

Primjena mikrocijevne tehnologije u izgradnji svjetlovodnih linija i mreža

Lenić, Martina

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:822272>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

SVEUČILIŠNI STUDIJ

**PRIMJENA MIKROCIJEVNE TEHNOLOGIJE U
IZGRADNJI SVJETLOVODNIH LINIJA I MREŽA**

Završni rad

Martina Lenić

Osijek, 2020.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 11.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Martina Lenić
Studij, smjer:	Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4399, 19.09.2019.
OIB studenta:	57024484662
Mentor:	Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	Huso Zoletić
Naslov završnog rada:	Primjena mikrocijevne tehnologije u izgradnji svjetlovodnih linija i mreža
Znanstvena grana rada:	Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	11.09.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	23.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 24.09.2020.

Ime i prezime studenta:

Martina Lenić

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4399, 19.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Primjena mikrocijevne tehnologije u izgradnji svjetlovodnih linija i mreža**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. SVJETLOVODNA PRISTUPNA MREŽA	3
2.1. Svjetlovodni kabeli.....	6
2.1.1. Optička vlakna.....	6
2.1.2. Podjela svjetlovodnih kabela prema broju vlakana i vrsti vanjskog omotača	11
2.2. Značajke prijenosa signala optičkim kabelima.....	12
3. DISTRIBUTIVNA TELEKOMUNIKACIJSKA KANALIZACIJA (DTK).....	14
4. MIKROCIJEVNA TEHNOLOGIJA.....	17
4.1. Mikrocijevi	18
4.1.1. Vrste mikrocijevi.....	21
4.2. Mikrocijevne strukture	23
4.3. Postupak instalacije	24
4.3.1. Upuhivanje i uvlačenje mikrocijevi u slobodni prostor ili u cijevi DTK	24
4.3.2. Polaganje mikrocijevnih struktura.....	29
4.3.3. Microtrenching	31
4.4. Primjena mikrocijevi u izgradnji FTTx mreže	32
4.5. Važnost geografskog položaja pri instalaciji mikrocijevne tehnologije.....	34
5. PRAKTIČNI DIO: MAKETA ELEMENATA DTK I MIKROCIJEVNE TEHNOLOGIJE	36
6. ZAKLJUČAK	42
LITERATURA.....	43
SAŽETAK.....	47
ABSTRACT	48

1. UVOD

Povećanjem mrežnih usluga kao i broja korisnika širokopojasnih usluga maksimalno se iskorištavaju kapaciteti resursa postojeće telekomunikacijske infrastrukture. Tehnologija širokopojasnog pristupa, FTTx tehnologija, pojavila se kao pouzdano i ekonomično rješenje koje definira novu telekomunikacijsku mrežnu arhitekturu. Kapacitet postojeće kabelaške infrastrukture ne zadovoljava zahtjeve korisnika pa se traže nova, ekonomična rješenja održavanja koraka s današnjim tehnološkim naprecima. Takvo rješenje nudi tehnologija primjene mikrocijevi. Slobodni prostor u cijevima kabelaške kanalizacije s postojećim aktivnim optičkim kabelom iskorištava se za uvlačenje i upuhivanje mikrocijevi i mikro optičkih kabela. Ovaj prostor oko postojećih kabela, do sada nekoristan „resurs“, uvođenjem regulative HAKOM-a, postaje ogroman resurs za izgradnju novih i proširenje postojećih FTTx mreža. Cilj obrade navedene teme je objasniti zašto je mikrocijevna tehnologije najisplativija investicija i budućnost još veće primjene svjetlovoda u telekomunikacijskoj infrastrukturi.

U ovom završnom radu objašnjena je primjena mikrocijevne tehnologije u izgradnji svjetlovodnih linija i mreža. U drugom poglavlju definirani su svjetlovodna pristupna mreža, optičko vlakno i optički kabel te su navedene značajke prijenosa signala putem optičkog kabela. U trećem poglavlju opisano je stvarno stanje sadašnje DTK te njezina struktura. Četvrto se poglavlje odnosi na mikrocijevnu tehnologiju gdje se upoznaje s mikrocijevima, mikrokabelima, postupcima instalacije mikrocijevi u slobodan prostor ili u cijev DTK te je navedena važnost geografskog položaja pri planiranju izvođenja radova i instalaciji mikrocijevi. Praktični rad koji se sastoji od dvije makete napravljene od elemenata DTK i mikrocijevne tehnologije opisan je u šestom poglavlju. Zaključna razmatranja dana su u sedmom poglavlju.

1.1. Zadatak završnog rada

Postojeća DTK (distributivna telekomunikacijska kanalizacija) u Hrvatskoj procjenjuje se na desetine tisuća kilometara TK cijevi malog ili velikog promjera. Većina cjevovoda DTK je „popunjena“ bakarnim ili svjetlovodnima kabelima. Za izgradnju novih, svjetlovodnih FTTx mreža, potrebna su vrlo velika ulaganja u građevinske radove na izgradnji nove „prazne“ DTK

infrastrukture. Mikrocijevna tehnologija omogućuje korištenje slobodnog prostora oko aktivnih kabela u „popunjenim“ cijevima postojeće DTK kao resursa za gradnju pasivnog dijela svjetlovodnih mreža.

Završni rad treba obraditi vrste svjetlovodnih mreža i linija, opisati stanje postojeće DTK te opisati metodologiju i prednosti popunjavanja slobodnog prostora. U praktičnom dijelu potrebno je sklopiti i prikazati maketu od elemenata DTK i mikrocijevne tehnologije.

2. SVJETLOVODNA PRISTUPNA MREŽA

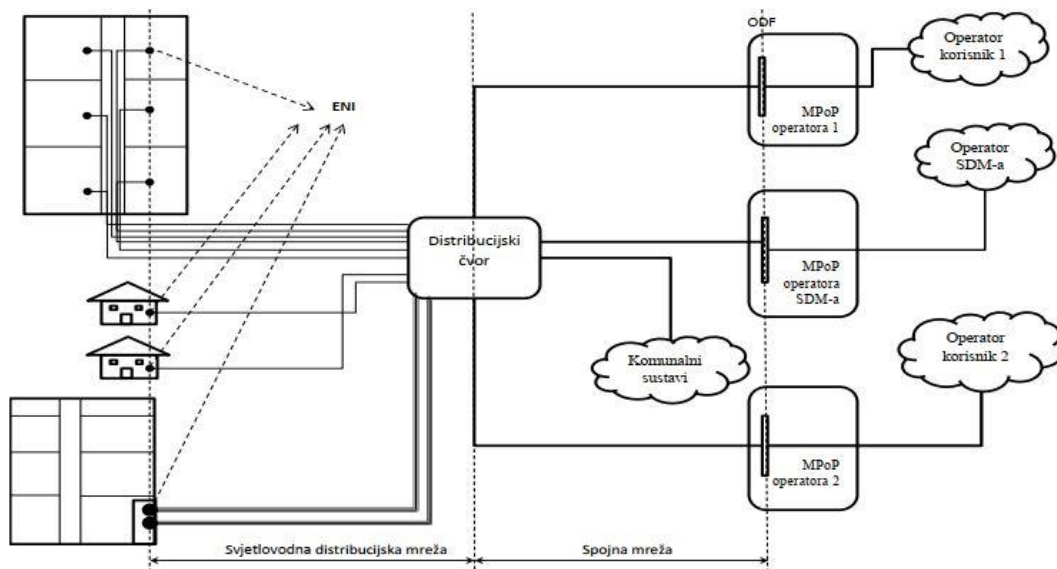
Od početka implementacije svjetlovoda početkom 80-ih godina prošlog stoljeća, potražnja i upotreba za optičkim vlaknom značajno je porasla. S naglim povećanjem internetskog prometa i multimedije te pojavom VoIP-a (engl. *Voice over Internet Protocol* – prijenos glasa putem Internet protokola), javila se potreba za prijenosnim medijem koji će svojim kapacitetom i širokopojasnošću moći osigurati prijenos tolike količine podataka. Uz to velike kompanije, banke, sveučilišta i ostale privatne mreže zahtijevale su siguran i pouzdan sustav za prijenos informacija kako međusobno tako i internacionalno. Postojeća bakrena infrastruktura zbog problema nedovoljne propusnosti i udaljenosti korisnika nije u mogućnosti pratiti svakodnevno povećavanje zahtjeva korisnika za novim i bržim uslugama. Razvoj svjetlovodne pristupne mreže nadilazi te probleme te je zbog jednostavnosti izvedbe i brzine prijenosa podataka u prednosti nad klasičnim tehnologijama prijenosa informacija proteklih godina. Svjetlovodna ili optička mreža podrazumijeva svaku mrežu koja primjenom svjetlosnih impulsa prenosi podatke svjetlovodnim vlaknom. Slika 2.1. prikazuje izvještaj o usporedbi usluga pristupa Internetu 2018. i 2017. godine te postotak promjene. Broj priključaka putem vlastite bakrene pristupne mreže te broj xDSL priključaka u 2018. godini opao je za 0,9% odnosno za 10% s obzirom na 2017.godinu. S druge strane, broj FTTx priključaka putem vlastite infrastrukture povećao se za 10% što pokazuje značajno okretanje korisnika optici, a u narednim godinama očekuje se još veći porast broja korisnika optičke infrastrukture.

Usluga pristupa Internetu	2018.	2017.	% promjene 2018./2017.
Ukupan prihod od usluga pristupa internetu (HRK)	4.512.271.289	4.313.787.043	4,60%
<i>Prihod od pristupa internetu putem nepokretne mreže¹</i>	1.947.197.126	1.915.975.992	1,63%
<i>Prihod od pristupa internetu putem pokretne mreže</i>	2.565.074.162	2.397.811.051	6,98%
Broj priključaka širokopojasnog pristupa putem nepokretnih mreža	1.128.273	1.095.881	2,96%
<i>Broj priključaka putem vlastite bakrene pristupne mreže</i>	432.943	436.884	-0,90%
<i>Broj xDSL priključaka putem izdvojenog pristupa lokalnoj petlji</i>	156.380	174.485	-10,38%
<i>Broj xDSL priključaka putem zajedničkog (dijeljenog) pristupa lokalnoj petlji</i>	25	65	-61,54%
<i>Broj FttX priključaka putem vlastite infrastrukture</i>	86.630	78.430	10,46%
<i>Broj priključaka putem usluge "bitstream" pristupa (xDSL, FttX)</i>	158.341	156.587	1,12%
<i>Broj priključaka putem kabljskih mreža</i>	163.148	155.421	4,97%
<i>Broj priključaka putem bežičnih tehnologija u nepokretnoj mreži</i>	126.777	91.027	39,27%

Slika 2.1: Godišnji usporedni podaci tržišta elektroničkih komunikacija u RH, 2018./2017., [1]

Svjetlovodna pristupna mreža sastoji se od svjetlovodne distribucijske mreže (SDM) i spojne (glavne) svjetlovodne mreže. Svjetlovodna distribucijska mreža završni je dio pristupne mreže, a

izgrađena je od svjetlovodnih niti ili kabela koji povezuju krajnjeg korisnika (privatnu mrežu) i distribucijski čvor koji predstavlja točku povezivanja elemenata svjetlovodne pristupne mreže. Prema [2], distribucijski čvor se definira kao točka koncentracije kabela svjetlovodne distribucijske mreže s jedne strane te pristupnih svjetlovodnih kabela glavne mreže s druge strane. Može biti smješten u tipskom uličnom ormaru ili tehničkom prostoru građevine gdje je smještena oprema elektroničkih komunikacijskih mreža. Spojna mreža omogućuje operatorima i ostalim korisnicima pristup distribucijskom čvoru iz svojih jezgrenih mreža.

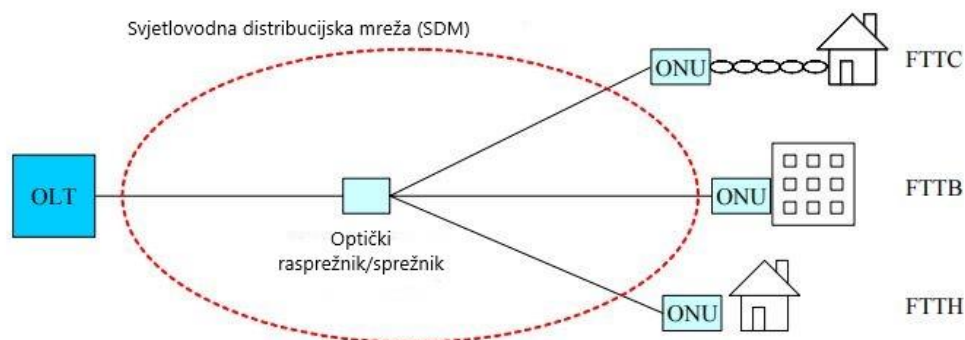


Slika 2.2: Shematski prikaz svjetlovodne distribucijske mreže (SDM), [2]

Prema slici 2.2, SDM povezuje sučelje vanjske pristupne elektroničke komunikacijske mreže, ENI (engl. *External Network Interface*) i distribucijski čvor. ENI određuje granicu između kabliranja javne pristupne mreže i kabliranja elektroničke komunikacijske mreže korisničke jedinice (zgrade, objekta). Sučelje se može nalaziti u prostoru krajnjeg korisnika ili u uvodnom ormariću u zgradi. S druge strane, MPoP (engl. *Metropolitan Point Of Presence* – točka priključenja na jezgrenu mrežu) je točka povezivanja pristupne i jezgrene mreže, odnosno svaka se pristupna mreža u nekom području (grad ili dio grada) preko MPoP-a na svjetlovodnom distribucijskom razdjelniku (ODF, engl. *Optical Distribution Frame*) povezuje na jezgrenu mrežu operatora.

Svjetlovodna distribucijska mreža je pasivna svjetlovodna mreža bez aktivne opreme, a zasnovana je na pasivnim komponentama koje ne zahtijevaju napajanje niti posebnu opremu pri

instaliranju. Pasivna optička mreža (PON, engl. *Passive Optical Network*) najpogodnije je rješenje za realizaciju optičkih mreža jer rješava problem optičkog pristupa do korisnika koristeći FTTx (engl. *fiber to the x*) mrežnu arhitekturu. Koncept PON-a temelji se na SDM gdje se sav promet odvija između optičkog linijskog terminala (OLT, engl. *Optical Line Terminal*) i optičkih mrežnih jedinica (ONU, engl. *Optical Network Unit*). Prema [3], OLT je uređaj koji radi kao pružatelj usluga pasivne optičke mreže krajnjim korisnicima (ONU), pretvara standardne električne signale u svjetlosne signale koje koristi PON sustav te koordinira multipleksiranje na području optičkih mrežnih terminala. Ovisno o krajnjoj točki ili korisniku svjetlovoda, pasivna optička mreža se dijeli na nekoliko mrežnih arhitektura. Prema [4], FTTN (engl. *Fiber To The Node* - Optičko vlakno do čvora) definira svjetlovod koji završava u optičkom ormariću, nekoliko kilometara od korisnika. FTTC (engl. *Fiber to Cabinet, Fiber To The Curb* – Optičko vlakno do kabineta) je sličan FTTN-u no s razlikom u udaljenosti ormarića od korisnika, u ovom slučaju 300m bliže. FTTB (engl. *Fiber To The Building, Fiber To The Basement* – Optičko vlakno do zgrade) opisuje arhitekturu u kojoj svjetlovod doseže rubni dio zgrade (npr. podrum), a završna točka spajanja može se nalaziti bilo gdje u objektu. Sličnu arhitekturu definira i FTTH (eng. *Fiber To The Home* – Optičko vlakno do kuće), ali u ovom slučaju svjetlovodne niti dosežu do svakog stana (do ormara gdje se nalazi oprema za prijelaz na UTP instalaciju stana ili do pretplatničkog ONT uređaja u neposrednoj blizini TV i WIFI uređaja). Slika 2.3 prikazuje pasivnu optičku mrežu, tj. svjetlovodnu distribucijsku mrežu u kojoj se signal prenosi do nekoliko krajnjih korisnika. WDM (engl. *Wavelength Division Multiplexing* – multipleksiranje valnim duljinama) i DWDM (engl. *Dense Wavelength Division Multiplexing* – multipleksiranje s gustom valnom podjelom) tehnologije jedan su od razloga uspješnosti svjetlovodne mreže. One omogućuju prenošenje puno više valnih duljina putem jedne svjetlovodne niti, odnosno povezivanje više korisnika na jednu svjetlovodnu nit. Razdjelnik (engl. *splitter*) predstavlja pasivni uređaj koji je zadužen da u jednom smjeru razdvaja signale iz niti prema različitim korisnicima, a u drugom smjeru spreže signale u jednu nit koja putuje prema OLT (postupak multipleksiranja i demultipleksiranja).



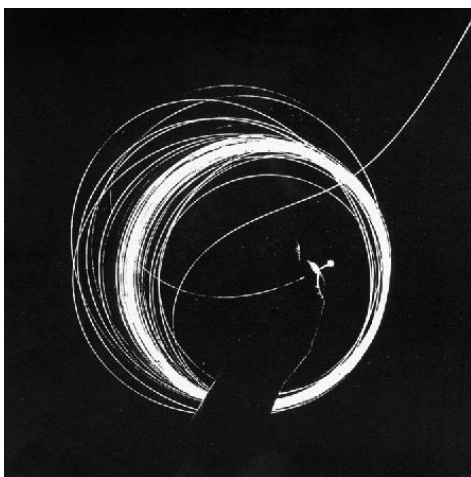
Slika 2.3: Terminologija i arhitektura pasivne optičke mreže, [3]

Svjetlosni izvori i detektori su aktivni elementi mreže koji se nalaze na predajniku odnosno prijemu. Kao izvori svjetlosti koriste se LED i poluvodički laseri koji obavljaju funkciju pretvaranja električnih signala u svjetlosne impulse. Na drugom kraju sustava nalazi se detektor (fotodioda) koji obavlja funkciju pretvaranja svjetlosnih impulsa u električne signale. Prema [5], prolaskom signala kroz vlakno dolazi do slabljenja signala te ga je potrebno pojačati. Optička pojačala omogućuju istovremeno linearno pojačanje svih korištenih valnih dužina u vlaknu bez potrebe optičko-električno-optičke (OEO) pretvorbe. Uređaji se koriste na dugačkim dionicama optičkog linka, nakon postupka modulacije te prije demodulacije.

2.1. Svjetlovodni kabeli

2.1.1. Optička vlakna

Optičko vlakno ili svjetlovod je tanka staklena nit čija je glavna zadaća vođenje svjetlosnih valova uz što manje slabljenje, odnosno gubitak signala. Ono se sastoji od dva tanka sloja stakla (jezgra i plašt) i dodatnog zaštitnog sloja omotača. Svjetlost putuje velikom brzinom konstantno udarajući i odbijajući se od vlakna. Slika 2.4 prikazuje propagaciju svjetlosti optičkim vlaknom u mraku. Jezgra i plašt različite su optičke gustoće, a važnost toga objašnjena je u potpoglavlju 2.1.2.



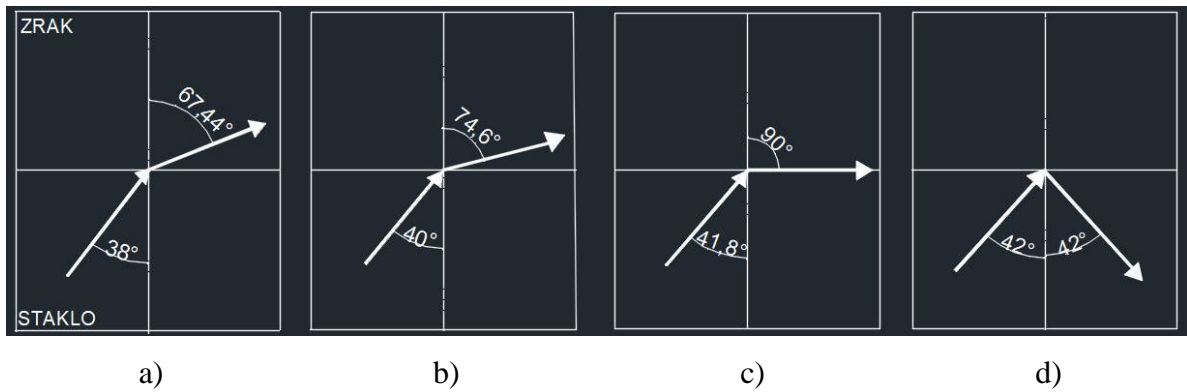
Slika 2.4: Fotografija propagacije svjetlosti dugim optičkim vlaknom, [6]

2.1.1.1. Totalna refleksija

Prolazak svjetlosti kroz vlakno odvija se zbog pojave potpune unutrašnje refleksije. Kada zraka svjetlosti upada iz jednog medija na drugi različitih indeksa loma (n), zraka se lomi te dolazi do refleksije ili refrakcije zrake. Prema [6], kada svjetlost iz optički gušćeg sredstva pada na granicu s optički rjeđim sredstvom (kut loma veći je od upadnog kuta) ono se u cijelosti reflektira i dolazi do potpunog odbijanja. U slučaju kada kut loma iznosi 90° , lomljena zraka ide točno granicom sredstva te se taj upadni kut naziva graničnim kutom. Za sve kutove veće od graničnog kuta svjetlost se reflektira u isto sredstvo i nastaje totalna refleksija (slika 2.5d)). Granični kut upada svjetlosti na optičko vlakno iznosi $41,8^\circ$, a izračunava se prema formuli (2-1):

$$\varphi_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1,5} \right) \approx 41,8^\circ \quad (2-1)$$

gdje je: n_1 – indeks loma stakla, a n_2 – indeks loma zraka.



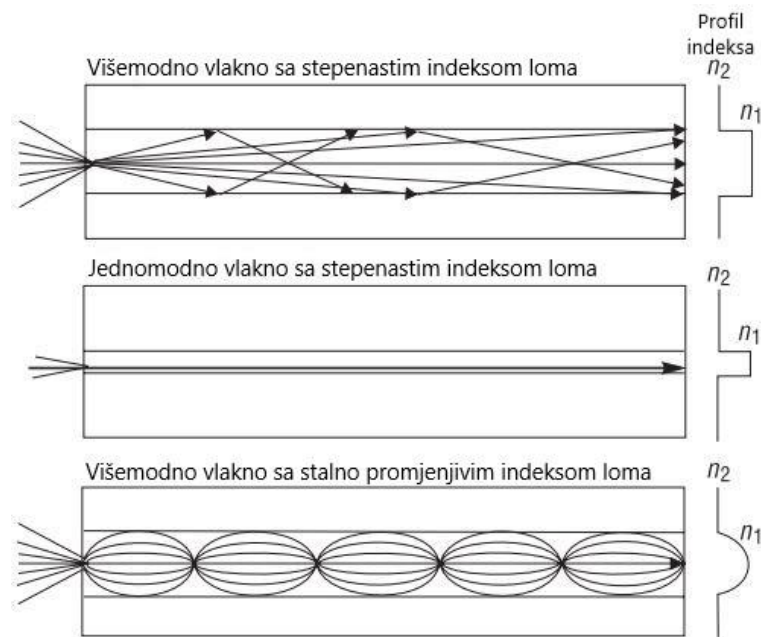
Slika 2.5: Totalna refleksija

Pojava totalne refleksije značajna je za optiku jer omogućuje skretanje svjetlosti u drugi smjer. S obzirom da su jezgra (engl. *core*) i plašt (engl. *cladding*) različite optičke gustoće i kut upada zrake veći je od kritičnog kuta, svjetlost putuje jezgrom konstantno reflektirajući se od plašta.

2.1.1.2. Vrste vlakana

Najpoznatija i najkorištenija su višemodna (engl. *multimode*) i jednomodna (engl. *single mode*) optička vlakna. Višemodna vlakna imaju jezgrou većeg promjera i takvim vlaknima može putovati veći broj svjetlosnih zraka dok jednomodna vlakna zbog manjeg promjera jezgre dopuštaju prolazak samo jedne zrake. S obzirom na indeks loma optička vlakna se dijele na:

- Višemodna vlakna sa stepenastim indeksom loma (engl. *Step-index multimode*)
- Jednomodna vlakna sa stepenastim indeksom loma (engl. *Step-index single mode*)
- Višemodna vlakna sa stalno promjenjivim indeksom loma (engl. *Graded-index*)



Slika 2.6: Vrste optičkih vlakana, [7]

Na slici 2.6 prikazani su primjeri prolaska svjetlosti optičkim vlaknom ovisno o vrsti optičkog vlakna. Višemodno vlakno sadrži više putova (modova) kojim zraka putuje te zbog stepenastog indeksa loma zrake prevaljuju različite udaljenosti do cilja što uzrokuje modalnu disperziju. Prema [6], pojava modalne disperzije nastaje upravo zbog razlike u vremenu koje je potrebno zrakama da stignu do cilja. Ono uzrokuje veće gušenje i slabljenje signala te se koristi za manje udaljenosti prijenosa. Ukoliko se želi postići najveća brzina i najveća udaljenost prijenosa signala tada je najpogodnije koristiti jednomodno vlakno sa stepenastim indeksom loma. Zbog malog promjera jezgre moguće je širenje samo jednog moda što za posljedicu ima malo prigušenje signala, nema gubitaka niti disperzije. Kao kompromis između ove dvije vrste vlakna javlja se treća vrsta, višemodno vlakno sa stalno promjenjivim indeksom loma. Prednost stalno promjenjivog indeksa loma u višemodnom vlaknu je upravo mijenjanje indeksa loma parabolično od centra jezgre prema plaštu što znači da svjetlost koja putuje sredinom vlakna putuje materijalom s većim indeksom loma od zraka koje putuju modovima uz plašt. Brzina svjetlosti kroz neki materijal ovisi o indeksu loma tog materijala prema izrazu (2-2):

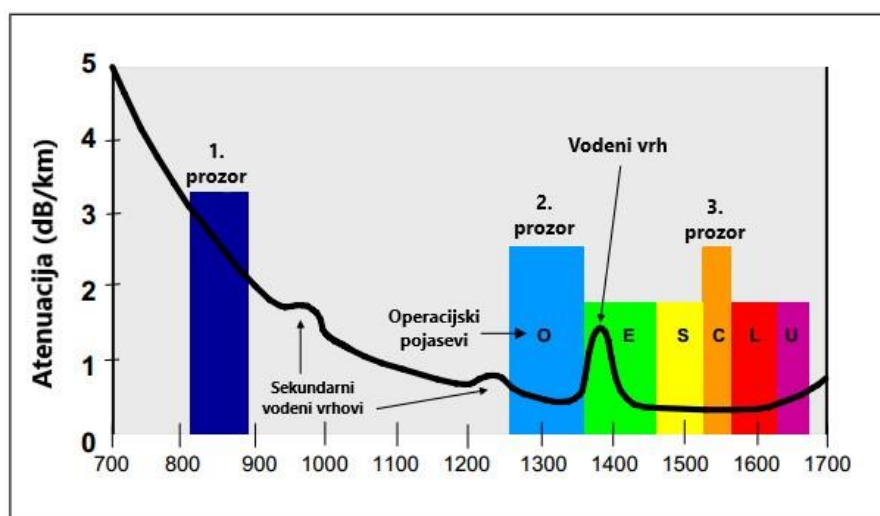
$$v = \frac{c}{n} \quad (2-2)$$

gdje je: c – brzina svjetlosti ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$), n – indeks loma materijala, a v – brzina svjetlosti kroz materijal.

Slijedi da zrake pod većim kutom (modovi bliže plaštu) putuju brže od središnjih što za posljedicu ima stizanje viših modova u isto vrijeme na prijemnik kad stižu i niži modovi, što osigurava manju modalnu disperziju. Višemodno vlakno s gradijentno promjenjivim indeksom loma koristi se i za veće kapacitete prijenosa signala.

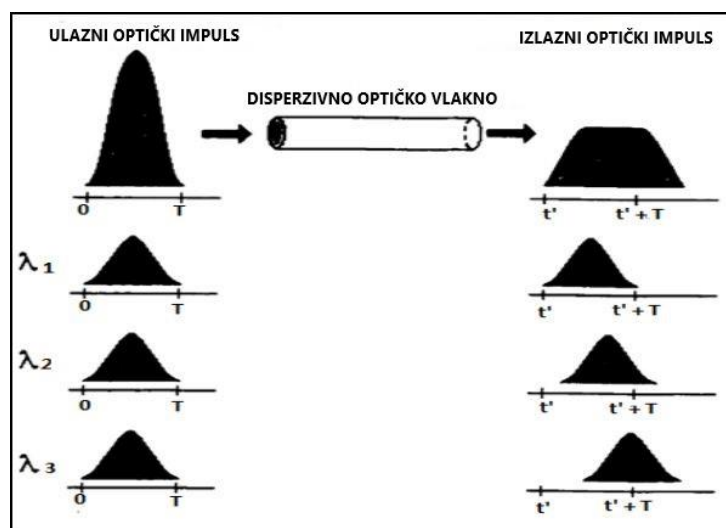
2.1.1.3. Problematika propagacije signala duž vlakna

Prema [8], dizajn svjetlovodnog komunikacijskog sustava ograničen je gubicima, disperzijom i nelinearnim čimbenicima vlakna. Prijenos podataka prolaskom svjetlosne zrake kroz optičko vlakno podložan je utjecaju raznih faktora. Atenuacija (prigušenje) signala predstavlja važno svojstvo optičkog vlakna u optičkom komunikacijskom sustavu. Ono određuje maksimalnu duljinu prijenosa između predajnika i prijemnika, a tri glavna mehanizma koji uzrokuju atenuaciju signala su unutrašnja apsorpcija uzrokovana postojanjem nečistoća u staklu, raspršenje (*Rayleigh*, *Brillouin*, itd.) uzrokovano sitnim varijacijama u gustoći stakla te osjetljivost na fizičko savijanje i utjecaj okoliša. Sve je to uvjetovano ukupnom duljinom vlakna te primijenjenom valnom duljinom. Slika 2.7 prikazuje prigušenje signala po korištenim optičkim prozorima. Prvi je prozor na oko 850 nm i minimum prigušenja za njega iznosi oko 2 dB/km. Drugi se prozor nalazi na oko 1300 nm s minimalnim prigušenjem od oko 0,5 dB/km, a treći na 1550 nm s prigušenjem od oko 0,2 dB/km. Danas se uglavnom koriste drugi i treći prozor zbog najmanjih gušenja.



Slika 2.7: Prigušenje signala, [9]

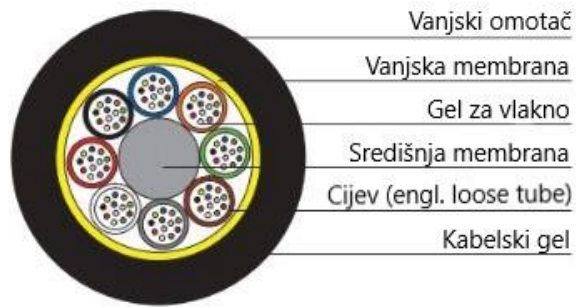
Još jedno važno svojstvo optičkog vlakna je disperzija. Pojava disperzije definira se kao brzina propagacije svjetlosnog impulsa optičkim vlaknom. Rezultat izlaznog signala uzrokovanim disperzijom prikazan je slikom 2.8. U ovom je slučaju ulazni signal sastavljen od tri valne duljine, λ_1 , λ_2 i λ_3 koje zbog različitih indeksa lomova na cilj stižu s vremenskim pomacima (kašnjenja valnih duljina). To za posljedicu ima izobličenje signala na izlazu.



Slika 2.8: Širenje impulsa uzrokovano disperzijom, [8]

2.1.2. Podjela svjetlovodnih kabela prema broju vlakana i vrsti vanjskog omotača

Svjetlovodni kabel je nositelj optičkih vlakana. On štiti niti od mehaničkih, kemijskih i ostalih utjecaja okoline kroz koju se provlači. Izdržljiv je, fleksibilan i dizajniran za prijenos velikim udaljenostima. Glavni dijelovi svjetlovodnog kabela su optička vlakna, zaštitni omotač, elementi za čvrstoću i vanjski omotač. Na slici 2.9 prikazan je presjek optičkog kabela. Dizajn kabela primarno ovisi o njegovoj primjeni i okolišu u kojem se polaže.



Slika 2.9: Presjek optičkog kabela, [10]

Prema [7], svjetlovodni kabeli se dijele na kabele za unutrašnje polaganje i kabele za vanjsko polaganje. Kabeli za unutrašnje polaganje (engl. *indoor cables*) imaju uži zaštitni omotač, a dijele se na:

- kabele s jednom niti (engl. *Simplex*) – jedna nit za jednosmjernu komunikaciju,
- kabele s dvije niti (engl. *Duplex*) – dvije niti za dvosmjernu komunikaciju,
- višenitne kabele (engl. *Multifiber cable*) – više od dvije niti. Niti su u parovima kako bi se obavljala funkcija dvosmjerne komunikacije,
- *breakout* kabele – sadrže više pojedinačnih simpleksa,
- *heavy-*, *light-*, i *plenum-duty* kabele,
- *riser* kabele

Kabeli za vanjsko polaganje (engl. *outdoor cables*) moraju izdržati jače vremenske uvjete od kabela za unutarnje polaganje i dijele se na:

- kabele za zračno polaganje (engl. *Aerial cable*)
- kabele za unutrašnje polaganje – kabele za direktno polaganje u zemlju (engl. *Direct burial*), kabele za polaganje u postojeće cijevi (engl. *ducts*)

2.2. Značajke prijenosa signala optičkim kabelima

Prema [5, 8], značajke razvoja i implementacije svjetlovodnog sustava, odnosno prijenosa signala optičkim kabelima su višestruke:

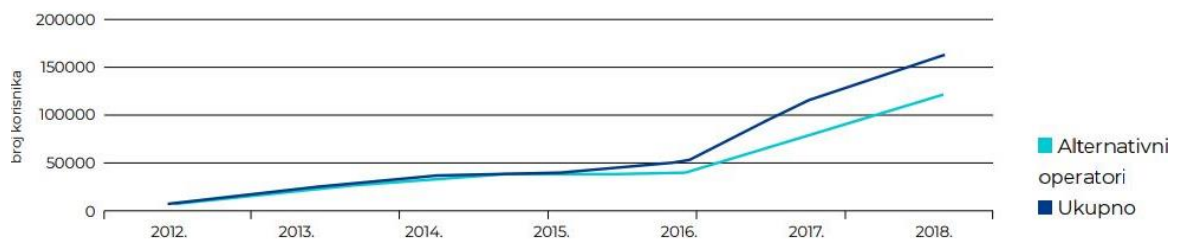
- mogućnost prijenosa na veće udaljenosti bez velikih gubitaka kao u slučaju bakrene infrastrukture i redukcija potrebne opreme za pojačanje signala čini sustav jeftinijim i jednostavnijim,
- veliki kapacitet (svjetlovodni sustav ima puno veći kapacitet i omogućava istovremeno slanje puno više informacija u odnosu na bakrenu paricu),
- nema elektromagnetske interferencije (s obzirom da su optička vlakna od stakla oni predstavljaju izolatore, odnosno neće biti međudjelovanja optičkog signala s drugim signalima ili šumovima iz okoline),
- male dimenzije i težina svjetlovoda omogućuje njihovo lako rukovanje i potrebnu zamjenu u odnosu na kanalizacijsku infrastrukturu koja je velika, teška i robusna,
- nemogućnost daljinskog prisluškivanja signala (jedini način detektiranja signala je direktnim pristupom vlaknu što sigurnosni nadzori lako otkriju).

3. DISTRIBUTIVNA TELEKOMUNIKACIJSKA KANALIZACIJA (DTK)

Prema [11], kabelska kanalizacija predstavlja mrežu podzemnih cijevi (jedna ili više cijevi u istom rovu) od odgovarajućih materijala i veličina, kabelskih zdenaca (montažnih ili monolitnih-zidanih na lokaciji) i odgovarajuće popratne opreme (odstojni držači cijevi, poklopci kabelskih zdenaca, čepovi za cijevi, oznake i sl.), a omogućuje:

- brzo i učinkovito uvlačenje novih telekomunikacijskih kabela (tk kabela),
- brzu i učinkovitu zamjenu postojećih tk kabela kod rekonstrukcije mreže,
- brz i učinkovit popravak tk kabela u slučaju oštećenja na tk kabele, a da se pritom ne oštećuje površina ulice ili prometnice, odnosno da se ne ometa promet i da se ne obavljaju iskopi.

Izgradnja elektroničkih komunikacijskih mreža za širokopojasni pristup važan je pokazatelj razvoja tržišta elektroničkih komunikacija, a posebno izgradnja svjetlovodnih mreža nužnih za ostvarivanje budućih digitalnih usluga za koje je potrebna visoka propusnost i vrlo malo kašnjenje. Proteklih godina izmjenjuju se ponude o načinu i uvjetima pristupa te zajedničkom korištenju elektroničke komunikacijske infrastrukture. Tim promjenama potiče se korisnike na djelotvornije korištenje postojeće infrastrukture, a i ubrzavaju se postupci pristupa kabelskoj kanalizaciji. Također jedan od glavnih ciljeva operatera je uspostaviti ujednačen razvoj urbanih i ruralnih područja u Republici Hrvatskoj na način da se gradnja mreža proširi na puno veća područja od onih u prošlosti. Slika 3.1. prikazuje povećanje namjere izgradnje distribucijske mreže svjetlovoda.



Slika 3.1: Obavijest o namjeri izgradnje distribucijske mreže optičkih vlakana, [12]

Slike 3.2. i 3.3. primjer su stvarnih stanja vođenja i održavanja kabelske kanalizacije prije uvođenja pravilnika kojim se odredilo racionalno korištenje DTK te omogućio kontroliran pristup i označavanje kabela.



Slika 3.2: Stvarno stanje kabelske kanalizacije, [13]



Slika 3.3: Stvarno stanje kabelske kanalizacije - posljedica neodržavanja, [13]

Prema [14], svjetlovodni kabeli smješteni su u polietilenske podcijevi (PEHD, engl. *high-density polyethylene innerducts*) promjera 25-51 mm. Nalaze se unutar postojećih telekomunikacijskih cijevi unutrašnjeg promjera 75-100 mm napravljenih od PVC-a (engl. *polyvinyl chloride*), betona, gline, itd. Obično se 3-4 podcijevi postavljaju u glavnu cijev promjera 100 mm. Prilikom namjere korištenja DTK važno je pridržavati se pravila struke i pravilnika kojim su točno određena pravila postupanja prilikom kopanja u blizini postojećih cijevi, pristupanja kabeleu, ulascima u zdence, zauzimanju slobodnog prostora, itd. Bez obzira na geografski položaj potrebna ulaganja u izgradnju nove mreže prevelika su da bi se operateri odlučili na takav

pothvat. Iz tog razloga, kao najjednostavniji i najefikasniji način javila se potreba za iskorištavanjem već postojeće infrastrukture, odnosno iskorištavanjem slobodnog prostora u postojećim standardnim PVC i PEHD cijevima. Prema *Pravilniku o načinu i uvjetima pristupa i zajedničkog korištenja elektroničke komunikacijske infrastrukture* [15], slobodni prostor u cijevima kabelske kanalizacije podrazumijeva prostor koji nije zauzet kabelom ili prostor koji je zauzet kabelom, ali nije u funkciji duže od 120 dana (neiskorišteni kabel) te pod uvjetom da navedeni prostor nije predviđen kao servisni prostor za potrebe održavanja već postojećih kapaciteta, a moguće ga je iskoristiti za uvlačenje elektroničko komunikacijskih kabela. Kao rješenje javila se mikrocijevna tehnologija koja omogućava maksimalno iskorištavanje slobodnog prostora u postojećim cijevima upravo zbog svojeg milimetarskog promjera te velikog promjera bakrenih kabela koji su razlog nedostatka servisnog prostora u cijevima.

4. MIKROCIJEVNA TEHNOLOGIJA

Mikrocijevna tehnologija najučinkovitije je rješenje iskorištavanja postojeće infrastrukture. Omogućuje postavljanje kompaktnih svjetlovodnih kabela malih promjera u zaštitne mikrocijevi malih promjera pomoću modernih i efikasnih postupaka instalacije unutar dostupnog slobodnog prostora u postojećoj infrastrukturi. FTTx kao najbolja tehnologija zadovoljava zahtjeve korisnika za sve većom količinom multimedijalnih usluga no zahtjeva postavljanje u potpunosti nove mreže kabela od centrale do krajnjeg korisnika. To predstavlja veliku investiciju što je i najčešći razlog slabog razvoja svjetlovodne mreže u manje razvijenim područjima. Razlog zbog kojeg je mikrocijevna tehnologija uzbudljivo, jednostavno i jeftino rješenje nalazi se u drastičnom smanjenju opsega građevinskih radova, a time i vremenskog trajanja radova. Umjesto iskapanja dugih trasa, u ovom se slučaju, ovisno o duljini i geometriji rute, iskapa nekoliko rovova do postojeće infrastrukture u koju će se uvlačiti mikrocijevi. Prema [16], pri izgradnji pristupne mreže polaganjem mikrocijevi u pripremljen rov s postojećim cijevima do svakog korisnika zaobišli su se veliki građevinski radovi koji inače predstavljaju 80% vrijednosti projekta. Samo polaganje mikrocijevi predstavlja 13% vrijednosti projekta, a ostali radovi 7%. Postupak dijeljenja odnosno iznajmljivanja slobodnog prostora u kabelskoj infrastrukturi jednostavan je način izbjegavanja velikih troškova gradnje nove infrastrukture. Iskopi, zatrpavanja i razbijanja velikih uređenih površina kolničkog traka ili ceste te pločnika, ugradnja nove TK kabelske kanalizacije i dovođenje masivnih strojeva skupa su i neisplativa investicija.

Postoje dva glavna razloga korištenja slobodnog prostora: prema preporukama svih međunarodnih asocijacija kao i Hrvatske regulatorne agencije za mrežne djelatnosti, kabeli različitih operatera moraju biti fizički razdvojeni i operator koji iznajmljuje prostor u cijevi mora pri iznajmljivanju osigurati da preostali slobodni servisni prostor osigurava upuhivanje ili uvlačenje propisanog kapaciteta svjetlovodne linije ili dijela svjetlovodne mreže. S obzirom da sada nekoliko operatera koristi cijev koja je u početku bila namijenjena samo jednom operateru, važno je kapacitet kabela koristiti na najefikasniji način. Prema [15], naknada za pristup i zajedničko korištenje kabelske kanalizacije obračunava se po stvarno korištenom prostoru, tj. računajući prostor kojeg zauzima cijev najmanjeg promjera u koju je moguće uvući predmetni kabel, neovisno o stvarnom promjeru cijevi u koju je uvučen predmetni kabel. Ponuda jediničnih cijena zakupa slobodnog prostora zove se Standardna ponuda, javno je objavljena na stranici svih operatera i HAKOM-a kao regulatora međusobnih odnosa. Primjer cjenika usluga pristupa i

zajedničkog korištenja kabelaške kanalizacije jednog operatora dana je na slici 4.1. Povećanjem promjera cijevi povećava se i naknada za korištenje.



ŽIVJETI ZAJEDNO

DODATAK 1

CJENIK USLUGA Vrijedi od 01.01.2020.

1. Usluga pristupa i zajedničkog korištenja kabelaške kanalizacije HT-a:	
1.1. cijevi velikog promjera (vanjski promjer 63-110 mm):	11,36 kn/m/god
1.2. cijevi PEHD 50 (vanjski promjer 50 mm):	9,66 kn/m/god
1.3. cijevi malog promjera (vanjski promjer 20-40 mm):	3,26 kn/m/god
1.4. mikrocijevi (vanjski promjer 3-16 mm):	1,85 kn/m/god

Slika 4.1: Cjenik usluga Hrvatskog Telekoma za pristup i zajedničko korištenje kabelaške kanalizacije, [17]

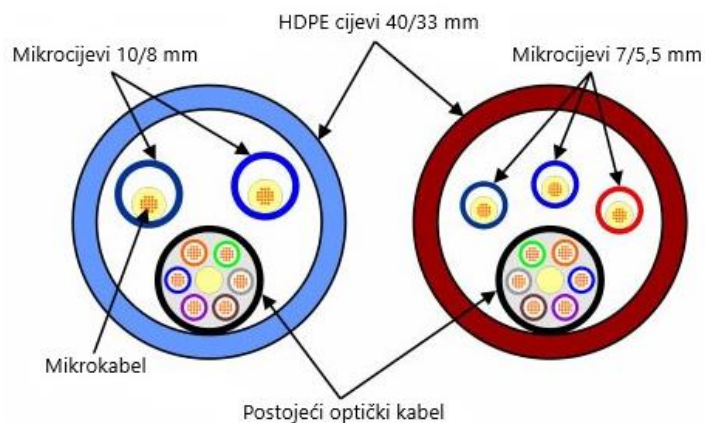
4.1. Mikrocijevi

Mikrocijev je cijev promjera od 3 do 16 mm napravljena od visokokvalitetnog HDPE (bez primjesa recikliranih materijala), s takvom unutrašnjom stjenkom koja osigurava vrlo mali koeficijent trenja. Mikrocijevi se uvlače u slobodan prostor ručno ili upuhivanjem pomoću uređaja na zračni i hidraulični pogon. Slobodni prostor oko postojećih aktivnih svjetlovodnih ili bakrenih kabela „popunjava“ se mikrocijevima čime se višestruko multiplicira cijevna infrastruktura za upuhivanje svjetlovodnih kabela. Na taj način održava se korak s porastom trenutnih i budućih zahtjeva korisnika za širokopojasnim uslugama. Uvlače se u slobodni prostor ili se polažu u snopovima (mikrocijevne strukture) u dijelu projektirane mreže gdje nema slobodnog prostora ili nema postojeće DTK. Svaka mikrocijev mora biti različite boje kako bi se iste mogle međusobno razlikovati (slika 4.2). Mikrocijevi pružaju dodatnu zaštitu unutrašnjim mikrokabelima te se i definiraju kao sekundarna izolacija optičkog kabela. Prilikom instalacije postupcima upuhivanja i uvlačenja mikrocijevi ne oštećuju postojeći optički kabel zbog svoje male težine i „lebdenja“ u slobodnom prostoru oko postojećeg kabela. Upuhivanje svjetlovodnog kabela u slobodni prostor oko postojećeg svjetlovodnog kabela, bez prethodnog popunjavanja mikrocijevima, nije dozvoljen. Praktična iskustva su da naknadno upuhivanje kabela uz postojeći svjetlovodni kabel oštećuje vanjsku izolaciju aktivnog kabela s velikim posljedicama na njegove

performanse prijenosa (prodor vode i korozija petrolata, mehanička oštećenja niti i sl.). Slika 4.3 prikazuje presjek cijevi u kojoj su uz postojeći optički kabel uvučene mikrocijevi različitih vanjskih i unutrašnjih promjera.

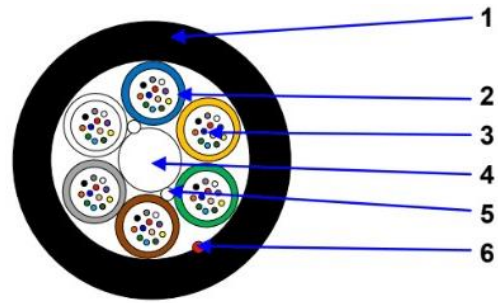
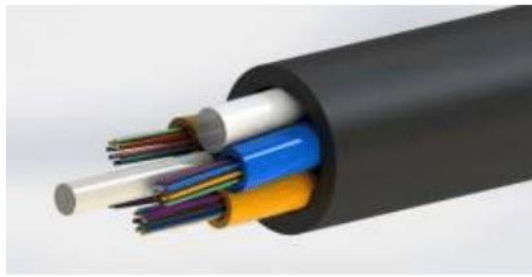


Slika 4.2: Mikrocijevi različitih promjera, [18]



Slika 4.3: Presjek cijevi, [19]

Mikrokabeli su kabeli čija su težina i vanjski promjer značajno smanjeni u odnosu na standardne kabele. Njihovu sekundarnu izolaciju čini prethodno upuhana ili položena mikrocijev. Vanjski promjer mikrokabela iznosi 1.5 mm do 10 mm i uglavnom se sastoje od 4 do 288 i više optičkih kabela. Slika 4.4. prikazuje unutrašnji presjek mikrokabela (desno) te vanjski izgled (lijevo).



1. Vanjski omotač
2. Cijev (engl. *loose tube*)
3. Optička vlakna i gel
4. Središnja membrana
5. Pređa za blokiranje prodiranja vode
6. Uže za skidanje vanjskog omotača (engl. *rip cord*)

Slika 4.4: Mikrokabel, tip: OFC-48/72G.652D-FMD-S1, [20]

Mikrokabeli se upuhuju odgovarajućom opremom u mikrocijevi prikladnih veličina. Kako bi postupak bio efikasan treba postojati određeni razmak između unutrašnjeg promjera mikrocijevi i kabela unutar njih. Postotak popunjenosti mikrocijevi ovisi o dužini kabela, broju i jačini savijanja unutar mikrocijevi te korištenom tlaku. Prema [14], postotak popunjenosti računa se prema formuli (4-1):

$$\text{Postotak popunjenosti [\%]} = \frac{d^2}{D^2} \times 100, \quad (4-1)$$

gdje je: d – vanjski promjer mikrokabela, a D – unutrašnji promjer mikrocijevi.

Postotak, koji ne bi trebao biti veći od 60-70%, osigurava dovoljan protok zraka unutar cijevi i snagu za upuhivanje kabela. Isto vrijedi i za postupak upuhivanja mikrocijevi u cijevi većih promjera. Prije instalacije provode se metode testiranja mehaničkih karakteristika mikrocijevi i mikrokabela koje uključuju vlačnu čvrstoću, provjeru dimenzija, otpor, savijanje (neprekidno savijanje i savijanje na niskim temperaturama), torziju (uvijanje), itd. Vlačna čvrstoća podrazumijeva povlačenje kabela za provjeru mogućih promjena u sastavu materijala. Prema [21, 22], kontrola kvalitete cijevi provjerava se sljedećim testiranjima:

- *Crush test* / Ispitivanje na gnječenje po normi EN 60794-1-2-E3
- *Impact test* / Ispitivanje na udar po normi EN 60794-1-2-E4

- *Kink test* / Ispitivanje na radijus lomljenja po normi EN 60794-1-E10
- *Bend test* / Ispitivanje na savijanje po normi EN 60794-1-2-E11
- *Pressure performance* / Ispitivanje na unutarnji pritisak po normi EN 60794-1-22-F13

Ista norma, EN 60794-1-2, koristi se za ispitivanje na mehaničke utjecaje svjetlovodnog kabela i mikrocijevi. Razlika je u kriteriju prihvatljivosti rezultata ispitivanja. Kod svjetlovodnih kabela to su performanse prijenosa niti, a kod mikrocijevi to je prohodnost. Prohodnost se ispituje (nakon testa opterećenja) metalnim kuglicama. Promjer mikrocijevi ne smije biti trajno smanjen više od 15% nakon regeneracije. Dokazuje se prolazom kuglice (kalibratora) promjera $0,85 \times$ unutarnji promjer mikrocijevi.

4.1.1. Vrste mikrocijevi

Mikrocijevi se razlikuju prema veličini vanjskog i unutrašnjeg promjera te se prema tim karakteristikama kombiniraju i djelotvorno se popunjava slobodan prostor u cijevi manjih promjera. Mikrocijevi se označavaju kao „MC OD/ID“ gdje je OD vanjski promjer, a ID unutrašnji promjer u milimetrima. Na slici 4.5 prikazane su moguće kombinacije uvlačenja mikrocijevi u slobodan prostor cijevi malog promjera s postojećim aktivnim kabelom, a na slici 4.6 maksimalni vanjski promjer cijevi koje se moraju koristiti da bi u njih bilo moguće uvesti svjetlovodni kabel odgovarajućeg vanjskog promjera.

Vanjski promjer PE cijevi (mm)	Vanjski promjer postojećeg kabela (mm)	Maksimalan broj mikrocijevi koje je moguće instalirati		
		12/10	10/8	7/5,5
PE50	12,0	5	6	-
	15,0	3	4	-
	16,5	2	4	-
	18,0	2	4	-
PE40	12,0	3	4	7
	15,0	2	3	7
	16,5	2	2	5
	18,0	5	5	5
PE32	12,0	-	-	3
	15,0	-	-	3
	16,5	-	-	2
	18,0	-	-	2

Slika 4.5: Mogući načini djelotvornog popunjavanja slobodnog prostora u cijevi malog promjera koja je zauzeta jednim svjetlovodnim kabelom, [15]

Vanjski promjer kabela (mm)	Tip cijevi (max. vanjski promjer u mm)
$\leq 10,0$	MC 16/12* (16)
$\leq 13,5$	PE 20 (20)
$\leq 18,0$	PE 25 (25)
$\leq 25,0$	PE 32 (32)

Slika 4.6: Prikaz maksimalnog vanjskog promjera cijevi u ovisnosti o vanjskom promjeru svjetlovodnog kabela, [15]

Mikrocijevi se proizvode se u različitim konstrukcijama te se prema tome razlikuju mikrocijevi za direktno uvlačenje/upuhivanje (DI, engl. *Direct Install*) u PEHD cijevi, mikrocijevi za polaganje u kabelski rov (DB, engl. *Direct Burial*) i unutrašnje LSZH (engl. *Low Smoke Zero Halogen* – Negoriva-malo dima-bez halogena) mikrocijevi koje se koriste za FTTH kućne instalacije. DI mikrocijevi podržavaju pritisak od 10 bara dok DB mikrocijevi podržavaju 16 bara.

4.2. Mikrocijevne strukture

Mikrocijevne strukture su grupacije mikrocijevi te se dijele ovisno o namjeni. Slika 4.7. prikazuje mikrocijevnu strukturu za uvlačenje u cijev (DI, engl. *Direct Install*). DI mikrocijevna struktura sastavljena je od mikrocijevi debljine stjenke 0,75 ili 1 mm (ili drugih DI mikrocijevi) te crnog plašta debljine oko 1 mm.



a) DI 7x10/8



b) DI 2x10/8

Slika 4.7: DI mikrocijevne strukture, [23]

Mikrocijevna struktura za direktno polaganje u zemlju (DB, engl. *Direct Burial*) na slici 4.8, sastavljena je od mikrocijevi debljine stjenke 0,75 ili 1 mm (ili drugih DI mikrocijevi) i dva razdvojiva plašta, crnog debljine oko 1 mm i narančastog debljine oko 2 mm. Dizajnirana je za visoke otpornosti na vanjske pritiske, savijanje i direktno polaganje.



a) DB 7x5/3,5



b) DB 2x10/8

Slika 4.8: DB mikrocijevne strukture, [23]

TWD (engl. *Thick walled direct burier*) mikrocijevna struktura za direktno polaganje u zemlju prikazana na slici 4.9 sastoji se od mikrocijevi debljine stjenke 1,5 ili 2 mm (ili drugih DB mikrocijevi predviđenih za samostalno polaganje u zemlju) i narančastog omotača debljine oko

1,5 mm. Zbog deblje unutrašnje stjenke pogodna je za sve načine polaganja u zemlju i najčešće je korištena mikrocijevna struktura.



a) TWD 7x12/8



b) TWD 4x12/8 L (u liniji)

Slika 4.9: TWD mikrocijevne strukture, [23]

LSZH mikrocijevna struktura na slici 4.10 sastoji se od mikrocijevi 5/3,5 mm (ili drugih LSZH mikrocijevi) i jednog LSZH bijelog plašta debljine oko 1 mm. Koristi se u kućnim instalacijama.



a) LSZH 24x5/3,5



b) LSZH 4x5/3,5

Slika 4.10: LSZH mikrocijevne strukture, [23]

4.3. Postupak instalacije

4.3.1. Upuhivanje i uvlačenje mikrocijevi u slobodni prostor ili u cijevi DTK

Glavne tehnike instalacije mikrocijevi u cijevi većeg promjera su tehnike uvlačenje, upuhivanja i polaganja mikrocijevi. Razvijene su sa svrhom sigurnog, efikasnog i ekonomičnog postavljanja mikrocijevi, mikrokabela i mikrocijevnih struktura. Uvlačenje se provodi na kraćim duljinama trasa cijevi te u cijevima većih promjera dok se upuhivanje provodi pri duljim trasama

cijevi promjera 50 mm i manje. Moguće je upuhati mikrocijevi na duljinu od 1200-2000 m bez prekida ovisno o geometriji rute. Postupak instalacije ovisi o korištenoj opremi, protoku zraka, vremenskim uvjetima (vlažnost, temperatura, itd.), geometriji i duljini rute. Ti faktori utjecat će na fizičke karakteristike elemenata koji će se upuhivati ili uvlačiti, a prema tome i na ponašanje elemenata prilikom tih uvjeta. Postupak uvlačenja primjenjuje se na kraćim ravnim rutama (oko 100m) i uglavnom zahtjeva ručno uvlačenje za razliku od upuhivanja mikrocijevi i mikrokabela gdje se najprije određena duljina kabela uvodi mehanički, a potom se pušta komprimirani zrak. Na taj način kabel ostaje u lebdećem položaju što smanjuje kontakt i trenje između vanjskog omotača kabela i unutrašnjeg zida cijevi. Zrak protječe kroz cijev i uz uvučeni kabel velikom brzinom što uzrokuje guranje kabela. Na slikama 4.11 i 4.12 prikazani su glavni uređaji za upuhivanje mikrocijevi u cijev.



Slika 4.11: Uređaj za upuhivanje mikrocijevi, [24]



Slika 4.12: Hidraulična pumpa, [24]

Prije upuhivanja mikrokabela potrebno je proći testove za provjeru i pronalazak lokacije moguće deformacije mikrocijevi uzrokovane oštrim savijanjem, udarcima, oštećenjem ili nepažnjom izvođača. Na početku se pušta komprimirani zrak od 10 bara na 1-5 min kroz mikrocijev ovisno o njezinoj duljini i unutrašnjem promjeru. Ovisno o količini protoka zraka na drugom kraju mikrocijevi određuje se njezina valjanost. Po potrebi testiranje se provodi kalibratorom. Obavezno je čišćenje mikrocijevi od moguće prašine, vode ili prljavštine unutar same mikrocijevi. Ako su oba testa zadovoljila moguće je započeti upuhivati mikrokabele. Po završetku upuhivanja ili uvlačenja mikrocijevi se spajaju konektorima za mikrocijevi. Prema Pravilniku HAKOM-a izrezani dio postojeće cijevi DTK neophodno je nadoknaditi pomoću podužno rasklopivih cijevi i spojnice. Reparturna sklopiva cijev na slici 4.13 koristi se za reparaciju PEHD cijevi kada se u cijev (u slobodni prostor oko postojećeg optičkog kabela) uvlači grupa mikrocijevi. Uz nju se upotrebljavaju i sklopive spojnice za povezivanje reparturnog kompleta (slika 4.14).



Slika 4.13: Reparturna sklopiva cijev, [23]



Slika 4.14: Sklopiva spojnica - I konektor [23]

U slučaju kada je PEHD cijev puna i neće se više stavljati pod pritisak upuhivanja kabela ili mikrocijevi cijev se spaja sklopivom spojnicom na slici 4.15. Sklopivi čep ili uzdužno rastavljiva brtva (slika 4.16) služi za brtvljenje PEHD cijevi i kabela i mikrocijevi koji se izvode iz cijevi u kabelski šaht ili kabelski prostor ili prostoriju. Sprječava prostiranje otrovnih i eksplozivnih plinova kroz kabelsku kanalizaciju, ulazak vode i nečistoća u cijevi te osigurava duži vijek eksploatacije cijevne infrastrukture.



Slika 4.15: Sklopiva spojnica [23]



Slika 4.16: Sklopivi čep [23]

Sklopiva spojnica – račva (slika 4.17) koristi se pri odvajanju mikrocijevi ili optičkih i mrežnih kabela iz glavne PEHD cijevi kabelske kanalizacije promjera 32 mm, 40 mm ili 50 mm.

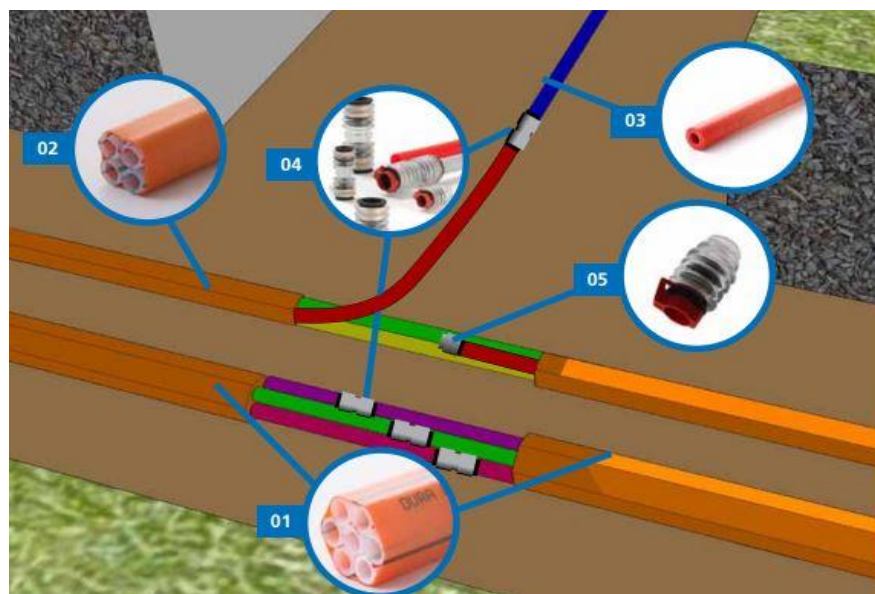


Slika 4.17: Sklopiva spojnica -T konektor, [23]

Spajanje i ugradnja zaštitnih razdjelnih i spojnih mjesta u rovovima i trasama odvija se u kabelskim plastičnim oknima sa slike 4.18. Ona su namijenjena za ugradnju i zaštitu optičkih spojnica, zaštitu sklopivih račvi kod mikrocijevi te lakšu manipulaciju optičkim kabelima. Slika 4.19 je primjer spajanja uvučenih mikrocijevi u mikrocijevnim strukturama te uvučene mikrocijevi s mikrocijevi krajnjeg korisnika.



Slika 4.18: Kabelsko plastično okno 400x400x600-15kN, [25]



- 01 DB mikrocijevna struktura 7x14/10 mm
- 02 DB mikrocijevna struktura 4x7/4 mm
- 03 DB mikrocijev 7/4 mm
- 04 mikrokonektor za mikrocijev
- 05 završni čep

Slika 4.19: Spajanje mikrocijevi, [18]

4.3.2. Polaganje mikrocijevnih struktura

Na području gdje ne postoje već položene cijevi sa slobodnim prostorom za upuhivanje ili uvlačenje mikrocijevi polažu se mikrocijevne strukture u iskopane rovove. Ovakav postupak zahtjeva puno više građevinskih radova za pripremu terena za polaganje. Rov treba iskopati što ravnije i izbjegavati radijuse skretanja manje od dopuštenog radijusa savijanja strukture. Prije polaganja, u rov se izlijeva kompaktan sloj pijeska ili drugog lakog materijala koji će smanjiti mogućnost oštećenja strukture i služiti kao potpora i zaštita prilikom zatrpavanja. Bitna stavka pri otvorenom polaganju mikrocijevi je njihovo izravnavanje prije postavljanja jer dugotrajnim stanjem u spiralnom obliku na drvenom kolutu kabeli, pri odmotavanju, mogu zadržati takav oblik (engl. *shape memory*), a to može utjecati na njihove karakteristike što je potrebno izbjeći. Polaganje se izvodi na način da se kabel odmotava s donje strane, a ne gornje te odmotavanje treba biti pažljivo i polako kako bi se izbjeglo samostalno okretanje koluta i oštećivanje kabela. Osim direktnog polaganja s koluta u rov moguće je kabel postaviti uz sami rov te ga naknadno izravnavati (slike 4.20 i 4.21).



Slika 4.20: Odmotavanje mikrocijevne strukture [25]

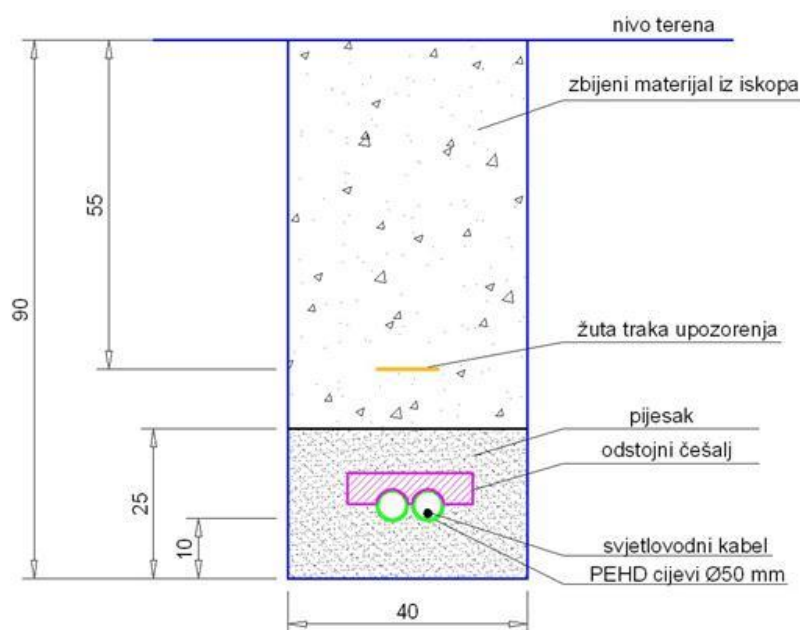


Slika 4.21: Polaganje mikrocijevne strukture [25]

Osim postupka instalacije važno je voditi brigu o karakteristikama kabela i mogućim prekoračenjima granica navedenih u specifikacijama svake mikrocijevne strukture. Prekoračenje maksimalno dopuštene vučne snage ili minimalno dopuštenog radijusa savijanja može ozbiljno oštetiti kabel. Prilikom povlačenja s koluta potrebno je posvetiti pažnju broju zamaha i zavoja kabela i njihovoj raspodjeli kao i napetosti kojoj je podvrgnut za vrijeme povlačenja. Navedene faktore kontrolira se uz minimalne pauze prilikom povlačenja i rotaciju koluta u smjeru odmotavanja. Minimalni radijus savijanja ovisan je o promjeru mikrocijevne strukture. Općenito pravilo govori da minimalni radijus savijanja treba biti veći od deseterostruke vrijednosti vanjskog promjera kabela kao što je pokazano formulom (4-2):

$$\text{Minimalni radijus savijanja} > 10 \times \text{MAX (vanjski promjer kabela)} \quad (4-2)$$

Prema potrebi i dogovoru između klijenta i dobavljača kabeli se označavaju u svrhu identifikacije. Preporučljivo je oznake postaviti na svakoj pristupnoj točki, na svaka 3-5 m ako kabel nema oznaku i na mjestima grananja i spajanja. Pri zatrpavanju rova potrebno je osigurati kabel od budućih iskopavanja u blizini položenih elemenata kako je prikazano na slici 4.22. Iz tog razloga na kabel se postavlja kompaktan sloj pijeska prije zemlje koji će upozoriti na podzemnu komunalnu mrežu u blizini. Dodatno se 20-30 cm iznad kabela postavlja žuta traka upozorenja. Uspješna izvedba instalacije mikrocijevi i sve potrebne opreme ovisi o interesu, strpljivosti, pažnji i brizi izvođača radova o svim detaljima procesa.



Slika 4.22: Presjek rova kabelske kanalizacije [26]

4.3.3. Microtrenching

Microtrenching je postupak iskapanja uskih rovova širine nekoliko centimetara i dubine do 15 cm. U rovove se polažu mikrocijevne strukture, ručno ili mehanički posebnim uređajem. Rovovi se zatrpavaju s dva sloja, PVC upozorna traka u boji (narančasta) postavlja se kao upozorenje na komunalnu mrežu te se na kraju postavlja površinski sloj koji odgovara površini u kojoj se iskapalo (asfalt ili beton). Prednost *microtrenchinga* je brzina izgradnje i cijena, a mana

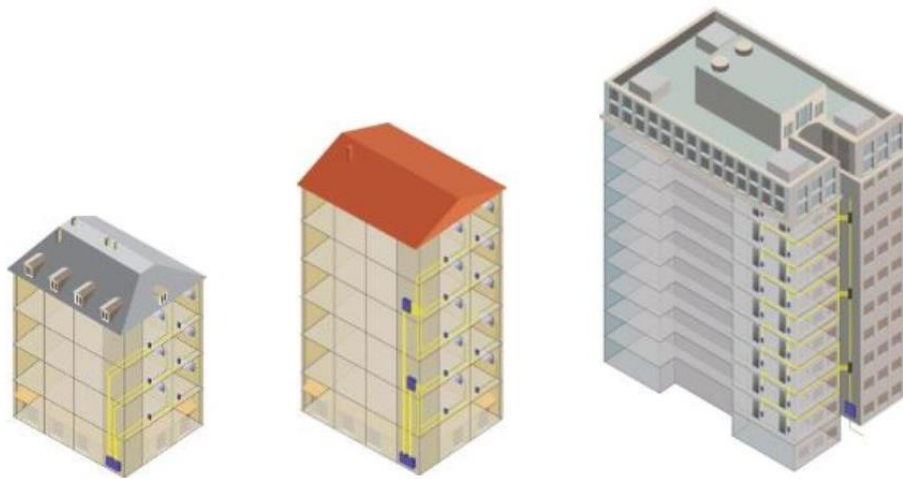
je veća izloženost mikrocijevne strukture i mikrokabela mehaničkim ili temperaturnim utjecajima (oštećenja, temperatura asfalta i sl.). Alternativne metode uključuju mnogo više izvođača, iskapanje velikih površina dubine do 1,2 m i moguće opasnosti od oštećenja postojeće kableske kanalizacije. Proces iskapanja plitkih rovova jednostavno je rješenje naročito u urbanim područjima (slika 4.23).



Slika 4.23: *Microtrenching*, [27]

4.4. Primjena mikrocijevi u izgradnji FTTx mreže

Kod izgradnje FTTx mreže kućanstvo se priključuje na glavni vod postavljanjem mikrocijevi od kuće direktno u rov do glavnog voda gdje se mikrocijev kućanstva spaja s izdvojenom mikrocijevi iz glavnog voda konektorom za mikrocijevi. Za razliku od kućanstava, u stambenim zgradama potrebno je privesti optičke kabele do svake stambene jedinice. Slika 4.24 prikazuje primjer instalacije mikrocijevi u tri stambene zgrade. Jedan od ključnih faktora koji utječu na cijenu vlasništva optičkih kabela je količina stambenih jedinica. Operator treba za svaku stambenu zgradu odrediti najpovoljniju arhitekturu FTTx mreže.



Slika 4.24: Instalacija mikrocijevi u stambenim zgradama, [28]

Glavna točka instalacije FTTH mreže u stambenoj zgradi je glavni razdjelni ormar u podrumu ili na ulazu u zgradu. U ormar s jedne strane dolazi vanjska instalacija glavne mreže, a s druge strane postavljaju se LSZH mikrocijevi. Snopovi mikrocijevi vertikalno se vode do kutija na svakom katu gdje se spajaju pojedinačne mikrocijevi svake stambene jedinice. Na taj je način svaka stambena jedinica u direktnoj vezi s glavnim razdjelnim ormarom. Slika 4.25 prikazuje zidni optički spojni ormar namijenjen za ugradnju u pristupnoj optičkoj mreži na mjestu glavnog razdjelnog ormara FTTH kućne instalacije ili etažnog optičkog ormara FTTH kućne instalacije. Sadrži dvije optičke kasete za spajanje ukupno 2x24 optička vlakna te ostalu opremu za prihvat optičkih kabela ili mikrocijevi. Optička utičnica je završna optička kutija u FTTx mreži u prostoriji pretplatnika (slika 4.26). Služi za prihvat instalacijskog optičkog kabela ili do 2 LSZH mikrocijevi. Opremljena je s dva optička adaptera i dva optička završetka (engl. *pigtail*).



Slika 4.25: Zidni optički spojni ormar GRO 48, [23]



Slika 4.26: Optička utičnica, [23]

4.5. Važnost geografskog položaja pri instalaciji mikrocijevne tehnologije

Važan faktor pri planiranju razvoja FTTx mreža i instalaciji mikrocijevne tehnologije je geografski položaj područja u kojem će se iskopati i uvoditi cijevi i mikrocijevi. Količina uložene investicije značajno ovisi o strukturi, veličini i naseljenosti područja. Ruralna područja su najteža i najnepogodnija za spojiti zbog velikih udaljenosti i raštrkanosti stambenih objekata.

U takvim je područjima često potrebna kompletna zamjena postojeće zastarjele infrastrukture ili je pak i nema čime se troškovi izgradnje mreže neplanirano povećavaju. Urbana su područja gušće naseljena, ali predstavljaju konstrukcijske izazove pogotovo na područjima gdje je prostor u postojećoj kabelskoj infrastrukturi ograničen. Prepreke predstavljaju asfaltirane uređene površine za koje se često trebaju tražiti dozvole za iskop te već postojeće instalacije u zemlji koje zauzimaju određen dio površine.

Važni parametri koji utječu na isplativost ulaganja u FTTH mreže su postotak populacije koji će biti obuhvaćen izgrađenom mrežom i koji će moći koristiti usluge putem FTTH mreže te broj aktiviranih FTTH priključaka u odnosu na broj izvedenih priključaka po kućanstvima. Dostupnost postojeće DTK mreže značajno smanjuje investicijske troškove po pokrivenom kućanstvu, a za očekivati je da će se vjerojatnost dostupnosti odgovarajuće DTK mreže dovoljnog kapaciteta smanjivati s udaljavanjem od urbanih područja. S padom gustoće naseljenosti opada i broj korisnika mreže te rastu jedinični troškovi po pokrivenom kućanstvu.

5. PRAKTIČNI DIO: MAKETA ELEMENATA DTK I MIKROCIVJEVNE TEHNOLOGIJE

Praktični dio ovog završnog rada sastoji se od dvije makete napravljene uz pomoć elemenata DTK (cijev s optičkim kabelom) te elemenata mikrocijevne tehnologije (mikrocijevi, konektori za mikrocijevi, T konektor, reparaturna sklopiva cijev i sklopive spojnice). Prva maketa (slika 5.1 – slika 5.14) je reparirana cijev s već postojećim optičkim kabelom te naknadno uvučenim mikrocijevima dok druga maketa predstavlja repariranu cijev u slučaju naknadnog odvajanja mikrocijevi FTTx mreže za poslovne i stambene zgrade, optička čvorišta ili kućanstva. Slika 5.1 prikazuje simulaciju dvije postojeće PE cijevi malog promjera PE50 mm u zemlji u kojima se nalazi optički kabel vanjskog promjera 12 mm. Cijev s postojećim kabelom se podužno i kružno izreže alatom kao na slici, pažljivo da se ne ošteti postojeći aktivni kabel u cijevi (slika 5.2).



Slika 5.1: PE50 cijevi



Slika 5.2: Odrezani dio cijevi putem kojeg će se uvlačiti mikrocijevi

Snop mikrocijevi se uvlači ili (u praksi) strojno upuhuje u jednu stranu cijevi, a potom i u drugu kao na slikama 5.3 i 5.4. U praksi, gdje se radi s nekoliko kilometara kableske infrastrukture, mikrocijevi se najprije nekoliko metara ručno uvuku, a potom se uređajima na zračni i hidraulični pogon upuhuju.



Slika 5.3: Snop mikrocijevi uvučen u jednu stranu cijevi



Slika 5.4: Snopovi mikrocijevi uvučeni u jednu i drugu stranu cijevi na odrezanom dijelu cijevi

Kako bi se mogle spojiti, svaka je mikrocijev odrezana posebnim nožem za njihovo rezanje nakon čega su mikrocijevi istih boja spojene konektorima za mikrocijevi (slika 5.5 i 5.6). Kako izgleda kada je sve spojeno prikazano je na slici 5.7. U svrhu bolje preglednosti boja mikrocijevi te urednosti uvijek je dobra praksa posložiti mikrocijevi jednako s obje strane cijevi te ih tako i spajati (ne uvtati i križati).



Slika 5.5: Skraćivanje mikrocijevi



Slika 5.6: Spajanje mikrocijevi konektorima za mikrocijevi

S obzirom da je u cijevi postojeći, aktivni optički kabel oko kojeg se uvlače mikrocijevi nije moguće spajanje PE cijevi malog promjera standardnom spojnicom. Reparacija, odnosno nadoknada izrezanog komada PE cijevi malog promjera izvodi se isključivo podužno podijeljenim cijevima i spojnicama, odnosno reparaturnim kompletom (slika 5.8).



Slika 5.7: Rezultat spajanja mikrocijevi



Slika 5.8: Reparacija cijevi isključivo reparaturnim kompletom

Odreznani dio cijevi se u primjeni slobodnog prostora oko postojećih aktivnih kabela može nadoknaditi jedino reparaturnom sklopivom cijevi koja se prilagodi dužini dijela cijevi koji nedostaje, odnosno dijelu cijevi kojeg treba zatvoriti. Spojene mikrocijevi se obuhvate s obje polucijevi te se pažljivo sklope vodeći računa da su svi utori na svom mjestu i da su polucijevi dobro namještene po dužini (slika 5.9). Za sklapanje se koristi alat za reparaturnu sklopivu cijev koji obuhvati RS cijev i laganim ju pritiscima sklopi od početka do kraja pomicanjem alata. Da bi se cijev u potpunosti zatvorila uz RS cijev koriste se sklopive spojnice koje se postavljaju na oba kraja RS cijevi (slika 5.10).



Slika 5.9: Postavljanje reparaturne sklopive cijevi



Slika 5.10: Sklopive spojnice - 50/4

Sklopivom se spojnicom zatvori preostali prostor između PE cijevi malog promjera i RS cijevi tako što se spojnicom obuhvati mjesto spoja i pažljivo sklopi vodeći računa da je podužni rez na cijevi i spojnici pod 90° (slika 5.11). Na svaki se kraj postavljaju rebraste kopče koje učvršćuju

spojnicu (lagano rukom, a potom čekićem do kraja) kao na slici 5.12. Krajnji izgled makete prikazan je na slici 5.13.



Slika 5.11: Sklapanje sklopivih spojnica



Slika 5.12: Postavljanje rebrastih brtvi na krajeve sklopivih spojnica



Slika 5.13: Reparirana PE50 cijev s uvučenim mikrocijevima

Za drugu je maketu korištena simulacija cijevi malog promjera PE50 cijev u zemlji s uvučenim mikrocijevima u prostor oko postojećeg kabela. Cijev malog promjera se pažljivo podužno i kružno odsiječe, vodeći računa da se ne oštete kabel i mikrocijevi unutra (slika 5.14). Prema projektu FTTx mreže, odabere se mikrocijev koju je potrebno izdvojiti iz DTK na neki stambeni, poslovni ili telekomunikacijski objekt. Mikrocijev je prozirna i treba se uvjeriti da je prazna. Mikrocijev se presiječe nožem za mikrocijevi (slika 5.15).



Slika 5.14: Odrezani dio PE50 cijevi s mikrocijevima



Slika 5.15: Presjecanje mikrocijevi na koju će se korisnik spojiti

Odrezani dio cijevi postavi se na horizontalni dio T konektora kao na slici 5.16 te se mikrocijev krajnjeg korisnika spoji konektorom za mikrocijevi na novu mikrocijev bližu mjestu uvlačenja optičkog kabela (slika 5.17). Mikrocijev koja izlazi iz cijevnog sustava treba biti DB kategorije. Za spajanje DI mikrocijevi u cijev malog promjera i DB mikrocijevi za priključak objekta (polaganjem DB mikrocijevi u zemlju) koristi se prijelazni konektor za mikrocijevi, vodeći računa da unutarnji promjer ostane isti.



Slika 5.16: Postavljanje T konektora



Slika 5.17: Spajanje mikrocijevi konektorom za mikrocijevi

Na kraju vertikalnog dijela T konektora postavi se brtva koja se navuče na mikrocijev sa svrhom njezina fiksiranja u zavoju konektora kao na slici 5.18. Ova brtva osigurava da u DTK ne ulazi voda i zemlja nakon zatvaranja T spojnice. Nakon što je sve spojeno, postavlja se gornji dio T konektora koji se laganim pritiskom spaja s donjim dijelom vodeći računa da su svi utori na

svom mjestu. Kao i na reparaturnu sklopivu cijev, na krajeve T konektora postavljaju se rebraste kopče za potpuno zatvaranje (slika 5.19). Krajnji rezultat prikazan je slikom 5.20.



Slika 5.18: Postavljanje brtve na kraj T konektora za



Slika 5.19: Zatvaranje T konektora



Slika 5.20: Reparirana PE50 cijev

6. ZAKLJUČAK

Glavni pokretač „novog“, širokopojasnog Interneta je povećan broj korisničkih terminala i razvoj sustava koji zahtijevaju puno veću propusnost i kapacitet od onih dostupnih u dosadašnjoj pristupnoj mreži. Kako potražnja za većom propusnošću postaje veća tako svjetlovodne mreže i optičko vlakno kao glavni resurs privlače i veći broj korisnika. Zastarjelu bakrenu infrastrukturu zamjenjuju FTTx sustavi koji se zasnivaju na prijenosu signala optičkim vlaknom od operatora pa sve do krajnjeg korisnika. Tehnologija mikrocijevi pojavila se kao ekonomično rješenje nedostatka kapaciteta u telekomunikacijskoj infrastrukturi. Iskorištavanje dostupnog slobodnog prostora u postojećim cijevima omogućuje povećanje servisnih prostora za uvlačenje dodatnih optičkih kabela što za posljedicu ima podržavanje puno većeg broja korisnika i mrežnih usluga. Za razliku od standardnih PEHD cijevi koje su velike i robusne, mikrocijevi su zbog svojeg malog promjera lake i jednostavne za rukovanje te manje nabavne cijene. Prednost mikrocijevne tehnologije je maksimalno iskorištavanje postojeće infrastrukture uz drastično smanjenje troškova građevinskih radova i ishođenja građevinske dokumentacije prilikom instalacije. Primjenom tehnologije osigurava se brzi povrat investicija operatora infrastrukture i operatora telekomunikacijskih usluga. Ovaj rezultat doveo je do velike ekspanzije izgradnje na telekomunikacijskom tržištu uz poboljšanja na ekonomskom, pravnom, ekološkom i tehničkom aspektu.

LITERATURA

- [1] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM), Godišnji usporedni podaci tržišta elektroničkih komunikacija u Republici Hrvatskoj, HAKOM, Zagreb, 2019., dostupno na: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/e_trziste/2018-Godišnji%20usporedni%20podaci%20za%20tržište%20elektroničkih%20komunikacija.pdf [19.5.2020.]
- [2] Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije, Pravilnik o svjetlovodnim distribucijskim mrežama, Narodne novine (br.57/14.), Zagreb, 2014., dostupno na: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2014/propisi_pravilnici_zakoni/Pravilnik%20o%20svjetlovodnim%20distribucijskim%20mrezama-20140507.pdf [18.5.2020.]
- [3] S. Lallukka, P. Raatikainen, Passive Optical Networks: Transport concepts, VTT publications, Espoo, 2006., dostupno na: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2006/P597.pdf> [18.5.2020.]
- [4] Fiber Optical Networking, Getting to know FTTx network, dostupno na: <http://www.fiber-optical-networking.com/getting-know-fttx-network.html> [20.5.2020.]
- [5] I. Forenbacher, S. Šarić, Svjetlovodni prijenosni sustavi i mreže, Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [6] C. Roychoudhuri, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, Fundamentals of photonics: Module 1.7. Optical Waveguides and Fibers, Spie, University of Connecticut, 2008., dostupno na: <https://spie.org/publications/fundamentals-of-photonics-modules> [20.5.2020.]
- [7] C. Roychoudhuri, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. Fundamentals of photonics: Module 1.8. Fiber Optic Telecommunication, Spie, University of Connecticut, 2008., dostupno na: <https://spie.org/publications/fundamentals-of-photonics-modules> [20.5.2020.]
- [8] R. K. Arora, S. Pardeshi, P. Sharma, M. Singh, International Journal of Emerging technology and Advanced Engineering, Fiber Optic Communications: An Overview, No.5, Vol.3, str. 474. – 479., svibanj, 2013.
- [9] Fowiki.com, Understand Fiber Attenuation, Fiber optic wiki, 2015., dostupno na: <http://www.fowiki.com/b/understand-fiber-attenuation/> [25.5.2020.]

- [10] ZTT, Optic fiber cables, dostupno na: <https://www.zttcable.com/upload/201811/26/201811261507389096.pdf> [21.5.2020]
- [11] Hrvatska agencija za telekomunikacije, Zajedničko korištenje DTK (Radionica u HGK): Što je to DTK - definicija, HAKOM, Zagreb, 2006., dostupno na: <http://www.hakom.hr/userdocsimages/javনারasprava/Zajedni%20C4%8Dko%20kori%20C5%A1tenje%20DTK%20-%20prezentacija%20odr%20C5%BEana%20u%20HGK.ppt> [20.6.2020.]
- [12] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Godišnje izvješće o radu, Zagreb, 2019., dostupno na: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/izvjesca_i_planovi/HAKOM_GI_2018.pdf [12.6.2020.]
- [13] H. Zoletić (DACTA d.o.o.), Primjena mikrocijevne tehnologije u izgradnji svjetlovodne pristupne mreže i kućnih instalacija poslovnih i stambenih zgrada, 8th International conference on Fiber Optics in Access Networks, Sarajevo, 2019.
- [14] T. Perttunen, Micro Cables, Application (Ducts & Accessories, Equipments, Installation), Sterlite Tech, 2014., dostupno na: https://www.stl.tech/optical-interconnect-products/optical-fibre-cable/pdf/Micro_Cables_Application_Ducts_Accessories_Equipments_Installation1.pdf [21.6.2020.]
- [15] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Pravilnik o načinu i uvjetima pristupa i zajedničkog korištenja elektroničke komunikacijske infrastrukture i povezane opreme, Narodne novine (br. 73/08, 90/11, 133/12, 80/13 i 71/14), Zagreb, 2016., dostupno na: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2016/propisi/Pravilnik%20o%20na%C4%8Dinu%20i%20uvjetima%20pristupa%20i%20zajedni%C4%8Dkog%20kori%C5%A1tenja%20elektroni%C4%8Dke%20komunikacijske%20infrastrukture%20i%20druge%20povezane%20opreme%20NN%2036_16.pdf [28.6.2020]
- [16] S. Đ. Živković, Primjena mikrocijevnih sistema u izgradnji FTTH kućnih instalacija, 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 495. - 499.str, Doboj, 2018.
- [17] Hrvatski Telekom, Standardna ponuda Hrvatskog Telekoma d.d. o načinu i uvjetima pristupa i zajedničkog korištenja elektroničke komunikacijske, infrastrukture i povezane opreme (kabelske kanalizacije) Hrvatskog Telekoma d.d.: Dodatak 1: Cjenik usluga, Hrvatski Telekom, Zagreb, 2019.

- <https://www.hrvatskitelekom.hr/poslovni/veleprodaja/nacionalni-operatori/standardne-ponude> [12.6.2020.]
- [18] Dura-Line, Dura-line FTTX system catalogue, 2015, dostupno na: http://www.duraline.cz/sites/default/files/downloads/201501_dura-line_microtechnology%20product%20guide.pdf [25.6.2020.]
- [19] MTEL Communications, Microtechnology: Microducts and microcables, 2015, dostupno na: <http://www.mtel.cz/eng/microtechnology.php> [20.6.2020.]
- [20] ZTT, Technical specification: Micro Optical Cable, 2016, dostupno na: <https://www.zttcable.com/> [22.6.2020.]
- [21] ITU-T Recommendations, ITU-T L.103 (04/2016): Optical fiber cables for indoor applications, ITU-T Study Group 15, 2016, dostupno na: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/12835> [10.8.2020.]
- [22] IEC 60794-1-22:2017, Optical fiber cables – Part 1-22: Generic specifications – Basic optical cable test procedures – Environmental test methods: Method F13 – Microduct pressure withstand, Edition 2.0, International Standard, 2017.
- [23] Srma d.o.o., Gračanica, 2020., dostupno na: <https://www.sрма.ba/> [25.6.2020]
- [24] G. Dupree, J. Dewinter, T. Eaves, A. Harris, D. Jenkins, E. K. Nagelvoort i drugi, White Paper: Innovative FTTH Deployment Technologies, FTTH Council Europe, 2014., dostupno na: https://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO_White_Paper_2_2014.pdf [20.6.2020.]
- [25] Duraline, DuraMulti DB Technical Specification: Guide for Handling and Installation of various variants Duramulti DB, dostupno na: http://www.duraline.cz/sites/default/files/downloads/TS-IM_DuraMultiDB%20Technical%20Installation%20Specification.pdf [20.6.2020]
- [26] Cloudschool, Izgradnja optičkih instalacija i infrastrukture: Izgradnja kabelaške kanalizacije, 2016., dostupno na: <https://www.cloudschool.org/activities/ahFzfmNsb3Vkc2Nob29sLWFwcHI1CxEVXNIchjB0p0CDAsSBkNvdXJzZRIAgICAwN-XCwwLEghBY3Rpdml0eRiAgICAqOGVCgyiARA1Nzi4ODg1ODgyNzQ4OTI4> [5.7.2020]
- [27] POTs and PANs, Pros And Cons Of Microtrenching: MicrotrenchingDemo-067, 2017., dostupno na: <https://potsandpansbyccg.com/2017/03/31/the-pros-and-cons-of-microtrenching/microtrenchingdemo-068/#main> [1.8.2020.]

- [28] D. Verdegem, M.V. Heck, S. Fagot i drugi, Optimising Fibre Installation Inside the Multiple Dwelling unit, FTTH Council Europe, 2016, dostupno na: https://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DO_White%20paper_2016_Optimising%20Fibre%20Installation%20Inside%20the%20MDU.pdf [2.8.2020.]

SAŽETAK

U ovom završnom radu obrađena je tehnologija primjene mikrocijevi u izgradnji svjetlovodnih linija i mreža. Mikrocijevna tehnologija opisana je kao ekonomično rješenje problema nedostatka kapaciteta postojeće mreže na način da se dostupni slobodni prostor u telekomunikacijskoj infrastrukturi iskorištava za uvlačenje dodatnih mikrocijevi i mikro optičkih kabela. Prema tome tehnologija omogućuje višestruko povećavanje kapaciteta mreže jer svaka mikrocijev predstavlja novi prostor za uvlačenje optičkih kabela. Dodatno su navedeni i analizirani geografski položaj područja u kojem su planirani radovi te stanje postojeće DTK (ako je ima) kao važni faktori prilikom instalacije mikrocijevi. Mikrocijevna tehnologija predstavljena je kao isplativa investicija jer značajno smanjuje troškove svih radova i građevinske dokumentacije te vremensko trajanje građevinskih radova. U praktičnom dijelu završnog rada napravljene su i opisane dvije makete: maketa reparirane cijevi s već postojećim optičkim kabelom te naknadno uvučenim mikrocijevima te maketa reparirane cijevi s naknadnim odvajanje mikrocijevi FTTx mreže.

Ključne riječi: FTTx tehnologija, mikrocijevna tehnologija, mikrocijevi, optičko vlakno

APPLICATION OF MICRODUCT TECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION OF FIBER OPTIC LINE AND NETWORKS

ABSTRACT

In this paper, the technology of application of microducts in the construction of fiber optic line and networks is discussed. Microduct technology is described as an economic solution to the problem of lack of capacity of existing network in such a way that the available free space in the telecommunication infrastructure is used for pulling and blowing microducts and micro optical cables in. Therefore, the technology allows a multiple increase in network capacity because each microduct represents a new space for installation of optical cables. In addition, the geographical position of the area in which the works are planned and the condition of DTK (if any) are listed and analyzed as important factors when installing microducts. Microduct technology is presented as a profitable investment because it significantly reduces the cost of all works, its documentation and the time duration of construction. In the practical part of the paper two models were made and described: a model of the repaired duct with an already existing optical cable and subsequently pulled microducts in and a model of the repaired duct with subsequent separation of microducts in the FTTx network.

Key words: Fttx technology, microduct technology, microducts, optical fiber