



MATIČNA SEKCIJA ELEKTRO INŽENIRJEV

TELEKOMUNIKACIJSKI PRIROČNIK OPTIČNA DOSTOPOVNA OMREŽJA V PROSTORU

Pripravila:

Ferdinand Valenčak, univ. dipl. inž. el.

Milan Šerc, univ. dipl. inž. el.

Pregledal:

Dušan Mrak, univ. dipl. inž. el.

Potrdil:

Upravni odbor Matične sekcije elektroinženirjev

Izdala:

Inženirska zbornica Slovenije

Jarška cesta 10/b, Ljubljana

Oblika izdaje:

Elektronska verzija, dostopno na www.izs.si

Ljubljana, oktober 2018

Matična sekcija elektroinženirjev

Telekomunikacijski priročnik podaja sistemski pregled komunikacijskih omrežij in povezanih storitev. Kratek opis izbranih izsekov obširnega področja telekomunikacij daje informacije o zahtevnosti projektiranja, gradnji in obratovanju optičnih telekomunikacijskih omrežij in storitev.

Priročnik podaja tehnične značilnosti dostopovnih komunikacijskih omrežij v prostoru, njihovo arhitekturo in sistemski značaj posameznih vrst dostopovnih omrežij. Opisuje način projektiranja in izgradnje.

Prav tako so navedene evropske smernice, zakoni, standardi in predpisi, potrebni pri izgradnji širokopasovnih dostopovnih komunikacijskih omrežij.

Cilj telekomunikacij je poslati naročnikom storitev najboljše kakovosti s čim manjšo porabo pasovne širine in moči in s pomočjo najpreprostejše telekomunikacijske strojne opreme.

Projektanti, izvajalci in nadzorni inženirji so odgovorni, da so telekomunikacijske instalacije, inženirski objekti in telekomunikacijska omrežja projektirani in zgrajeni tako, da so varni tako v času graditve kot po začetku obratovanja ter usposobljeni za tehnično pravilno delovanje komunikacijskih storitev.

Predsednik Matične sekcije elektro inženirjev
mag. Vinko Volčanjk, univ. dipl. inž. el.

Opozorilo:

Podani priročnik je namenjen kot pomoč pri delih, povezanih z nalogami in obveznostmi projektanta, izvajalca in nadzornika električnih inštalacij.

Za morebitno neustrezno ali nepravilno uporabo ali tolmačenje izdajatelj priročnika in sodelavci pri pripravi priročnika ne odgovarjajo. Priročnik ni uraden dokument; primarno so veljavni in merodajni zakonski predpisi in standardi.

KAZALO VSEBINE

1.	Uvod	6
2.	TELEKOMUNIKACIJSKA DOSTOPOVNA OMREŽJA V PROSTORU.....	7
2.1.	Hibridno telekomunikacijsko omrežje z bakrenimi paricami.....	7
2.2.	Hibridna optično-koaksialna omrežja (HFC – Hybrid Fiber Coaxial).....	8
2.2.1.	<i>Signali v kabelskih komunikacijskih omrežjih HFC (hibridnih optično-koaksialnih).</i>	9
2.3.	Optično dostopovno omrežje	12
2.3.1.	<i>Elementi optičnega dostopovnega omrežja</i>	12
2.3.2.	<i>Osnove optičnih omrežij</i>	13
	Modulacija svetlobe	15
	Optična vlakna	15
	Vrste optičnih kablov	16
	Standardi za optične kable	17
	Označevanje optičnih kablov	19
	Samonosilni optični kabli	20
	Mikrokabli	21
	Označevanje optičnih vlaken v optičnih kabljih	22
	Zaključevanje optičnih vlaken.....	22
	Ulične omare	23
	Optični konektorji in povezovalne vrvice.....	23
	Lastnosti konektorjev in sklopnikov	26
	Načini povezovanja optičnih vlaken.....	27
	Optične spojke.....	29
	Optični razcepniki	32
	Delilnik valovnih dolžin – valovni multiplekser	33
	Aktivna oprema.....	34
2.3.3.	<i>Slabljenje optičnega komunikacijskega sistema</i>	36
	Doseganje prenosne razdalje za GPON-omrežja	39
	Valovno dolžinsko deljeni multipleks v pasivnih optičnih omrežjih (WDM – angl. Wave Division Multiplex).....	41
	Pasivna optična omrežja z dodanim prenosom VF-signalov (angl. RF overlay)	42
3.	IZVEDBA OPTIČNIH OMREŽIJ V PROSTORU	43
3.1.	Uporaba kabelske kanalizacije	43
3.2.	Polaganje optičnih kablov v zemljo	43
3.3.	Izvedba kabelske kanalizacije z mikrocevmi.....	43
3.4.	Zračni razvod optičnih kablov	45
3.4.1.	<i>Izbira optičnega kabla za zračni razvod</i>	45

3.4.2.	<i>Zahtevane karakteristike kabla</i>	46
3.4.3.	<i>Inštalacija ADSS-kabla in natezne napetosti</i>	47
3.5.	Notranji razvod v zgradbah	49
3.5.1.	<i>Izenačitev potencialov v prostorih z aktivno opremo</i>	51
3.6.	Zahteve za načrtovanje multimedijskih kabelskih sistemov	52
4.	TEHNOLOGIJE OPTIČNIH DOSTOPOVNIH OMREŽIJ	53
4.1.	Primerjava GPON in EPON optičnih kabelskih komunikacijskih omrežij	53
4.2.	Tehnologija EPON-omrežij	56
4.3.	Tehnologija GPON-omrežij	57
5.	Razvoj standardizacije optičnih dostopovnih omrežij	59
6.	NAČRTOVANJE IN DOKUMENTACIJA KABELSKIH KOMUNIKACIJSKIH OMREŽIJ S PROGRAMSKIMI ORODJI	61
7.	SESTAVINE NAČRTOV ZA IZVEDBO KABELSKIH KOMUNIKACIJSKIH OMREŽIJ	63
8.	ZAKONSKA UREDITEV PODROČJA TELEKOMUNIKACIJ, ELEKTRONSKIH KOMUNIKACIJ IN INFORMATIKE	65
9.	ZAKLJUČEK	65
10.	LITERATURA	66

KAZALO SLIK

Slika 1: Skrajševanje bakrene zanke z optičnim omrežjem	8
Slika 2: HFC-struktura kableskega komunikacijskega omrežja z delitvijo povezav v povratni smeri	10
Slika 3: Obročasta struktura z redundančnimi povezavami	11
Slika 4: Shema pasivnega optičnega dostopovnega omrežja	12
Slika 5: Elementi optičnega dostopovnega omrežja	13
Slika 6: Ponazoritev valovnih dolžin svetlobnega spektra	14
Slika 7: Slabljenje v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe	14
Slika 8: Optično vlakno	16
Slika 9: Vrste zemeljskih optičnih kablov	17
Slika 10: Primer označevanja optičnih kablov enega od proizvajalcev	19
Slika 11: Zračni razvod na daljnovodu	20
Slika 12: Sistemi samonosilnih optičnih kablov	20
Slika 13: OPGW-kabel	21
Slika 14: Mikrokabel	22
Slika 15: Optični delilnik	23
Slika 16: Ulične omare z delilniki in razcepniki	23
Slika 17: Konektor SC-PC ali SC-APC	24
Slika 18: LC-konektor	24
Slika 19: FC-konektor	25
Slika 20: E2000-konektor	25
Slika 21: Sklopniki z različnimi optičnimi konektorji	25
Slika 22: Ilustracija odboja svetlobe na APC-spoju vlaken	26
Slika 23: PC-poliranje optičnega vlakna	26
Slika 24: APC-poliranje optičnega vlakna	26
Slika 25: Slabljenje na posameznih segmentih spoja s konektorjem	27
Slika 26: Primera izvedbe spajanja vlaken	27
Slika 27: Lastnosti optične povezave s konektorji	28
Slika 28: Izvedba mehanskega spoja vlaken	28
Slika 29: Naprava za varjenje vlaken	29
Slika 30: Tipično ohišje za zaščito optične spojke v zemlji	29
Slika 31: Tipično ohišje za zaščito optičnih spojk v omari	30
Slika 32: Primer načrta optične spojke	31
Slika 33: Izvedba FBT optičnega razcepnika	32
Slika 34: Izvedba PLC optičnega razcepnika	32
Slika 35: Videz dveh vrst optičnega razcepnika	33
Slika 36: Slabljenje različnih optičnih razcepnikov	33
Slika 37: Valovni multiplekser	34
Slika 38: Aktivna oprema v optičnem dostopovnem omrežju (OLT in ONU)	35
Slika 39: Največja dolžina optične trase pri danih parametrih aktivne opreme	36
Slika 40: Doseg optične trase z uporabo optičnega ojačevalnika	37
Slika 41: Prikaz pasivne delitve signalov – z razcepom signalov se zmanjšuje doseg omrežja na 1310 nm	38
Slika 42: Doseg največje razdalje glede na razcepnike v GPON-omrežju	39
Slika 43: Razmere pri danih podatkih aktivne opreme za GPON-omrežje	40
Slika 44: Razmere pri danih podatkih aktivne opreme za GPON-omrežje	40
Slika 45: Prenos video signalov na 1550 nm	41
Slika 46: Valovni multipleks – prenos signalov na več valovnih dolžinah po enem vlaknu	41

Slika 47: Sožitje več načinov prenosa z različnimi tehnologijami po istem vlaknu z valovnim multipleksom	42
Slika 48: Izvedba kableske kanalizacije za optične kable z mikrocevmi	44
Slika 49: Zračni razvod s samonosilnimi optičnimi kabli.....	45
Slika 50: Načini izvedbe notranjih inštalacij v večstanovanjskih objektih	50
Slika 51: Shema notranje inštalacije, izdelana s pomočjo programskega orodja AND	50
Slika 52: Zvezda razvod v večstanovanjskem objektu	51
Slika 53: Izvedba izenačitve potencialov in ozemljitev v zgradbah z napravami informacijske tehnologije	52
Slika 54: Shema EPON optičnega omrežja.....	55
Slika 55: Shema GPON optičnega omrežja	55
Slika 56: Značilnosti EPON optičnega omrežja	57
Slika 57: Značilnosti GPON-omrežja	58
Slika 58: Nadgradnja na 10G GPON optično omrežje	59
Slika 59: Razvoj standardov za pasivna optična omrežja	60
Slika 60: Stanje optičnega omrežja v prostoru	63

1. UVOD

V TK priručniku se bomo omejili na osnove načrtovanja telekomunikacijskih omrežij na fizični ravni, ki se gradijo z optičnimi kablji, to so hibridni optično-koaksialni sistemi, širokopasovna optična omrežja, notranje telekomunikacijske inštalacije v objektih – optični razvod.

Izgradnja telekomunikacijskega omrežja pomeni posege v prostor, in ti posegi zahtevajo tudi pripravo ustrezne projektne dokumentacije skladno z zakonodajo.

Naročniki storitev telekomunikacijskih operaterjev postajajo čedalje zahtevnejši, ponudba multimedijskih in internetnih storitev za svoje delovanje zahteva širokopasovne prenosne hitrosti. Evropska komisija v Digitalni agendi za Evropo navaja konkreten cilj, po katerem naj bi imela do leta 2020 vsa gospodinjstva možnost širokopasovnega dostopa z zmogljivostjo prenosa podatkov do 30 Mbit/s in vsaj polovica gospodinjstev do 100 Mbit/s. Širokopasovnost je danes pojmovana kot vrsta dostopa, ki omogoča prenos podatkov za gospodinjstva z zmogljivostjo vsaj 10 Mbit/s. Tehnologija, zasnovana na optičnem vlaknu, je najprimernejša za izvedbo takšnega širokopasovnega dostopovnega omrežja.

Dostopovna telekomunikacijska omrežja se načrtujejo z upoštevanjem več dejavnikov, kot so: stanje stanovanjskih in poslovnih objektov v prostoru (novogradnje, obstoječi objekti, načrtovani novi objekti), stanje obstoječih telekomunikacijskih omrežij v prostoru (nadgradnja omrežij, zamenjava obstoječih bakrenih omrežij z optičnimi omrežji), velikosti predvidenega omrežja, opredelitev stroškov investicije, opredelitev stroškov vzdrževanja, opredelitev vrste optičnega omrežja, upoštevanje lokalnih pogojev.

Na tej osnovi je treba predvideti optimalno izvedbo optičnega dostopovnega omrežja.

2. TELEKOMUNIKACIJSKA DOSTOPOVNA OMREŽJA V PROSTORU

Med osnovna širokopasovna omrežja lahko štejemo več različnih tehnoloških platform, vključno s širokopasovnimi dostopovnimi vozlišči, DSLAM-i, ki omogočajo ADSL, ADSL2+, VDSL2, koaksialnimi kabli (npr. standard DOCSIS 3.1), mobilnimi omrežji višjih generacij (LTE do G5) ter satelitskimi sistemi. Trenutno glede na tržni in tehnološki razvoj med dostopovna omrežja naslednje generacije štejemo optična dostopovna omrežja, ki jih v celoti ali delno sestavljajo optični elementi in lahko zagotavljajo storitve širokopasovnega dostopa z izboljšanimi lastnostmi v primerjavi z obstoječimi osnovnimi širokopasovnimi omrežji.

Telekomunikacijski operaterji so se znašli v zelo konkurenčnih okoljih, kjer konkurenti ponujajo storitve s hitrostjo prenosa tudi do 1 Gb/s proti naročniku. To pomeni, da morajo operaterji hitro povečati zmogljivosti, da bi ohranili hitrost in ohranili tržni delež. Znano je, da priljubljenost IPTV in videa na zahtevo povečuje zahteve za večjo pasovno širino za individualne uporabnike in podjetja. Operaterji imajo možnost, da svoje obstoječe bakrene kable uporabijo za zadovoljitev naraščajočih zahtev za širokopasovne storitve od svojih naročnikov.

Z novimi tehnologijami, kot sta VDSL2 (profil 17a, 30a in 35b) in G.fast, lahko telekomunikacijski operaterji (v Sloveniji Telekom) zdaj učinkovito dosežejo hitrost 100, 300 Mb/s ali do 1 Gb/s, vendar se zmogljivosti z oddaljevanjem od centrale znižujejo.

Posledice za izbiro tehnologije – bodisi FTTH bodisi FTTx – predstavljajo ključno odločitev, ki jo morajo izvajati operaterji z obstoječo bakreno infrastrukturo. G.fast omogoča delovanje vlaken za ceno preproste namestitve DSL-opreme. Spodbuja OPEX/CAPEX prihranke:

- nudenje hitrosti prenosa, primerljive z optičnimi vlakni, naročnikom, ki uporabljajo telefonske bakrene parice;
- zmanjšanje stroškov, povezanih z gradnjo optične infrastrukture v naročnikovo hišo;
- omogočanje napajanja aktivne opreme s strani naročnika (povratno napajanje).

Na trenutni stopnji tržnega in tehnološkega razvoja so dostopovna omrežja naslednje generacije:

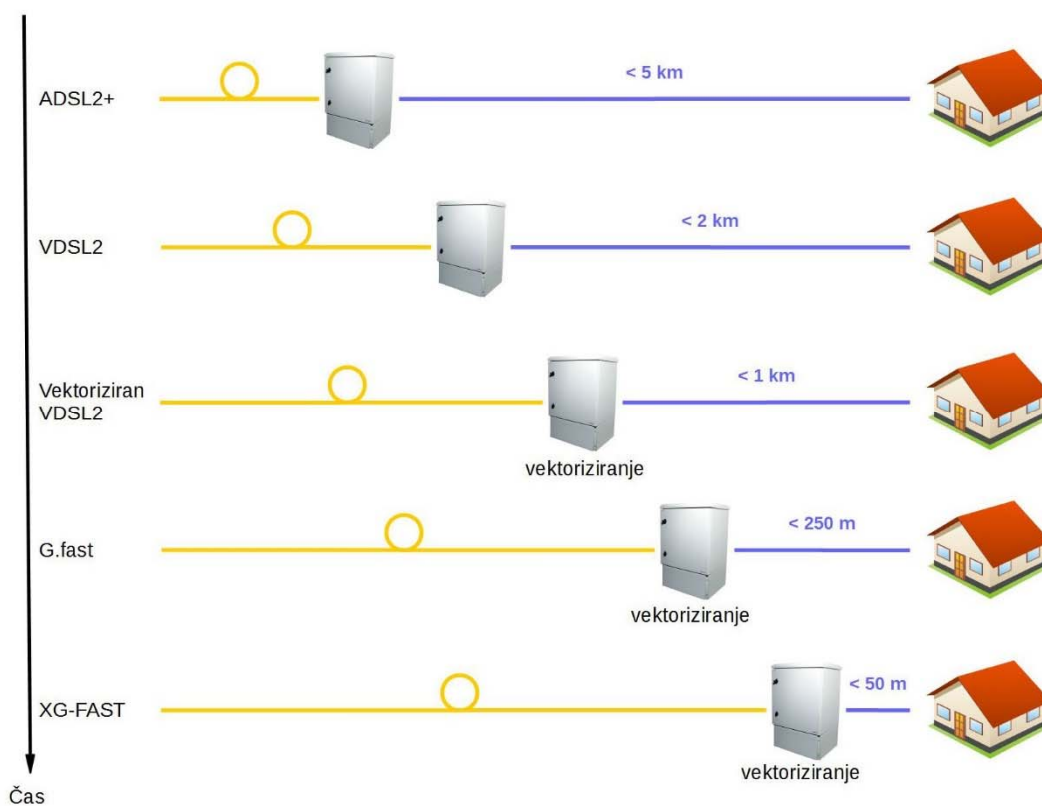
1. Na področju klasičnega telefonskega omrežja z bakrenimi paricami se je za prenos podatkov uveljavila tehnologija DSL, vendar njeno glavno omejitev predstavlja padajoča hitrost prenosa podatkov z razdaljo od vozlišča, kar pomeni omejitve pri zagotavljanju potreb naročnikov. V praksi so dejanske prenosne hitrosti še nižje od teoretičnih. Telekom Slovenije svojo dejavnost na območju posameznih naselij pokriva iz množice funkcijskih lokacij, v katerih sta nameščeni komutacijska oprema, ki omogoča telefonske priključke, in podatkovna oprema – širokopasovna dostopovna vozlišča, DSLAM-i, ki omogočajo izvedbe širokopasovnih telekomunikacijskih omrežij ADSL, ADSL2+ in VDSL2.
2. Hibridna optično-koaksialna omrežja, z optičnimi kabli nadgrajena koaksialna kabelska omrežja.
3. Optična dostopovna omrežja (FTTx).

2.1. Hibridno telekomunikacijsko omrežje z bakrenimi paricami

Omrežje Telekoma Slovenije je zasnovano tako, da ima vsak uporabnik svojo povezavo do funkcijske lokacije (FL), s čimer je omogočena maksimalna varnost in zagotovljena pasovna širina vsakemu posamezniku. Kabelsko omrežje je izvedeno v topologiji zvezda, kar omogoča usmerjeno uporabo za širokopasovne storitve.

Telekomunikacijsko omrežje se deli na krajevno kabelsko omrežje in razvodno kabelsko omrežje. Zgrajeno je s kablji različnih kapacitet (sukane bakrene parice, v zadnjem času pa pretežno gradijo omrežja z uporabo optičnih vlaken). Kabli so večinoma v zemeljski in delno v zračni izvedbi. Bakreni kabli, ki izhajajo iz funkcijske lokacije, so povezani na kabelske razdelilnike na območju. Skupaj tvorijo krajevno kabelsko omrežje (KKO). Iz kabelskih razdelilnikov izhajajo naročniški kabli do posameznih naročnikov, kar tvori razvodno naročniško omrežje (RNO). Telekom vlaga velika sredstva v posodabljanje telekomunikacijskega omrežja ter gradi novo omrežje z optičnimi kablji. Na ruralnih območjih običajno naložbe v novo optično omrežje niso upravičene. Tam izvajajo skrajševanje zank, s čimer izboljšajo naročnikom prenosno hitrost in istočasno odpravljajo prezasedene dele omrežja. Konec leta 2014 je ITU sprejel nov standard na področju DSL: G.fast, definiran v ITU-T G.9700.

Značilnost bakrenih omrežij pa je pri povečevanju prenosnih hitrosti nenehno skrajševanje bakrenega kabla do naročnika, kar kaže spodnja skica.



Slika 1: Skrajševanje bakrene zanke z optičnim omrežjem

2.2. Hibridna optično-koaksialna omrežja (HFC – Hybrid Fiber Coaxial)

Moderna koaksialna kabelska omrežja, nekoč grajena večinoma s koaksialnimi kablji, zahtevajo nenehno preoblikovanje v smislu delitve na manjše segmente, ki so med seboj in s funkcijsko lokacijo povezani z optičnimi kablji. Pred nekaj leti so ti segmenti predstavljali do 500 koaksialnih priključkov, zdaj se zmanjšujejo na 50 priključkov s tendenco preoblikovanja v celotno optično omrežje do uporabnikov v prihodnosti. V hibridnem optično-koaksialnem omrežju (HFC – Hybrid

Fibre Coaxial) poteka prenos signalov deloma optično in deloma električno. Glede na drevesno strukturo omrežja je treba potrebam zahtev za dvosmerni prenos povečevati kapacitete prenosa v povratni smeri.

Hibridna optično-koaksialna omrežja kabelskih komunikacijskih sistemov s tehnologijo prenosa DVB in DOCSIS na osnovi standardov ETSI in CENELEC je možno z ustreznim tehnološkim dograjevanjem uporabljati za zagotavljanje prenosnih hitrosti skladno z Digitalno agendo. Osnovo predstavljajo koaksialna kabelska omrežja, v 80. letih namenjena distribuciji televizijskih programov, zadnjih 20 let pa s posodobitvami aktivne opreme in uvedbo funkcionalnosti povratnega pasu omogočajo tudi internetne komunikacije. Komunikacijske zahteve pogojujejo delitev koaksialnih omrežij na manjše segmente, ki se povezujejo z optičnimi kablji, kar predstavlja hibridno optično-koaksialno omrežje. V koaksialnem omrežju so vgrajeni dvosmerni ojačevalniki, ki kompenzirajo slabljenje kablov, v optičnem pa optična vozlišča, kjer se signal iz optične oblike pretvarja v električno. Sprejemne postaje služijo za sprejem televizijskih in radijskih programov, ki jih pretvorijo za prenos po hibridnem omrežju do naročnikov. Prenosno področje obsega frekvenčni pas 80–860 MHz (10–65 MHz povratno), ki pa se v zadnjem obdobju še razširja na 1 GHz (1,2 GHz). Standard za prenos podatkov v kabelskem komunikacijskem omrežju je DOCSIS, trenutno specifikacije DOCSIS 3.0, DOCSIS 3.1. je bil objavljen oktobra 2013 in omogoča hitrosti prenosa do 10 Gb/s v smeri navzdol in 1 Gb/s v smeri navzgor (od uporabnika proti funkcijski lokaciji). Vse verzije DOCSIS-a vsebujejo kompatibilnost s prejšnjimi verzijami.

2.2.1. Signali v kabelskih komunikacijskih omrežjih HFC (hibridnih optično-koaksialnih)

Kabelska omrežja služijo za prenos množice različnih signalov. Prenos se izvaja v obliki frekvenčnega multipleksa, pasovna širina je razdeljena v posamezne kanale, ki prenašajo posamezne signale. Vsak signal je moduliran na posamezni nosilec. To velja za digitalne in analogne signale. Pri digitalnih signalih modulaijski produkt ne vsebuje nosilca. Pri demodulaciji je treba nosilec v digitalnem sprejemniku fazno usklajeno regenerirati iz modulaijskega proizvoda frekvenc.

Analogni radijski in televizijski signali

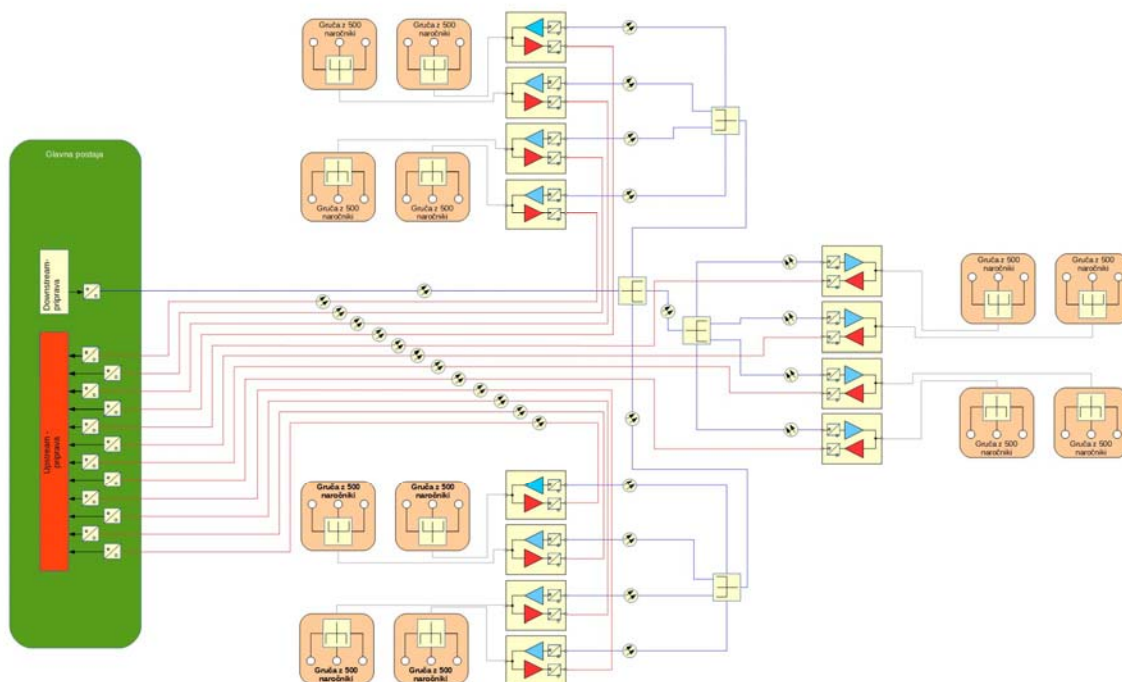
Prenos te oblike signalov v kabelskih komunikacijskih omrežjih počasi postaja zgodovina, četudi se zaradi uporabe starih TV-sprejemnikov še ponekod uporablja.

Digitalni signali

Vzroki za digitalizacijo so bili:

- DVB digitalni slikovni in tonski signali se lahko učinkovito stisnejo, s tem se zmanjša potrebna pasovna širina za prenos, namesto enega analognega TV-programa se lahko v standardnem kanalu (7 MHz) prenaša do šest digitalnih TV-programov in se na ta način lahko dosti bolje izkoristi razpoložljivo frekvenčno področje;
- moderne kodirne metode omogočajo detekcijo in popraviljanje napak pri prenosu;
- dodatna kodiranja omogočajo zaklepanje podatkovnih tokov (omogočanje Pay-per View, Video-on-Demand ...).

Glede na drevesno strukturo omrežja je treba potrebam zahtev za dvosmerni prenos povečevati kapacitete prenosa v povratni smeri.



Slika 2: HFC-struktura kabljskega komunikacijskega omrežja z delitvijo povezav v povratni smeri

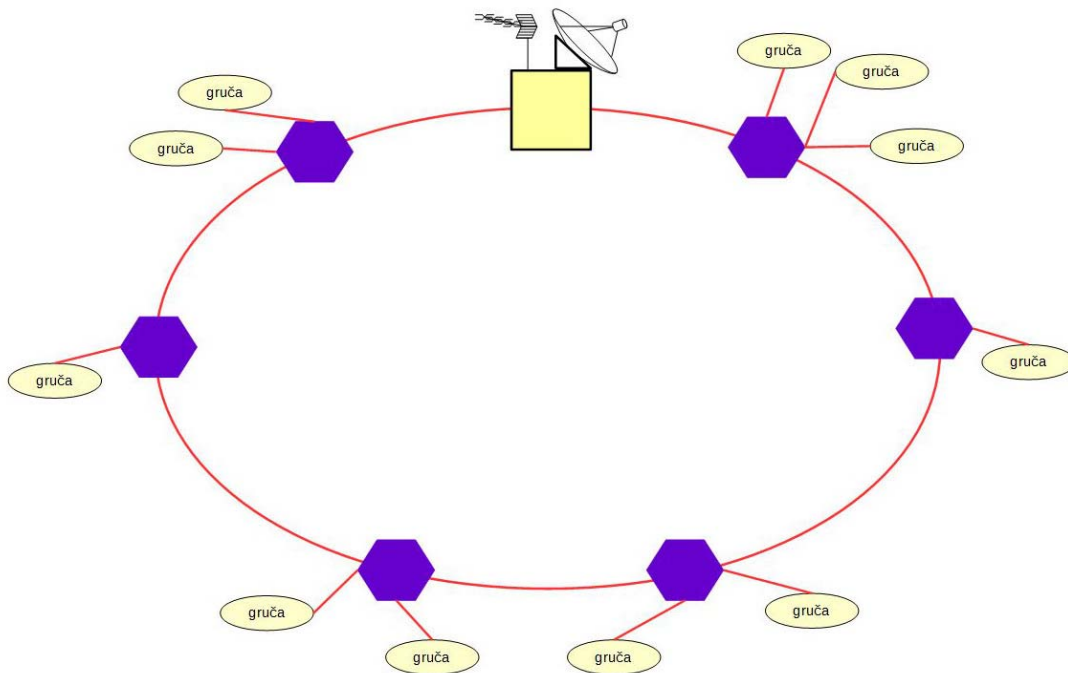
Kabljsko omrežje v prostoru je zato treba glede na zahteve segmentirati v čim manjše segmente. Za načrtovanje omrežja je pomembno, da je omogočena čim preprostejša delitev na manjše segmente v prihodnosti. Prav tako je treba manjše segmente povezovati do funkcijske lokacije s sprejemno postajo preko optičnih vozlišč z vedno več optičnimi vlakni, da se lahko segmentirajo povezave do optičnih vozlišč zaradi naraščajočih potreb po pasovni širini zaradi naraščajočih zahtev uporabnikov.

Z naraščanjem zahtev po pasovni širini prenosa internetnih signalov lahko nastanejo ozka grla, zato je treba predvideti tudi možnost prenosa v smeri navzdol – proti uporabnikom po ločenih optičnih povezavah, kar zahteva dodatna vlakna v optičnih kabljih, ki povezujejo funkcijsko lokacijo s posameznimi vozlišči. Zato je treba pri načrtovanju segmentacije razmišljati o postopnem prehodu z optičnimi povezavami na vozlišča z vedno manjšim številom uporabnikov (trenutno ponekod po Evropi 40 uporabnikov).

To pomeni v nekem prihodnjem obdobju konvergenco koaksialnih povezav v optične povezave do uporabnikovega priključka. Zahteve po večji pasovni širini za prenos podatkov in ukinitvev prenosa analognih televizijskih programov zmanjšujejo frekvenčni pas, namenjen distribuciji televizijskih in radijskih programov, in povečujejo uporabo dela obstoječega frekvenčnega pasu prenosa podatkov, kar izkorišča nova specifikacija parametrov omrežja DOCSIS 3.1.

Če omrežje vsebuje dosti segmentov, je za zagotavljanje kakovosti storitev ugodno fizično povezovanje vozlišč segmentov preko obročaste strukture omrežja z redundančnimi povezavami, kjer lahko komunikacija poteka v obeh smereh obroča.

Ta redundanca je lahko delna ali celotna. V primeru izpada omrežja po eni povezavi se preusmeri povezava na drugo smer. Preusmerjanje se lahko izvaja samodejno.



Slika 3: Obročasta struktura z redundantnimi povezavami

2.3. Optično dostopovno omrežje

Optično dostopovno omrežje predstavlja omrežje, izvedeno z optičnimi vlakni, ki povezuje veliko število končnih uporabnikov z osrednjo točko, imenovano dostopovno vozlišče, funkcijska lokacija ali točka prisotnosti (POP Point of Presence). Vsako dostopovno vozlišče vsebuje potrebno elektronsko prenosno (aktivno) opremo za zagotavljanje aplikacij in storitev s pomočjo optičnih vlaken naročniku. Vsako dostopovno vozlišče v veliki občini ali regiji je povezano z večjim mestnim omrežjem.

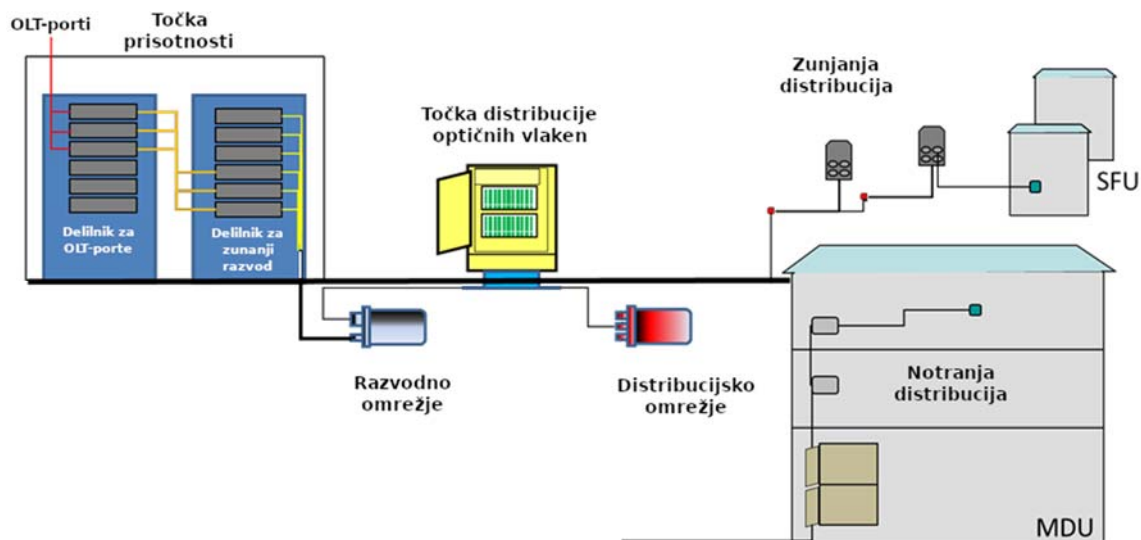


Slika 4: Shema pasivnega optičnega dostopnega omrežja

2.3.1. Elementi optičnega dostopnega omrežja

Strukturo optičnega dostopnega omrežja predstavljajo naslednji elementi:

1. dostopna vozlišča na hrbteničnem omrežju ponudnikov storitev,
2. povezava dostopnega hrbteničnega vozlišča s primarno funkcijsko lokacijo dostopnega omrežja,
3. povezava primarne funkcijske lokacije s sekundarnimi funkcijskimi lokacijami,
4. dostopno optično omrežje do posameznih naročnikov in
5. notranje inštalacije v objektih.



Slika 5: Elementi optičnega dostopnega omrežja

Strukturo elementov dostopnega omrežja predstavljajo različne komponente:

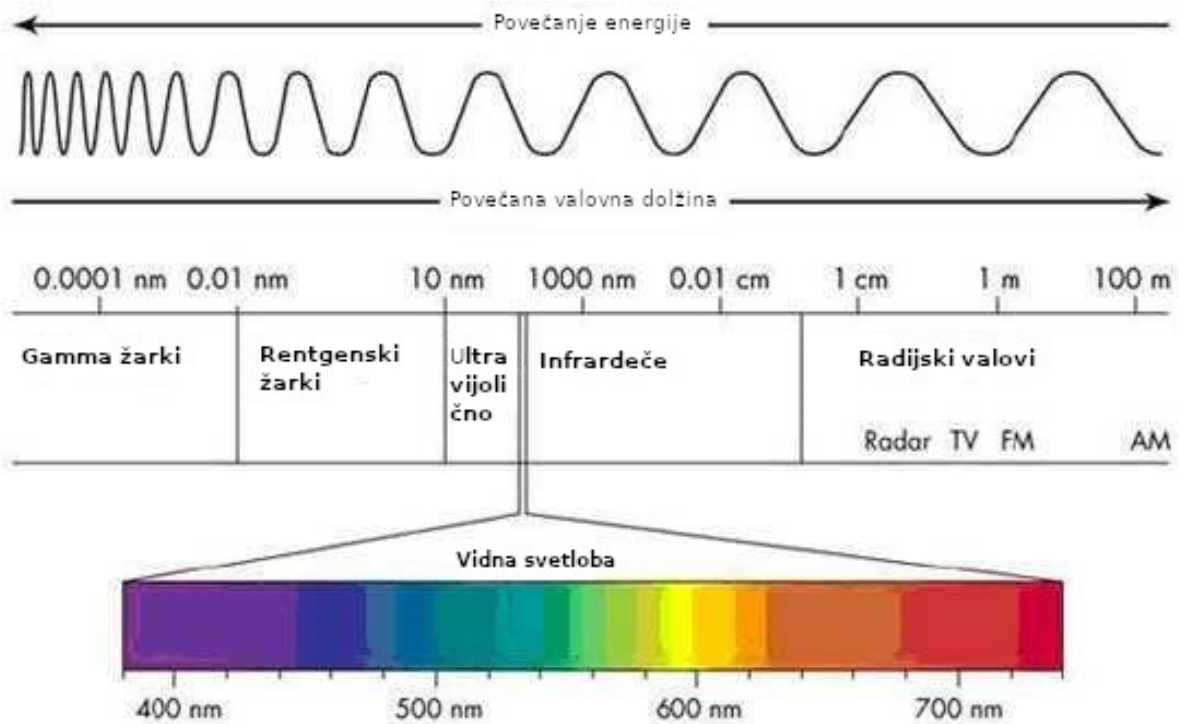
1. aktivna in pasivna oprema v funkcijski lokaciji z brezprekinitvenim napajanjem,
2. večvlakenski optični kabli za primarne povezave in optični kabli z manj vlakni za sekundarne povezave do uporabnikov,
3. optični delilniki,
4. optične spojke v jaških ali v omaricah,
5. optični konektorji,
6. kabelski jaški in
7. kabelska kanalizacija.

2.3.2. Osnove optičnih omrežij

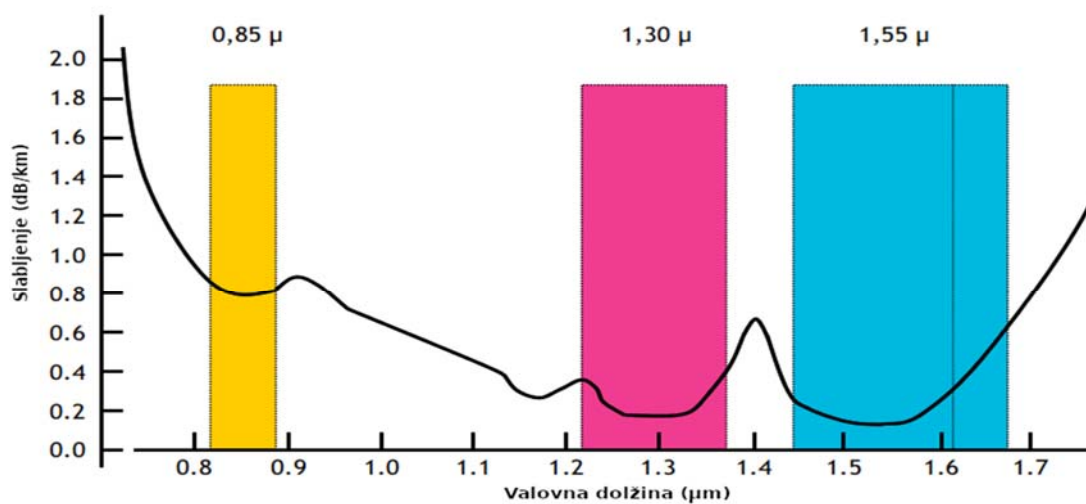
Svetloba se prenaša kot valovanje, valovna dolžina določa tip svetlobe (infrardeča, ultravijolična ...).

Prednosti optičnih vlaken so:

- zelo velike pasovne širine,
- manjši premer kablov,
- manjša teža kablov,
- ni motenj med vzporednimi vlakni (presluhov),
- odpornost proti elektromagnetnim vplivom,
- visoka kakovost prenosa,
- nizka cena montaže in nizki obratovalni stroški.



Slika 6: Ponazoritev valovnih dolžin svetlobnega spektra



Slika 7: Slabljenje v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe

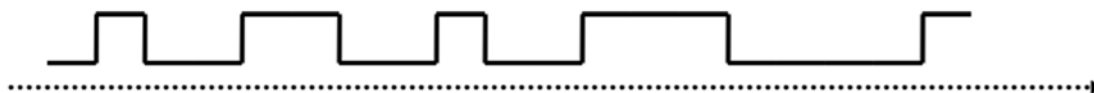
Za optično prenosno pot se uporabljajo valovne dolžine »oken« z najmanjšim slabljenjem, ki so na Sliki 7 obarvana.

Optična prenosna pot zajema optični oddajnik, optični ojačevalnik, optični sprejemnik in optično vlakno, ki jih povezuje.

Modulacija svetlobe

a) Digitalna modulacija svetlobe

0 - šibek optični signal
1 - močan optični signal



Digitalna modulacija svetlobnega valovanja se izvaja s spreminjanjem intenzivnosti svetlobe (vklop/izklop) – NRZ (non-return-to-zero).

b) Analogna modulacija svetlobe

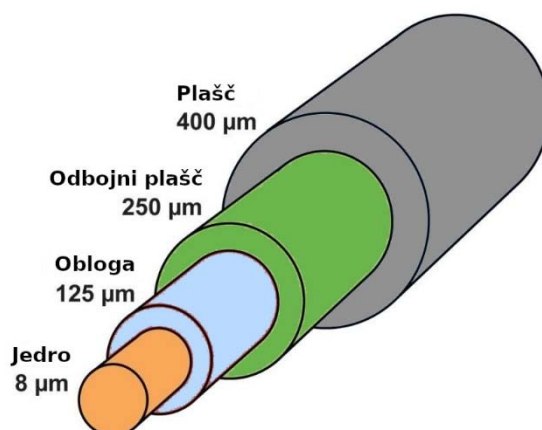
Jakost svetlobe se neprekinjeno spreminja



Analogna modulacija – pri njej se svetlobna jakost zvezno spreminja.

Optična vlakna

V standardu SIST EN 50173-1 so optični kabli razdeljeni v kategorije in glede na razdalje prenosa v razrede. Steklena vlakna pa se delijo na večrodovna, definirana v okviru standarda ITU G.651-MMF (multimode), in enorodovna, definirana v okviru standarda ITU G.652 (oziroma G.657)-SMF (singlemode) vlakna.



Slika 8: Optično vlakno

Jedro kabla je stekleno vlakno, po katerem potuje svetloba. Obloga odbija svetlobo nazaj v jedro. Plastični premaz ščiti jedro pred poškodbami in vlago. Svetloba potuje skozi jedro tako, da se stalno odbija od obloge, ki ne absorbira svetlobe. Popačenje signala je v glavnem odvisno od nečistoč v steklenem vlaknu.

Enorodovna vlakna:

Osnova je priporočilo ITU-T G.652 oziroma novejši G.657 iz leta 2012.

- Jedro malega premera – 8–10 mikronov,
- prenaša lasersko svetlobo (valovne dolžine 1200 do 1600 nm),
- kot vir svetlobe se uporabljajo laserske diode.

Večrodovna vlakna:

- večji premer vlakna (50 oz. 62,5 μm) podpira več načinov – različne poti svetlobe skozi vlakno;
- delujejo lahko s cenejšimi viri svetlobe in cenejšimi konektorji – vlakna pa so dražja od enorodovnih vlaken;
- omogočajo nižjo pasovno širino in omejeno prenosno razdaljo;
- prenašajo infrardečo svetlobo (valovne dolžine 850 do 1300 nm);
- za vir svetlobe se uporabljajo LED-diode;
- specifikacija ETSI/IEC 11801 opisuje lastnosti z različnimi razredi OM1, OM2, OM3 in OM4. Značilnosti vseh vrst vlaken so definirane v priporočilih ITU in v standardih IEC.

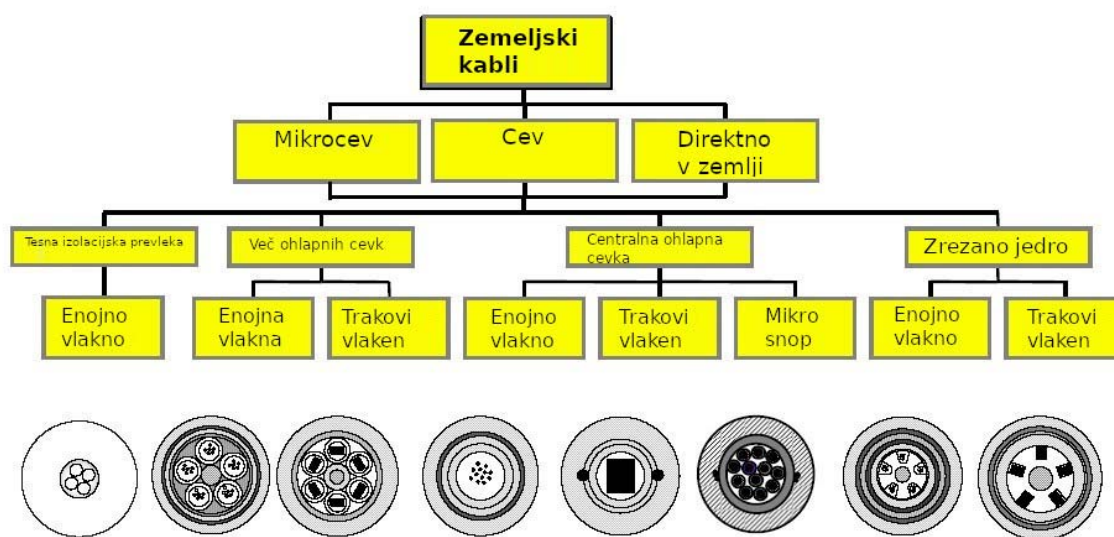
Vrste optičnih kablov

Osnova izvedbe optičnega kabla je plastična cevka, v kateri je določeno število vlaken (tipično 12). Cevka je napolnjena s snovjo, ki omogoča prosto premikanje vlaken v cevki, kar je potrebno pri krčenju in raztezanju vlaken zaradi okoljskih vplivov. Cevke, ki vsebujejo posamezna vlakna, so nameščene okoli osrednjega kablanskega elementa. Cevke so obdane z materiali, ki preprečujejo prehod vlage skozi kabel, zunanja obloga pa je polietilenska, da je kabel zaščiten pred zunanjimi vplivi. Vlakna, trakovi ali svežnji vlaken so zaščiteni z barvnim mikroplaščem ali označeni z barvnim vezivom.

Kabli, ki se uvlačijo, morajo biti močnejše izvedbe kot kabli, ki se vpihujejo.

Kabli za polaganje v zemljo

Neposredni zakopani kabli so podobni kablom za uvlačenje v kabelsko kanalizacijo, saj uporabljajo tudi napolnjene ohlapne cevke. Kabli imajo lahko dodatno zaščito, ki je odvisna od načina polaganja v zemljo. Zasipavanje pokopanega kabla s plastjo peska lahko zadostuje, da se omogoči uporaba lahkih modelov kablov, medtem ko lahko neposredno vrtanje ali polaganje v zemljinu s kamni zahteva robustnejšo izvedbo kablov. Zaščita pred poškodbami kabla je zagotovljena z ovitjem z jeklenim trakom ali nanosom debele plasti iz primerne trdega polietilena.



Slika 9: Vrste zemeljskih optičnih kablov

Standardi za optične kable

Značilnosti optičnih kablov so opredeljene v priporočilih ITU in standardih IEC.

Tip kabla	ITU-oznaka	IEC-oznaka	Polmer upogiba (mm)
Zunanji kabli	G.652.D	IEC 60793-2-50 B1.3	R 30
Zunanji kabli	G.657.A1/A2 z možno opcijo prevleke 200 μm	IEC 60793-2- 50 B6a1/a2 s prevleko 200 μm	R 10 za A1 R 7.5 za A2
Notranji kabli	G.657.A2/B2/B3	IEC 60793-2-50 B6a2/b2/b3	R 7.5 za A2/B2 R 5 za B3

Kategorija A

Ta kategorija ima tri podkategorije: G.657.A1, G.657.A2 in nazadnje predlagana vlakna G.657.A3.

Kategorija B

Ta kategorija ima dva podrazreda vlaken, in sicer G.657.B2 in G.657.B3.

Kabli za vpihovanje v mikrocevi so definirani v standardu IEC 60794-5.

VLAKNA Z MANJŠIMI POLMERI UPOGIBANJA

Na vstopni točki v zgradbo je treba povezati optični kabel za zunanjo uporabo z optičnim kablom za uporabo v zgradbah. Za uporabo v zgradbah je pomemben radij upogibanja.

Polmeri upogibanja v hišni priključni točki za standardna enorodovna vlakna G.652D naj bi bili 30 mm in več. Podkategorija vlakna G.657.A1 so uporabna z minimalnim polmerom upogibanja 10 mm. Z uporabo v notranjih inštalacijah pa pridejo v poštev kabli s polmeri upogibanja 7,5 mm (G.657.A2, G.657.B2) ali G.657.B3 za polmer upogibanja 5 mm.

Kabli za notranje inštalacije morajo zagotavljati ustrezne samougasne lastnosti in morajo ustrezati standardu EN13501-6.

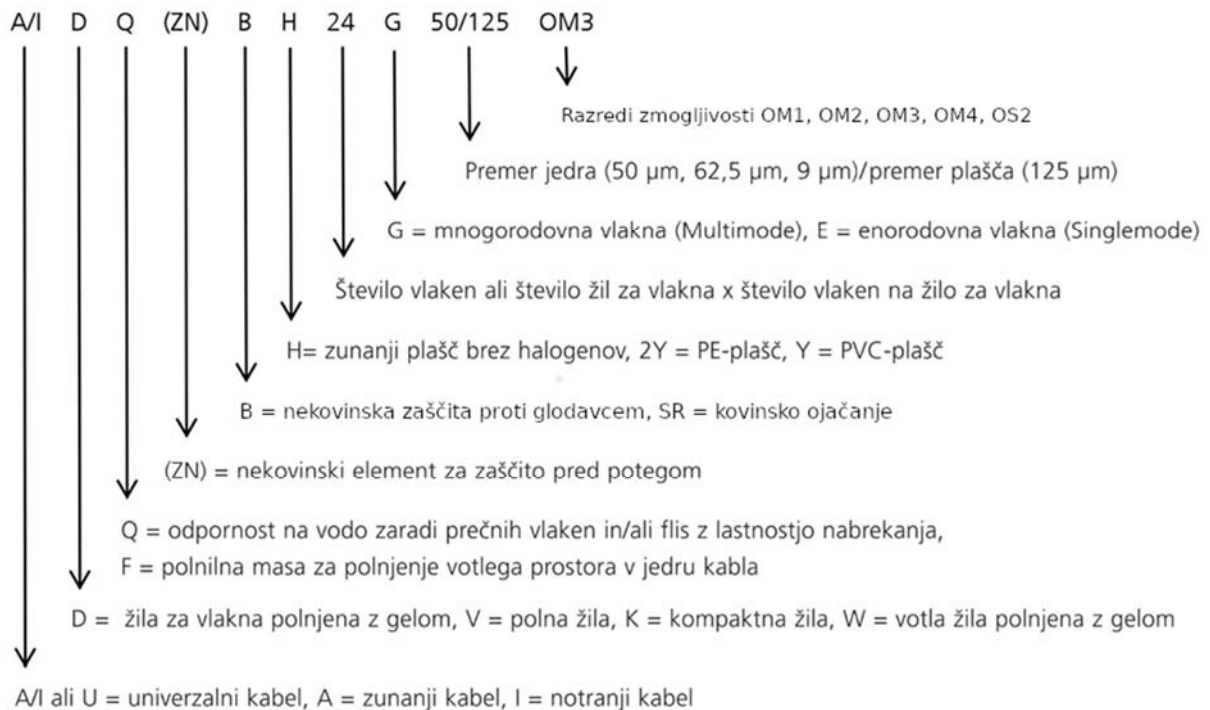
Kabli klasifikacije od razreda Eca (najnižje kategorije do razreda B2ca – najboljše delovanje) morajo biti izbrani glede na uporabnost prostorov. Na splošno je višje ocenjenim kablom (razred B2ca, razred Cca) treba dati prednost v objektih, v katerih je tveganje škode za ljudi visoko, kot so šole in bolnišnice.



Primer večrodovnega optičnega kabla za notranje inštalacije s tipom vlakna G50/125 je izdelan skladno s priporočili ITU-T G.651 s polmerom upogibanja večjim kot 30 mm.

Označevanje optičnih kablov

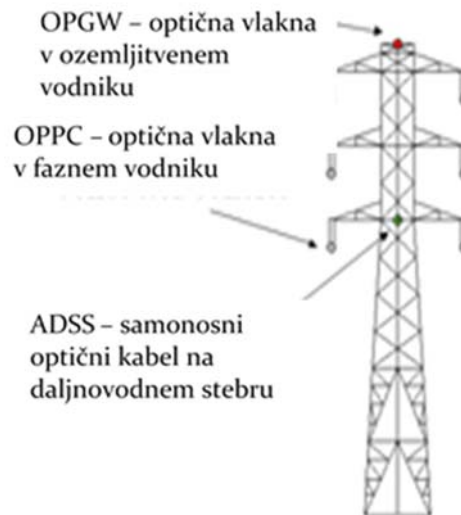
Nekateri proizvajalci označujejo optične kable po VDE-standardih. Pri načrtovanju telekomunikacijskega omrežja je treba opredeliti želene lastnosti na osnovi priporočil ITU-T in najti ustrezne ekvivalente različnih proizvajalcev.



Slika 10: Primer označevanja optičnih kablov enega od proizvajalcev

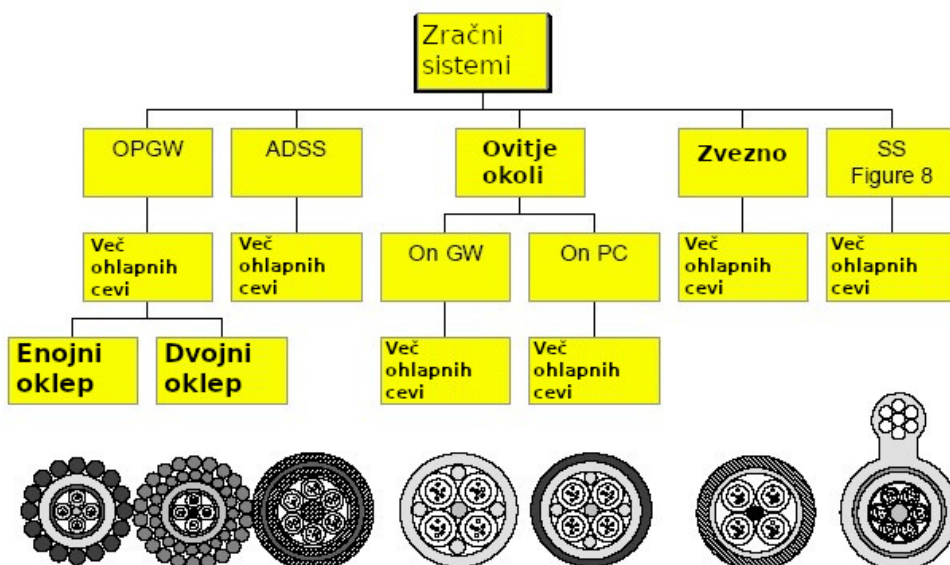
Samonosilni optični kabli

Zračni samonosilni kabli so obešeni na drogovih ali drugih objektih in predstavljajo stroškovno učinkovit način kabliranja omrežne povezave z naročniki.



Slika 11: Zračni razvod na daljnovodu

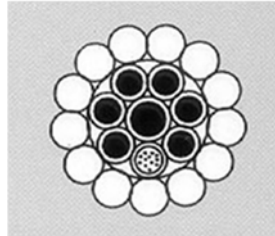
Pri načrtovanju kabliranja s samonosnimi kabli je treba upoštevati okoljske ekstreme, povezane z nalaganjem ledu, in obremenitve zaradi vetra. Kabli morajo biti odporni proti sončnemu sevanju. Upoštevati je treba lastnosti namestitvenih medijev za montažo kablov (npr. drogeve, daljnovode, kratke ali dolge razpone, zmogljivosti nalaganja).



Slika 12: Sistemi samonosilnih optičnih kablov

OPGW (optical ground wire) – optična vlakna v ozemljitvenem vodniku – ali OPPC (optical phase conductor) – optična vlakna v faznem vodniku – je tip optičnega kabla, narejen po standardu IEEE, primeren za prenos informacij po visokonapetostnih daljnovodih.

Takšen kabel opravlja dve funkciji, in sicer kot zaščitni ali fazni vodnik na VN-daljnovodu ter istočasno kot komunikacijski optični vodnik za prenos informacij. OPGW-kabel združuje več optičnih vlaken (12–48 vlaken) v eni cevki zaščitne vrvi DV-stebra, kot je prikazano na spodnji sliki.



Slika 13: OPGW-kabel

Teh cevok z optičnimi vodniki je lahko več v odvisnosti od komunikacijskih potreb prenosa.

Konduktivni del OPGW-ja služi za ozemljitev oziroma zaščito DV-stebra pred udari strele, optična vlakna v notranjosti zaščitne vrvi pa služijo za hiter transport (govor, podatki, slika ...) informacij na daljavo.

Optična vlakna so v osnovi izolator in tako neobčutljiva na elektromagnetna sevanja, na zunanje električne vplive – šume – in presluhe. Tipični OPGW-ji so zgrajeni z enorodovnimi optičnimi vlakni z malim slabljenjem za prenos na velike daljave in velike prenosne hitrosti.

ADSS (All-dielectric self-supporting cable) – samonosni optični kabel – je poseben tip optičnega kabla, namenjen obešanju na nizko-, srednje- in visokonapetostno električno omrežje. Obešamo jih lahko tudi samostojno na lesene, kovinske ali betonske stebre.

Mikrokabli

Mikrokabli so majhni lahki optični kabli, namenjeni za vgradnjo s pomočjo vpihovanja z zrakom v mikrocevi.

Vlakna so v mehkem notranjem akrilatnem sloju; zunanji trši sloj ščiti vlakna pred poškodbami. Pihalna razdalja je običajno 1000 metrov pri 10 barih.

Mikrocevi in mikrokabli delujejo skupaj kot sistem. Kabli so nameščeni z vpihovanjem v mikrocevi in so lahko prevlečeni s posebnim slojem, ki izboljšuje zmogljivost vpihovanja.



Slika 14: Mikrokabel

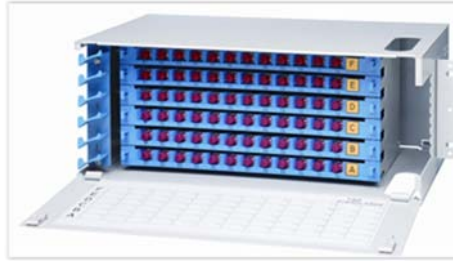
Označevanje optičnih vlaken v optičnih kabljih

Številka vlakna	Švicarski standard	DIN-standard	ISO-standard	IEC-standard	TIA/EIA598-A-standard
1	RDEČA	RDEČA	MODRA	MODRA	MODRA
2	ZELENA	ZELENA	ORANŽNA	RUMENA	ORANŽNA
3	RUMENA	MODRA	ZELENA	RDEČA	ZELENA
4	MODRA	RUMENA	RDEČA	BELA	RJAVA
5	BELA	BELA	SIVA	ZELENA	SIVA
6	VIJOLIČNA	SIVA	RUMENA	VIJOLIČNA	BELA
7	ORANŽNA	RJAVA	RJAVA	ORANŽNA	RDEČA
8	ČRNA	VIJOLIČNA	VIJOLIČNA	SIVA	ČRNA
9	SIVA	TURKIZNA	BELA	TURKIZNA	RUMENA
10	RJAVA	ČRNA	ČRNA	ČRNA	VIJOLIČNA
11	ROZA	ORANŽNA	ROZA	RJAVA	ROZA
12	TURKIZNA	ROZA	TURKIZNA	ROZA	TURKIZNA

Zaključevanje optičnih vlaken

Zaključevanje optičnih vlaken se izvaja na optičnem delilniku (ODF – Optical Distribution Frame), ki predstavlja povezavo zunanjih kablov z aktivno opremo v funkcijskih lokacijah POP (Point of Presence). Optični delilnik (ODF) je oprema, kjer so vsa vlakna iz zunanjih kablov na voljo za

povezavo z aktivno opremo za prenos. Optični delilniki so običajno v funkcijskih lokacijah, ki združujejo več sto ali več tisoč vlaken. Enota optičnega delilnika lahko poveže do 4000 vlaken s povezavo SFF. Velike funkcijske lokacije uporabljajo več omaric optičnih delilnikov.



Slika 15: Optični delilnik

Običajno so zunanji kabli zaključeni pred optičnim distribucijskim panelom, čeprav se v nekaterih primerih uporabljajo tudi optični delilniki za zaključevanje kabla na prostem. V vsakem primeru se za dostop do vsakega vlakna zunanjega kabla na vsak posamezen konec vlakna poveže konektorizirano vlakno (angl. pigtail).

Ulične omare

Ulične omarice so kovinska ali plastična ohišja, ki služijo kot distribucijska/dostopna mesta med distribucijskim vlaknom in vlaknom, namenjenim naročniku. Omare so ponavadi nameščene tako, da omogočajo sorazmerno preprost in hiter dostop do vezij vlaken večjih zmogljivosti kot optične spojke v jaških. Dostopne/distribucijske točke pogosto služijo od 24 do 96 naročnikom, medtem ko so kompaktne alternativne možnosti manjših omaric ponavadi na voljo od 1 do 24 naročnikom.



Slika 16: Ulične omare z delilniki in razcepniki

Optični konektorji in povezovalne vrvice

Na zaključku optičnih kablov morajo biti posamezna vlakna dostopna za distribucijo in/ali povezavo z aktivno opremo. Preoblikovanje kablov v posameznih obvladljivih vezjih se doseže s spajanjem vsakega posameznega vlakna iz optične kasete (OSP) v en konec končnega gibljivega kabla, imenovanega *pigtail*. Dodatna distribucija ali povezava med temi vlakni v in iz aktivne

opreme zahteva dva priključna kabla, ki sta zaključena z optičnimi konektorji. Ti povezovalni kabli so na splošno na voljo v dveh različnih konstrukcijah:

- vlakenski zaključki (angl. pigtail) so iz polipropilena s polmerom 900 μm in tipično dolžino 2,5 m;
- povezovalni (angl. patch) kabli so 1,6–3,0-mm LSZH-kabli, ki so ojačani z aramidno prejo.

Optični konektorji vsebujejo vodilo za natančno prilagoditev in pozicioniranje konca vlakna in so medsebojno pritrjeni preko spojnika.

Optični konektorji, ki se največ uporabljajo, so:



ST-konektor – značilnost je bajonetno zapiralo, ki nudi zaščito pred odvitjem, večinoma se uporablja za večrodovna vlakna.



Konektor SC-PC ali SC-APC se uporablja za enorodovna in večrodovna optična vlakna.

Slika 17: Konektor SC-PC ali SC-APC



LC-konektor spada med manjše konektorje, vedno pogosteje se uporablja za enorodovna in večrodovna optična vlakna.

Slika 18: LC-konektor



FC-konektor se uporablja večinoma za enorodovna optična vlakna.

Slika 19: FC-konektor



E2000- konektor ima zaščitni pokrovček in se večinoma uporablja za enorodovna optična vlakna.

Slika 20: E2000-konektor

Uveljavljajo se tudi nove vrste optičnih konektorjev.

Sklopniki

Popolna vtična povezava je sestavljena iz kombiniranega priključka/spenjača/priključka. Obe feruli s konci vlaken morata biti čim natančneje povezani, da preprečita izgubo in odboj svetlobne energije (izguba vračanja). Odločilni dejavniki so geometrijska usmerjenost in izdelava vlaken v priključku.

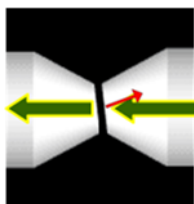


Slika 21: Sklopniki z različnimi optičnimi konektorji

Lastnosti konektorjev in sklopnikov

Povratno slabljenje

Označuje del svetlobe, ki se odbija nazaj proti viru svetlobe na spoju, predstavljen v dB. Povratno slabljenje RL (angl. Return Loss) predstavlja del svetlobe, ki se odbije nazaj do vira na stičišču, in je izraženo v decibelih (dB). Višja je vrednost RL, nižja je odbojnost. Tipične vrednosti povratnega slabljenja RL enorodovnih vlaken ležijo med 35 in 50 dB za PC, 60 do 90 dB za APC in 20 do 40 dB za multimodna vlakna.



Slika 22: Ilustracija odboja svetlobe na APC-spoju vlaken

APC polirani konektorji se uporabljajo v HFC optičnem delu omrežja pri prenosu signalov kableske televizije. Prednost tovrstne izvedbe spoja je večje povratno slabljenje.

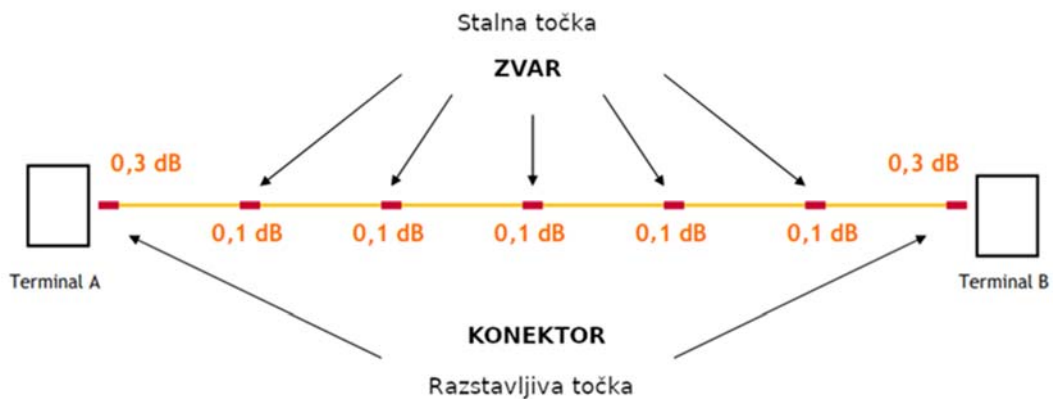


Slika 23: PC-poliranje optičnega vlakna



Slika 24: APC-poliranje optičnega vlakna

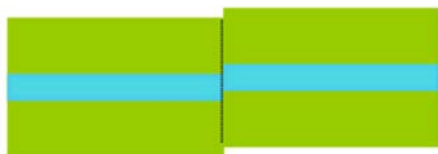
Pri spajanju vlaken se pojavi še slabljenje spajanja (angl. insertion loss), ki se pojavi zaradi različnih premerov vlaken, ekscentričnosti vlaken in različnih refrakcijskih indeksov vlaken.



Slika 25: Slabljenje na posameznih segmentih spoja s konektorjem

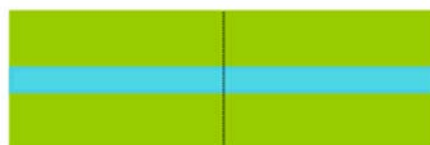
Slaba poravnava

- jedri nista poravnani
- velika izguba moči



Dobra poravnava

- jedri sta poravnani
- majhna izguba moči



Slika 26: Primera izvedbe spajanja vlaken

Načini povezovanja optičnih vlaken

Povezovanje optičnih vlaken v kablji se lahko izvede s konektorji, mehanskimi spoji ali z varjenjem.

POVEZOVANJE

- Fleksibilnost,
- vključeni konektorji in vrvice in
- preprosta zamenjava



Na voljo s tovarniško zaključenimi konektorji.

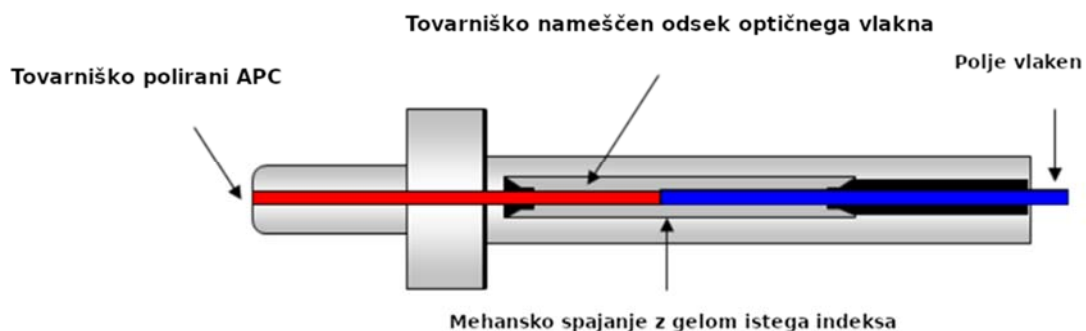
Slika 27: Lastnosti optične povezave s konektorji

Mehansko spajanje optičnih vlaken

Izvede se s prilagajanjem in usmeritvijo vlaken, nato sledi stiskanje vlaken do dotika.

Mehansko spajanje temelji na mehanski poravnavi dveh koncev vlaken, ki omogočata prost pretok svetlobe. To velja tudi za zaključevanje vlaken na konektorjih. Za lažjo povezavo med vlakni se pogosto uporablja gel, ki ustreza svetlobnemu indeksu vlakna. Proizvajalci imajo različne metode za zaključevanje vlaken v mehanskem spoju.

Mehanski spoji so lahko odrezani pod kotom ali ne, vendar imajo prvi večje povratno slabljenje. Prehodno slabljenje mehanskega spoja je običajno $< 0,5$ dB.



Slika 28: Izvedba mehanskega spoja vlaken

Varjenje vlaken

Spajanje z varjenjem zahteva nastanek električnega obloka med dvema elektrodama. Dve vlakni se spojita v električnem obloku, tako da se oba konca vlaken skupaj stopita.

Izvede se prilagajanje in usmeritev vlaken, nato sledi varjenje vlaken z električnim oblokom, teoretično slabljenje spoja 0,1 dB.



Slika 29: Naprava za varjenje vlaken

Optične spojke

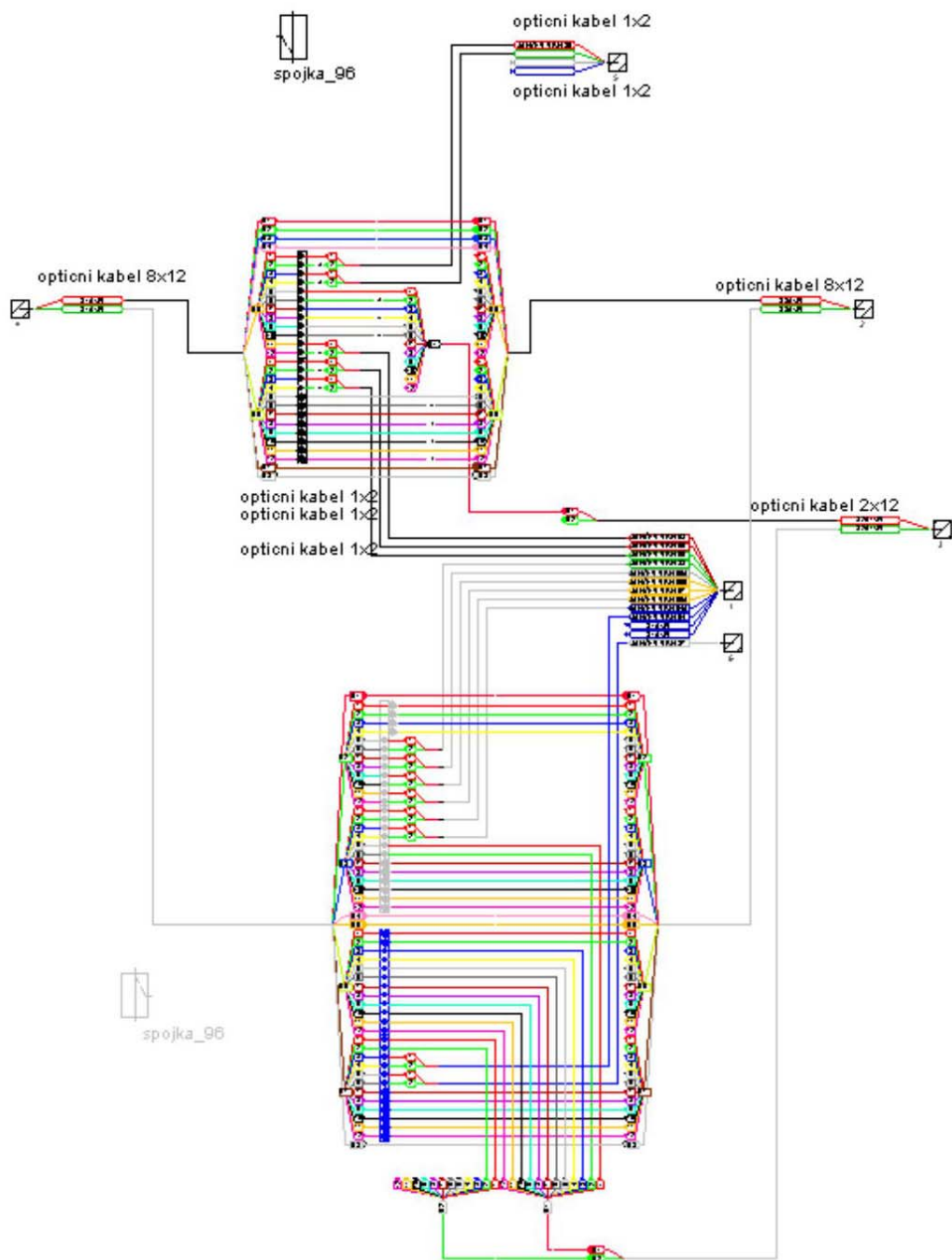
Spojke optičnih kablov se lahko izvedejo v zaščitnih ohišjih v zemlji, kabelskih jaških ali v ohišjih, vgrajenih v omare.



Slika 30: Tipično ohišje za zaščito optične spojke v zemlji



Slika 31: Tipično ohišje za zaščito optičnih spojk v omari



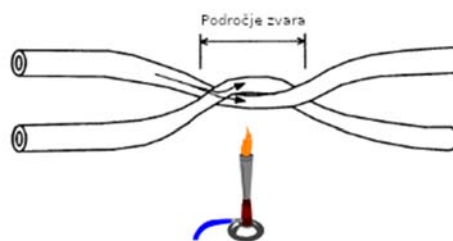
Slika 32: Primer načrta optične spojke

Optični razcepniki

Razcepniki delijo signal iz enega vhoda na več enakih izhodov in v splošnem omogočajo majhna optična slabljenja signalov.

TIP 1: FBT Fused Biconic Taper

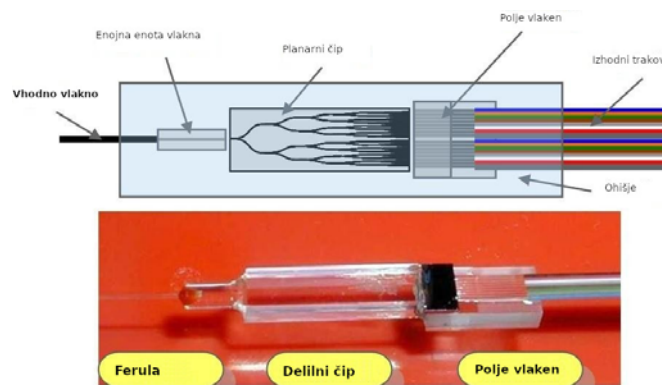
- dve vlakni zvarjeni;
- tipična zvaritev dveh, treh ali štirih vlaken;
- delilniki v kaskadi.



Slika 33: Izvedba FBT optičnega razcepnika

TIP 2: PLC (PLANAR LIGHTWAVE CIRCUIT)

- vgrajeni v steklene valovode;
- brez mehanskih delov;
- delitve: 1×4 , 1×8 , 1×16 , 1×32 ;
- delitve: 2×4 , 2×8 itd.



Slika 34: Izvedba PLC optičnega razcepnika

Primeri izvedb optičnih razcepnikov



Slika 35: Videz dveh vrst optičnega razcepnika

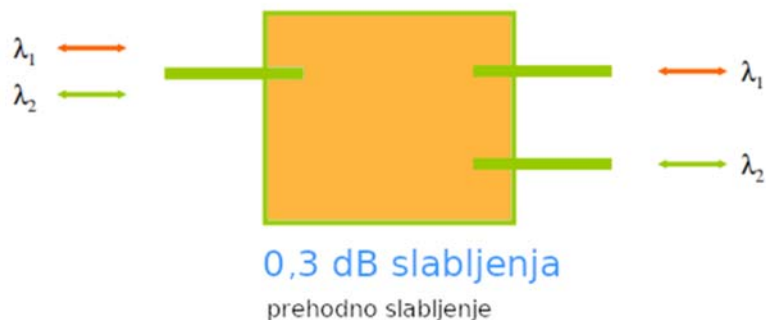
Optični razcepnik	Slabljenje [dB]
razcepnik 1 × 64	20,1
razcepnik 1 × 32	17,4
razcepnik 1 × 16	13,8
razcepnik 1 × 8	10,5
razcepnik 1 × 4	7,0

Slika 36: Slabljenje različnih optičnih razcepnikov

Delilnik valovnih dolžin – valovni multiplekser

ITU-T je določil niz valovnih dolžin, da bi zagotovil sobivanje različnih PON-tehnologij preko istega vlakna, preko WDM-ja (angl. Wave Division Multiplex).

Delilniki valovnih dolžin omogočajo delitev ali združevanje prenosa več valovnih dolžin v enem vlaknu z malimi slabljenji signalov, ki potujejo skozi delilnik (0,3 dB).



Slika 37: Valovni multiplekser

Aktivna oprema

Standardna aktivna oprema PON je sestavljena iz optičnega linijskega terminala (OLT – optical line terminal) in optične omrežne enote (ONU – optical network unit).

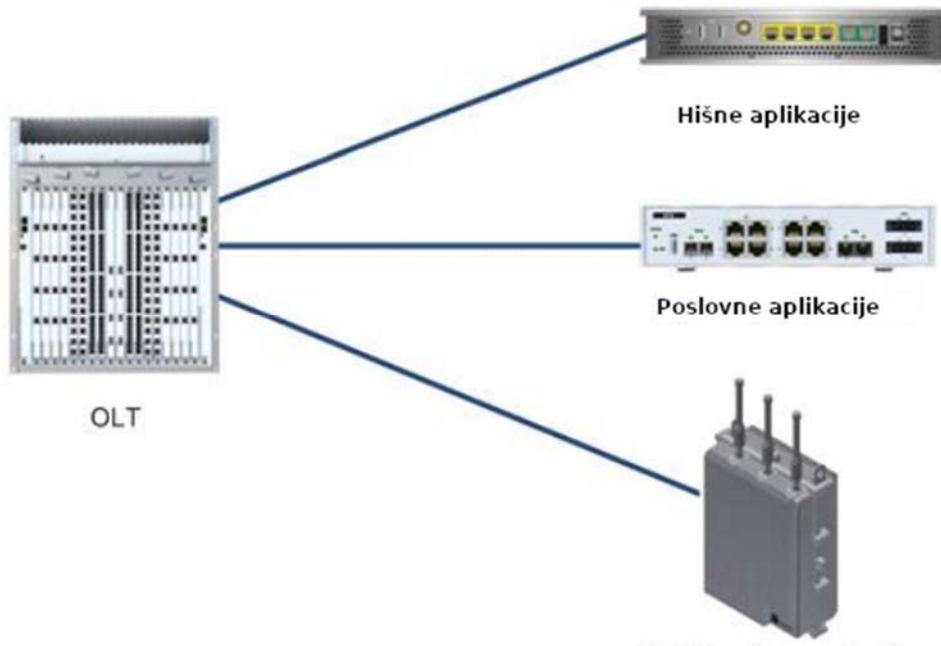
OLT je navadno na funkcijski lokaciji (POP) – TK-prostoru – ali koncentracijski točki.

OLT-naprave lahko na vsakem polju upravljajo do 16.384 naročnikov (na osnovi 64 uporabnikov na GPON-povezavo). OLT-plošče lahko zagotavljajo tudi do 768 točka–točka točkovnih povezav (Active Ethernet) za aplikacije ali odjemalce, ki potrebujejo takšen namenski prenosni kanal.

OLT-ji zagotavljajo redundanco na agregatnih stikalnih, močnostnih in priključnih vratih za izboljšano zanesljivost.

Nekateri OLT-ji lahko ponudijo tudi mehanizme za zaščito za njihove vhodne povezave s funkcijami ERPS (ITU-T G.8032 Ethernet Ring Protection Switching) in zmogljivostjo MUX-prekrivanja prek RF-a (in vključujejo ojačevalnike EDFA) in zajemajo integrirano rešitev za operaterje.

OLT-je je mogoče namestiti s karticami GPON, XG-PON, XGS-PON ali NG-PON2, zaradi česar so idealna izbira za scenarij »plačaj takrat, ko se širiš«, kar pomeni, da bo naložba v ohišje uporabna tudi za nove PON-tehnologije. Elementi koeksistence (CE – coexistence element) se lahko vključijo v ohišje, da se olajša nadgradnja proti NG-PON2.



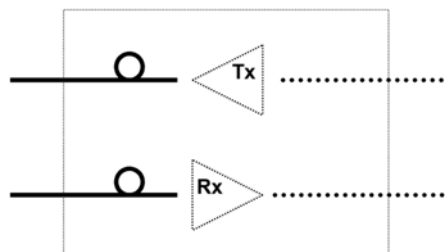
Slika 38: Aktivna oprema v optičnem dostopnem omrežju (OLT in ONU)

Na voljo so različne vrste ONU-jev, ki ustrezajo različnim lokacijam, te so:

- aplikacije v zaprtih prostorih,
- zunanje aplikacije,
- poslovne aplikacije in
- aplikacije v večstanovanjskih objektih.

Odvisno od aplikacije lahko ONU zagotovi analogne telefonske povezave (POTS), Ethernetne povezave, VF-povezave za video signale v primeru FTTB-ja, številne povezave VDSL2 ali Ethernet, Wi-Fi 2,4/5 GHz.

MODULI SFP (Small Form-factor Pluggable unit):



Oddajnik in sprejemnik sta v istem ohišju kot SFP vstavljiva enota. SFP-vmesnik služi za modularno povezovanje strojne opreme z optičnimi vlakni. SFP-moduli podpirajo Gigabit Ethernet, Fibre Channel in druge komunikacijske standarde. SFP-oddajniki so na voljo z različnimi specifikacijami oddajnika in sprejemnika, ki uporabnikom omogočajo, da izberejo ustrezno oddajno enoto za vsako povezavo, tako da zagotovijo zahtevani optični doseg preko razpoložljivega optičnega vlakna (npr. enorodovno ali večrodovno vlakno).

Oddajniki so označeni tudi s hitrostjo prenosa. Moduli SFP so običajno na voljo v več različnih kategorijah.

2.3.3. Slabljenje optičnega komunikacijskega sistema

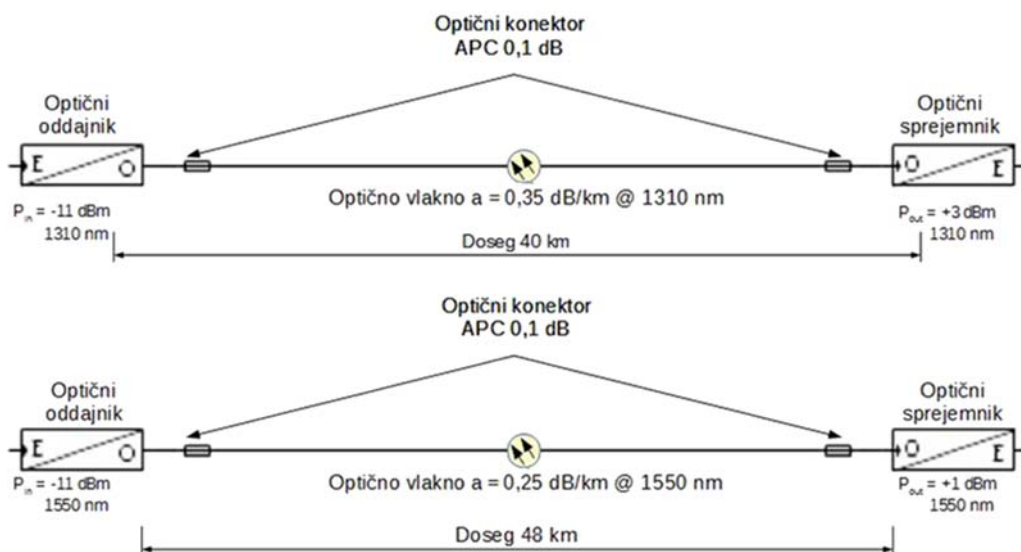
Funkcionalna razdalja komunikacijskega sistema je odvisna od slabljenja različnih komponent optičnega omrežja v sistemu. Za zagotavljanje kakovosti signalov pri uporabnikih je potrebno pozorno načrtovanje, podobno kot pri načrtovanju koaksialnih omrežij. Na prenos signalov po optičnem vlaknu vplivajo spojke, slabljenje vlakna, slabljenje konektorjev in slabljenje drugih pasivnih komponent.

Pri prenosu analogno moduliranih VF-signalov veljajo enaki parametri kot pri načrtovanju koaksialnih omrežij. Upoštevati je treba šum in nelinearna popačenja, ki jih povzročajo aktivne komponente, slabljenje signala po prenosnem mediju – optičnem vlaknu – in pri delitvah na optičnih delilnikih. Kakovost signala se na prehodu skozi optično omrežje poslabša. Razlika v kakovosti prenesenih signalov je vidna na električnem nivoju signalov na sprejemni strani. V telekomunikacijskih kabljskih sistemih se vedno pretvarjajo električni signali v optične in na sprejemni strani nazaj v električne.

Disperzijske lastnosti optičnih vlaken predstavljajo enega važnejših parametrov za prenos signalov v osnovnem frekvenčnem pasu.

Nekaj splošnih značilnosti optičnih komunikacijskih omrežij:

Na oddajni strani so možnosti za nivoje oddajnih signalov v optično omrežje omejene, prav tako je omejena občutljivost optičnih sprejemnikov. Pri načrtovanju je treba te meje upoštevati za zagotavljanje brezhibnih prenosnih lastnosti omrežja. Uporabljajo se različne valovne dolžine pri prenosu signalov. Na valovni dolžini 1310 nm je zaradi značilnosti optičnega vlakna (slabljenje 0,35 dB/km) omogočen prenos signalov na razdalji do 40 km. Na področju do 1550 nm (slabljenje 0,25 dB/km) je možna uporaba optičnih ojačevalnikov in s tem premoščanje večjih razdalj.

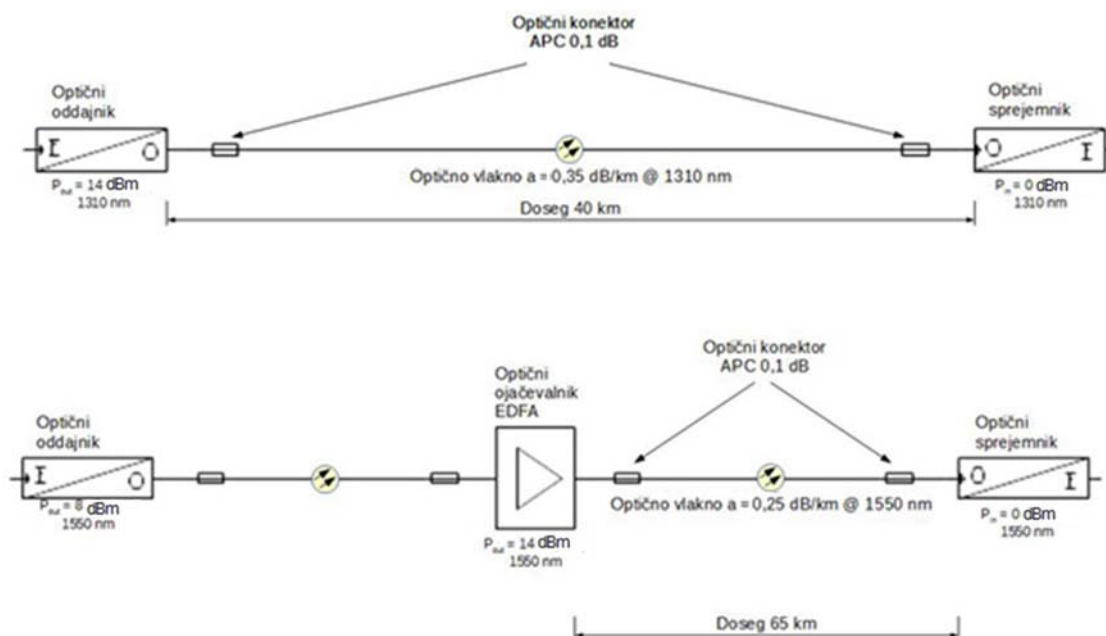


Slika 39: Največja dolžina optične trase pri danih parametrih aktivne opreme

Optični ojačevalniki omogočajo neposredno ojačanje pri valovni dolžini 1550 nm na optičnem nivoju.

Pri uporabi optičnih ojačevalnikov EDFA pa je treba paziti na naslednje:

- zaporedno naj se poveže največ tri EDFA-ojačevalnike;
- 17 dBm naj bo največja moč optičnega signala na vhodu vlakna – izhod iz ojačevalnika;
- vhodna optična moč EDFA naj bo med +3 dBm in +6 dBm;
- pri uporabi več različnih valovnih dolžin (DWDM) je treba paziti na to, da je krivulja ojačenja ojačevalnika čim bolj ravna, paziti je treba na vsoto vhodnih moči signalov na vseh valovnih dolžinah.

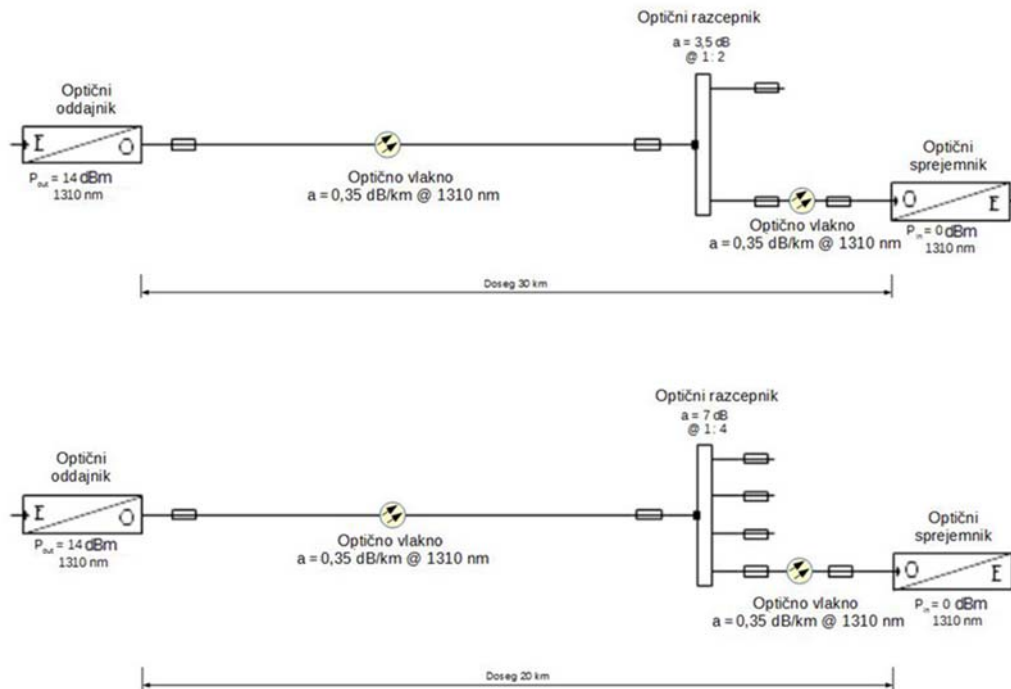


Slika 40: Doseg optične trase z uporabo optičnega ojačevalnika

Za zagotavljanje dvosmernosti je treba lastnosti kablov upoštevati tudi za prenos v povratni smeri – od uporabnika proti funkcijski lokaciji. Naprave na uporabnikovi strani imajo manjše oddajne zmogljivosti (nekaj dBm) v primerjavi z zmogljivostmi optičnih oddajnikov v funkcijski lokaciji. Programska oprema za načrtovanje optičnih omrežij mora omogočati računanje parametrov omrežja, podobno kot to velja za koaksialna omrežja.

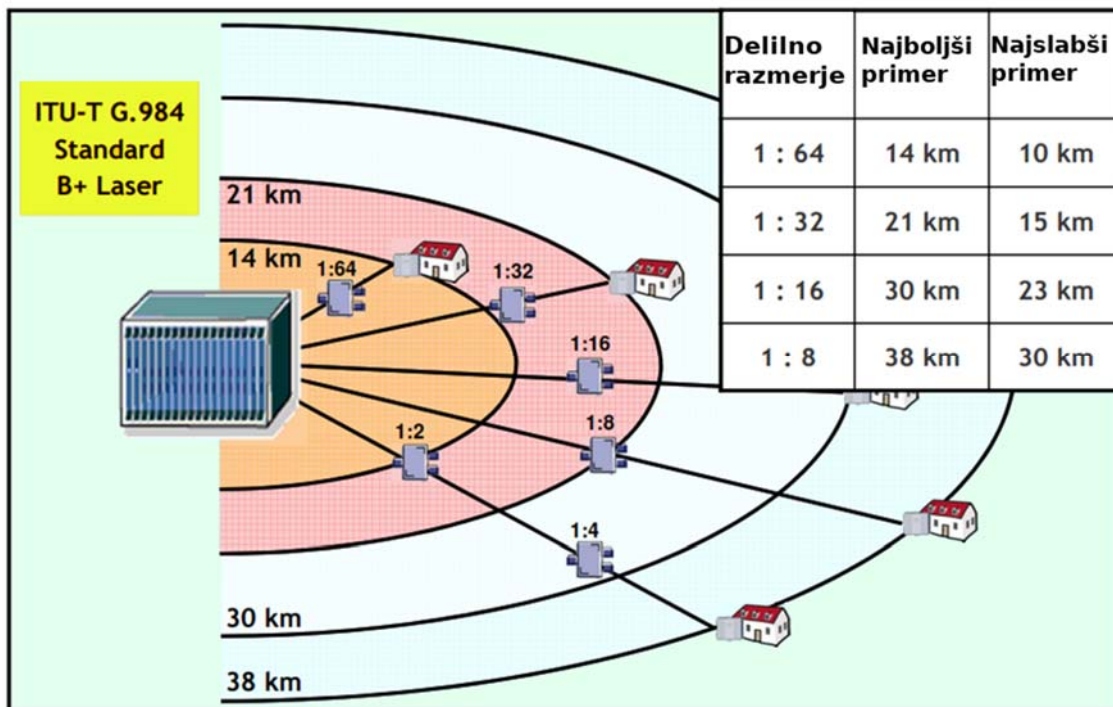
Projektant mora pri načrtovanju strukture omrežja predvideti poleg obstoječega stanja tudi razvoj omrežja v prihodnosti. To velja za trase kablov in postavitev funkcijskih lokacij. Naprave v funkcijskih lokacijah naj bodo predvidene tako, da sta olajšana kasnejše vzdrževanje in nadgradnja omrežja.

Obe vrsti optičnih povezav omogočata pasivno delitev signalov na posameznih lokacijah v omrežju in s tem izvedbo optične povezave točka–več točk.



Slika 41: Prikaz pasivne delitve signalov – z razcepom signalov se zmanjšuje doseg omrežja na 1310 nm

Doseganje prenosne razdalje za GPON-omrežja



Slika 42: Doseg največje razdalje glede na razcepnike v GPON-omrežju

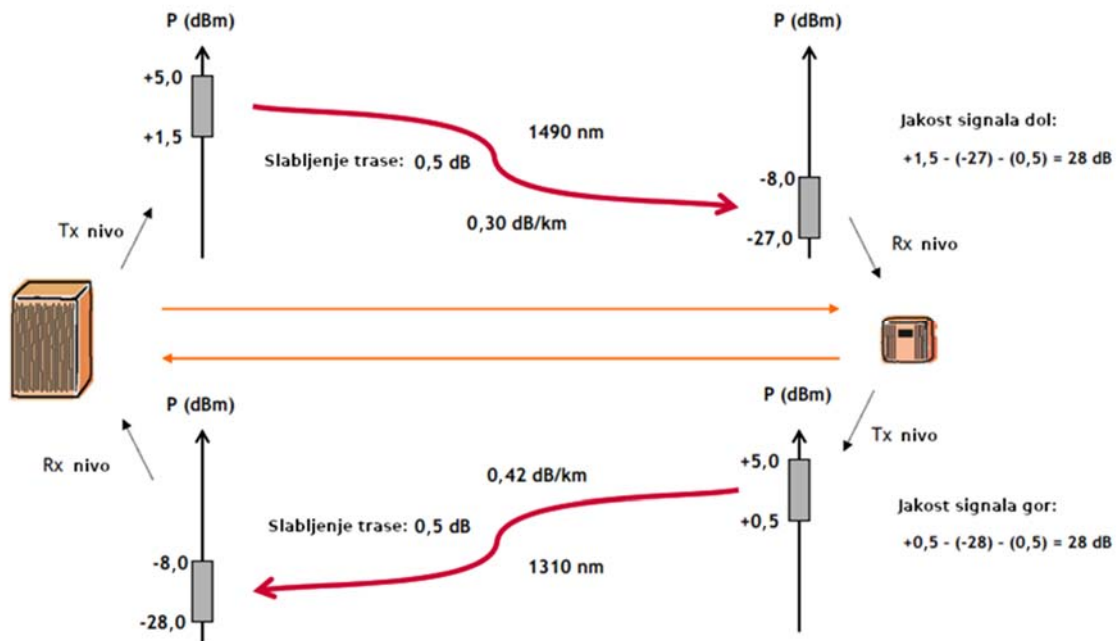
Za doseganje določene prenosne razdalje je treba upoštevati moč oddajnika, slabljenje na optičnem kablu pri določeni valovni dolžini, z vsemi slabljenji na spojih, delilnikih (odvisno od stopnje delitve signalov), in zahtevani sprejemni nivo – občutljivosti na strani sprejemnika.

Razmere so odvisne od uporabljene aktivne opreme in njenih lastnosti.

10G-EPON lahko tudi doseže doseg 20 km z optično zmogljivostjo 29 dBm.

Razmere pri prenosu (aktivna oprema razreda B+)

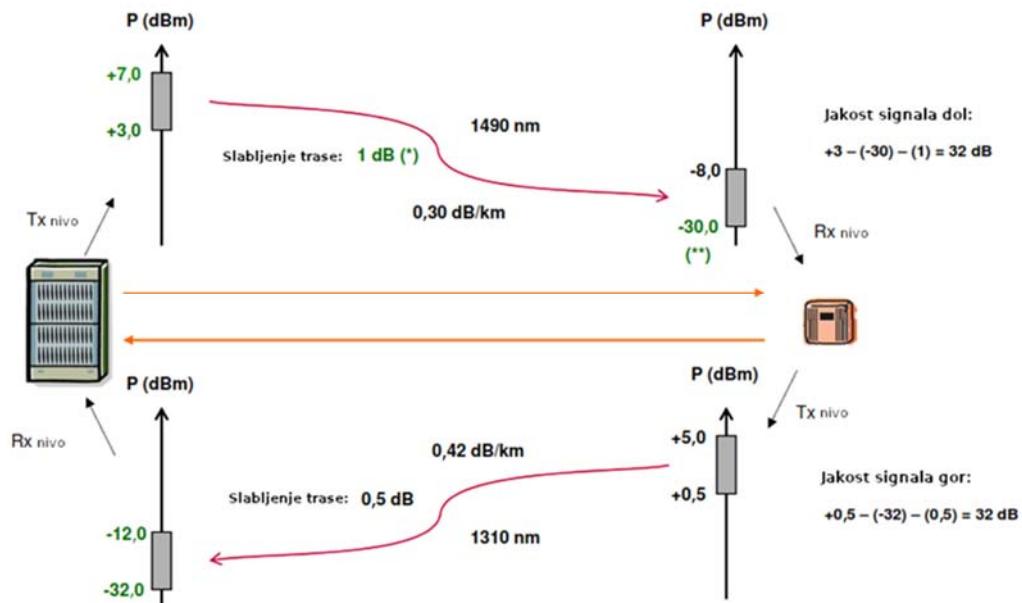
GPON ponuja doseg v dolžini tras 20 km z optičnim proračunom 28 dB z optično opremo razreda B+ z delitvijo 1 : 128.



Slika 43: Razmere pri danih podatkih aktivne opreme za GPON-omrežje

Razmere pri prenosu (aktivna oprema razreda C+)

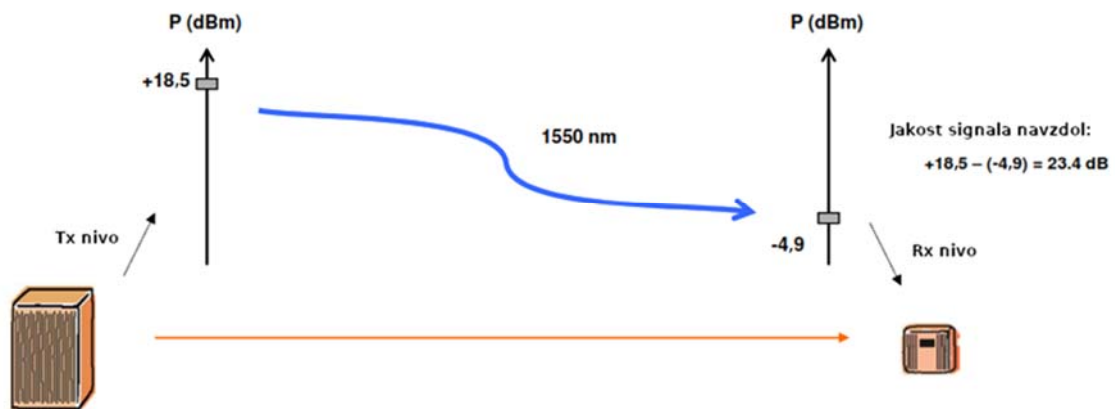
Razdalja se lahko podaljša na 30 km z omejevanjem faktorja delitve na največ 1 : 16 ali z uvedbo optične aktivne opreme razreda C +, ki poveča zmogljivost optične povezave do 4 dB in lahko poveča optični doseg na 60 km.



Slika 44: Razmere pri danih podatkih aktivne opreme za GPON-omrežje

Video prenos

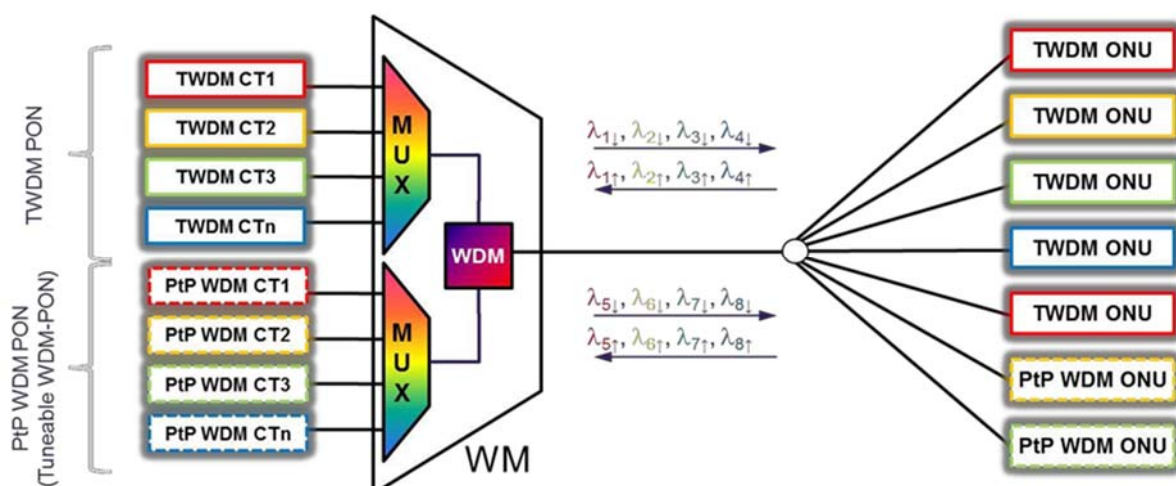
Pri prenosu video signalov na 1550 nm je prenosno razdaljo možno povečati z uporabo optičnih ojačevalnikov.



Slika 45: Prenos video signalov na 1550 nm

Valovno dolžinsko deljeni multipleks v pasivnih optičnih omrežjih (WDM – angl. Wave Division Multiplex)

Za večji izkoristek pri uporabi posameznega optičnega vlakna so se uvedle tehnologije valovnega multipleksa po optičnih vlaknih. Prenos signalov po optičnem vlaknu se pri tem načinu izvaja istočasno na več valovnih dolžinah, zahteva pa na oddajni strani multiplekserje, na sprejemni strani pa demultiplekserje.



Slika 46: Valvni multipleks – prenos signalov na več valovnih dolžinah po enem vlaknu

Razlikuje se v dveh standardih:

- CWDM (coarse WDM) – določen v ITU-T G.694.2 z največ 18 valvnimi dolžinami v razmaku po 20 nm v območju 1290 do 1610 nm;
- DWDM (dense WDM) – določen v ITU-T-G.694.1 z več sto valvnimi dolžinami od 1525 nm do 1610 nm, pri čemer so razmiki valovnih dolžin 1,6 nm, 0,8 nm in 0,4 nm.

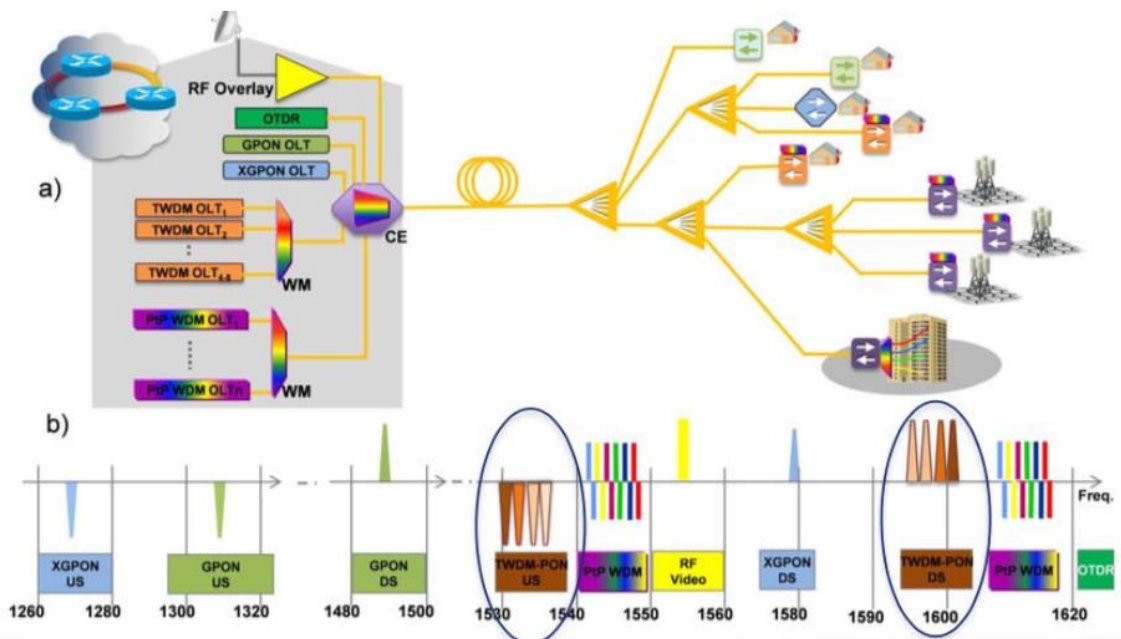
Pasivna optična omrežja z dodanim prenosom VF-signalov (angl. RF overlay)

Tovrstna pasivna optična omrežja omogočajo pošiljanje televizijskih signalov v analogni (digitalni) obliki, moduliranimi na VF-področje od funkcijske lokacije proti uporabnikom. Za prenos tovrstnih signalov je v ITU-ju definirana valovna dolžina 1550 nm.

Glede na to, da se video signali lahko prenašajo tudi v obliki IP-protokola, bo ta način prenosa dolgoročno izgubil pomen.

Pri tem pa nudi prenos visokofrekvenčnih signalov VF preko optičnih vlaken naslednje prednosti:

- razširjen frekvenčni spekter prenosa v smeri od funkcijske lokacije do uporabnikov,
- razširjen frekvenčni spekter v smeri od uporabnikov proti funkcijski lokaciji,
- manj vzdrževanja (ni aktivnih naprav v omrežju),
- prenos TV-signalov v analognem frekvenčnem spektru kot v HFC kabelskih komunikacijskih sistemih in
- možnost podpore drugih tehnologij PON preko valovnega multipleksa.



Slika 47: Sožitje več načinov prenosa z različnimi tehnologijami po istem vlaknu z valvnim multipleksom

3. IZVEDBA OPTIČNIH OMREŽIJ V PROSTORU

V prostoru so se uveljavile izvedbe optičnih omrežij z uporabo kableske kanalizacije in neposrednim polaganjem kablov v zemljo, izvedba kabliranja s samonosilnimi kabli, ponekod v Evropi pa tudi z uvlačenjem optičnih kablov v vodovodne, plinovodne ali druge cevi.

3.1. Uporaba kableske kanalizacije

Optični kabli so lahko uvlečeni v cevi kableske kanalizacije z metodo uvlačenja, potiskanja ali vpihovanja. Dimenzije cevi so odvisne od dimenzij in količin kablov (premer 30 mm, 50 mm, 110 mm ...). Tudi za cevi kableske kanalizacije obstajajo evropski standardi: SIST EN 61386-24:2010 – Sistemi kanalov za električne inštalacije, 24. del: Posebne zahteve – Podzemni zasuti kanalski sistemi (IEC 61386-24:2004).

Do posameznih naročnikov se predvidijo optični kabli iz delilnih spojk v jaških s po dvema vlaknoma v mikrocevkah premera 7/4 mm, v katere se vpihne naročniški optični kabel (2–12 vlaken).

Optični kabli so lahko tudi izvedbe z jekleno zaščito za neposredno polaganje v zemljo. Takšni izvedbi manjka fleksibilnost. Za dostopovna omrežja se lahko uporabijo tudi samonosilni kabli za obešanje na drogove. S takšnim načinom je možno poceniti izgradnjo omrežja, izvedba pa ima tudi precej slabih lastnosti v primerjavi s kabli v kableski kanalizaciji. Kabli so pri tej izvedbi izpostavljeni atmosferskim vplivom.

Uveljavlja se način vpihovanja optičnih kablov v mikrocevi (lažje in hitreje kot v običajne cevi večjega premera). Mikrocevi so različnih premerov, za dostopovne trase se uporabljajo snopi cevi 16/12 mm (24–144 vlaken v posamezno cev), 14/10 mm (24–96 vlaken), 12/8 mm (24–72 vlaken), 10/6 mm (2–24 vlaken), 7/4 mm (2–12 vlaken). Cevi se spajajo s spojkami, ki zagotavljajo tesnost pri razmerah vpihovanja optičnih mikrokablov.

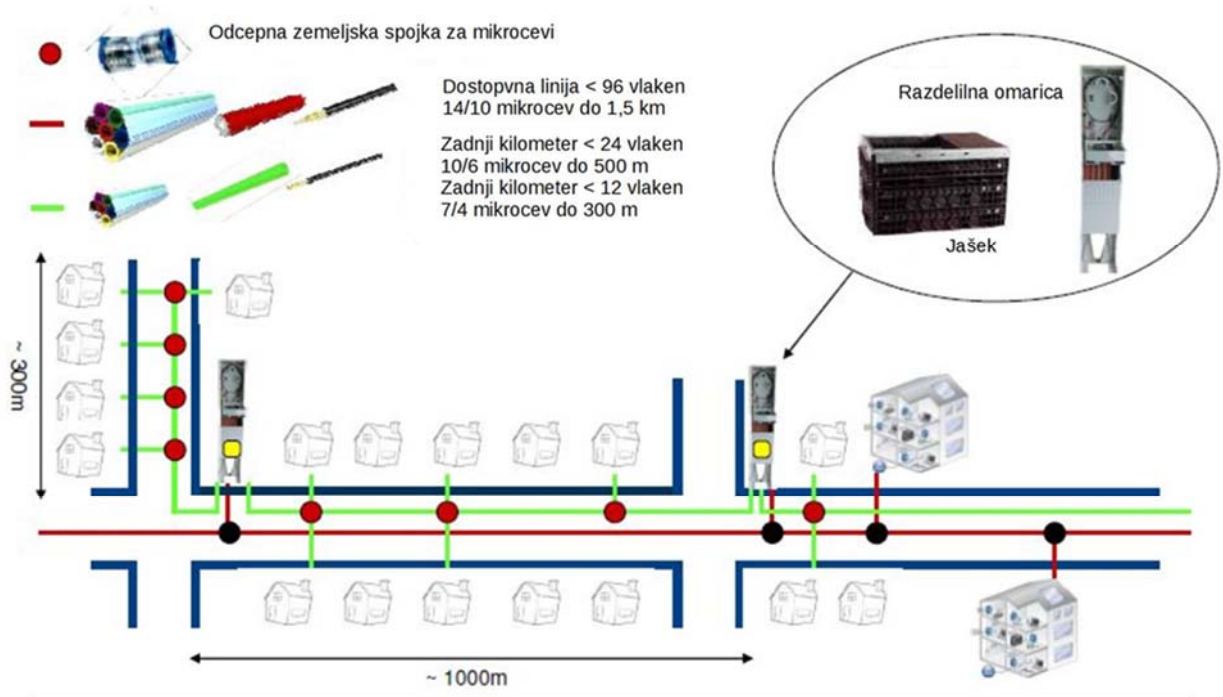
3.2. Polaganje optičnih kablov v zemljo

Optični kabli so lahko tudi izvedbe z jekleno zaščito za neposredno polaganje v zemljo. Takšni izvedbi manjka fleksibilnost in se pri nas skoraj ne uporablja.

3.3. Izvedba kableske kanalizacije z mikrocevmi

Uveljavlja se način vpihovanja optičnih kablov v mikrocevi (lažje in hitreje kot v običajne cevi večjega premera). Mikrocevi so različnih premerov, za dostopovne trase se uporabljajo snopi cevi 16/12 mm (24–144 vlaken v posamezno cev), 14/10 mm (24–96 vlaken), 12/8 mm (24–72 vlaken), 10/6 mm (2–24 vlaken), 7/4 mm (2–12 vlaken). Cevi se spajajo s spojkami, ki zagotavljajo tesnost pri razmerah vpihovanja optičnih mikrokablov.

Do posameznih naročnikov se predvidijo optični kabli iz delilnih spojk v jaških s po dvema vlaknoma v mikrocevkah premera 7/4 mm, v katere se vpihne naročniški optični kabel (2–12 vlaken).

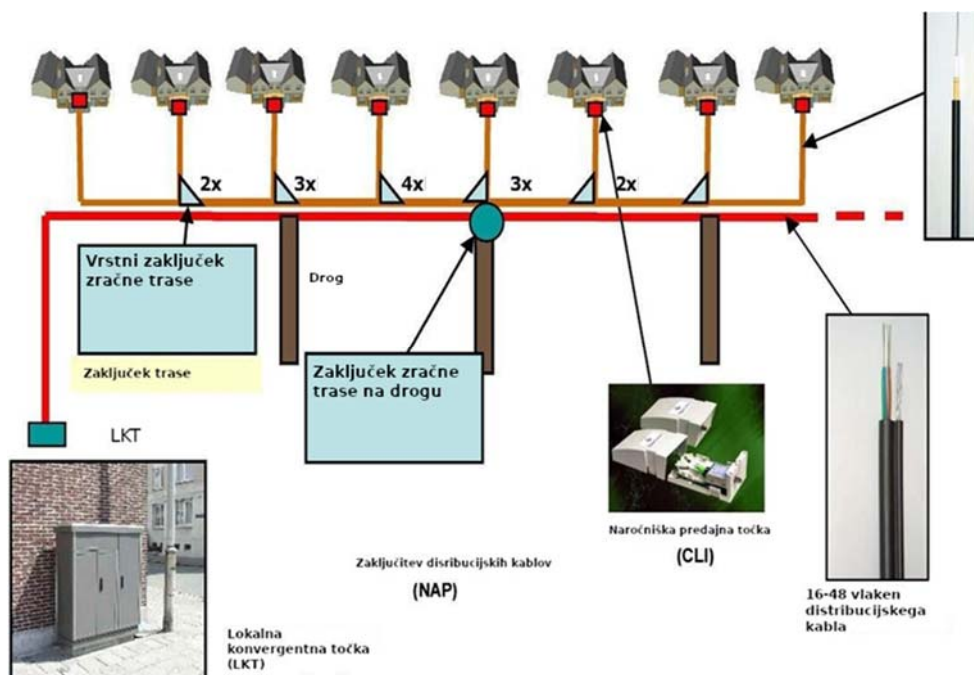


Slika 48: Izvedba kabelske kanalizacije za optične kable z mikrocevmi

Zunanji premer mikrocevi (mm)	Notranji premer mikrocevi (mm)	Tipično število vlaken	Tipični premer
16	12	96–16	9,2
12	10	24–16	6,5–8,4
10	8	72–6	6–6,5
7	5,5	48–2	2,5-3,9
5	3,5	6–	1,8–2
4	3	2–12	1–1,8

3.4. Zračni razvod optičnih kablov

Za dostopovna omrežja se lahko uporabijo tudi samonosilni kabli za obešanje na drogove. S takšnim načinom je možno poceniti izgradnjo omrežja, izvedba pa ima tudi precej slabih lastnosti v primerjavi s kabli v kabelski kanalizaciji. Kabli so pri tej izvedbi izpostavljeni atmosferskim vplivom. Zračni samonosilni kabli so obešeni na drogovih ali drugih objektih in predstavljajo stroškovno učinkovit način kabliranja omrežne povezave z naročniki. Glavne prednosti so uporaba obstoječe infrastrukture drogov za povezavo naročnikov, izogibanje potrebam po izvedbi zemeljskih del – izgradnje kabelske kanalizacije. Zračne kable je možno sorazmerno hitro in preprosto namestiti z uporabo strojne opreme in praks, ki so znane lokalnim monterjem.



Slika 49: Zračni razvod s samonosilnimi optičnimi kabli

3.4.1. Izbira optičnega kabla za zračni razvod

Za povezavo uporabljamo samonosne optične kable z različnimi kapacitetami vlaken (odvisno od števila naročnikov).

Uporabiti je treba optični kabel brez kovinskih delov z enorodovnimi vlakni, kompaktne konstrukcije, v smislu minimalnega pritiska vetra in drugih sil, ki delujejo na stebre.

Kabel mora imeti standardno konstrukcijo, vlakna razporejena okoli centralnega elementa, ki je narejen iz polimera, ojačanega s steklenimi vlakni, dveh zunanjih plaščev, od katerih mora vsak imeti vrvico za odpiranje plašča, aramidnih vlaken (kevlar), ki so tudi glavni nosilni element kabla in ločujejo oba zunanja plašča med seboj. Ta vlakna ne smejo biti vbrizgana ali vpeta v enega od plaščev zaradi razbremenilnega učinka na notranjost kabla.

3.4.2. Zahtevane karakteristike kabla

Samonosilni optični kabli 48 do 288 vlaken morajo imeti minimalno dopustno natezno silo 9000 kN, kar pomeni, da mora biti primeren za razpetine do 150 m.

Poves samonosilnega kabla naj znaša do 1 % razpetine pri 10 °C (do 90 m dolžine razpetine). Nad 90 m je maksimalna dovoljena natezna napetost 20 N/mm².

Poleg splošnih zahtev naj izbrani kabel ustreza še naslednjim zahtevam:

- kabel mora biti torzijsko uravnovešen v izogib neželenemu zvijanju med inštalacijo in za enakomerno porazdelitev bremena med delovanjem;
- minimalni radij krivljenja = $15 \times d = 15 \times 12,1 = 181$ mm (pri 48 vlaknih);
- ustrezna odpornost proti UV-žarkom;
- dopustna temperatura pri polaganju je v območju +5 °C do +40 °C oz. v skladu z navodili proizvajalca kablov;
- število vlaken v eni cevki je lahko 12–24;
- cevke morajo biti polnjene z gelom v izogib vdoru vlage;
- življenjska doba mora znašati vsaj 25 let;
- kabel mora biti odporen na izstrelke kalibra 12/70.

Izbrana kabelska konstrukcija mora biti skladna ali pa presegrati zahteve, podane v mednarodnem standardu IEEE P1222 za ADSS-kable.

Karakteristike optičnih vlaken:

Lastnosti optičnih vlaken morajo biti vsaj enake ali boljše, kot je razvidno iz spodnje tabele.

Slabljenje @ 1310 nm	≤ 0,4	dB/km
Slabljenje @ 1550 nm	≤ 0,3	dB/km
Premer modalnega polja	8,6–9,5 ± 0,4	μm
Premer zaščite jedra	125 ± 0,7	μm
Koncentričnost jedra in zaščite	≤ 0,5	μm
Eliptičnost zaščite	≤ 1	%
PMD posamezno vlakno	≤ 0,2	ps/√km

Vse karakteristike morajo odgovarjati predpisom ITU-T G.657.A1, barvno označevanje pa standardom po IEC 60304.

Slabljenje odseka:

Za enorodovna optična vlakna se izračuna slabljenje odseka po obrazcu:

$$S = a_n \cdot L_n + a_{ss} \cdot N_s + a_{cs} \cdot N_c + a_m$$

$$N = 1,$$

kjer je:

- a_n koeficient slabljenja n vlakna (dB/km),
- L_n dolžina n vlakna (km),
- n zaporedna številka vlakna,
- m celotno število tovarniških dolžin kabla na odseku,
- a_{ss} srednje slabljenje spojev (dB/spoj),
- N_s celotno število spojev na odseku,
- a_{cs} srednje slabljenje konektorja (dB/konektor),
- N_c celotno število konektorjev na odseku,
- a_m rezervno slabljenje (marža) odseka (dB).

Slabljenje posameznega odseka je osnova za določitev terminalne opreme.

3.4.3. Inštalacija ADSS-kabla in natezne napetosti

Pri inštalaciji ($T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$) bo ADSS-kabel (primer 48 vlaken) napet s predvideno natezno napetostjo **20 N/mm² = 2320 N**. Poves pri tej natezni napetosti za 100 m znaša 0,6 m.

OPOMBA! Z vrednostjo natezne napetosti 20 N/mm² dosežemo minimalne varnostne višine pri razpetinah od 90 do 100 m in upoštevanju faktorja dodatnega bremena 1. Pri razpetinah manjših od 90 m lahko poves znaša do 1 % dolžine razpetine in so natezne napetosti ustrezno manjše.

Montažna dela

Obešanje samonosilnega kabla

ADSS samonosilni optični kabel obešamo na obstoječe elektrodrogove.

Zatezna obešanja so predvidena na vsakih pet oporišč pri spojkah, rezervah, križanjih in spremembah smeri.

Višina obešanja kabla

Vsi kovinski pritrdilni elementi optičnega kabla morajo biti oddaljeni od delov pod napetostjo najmanj 25 cm, skladno s SIST EN 50341-1-2013, SIST EN 50423-3-21.

Nosilne in razbremenilne konzole se montirajo v višino do 30 cm pod spodnjo konzolo daljnovodne vrvi.

To je zelo pomembno, saj so s takim načinom montaže ohranjene zahtevane varnostne višine optičnega kabla nad cestišči, vozilom dostopnimi mesti in vozilom nedostopnimi mesti.

Napenjanje kabla

Kabel se uvleče na nosilna kolesca s pomočjo predvleke. Kabelski boben se namesti najmanj 50 m od prvega zateznega droga. Na začetni in končni zatezni drog se namesti pomožno montažno kolo premera 65 cm. Sila vlečenja mora biti ves čas vlečenja kabla kontrolirana in ne sme preseči sile 9 kN. Ves čas vlečenja je treba kontrolirati minimalni radij krivljenja kabla in preprečiti torzijsko obremenitev kabla. Na koncu napenjalnega polja se kabel napenja na oddaljenosti najmanj 50 m od zateznega droga.

Križanja

Vsa križanja bodo izdelana skladno s SIST EN 50341-1-2013, SIST EN 50423-3-21 kakor tudi skladno z zahtevami iz morebitnih projektnih pogojev (soglasij) pristojnih dajalcev soglasij.

Vrsta približevanja	Minimalne razdalje oz. varnostne višine [m]
Težko dostopna mesta (skalnato in strmo)	3
Mesta, ki so dostopna vozilom	5,6
Križanje magistralnih, regionalnih, lokalnih in nekategoriziranih cest	6,6
Potek nad stavbami	2,5
ADSS in križanje EE-vodnikov	1
Razdalja ADSS-vodnika do delov pod napetostjo	0,7

3.5. Notranji razvod v zgradbah

V uredbi (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta Evrope z 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov so podatkovni kabli definirani kot gradbeni proizvod. Ena od temeljnih zahtev za stavbe glede varnosti v primeru požara je, da mora biti stavba zasnovana in izdelana tako, da se v primeru požara ogenj in dim čim manj oz. čim počasneje širita. Samo tako lahko stanujoči stavbo varno zapustijo in imajo pristojni reševalci več časa za uspešno reševanje ljudi in premoženja.

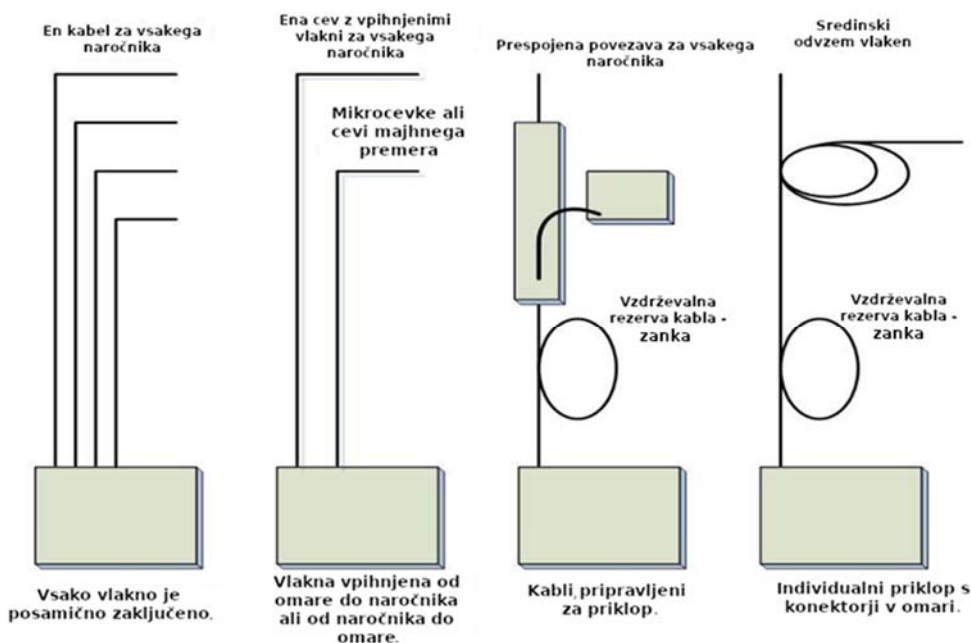
Vsi gradbeni proizvodi morajo biti preverjeni s strani organov, ki so priznani s strani EU, in morajo biti v skladu z vsemi standardi. Potem se na podlagi teh pregledov izda izjava o lastnostih (DoP), ki mora biti na razpolago za vsak izdelek. Prav tako mora vsak izdelek imeti ustrezno označbo na pakiranju, kot na primer » Harmoniziran standard EN 50575: 2014 z naslovom Elektroenergetski, krmilni in komunikacijski kabli – Kabli za splošno uporabo za gradbena dela glede na zahteve za odpornost proti požaru«.

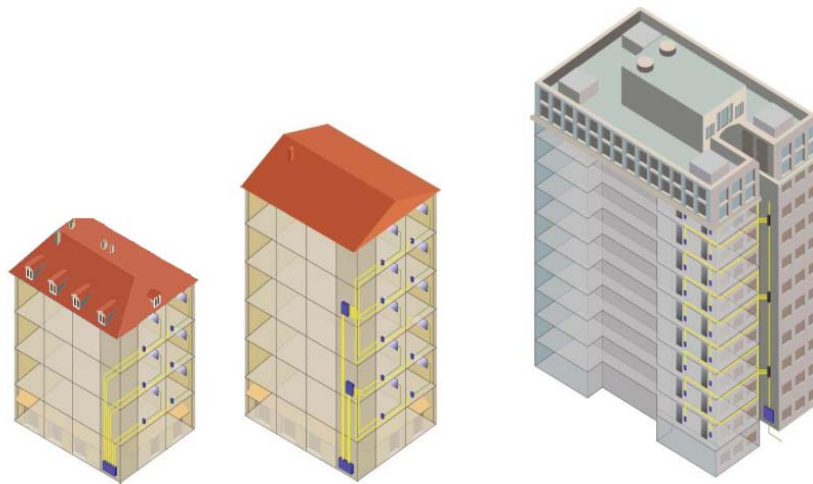
Požarne lastnosti so razdeljene na več razredov, kjer:

- razred A označuje zahtevo za najvišji (nevnetljiv) razred in
- razred F označuje najnižji (lahko vnetljiv) razred.

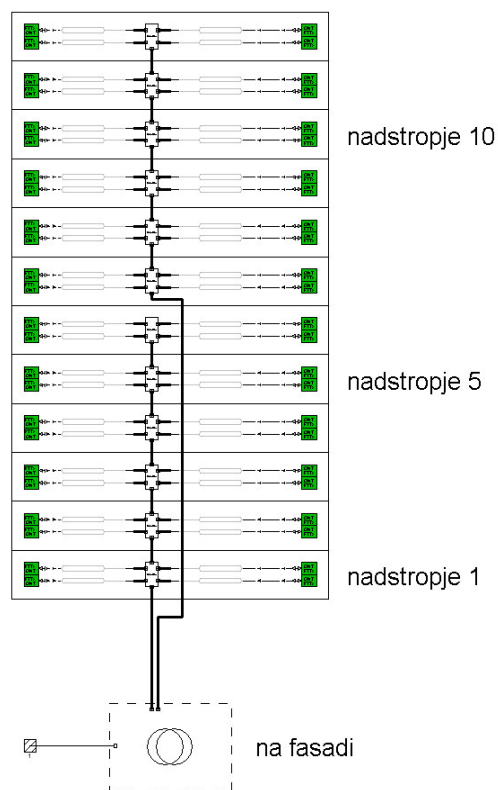
Standard je začel veljati 1. 7. 2016 s prehodnim obdobjem do 1. 7. 2017 in je danes že obvezen. Za vse izdelke, ki so proizvedeni po 1. 7. 2017 in jih zajema standard EN 50575: 2014, je obvezna izdaja izjave o lastnostih (DoP).

Načini izvedbe notranjih inštalacij (zvezda, z razdelitvijo po nadstropjih)



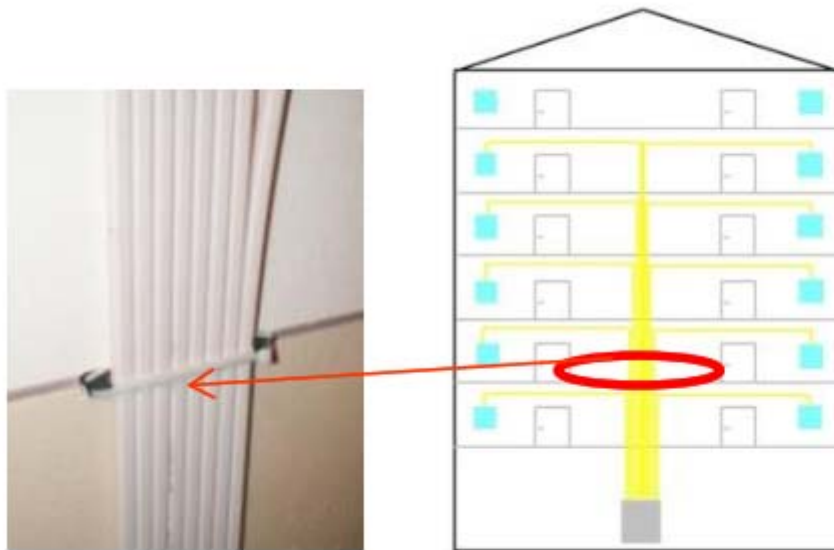


Slika 50: Načini izvedbe notranjih inštalacij v večstanovanjskih objektih



Slika 51: Shema notranje inštalacije, izdelana s pomočjo programskega orodja AND

Slika 52 prikazuje predlog izvedbe optične inštalacije v večstanovanjskem objektu iz omarice na fasadi v sistemu zvezda s spojnimi kasetami v posameznem nadstropju.



Slika 52: Zvezda razvod v večstanovanjskem objektu

3.5.1. Izenačitev potencialov v prostorih z aktivno opremo

V vsakem objektu, v katerem je vgrajena aktivna oprema, mora biti izvedena zbiralka za glavno izenačitev potenciala in povezati naslednje dele:

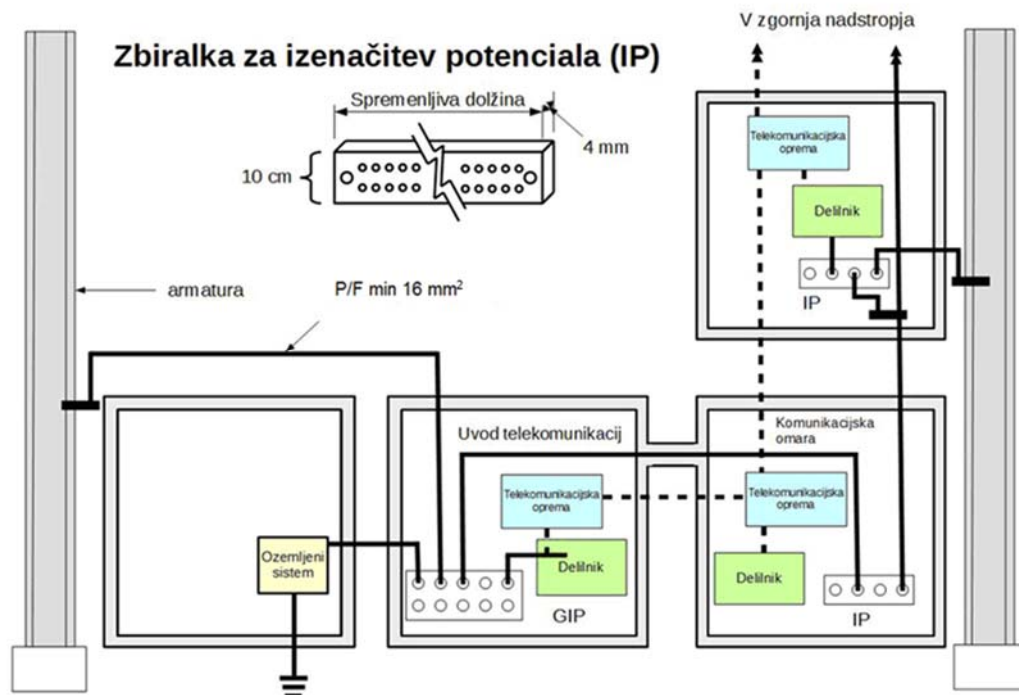
- cevi in podobne kovinske konstrukcije znotraj zgradbe (vodovod, plinovod ...),
- vse kovinske dele stavb ali konstrukcije (jekleni nosilci, kovinska fasada, armatura v betonu),
- kovinske omare za komunikacijsko omrežje v zgradbi in energetski razvod in opremo v njih (spajalne plošče, oklepi kablov ...) ter
- kovinske kabelske kanale.

IP – zbiralka za ozemljitev v etažnih razdelilnikih.

GIP – glavna zbiralka za ozemljitev telekomunikacijskega sistema.

TBB – vodnik za povezavo zbiralk z glavno zbiralko GIP (položen brez prekinitev, min. presek 16 mm²).

Vse komponente, ki sestavljajo komunikacijske inštalacije v objektu, morajo biti povezane na zbiralko za izenačenje potenciala.



Slika 53: Izvedba izenačitve potencialov in ozemljitev v zgradbah z napravami informacijske tehnologije

3.6. Zahteve za načrtovanje multimedijskih kabelskih sistemov

Kabelsko omrežje mora za prenos modernih komunikacijskih storitev (televizijski in radijski programi, internet, telefonija) izpolnjevati najmanj naslednje zahteve:

- zagotavljati ustrezne prenosne zmogljivosti med funkcijsko lokacijo z aktivno mrežno opremo in uporabniki v obeh smereh prenosa signalov,
- zagotavljati prenos brez motenj med uporabniki,
- zagotavljati dovolj visoko zanesljivost prenosa podatkov,
- zagotavljati dovolj visoko kakovost prenosa podatkov za uporabljene načine prenosa in
- uporabljati standardizirane vmesnike.

Prenosne zmogljivosti predstavljajo pomemben parameter, ki je v veliki meri odvisen od načrtovanja omrežja.

Za hibridna optično-koaksialna kabelska komunikacijska omrežja so najpomembnejše zahteve:

- frekvenčno področje naj bo od 5 – najmanj 860 MHz (nove zahteve na osnovi Cable Labs DOCSIS 3.1 specifikacije zahtevajo frekvenčno področje 1,2 GHz navzdol) – do 85 oziroma do 200 MHz v smeri od uporabnika proti funkcijski lokaciji;
- načrtuje naj se uporaba pasivnih komponent skladno s standardom SIST EN 50083-2, razreda A;
- načrtovane aktivne komponente morajo biti izdelane v skladu s standardom SIST EN 50083.

4. TEHNOLOGIJE OPTIČNIH DOSTOPOVNIH OMREŽIJ

Optično dostopovno omrežje, ki povezuje stekleno vlakno do uporabnikovega doma (angl. Fiber To The Home – FTTH), je mogoče izvesti v več različnih topologijah. Povezava med centralo (funkcijsko lokacijo z aktivno opremo) in uporabniki je lahko izvedena v arhitekturi točka–točka (angl. Point–to–Point – P2P) ali točka–več točk (angl. Point to Multi Point – P2MP). Tako P2P arhitektura uporablja zvezdno pasivno topologijo, P2MP pa drevesno pasivno topologijo.

Optično dostopovno omrežje se je v praksi uveljavilo v dveh različicah. Prva arhitekturna možnost, ki se je začela uveljavljati v praksi na začetku razvoja optičnih dostopovnih omrežij v Skandinaviji, je P2P. Optična pasivna infrastruktura, ki jo predstavljajo optična vlakna, povezuje aktivno opremo v funkcijski lokaciji (angl. Central Office – CO) z uporabniki.

V funkcijski lokaciji so nameščene sprejemno-oddajne enote oziroma tako imenovani optični linijski terminali (angl. Optical Line Terminal – OLT), na vsakem uporabnikovem domu pa je nameščena optična omrežna enota (angl. Optical Network Terminal – ONT), v P2P EPON-omrežju tudi pod nazivom CPE (Customer Premises Equipment).

Druga možnost pri gradnji optičnega dostopovnega omrežja je arhitektura P2MP, ki se je v Sloveniji uveljavila v verziji GPON optičnega dostopovnega omrežja.

Odprto dostopovno omrežje pomeni v telekomunikacijah omrežno arhitekturo oziroma poslovni model, ki loči izvedbo in delovanje komunikacijskega omrežja od uporabe omrežja.

4.1. Primerjava GPON in EPON optičnih kabelskih komunikacijskih omrežij

S primerjavo lastnosti GPON in EPON optičnih omrežij lahko ocenimo prednosti in slabosti posamezne rešitve, kar je pri načrtovanju omrežja pomembno za upravljavca omrežja (stroški investicije CAPEX (Capital Expenditures), stroški upravljanja, vzdrževanje OPEX (Operational expenditure) in za uporabnike (hitrost prenosa podatkov).

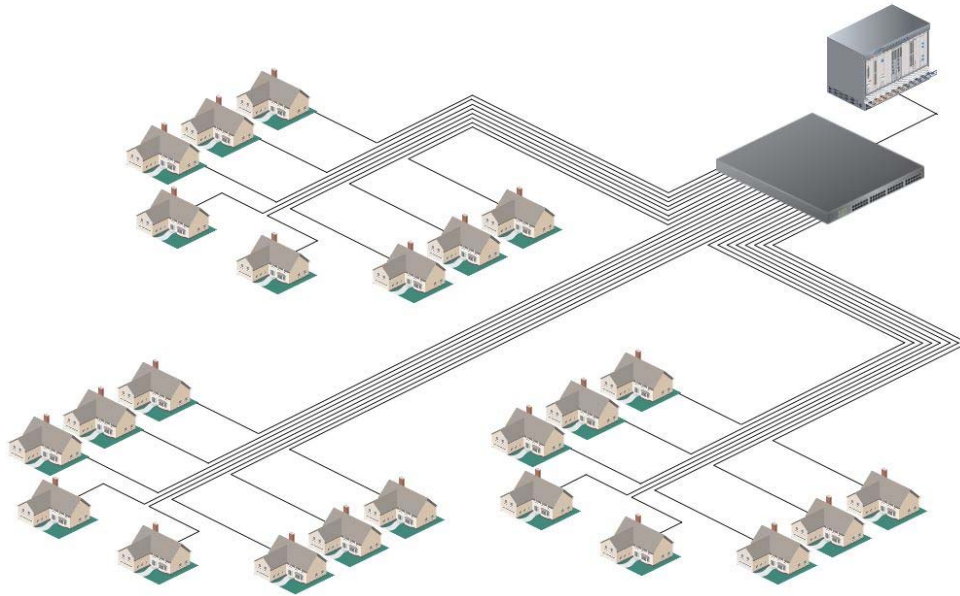
Prednosti GPON-omrežja so:

- upravljanje večje gostote priključkov z manj aktivne opreme v funkcijski lokaciji in s tem tudi manjša poraba energije za napajanje opreme;
- omogočanje dodatnega prenosa analognih VF-signalov televizijskih programov (to je možno tudi v EPON-omrežju);
- pasivni optični delilniki so lahko nameščeni v omaricah ali manjših jaških (to pomeni manjšo fleksibilnost, kot če so nameščeni v funkcijski lokaciji);
- če so delilniki nameščeni v funkcijski lokaciji, je možno preprosto spreminjati delilna razmerja in s tem povečevati pasovno širino za vsakega uporabnika, pomeni pa to uporabo kablov z večjim številom vlaken;
- potreba po manjšem številu optičnih vlaken v omrežju (če optični delilniki niso nameščeni v funkcijski lokaciji, temveč v omaricah ali jaških v omrežju).

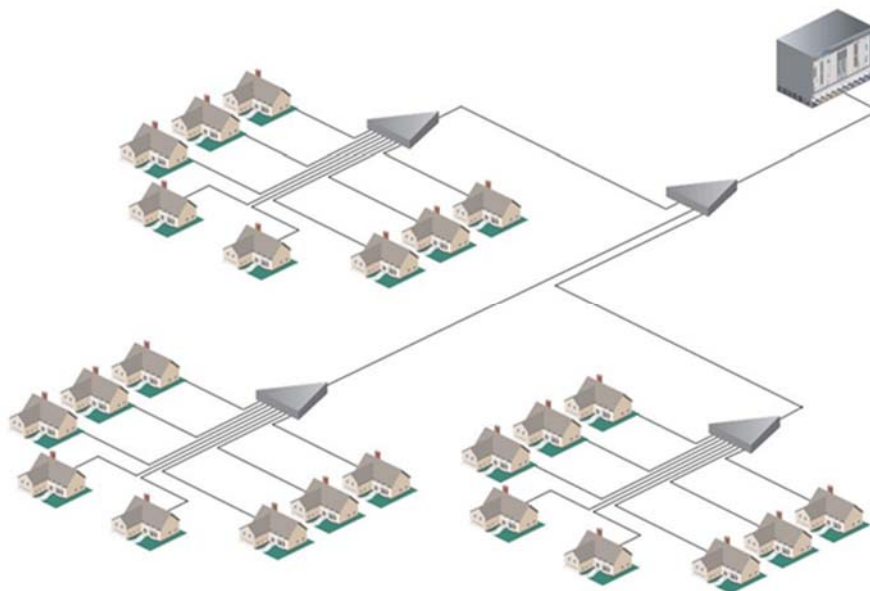
Slabosti GPON-omrežij:

- v GPON-omrežju je prenosni medij časovno dodeljen,
- v GPON-omrežju so hitrosti prenosa navzdol dvakrat večje kot v smeri od uporabnika proti funkcijski lokaciji (asimetrična tehnologija prenosa), omogoča sicer tudi možnost nudenja simetričnih storitev.

	GPON (P2MP) pasivno optično omrežje	Ethernet (P2P) pasivno optično omrežje (EPON)
Medij	Deljeni medij: deljena pasovna širina, maksimalna hitrost za uporabnika se niža s številom uporabnikov.	Nedeljeni medij: maksimalna hitrost za uporabnika je odvisna od zmogljivosti aktivne opreme.
Gostota uporabnikov	V praksi do 32 ali manj (teoretično do 128) uporabnikov na ena vrata v funkcijski lokaciji.	1 uporabnik na 1 vrata v funkcijski lokaciji (oziroma 1 uporabnik na dvoje vrat v primeru prenosa TV-ja po ločenem vlaknu).
Poraba energije v FL	Nižja od Ethernet P2P (faktor okoli 5–8 pri 32 uporabnikih na vrata).	Višja od PON (faktor okoli 5-8 pri 32 uporabnikih na PON-vrata).
Simetrija	Asimetrične prenosne hitrosti (dvakrat večje hitrosti k uporabniku, kot od uporabnika).	Simetrične prenosne hitrosti v obeh smereh.
Maksimalne hitrosti (tehnično dosegljive)	GPON: 2.488 Gbit/s proti vsem uporabnikom na enih vratih skupaj, 1244 Gbit/s od vseh uporabnikov na enih vratih skupaj, torej v primeru 32 uporabnikov na vrata največ 77/38 Mbit/s za uporabnika.	Simetrično, odvisno od izbranih stikal, v praksi 100/100 Mbit/s ali 1/1 Gbit/s.
Dodatek TV-programov (ASI)	Standardiziran, lahko po istem vlaknu kot internet.	Ponavadi po posebnem vlaknu.
Šifriranje povezave	Šifrirana je samo povezava prenosa podatkov k uporabniku.	Šifrirani sta obe povezavi za prenos podatkov k in od uporabnika z AES šifrirnim mehanizmom.



Slika 54: Shema EPON optičnega omrežja



Slika 55: Shema GPON optičnega omrežja

4.2. Tehnologija EPON-omrežij

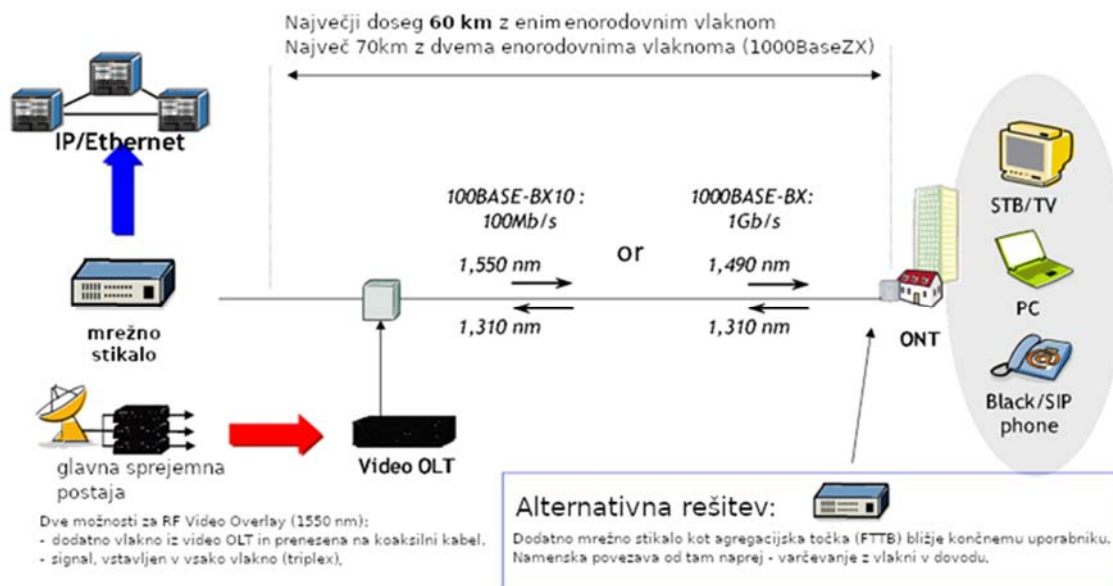
Tehnologija EPON-omrežja P2P (točka–točka) omogoča hitre prenose na zelo dolgih razdaljah ter na območjih, kjer se izvaja novogradnja optičnega kablskega komunikacijskega omrežja.

Prednost takega omrežja je nedeljen optični medij, kar omogoča:

- visoko zanesljivost omrežja,
- da je omrežje zelo prilagojeno prihodnjim potrebam po večjih hitrostih prenosa,
- nemoteno prehajanje od manjših (10Mb/s) do večjih (do 10Gb/s) hitrosti dostopa do omrežja (10/100/1000/10G),
- zelo prilagodljivo načrtovanje in spreminjanje topologije omrežja in
- učinkovita orodja za nadzorovanje in odpravljanje napak v omrežju.

EPON-omrežja so primerna za odprta širokopasovna omrežja, saj relativno preprosto omogočajo hkrati več ponudnikov storitev v istem omrežju. Za aktiviranje novega ponudnika storitev je treba zagotoviti povezavo do hrbteničnega omrežja ponudnika storitev, namestiti aktivno opremo v funkcijskih lokacijah ter prevezati naročnike k ponudniku. EPON-omrežje omogoča zelo hitro in preprosto menjavo ponudnika storitev s prevezavo v funkcijskih lokacijah. Pri EPON-tehnologiji se lahko za prenos podatkov in TV-signalov v IP-obliki uporablja eno optično vlakno ali dve optični vlakni, in sicer eno vlakno za prenos podatkov ter drugo vlakno za prenos TV-signala. Prednost EPON-a je ta, da lahko do primarne funkcijske lokacije dostopovnega omrežja izvedemo povezavo s samo dvema vlaknoma. V funkcijski lokaciji se naročniško vlakno za podatkovni del zaključi na optičnem mrežnem stikalu, ki je povezano z agregacijskim mrežnim stikalom, to pa s hrbteničnim omrežjem ponudnika storitev. Spekter televizijskih signalov se prenaša preko optičnih ojačevalnikov (EDFA), se razdeli preko optičnih delilnikov in prenese po ločenem vlaknu do naročnika, kjer se v CPE-enoti optični signal pretvori v analognega in se prenese po koaksialnem kablu notranje inštalacije do *setup boxa*. EPON-omrežje omogoča tudi prenos signalov IP-televizije, kot ga uporabljajo ponudniki storitev, ki ponujajo storitve preko DSL-tehnologije, kar omogoča uporabo enega vlakna in drugačne CPE-enote pri naročniku (brez opto-električnega sprejemnika) za TV-signale.

Največja možna hitrost je pogojena z največjo hitrostjo, ki jo zagotavljata optično mrežno stikalo in seveda CPE-enota pri naročniku. Vsak uporabnik ima v vsakem trenutku zagotovljeno zakupljeno hitrost prenosa podatkov neodvisno od števila naročnikov.



Slika 56: Značilnosti EPON optičnega omrežja

NAROČNIK	PRENOS NAVZDOL Mb/s	PRENOS NAVZGOR Mb/s
1 G EPON	100 Mb/s–1244 Mb/s	100 Mb/s–1244 Mb/s
10 G EPON	1244 Mb/s–10.312,5 Mb/s	1244 Mb/s–10.312,5 Mb/s

V prihodnosti se pričakuje trend zahtev za simetrične prenosne hitrosti podatkov v obeh smereh.

4.3. Tehnologija GPON-omrežij

GPON-omrežja (P2MP) točka–več točk so primernejša za cenejšo izvedbo optičnega omrežja zaradi vgradnje optičnih razcepnikov, s katerimi se zmanjša število vlaken na povezavah od funkcijskih lokacij z OLT-opremo do naročnikov z ONT-opremo. Omogoča hkratni prenos Ethernet in VF TV-signalov preko enega optičnega vlakna. Ta lastnost omogoča ponudnikom omrežnih storitev NSP (Network Service Providers) manjše stroške investicije ter upravljanja omrežja, saj z investicijskim vložkom v GPON pasivno optično omrežje zmanjšajo število zahtevanih vlaken do uporabnika. GPON-tehnologija je uporabna tudi v strnjjenih naseljih, kjer že obstaja zgrajena določena optična infrastruktura, ki ne omogoča izvedbe optičnega omrežja po tehnologiji EPON. Za GPON-tehnologijo je značilno, da z delitvijo signala, ki se prenaša v časovnem multipleksu na več vej preko optičnih razcepnikov, hitrost prenosa podatkov proti posamezniku pada z večanjem delitve. Pri tehnologiji GPON potrebujemo v funkcijski lokaciji aktivno opremo OLT (Optical Line Termination), ki omogoča hitrosti prenosa 2,5 Gb/s v smeri k naročnikom in 1,25 Gb/s od naročnikov proti funkcijski lokaciji v TDM-ju (Time Division Multiplex) – časovnem multipleksu. Ta signal se razdeli preko optičnih razcepnikov, nameščenih v funkcijski lokaciji ali v jaških (omaricah) na posameznih lokacijah v omrežju, na ustrezno število naročnikov. Z delilnim razmerjem opredeljujemo hitrost prenosa podatkov proti posameznemu naročniku ob 100-% istočasnosti prenosa.

Hitrosti GPON-a na izhodu iz optične aktivne opreme	2,488 Gb/s	1,244 Gb/s
Največje hitrosti pri naročnikih v odvisnosti od optičnih razcepnikov	Navzdol Mb/s	Navzgor Mb/s
1/8	311	155,5
1/16	155,5	77,75
1/32	77,75	38,875
1/64	38,875	19,4375

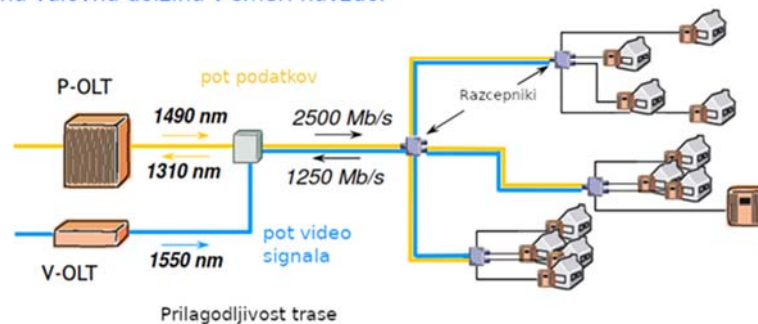
Hitrost prenosa podatkov po GPON-omrežju je odvisna tudi od števila naročnikov, ki istočasno prenašajo podatke. Manj naročnikov je priključenih in v danem trenutku aktivnih, večje hitrosti prenosa podatkov je možno dosegati, saj se pasovna širina za prenos podatkov deli na posamezne uporabnike. GPON-tehnologija je primernejša za pokrivanje potreb manj zahtevnih naročnikov.

Glas in podatki po enem vlaknu

- dve valovni dolžini v nasprotnih smereh

Video

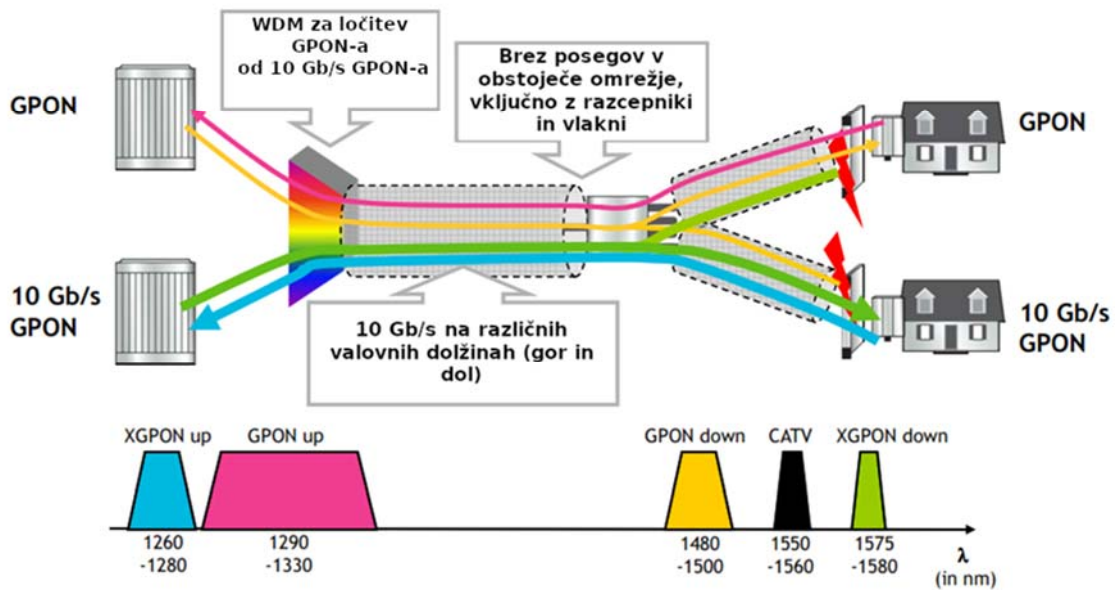
- ena valovna dolžina v smeri navzdol



Slika 57: Značilnosti GPON-omrežja

XG-PON-OMREŽJA

V razvoju in kmalu v uporabi je nova generacija XG-PON1 (ITU-T G-987) in NG-PON2, s hitrostmi 40 Gb/s (80 Gb/s) v smeri navzdol in 10 Gb/s ($4 \times 2,5$ Gb/s) v smeri navzgor (standard ITU-T G.989) na osnovi valovnega multipleksa TWDM. S tem postaja GPON-tehnologija predmet resne alternative P2P EPON-omrežjem, predvsem na podeželskih področjih, kjer se stroški izgradnje omrežja lahko znižajo z uporabo kablov z manj vlakni.



Slika 58: Nadgradnja na 10G GPON optično omrežje

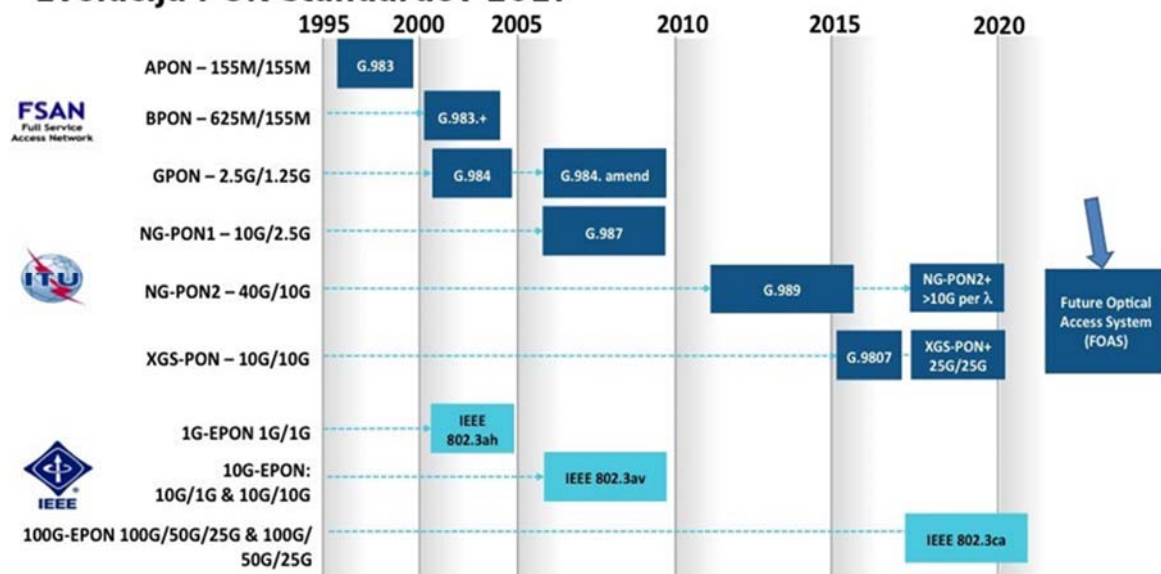
5. RAZVOJ STANDARDIZACIJE OPTIČNIH DOSTOPOVNIH OMREŽIJ

Skupina za storitve Full Services Access Network (FSAN) razvija primere uporabe in tehnične zahteve, ki jih nato določi in ratificira Mednarodna telekomunikacijska zveza (ITU) kot standarde. Ti standardi vključujejo APON, BPON, GPON, XG-PON, XGS-PON in NG-PON2. GPON zagotavlja 2,5 Gb/s pasovne širine navzdol in 1,25 Gb/s navzgor, v skupni rabi največ 128 uporabnikov.

XG-PON ponuja 10 Gb/s navzdol in 2,5 Gb/s navzgor za do 128 uporabnikov. XGS-PON zagotavlja simetrično 10 Gb/s pasovno širino navzdol in navzgor z največjim razmerjem deljenja 1 : 128.

NGPON2 je kot primarno tehnološko rešitev s prekrivnimi kanali točka-točka WDM izbral TWDMPON (časovno valovno dolžinsko multipleksiranje pasivnih optičnih omrežij) s popolnim soobstojem z ITU-T PON (G-PON, XG-PON1, XGS-PON) in RF-videom. Možno je uporabljati štiri ali osem valovnih dolžin, 40 G ali 80 G navzdol in 10G, 40G ali 80G navzgor. Poleg tega se lahko uporabi do osem kanalov točkovnega WDM-ja s hitrostjo 1G, 2,5G in 10G.

Evencija PON-standardov 2017



Slika 59: Razvoj standardov za pasivna optična omrežja

ITU-T-standardi za GPON

G. 984.1 – GPON-zahteve storitev

- določa konfiguracije linijskih hitrosti, nastavitve in funkcije storitve.

G. 984.2 – GPON fizični medij

- določa značilnosti sprejemnika hitrosti prenosa po ODN-razredu za vsak podatkovni tok v smeri navzgor.

G. 984.3 – GPON prenosna konvergenca

- določa prenos protokola konvergence, fizično plast OAM, mehanizem razvrščanja.

G. 984.4 – GPON ONT-vmesnik za nadzor upravljanja

- na podlagi OMCI-ja za BPON, pri GPON-u paketni način upoštevanja;
- fazni pristop za doseganje interoperabilnosti (FSAN).

ITU-T G. 984.1 določa tri vrste redundance med OLT-jem in ONT-jem:

- tip A: redundanca z rezervni vlakni, brez dodatnih LTs ali ONTs;
- tip B: redundance za delilnik; presežnih LTs in podajalnik vlakna za prvi razcepnik;
- tip C: redundanca skozi celotno pot; presežnih LTs, vlakna, razdelilniki, ONTs.

** Ločene geografske poti, potrebne za dve poti podatkov, da se prepreči hkratno pretrganje vlaken.

6. NAČRTOVANJE IN DOKUMENTACIJA KABELSKIH KOMUNIKACIJSKIH OMREŽIJ S PROGRAMSKIMI ORODJI

Oceniti je treba tipične možnosti izvedbe omrežja:

Kje zaključiti vlakna?

Pred vsako zgradbo, v kleti posamezne stavbe ali znotraj vsake posamezne stanovanjske enote.

Izbira tehnologije:

Bodisi gre za P2P, bodisi za P2MP, bodisi za kombinacijo obeh.

Koliko rezervnih zmogljivosti je treba vključiti za prihodnje nadgradnje v vsak del omrežja?

Koliko vlaken za vsak priključek?

Možnost izvedbe kabelskih povezav:

Zemeljsko izvedene kabelske povezave ali uporaba zračnih vodov? Ali obstaja možnost koriščenja obstoječe skupne infrastrukture? Kaj je možno doseči glede uporabe zemljišč in pravic za izgradnjo omrežja? Določitev tehnologije polaganja kablov: klasična kabelska kanalizacija ali mikrocevi in mikrokabli ali neposredno položen kabel?

Število ravni v omrežju? Ena ali več distribucijskih plasti?

Dimenzije kablov – število vlaken, cevi za posamezna področja omrežja.

Kakšna je zmogljivost vlaken in kablov, ki se lahko zaključijo v določeni omari ali spojki? Kakšna je tehnologija, uporabljena v večstanovanjskih zgradbah za povezavo stanovanj?

Kje bodo lokacije delilnikov v omrežju?

Načrtovanje kabelskega komunikacijskega omrežja je zelo pomembno za:

- ceno izvedbe omrežja (stroški investicije CAPEX – Capital Expenditure), na te stroške močno vpliva odločitev o tehnologiji;
- učinkovitost omrežja v fazi delovanja (OPEX – Operational Expenditure), upravljanje, vzdrževanje, dograjevanje ...

Najbolj ekonomična postavitev funkcijske lokacije ali vozlišča (delilnikov, spojk ...) je po nekaterih študijah v središču področja, ki ga funkcijska lokacija pokriva, če je gostota naročnikov na področju približno enakomerna. V primeru neenakomerne gostote se funkcijska lokacija predvidi bližje področju večje gostote naročnikov. Idealna konfiguracija smeri kabelske kanalizacije predstavlja štiri glavne smeri iz funkcijske lokacije pod kotom 90 stopinj med smermi. Veje iz glavnih smeri pa naj bi bile pravokotne na te smeri. V naravi je seveda situacija za opredelitev kabelskih tras zapletenejša in vezana na možnosti uporabe posameznih tras, ki morajo biti skladne z lastnino lokalnih skupnosti zaradi lažjega pridobivanja služnosti za souporabo tras za kabelsko kanalizacijo.

Za načrtovanje telekomunikacijskega omrežja je potrebnih več vrst podatkov:

- demografski podatki o naseljenosti področja,
- zahteve naročnikov,
- situacija razporeditve zgradb v obliki podatkov geografskega informacijskega sistema (GIS),
- podatki o obstoječi infrastrukturi in
- lokacije možnih tras kableske kanalizacije.

Z avtomatizacijo načrtovanja v več fazah dosežemo naslednje cilje:

- hitrejšo izgradnjo (s kakovostno izdelanim načrtom),
- optimizirano omrežje (analiza cene, standardizirano načrtovanje) in
- boljše upravljanje prenosa podatkov (lažji pregled nad podatki omrežja, učinkovito upravljanje in analiza napak).

Načrtovanje omrežja se tradicionalno izvaja s programskimi orodji za risanje (AUTOCAD, Autodesk Inc.) in s projektantsko oceno razporeditve vozlišč za dovolj optimalno rešitev. Za manjša omrežja je takšna rešitev še pogojno sprejemljiva, večjih omrežij pa na ta način ni možno optimalno načrtovati. Investitorji v omrežja iščejo optimalna razmerja med vložkom v izgradnjo omrežja in predvidenimi prihodki pri uporabi omrežij. Pri FTTH-omrežjih so prihodki v glavnem odvisni od števila uporabnikov omrežja, zato investitorji težijo k čim manjšemu investicijskemu vložku na uporabnika omrežja. Te zahteve vodijo k izdelavi modelov za optimizacijo načrtovanja telekomunikacijskih omrežij, ki se postopoma implementirajo v specializirane programske rešitve za načrtovanje tovrstnih omrežij.

Načrtovanje kableskih komunikacijskih omrežij si težko predstavljamo brez modernih programskih orodij. Pri uporabi programskega orodja je treba preveriti, ali upošteva trenutno veljavne zahteve standardov za projektiranje kableskega komunikacijskega omrežja.

Primerna programska orodja zajemajo načrtovanje kableskih tras v prostoru na osnovi podatkov GIS (geografski informacijski sistem) z možnostjo načrtovanja poteka kableske kanalizacije, jaškov, kablov in pasivne opreme od funkcijske lokacije do posameznih priključkov.

Programska oprema omogoča uporabo konkretnih aktivnih (elementov z energetskim napajanjem) in pasivnih elementov z njihovimi lastnostmi, vpisanimi v baze podatkov o elementih.

S programsko opremo je možno pridobiti spiske vgrajenega materiala, ceno, stroške montaže.

Zaradi kompleksnosti omrežij in potrebe, da ostane tudi pri spremembah v omrežju dostopnost podatkov nespremenjena, je nujna uporaba ustreznih programskih orodij za načrtovanje. Ta orodja vsebujejo knjižnice aktivne in pasivne opreme, kablov, jaškov ... dejansko vseh sestavnih delov komunikacijskega omrežja. Elemente v knjižnicah predstavljajo lastnosti posameznega proizvoda po podatkih njegovega proizvajalca.

Poleg električnih značilnosti so lahko v knjižnici podatki o elementih sistema, dopolnjeni s številkami proizvoda, pomembnimi za naročilo, podatki o času, potrebnem za montažo, in ceni izdelka.

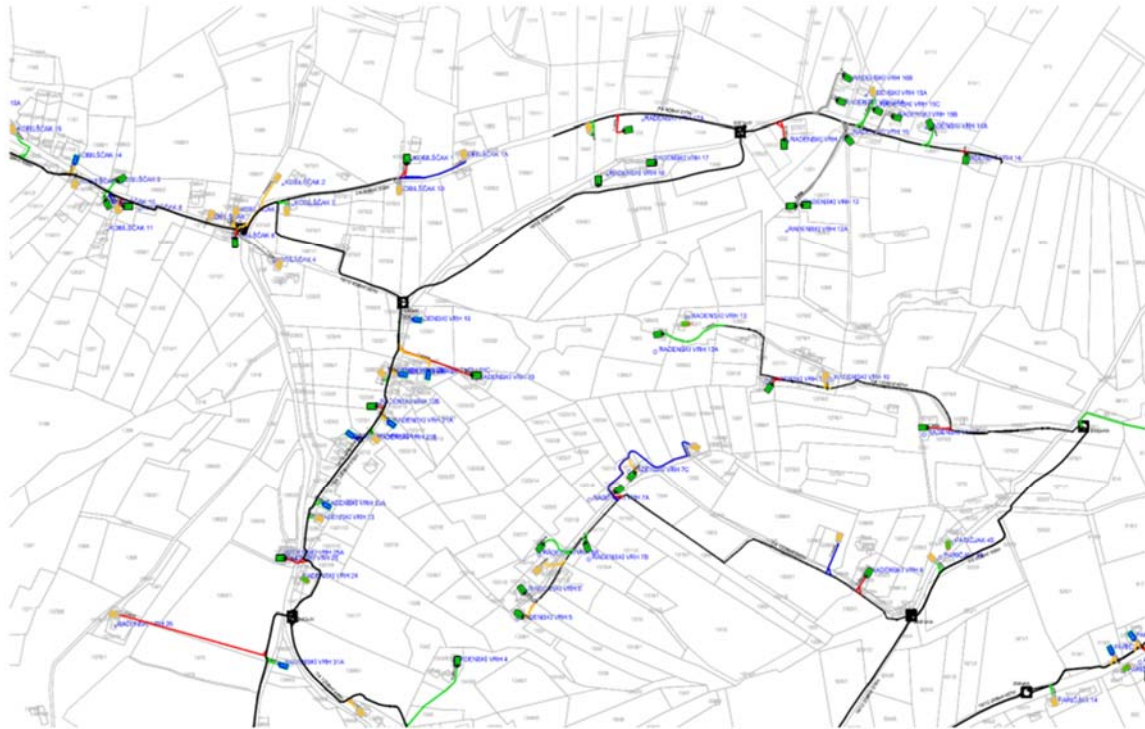
Izračuni se lahko izvedejo tudi za različne valovne dolžine na enem vlaknu.

Za grafično predstavitev elementov omrežja so namenjene sheme elementov s priključki s povezavo s knjižnicami elementov.

Načrtovanje s programsko opremo (npr. AND, AND Solution GmbH) se izvaja s sistemom povleci-spusti s prenosom elementov iz knjižnic, ki se povezujejo z ustreznimi kabli. Medtem se izvajajo tudi izračuni omrežja. Na definiranih merilnih točkah v omrežju so razvidni rezultati izračunov. Poleg izračunov optičnih prenosnih parametrov preizkuša programska oprema tudi zaključevanje elementov sistema z ustreznimi priključki, lahko preizkuša redundančne smeri.

S programsko opremo je možno učinkovito načrtovati optične spojke. Programska oprema ustvari pregled vlaken s povezavami od začetne do končne lokacije. V tem pregledu so zajete tudi informacije o uporabljeni valovni dolžini, barvah vlaken in pripadnost cevkam.

Programska oprema omogoča tudi načrtovanje komunikacijskih sistemov z mikrocevmi. Te cevi so lahko položene v snopih neposredno v zemljo ali pa so snopi z mikrocevmi vpihnjeni v obstoječe zaščitne cevi večjega premera.



Slika 60: Stanje optičnega omrežja v prostoru

7. SESTAVINE NAČRTOV ZA IZVEDBO KABELSKIH KOMUNIKACIJSKIH OMREŽIJ

Gradnja dostopovnih telekomunikacijskih omrežij je zakonsko uvrščena med enostavne objekte in ne zahteva pridobitve gradbenega dovoljenja.

Sestavine načrtov za izgradnjo kableskega komunikacijskega omrežja se nekoliko razlikujejo v odvisnosti od novogradnje tovrstnega omrežja ali gradnje dela novega omrežja oziroma rekonstrukcije dela obstoječega omrežja v okviru obnove posameznih delov javne infrastrukture.

1. Novogradnja kableskega komunikacijskega omrežja

Za novogradnjo optičnega (FTTH) ali bakrenega komunikacijskega dostopovnega omrežja so potrebni izdelava idejne zasnove (IZP), pridobivanje projektnih pogojev mnenj mnenjedajalcev, na osnovi tega izdelava dokumentacije za izvedbo gradnje (PZI) in po izvedbi izdelava projektne dokumentacije izvedenih del (PID).

2. Gradnja dela novega ali rekonstrukcija dela obstoječega omrežja v okviru obnove posameznih cest (nova krožišča, nove ceste, novi deli naselij v urbanem okolju ...)

V tem primeru se tudi za del rekonstrukcije v okviru obnove posameznih cest oziroma objektov, ki zahtevajo pridobitev gradbenega dovoljenja, izdela projektna dokumentacija za pridobitev mnenj in gradbenega dovoljenja (DGD) z uskladitvijo načrta telekomunikacijskega omrežja z načrti drugih uporabnikov prostora (Elektro, Telekom, KKS, vodovod, kanalizacija, javna razsvetljava ...).

Enostavni objekt je lahko grajen brez gradbenega dovoljenja, če ima investitor za zemljišče, na katerem naj bi se takšen objekt zgradil, lastninsko ali kakšno drugo stvarno oziroma obilgacijsko pravico, ki mu omogoča gradnjo na takšnem zemljišču.

Investitor pripravi projektno nalogo, v kateri na kratko opiše obstoječe stanje in zahteve po novem omrežju. V nalogi definira posamezne specifične zahteve telekomunikacijskega omrežja. Definira vsebino projektne naloge, zakone, pravilnike, predpise in navodila, ki morajo biti upoštevani pri izdelavi dokumentacije, in v skladu s katerimi mora biti izdelana projektna dokumentacija.

Projektivno podjetje izdela idejno zasnovo (IZP) za pridobitev projektnih pogojev in idejni projekt (IDP), na osnovi katerega se pridobijo mnenja mnenjedajalcev, za izvedbo del pa projekt za izvedbo (PZI), v katerem so upoštevana vsa soglasja in pogoji lastnikov in upravljavcev obstoječe infrastrukture.

Projektivno podjetje izdela projektno dokumentacijo v skladu s projektno nalogo. Pri izdelavi dokumentacije mora upoštevati elemente in zahteve za varstvo pri delu. Zgrajeno TK-omrežje mora zagotavljati varno delovanje naprav in varnost ljudem, ki bodo izvajali na njem vzdrževalna dela.

V vodilnem načrtu dokumentacije so vsi dokumenti, vezani na upravni postopek:

To so projektna mnenja in soglasja (služnosti) lastnikov oziroma upravljavcev komunalnih vodov ter številke parcel, po katerih se bo gradilo TK-omrežje. V tehničnem delu projektne dokumentacije sta podana tehnična rešitev in opis stanja TK-omrežja. Opisane so trase in posamezni elementi TK-omrežja. Podani so izbor kablov in kabskega materiala ter izračuni. Podane so smernice in navodila za gradbena in montažna dela. Definirani so sestavni elementi omrežja: aktivna in pasivna oprema, izvedba funkcijskih lokacij, optični delilniki in spojni modul, kabske spojke, material za spajanje, kabske omarice, jaški, kabli in letvice za zaključevanje kablov. Navedena sta tip prenapetostne zaščite in način izvedbe ozemljila. Podani so minimalni odmiki za križanja s komunalnimi vodi, način zaščite in izdelani detajli za križanja. Za zagotovitev kakovosti vgrajenega materiala projektna dokumentacija definira izvedbo kontrolnih meritev pred polaganjem in po polaganju kablov ter po vezavi-spajanju tudi končne meritve.

Pomemben del dokumentacije je specifikacija materiala in del, ki definira ceno gradnje projektiranega TK-omrežja. Del projektne dokumentacije sestavljajo trasni načrti projektiranega TK-omrežja, s katerimi je definiran potek tras cevi kabske kanalizacije, vanje pa predvideno uvlačenje (vpihovanje) kablov. Shematski načrti definirajo kapaciteto položenih kablov, vezalni načrti pa povezavo kablov med funkcijsko lokacijo in uporabniki omrežja. Dodani so razni detajli in priloge, ki služijo kot pomoč pri izvajanju gradbenih in montažnih del.

Investitor mora predati izvajalcu del projekt za izvedbo (PZI) pred začetkom izvajanja del. Izvajalec je dolžan pravočasno in podrobno proučiti tehnično dokumentacijo, po kateri se bo gradilo TK-omrežje. Če opazi v tehnični dokumentaciji pomanjkljivosti ali meni, da jo je treba spremeniti, da bi bila boljša, je dolžan o tem pravočasno obvestiti nadzornika in investitorja. Potrjeni projekt za izvedbo (PZI) investitor arhivira.

8. ZAKONSKA UREDITEV PODROČJA TELEKOMUNIKACIJ, ELEKTRONSKIH KOMUNIKACIJ IN INFORMATIKE

Osnovo zakonske ureditve področja telekomunikacij predstavlja Zakon o elektronskih komunikacijah ZEKom-1 (Uradni list RS, št. 109/12, 110/13, 40/14 – ZIN-B in 54/14 – odl. US in 81/15, 40/2017), ki ureja pogoje za zagotavljanje elektronskih komunikacijskih omrežij in za izvajanje elektronskih komunikacijskih storitev. Pri izgradnji kabelskih telekomunikacijskih omrežij gre za posege v prostor, zato ga je treba upoštevati. Osnova za gradnjo v prostoru sta Gradbeni zakon (GZ, 1. nov. 2017) in tudi Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2). Upoštevati pa je potrebno tudi Pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo objektov (Ur. List RS št. 36/18, 51/18), Uredbo o razvrščanju objektov (Ur.l. RS št. 3718), Pravilnik o enostavnih komunikacijskih objektih in vzdrževanju komunikacijskih objektov (Ur. list RS, št. 77/13).

9. ZAKLJUČEK

Prihodnost prinaša stalni napredek tehnologije prenosa na referenčnem modelu OSI-nivojev, višjih od fizičnega, kar omogoča, da obstoječa bakrena telekomunikacijska omrežja sledijo potrebam uporabnikov po večjih hitrostih prenosa. Kabelski operaterji se zavedajo, da bo rast uporabe bolj inteligentnih multimedijskih naprav zahtevala vedno večje prenosne hitrosti v omrežjih.

Pri uporabi obstoječe kabelske kanalizacije prehod z bakrenega na optično omrežje ne predstavlja prevelikega finančnega bremena. Pri tem gre za prehod z ene tehnologije prenosa podatkov na drugo, kar zahteva ustrezno usposobitev načrtovalcev in vzdrževalcev omrežja. Pri prehodu na tehnologijo optičnega omrežja se zmanjša število energetsko napajanih lokacij v omrežju, odpade aktivna ojačevalna oprema v omrežju, spremenijo se aktivne naprave pri uporabnikih.

GPON-arhitektura je bliže prehodu iz HFC-ja (koaksialno optičnega omrežja) na optično strukturo omrežja. Povezave točka-točka v obliki zvezde (bliže arhitekturi EPON) so uporabljene v tradicionalni telefoniji z bakrenimi paricami. To je najfleksibilnejša in najzanesljivejša topologija, četudi ta rešitev zahteva največ optičnih vlaken. Ta slabost pa je kompenzirana s prednostmi, kot so preprostost omrežja, zanesljivost prenosa, stroški upravljanj in preprostost vzdrževanja. V zadnjih letih se v Sloveniji močno uveljavljajo GPON-izvedbe optičnega omrežja, kar kaže na to, da potrebe po hitrostih prenosa za posameznega uporabnika v povprečju ne rastejo tako hitro, kot se je predvidevalo pred desetimi leti, za zdaj niti ni potreb po simetričnosti dvosmernega prenosa podatkov za povprečnega uporabnika multimedijskih storitev.

10. LITERATURA

1. Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020 – osnutek, v0.5, Osnutek za javno obravnavo, marec 2015, AKOS.
2. Možnosti izvedb optičnega dostopovnega omrežja z arhitekturo točka–točka (Boštjan Batagelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana, Slovenija), Elektrotehniški vestnik 77(5): 259–266, 2010.
3. Fiber-to-the-Home, Technologies and Standards - INTRODUCTION, BACKGROUND, Home Run, Active Star, Passive Star, ATM PON, Gigabit PON, Ethernet PON, FUTURE TRENDS, naslov: <http://encyclopedia.jrank.org/articles/pages/6611/Fiber-to-the-Home-Technologies-and-Standards.html> (Andjelka Kelic Massachusetts Institute of Technology, ZDA; <http://encyclopedia.jrank.org/articles/pages/6611/Fiber-to-the-Home-Technologies-and-Standards.html>).
4. Optimization of PON Planning for FTTH, Deployment Based on Coverage, S. P. van Loggerenberg, M. J. Grobler, S. E. Terblanche, TeleNet Research Group, ySchool for Electrical, Electronic and Computer Engineering, zCentre for Business Mathematics and Informatics, North-West University, Potchefstroom Campus, Južna Afrika, e-pošta: f20289278, leenta.grobler, fanie.terblancheg@nwu.ac.za.
5. Fundamental FTTH Planning and Design: Part 1 David Stallworth BROADBAND PROPERTIES | www.broadbandproper.com | marec/april 2011.
6. Poročilo o razvoju trga elektronskih komunikacij za četrto četrtletje 2014, AKOS, Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020, ZAGOTOVITEV DOSTOPA DO INTERNETA HITROSTI NAJMANJ 100 Mb/s ZA VSE, Osnutek, v0.5, Osnutek za javno obravnavo, marec 2015; <https://www.akos-rs.si/cetrletna-porocila-porocilo-o-razvoju-trga-elektronskih-komunikacij-za-drugo-cetrletje-2017>.
7. FIONIS GmbH | Wolfgang Reicher FttX_Präsentation v1.1, 15. 2. 2010.
8. FTTH Standards, Deployments and Research Issues, David Gutierrez¹, Kyeong Soo Kim², Salvatore Rotolo², Fu-Tai An¹, Leonid G. Kazovsky¹, ¹Photonics and Networking Research Laboratory, Stanford University, ²Advanced System Technology, STMicroelectronics, Worldwide development of FTTH, Martin Foerster, Hochschule fuer Telekommunikation, Leipzig (FH).
9. Elementi in pojavi v optičnih zvezah, doc. dr. Boštjan Batagelj, Laboratorij za sevanje in optiko, Katedra za telekomunikacije, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, e-pošta: bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si; https://www.ezz.si/clanki/Opticne_zveze_in_elementi.pdf.
10. Tehnični pogoji za polietilenske zaščitne cevi in cevi za kabelsko kanalizacijo s profilirano zunanjo in gladko notranjo površino (Uradno glasilo Telekoma Slovenije, št. 4., 27. 10. 2000, tehnična priloga).
11. Načrt razvoja odprtega širokopasovnega omrežja elektronskih komunikacij Smernice za načrtovanje odprtih širokopasovnih omrežij.
12. Seminarska gradiva podjetja WISI.
13. Seminarska gradiva podjetja DKT.
14. Raskin, D.: Stoneback, d.: Return Dystems for Hybrid Fibre/Coax Cable TV Networks. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River 1998, ISBN 0-13-636515-9.
15. Deutsches Institut für Breitbandkommunikation GmbH, (Hrsg): dibkom-edition, Kabelnetz-Handbuch, Richtlinien und Hinweise für die Planung und Installation von Multimedianezen; 5. Suflage, 2009, ISBN 978-3-982-1630-3-2.
16. Deutsches Institut für Breibandkommunikation GmbH, (Hrsg.): Multimedia-Handbuch, 2. Auflage 2009, ISBN 978-3-981-1630-4-9.

17. Architectures and competitive models in fibre networks, prof. dr. Steffen Hoernig, Stephan Jay, dr. Karl-Heinz Neumann, prof. dr. Martin Peitz, dr. Thomas Plückerbaum, prof. dr. Ingo Vogelsang, WIK-Consult GmbH, Rhöndorfer, str. 68, 53604 Bad Honnef, Nemčija, Bad Honnef, december 2010.
18. Boštjan Batagelj, Pasivno optično dostopovno omrežje s časovnim razvrščanjem, Založba FE in FRI, Ljubljana, 2011; www.worldcat.org/title/pasivno-opticno-dostopovno-omrezje-s.../oclc/813586862.
19. FTTH Handbook, Edition 8, Revision Date 13. 2. 2018, FTTH Council Europe; www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/FTTH_Handbook_V7.pdf.
20. PON PASSIVE NETWORKING, Alcatel Lucent University, seminarsko gradivo.

UPORABLJENE KRATICE

EDA – Evropska digitalna agenda

Mb/s – megabitov na sekundo

EU – Evropska unija

IKT – informacijsko-komunikacijske tehnologije

NGA – »Next generation access« – omrežja naslednje generacije

FTTH – »Fiber to the home« – optika do doma

AKOS – Agencije za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije

xDSL – različice digitalne naročniške povezave na bakreni zanki

ZEKom-1 – veljavni Zakon o elektronskih komunikacijah

OTT – »Over the top content« – vsebine, prenesene v okviru internetnega prometa

EMC – elektromagnetna združljivost

EMI – elektromagnetne motnje

ADSL – asimetrična digitalna naročniška linija

BER – število napak na časovno enoto

PON – pasivno optično omrežje

C/N – razmerje signal proti šumu

CMTS – enota za izmenjavo digitalnih signalov s kablenskim modemom

CPE – terminalna oprema pri naročniku, ki zagotavlja storitve, kot so televizija, telefonija, internet itd.

DOCSIS – standardizirani protokol za prenos podatkov preko kablenskih omrežij

DSLAM – dostopovni multiplexer digitalne naročniške linije

DVB-T – zemeljska digitalna televizija

EDFA – optični ojačevalnik z dopiranjem erbijevih ionov

EMI – elektromagnetna interferenca

EPON – pasivno optično omrežje po protokolu Ethernet

FTTB – optika do zgradbe

FTTC – optika do vozlišča

FTTH – optika do doma

GPON – gigabitno pasivno optično omrežje

HFC – hibridno omrežje optičnega in koaksialnega omrežja

IP – internetni protokol

IPTV – internetna televizija
IT – informacijska tehnologija
MER – razmerje signal : šum pri digitalno moduliranemu signalu
OLT – optični linijski terminal
ONU – optična omrežna enota
POF – kabel s plastičnimi optičnimi vlakni
QAM – kvadraturna amplitudna modulacija
RfOG – radijske frekvence preko vlakna
TDMA – časovno deljeni multipleks
WDM – valovno dolžinsko deljeni multipleks
FL – funkcijska lokacija
P2P – (Point to Point) povezava točka–točka
P2MP – povezava točka–več točk
AND – programska oprema za projektiranje kabelskih komunikacijskih sistemov
CACAO WINPRO – programska oprema za projektiranje kabelskih komunikacijskih sistemov
DSL – digitalna naročniška linija
G.fast – diskretna večtonska modulacija
FDM – frekvenčni multipleks
CO – centrala
POP – dostopovno vozlišče, funkcijska lokacija
EEC – European Committee for Electrotechnical Standardisation
EMC – elektromagnetna združljivost oziroma odpornost (angl. Electromagnetic Compatibility)
IEC – (angl. International Electrotechnical Commission)
RJ-45 – tip konektorja za podatkovni ali telefonski priključek
SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo
Strukturirano ožičenje – ožičenje, sestavljeno iz univerzalnega pokablenja in jakotočne napeljave
UPS – naprava za neprekinjeno napajanje napeljave 230V (angl. Uninterruptable Power Supply)
DRSC – Direkcija Republike Slovenije za ceste
CAPEX – (angl. Capital Expenditure) stroški investicije
OPEX – (angl. Operating Expences) operativni stroški