika u situacijama kao što je nestanak napajanja unutar gradske mreže [5]. Na slici 2.2. prikazan je optički mrežni terminal (ONT).



Slika 2.2. Optički mrežni terminal (ONT) [10]

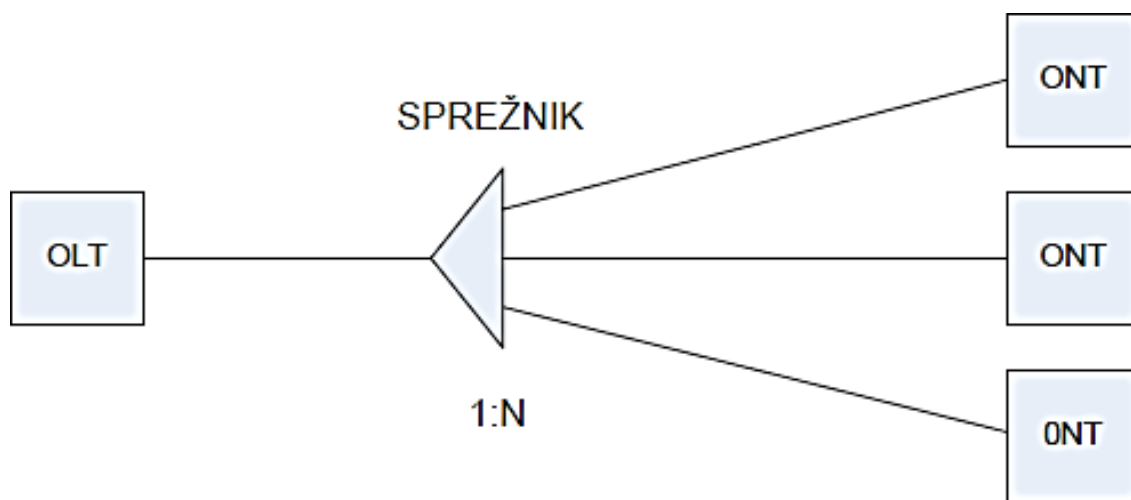
Optički linijski terminal (OLT) podrazumijeva uređaj u kojem se podatci, električni signali i videa od predajne strane mreže transformiraju u optičke signale za predajnu stranu mreže. Radi se o uređaju koji svjetlosne impulse umeće unutar optičkog vlakna. Vlasnici posjeda i korisnici rijetko ga vide jer je najčešće pozicioniran unutar telefonskih centrala i sličnim lokacijama u mreži [5]. Na slici 2.3. prikazan je optički linijski terminal (OLT).



Slika 2.3. Motorola AXS2200 - Optički linijski terminal (OLT) [11]

Valna duljina koja iznosi 1550 nanometara može se upotrebljavati za distribuciju RF videa od centrale ka korisniku uz pomoć WDM (engl. Wavelength Division Multiplexing) uređaja. Najveći broj korisnika po jednome vlaknu je 1:64, a dozvoljene su maksimalno dvije razine dijeljenja, sukladno ITU-T G 652 standardu [12]. ITU-T (engl. International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) standardi igraju ključnu ulogu pri definiranju temeljnih transportnih i pristupnih tehnologija koje podupiru komunikacijske mreže diljem svijeta [13].

NG-PON tehnologije mogu biti podijeljene u dvije kategorije, a to su NG-PON1 i NG-PON2 [14]. NG-PON1 u usporedbi s GPON standardom povećavaju brzinu do 10 Gbit/s, omjer dijeljenja od 1:64 do 1:128 i domet od 20 km do 60 km [15]. NG-PON2 poboljšava prethodne verzije PON-a podržavajući omjer dijeljenja od najmanje 1:64, s mogućnošću prelaska na 1:128. Ograničavajući faktor za omjer podjele je dinamički raspon primopredajnika koji se koriste u sustavu i hoće li pružatelj komunikacijskih usluga odlučiti postaviti pojačala za povećanje dinamičkog raspona. Omjer dijeljenja od 1:64 optimizira ODN i omogućuje velikom broju korisnika da dijele iste resurse, smanjujući ukupne troškove implementacije. Povećanje omjera dijeljenja ima potencijal za povećanje ukupne optimizacije mreže [16]. U ostatku rada podrazumijevati će se dijeljenje do maksimalno 1:64 sa dvije razine dijeljenja.



Slika 2.4. Topologija „točka – više točka“ [1]

Ovdje ćemo navesti pojedine prednosti P2MP topologije u usporedbi s P2P topologijom [1]:

- jeftiniji troškovi izgradnje,
- umanjeni broj aktivnih čvorova,
- jeftiniji troškovi za sanaciju kvarova,
- smanjena potrošnja,
- lakša nadogradnja mreže.

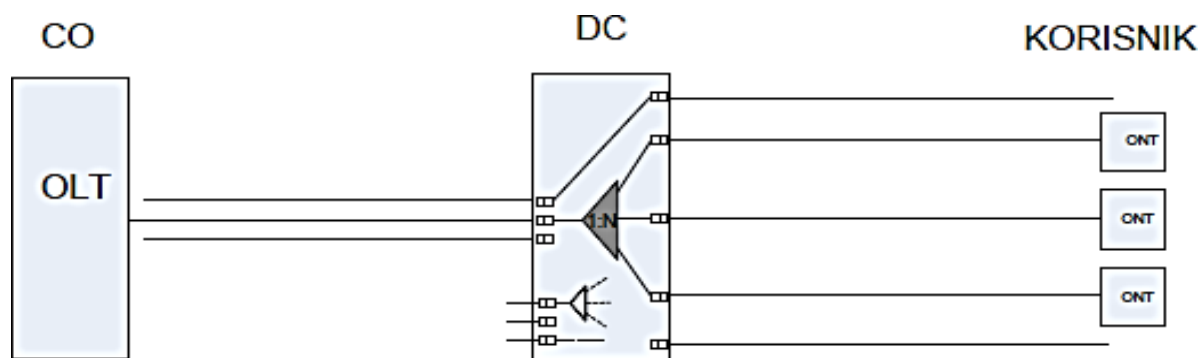
P2MP topologija ima sljedeće nedostatke u odnosu na P2P topologiju [1]:

- smanjena prijenosna širina zbog dijeljenog medija,
- manja razina sigurnosti zbog dijeljenog medija,
- kompleksnija mjerenja i otkrivanja kvarova.

U skladu s propisima HAKOM-a, nije dozvoljena ugradnja spreznika (djelitelja) u ovom modelu mreže iza distribucijskoga čvora ka korisniku [1].

2.1.3. Kombinacija topologije „točka – točka“ i „točka – više točaka“

Kombinacija topologije „točka – točka“ i „točka – više točaka“, odnosno P2P i P2MP, postavlja distribucijski čvor kao mjesto (točku) gdje se koncentriraju kabele svjetlovodne pristupne mreže koji dolaze s jedne strane i pristupni svjetlovodni kabele spojne mreže koji dolaze s druge strane. Distribucijski čvor (DČ) predstavlja fleksibilno mjesto koje služi za pristup drugim operaterima na distribucijsku mrežu (otvoreni model mreže).

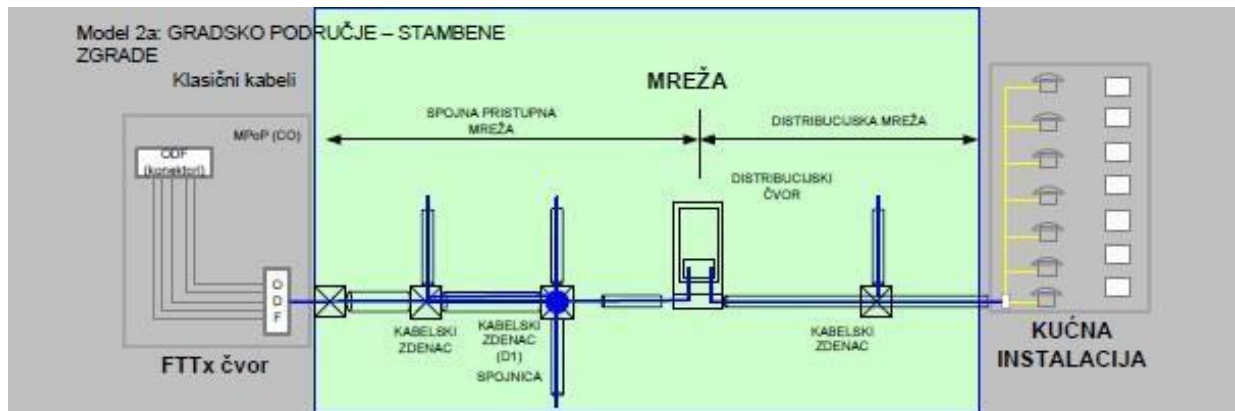


Slika 2.5. Kombinacija topologije P2P i P2MP [1]

Kao što je vidljivo na Slici 2.5. moguće je povezivanje korisnika kroz P2MP i P2P topologiju od OLT-a koji je pozicioniran u centrali do distribucijskoga čvora. Otvoreni model pretpostavlja korištenje isključivo P2P topologije od DČ-a do korisnika, koja završava na instalacijskoj mreži, tj. priključnim mjestom korisnika.

3. SASTAVNI ELEMENTI - PASIVNI DIO FTTH MREŽE

Kao što je prikazano na slici 3.1. pasivni dio FTTH mreže podijeljen je na četiri osnovne jedinice, to uključuje središnji dio FTTx čvora tj. pripadajući ODF dio, spojni pristupni mrežni dio, distribucijski mrežni dio i kućne instalacije [1].



Slika 3.1. Osnovna podjela FTTH mreže [1]

Mreža je podijeljena na svjetlovodnu spojnu pristupnu mrežu i svjetlovodnu distribucijsku mrežu sukladno važećem pravilniku HAKOM-a o svjetlovodnoj distribucijskoj mreži [17]. Distribucijski čvor, koji služi kao mjesto priključka korisnika (operatera korisnika) na distribucijsku mrežu, kao i glavni razvodni ormar ili priključna kutija na zgradi te kabeli distribucijske mreže i spojnice bitne su komponente distribucijske mreže. Troškovi distribucijske mreže će se odrediti korištenjem svake od prethodno navedenih komponenti.

Radi jednostavnijeg razumijevanja i razgraničenja, pasivni dio FTTH mreže podijeljen je po dijelovima, a navedeni dijelovi su [1]:

- svjetlovodni razdjelnik (ODF) - dio opreme FTTx čvora,
- svjetlovodna spojna pristupna mreža,
- distribucijski čvor,
- svjetlovodna distribucijska mreža,
- priključna (izvodna) točka (engl. Access point, AP),
- kućne instalacije.

3.1. Svjetlovodni razdjelnik

Objekt odnosno lokacija na kojoj se nalazi aktivna oprema (OLT) i pasivna oprema (ODF sustav) naziva se FTTx čvor. ODF sustav se odnosi na segment opreme koji je smješten u objektu FTTx čvora, a uključuje svjetlovodni razvodnik (Optical Distribution Frame, ODF), odgovarajuće kanalice koje služe za vođenje kabela u prostoru FTTx čvora, sprežnike i prespojne vrpce, ako se postavljaju na ODF-u.

ODF treba biti smješten do aktivne opreme na mjestu koje će imati mogućnost širenja oba dijela opreme, što podrazumijeva pasivnu i aktivnu opremu. Da bi se ODF ispravno planirao određeni broj podmodula treba biti kompatibilan s predviđenom konfiguracijom. Potrebno je ODF planirati na način da je predviđena konfiguracija u stanju prihvatiti određeni broj podmodula s sprežnicima. Međutim, svakako ih treba planirati u određenom postotku što ovisi o planu konfiguracije mreže, razmještaju čvorova i razdaljini krajnjih korisnika od FTTx čvora radi svjetlovodnog budžeta koji je na raspolaganju. LC/APC konektorima trebaju završavati portovi sprežnika, dok sprežnici koji su u podmodulima mogu biti omjera dijeljenja 1:2 i 1:4 [1].

Kombinirani ODF se montira kod manjih objekata gdje se kabeli izravno polažu u prostoriju FTTx čvora. Za ovakvu situaciju vanjski uvlačni kabel polaže se izravno u kombinirani ODF te toplinskim spajanjem unutar kazeta spaja na završne vrpce LC/APC konektora. Kod oba spomenuta slučaja, bez i sa odvojenim međurazdjelnikom ODF se konfigurira u prespojnoj inter-konekt verziji. S aktivne opreme prespojne vrpce vode se direktno na konektore djelatelja. Korištenje kros-konekt verzije preporuča se u posebnim situacijama, kad se ne može osigurati smještaj ODF-a [1].

3.2. Svjetlovodna spojna pristupna mreža

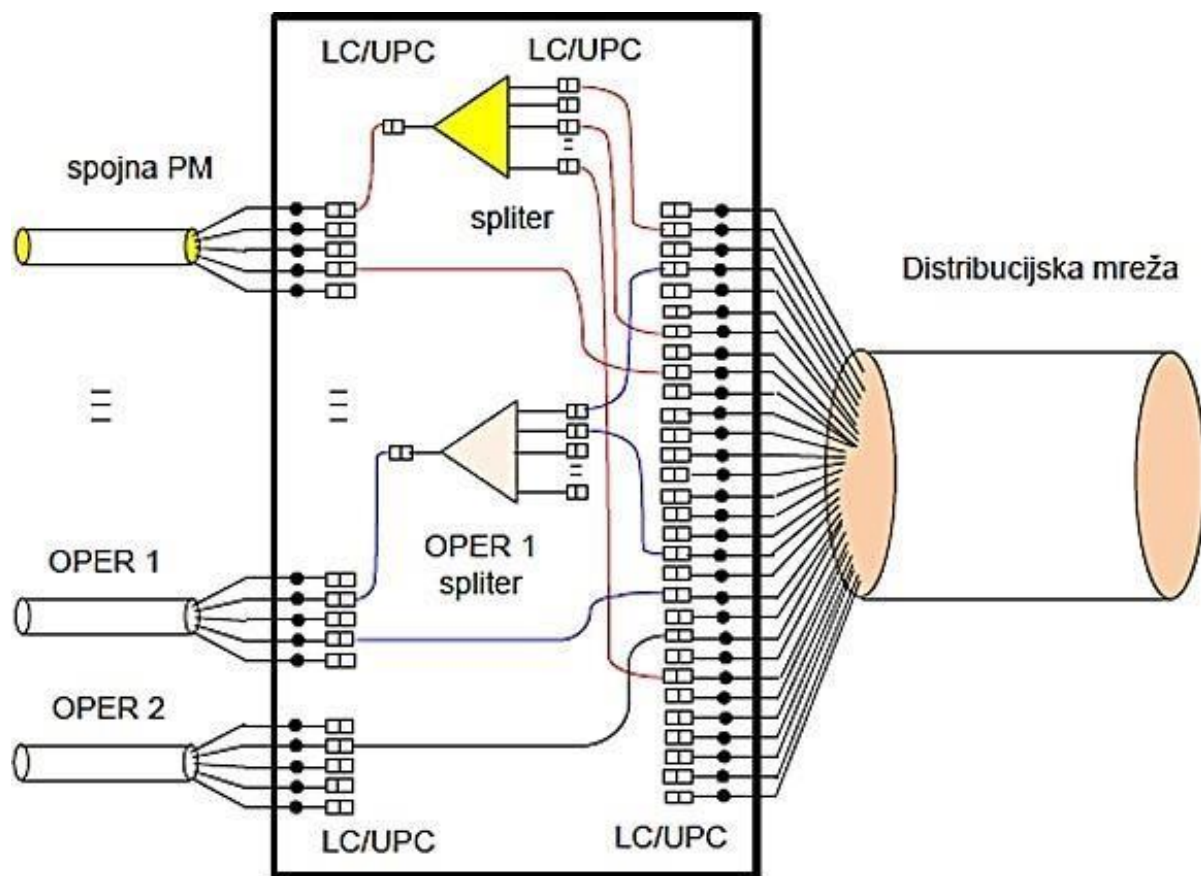
Svjetlovodna spojna pristupna mreža (SSPM) dio je svjetlovodne pristupne mreže sastavljene od jedne ili više optičkih niti koje operaterima i drugim korisnicima iz njihovih jezgrenih mreža omogućuju pristup distribucijskom čvoru [10]. Dijelom svjetlovodne spojne mreže (SSPM) se podrazumijeva FTTH mreža od mjesta ODF-a (mjesta FTTx čvora) do distribucijskoga čvora, bez obzira gdje se nalazi distribucijski čvor (unutar objekta, u vanjskom samostojećem objektu, u objektu korisnika za veći broj zgrada) [1].

Topologija gradnje mreže je kombinacija P2MP (s dijeljenim nitima) i P2P modelom (s izravnim nitima) i razdjelnikom u distribucijskome čvoru te po potrebi razdjelnikom na ODF-u. Prema članku 5. stavak 1. Pravilnika o svjetlovodnim distribucijskim mrežama „Područje obuhvata svjetlovodne distribucijske mreže utvrđuje se ovisno o broju i kapacitetu izgrađenih i planiranih korisničkih jedinica. Korisničkim jedinicama, u smislu mogućnosti povezivanja na svjetlovodnu distribucijsku jedinicu, smatraju se jedinice u stambenim i poslovnim građevinama te razni drugi objekti (semafori, trafostanice, precrpne stanice, nadzorne kamere i slično)“ [17]. U sljedećim potpoglavljima ovoga dijela rada bit će detaljnije prikazano određivanje kapaciteta spojne pristupne mreže.

3.3. Distribucijski čvor

Distribucijski čvor je komponenta svjetlovodne pristupne mreže koja služi kao sučelje između spojnih pristupnih i distribucijskih mreža. Pod tim pojmom podrazumijeva se mjesto gdje svi operateri imaju fleksibilan pristup distribucijskoj mreži. Kreiran je kao otvoreno, prilagodljivo, potpuno konektorizirano čvorište s LC/UPC konektorima u koje se mogu ugraditi razdjelnici kao pasivna oprema, a na koje se mogu priključiti svi operatori kao korisnici distribucijske mreže [1].

Distribucijski čvor, kako tumači HAKOM, sastavni je dio distribucijske mreže, međutim, za potrebe ove analize dvije komponente bit će razmotrene odvojeno. Slika 3.2. ilustrira shemu distribucijskog čvora.



Slika 3.2. Distribucijski čvor [1]

Za slučaj da operatori posjeduju sagrađenu svoju spojnu pristupnu mrežu koja ide do distribucijskog čvora tada na konektorima koji su smješteni u distribucijskom čvoru završava cijela distribucijska mreža pridruženog čvora s jedne strane te spojna pristupna mreža i pojedinih operatora korisnika s druge strane.

3.3.1. Primjeri za pozicioniranje distribucijskog čvora

Na jednoj od lokacija koje su ponuđene može biti pozicioniran distribucijski čvor u zavisnosti o većem broju čimbenika kao što je:

- najoptimalnije rješenje za gradnju mreže gdje broj distribucijskih čvorova i pozicija imaju važnu ulogu,
- mogućnost iznajmljivanja prostora za smještanje ormara unutar ili izvan objekta,
- mogućnost dobivanja potrebnih suglasnosti i dozvola od strane lokalne uprave i ostalih korisnika prostora.

Primjeri pozicioniranja distribucijskoga čvora su da je pozicioniran u uličnom ormaru u smjeru u kojem je položen spojni pristupni kabel ili ogranak spojnog pristupnoga kabela, pozicioniranje u jednom od objekata korisnika pri čemu je distribucijska mreža razgrađena na područje s vanjske strane objekta te zahvaća brojne korisnike susjednih objekata i pozicioniranje u tehničkom prostoru ako ima dovoljno dostupnog slobodnog prostora.

3.3.2. Način određivanja kapaciteta distribucijskog čvora

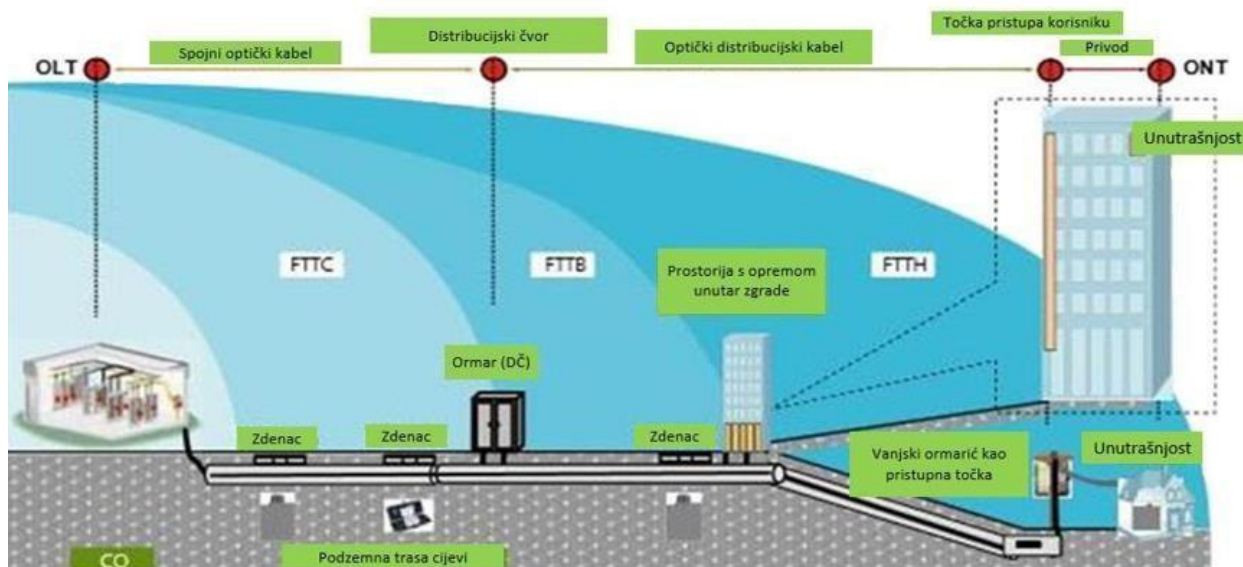
Način na koji se izražava kapacitet određenog distribucijskog čvora je po broju niti distribucijske mreže koje mogu biti spojene na distribucijski čvor i po ukupnom odgovarajućem broju konektorskih pozicija za navedeni distribucijski čvor (niti distribucijskoga čvora/konektorske pozicije = nazivni kapacitet distribucijskoga čvora) [1].

Kapacitet koji je definiran i izražen putem broja konektorskih pozicija podrazumijeva da je za taj broj pozicija konektora potrebno dimenzionirati kabinet i omogućiti prostor za smještaj viškova prekospojnih vrpce i smještaj spojnih kazeta, djelitejskih modula, prespojnih vrpce i pigtail kabela. Onda kada postoji interes operatora korisnika treba napraviti dodatni izračun odgovarajućeg kapaciteta kabineta tj. distribucijskog čvora. Također treba izabrati ispravan tip kabineta za odgovarajuću lokaciju.

Za slučaj da se DČ nalazi u određenom tehničkom prostoru, kapacitet DČ je određen s veličinom raspoloživog prostora u okolini jer je kapacitet čvora moguće povećati dograđivanjem novog kabineta te se komunikacija može uspostaviti između kabineta pomoću kanalisa. Kad se radi o vanjskim kabinetima to nije jednostavno za izvesti jer postoje atmosferski utjecaji i prepreke pri osiguranju povezivanja kabineta međusobno. Onda kad je DČ smješten u samostojećem kabinetu unutar naselja prisutna su ograničenja po pitanju maksimalnog kapaciteta kabineta i druga ograničenja koja se odnose na područje primjene poput naselja u urbanim i suburbanim područjima (kuće i zgrade) i naselja koja su smještena u ruralnim sredinama (najčešće kuće) [18].

3.4. Svjetlovodna distribucijska mreža

Svjetlovodna distribucijska mreža (SDM) odnosi se na segment svjetlovodne pristupne mreže u dijelu od distribucijskoga čvora do glavnoga razvodnoga ormara unutar zgrade tj. priključne kutije u obiteljskoj kući. Za prenošenje podataka kroz PON neophodna je svjetlovodna distribucijska mreža (SDM) i izravno utječe na njene karakteristike. To se prvenstveno odnosi na pouzdanost i skalabilnost PON sustava. SDM označava integralni dio PON sustava i fizičku stazu za prenošenje optičkoga signala između ONT-a i OLT-a. U svjetlovodnoj distribucijskoj mreži nalaze se konektori, optička vlakna, pasivni razdjelnici i druge pomoćne komponente koje su međusobno u odnosu suradnje. Na slici 3.3. nalazi se shematski prikaz svjetlovodne distribucijske mreže (SDM).



Slika 3.3. Svjetlovodna distribucijska mreža (SDM) [19]

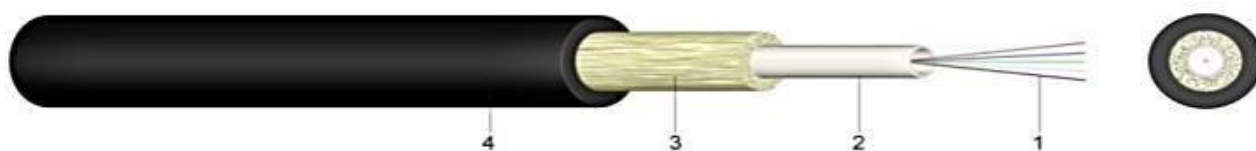
Kao što se može vidjeti na slici 3.3. pristupno svjetlovodno vlakno kreće od svjetlovodnog distribucijskog razdjelnika koji je u centrali i ima svoj završetak na distribucijskome čvoru. Distribucijska vlakna na izlazu iz distribucijskoga čvora pripadaju spojnim točkama duž trase. Spojna vlakna vežu ONT i priključnu točku te se na taj način korisnika izravno veže s optičkim vlaknom.

Potrebno je spomenuti da je kapacitet svjetlovodne distribucijske mreže određen s brojem korisničkih cjelina kao što su poslovni subjekti, kućanstva i komunikacijski objekti. Tu se radi o korisničkim cjelinama koje pokriva distribucijski čvor odnosno postojećim i planiranim objektima. Topologija gradnje distribucijske mreže je određena P2P topologijom s izravnim nitima od DČ do spojne točke sukladno zahtjevima regulatornoga tijela Republike Hrvatske (HAKOM) [19].

3.5. Izvedba kućne instalacije

Da bi se određene korisnike kojima nije izgrađena svjetlovodna kućna instalacija unutar zajedničkoga segmenta objekta moglo priključiti na aktivni čvor, nužno je osim gradnje pasivne svjetlovodne mreže od aktivnoga čvora do korisničkoga objekta sagraditi i kućnu instalaciju u objektu od glavnoga razvodnoga ormara do konektora ispred stana te se ta infrastruktura smatra segmentom FTTH infrastrukture. Vlasnici nekretnina u Hrvatskoj ne mogu sami investirati u izgradnju svjetlovodne mreže unutar vlastitih zgrada kao što je to moguće u nekim drugim državama članicama EU, gdje su stambeni objekti u vlasništvu specijaliziranih tvrtki [6].

Slika 3.4. prikazuje primjer svjetlovodnog kabela koji služi za vanjsku primjenu. Prikazani kabel je pogodan za polaganje izravno u zemlju ili unutar kanala telekomunikacijskog sustava [6].



Slika 3.4. Svjetlovodni kabel [20]

Na prethodnoj slici brojem 1 označena je staklena vuna, brojem 2 vodonepropusni gel, s 3 je označena zaštita sačinjena od staklenih vlakana u svrhu zaštite od glodavca i 4 je oznaka vanjskoga plašta napravljenoga od polietilena. Uspoređujući kabele za podzemno polaganje s nadzemnim svjetlovodnim kabelima koje je moguće postaviti na stupove, nadzemni svjetlovodni kabeli imaju robusnije fizičke karakteristike i manji kapacitet niti u istom promjeru kabela [6].

Prema [1] pod kućnom instalacijom naziva se segment mreže od glavnog razvodnog ormara do konektora ispred kućanske jedinice, a sastoji se od:

- priključnih i razvodnih kabela,
- kanalice,
- prespojnih vrpce,
- etažnih ormarića.

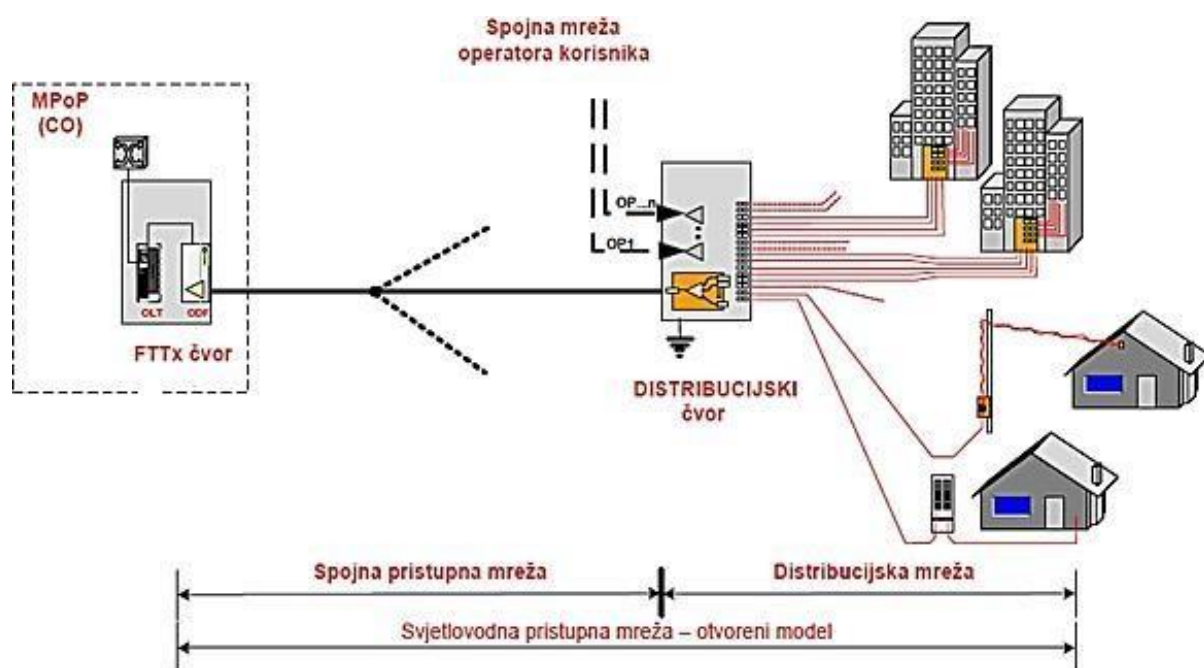
Unutar postojećih cijevi TK instalacija ili nadžbuknih kanalice postavljaju se instalacijski kabeći kao dodatni kabeći, a njih je prethodno potrebno graditi ukoliko su postojeći podžbukni kanali neodgovarajućih kanalice, popunjeni ili neprohodni. Građenje novih podžbuknih kanala predviđeno je samo u slučaju da je investitor navedenih radova vlasnik građevine. Etažni i glavni ormar povezuju razvodni kabeći, a konektor ispred kućanske jedinice s etažnim ili glavnim ormarom povezuju priključni kabeći.

4. PRINCIPI PLANIRANJA SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE

U ovom poglavlju osvrnut ćemo se na planiranje mreže prema otvorenom modelu te na osnove i principe planiranja mreže u urbanom području.

4.1. Princip planiranja svjetlovodne pristupne mreže - otvoreni FTTH model

Uporaba svjetlovodne mreže izrađene prema otvorenom modelu započela je prije deset godina. S ovom arhitekturom, distribucijski čvor služi kao pristupna točka za druge operatore u elastičnom modelu FTTH mreže. HAKOM dijeli svjetlovodnu pristupnu mrežu na dva dijela, svjetlovodnu priključnu mrežu koja uključuje FTTx čvor i svjetlovodnu distribucijsku mrežu koja uključuje distribucijski čvor, kao što je prikazano na slici 4.1. [17].



Slika 4.1. Svjetlovodna pristupna mreža građena prema otvorenom modelu [1]

Prednost otvorenog modela je otvoren pristup operatorima distribucijske mreže, te se na taj način krajnjim korisnicima jamči sloboda odabira pružatelja usluga i promiče tržišno natjecanje na razini usluga, a svakom operatoru usluga omogućuje pristup svakom potencijalnom krajnjem korisniku pod jednakim i transparentnim uvjetima. Krajnji korisnik tada dobiva mogućnost kvalitetnije i jeftinije usluge kao rezultat pomicanja težišta konkurencije na telekomunikacijskom tržištu s područja konkurencije u infrastrukturi na područje konkurencije u uslugama. Osim toga, ovaj poslovni model ima za cilj osigurati gradske optičke mreže za javne širokopojasne mreže, što uključuje financiranje njihovog rada, održavanja i širenja [18].

Prilikom projektiranja svjetlovodne distribucijske mreže važno je uzeti u obzir specifično područje i pobrinuti se da spojna mreža ima dovoljno kapaciteta da podrži umrežavanje svih objekata (korisničkih jedinica) koji se tamo nalaze. Za planiranje je prije svega potrebno odrediti geografski položaj, broj distribucijskih čvorova i mreža te područje koje će svaki FTTx čvor pokrivati [1].

Podrazumijeva se da pri planiranju bilo kojeg čvora i bilo koje svjetlovodne mreže pridruženog čvora treba uzeti u obzir brojne čimbenike [1]:

- distribucijski čvorovi trebaju biti postavljeni što je moguće optimalnije unutar područja pokrivenosti FTTx čvora,
- konfiguracija postojeće kabelske kanalizacije na promatranom području - nastojati što bolje iskoristiti raspoloživi prostor sukladno cijevima, tj. maksimalno iskoristiti postojeću kabelsku kanalizaciju,
- mogućnost odabira FTTx čvora s dovoljno raspoloživog prostora za predviđeni kapacitet (lokacija za ugradnju aktivne opreme i ODF-a),
- maksimalno dopušteno odvajanje krajnjeg korisnika od FTTx čvora,
- u slučaju PON-a, o najvećem dopuštenom omjeru dijeljenja od 1:64, sukladno ITU-T G 652 standardu [12].

sustava s optičkim mikrokabelima umjesto klasičnog DTK-a i ugradnje svjetlovodnih kabela [1].

Samonosivi svjetlovodni kabel može se koristiti za izgradnju nove FTTH mreže na mjestima gdje su objekti povezani zračnom bakrenom mrežom. Upotrebljavaju se kabele koji imaju nemetalno nosivo uže zbog izbjegavanja potrebe za izrađivanjem uzemljenja tj. zaštite mreže od visokoga napona [4].

Pristupna spojna mreža za povezivanje koristi konvencionalne uvlačne kabele s kapacitetom od 24 do 288 niti, iznimno 432 niti ili mikrokabele s kapacitetom od 24 do 72 žice. Nekoliko distribucijskih čvorova može se povezati jednim kabelom pristupne spojne mreže. Na maksimalnu udaljenost između distribucijskog čvora i FTTx čvora utječe svjetlovodni proračun (budžet), ukupnom prigušenju (od ODF-a do krajnjeg korisnika), troškovnim elementima spojne pristupne mreže, te konfiguraciji mreže [1].

5.1.1. Princip planiranja kapaciteta svjetlovodne distribucijske mreže - urbano područje

Prema pravilniku o svjetlovodnim distribucijskim mrežama, svjetlovodna distribucijska pristupna mreža projektira se i gradi za postojeći i predviđeni broj korisničkih jedinica (kućanstva, javni prostori, mala i srednja poduzeća, velika poduzeća i planirane bazne stanice) [17].

U distribucijskoj mreži koriste se tradicionalni uvlačivi kabele kapaciteta od 12 do 288 niti, u iznimnim slučajevima 432 niti. Distribucijska mreža koristi mikrokabele veličine od 24" do 72" za izgrađena područja i 12 nitni mikrokabel za područje izgradnje novi DTK [18].

Ovisno o okolnostima i veličini čvora, sprežnici se mogu instalirati zajedno na distribucijske čvorove i ODF-ove. Postavljanje sprežnika prema korisniku iza distribucijskog čvora nije dopušteno. Nadalje, nije dopušteno ugraditi sprežnike unutar spojnice. Sprežnici se postavljaju tako da od FTTx čvora do distribucijskog čvora odnosno korisnika, postoje maksimalno dva nivoa dijeljenja (maksimalno dva sprežnika u nizu). Ukupan zbroj omjera dijeljenja na

korisničkoj strani ne smije biti veći od 1:64. U ovom radu pridržavamo se standarda ITU-T G 652 koji preporuča PON sprežnik s omjerom dijeljenja 16, 32 ili 64 [12].

5. ANALIZA IZGRADNJE SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE U GRADSKOM KOTARU PLOKITE

U ovom dijelu rada nalazi se primjer planiranja FTTH mreže gradskog kotara Plokite u gradu Splitu. Planiranje je osmišljeno prema podacima o stanju izgrađenosti postojeće mreže, relevantnoj literaturi i vlastitom nađenju autora.

5.1. Područje obuhvata

Gradski kotar Plokite u gradu Splitu omeđen sa sjevera Velebitskom ulicom (od spoja s Ulicom Brune Bušića do spoja s Dubrovačkom ulicom), s istoka Ulicom Brune Bušića (od spoja s Velebitskom ulicom do spoja s Vukovarskom ulicom), sa juga Vukovarskom ulicom (od spoja s Dubrovačkom ulicom do spoja s Ulicom Brune Bušića) i sa zapada Dubrovačkom ulicom (od spoja s Vukovarskom ulicom do spoja s Velebitskom ulicom) [23]. Površina gradskog kotara Plokite iznosi 0,2 kilometra kvadratna, broj kućanskih jedinica je 2518, broj adresa 146, a udio spojenih na postojeću kabelsku kanalizaciju (DTK) iznosi 95%. Na sljedećoj slici (Slika 5.1) dan je prikaz područja obuhvata, odnosno prikaz područja gradskog kotara Plokite.



Slika 5.1. Područje obuhvata

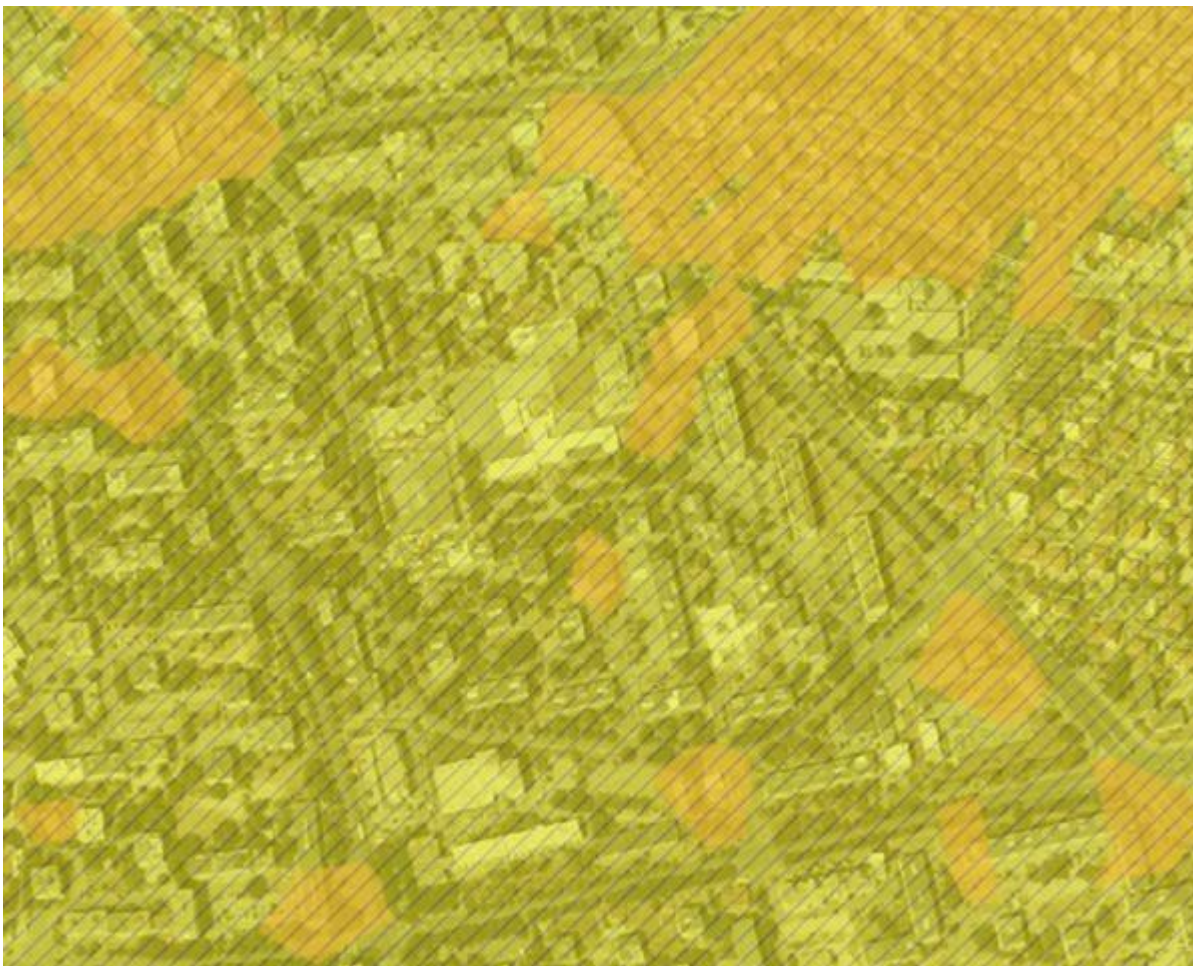
5.2. Trenutno stanje dostupnosti širokopojasne mreže

U ovom dijelu rada nalazi se prikaz trenutnog stanja dostupnosti širokopojasne mreže u području obuhvata. Svi podatci koji se navode u ovom dijelu rada prikupljeni su s Interaktivnog GIS portala Hrvatske regulatorne agencije za mrežne djelatnosti. Na sljedećoj slici (Slika 5.2) nalazi se prikaz svih slojeva bez mreža pokretnih komunikacija (≥ 100 MBit/s zeleno 1 operator, ≥ 30 do 100 MBit/s plavo 1 operator, ≥ 2 do 30 MBit/s crveno 1 operator) [24].



Slika 5.2. Svi slojevi bez mreža pokretnih komunikacija [24]

Na prethodnoj slici (Slika 5.2.) prikazana su obuhvaćena područja koja imaju različite boje u skladu s prethodno navedenom legendom. Za obuhvaćena područja operatori imaju opciju davanja širokopojasnog pristupa internetu pristupnim brzinama od 2 do 30 Mbit/s, od 30 do 100 Mbit/s i većim od 100 Mbit/s putem svoje infrastrukture. Vlastita infrastruktura podrazumjeva područja u kojima pojedini operatori imaju mogućnost tijekom kratkog vremenskog roka i bez velikih ulaganja priključiti korisnike na vlastitu pristupnu širokopojasnu infrastrukturu. Stanje koje je prikazano na snimkama u ovom dijelu rada temelje se na podacima koji su prikupljeni od operatora [24]. Na sljedećoj slici (Slika 5.3.) nalazi se prikaz područja na kojem operatori imaju mogućnost pružanja širokopojasnog pristupa pristupnom brzinom od 2 Mbit/s do 30 Mbit/s preko vlastite infrastrukture.



Slika 5.3. Od 2 Mbit/s do 30 Mbit/s [24]

Vlastita infrastruktura obuhvaća sve tehnologije tj. područja na kojima određeni operator ima mogućnost tijekom kratkog vremena i bez velikih investicija priključiti korisnike na vlastitu širokopoljasnu infrastrukturu. Žutom bojom označen je bežični ≥ 2 do 30 MBit/s 1 operator, a žutom s linijama presijecanja više operatora. Crvenom bojom označen je ≥ 2 do 30 MBit/s 1 operator, a crvenom s linijama presijecanja više operatora [24].



Slika 5.4. Od 30 Mbit/s do 100 Bbit/s [24]

Na prethodnoj slici (Slika 5.4.) nalazi se prikaz područja u kojem operatori imaju mogućnost pružanja širokopojasnog pristupa pristupnom brzinom od 30 Mbit/s do 100 Mbit/s preko vlastite infrastrukture. Rozom bojom označen je ≥ 30 do 100 MBit/s 1 operator, a rozom s linijama presijecanja više operatora. Sivom bojom označen je ≥ 30 do 100 MBit/s 1 operator, a sivom s linijama presijecanja više operatora [24]. Iz priloženih snimaka trenutnog stanja dostupnosti širokopojasne mreže u ovom kotaru može se zaključiti da je stanje dostupnosti širokopojasnog pristupa zadovoljavajuće. Najzastupljenija su područja u kojima operatori imaju mogućnost pružanja širokopojasnog pristupa pristupnom brzinom od 30 Mbit/s do 100 Mbit/s, dok su područja s brzinom ≥ 2 do 30 MBit/s i ≥ 100 MBit/s zastupljena u manjoj mjeri.

5.3. Implementacija FTTH mreže unutar obuhvata

Pri implementaciji svake FTTH mreže najvažniji cilj predstavlja ispunjenje očekivanja ulagača po pitanju financijskog okvira koji je definiran po utvrđenim poslovnim kriterijima. Također, važan cilj je pružanje korisniku dogovorenog kapaciteta linka i servisa, uz uporabu optimalnog procesa implementacije. Do ispunjenja ovakvih ciljeva može se doći jedino pomnim planiranjem FTTH mreže i poštivanjem odluka koje su dogovorene tijekom faze implementacije mreže [25].

Svaka komponenta koja se nalazi u mreži mora biti originalno obilježena kako je naznačeno u planu projekta. Na taj će način izvođač radova jednostavnije identificirati komponente. Što se tiče konfiguracije kabelske kanalizacije i kablova, za svaki kabel kojega se polaže izravno u zemlju treba se znati u koju cijev se upuhuje/provlači. Također je potrebno, radi izbjegavanja problema na terenu, imati podatak o presjecima kabela i cijevi u koje se upuhuju. Po pitanju detaljnog plana konekcija do korisnika, treba reći da svaka konekcija do korisnika treba biti vidljivo pozicionirana, trasa ucrtana u projektima. Unutar optičkih distribucijskih ormara i točaka koncentracije nužno je u svakom trenutku imati podatak gdje se koji se par optičkih vlakana spaja s kojim [25].

U ovom slučaju potrebno je graditi/dograditi kabelsku kanalizaciju uz korištenje postojećih cijevi. Važnu stvar predstavlja definiranje lokacije distribucijskih čvorova u kojima se nalazi sva oprema i od kuda polaze svi kabele. U ovom slučaju odabrane su lokacije u Vinkovačkoj ulici. Dakle, plan je izgradnja dva distribucijska čvora u navedenom području. Distribucijski čvorovi izvide se kao samostojeći vanjski ormari smješteni uz cestu. Bitan podatak je dužina svjetlovodnih kabela od graniranja do grananja da bi se mogle odrediti količine svjetlovodnih kabela koje je potrebno naručiti.

Optički razdjelnik (eng. *Optical Distribution Frame*, skraćeno ODF) najčešće je smješten unutar centrale zajedno s prespojenim pločama (engl. *patch panels*) koje služe za upravljanje povezanošću vlakana, opremom koja služi za ispitivanja vlakana te prijenosnom opremom. U centralni optički razdjelnik spajaju se dolazna vlakna svih potencijalnih korisnika unutar kotara. Sva su vlakna terminizirana SC konektorima te izvedena na prednje maske odgovarajućih optičkih panela ODF-a. Uz pomoć razdjelnika s pripadajućim optopanelima i prespojenim kasetama omogućeno je prespajanje ili prospajanje velikog broja vlakana na malom i limitiranom prostoru. Pomoću odgovarajućeg broja prespojenih SC-SC kabela na ODF prospaja se aktivna oprema operatora korisnika, prema broju ugovorenih pretplatnika [26]. Na sljedećoj slici (Slika 5.5.) prikazana je izvedba ODF-a.



Slika 5.5. Izvedba ODF-a [26]

U daljnjem sadržaju ovoga dijela rada prikazan je detaljan postupak implementacije FTTH mreže unutar obuhvata. Na sljedećim slikama (Slika 5.6., Slika 5.7., Slika 5.8.) nalaze se višeslojni prikazi gradnje/nadogradnje svjetlovodne distribucijske mreže na području gradskog kotara Plokite u Splitu. Slojevi koji su kreirani i prikazani odnose se na glavnu mrežu (narančaste linije), lokalnu centralu (narančasti kvadrat), distribucijsku mrežu (plave linije),

razvodne ormare SDM-a (plavi krugovi), distribucijske čvorove (zeleni krugovi), SDM1 i SDM2 (područja označena žutom bojom). Na prikazima su ucrtane trase kabela od distribucijskih čvorova do kućanstava. Aproximativno je utvrđeno na temelju stanja trenutne infrastrukture koja može biti korištena za gradnju mreže na ovom području i koja je predmet ovog planiranja da je potrebno polagati 30 metara dodatnih cijevi. Za planiranje se uzima da je prosjek duljine od cjevovoda do kuće 5 metara od postojeće glavne trase DTK do pojedinog objekta. Koristit će se 2xPEHD cijevi promjera $d=50$ mm. Prema vlastitom nahođenju, odabrana su dva distribucijska čvora gdje svaki od dva distribucijska čvora čini jednu svjetlovodnu distribucijsku mrežu. Pa tako obuhvat „SDM1“ prikazuje područje koje obuhvaća distribucijski čvor 1. Područja obuhvata su oba distribucijska čvora skupa sa slojem DČ koji zelenim krugom označava njihove lokacije (Slika 5.6.). Kao što je prethodno navedeno, distribucijski čvorovi izvode se kao samostojeći vanjski ormari.



Slika 5.6. Lokacije distribucijskih čvorova unutar područja obuhvata

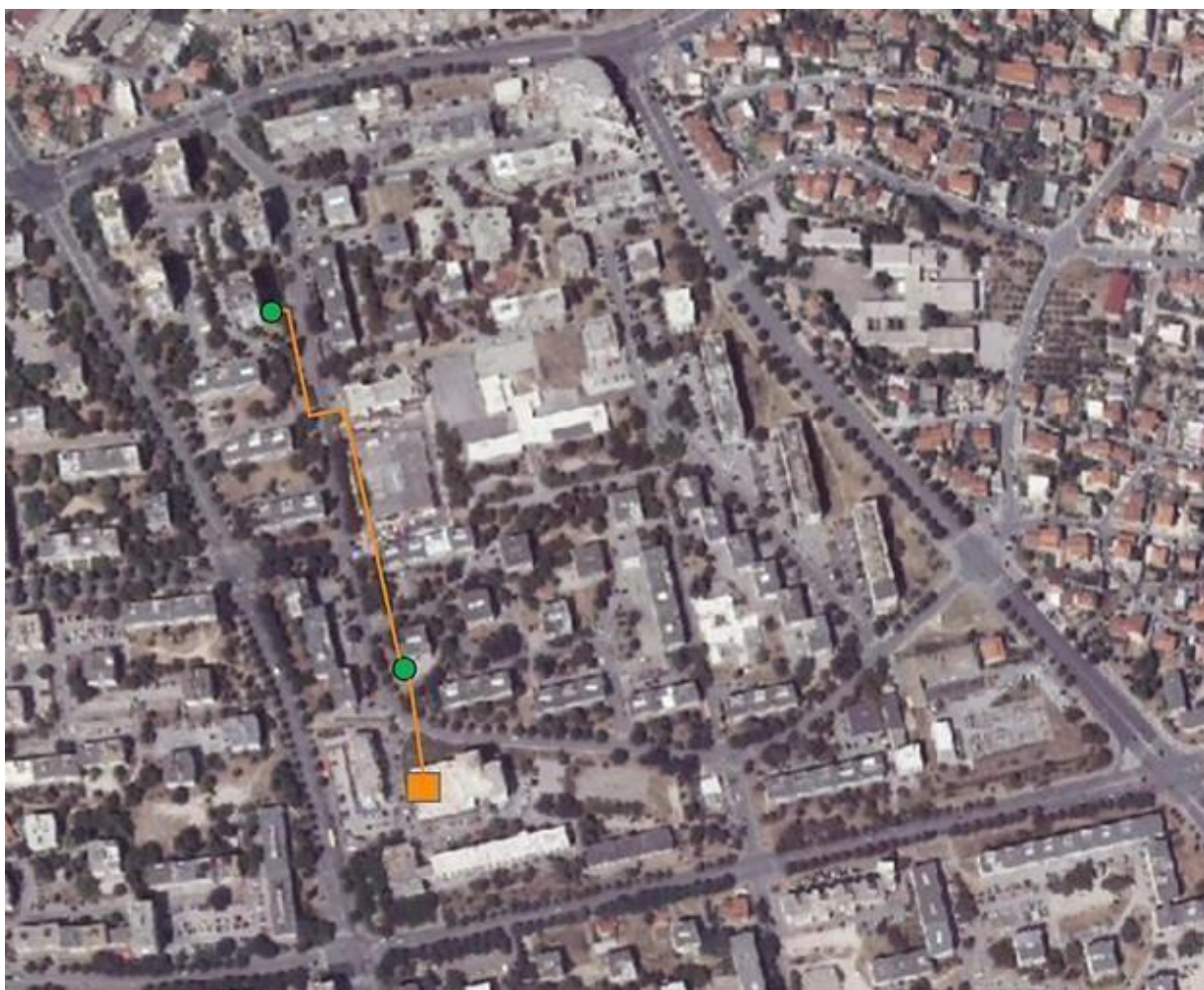
Do ulaza se dolazi mikrocijevima gdje je pozicioniran glavni razvodni ormar preko kojeg se distribucijska mreža povezuje na kućnu instalaciju. Sloj razvodnih ormara SDM-a (plavi krugovi) označava mjesta glavnih razvodnih ormara. Plavim linijama označena je trasa svjetlovodnog kabela od distribucijskog čvora do razvodnog ormara (Slika 5.7.).



Slika 5.7. Svjetlovodna distribucijska mreža i odgovarajući elementi

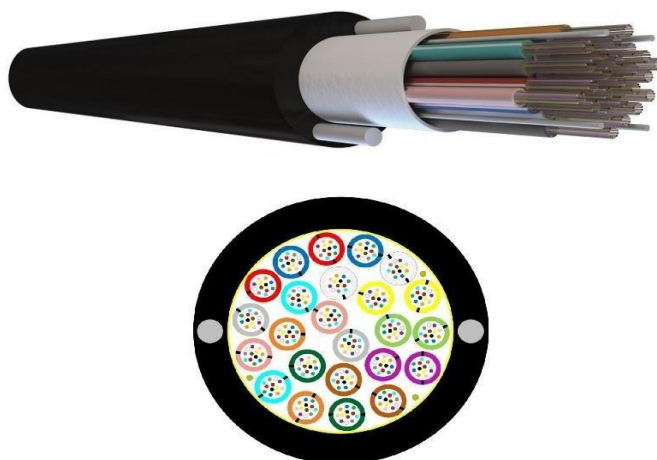
Prikazane trase svjetlovodnih kabela i razvodnih ormara su ucrtane prema vlastitom nađenju autora i služe kao pokazni primjer. Centrala (CO) se nalazi u Vinkovačkoj ulici 19 i na sljedećoj slici (Slika 5.8.) označena je narančastim kvadratom.

Glavna odnosno spojna mreža prikazana je na slici (Slika 5.8.). Njoj, preko lokalne centrale imaju pristup distribucijskom čvoru drugi korisnici i operatori. Na sljedećoj slici su prikazani slojevi: distribucijski čvor, glavna mreža i lokalna centrala, a ostali slojevi nisu prikazani. Trase svjetlovodnih kabela glavne mreže te smještaj lokalne centrale definirani su po podacima postojećeg stanja. Distribucijski čvorovi koji su označeni zelenim krugovima na slici ispod i gore su pozicionirani na ovaj način jer se radi o dvjema točkama težišta ova dva obuhvata (jednako udaljena od svih objekata). Također, potrebno je naglasiti da centrala u Vinkovačkoj ulici nije razmatrana kao distribucijski čvor da bi se uštedio prostor oko centrale koji je već poprilično popunjen.



Slika 5.8. Spojna mreža

Od centrale do distribucijskog čvora potrebno je do 500 metara kabela jer se centrala, kao što je vidljivo na slikama, nalazi unutar istog kotara. Od centrale do distribucijskog čvora koristit će se kabel koji je u skladu s ITU G.652D preporukama. Radi se o standardu za jednomodni svjetlovod 9/125 μm koji ima stepeničasti indeks loma i radi u 2. i 3. prozoru. Najčešće je korišten u praksi te je ova norma najzastupljenija u Hrvatskoj. Izgled i presjek ovog svjetlovodnog kabela prikazani su na slici (Slika 5.9.).



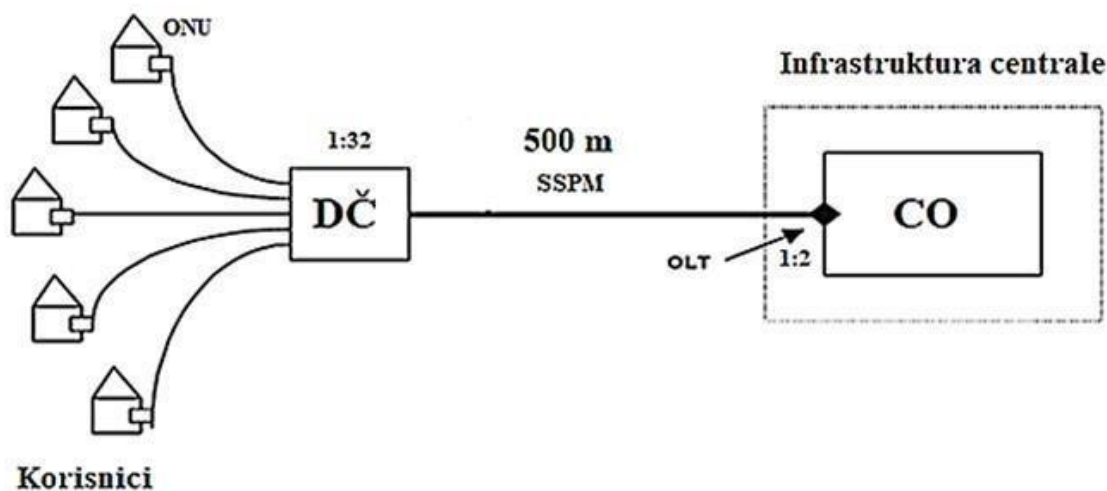
Slika 5.9. Izgled i presjek svjetlovodnog kabela (ITU G.652D) [27]

U sljedećoj tablici (Tablica 5.1.) prikazani su planirani kapaciteti svjetlovodnih kabela/mikrokabela koji će biti uvučeni od centrale do stubišnog ulaza, kućanskih jedinica te poslovnih objekata i javnih institucija čija primarna namjena nije stambena.

Tablica 5.1. Planirani kapaciteti kabela

Broj svjetlovodnih vlakana po pojedinoj kućanskoj jedinici	2 vlakna po kućanskoj jedinici (jedan kabel s dvije niti)
Broj svjetlovodnih vlakana koji će biti povučen do poslovnih objekata i javnih institucija čija primarna namjena nije stambena	Mikrokabeli kapaciteta 12 vlakana
Kapaciteti svjetlovodnih kabela od centrale do stubišnog ulaza	Mikrokabeli s kapacitetom od 12, 24, 48 ili 96 niti karakteristika G.652D

Na strani centrale (CO) smješten je sustav opreme s jedne strane koji je povezan ka *core* mreži (*uplink*), a s druge strane povezan ka distribucijskoj mreži (*downlink*) prema lokaciji korisnika. Isto tako na strani korisnika smješten je terminirajući sustav opreme koji omogućava korisniku primanje i uporabu usluga koje su mu pružene [28]. Na sljedećoj slici (Slika 5.10.) nalazi se prikaz FTTH mreže od centrale, preko distribucijskog čvora do krajnjeg korisnika.



Slika 5.10. Od centrale do adrese korisnika

gdje je:

- DČ – Distribucijski čvor,
- CO – Central office (Centrala),
- SSPM – Svjetlovodna pristupna mreža,
- OLT - Optical Line Terminal (Optički linijski terminal),
- ONU – Optical Network Unit (Optička mrežna jedinica).

Na strani centrale smješten je OLT terminirajući uređaj, na korisničkoj strani je ONT terminirajući uređaj [28]. Na sljedećoj slici prikazuje se primjer implementacije OLT-a. Tijekom ove faze, osobe koje su zadužene za implementaciju donose odluku o proširenju centrale i instalaciji nove OLT opreme koja će omogućiti da ona može opsluživati nove adrese kao što prikazuje primjer na slici (Slika 5.11.).



Slika 5.11. Instalacija OLT uređaja [29]

Potrebno je odrediti unutar DČ-a koliko će se djelitelja koristiti što ovisi o broju kućanstava te tipu djelitelja koji se odabire. S obzirom da imamo 2518 kućanskih jedinica koristiti će se 79 djelitelja (ukupni broj kućanskih jedinica/32). Instalacija djelitelja podrazumijeva da će svjetlovodni kabeli doći s E-strane (OLT), a zatim će se podijeliti na sitne optičke kabele kako bi opsluživali adrese krajnjih korisnika. Kako bi podijelio vlaknaste kabele E- strane, zahtijeva se instalacija 79 djeljitelja, a svaki od njih može podijeliti jedan od optičkih kabela E-strane u 32 vlaknasta kabela D-strane [29]. Niti se moraju osigurati do svake kućanske jedinice. Osim 1:32 djelitelja koji se koriste u DČ-ovima imamo i 1:2 djelitelje koji se koriste na ONT strani. Na slici (Slika 5.12.) ispod prikazani su 1-32 djelitelji.



Slika 5.12. 1-32 djelitelj [29]

Dužnost tima za implementaciju je instalacija 79 djelitelja, gdje svaki ima jedan ulaz iz OLT-a, a 32 izlaza ide na ONU. Tijekom ove faze implementacijski tim treba instalirati ONU uređaje, po jedan uređaj za svaku kuću [29]. Primjer instalacije ONU uređaja prikazan je na sljedećoj slici (Slika 5.13.).



Slika 5.13. Instalacija ONU uređaja [29]

Za postavljanje svjetlovodnih kabela koristi se metoda uvlačenja, nadomještena s tehnikom upuhivanja. Kod izrada kabelske kanalizacije u gusto naseljenim područjima kao što je ovo, gdje imamo mnogo svjetlovodnih kabela, u primjeni su usnopljene sekundarne mikrocijevi uz pomoć kojih je omogućeno jednostavnije dovođenje (upuhivanje) određenih kabela do krajnjeg korisnika. Na sljedećoj slici (Slika 5.14.) prikazano je postavljanje kabela u kabelsku kanalizaciju.



Slika 5.14. Postavljanje kabela [29]

Sljedeći korak implementacije je povezivanje OLT-a s optičkim kabelima s E-strane. Zatim se spajaju kabeli s razdjelnicima i povezuje razdjelnik s optičkim kabelima D-strane te se na kraju spajaju kabeli D-strane s ONU-om. Na sljedećoj slici (Slika 5.15.) prikazane su spojnice i cijevi namjenjene kabelskoj kanalizaciji. Nakon ovog procesa sustav je spreman za sljedeću i posljednju fazu odnosno fazu testiranja [29].



Slika 5.15. Spojnice i cijevi za kabelsku kanalizaciju [30]

GPON se ne planira u ovom dijelu jer se ne odnosi samo na kotar Plokite već na cijelo područje grada Splita. Treba napomenuti da je na području Europe standardizirana GPON tehnologija prema preporukama ITU.T G.984. U zadnjem dijelu mreže (poslije djelatnika) ka korisniku rezervirana je jedna svjetlovodna nit. U segmentu između OLT-a i djelatnika upotrebljava se jedna svjetlovodna nit za 32 ili 64 korisnika, što ovisi o razdjelnom ormaru koji se koristi (splitting ratio).

5.4. Proračun

FTTH pristupne mreže široko su korišteno rješenje za pružanje širokopojasnih usluga visokog kapaciteta korisnicima. Njihov glavni nedostatak je to što su vrlo skupo rješenje koje se sastoji od troškova za infrastrukturne radove (najčešće kopanje rovova) i postavljanje optičkih kabela [31].

FTTH troškovi definirani su izrazom istim kao GPON troškovi koji se prikazani sljedećom izrazom:

$$C_{GPON(CAPEX)} = C_F + C_I + C_E \quad 1.$$

Jedina je razlika što je potrebno više građevinskih radova, odnosno više kanala koji su neophodni zbog polaganja optičkih vlakana između prostora korisnika s optičkim razdjelnikom. Cijena vlakna C_F definira se kao ukupna duljina vlakna pomnožena s cijenom vlakna po metru. Troškovi instalacije C_I sastoje se od troškova instalacije centrale (CO), troškova postavljanja šahtova i ukupnih troškova kanala i kopanja rovova. Kod ovih troškova potrebno je obratiti pozornost na ukupan broj mjesta prvog razdjelnika, ukupan broj mjesta drugog razdjelnika te na ukupnu duljinu kanala jer oni značajno doprinose ukupnoj procjeni troškova. Troškovi opreme uglavnom ovise o troškovima razdjelnika i ONT-a, dok se unutar CO troškovi sastoje od troškova optičkog razvodnog okvira (ODF), troškova kućišta i troškova linijskih kartica [31]. U sljedećoj tablici (Tablica 5.2.) prikazani su približni troškovi komponenti pristupne mreže.

Tablica 5.2. Približni troškovi komponenti pristupne mreže [31]

Približni troškovi komponenti pristupne mreže		
Komponenta	Cijena	Komentar
Cijena vlakana	2 eura	Kabel od 96 vlakana po metru
Trošak šahta	500 eura	Po jedinici
Trošak kanala	5 eura	Po metru
Ukupni trošak iskopa	150 eura	Po metru
Trošak ODF-a	1.230 eura	Po jedinici
Kućište	8.000 eura	Po jedinici, za 16 kartica
Trošak razdjelnika (1:32)	100 eura	Po jedinici
Trošak linijske kartice	4.600 eura	Po jedinici
ONT Trošak	65 eura	Po jedinici
Troškovi pristupne točke pristupnika	300 eura	Po jedinici
Pristupna točka	150 eura	Po jedinici
Distribucijski čvor	15.000 eura	Po jedinici

U sljedećem dijelu rada nalazi se prikaz proračuna troškova za planirani obuhvat. Prvi korak predstavlja izračun troškova distribucijskih čvorova, odnosno dva distribucijska čvora, čija je jedinična cijena 15.000 €. Navedena cijena distribucijskog čvora podrazumijeva sve djelatnike, razdjelnike kao i sami trošak izgradnje kabineta.

$$C_{DČ} = 2 * 15.000 = \mathbf{30.000 \text{ €}}$$
 2.

Dakle, kao što je vidljivo u prethodnom izrazu trošak za dva distribucijska čvora iznosi 30.000 €. Drugi korak je određivanje troška 96-nitnog svjetlovodnog kabela koji se dobije množenjem duljine SSPM s jediničnom cijenom 96-nitnog kabela po metru:

$$C_{SK} = 500 * 2 = \mathbf{1.000 \text{ €}}$$
 3.

Zatim je potrebno odrediti trošak kabela koji se dobije množenjem ukupne duljine svih SDM kabela (zbroy svih duljina plavih trasa na Slika 5.7) s cijenom kabela po metru:

$$C_{SDM} = 1.100 * 2 = \mathbf{2.200 \text{ €}}$$
 4.

Četvrti korak predstavlja određivanje troška izgradnje kableske kanalizacije, koji se dobiva množenjem duljine novoizgrađene kableske kanalizacije s jediničnom cijenom izgradnje kanalizacije (zbroy troškova šahta i troška kanala).

$$C_K = 30 * (500 + 5) = \mathbf{15.150 \text{ €}}$$
 5.

Peti korak je određivanje troška linijske kartice, koji s obzirom da ima jedna linijska kartica iznosi 4.600 €. Sljedeći korak je određivanje troškova za ONT uređaje koji se dobiva množenjem broja kućanskih jedinica s jediničnom cijenom ONT-a:

$$C_{ONT} = 2518 * 65 = \mathbf{163.670 \text{ €}}$$
 6.

Sedmi korak je određivanje ukupnog troška pristupne točke koji je umnožak broja adresa i jedinične cijene po pristupnoj točki:

$$C_{PT} = 146 * 150 = \mathbf{21.900 \text{ €}}$$
 7.

Na kraju se određuje ukupni trošak koji je zbroj svih do sada navedenih koraka, dakle:

$$C_{UT} = 30.000 + 1.000 + 2.200 + 15.150 + 4.600 + 163.670 + 21.900 = \mathbf{239.520 \text{ €}}$$
 8.

Potrebno je napomenuti da nisu uzeti u obzir troškovi OLT-a i njemu pripadajućih razdjelnika i djelitelja.

6. ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad pruža sveobuhvatan uvid u kompleksnost planiranja i izgradnje Fiber to the Home (FTTH) mreže, istražujući ključne aspekte arhitekture, sastavnih elemenata te principa planiranja ove napredne telekomunikacijske infrastrukture.

Razmatranje različitih topologija i arhitektura FTTH mreže otvara prostor za detaljno razumijevanje njihovih prednosti i izazova. Sastavni elementi, od svjetlovodnih razdjelnika do kućnih instalacija, predstavljaju bitne komponente koje čine ovu tehnologiju funkcionalnom i učinkovitom.

Principi planiranja svjetlovodne pristupne mreže, s naglaskom na urbanim okruženjima, ističu potrebu za preciznim balansiranjem tehničkih i urbanističkih faktora. Otvaranje mogućnosti prilagodbe otvorenog FTTH modela pokazuje se kao ključno rješenje za suvremena gradska planiranja.

Analiza izgradnje svjetlovodne pristupne mreže u Splitu dodatno ilustrira stvarnu primjenu tehnoloških koncepta na terenu.

Ovaj rad ne samo da produbljuje teorijsko razumijevanje FTTH tehnologije, već i pruža konkretna uputstva za implementaciju, otvarajući vrata ka razvoju pametnih i povezanih gradova. Izazovi identificirani tijekom istraživanja pružaju smjernice za daljnja unapređenja, stvarajući temelj za inovacije u planiranju i izgradnji telekomunikacijskih mreža.

LITERATURA

- [1] Interni dokument telekomunikacijskog operatora.
- [2] Bažant, A. i sur., *Osnovne Arhitekture Mreža*, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu.
- [3] Bažant, A. i sur., *Telekomunikacije - tehnologija i tržište*, Element, Zagreb, 2007.
- [4] *Fiber Optic Solutions*, <http://fibrain.com/pontechnology-based-ftth-networks-for-gpon-transmission,62.html>. [01.10.2023]
- [5] Karaica, I., *FTTx mrežne tehnologije*, Tehničko veleučilište Zagreb, srpanj 2009.
https://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/FTTX_mrezne_tehnologijeKaraica.pdf. [17.09.2023.]
- [6] Tehno-ekonomska obilježja izgradnje FTTH mreža, 2011.
https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2012/studije/Studija_Tehnoekonomska%20obilje%C5%BEja%20izgradnje%20FTTH%20mre%C5%BEav%201%200.pdf. [17.09.2023.]
- [7] FTTH Handbook, Edition 6, FTTH Council Europe.
- [8] Miškić, I. *Arhitektura i značajke IPTV mreže*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2018.
- [9] Zagrebački holding d.o.o., *ZDG - Minimalna ponuda za SDM Vrbani III*,
<https://www.digitalnigrad.hr/default.aspx?id=212>. [03.10.2023].
- [10] Pasivne optičke mreže,
<https://pasivneoptickemreze.weebly.com/delovi.html> [16.09.2023].

- [11] *Motorola AXS2200, GPON Optical Line Terminal*, priručnik 2007., <https://manualzz.com/doc/40352417/motorola-axs2200---broadbandsoho.com>. [02.10.2023].
- [12] Rachmana Syambas, N. i Farizi, R., *Hybrid of GPON and XGPON for Splitting Ratio of 1:64*, International Journal on Electrical Engineering and Informatics 9(1):58-70, 2017.
- [13] ITU-T: <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-t-setting-the-standard.aspx>. [03.10.2023]
- [14] Ghazisaidi, N. i Maier, M., *FiWi Access Networks*, Cambridge University Press, 2012.
- [15] Eržen, V. i Batagelj, B., *NG-PON1: Technology presentation, implementation in practice and coexistence with the GPON system*, Elektrotehniški Vestnik/Electrotechnical Review 79(3):117-122, 2012.
- [16] Calix, *NG-PON2 Calix Deployment Guidelines*, priručnik https://www.calix.com/content/dam/calix/marketing-documents/public/Calix_Whitepaper_NG-PON2_Deployment.pdf. [17.09.2023].
- [17] *Pravilnik o svjetlovodnim distribucijskim mrežama*, br. 73/08., 90/11., 133/12. i 80/13., Narodne novine, Zagreb, 2014. http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_05_57_1087.html. [05.09.2023].
- [18] *Interni dokument telekomunikacijskog operatera 2*.
- [19] Popović, Ž., *Izgradnja digitalnih gradova 4-27*, Zagreb: Revija Ericsson Nikola Tesla, 2008.

- [20] Tesla Cables, *Svjetlovodni kabel za vanjsku primjenu sa ili bez nemetalne zaštite od glodavaca*, <https://www.teslacables.com/media/documents/a-dq-zn-2y.pdf> [06.09.2023].
- [21] Urbana aglomeracija Zagreb, Grad Zagreb, Gradski ured za startegijsko planiranje i razvoj grada, 2016.,
<https://www.zagreb.hr/userdocsimages/arhiva/SRUAZobuhvat.pdf>
[02.10.2023]
- [22] Zakon o lokalnoj i područnoj (regionalnoj) samoupravi,
<https://www.zakon.hr/z/132/Zakon-o-lokalnoj-i-podru%C4%8Dnoj-%28regionalnoj%29-samoupravi>. [02.10.2023]
- [23] Split.hr, *Gradski kotar - Plokite*, 2023. <https://split.hr/gradska-uprava/kotari-i-mjesni-odbori/gradski-kotari/plokite> [28.11.2023].
- [24] *Područja dostupnosti širokopojasnog pristupa*, HAKOM, 2023.
<http://mapiranje.hakom.hr/hr-HR/SirokopojasniPristup#sthash.kO6fPiXm.dpbs> [28.11.2023].
- [25] Krsmanović, M. i Jovanović, M., *Planiranje i realizacija optičkih pristupnih mreža, XXX Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju* – PosTel, 2012.
- [26] Dubravić, S., *FTTH mreža Sopnica-Jelkovec: projektno rješenje i iskustva u izgradnji*, EIS - Elektroinženjerski Simpozij, 2010.
- [27] TKF, *STC - G.652.D*, 2023.
<https://www.tkf-telecom.eu/en/catalog/cables/stc-g-652-d.html>
[02.12.2023].

- [28] Brešković, D., Sveučilište u Splitu, *Svjetlovodni sustavi*, prezentacija predavanja, Odjel za stručne studije, Split, 2022.
- [29] Haydar, I. M., *FTTH Fiber To The Home High Speed Internet Broadband*, Department of Telecommunication Engineering Asia Pacific University of Technology & innovation Bukit Jalil, Malaysia, 2012.
- https://www.researchgate.net/publication/268642824_FTTH_Fiber_To_The_Home_High_Speed_Internet_Broadband ,2012 [02.12.2023].
- [30] Weissinger, P., NBG Fiber Optic GMBH, *Modular Cable System*, 2019.
- <https://nbg.us/universal-cable-2/> [02.12.2023].
- [31] Brešković, D., Begušić, D., *Techno-Economic Analysis of FiWi Access Networks Based on 802.11 ac WLAN and NG-PON2 Networks*, Fiber and Integrated Optics, 36(3), 127-143, 2017.
- [32] Brešković, D., Begušić, D., *Access Networks Brownfield Investments Based on Characteristic Infrastructure Parameters Optimization*, Journal of Network and Systems Management, 31(3), 63, 2023.

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Topologija „točka-točka“ [1].....	4
Slika 2.2. Optički mrežni terminal (ONT) [10]	7
Slika 2.3. Motorola AXS2200 - Optički linijski terminal (OLT) [11]	7
Slika 2.4. Topologija „točka – više točka“ [1].....	8
Slika 2.5. Kombinacija topologije P2P i P2MP [1].....	9
Slika 3.1. Osnovna podjela FTTH mreže [1].....	11
Slika 3.2. Distribucijski čvor [1].....	14
Slika 3.3. Svjetlovodna distribucijska mreža (SDM) [19]	17
Slika 3.4. Svjetlovodni kabel [20]	18
Slika 4.1. Svjetlovodna pristupna mreža građena prema otvorenom modelu [1]	20
Slika 5.1. Područje obuhvata	26
Slika 5.2. Svi slojevi bez mreža pokretnih komunikacija [24]	27
Slika 5.3. Od 2 Mbit/s do 30 Mbit/s [24]	28
Slika 5.4. Od 30 Mbit/s do 100 Bbit/s [24]	29
Slika 5.5. Izvedba ODF-a [26].....	32
Slika 5.6. Lokacije distribucijskih čvorova unutar područja obuhvata	33
Slika 5.7. Svjetlovodna distribucijska mreža i odgovarajući elementi.....	34
Slika 5.8. Spojna mreža.....	35
Slika 5.9. Izgled i presjek svjetlovodnog kabela (ITU G.652D) [27]	36
Slika 5.10. Od centrale do adrese korisnika	37
Slika 5.11. Instalacija OLT uređaja [29]	38
Slika 5.12. 1-32 djelitelj [29]	39
Slika 5.13. Instalacija ONU uređaja [29]	39
Slika 5.14. Postavljanje kabela [29].....	40
Slika 5.15. Spojnice i cijevi za kabelsku kanalizaciju [30]	41

POPIS TABLICA

Tablica 5.1. Planirani kapaciteti kabela	36
Tablica 5.2. Približni troškovi komponenti pristupne mreže [31]	42