

# Mjerenja optičkog komunikacijskog sustava za video nadzor luke

---

**Santin, Alex**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:692229>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**ALEX SANTIN**

**MJERENJA OPTIČKOG KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA  
ZA VIDEO NADZOR LUKE**

**DIPLOMSKI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**MJERENJA OPTIČKOG KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA  
ZA VIDEO NADZOR LUKE  
MEASUREMENTS OF THE OPTICAL COMMUNICATION  
SYSTEM FOR PORT VIDEO SURVEILLANCE**

**DIPLOMSKI RAD  
MASTER THESIS**

**Kolegij:** Optoelektronički sustavi

**Mentor:** Red. prof. dr. sc. Irena Jurdana

**Student:** Alex Santin

**Studijski program:** Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

**JMBAG:** 0112043800

Rijeka, srpanj 2024.

Student: Alex Santin

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112043800

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom *"Mjerenja optičkog komunikacijskog sustava za video nadzor luke"* izradio samostalno pod mentorstvom *red. prof. dr. sc. Irena Jurdana*.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Alex Santin

Student: Alex Santin

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112043800

## IZJAVA STUDENTA – AUTORA

### O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student – autor



Alex Santin

## SAŽETAK

Ovaj se rad bavi detaljnom analizom i mjerenjem optičkog komunikacijskog sustava koji se koristi za video nadzor luke. Optičke niti predstavljaju suvremeno rješenje koje nudi brojne prednosti u usporedbi s tradicionalnim bakrenim kablovima, kao što su veća brzina prijenosa podataka, otpornost na elektromagnetske smetnje i veća sigurnost. Pri tome se ukazuje na različite aspekte optičkih komunikacijskih sustava, uključujući vrste optičkih vlakana, njihove karakteristike i načine spajanja. Posebna pažnja posvećena je tehnologijama spajanja vlakana, budući da kvaliteta spajanja značajno utječe na ukupne performanse sustava. Detaljno su opisane metode mjerenja performansi optičkih sustava, s posebnim naglaskom na korištenje OTDR (engl. Optical Time-Domain Reflectometer) uređaja. OTDR uređaji omogućuju precizno mjerenje dužine optičkog vlakna, otkrivanje gubitaka signala i identifikaciju kvarova duž vlakna.

Ključne riječi: optičke niti, video nadzor, pomorske luke, OTDR, sigurnosni sustavi.

## **SUMMARY**

This paper deals with the detailed analysis and measurement of the optical communication system used for video surveillance of ports. Optical fibers represent a modern solution that offers numerous advantages compared to traditional copper cables, such as higher data transmission speed, resistance to electromagnetic interference and greater security. Various aspects of optical communication systems are presented, including types of optical fibers, their properties and connection methods. Particular attention is paid to fiber splicing technologies, as the quality of the splice has a significant impact on the overall performance of the system. Methods for measuring the performance of optical systems are described in detail, with a focus on the use of OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) devices. OTDR devices allow precise measurement of the length of the optical fiber, detection of signal loss and identification of faults along the fiber.

Keywords: optical fibers, video surveillance, seaports, OTDR, security system

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>III</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA .....	2
1.2. RADNA HIPOTEZA .....	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	4
1.4. ZNANSTVENE METODEDE .....	4
1.5. STRUKTURA RADA .....	4
<b>2. OPTIČKI SUSTAVI</b> .....	<b>6</b>
2.1. VRSTE OPTIČKIH SUSTAVA ZA NADZOR .....	7
2.1.1. Materijal optičkog vlakna .....	7
2.1.2. Način propagacije svjetlosti .....	8
2.1.3. Tip optičkog sustava .....	9
2.1.4. Dizajn optičkog sustava .....	10
2.2. RAZLIKE .....	10
2.2.1. Optički sustavi.....	11
2.2.2. Koaksijalni sustavi .....	11
2.2.3. UTP sustavi.....	12
2.3. KVAROVI .....	12
2.3.1. Optička disperzija .....	13
2.3.2. Interferencija.....	14
2.4. SUSTAVI ZA VIDEONADZOR .....	15
2.5. IP KAMERE.....	16
2.5. OPTIČKI KABLOVI .....	18
2.6. SWITCH SUSTAVI.....	19
2.7. OPTIČKA KUTIJA .....	20
2.8. NETWORK VIDEO STORAGE.....	22



<b>3. OPTIČKE NITI KOD VIDEONADZORA.....</b>	<b>24</b>
3.1. TEHNOLOGIJE SPAJANJA OPTIČKIH VLAKANA.....	26
3.2. FUZIJSKO SPAJANJE OPTIČKIH VLAKANA .....	26
3.3. V-ŽLIJEBOVI .....	27
3.4. SPAJANJE ELSATIČNIH CIJEVI.....	27
3.5. POSTUPAK PRECIZNOG PORAVNANJA I SPAJANJA OPTIČKIH NITI .....	28
3.6. SPAJANJE OPTIČKIH VLAKANA KORIŠTENJEM FITSEL SPAJAČA .....	28
3.7. FUZIJSKO SPAJANJE .....	29
3.8. PROBLEMI SPAJANJA OPTIČKIH VLAKANA.....	33
<b>4. UVOD U OTDR .....</b>	<b>35</b>
4.1. TEHNOLOGIJA OTDR-A.....	35
4.1.1. Emitirajuće diode.....	36
4.1.2. Korištenje generatora impulsa sa svjetlećom diodom .....	39
4.1.3. Upravljačka jedinica i mikroprocesor .....	40
4.2. TESTIRANJE POMOĆU OTDR-A.....	41
4.2.1. Metode korištenja OTDR-a.....	42
4.3. OTDR VALNA DULJINA .....	42
4.4. MOGUĆNOSTI MJERENJA OTDR-A .....	44
<b>5. REZULTATI MJERENJA U REALNOM SUSTAVU .....</b>	<b>45</b>
5.1. OPIS MJERENJA.....	46
5.2. OTDR SPECIFIKACIJE UREĐAJA .....	47
5.3. OPIS CJELOKUPNOG MJERENOG SIGNALA .....	49
5.4. REZULTATI MJERENJA OPTIČKOG SUSTAVA .....	50
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>54</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>60</b>
<b>POPIS PRILOGA .....</b>	<b>61</b>
<b>SLIKE.....</b>	<b>61</b>

## 1. UVOD

U suvremenom svijetu sigurnosti pomorske luke, tehnologija je ključna za učinkovito nadgledanje i zaštitu različitih okruženja. Closed-Circuit Television (CCTV) sustavi igraju bitnu ulogu, pružajući kontinuirani nadzor i snimanje događaja u stvarnom vremenu ogromnih područja koja se koriste za ukrcaj i iskrcaj tereta i putnika, pristajanje brodova i druge aktivnosti. U ovom kontekstu CCTV sustav omogućuje kontinuirani nadzor nad prostorom luke, čime su sigurnost i neovlašteni pristup pod kontrolom. Jedan od ključnih elemenata koji omogućuje učinkovito funkcioniranje CCTV sustava su optičke niti.

Optičke niti su tanki, fleksibilni kablovi koji omogućuju prijenos svjetlosnih signala. Oni se sastoje od staklenih ili plastičnih vlakana koja su sposobna prenijeti ogromne količine podataka brzo i pouzdano. U kontekstu CCTV sustava, optičke niti imaju nekoliko ključnih prednosti koje ih čine nezamjenjivim dijelom modernih sigurnosnih infrastruktura. U usporedbi s bakrenim kablovima, optičke niti pružaju veću propusnost, omogućujući prijenos visokokvalitetnih videozapisa u stvarnom vremenu bez gubitka kvalitete ili kašnjenja. Ova sposobnost čini ih idealnim za sustave koji zahtijevaju stalno nadgledanje luka gdje neprekidno prometuju plovni objekti. Također, optičke niti omogućuju prijenos signala na velike udaljenosti bez gubitka kvalitete ili degradacije signala. To je ključno u sustavima koji pokrivaju velike površine, kao što su u našem slučaju velike pomorske luke i marine, gdje su kamere postavljene na udaljenim mjestima. Osim toga, optičke niti su imuna na elektromagnetske smetnje (EMI), za razliku od tradicionalnih bakrenih kablova. Ova svojstva osiguravaju stabilan prijenos podataka čak i u okruženjima s visokom razinom električnog šuma, gdje su područja upotrebe uređaja visokog napona.

Jedna od ključnih prednosti optičkih vlakana u CCTV sustavima je sigurnost. Budući da optičke niti ne emitiraju elektromagnetske signale koje je moguće presresti, teže ih je kompromitirati ili napasti. To pruža dodatni sloj zaštite od potencijalnih prijetnji sigurnosti i osigurava integritet sustava nadzora. Konačno, optičke niti su fleksibilna i lagana, što olakšava njihovu instalaciju i održavanje. To čini optičke niti praktičnim rješenjem čak i za složene i zahtjevne instalacije CCTV sustava.

Besprijekoran rad ovih mreža uvelike se oslanja na rigorozne postupke testiranja u različitim fazama postavljanja i održavanja. Iz tog razloga je testiranje neophodno u osiguravanju robusnosti i učinkovitosti mreža optičkih vlakana. Testiranje je ključno u osiguravanju kvalitete mrežnih komponenti, uključujući optičke kablove, konektore, spojeve i završetke. Testiranjem mrežni operateri mogu identificirati nedostatke u proizvodnji, pogreške pri instalaciji ili materijalne nedosljednosti koje bi mogle ugroziti integritet mreže. U slučaju kvarova na mreži ili pada performansi, testiranje služi kao dijagnostički alat za određivanje temeljnog uzroka problema. Bilo da se radi o puknutoj niti kabela, primopredajniku koji ne radi ispravno ili nepravilno konfiguriranom mrežnom elementu, testiranje olakšava otkrivanje i rješavanje problema.

## **1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA**

Problem koji se istražuje u ovom radu odnosi se na učinkovitost i pouzdanost optičkih komunikacijskih sustava za video nadzor pomorskih luka. S obzirom na sve veće zahtjeve za sigurnošću i nadzorom, potrebno je detaljno analizirati performanse optičkih vlakana u stvarnim uvjetima i identificirati potencijalne probleme koji mogu utjecati na kvalitetu prijenosa podataka.

Predmet istraživanja su optički komunikacijski sustavi koji se koriste za video nadzor u pomorskim lukama. Rad obuhvaća analizu različitih vrsta optičkih kablova, sustava za prijenos podataka, kao i tehnologija koje omogućuju visokokvalitetni video nadzor u složenim i dinamičnim okruženjima kao što su pomorske luke.

Objekt istraživanja je sustav video nadzora luke koji koristi optičke niti za prijenos podataka, opis uređaja za spajanje i mjerenje mreže te evaluacija učinkovitost i pouzdanost sustava kroz mjerenja performansi.

## **1.2. RADNA HIPOTEZA**

Radna se hipoteza temelji na naglašavanju superiornim karakteristikama koje optičke niti imaju u odnosu na tradicionalne bakrene kablove. Pretpostavlja se da će korištenje optičkih vlakana omogućiti veći kapacitet prijenosa podataka, smanjiti osjetljivost na elektromagnetske smetnje, povećati sigurnost prijenosa podataka te smanjiti ukupne troškove održavanja sustava.

Također, očekuje se da će tehnologije spajanja optičkih vlakana, poput fuzijskog spajanja, doprinijeti smanjenju gubitaka signala i povećanju pouzdanosti sustava.

### **1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA**

Svrha i ciljevi istraživanja diplomskog rada je evaluirati performanse optičkih komunikacijskih sustava za video nadzor u pomorskim lukama i identificirati faktore koji utječu na njihov rad.

Svrha se istraživanja temelji na ispitivanju performansi, prednosti i mane optičkih vlakana u usporedbi s tradicionalnim bakrenim kablovima. Unutar ove svrhe bilo je potrebno analizirati različite vrste optičkih sustava za video nadzor, provjeriti učinkovitost tehnologija spajanja optičkih vlakana te zaključno provesti mjerenja performanse sustava u stvarnim uvjetima pomoću OTDR uređaja

### **1.4. ZNANSTVENE METODE**

Metodologija koje je korištena prilikom izrade rada temelji se na analizu prethodnih istraživanja o optičkim komunikacijskim sustavima i tehnologijama spajanja vlakana. Velike je važnosti razumijevanje ključnih koncepata, metoda i tehnologije koje su relevantne za video nadzor u pomorskim lukama. Posebna pažnja posvećena je pregledavanju prednosti i nedostataka različitih optičkih komunikacijskih sustava i njihovoj primjeni u stvarnom svijetu. U praktičnom djelu rada provela su se mjerenja performansi na stvarnom sustavu. Prikupljeni podaci analiziraju se i uspoređuju s postojećim teorijskim standardima za optičke komunikacijske sustave. Rezultati analize pružit će smjernice za optimizaciju i poboljšanje učinkovitosti sustava video nadzora u pomorskim lukama. Podaci su prikupljeni korištenjem odgovarajućih znanstvenih metoda, kao što su metoda analize i sinteze, eksperimentalna metoda, metoda komparacije te statistička metoda.

### **1.5. STRUKTURA RADA**

Struktura rada podijeljena je u triju velikih tematskih cjelina koje u sebi konsolidiraju sve važne aspekte sustava za video nadzor.

Uvodni dio rada predstavlja problematiku koja će se obrađivati te ističe značaj istraživanja u kontekstu optičkih sustava i njihove primjene u sustavima za videonadzor.

U drugom poglavlju rada pruža pregled osnovnih pojmova vezanih uz optičke sustave. Detaljno su obrađene različite vrste optičkih sustava, njihove karakteristike, te kako se oni primjenjuju u različitim tehnološkim područjima.

U trećem poglavlju detaljno će se opisati komponente koje čine sustave za videonadzor. Svaka komponenta, od kamera, preko snimača, do softverskih rješenja za analizu videa, bit će opisana u smislu funkcionalnosti i uloge unutar sustava. Poseban naglasak je stavljen na važnost integracije optičkih sustava u videonadzor.

Četvrto poglavlje donosi analizu tehnologije spajanja optičkih vlakana. Unutar ovoga poglavlja razmatrat će se metode spajanja, materijali korišteni u proizvodnji optičkih vlakana, te prednosti i izazovi korištenja optičkih vlakana u ovim sustavima.

U petom poglavlju odrađena je detaljna analiza OTDR uređaja. Opisan je njegov princip rada, načini na koje se koristi za dijagnostiku i održavanje optičkih mreža, te njegova uloga u osiguravanju kvalitete sustava za videonadzor. Prikazani su rezultati mjerenja, uključujući analizu gubitaka signala, identifikaciju mjesta eventualnih kvarova i ocjenu ukupnih performansi sustava.

Šesto poglavlje rada donosi prikaz i analizu rezultata mjerenja dobiveni korištenjem OTDR uređaja u stvarnim uvjetima rada sustava.

Konačno, u završnom se dijelu rada donose glavne zaključke istraživanja.

## 2. OPTIČKI SUSTAVI

Termin „optički sustavi“ označava skup tehnologija odnosno stanovitu digitalnu infrastrukturu koja se koristi za prijenos informacija putem svjetlosti. Osnovna je svrha optičkih sustava pretvaranje električnih signala u svjetlosne signale i njihov prijenos kroz tanke niti od stakla ili plastike. Ova vlakna ili niti kao što su prikazana na Slici 1., omogućuju prijenos svjetlosti na velike udaljenosti, što ih čini ključnim elementom u optičkim komunikacijskim mrežama [4 - Crnčić, 2021 ].



**Slika 1.** Optičke niti

*Izvor: Crnčić, 2021 [4].*

U optičkim sustavima, koristi se laserski izvor svjetlosti koji emitira usmjerene svjetlosne zrake. Te zrake se usmjeravaju kroz optička vlakna koja imaju sposobnost provoditi svjetlost. Svjetlosni signali putuju kroz vlakna reflektiranjem unutar njih, održavajući visoku kvalitetu signala čak i na velikim udaljenostima.

Optički sustavi imaju mnoge prednosti u usporedbi s tradicionalnim električnim sustavima prijenosa podataka. Visoka propusnost, mogućnost prijenosa na velikim udaljenostima i manja osjetljivost na interferencije neki su od glavnih razloga za korištenje optičkih sustava. Također, oni su manje osjetljivi na elektromagnetske smetnje i vanjske utjecaje, pružajući visoku pouzdanost u prijenosu podataka. Optički sustavi se primjenjuju u telekomunikacijama, na Internetu, medicinskim uređajima, istraživanju, u mnogim industrijama, zrakoplovstvu i drugim područjima. Njihova uporaba omogućuje brz, pouzdan i

visokokvalitetan prijenos podataka koji je ključan za suvremene informacijske sustave i komunikacijske tehnologije. U kontekstu optičkih sustava za sigurnost i video nadzor, optička se vlakna koriste za prijenos video signala u sigurnosno-nadzornim sustavima. To uključuje CCTV (CCTV (*closed-circuit television*, hrv. *zatvoreni televizijski krug*) je TV sustav u kojem se signali ne distribuiraju javno, već se prvenstveno nadziru u svrhu nadzora i sigurnosti. [*op. aut.*] ) sustave, video nadzorne kamere i druge uređaje koji se koriste za nadzor objekata ili područja.

## **2.1. VRSTE OPTIČKIH SUSTAVA ZA NADZOR**

Kada je riječ o optičkim sustavima za nadzor, postoji nekoliko važnih karakteristika koje se uzimaju u obzir prilikom odabira vrste optičkog sustava. Oni su određeni različitim faktorima i karakteristikama koje su ključne za njihovu funkcionalnost i performanse. Nekoliko ključnih elemenata koji ih određuju jesu: optički kablovi, kamere, optički prijenosnik (uređaj koji se koristi za pretvorbu električnih signala u optičke signale i obrnuto), video snimač (DVR – *Digital Video Recorder* ili NVR – *Network Video Recorder*), mrežna infrastruktura te softver za upravljanje. Svi ovi elementi zajedno određuju performanse, pouzdanost i funkcionalnost optičkih sustava za nadzor. Njihova integracija i pravilno podešavanje ključni su za osiguravanje učinkovitog i kvalitetnog nadzora. U kontekstu vrsta optičkih sustava za video nadzor, neki od čimbenika koji se često razmatraju su: materijal optičkog vlakna, način propagacije svjetlosti, tip optičkog sustava te dizajn optičkog sustava kao takvog.

### *2.1.1. Materijal optičkog vlakna*

Optička vlakna se mogu izrađivati od različitih materijala, od kojih su najčešći staklo i plastika. Staklena vlakna su općenito poznata po boljim optičkim svojstvima, nižem gubitku i većem kapacitetu prijenosa od plastičnih vlakana. Staklena se optička vlakna općenito smatraju boljim od plastičnih optičkih vlakana u pogledu performansi i kvalitete signala omogućavajući veću propusnost (dakle, mogu prenijeti veće količine podataka i podržavaju veće brzine prijenosa), manju disperziju, bolju otpornost na visoke temperature te veću dugovječnost.



Međutim, plastična vlakna su fleksibilnija i otpornija na lomljenje, što ih čini pogodnima za određene primjene, a s obzirom da kada se govori o nedostacima optičkih vlakana, njihova lomljivost predstavlja možda najveći od njih.

### *2.1.2. Način propagacije svjetlosti*

Optička vlakna se mogu klasificirati kao monomodalna ili multimodalna, ovisno o načinu propagacije svjetlosti. U definicijskom kontekstu, propagacija (Kada svjetlosni signal putuje kroz optička vlakna, on se širi kroz vlakno kroz proces koji se naziva propagacija svjetlosti. Svjetlost putuje kao elektromagnetski val, a tijekom propagacije zadržava svoje svojstva, kao što su frekvencija, intenzitet i polarizacija. Propagacija svjetlosti u optičkim vlaknima temelji se na principu totalne unutarnje refleksije. Kada svjetlosna zraka udara na granicu između optičkog vlakna i okolnog medija pod određenim kutom, reflektira se unutar vlakna umjesto da izlazi van. Ovaj se proces ponavlja tijekom putovanja svjetlosti, što omogućuje prijenos signala na velike udaljenosti s minimalnim gubicima. [*op. aut.*] ) se odnosi na kretanje ili širenje nekog fenomena, vala ili signala kroz prostor ili medij. Kod optičkih sustava, propagacija se odnosi na putovanje svjetlosti kroz optička vlakna ili druge medije.

Propagacija svjetlosti može biti monomodalna ili multimodalna, ovisno o vrsti optičkog vlakna. U monomodalnim vlaknima, svjetlost putuje samo jednim putem, čime se osigurava precizan prijenos signala i minimalna disperzija omogućujući iznimno fokusiran prijenos signala na velike udaljenosti. U multimodalnim vlaknima, svjetlost se može kretati kroz vlakno na više načina, što može rezultirati disperzijom i gubicima na duljim udaljenostima, a što ih čini pogodnima za kraće udaljenosti i veće propusnosti. Propagacija svjetlosti predstavlja temelj za funkcioniranje optičkih sustava jer omogućuje brzi prijenos informacija i to pouzdano te na velike udaljenosti. Razumijevanje ovog procesa omogućava optimizaciju dizajna optičkih sustava i osigurava visokokvalitetan prijenos podataka ili svjetlosnih signala.

**Tablica 1. :** Razlika između multimodnih i jednomodnih vlakana

	Multimodalna	Jednomodalna
Cijena niti	Visoka cijena	Niska cijena
Mrežna oprema	Osnovna oprema s niskom cijenom ( LED)	Viša cijena ( laser diode)
Prigušenje	Visoko	Nisko
Valna duljina prijenosa	850 nm do 1300 nm	126 nm do 1640 nm
Rukovanje	Veća jezgra, jednostavnije rukovanje	Kompleksniji spojevi
Udaljenost	Lokalne mreže( <2 km)	Pristupne/srednje/duge mreže (>200 km)
Propusnost	Ograničena propusnost (10 Gb/s na kratkim udaljenostima	Gotovo beskonačna propusnost (>1 Tb/s ) DWDM

### 2.1.3. Tip optičkog sustava

Optički sustavi za nadzor mogu se koristiti za prijenos video signala ili podataka. U nekim slučajevima koriste se analogni sustavi koji prenose video signal kroz optička vlakna. Tada se video signal pretvara u analogni oblik i prenosi kroz optička vlakna do odredišta. Analogni sustavi često koriste modulaciju svjetlosti kako bi prenijeli video signal, a prijemnik na odredištu ga pretvara natrag u električni signal za prikazivanje. U drugim slučajevima, koriste se digitalni sustavi koji prenose podatke putem optičkih vlakana. Tada se video signal digitalizira i prenosi u obliku digitalnih podataka kroz optička vlakna. Digitalni sustavi koriste različite protokole i modulacijske tehnike za kodiranje i prijenos podataka. Na primateljskoj strani, digitalni podaci se dekodiraju i rekonstruiraju u video signal za prikazivanje ili daljnju obradu.

Digitalni sustavi za prijenos podataka imaju prednosti u pogledu pouzdanosti, kvalitete slike i mogućnosti daljnje obrade. Digitalni signal je manje osjetljiv na gubitak kvalitete tijekom prijenosa, što rezultira boljom reprodukcijom slike i manje izobličenja. Također omogućuje dodatnu obradu signala, poput kompresije (Kompresija podataka je proces smanjivanja veličine podataka kako bi se ubrzao prijenos podataka preko mreže i na taj način smanjio prostor za pohranu. Cilj kompresije podataka je ukloniti redundanciju (višestruke informacije u bazi

podataka) i suvišne informacije iz podataka kako bi se postigla veća efikasnost u pohrani i prijenosu. [*op. aut.*] ) ili analize podataka. Važno je odabrati odgovarajući sustav za prijenos, ovisno o zahtjevima nadzorne primjene. Ako je prioritet prijenos video signala, analogni sustavi mogu biti dovoljni. S druge strane, ako se zahtijeva veća pouzdanost, kvaliteta i mogućnosti obrade podataka, digitalni se sustavi često preferiraju.

#### *2.1.4. Dizajn optičkog sustava*

Optički sustavi za nadzor mogu se dizajnirati kao točkasta-na-točkastu veze, mreže ili zvjezdaste topologije, ovisno o potrebama sustava. To utječe na način postavljanja i konfiguraciju optičkih vlakana u sustavu nadzora. U slučaju točkasta-na-točkastu veze, svaka kamera ili senzor za nadzor je izravno povezan s centralnim kontrolnim centrom ili monitorom. Svaka veza predstavlja jednooptičko vlakno koje prenosi video ili podatke s jednog mjesta na drugo. Ova topologija je jednostavna i često se koristi u manjim sustavima za nadzor s malim brojem kamera. Kod mrežne tipologije, kamere i senzori za nadzor povezani su u mrežu putem optičkih vlakana. Mreže omogućuju da više uređaja dijeli istu mrežnu infrastrukturu, što omogućuje fleksibilnost, skalabilnost i mogućnost daljinskog pristupa. Ova je topologija pogodna za sustave s velikim brojem kamera i kompleksnijim nadzornim zahtjevima. U zvjezdastoj topologiji, sve kamere i senzori za nadzor su povezani s jednim centralnim čvorištem, koje može biti kontrolna soba ili centralni nadzorni centar. Svaki uređaj ima svoje zasebno optičko vlakno koje ga povezuje s centralnim čvorištem. Ova topologija omogućuje jednostavno upravljanje i pregled sustava, ali može zahtijevati veći broj optičkih vlakana. Odabir odgovarajućeg optičkog sustava za nadzor temelji se na specifičnim potrebama projekta, kao i uvjetima okoline u kojoj će se koristiti.

## **2.2. RAZLIKE**

Kada je riječ o razlikovanju optičkih sustava za nadzor, tada se prije svega govori o različitim načinima prijenosa video signala u video nadzornim sustavima. Videosignali se mogu prenositi putem različitih tehnologija i medija, uključujući optička vlakna (sustave), koaksijalne

kablove, bežične veze itd. Prema tome, razlikujemo optičke sustave, koaksijalne sustave i UTP (*Unshielded Twisted Pair*) sustave, a s obzirom na prijenos video signala.

### 2.2.1. *Optički sustavi*

Optički sustavi koriste optička vlakna za prijenos video signala. Kod njih, svjetlost se koristi za prenošenje signala kroz vlakna. „Globalno, implementacija optičkih vlakana ubrzano raste kako raste potražnja za brzim i pouzdanim prijenosom podataka. Optička vlakna postala su tehnologija izbora za pružanje internetskih i mrežnih usluga, kao i za premošćivanje [tzv.] *posljednje milje* od opreme operatora do kućanstava, poslovnih subjekata i poduzeća“ [ 8 - Kim, 2023] Optički sustavi pružaju visoku kvalitetu slike, veliku propusnost, imaju manje gubitke na udaljenostima i otporni su na elektromagnetske smetnje. Također su sigurni od prisluškivanja jer svjetlost ne izlazi iz vlakna. S druge strane, optički sustavi zahtijevaju posebnu opremu za pretvaranje signala iz električnog u svjetlosni oblik i obrnuto. Također, optička su vlakna osjetljiva na oštećenja (savijanje odnosno lomljenje), što zahtijeva pažljivu instalaciju i upravljanje.

### 2.2.2. *Koaksijalni sustavi*

Koaksijalni sustavi koriste koaksijalne kabele (Koaksijalni kabel je vrsta električnog kabla koji se često koristi za prijenos signala visoke frekvencije, uključujući video signale. Sastoji se od nekoliko slojeva (središnji vodič, izolacija, vanjski provodnik i vanjska ovojnica) koji pružaju zaštitu i provođenje signala. [*op. aut.*] ) za prijenos video signala. Električni se signal u ovom slučaju prenosi kroz središnji vodič i zemlju omeđenom slojem. Prednosti instalacije koaksijalnih sustava jesu u činjenici da se ovi sustavi već duže vrijeme u industriji videonadzora tako da se radi o standardnom rješenju kada je riječ o sustavima sigurnosnih videonadzora. Jednostavni su za instalaciju i mogu prenositi video signal na znatne udaljenosti bez gubitaka kvalitete slike. S druge strane, koaksijalni sustavi imaju ograničenu propusnost u

usporedbi s optičkim sustavima. Također su osjetljivi na elektromagnetske smetnje i moguće je prisluškivanje signala. Zahtijevaju odgovarajući spojni materijal i odgovarajuće priključke.

### 2.2.3. UTP sustavi

UTP ( Oznaka UTP stoji za *Unshielded Twisted Pair* tj. u slobodnom prijevodu na hrvatski jezik radi se o *nezaštićenom upletenom paru kabela*. [op. aut.] ) sustavi koriste nezaštićeni par kabela (Cat5e, Cat6 itd.) za prijenos video signala. Električni signal se prenosi kroz kabele. UTP sustavi su vrlo uobičajeni u mrežnim primjenama i pružaju jednostavnu integraciju s mrežnom opremom. Oni su jeftiniji i fleksibilniji od optičkih vlakana i koaksijalnih kabela. Ipak, izazovi UTP sustava uključuju činjenicu da isti mogu biti ograničeni u udaljenosti prijenosa i mogu zahtijevati dodatne aktivne uređaje, poput balunskih pretvarača, za prijenos video signala. Također su podložni elektromagnetskim smetnjama. Kada se radi o izboru između optičkih sustava, koaksijalnih sustava i UTP sustava, on će ovisiti o brojnim kontekstualnim faktorima kao što su potrebna udaljenost prijenosa, potrebna propusnost, kvaliteta slike, troškovi i postojeća infrastruktura.

## 2.3. KVAROVI

Kvarovi na optičkim sustavima za videonadzor mogu se dogoditi iz različitih razloga, imaju različite posljedice tj. indikacije, a jednako im se tako u kontekstu otklanjanja pristupa na različite načine. Jedan od najučestalijih kvarova ove vrste događa se kad se izgubi veza između optičkih komponenti nadzornog sustava. To može biti uzrokovano oštećenjem optičkih kabela, slabim spojevima ili kvarom optičkih prekidača. Kada se veza prekine, gubi se prijenos video signala i nadzor nije moguć, a kako bi se ova vrste kvara uklonila potrebno je detektirati mjesto nastanka prekida te isti otkloniti. Još jedan učestali kvar na nadzornim sustavima jest gubitak signala. Radi se o smanjenju snage ili kvalitete signala koji se prenosi optičkim vlaknima [ 5 - Flannery, 2019; 8 - Kim, 2023].To može biti uzrokovano slabim ili oštećenim optičkim

kabelima, prekomjernim gubitkom na spojevima ili prekoračenjem maksimalne udaljenosti prijenosa signala. Također, ovaj se kvar može dogoditi uslijed nepoželjnih okolnosti na mreži dobavljača, a u svim se slučajevima kvaru pristupa na različit način.

Optički sustavi za nadzor zahtijevaju odgovarajuće napajanje kako bi ispravno funkcionirali. Problemi s napajanjem, poput nestanka struje ili prekida napajanja, mogu uzrokovati prekid rada sustava i nedostatak nadzora. Kako bi se smanjila vjerojatnost kvarova, važno je redovito održavanje optičkih sustava, provjera i čišćenje optičkih komponenti te pravilno rukovanje i postavljanje optičkih kabela. Također je važno imati rezervne dijelove i plan za rješavanje kvarova kako bi se što brže i učinkovitije obnovila funkcionalnost sustava za nadzor.

### 2.3.1. Optička disperzija

Optička disperzija je također jedan od kvarova karakterističnih optičkim sustavima za nadzor. To je fenomen koji se javlja u optičkim vlaknima zbog svojstava svjetlosti da se različite frekvencije šire s različitim brzinama [16 - Sukalac, 2017]. S obzirom na to da je „indeks loma u nekome mediju veći što je valna duljina svjetlosti manja, to uzrokuje da pri lomu svjetlosti na granici optičkih medija nastaje rasap svjetlosti po valnim duljinama. Ta se pojava zove disperzija svjetlosti“ (*Ibid*: 18). Disperzija svjetlosti, dakle, može rezultirati izobličenjem signala i smanjenjem kvalitete prijenosa. Postoje različite vrste optičke disperzije, ali dvije najčešće su modna disperzija i disperzija materijala. Modna se disperzija javlja zbog različitih putanja svjetlosnih zraka unutar optičkog vlakna, dok disperzija materijala proizlazi iz ovisnosti refrakcijskog indeksa materijala o frekvenciji svjetlosti. Jedan od načina detekcije optičke disperzije je upotreba optičkih analizatora koji analiziraju spektar svjetlosti koja se prenosi kroz vlakno i identificiraju prisutnost disperzije. Također se mogu koristiti posebni uređaji ili testni signali za provjeru disperzije (*Ibid*).

Otklanjanje optičke disperzije različito je ovisno o vrsti kvara, ali se u pravilu uključuje nekoliko mogućnosti odnosno radnji. DCM (disperzijski kompenzacijski modul ili eng. *Dispersion Compensation Module*) moduli koriste posebne optičke elemente ili vlakna kako bi aktivno kompenzirali disperziju. Oni kompenziraju disperziju tako da mijenjaju karakteristike

svjetlosti koja prolazi kroz vlakno. DCF vlakna (disperzijska kompenzacijska vlakna ili eng. *Dispersion Compensation Fiber*) imaju posebnu strukturu koja omogućuje kompenzaciju disperzije. Ona se može koristiti za zamjenu dijela postojećeg vlakna koje ima visoku disperziju ili se može dodati u sustav kako bi se kompenzirala disperzija. Napredni modulacijski formati mogu se koristiti za smanjenje učinaka disperzije. Ovi formati koriste složene metode kodiranja i modulacije signala kako bi se povećala otpornost na disperziju. Osim toga, mogu se koristiti i optička pojačala. Ona služe za pojačavanje signala tijekom prijenosa kako bi se smanjio negativni učinak disperzije. Važno je napomenuti da je odabir odgovarajuće metode za otklanjanje disperzije ovisi o specifičnim zahtjevima i karakteristikama optičkog sustava. Stručnjaci za optičke komunikacije prilagođavaju i optimiziraju rješenja kako bi minimizirali utjecaj optičke disperzije na kvalitetu prijenosa signala.

### 2.3.2. *Interferencija*

Interferencija je dodatni kvar koji je karakterističan optičkim sustavima za nadzor. Ona se događa kada se optički signal miješa s drugim elektromagnetskim signalima ili vanjskim izvorima smetnji [5-Flannery, 2019]. To može uzrokovati smanjenje kvalitete signala ili čak potpuni gubitak veze. Interferencija u optičkim sustavima za nadzor može se otkloniti različitim metodama i tehnikama kao što su korištenje elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) koja se kao sustav mjera provodi kako bi se minimiziralo elektromagnetsko zračenje i spriječila interferencija između različitih uređaja [5 - Flannery, 2019; 4 - Crnčić, 2021]. Ovo uključuje pravilan dizajn sustava, pravilno uzemljenje, upotrebu kvalitetnih kabela i konektora te izbjegavanje blizine električnih uređaja koji mogu uzrokovati interferenciju. Interferenciju je moguće otkloniti i kroz korištenje optičkih filtera koji se koriste za selektivno propuštanje ili blokiranje određenih frekvencijskih komponenti svjetlosti. Ovi se filteri mogu koristiti kako bi se smanjila interferencija izvan željenog frekvencijskog područja i poboljšala kvaliteta signala. Optička pojačala jedno su od rješenja i kod otklanjanja interferencije. Ona se mogu koristiti za pojačavanje slabih signala i kompenzaciju gubitaka tijekom prijenosa. Pojačala pomažu u smanjenju interferencije i poboljšavaju snagu signala. Upotreba električnih i optičkih izolatora kod otklanjanja interferencije služi kako bi se spriječilo širenje električnih ili optičkih signala s jednog dijela sustava na drugi. To pomaže u sprečavanju interferencije između različitih

komponenti sustava i osigurava čist prijenos signala. Osim toga, pravilan odabir i postavljanje optičkih kabela može smanjiti interferenciju. Kablovi bi trebali biti kvalitetni, pravilno zaštićeni i postavljeni tako da se minimizira smetnja vanjskih izvora kao što su električni kablovi ili elektromagnetska polja. Također, identifikacija i uklanjanje izvora smetnji može biti učinkovit način suzbijanja interferencije. To može uključivati izoliranje ili premještanje izvora smetnji, upotrebu dodatnih zaštita poput zaslona i pravilno uzemljenje.

Svaka situacija interferencije može biti jedinstvena, pa je važno provesti analizu sustava i primijeniti odgovarajuće metode za otklanjanje specifične interferencije koja se javlja. Stručnjaci za optičke sustave za nadzor mogu pružiti specifična rješenja i savjete o otklanjanju interferencije u određenim okolnostima.

## **2.4. SUSTAVI ZA VIDEONADZOR**

Optički su sustavi odnosno optički kabeli samo jedan od elemenata sustava za videonadzor. Sustavi za videonadzor su skup tehnoloških rješenja koji omogućuju nadzor i snimanje prostora putem video kamera radi zaštite i sigurnosti. Ovi se sustavi koriste u različitim kontekstima, kao što su javna područja, poslovni prostori, industrijski objekti, institucije, prometne mreže itd.

Glavni elementi sustava za videonadzor najčešće uključuju:

- optičke sustave: koriste optička vlakna za prijenos video signala između kamera, monitora i snimača. Optički sustavi pružaju visoku kvalitetu slike, veću propusnost i imaju manje gubitaka na udaljenostima u usporedbi s drugim vrstama prijenosa signala.
- Softver za upravljanje: omogućuje nadzornicima da upravljaju i kontroliraju sustav za videonadzor. Ovo uključuje praćenje kamere, snimanje, reprodukciju snimaka, postavljanje upozorenja i druge funkcionalnosti.
- Monitore: koriste se za prikazivanje video snimaka s kamera. To omogućuje operatorima da prate i pregledavaju događaje u stvarnom vremenu.
- Snimače: uređaji koji bilježe video snimke s kamera. Mogu biti digitalni (DVR – *Digital Video Recorder*) ili mrežni (NVR – *Network Video Recorder*). Snimači omogućuju pohranu snimljenih podataka i upravljanje snimljenim materijalom.



- Video kamere: kamere su osnovna komponenta sustava za videonadzor. One mogu biti postavljene na fiksne pozicije ili biti pokretne u vidu sposobnosti rotacije i zumiranja. Kamere bilježe video snimke prostora koji se nadzire.
- Mrežu: sustavi za videonadzor mogu biti povezani u mrežu kako bi se omogućila daljinska kontrola, pristup i upravljanje putem računala ili mobilnih uređaja. Mrežni sustavi koriste IP (*Internet Protocol*) tehnologiju za prijenos video signala putem računalne mreže.

„Internet je omogućio da se video nadzor može provoditi praktički bilo gdje i biti praćen s bilo kojeg mjesta na svijetu. S pomoću satelita koji prenose signale diljem svijeta, sada možete gledati bilo koga s bilo kojeg mjesta putem svog prijenosnog računala. Oko na nebu je stvarnost zahvaljujući digitalnom streaming videu.[...] Streaming video se postavlja kao udaljeni sustav kako biste mogli nadzirati svoje mjesto s bilo kojeg mjesta na svijetu putem pristupa internetu jer se slike arhiviraju na udaljenom web poslužitelju. Kvaliteta je izvanredna, s visokom kompresijom (u nekim slučajevima 1800:1) za pohranu, te ima značajke poput aktivacije pokreta i slanja e-pošte s upozorenjima kada se dogodi aktivnost, ako to želite. Internet je doista revolucionirao video nadzor uklanjanjem svih granica za gledanje [i nadzor] bilo gdje u svijetu“ [14 - Roberts, 2011].

Sustavi za videonadzor pružaju sigurnosne prednosti kao što su sprječavanje krađe, detekcija intruzije, nadzor prostora, praćenje događaja i pomoć u istragama. Ovi sustavi su postali ključni alat za sigurnost u mnogim okruženjima, pružajući nadzor i zaštitu prostora, imovine i osoba.

## **2.5. IP KAMERE**

Ključna tehnologija koja omogućuje prijenos video signala putem računalne mreže je *Internet Protocol* (IP). To je osnovni protokol koji se koristi za razmjenu podataka putem interneta ili lokalnih mreža temeljenih na IP mrežnom modelu. IP protokol definira način adresiranja i rutiranja podataka kako bi se omogućila ispravna isporuka paketa odnosno informacija između izvora i odredišta. Kada se primijeni u video nadzornim sustavima,

omogućuje slanje video signala putem lokalne mreže (LAN) ili šire mreže (WAN). Prijenos video signala putem IP tehnologije donosi nekoliko prednosti. Prvo, pruža fleksibilnost u pogledu lokacije nadzora. Sustav može biti povezan na mrežu, što omogućuje nadzornicima pristup kamerama i video zapisima s bilo kojeg mjesta gdje imaju pristup mreži. Ovo je korisno za upravljanje više lokacija ili za daljinski pristup tijekom putovanja. Druga prednost je integracija s drugim mrežnim sustavima. IP videonadzor može se povezati s drugim sigurnosnim sustavima poput kontrola pristupa, alarmnih sustava ili sustava za upravljanje zgradom. Integracija ovih sustava omogućuje sveobuhvatniji pristup sigurnosti i jednostavnije upravljanje svim aspektima sigurnosti. Također, IP tehnologija omogućuje visoku kvalitetu slike. Digitalni video signali koji se prenose putem IP mreže zadržavaju visoku razlučivost i jasnoću. To je važno za prepoznavanje detalja, identifikaciju lica ili čitanje registarskih tablica vozila.

Da bi se ostvario prijenos video signala putem IP tehnologije, potrebni su odgovarajući uređaji. To uključuje IP kamere koje snimaju video i šalju ga putem mreže, kao i mrežne video snimače (NVR) (NVR je skraćenica koja se odnosi na mrežne video snimače (eng. *Network Video Recorder*). To je vrsta digitalnog video snimača koji se koristi za snimanje video zapisa sa sigurnosnih kamera na mreži. NVR uređaji su posebno dizajnirani za integraciju sa IP kamerama i omogućuju korisnicima da upravljaju, pregledavaju i arhiviraju video zapise sa različitih kamera putem mreže. [*op. aut.*] ) koji primaju i pohranjuju video zapise. NVR se koristi za organizaciju i upravljanje snimljenim materijalom te omogućuje reprodukciju i pregled video zapisa.

IP kamere koriste digitalnu tehnologiju za snimanje i prijenos video zapisa putem mreže. Ove kamere imaju ugrađenu mrežnu vezu (Ethernet ili bežični WiFi) koja im omogućuje povezivanje s lokalnom mrežom ili internetom. IP kamera koristi senzor slike (najčešće CMOS ili CCD) za snimanje video zapisa. Senzor pretvara svjetlost u električne signale koji se potom obrađuju digitalno. Snimljeni video zapis se digitalno komprimira kako bi se smanjila veličina datoteke i olakšao prijenos preko mreže. Standardni formati kompresije su H.264 i H.265. Komprimirani video zapisi se prenose putem mreže (lokalne ili internetske) putem IP protokola. Kamera koristi mrežnu vezu kako bi slala video zapise do odredišne točke, kao što je računalo ili mrežni video snimač (NVR). Prijemnik, poput računala, mobilnog uređaja ili NVR-a, prima

video zapise s IP kamere i prikazuje ih korisniku. Također, korisnici mogu upravljati kamerom, mijenjati postavke ili pregledavati snimljene video zapise putem odgovarajućeg softvera ili aplikacije.

## **2.5. OPTIČKI KABLOVI**

Optički kablovi su komunikacijski vodovi koji se primjenjuju za prenošenje svjetlosnih signala. Oni se sastoje od tankih vlakana od stakla ili plastike koja služe kao provodnici svjetlosti. Ovi kablovi omogućuju prijenos informacija putem svjetlosnih impulsa, koji se koriste za komunikaciju, prijenos podataka, internet, telefonske veze, televiziju i druge slične primjene. Optički kablovi se sastoje od nekoliko ključnih dijelova. Centralna komponenta je vlakno, izrađeno od visokokvalitetnog stakla ili plastike. Vlakno je iznimno tanak, obično nekoliko desetaka mikrona, i sastoji se od jezgre koja provodi svjetlost i oplate koja ga okružuje i štiti. Pored vlakna, optički kablovi sadrže dodatne slojeve koji pružaju mehaničku zaštitu i otpornost na vanjske utjecaje. To uključuje izolacijski sloj koji obavija vlakno i štiti ga od vlage i oštećenja, kao i sloj ojačanja koji pruža potporu kabele. Vanjski sloj, poznat kao plašt, pruža dodatnu zaštitu od fizičkih oštećenja i vanjskih uvjeta.

Optički kablovi se primjenjuju u raznim svakodnevnim područjima primjene kao i industrijskim sektorima, uključujući telekomunikacije, računalne mreže, medicinske uređaje, znanstvena istraživanja, industrijske sustave i mnoge druge. Oni se razlikuju po svojoj strukturi, kapacitetu prijenosa podataka, otpornosti na interferencije i udaljenosti na kojima se mogu prenositi signali. Prednosti optičkih kablova obuhvaćaju visoki kapacitet prijenosa podataka, veliku brzinu prijenosa, imunitet na elektromagnetske smetnje, dugotrajnost, lagano tijelo kabla te mogućnost prenošenja signala na velike udaljenosti. Optički kablovi su postali ključni element moderne komunikacijske infrastrukture zbog svoje iznimne pouzdanosti i visokih performansi. Primjena optičkih kablova obuhvaća razne vrste optičkih sustava, uključujući optičke mreže, video nadzorne sustave, medicinske instrumente, senzore i druge primjene u kojima je potreban brz i siguran prijenos podataka putem svjetlosti.

## 2.6. SWITCH SUSTAVI

Spajanje kamera na mrežu omogućuje naprednu funkcionalnost kao što je daljinska kontrola, pristup i upravljanje putem računala ili mobilnih uređaja. SWITCH (eng. *switching*, hrv. *izmjena*) sustavi su tehnološka rješenja koja se koriste u računalnim mrežama za povezivanje više uređaja (računala, printera, IP telefona, IP kamera itd.) u lokalnoj mreži (LAN). SWITCH se koristi za usmjeravanje podataka na odgovarajuće odredište unutar mreže. SWITCH djeluje na drugom sloju OSI modela (OSI (*Open Systems Interconnection*)) je referenca za komunikaciju u računalnim mrežama. To je konceptualni model koji definira sedam slojeva ili razina komunikacije kako bi se osigurala standardizacija komunikacije između različitih računalnih sustava. [op. aut.] ), poznatom kao sloj veze podataka ili *Data Link Layer*. Ona koristi MAC (*Media Access Control*) adrese uređaja kako bi identificirala i preusmjerila podatke unutar mreže. Svaki uređaj koji je povezan na SWITCH ima jedinstvenu MAC adresu.

Princip rada SWITCH sustava temelji se na pravilnom preusmjeravanju podataka. Kada se podaci šalju s jednog uređaja na drugi unutar mreže, SWITCH provjerava MAC adresu odredišnog uređaja u okviru (eng. *frame*) podataka i preusmjerava ga samo na odgovarajući izlazni port na kojem je ciljani uređaj povezan. Ovaj se postupak naziva *frame switching* (Hrv. *prekidanje okvira*. [op. aut.] ). SWITCH ima više ulaznih i izlaznih portova, što omogućuje povezivanje više uređaja u istu mrežu. Upravo ta sposobnost SWITCH sustava da usmjerava podatke samo na odgovarajuće izlazne portove čini ga učinkovitim uređajem za optimizaciju prometa u mreži. To znači da se podaci samo preusmjeravaju na portove koji su povezani s odgovarajućim ciljnim uređajima, smanjujući neželjeni promet i poboljšavajući propusnost mreže i u tom smislu SWITCH sustavi mogu biti konfigurabilni i nekonfigurabilni. Oni nekonfigurabilni imaju fiksne postavke i obično se koriste u manjim mrežama dok konfigurabilni SWITCH sustavi karakteriziraju dodatne mogućnosti konfiguracije i upravljanja, poput postavljanja VLAN-a (*Virtual Local Area Networks*), QoS (*Quality of Service*) prioriteta i drugih naprednih funkcionalnosti. Uz to, moderni SWITCH sustavi često imaju dodatne funkcionalnosti poput mogućnosti upravljanja i nadzora putem mreže, podrške za PoE (*Power over Ethernet*) za napajanje uređaja putem mreže, te mogućnost povezivanja s drugim SWITCH-ovima kako bi se proširila mrežna infrastruktura.

Povezivanje video nadzornih sustava putem mreže također omogućuje primjenu naprednih funkcionalnosti. Na primjer, sustavi za analitiku videonadzora mogu koristiti algoritme i strojno učenje za prepoznavanje objekata, detekciju pokreta, brojanje ljudi ili identifikaciju abnormalnih događaja. Ove funkcionalnosti poboljšavaju učinkovitost nadzora i olakšavaju reakciju na potencijalne sigurnosne prijetnje. Uopće, povezivanje sustava za videonadzor u mrežu omogućuje daljinsku kontrolu, pristup i upravljanje putem računala ili mobilnih uređaja. IP tehnologija omogućuje prijenos video signala putem računalne mreže, pružajući fleksibilnost, integraciju s drugim sustavima, visoku kvalitetu slike i napredne funkcionalnosti. Ovi mrežni sustavi videonadzora postaju sve popularniji zbog svoje učinkovitosti i mogućnosti poboljšanja sigurnosti i zaštite.

## 2.7. OPTIČKA KUTIJA

Optički box ili optička kutija koristi se u optičkim komunikacijskim sustavima za smještaj i zaštitu različitih dijelova i veza povezanih s optičkim signalima. Ona osigurava sigurno i organizirano okruženje za optičku opremu i veze. Optička kutija sadrži komponente poput optičkih vlakana, konektora, splittera, kopljača i drugih pasivnih ili aktivnih optičkih uređaja. Te su komponente smještene unutar kutije kako bi bili zaštićeni od vanjskih utjecaja, ali i dobro postavljeni u svrhu optimalnog funkcioniranja.



**Slika 2.** Optička kutija za smještaj spojeva

*Izvor: , 12.06.2023., 12:56h.*

Osnovne funkcije optičke kutije uključuju zaštitu osjetljivih optičkih komponenti od vanjskih utjecaja, organizaciju i strukturiranje optičkih vlakana i uređaja, omogućavanje pristupa za povezivanje i održavanje sustava te distribuciju optičkih signala prema više odredišta ako je potrebno. Optičke kutije variraju u veličini, dizajnu i značajkama, ovisno o specifičnoj primjeni i potrebama. One se najčešće koriste u telekomunikacijama, optičkim mrežama, podatkovnim centrima i drugim optičkim komunikacijskim postavkama gdje je važno osigurati organiziran i zaštićen prostor za optičke komponente.

Postoje različite vrste optičkih kutija koje se koriste u komunikacijskim sustavima baziranim na optičkim vlaknima. Distribucijske se kutije koriste za priključivanje i distribuciju optičkih vlakana. One mogu imati različite kapacitete i konfiguracije, ovisno o potrebama sustava. Vrste optičkih kutija mogu se razlikovati ovisno o specifičnim zahtjevima i industrijskim standardima. Različite kutije mogu imati različite veličine, materijale, zaštite od vlage i otpornost na vanjske utjecaje kako bi se prilagodile različitim uvjetima i primjenama.

- *Splitter* kutije su namijenjene za smještaj i zaštitu PLC splittera, koji dijele optički signal na više puteva, a omogućuju dijeljenje signala na više korisnika ili uređaja.
- Priključne kutije se koriste za spajanje i zaštitu optičkih konektora. One olakšavaju brzo i sigurno povezivanje optičkih vlakana s drugim (optičkim) elementima ili uređajima.
- Prekidne kutije koriste se za zaštitu i rasklapanje optičkih vlakana na različite izlaze, a omogućuju jednostavno upravljanje optičkog sustava, što podrazumijeva i njegovu prenamjenu, potpunu reorganizaciju na bilo kojoj razini itd.
- Terminalne kutije su često instalirane u blizini korisnika kako bi omogućile priključak optičkog vlakna na krajnje uređaje odnosno do krajnjih korisnika – u kućanstva.

Slika 2. prikazuje prekidnu optičku kutiju za distribuciju optičkih vlakana RGP-FDB-012B namijenjenu korištenju u mrežama optike do doma (FTTH) i optike do premisa (FTTP) za point-to-point ili PON mrežne arhitekture. Dostupni su modeli za unutarnju i vanjsku uporabu kako bi se prilagodili standardnim kabelima ili kabelima s prozorčićem (*breakout*). Ova optička kutija za distribuciju optičkih vlakana omogućuje jednostavno postavljanje kabela, PLC splittera i optičkih adaptera.

## 2.8. NETWORK VIDEO STORAGE

Mrežni video snimač ili NVR (eng. *Network Video Storage*) je tehnologija najčešće prisutna kao specijalizirano računalo koje snima video nadzorne snimke u digitalnom formatu na tvrdi disk ili na umreženim uređajima. Budući da NVR u pravilu nema mogućnost snimanja videa, videozapisi se obično obrade i kodiraju s nadzornih IP ili CCTV kamera te se putem mreže Ethernet ili WiFi prenose na NVR radi pohrane. NVR-ovi se obično koriste u IP video nadzornim sustavima ili drugim digitalnim (video) sustavima [3 - Collins, 2023].

Mrežni video snimači zamijenili su starije digitalne video snimače (DVR) (DVR snimači (eng. *Digital Video Recorders*) su elektronički uređaji koji se koriste za snimanje i pohranu video zapisa u digitalnom formatu. Oni zamjenjuju tradicionalne analogne snimače trake (VCR) i omogućuju visokokvalitetno snimanje i reprodukciju video materijala. DVR snimači imaju opcije za priključenje analognih kamera i mogućnosti snimanja na unutarnji tvrdi disk ili druge spremnike podataka. Također imaju mogućnosti reprodukcije, arhiviranja i daljinskog pristupa snimljenim videozapisima. [op. aut.] ), a njihove prednosti uključuju: snimanje videozapisa i zvuka, fleksibilnost, bolje pokrivene prikaze i uopće bolju kvalitetu slike, činjenicu da mogu funkcionirati žično i bežično, mogućnost korištenja samo jednog kabela za video, zvuk i napajanje, mogućnost prepoznavanja lica, registarskih oznaka itd. (*Ibid*), a uslijed bolje kvalitete slike.

Mrežno video pohranjivanje uključuje upotrebu mrežnih uređaja, kao što su mrežni video snimači (*Network Video Recorders* - NVR) ili mrežni diskovi (*Network Attached Storage* – NAS), koji su specijalizirani za pohranu videozapisa. Ti uređaji se obično integriraju u video nadzorne sustave i omogućuju centralizirano snimanje i pohranu videozapisa. NVS sustav može biti proširen dodavanjem dodatnih uređaja za pohranu prema potrebi. Također, mrežno pohranjivanje omogućuje udaljeni pristup i upravljanje videozapisima putem mreže, olakšavajući pregled, pretraživanje i dijeljenje video materijala.

„IP kamere generiraju videozapise, i to puno njih. Za tim koji upravlja sigurnosti stanovitog mjesta, to su vrijedni video nadzorni snimci. Za sustav pohrane, to je velika količina podataka

za zadržavanje. Gdje se svi ti podaci pohranjuju? Tipično, postoji rješenje za pohranu koje je ili ugrađeno, izravno povezano ili spojeno na nadzorno rješenje, a to uključuje:

- Unutarnji tvrdi disk – ugrađen u lokalnu opremu, unutarnji tvrdi disk obično pruža određene prednosti u performansama, ali njegov kapacitet je ograničen.
- Vanjski tvrdi disk – povezan s NVR-om ili drugom lokalnom opremom, vanjski tvrdi disk (HDD) nudi potencijalno veću fleksibilnost od unutarnjeg tvrdog diska, omogućavajući dodavanje više vanjskih HDD-ova, proporcionalno rastu obima podataka, ali može biti skupo proširiti kapacitet.
- Mrežno povezano spremište (NAS) – povezano s NVR sustavom putem mreže, NAS nudi potencijalno izuzetno skalabilno i izuzetno funkcionalno spremište videozapisa, ali zahtijeva više tehničke stručnosti ili IT resursa za podršku.
- *Cloud* pohrana – izravno povezana sa softverom za upravljanje videozapisima putem Interneta, *cloud* pohrana nudi praktički neograničenu pohranu podataka za videozapis bez brige o nadogradnji hardvera ili troškovima održavanja.

Svako rješenje za pohranu nadzornih snimaka ima svoje prednosti i nedostatke. Ne postoji ispravno rješenje, samo ono što odgovara određenom korisničkom slučaju. Na primjer, performanse pohrane možda nisu veliki problem za organizaciju koja jednostavno želi pohraniti videozapise nadzora za buduće pregledavanje. Uistinu, takvo pregledavanje možda nikada neće ni biti potrebno. Također je važan faktor troška. Tvrdi diskovi i NAS rješenja su kapitalni trošak (CapEx) u kojem se trenutni i budući kapacitet pohrane kupuje unaprijed, za razliku od *cloud* pohrane koja nema CapEx i nudi pristup skaliranju kapaciteta uz plaćanje po mjeri širenja“ . [ 3 - Collins, 2023].

Mrežno video pohranjivanje je ključni dio suvremenih video nadzornih sustava i koristi se u različitim sektorima kao što su sigurnost, prometna nadzorna sustava, u brojnim industrijama, javnim ustanovama i mnogim drugim primijenjenim sustavima u kojima je potrebno snimanje i pohranjivanje videozapisa u digitalnom formatu.



### 3. OPTIČKE NITI KOD VIDEONADZORA

Optička nit ili optičko vlakno „(svjetlovod) je prozirna nit kroz koju se prenosi svjetlost. Najčešće je izrađeno od polimernoga materijala ili vrlo čistog stakla. Primjenjuje se za prijenos svjetlosnih signala u računalnim i telekomunikacijskim mrežama, znanosti, medicini i također se može koristiti za dekoraciju“ [4 - Crnčić, 2021]. Optička vlakna, dakle, imaju ključnu funkciju u videonadzoru. Ona služe kao prijenosni medij za prenošenje video signala od IP kamera do mrežnog video snimača (NVR) ili drugih povezanih uređaja, osiguravajući brz, pouzdan i siguran prijenos visokokvalitetnih videozapisa na velike udaljenosti.

Funkcije optičkih vlakana u videonadzoru su: prijenos signala, propusnost, udaljenost prijenosa (u usporedbi s koaksijalnim kabelima) te neosjetljivost na elektromagnetske smetnje. Dakle, za video nadzorne sustave koji zahtijevaju visoku kvalitetu i pouzdanost prijenosa videozapisa na velike udaljenosti optička su vlakna idealan izbor.

„U kontekstu rastućeg napretka suvremenih sustava za video sigurnost i nadzor, mnogi sigurnosni stručnjaci uviđaju da kvaliteta, propusnost i udaljenost potrebni čak i za najosnovniji nadzor premašuju mogućnosti koaksijalnih i UTP kablova. Iako se sustavi za video sigurnost temeljeni na IP-u sve više populariziraju, suočavaju se s ozbiljnim ograničenjem udaljenosti od 100 metara (328ft) ili manje putem UTP mrežne infrastrukture. To predstavlja nepremostivu prepreku prilikom pokušaja nadzora mnogih udaljenih lokacija tipične nadzorne instalacije“ [5- Flannery, 2019]. Iako optička vlakna imaju mnoge prednosti u videonadzoru, također postoje neki nedostaci koji se mogu uzeti u obzir, a to su trošak instalacije i tehnička složenost iste, osjetljivost na fizička oštećenja i nedostatak fleksibilnosti (jednom kada je optičko vlakno postavljeno, teško ga je mijenjati ili premještati što može predstavljati izazov u slučaju promjene rasporeda nadzorne opreme ili potrebe za proširenjem mreže). U usporedbi s bežičnim sustavima, koji su fleksibilniji u pogledu premještanja i dodavanja uređaja, optička vlakna redovito su manje prilagodljiva. Ipak, unatoč tim nedostacima, mnogi video nadzorni sustavi koriste optička vlakna zbog njihove visoke pouzdanosti, performansi i sposobnosti prijenosa na velike udaljenosti. Pravilno planiranje, instalacija i održavanje mogu pomoći u smanjenju potencijalnih nedostataka i osiguranju optimalnog rada optičkih vlakana u videonadzoru. Autor naglašava i dodatni nedostatak u vidu neopremljenosti: „[p]ristupanje optičkim nitima može biti izazov za većinu stručnjaka za video nadzor, jer većina novih kamera i monitora na tržištu

danas nisu opremljeni optičkim priključcima. Također, većina postojećih sustava za video sigurnost i nadzor dizajnirani su i instalirani s koaksijalnim ili UTP kablovima. Kako bi se poboljšala kvaliteta, propusnost i udaljenost tih postojećih sustava putem prijenosa video signala preko optičkih niti, potrebna je metoda za pretvaranje električnog video signala u optički format“ [ 5 - Flannery, 2019].

### 3.1. TEHNOLOGIJE SPAJANJA OPTIČKIH VLAKANA

Dolaskom optičkog kabla do krajnjeg korisnika nužno moramo ( ponekad zahtjeva konfiguracija interijera) , da optički kabel moramo kratiti i prespajati , a time moramo upotrebljavati jednu od tehnika spajanja ( eng.splicing ), međutim ako se radi o nekoj ogromnoj infrastrukturi koja je udaljena od centralnog objekta postoji mogućnost da kabel moramo i nastavljati zbog zahtijevane udaljenosti.

Osnovne tehnike spajanja optičkih niti su :

-Fuzijsko spajanje optičkih vlakana ( eng.splicing ) , stvara se permanentni spoj između dvije niti u optičkom sustavu.

-Mehaničko spajanje optičkih vlakana , spajanje putem konektora omogućuje protok signala bez fizičke veze između 2 niti što je tipično za krajnje točke sustava.

### 3.2. FUZIJSKO SPAJANJE OPTIČKIH VLAKANA

Fuzijsko spajanje je tehnika koja se koristi za trajno spajanje dviju optičkih vlakana pomoću fuzije ili topljenja. Ovaj proces stvara neprekidnu optičku putanju, omogućavajući svjetlu da prolazi bez prekida s jednog vlakna na drugo. Fuzijsko spajanje se široko koristi u telekomunikacijama, podatkovnim centrima i drugim aplikacijama gdje je niska gubitnost i visoka pouzdanost ključna.

Rezultirajuća veza ima gubitak manji od 0,05 dB, što je oko 1% gubitka energije. Većina fuzijskih spojnica može rukovati i jednomodnim i višemodnim nitima u raznim veličinama, ali, zbog gubitaka koji su uključeni, spajamo samo višemodne u višemodne ili jednomodne na jednomodne.

Mehanički spajanje se koristi za stvaranje trajnih spojeva između dva vlakna držeći ih usklađena i pričvršćena s ciljem maksimalnoga smanjenje gubitaka i refleksije uz pomoć transparentnog gela ili optičkog ljepila između vlakana kojima odgovaraju optička svojstva stakla. Mehanički spojevi općenito imaju veći gubitak i veću refleksiju od fuzijskih spojeva. Mehanička komponenta sama po sebi, koja uključuje mehanizam za precizno poravnanje, je skuplja od jednostavnog zaštitnog rukava potrebnog za fuzijsko spajanje. Mehanički spojevi su najpopularniji za brzu i privremenu primjenu ili za nastavljavanje multimodalnog vlakna u prostorijama instalacije. Prednost mehaničkih spojeva je što za njih nisu potrebni skupi aparati za nastavljavanje kabela. U prošlosti, nedostaci mehaničkog spajanja bili su nešto veći gubici na mjestu spoja te veća cijena. Danas, napretkom tehnologije ovo se izmijenilo te se mehaničko spajanje koristi u slučajevima kvara (kidanje vlakana , neželjena oštećenja itd.), jer je jednostavno, jeftino i lako rješenje. Specijalni fluid

koji se zove gel za podudaranje indeksa, dodaje se na mjesto spoja kako bi ispunio zračni prostor između krajeva vlakana te reducirala pojava velike refleksije na mjestu spoja. Slabljenje na spojevima prilikom primjene mehaničkog spoja iznosi od 0.2 dB do 0.5 dB.

### **3.3. V-ŽLIJEBOVI**

V-žlijebljeni spoj je jedan od tipova mehaničkih spojeva koji se koristi za spajanje optičkih vlakana. Ova vrsta spoja koristi poseban V-oblikovani utor ili žlijeb kako bi precizno poravnao i držao krajeve optičkih vlakana zajedno. Princip rada V-žlijebljenog spoja je jednostavan. Krajevi optičkih vlakana se postavljaju u V-oblikovani utor koji je obično napravljen od specijalnog materijala kao što je plastika ili keramika. Taj utor osigurava precizno poravnanje vlakana kako bi se minimizirali gubici signala na spoju. Jednom kada su vlakna postavljena u utor, mogu se koristiti dodatni elementi poput gela ili optičkog ljepila kako bi se osiguralo čvrsto povezivanje i smanjila refleksija svjetlosti na spoju. Prednosti V-žlijebljenih spojeva uključuju relativno jednostavnu instalaciju, brzo spajanje bez potrebe za skupim alatima ili opremom, te dovoljnu preciznost poravnanja za mnoge aplikacije. Međutim, gubici signala na spoju mogu biti nešto veći u usporedbi s drugim vrstama mehaničkih spojeva kao što su fuzioni spojevi.

### **3.4. SPAJANJE ELSATIČNIH CIJEVI**

To je tehnika spajanja niti uz pomoć elastične cijevi i uglavnom pronalazi svoju primjenu u slučaju multimodalne optičke niti. Gubitak niti, u ovom slučaju, gotovo je sličan gubitku fuzijskog spoja. Međutim, potreba za opremom i vještinom nešto je manja od tehnike spajanja fuzijom. U osnovi, elastični materijal je guma, unutar koje se nalazi mala rupa. Promjer ove rupe nešto je manji od promjera niti koje treba zalijepiti. Također, suženje se vrši na krajevima obje niti kako bi se omogućilo jednostavno umetanje u cijev. Dakle, kada se nit s nešto većim promjerom od rupe umetne unutar rupe, tada se s vremenom proširuje dok materijal na nit djeluje simetrično. Zbog ove simetričnosti postiže se pravilno poravnavanje između dvaju niti. U ovoj se metodi mogu povećati različiti promjeri niti, jer se nit ovdje kreće prema osi cijevi.

### 3.5. POSTUPAK PRECIZNOG PORAVNANJA I SPAJANJA OPTIČKIH NITI

Priprema optičkih niti za spajanje ključan je korak u procesu uspostavljanja stabilnih i kvalitetnih komunikacijskih veza. Ovaj postupak uključuje niz preciznih radnji koje osiguravaju da su vlakna pravilno očišćena, poravnata i pripremljena za fuzijsko spajanje. Pravilna priprema vlakana smanjuje gubitak signala i refleksije na spojevima, te povećava ukupnu učinkovitost i pouzdanost mreže. U nastavku, realizirali smo osnovne korake i tehnike potrebne za adekvatnu pripremu optičkih vlakana za spajanje, uključujući čišćenje, rezanje i poravnavanje vlakana.

### 3.6. SPAJANJE OPTIČKIH VLAKANA KORIŠTENJEM FITSEL SPAJAČA

**Tablica 2.** Specifikacije Fitsel S176 spajača optičkih vlakana

Primjenjive niti*1	SM,MM, DS, NZ-DS, EDF, TrueWaveRS,LEAF
Duljina cijepanja niti	5-16 mm/250 μm, 16 mm/ 900μm premaz
Promjer premaza	100-1000μm
Promjer obloge	80-150 μm
Napajanje*2	DC: 10 – 16.5 V AC: 100/120 , 200/240 V 50/60 Hz
Težina	4,2 kg
Ekološki uvjeti	-10 do 50 C Vlažnost: 90% na 38 C
Radna temperatura	Temperatura : -10 - +50 C
Tipični gubitak umetanja *3	SMF: 0,02 dB MMF: 0,01 dB DSF: 0,04 dB NZDF: 0.04 dB
Vrijeme spajanja	11 sekunda u "high speed" modu, 13 sekunda u normalnom modu
Tipično vrijeme grijanja*4*5 (kada se koristi AC adapter)	85 sekundi 40 sekundi
Broj dostupnih programa	35 unaprijed instaliranih, 29 korisnički programibilnih
Maksimalni kapacitet memorije	Spajanje :2000
Ulazni/izlazni terminali	Ulaz/Izlaz podataka: USB 2.0

\*1: Primijenjeno na ITU-T standard

\*2: Ne koristiti neprikladni ulazni napon. To može uzrokovati požar, strujni udar ili kvar.

\*3: Ispitan u laboratorijskom okruženju sa sličnim nitima. Nema zajamčenih rezultata.

\*4: Kod rada s baterijom, vrijeme grijanja može biti duže od uobičajenog vremena grijanja. Vrijeme grijanja može se povećati ovisno o vremenskim uvjetima.

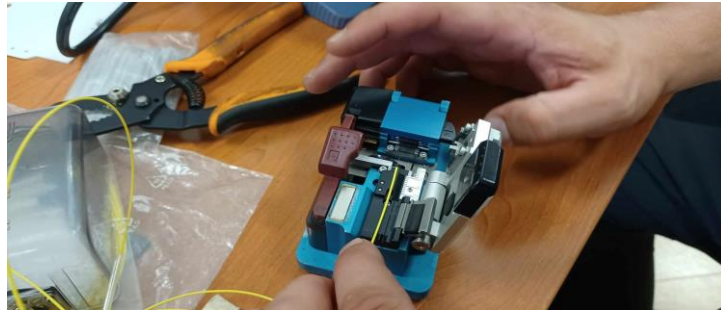
\*5: Vrijeme grijanja može se povećati ovisno o korištenim rukavima.

Vlakna se spajaju i tope na različitim temperaturama, pa je važno prilagoditi snagu luka kako bi se postigli optimalni rezultati spajanja. Osim toga, različiti faktori poput trošenja elektroda ili okolišnih uvjeta kao što su temperatura, vlažnost i nadmorska visina mogu utjecati na kvalitetu spajanja. Provjera snage luka funkcija je koja analizira snagu luka i podešava je na odgovarajuću vrijednost. Prilikom provjere luka, spajalica toplinski rastopi krajeve vlakana bez da ih stvarno spoji kako bi se procijenilo stanje topljenja. Ako se primijeti stalno pojavljivanje pogrešaka u spajanju, potrebno je provjeriti snagu luka i osigurati da je njezina vrijednost ispravna.

### **3.7. FUZIJSKO SPAJANJE**

1. Priprema vlakana: Prvo se pripremaju optička vlakna koja će se spojiti. To uključuje skidanje zaštitnih premaza s krajeva vlakana pomoću preciznih alata. Ogoljen dio treba biti čist i bez ikakvih kontaminanata koji bi mogli utjecati na proces spajanja. Obično se za taj korak koristi izopropilni alkohol i bezdlakne maramice.

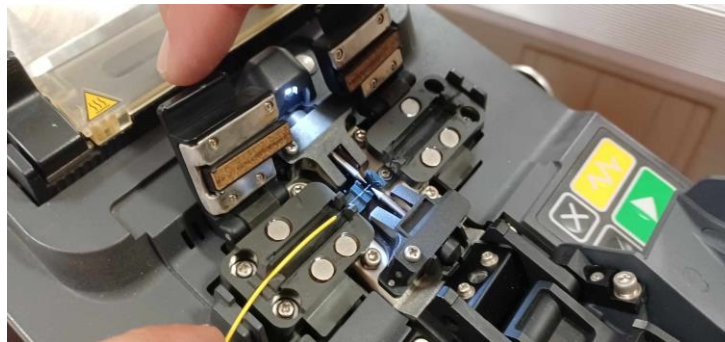
2. Cijepanje niti: Nakon skidanja, vlakna se režu kako bi se dobila ravna i okomita završna površina. Alati za rezanje vlakana koriste se za urezivanje i prekid vlakana na željenom mjestu, osiguravajući čisto i precizno rezanje. Ovaj korak je ključan za postizanje visokokvalitetnog fuzijskog spajanja.



**Slika 3.** Korištenje specijalnog sjekača vlakana

*Izvor: Izradio autor*

3. Poravnanje vlakana: Rezani krajevi vlakana pažljivo se poravnavaju kako bi se osigurala ispravna veza. To se može obaviti ručno ili pomoću automatskog sustava za poravnanje. Cilj je precizno poravnati jezgre vlakana kako bi se smanjile gubitci i maksimizirala optička performansa.



**Slika 4.** Postupak poravnanja optičkih niti

*Izvor: Izradio autor*



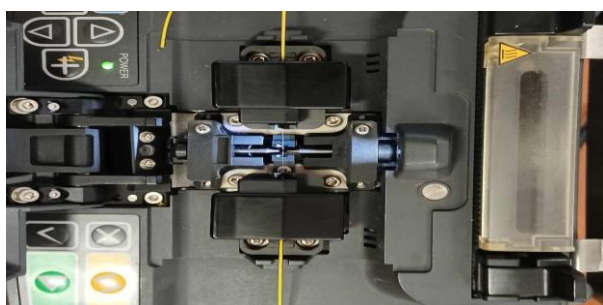
**Slika 5.** Zaslona splicera tijekom procjene kvalitete spoja između dvaju optičkih niti

*Izvor: Izradio autor*



Nakon čišćenja i rezanja vlakana, proces spajanja se provodi pomoću spajача, uređaja koji omogućava precizno poravnanje i fuzijsko spajanje vlakana. Na slici je prikazan zaslon spajача koji procjenjuje kvalitetu spoja (Engl. Estimating). Spajачi koriste sofisticiranu tehnologiju za poravnanje vlakana na mikroskopskoj razini i zatim ih spaja koristeći električni luk. Proces uključuje vizualnu inspekciju spoja kako bi se osigurala optimalna kvaliteta s minimalnim gubicima signala. Ovaj korak je ključan za postizanje visokih performansi i dugoročne pouzdanosti optičkih mreža.

4. Fuzijsko spajanje: Nakon što su niti poravnane, spajaju se zajedno. Za tu svrhu koriste se strojevi za fuzijsko spajanje, nazvani fuzijski spajачi. Spajач primjenjuje električni luk ili laser kako bi zagrijao krajeve vlakana i otopio ih zajedno. Otopljeni krajevi vlakana zatim se spajaju pod kontroliranim uvjetima, stvarajući trajni spoj.



**Slika 6.** Proces spajanja vlakana

*Izvor: Izradio autor*



**Slika 7.** Spojene niti

*Izvor: Izradio autor*

5. Zaštita spoja: Nakon fuzijskog spajanja, spojeni dio se štiti kako bi se osigurala dugoročna pouzdanost. To se obično postiže primjenom zaštitne manžete ili termoskupljajuće cijevi preko područja spoja. Zaštitna manžeta pruža mehaničku čvrstoću i štiti spoj od vanjskih faktora poput vlage i prašine.





**Slika 8.** Priprema niti za postavljanje zaštite

*Izvor: Izradio autor*



**Slika 9.** Završni rezultat s postavljenom zaštitom

*Izvor: Izradio autor*

6. Testiranje spoja: Konačno, fuzijski spoj se testira kako bi se provjerila njegova kvaliteta. Koriste se specijalizirani uređaji poput optičkog reflektometra s vremenskom domenom (OTDR) ili fuzijskog spajача s ugrađenim mogućnostima testiranja kako bi se izmjerio gubitak spoja i osiguralo da zadovoljava potrebne specifikacije. Ako se utvrdi da je spoj neispravan ili ima prevelike gubitke, može biti potrebno ponovno izvršiti spoj.



**Slika 10.** Provjera nečistoća

*Izvor: Izradio autor*

Na zaslonu uređaja je prikazan način rada "CLEANING", ovaj način rada osigurava da su krajevi optičkih vlakana očišćeni i spremni za spajanje. Ta je provjera za postizanje kvalitetnog spoja, jer prljavština ili nečistoće mogu uzrokovati gubitke signala ili kvarove. Ovaj postupak osigurava da su krajevi vlakana bez nečistoća, što je ključno za uspješno spajanje i optimalan prijenos signala.

### 3.8. PROBLEMI SPAJANJA OPTIČKIH VLAKANA

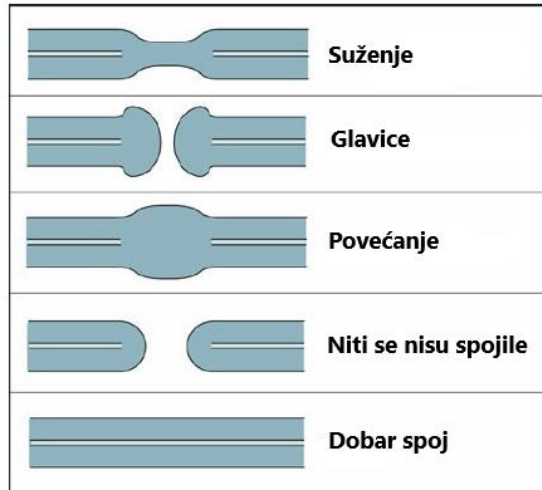
Greške kao što su crne točke ili linije, mogu se poboljšati ponavljanjem procesa sa električnim lukom, ali ne više od dva puta. Najbolje je uvijek ponoviti proces spajanja. Pogreške koje ne utječu na optički prijenos su prihvatljive, te su prikazane na slici.



**Slika 11.** Mane kod spajanja optičkih vlakana

*Izvor: Izradio autor*

Kod spajanja optičkih vlakana treba voditi računa o nekoliko osnovnih problema. Naime, neke su mane kao npr. neusklađenost vlakana neprihvatljive te zahtijevaju ponovno spajanje istih. Dolje se navedene te objašnjene pogreške koje zahtijevaju ponovno spajanje vlakana.



**Slika 12.** Pogreške kod spajanja optičkih vlakana

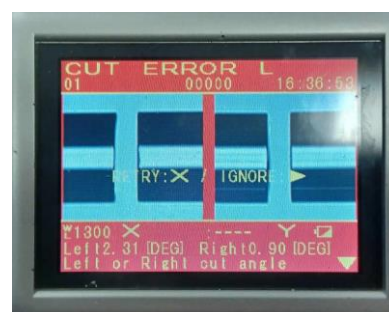
*Izvor: Izradio autor*

- suženje , događa se zato što je snaga fuzije prevelika, vrijeme fuzije predugo, razmak previše širok ili zbog kontaminirane elektrode
- glavice, događa se zbog kontaminirane elektrode, prevelike snage fuzije, predugog vremena fuzije ili zato što je razmak preveliki
- povećanje, događa se zbog neprilagođene snage fuzije
- niti se nisu spojile, događa se iz razloga što je snaga fuzije premala ili je vrijeme fuzije prekratko

Za vrijeme spajanja optičkih imali smo priliku istih ponovno spajati više puta radi navedenih razloga. Slijedeće slike prikazuju izgled zaslona našeg spajача u trenutku kad je došlo do loših spojeva.

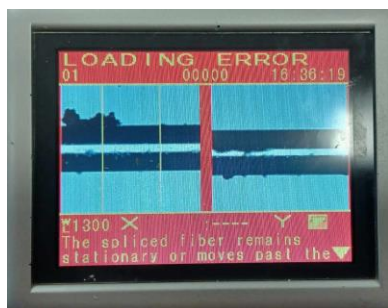


**Slika 13.** Prevelik iznos prigušenja



**Slika 14.** Greška radi loših rubova vlakana

*Izvor: Izradio autor*



**Slika 15.** Greška radi nepreciznog pozicioniranja vlakana



**Slika 16.** Greška fokusiranja zbog lošeg ruba

*Izvor: Izradio autor*

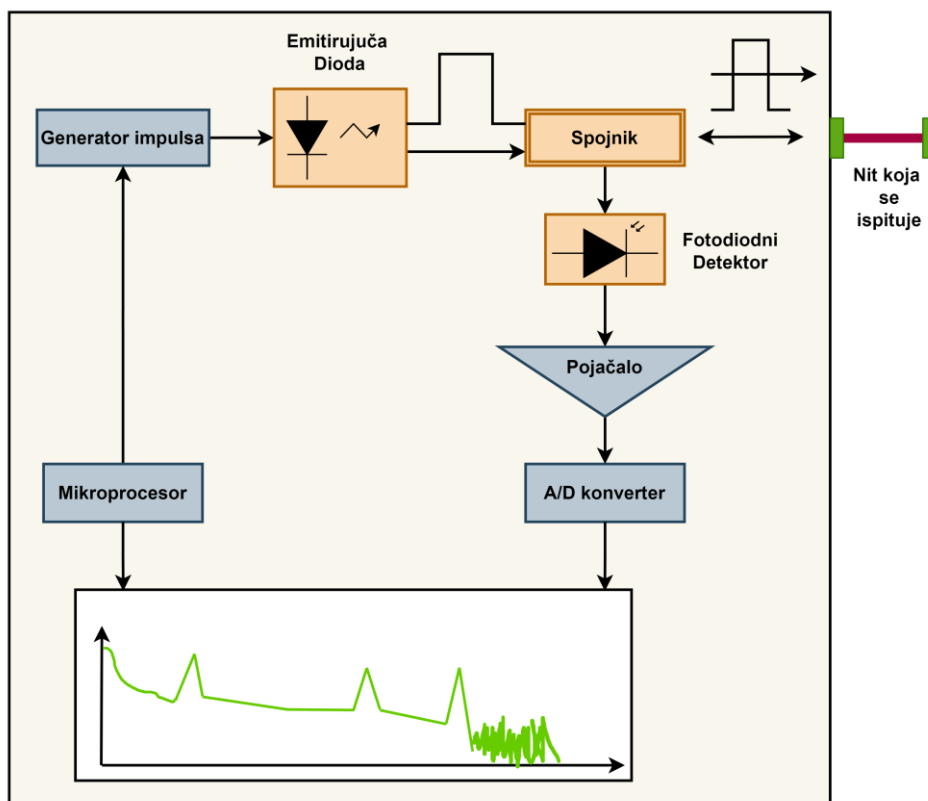
Spajачi uglavnom imaju pre instalirane programe za većinu vlakana , te korisnik ima mogućnost da istim promjeni po potrebi parametre ili da generira nove. Ponekad je to potrebno jer se često spajaju starija vlakna, bilo zbog obnove ili mijenjanja postojeće mreže. Starije niti mogu postati kruta i teška za očistiti, te ih samo spajati.

## 4. UVOD U OTDR

Optički vremenski reflektometar (OTDR) je tester za optičke niti namijenjen karakterizaciji optičkih mreža i vlakana. Svrha OTDR-a je detektirati, locirati i mjeriti događaje na bilo kojoj lokaciji na optičkom vlaknu. Jedna od glavnih prednosti OTDR-a je što djeluje kao jednodimenzionalni radar sustav, omogućujući potpunu karakterizaciju vlakana samo s jednog kraja. Razlučivost OTDR-a kreće se između 4 centimetra i 40 metara. Korištenjem OTDR-a generira se geografska informacija o lokaliziranim gubicima i reflektivnim događajima, pružajući tehničarima slikoviti i trajni zapis karakteristika niti. Taj zapis može služiti kao temeljna točka performansi niti.

### 4.1. TEHNOLOGIJA OTDR-A

OTDR ubacuje svjetlosnu energiju u vlakno putem laserske diode i generatora impulsa. Povratna svjetlosna energija odvojena je od ubrizganog signala pomoću spojnice i dovodi se do foto-dioda. Optički signal pretvara se u električnu vrijednost, pojačava, uzrokuje i prikazuje na zaslonu.



**Slika 17.** Blok shema OTDR-a

*Izvor: Izradio autor*

#### 4.1.1. Emitirajuće diode

Laserske diode su poluvodiči u kojima se svjetlost stvara električnom strujom. Emitirajuće diode biraju se prema središnjoj (ili vršnoj) valnoj duljini, spektralnoj širini valne duljine i izlaznoj snazi.

##### **Centralna valna duljina**

Središnja valna duljina je valna duljina na kojoj izvor emitira najveću snagu. Treba odražavati specifikacije ispitne valne duljine, na primjer, 850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1550 nm i 1625 nm ili 1650. Središnja valna duljina obično se navodi sa svojom nesigurnošću koja varira od  $\pm 30$  nm do  $\pm 3$  nm ( za specifične lasere s kontroliranom temperaturom).

##### **Spektralna širina**

Svjetlost se emitira u nizu valnih duljina sa središtem oko središnje valne duljine. Taj se raspon naziva spektralna širina izvora

## ***Izlazna snaga***

Za najbolje rezultate, što veći dio snage izvora spojen je na vlakno. Ključni zahtjev je da izlazna snaga izvora mora biti dovoljno jaka da osigura dovoljnu snagu detektoru na prijemnom kraju.

Postoje dvije glavne vrste emitirajućih dioda koje se koriste u OTDR tehnologiji: svjetlosne diode i laserske diode.

## **Svjetleće diode**

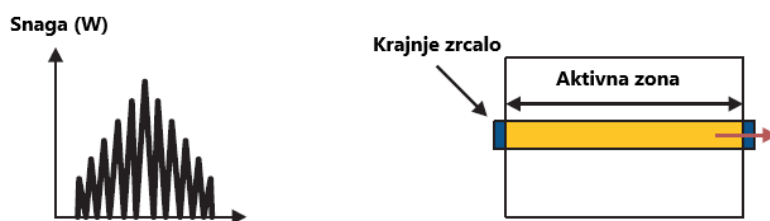
Svjetleća dioda (LED) je poluvodički uređaj koji emitira uski spektar svjetlosti. Ovaj efekt je oblik elektroluminiscencije. Općenito, LED diode su manje snažne od lasera, ali su puno jeftinije. LED diode se uglavnom koriste u multimodnim OTDR aplikacijama (850 i 1300 nm).

## ***Laserske diode***

Laser (pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja) je optički izvor koji emitira fotone u koherentnom snopu. Lasersko svjetlo sastoji se od jedne valne duljine emitirane u uskom snopu.

## ***Fabry Perot laser***

Fabry Perot (FP) laser najčešći je tip laserske diode koji se koristi u dizajnu OTDR-a. Isplativo je i ima sposobnost isporučivanja visoke razine izlazne snage. Uglavnom se koristi u jednomodnim OTDR aplikacijama na valnim duljinama 1310 nm, 1550 nm i 1625 ili 1650 nm. FP laseri emitiraju svjetlost na više diskretnih valnih duljina, dajući spektralnu širinu između 5 nm i 8 nm.



***Slika 18. Emitirani spektar Fabry Perot lasera i shematski dijagram Fabry Perot lasera***

*Izvor: Izradio autor*

## Laser s distribuiranom povratnom spregom

Laser s distribuiranom povratnom spregom (DFB) daleko je precizniji od jednostavnog Fabry Perot lasera, ali je njegova sposobnost isporuke izlazne snage mnogo manja. FP laseri emitiraju mnogo harmonika u rasponu valnih duljina od 5 nm i 8 nm. DFB laseri, s druge strane, odabiru samo jednu glavnu valnu duljinu u spektru FP lasera, osiguravajući usku spektralnu širinu od  $<0,1$  nm.



Slika 19. Emitirani spektar DFB lasera i shematski dijagram DFB lasera

Izvor: Izradio autor

U osnovi, DFB laser funkcionira kao FP laser osim što sadrži Braggovu rešetku unutar svoje šupljine između dva krajnja zrcala.

Tablica 3. Razlike između led i laser tehnologije

Značajke	LED	Laser
Izlazna snaga	Niža	Veća
Coupled power	Srednja	Visoka
Brzina	Spora	Brza
Propusnost	Srednja	Visoka
Valne duljina*	0,66 do 1,65 mm	0,78 do 1,65 mm
Širina spektra*	Šira ( 40 do 190 nm FWHM)	Uža ( 0,00001 do 10 nm FWHM)
Vrsta niti	Multimodalna	Monomodalna i multimodalna
Jednostavnost korištenja	Lakša	Teža
Zivotni vijek	Veći	Kraći
Cijena	Niža	Veća

OTDR-ovi s LED-om su najbolje prilagođeni za kratke udaljenosti i mreže s multimodnim vlaknima dok OTDR-ovi s laserom su bolji za dugometna mjerenja i mreže sa single-mode vlaknima, nude veću preciznost i dulje domete mjerenja uz višu cijenu.

#### 4.1.2. Korištenje generatora impulsa sa svjetlećom diodom

Generator impulsa upravlja laserskom diodom koja šalje snažne svjetlosne impulse (od 10 mW do 1 W) u vlakno. Ovi impulsi mogu imati širinu reda veličine od 2 ns do 20  $\mu$ s i frekvenciju ponavljanja impulsa od nekoliko kHz. Trajanje pulsa (širinu pulsa) može podesiti tehničar za različite uvjete mjerenja. Brzina ponavljanja impulsa ograničena je na brzinu kojom se vraćanje pulsa završava prije nego što se pokrene drugi impuls. Svjetlo prolazi kroz spojnicu/razdjelnik i ulazi u vlakno koje se testira.

OTDR mjeri vremensku razliku između odlaznog impulsa i ulaznih povratno raspršenih impulsa, otuda i termin vremenska domena. Razina snage povratno raspršenog signala i reflektiranog signala uzorkuje se tijekom vremena. Svaki izmjereni uzorak naziva se akvizicijska točka, a te se točke mogu iscrtati na skali amplitude s obzirom na vrijeme u odnosu na vrijeme lansiranja impulsa. OTDR zatim pretvara ovu informaciju o vremenskoj domeni u udaljenost, na temelju indeksa loma niti koji je unio korisnik.

Indeks loma koji unese korisnik obrnuto je proporcionalan brzini širenja svjetlosti u vlaknu. OTDR koristi ove podatke za pretvaranje vremena u udaljenost na OTDR zaslonu i dijeli ovu vrijednost s dva kako bi faktorirao povratno (ili dvosmjerno) putovanje svjetlosti u vlaknu. Ako je indeks loma koji je unio korisnik netočan ili neprecizan, te udaljenosti koje prikazuje OTDR mogu biti netočne.

Brzina širenja ili grupno kašnjenje svjetlosti u vlaknu:

$$V = \frac{c}{n} \approx \frac{3 \cdot 10^8}{1,5} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Gdje je V grupno kašnjenje, c je brzina svjetlosti u vakuumu ( $2,99792458 \times 10^8$  m/s), a n je indeks loma. OTDR pretvorba vremena u udaljenost (povratno putovanje):

$$L = V * \frac{t}{2} = \frac{c * t}{2 * n} = 10^8 * t$$

Gdje je L udaljenost (m), V je grupno kašnjenje, t je širina pulsa (s), c je brzina svjetlosti u vakuumu ( $2,99792458 \times 10^8$  m/s), a n je indeks loma.

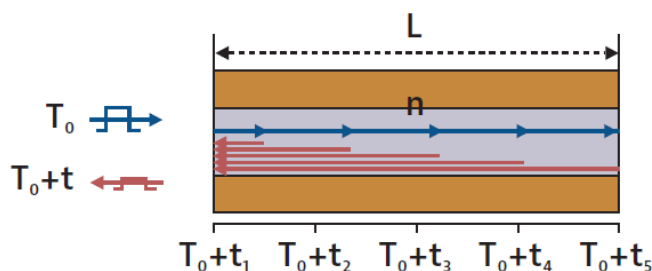


Primjer: za širinu impulsa od 10 ns,  $L = 108 \times 10 \text{ ns} = 1 \text{ m}$

#### 4.1.3. Upravljačka jedinica i mikroprocesor

Upravljačka jedinica je mozak OTDR-a. Očitava sve točke prikupljanja, izvodi izračune prosjeka, iscrtava ih kao logaritamsku funkciju vremena, a zatim prikazuje rezultirajući trag na OTDR zaslonu.

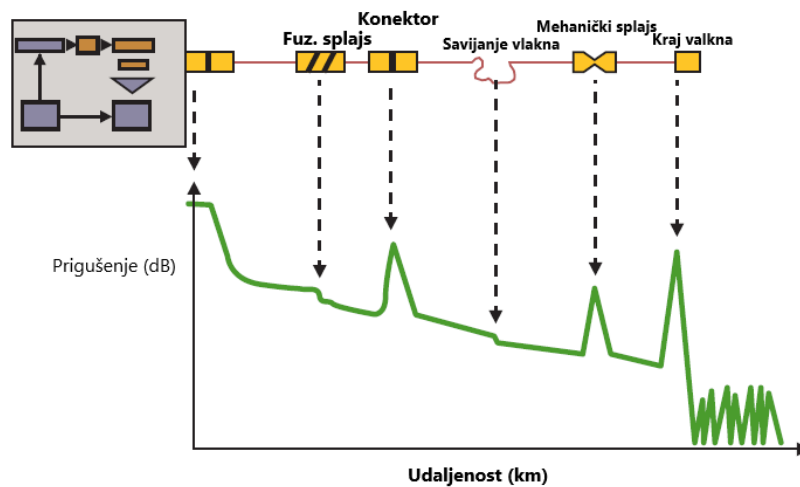
Vremenska baza kontrolira širinu impulsa, razmak između sljedećih impulsa i generiranje signala. Veći broj prolaza se koristi za poboljšanje omjera signala i šuma rezultirajućeg traga. Budući da je šum slučajan, prikupljaju se mnoge podatkovne točke na danoj udaljenosti i izračunava prosjek. To omogućuje prosječnu razinu buke i približavanje nuli. Rezultirajući podaci točnije predstavljaju razinu povratnog raspršenja ili refleksije u danoj točki. OTDR može prikupiti do 128 000 podatkovnih točaka i može poslati tisuće impulsa. Stoga je imperativ da OTDR procesor bude vrlo moćan, pružajući tehničaru brzo mjerenje performansi i analiza.



**Slika 20.** Princip generiranja impulsa OTDR-a

*Izvor: Izradio autor*

OTDR zaslon prikazuje okomitu ljestvicu prigušenja u dB i vodoravnu ljestvicu udaljenosti u km (ili stopama). Iscrtavaju se brojne akvizicijske točke koje predstavljaju potpis povratnog raspršenja niti koje se testira.



**Slika 21.** Prikaz signala na zaslonu OTDR-a

*Izvor: Izradio autor*

## 4.2. TESTIRANJE POMOĆU OTDR-A

Najmoderniji OTDR uređaji automatski odabiru optimalne akvizicijske parametre za određeno vlakno slanjem testnih impulsa u procesu poznatom kao automatska konfiguracija. Koristeći značajku automatske konfiguracije, tehničar odabire valnu duljinu (ili valne duljine) za testiranje, vrijeme akvizicije (ili prosječno vrijeme), i parametre niti (npr. indeks prelamanja, ako već nisu uneseni).

Postoje tri glavna pristupa konfiguriranju OTDR-a:

- Tehničar može jednostavno dopustiti OTDR-u da se automatski konfigurira i prihvati parametre akvizicije koje je odabrao OTDR.
- Iskusniji tehničar može dopustiti OTDR-u da se automatski konfigurira, ali će zatim tehničar kratko analizirati rezultate i promijeniti jedan ili više parametara akvizicije kako bi optimizirao konfiguraciju za određene testne zahtjeve.
- Iskusni tehničar može odlučiti ne koristiti značajku automatske konfiguracije uopće i unijeti parametre akvizicije na temelju svojeg iskustva i znanja o vezi koja se testira.

OTDR omogućuje tehničarima izvođenje mjerenja na optičkom sustavu na tri različita načina: potpuno automatsko, poluautomatsko i ručno mjerenje. Tehničari također mogu koristiti kombinaciju ovih metoda.

#### 4.2.1. Metode korištenja OTDR-a

##### 1. Potpuno automatska metoda (Full-Automatic Method):

U ovoj metodi, OTDR automatski detektira i mjeri sve događaje, dijelove i krajeve vlakana koristeći unutarnji algoritam detekcije. Tehničar jednostavno pokreće postupak mjerenja i OTDR samostalno obavlja sve korake, uključujući identifikaciju događaja, određivanje dužina dijelova vlakana te mjerenje gubitaka i reflektivnosti.

##### 2. Poluautomatska metoda (Semi-Automatic Method):

U ovoj metodi, tehničar aktivno sudjeluje u nekim koracima mjerenja, dok OTDR obavlja ostatak postupka automatski. Na primjer, tehničar može ručno označiti početak i kraj mjerenja ili odabrati određene događaje za mjerenje, dok OTDR i dalje automatski mjeri gubitke, reflektivnost i druge parametre.

##### 3. Ručna metoda (Manual Method):

Ova metoda uključuje potpunu kontrolu tehničara nad postupkom mjerenja. Tehničar ručno postavlja parametre mjerenja, kao što su duljina niti, početna i završna točka mjerenja te odabir događaja koji se mjere. Nakon postavljanja parametara, tehničar pokreće mjerenje, a OTDR prikazuje rezultate na temelju ručno postavljenih parametara. Ova metoda zahtijeva više sudjelovanja i pažnje od strane tehničara, ali omogućuje veću kontrolu nad postupkom mjerenja.

### 4.3. OTDR VALNA DULJINA

Ponašanje optičkog sustava izravno je povezano s njegovom valnom duljinom prijenosa. Optičko vlakno pokazuje različite karakteristike gubitaka pri različitim valnim duljinama. Nadalje, vrijednosti gubitaka spojeva također se razlikuju pri različitim valnim duljinama.

Općenito, vlakno bi trebalo biti testirano koristeći istu valnu duljinu koja se koristi za prijenos signala. Stoga se valne duljine od 850 nm i/ili 1300 nm koriste za multimodalne sustave, dok se valne duljine od 1310 nm i/ili 1550 nm koriste za jednomodalne sustave. Ako se testiranje provodi samo na jednoj valnoj duljini, treba uzeti u obzir sljedeće parametre:

1. Za određeni dinamički raspon, korištenje valne duljine od 1550 nm omogućuje veće udaljenosti duž iste niti u usporedbi s valnom duljinom od 1310 nm zbog manjeg gubitka unutar.

- Gubitak od 0.35 dB/km na 1310 nm znači da se otprilike 1 dB signala izgubi svakih 3 km.

- Gubitak od 0.2 dB/km na 1550 nm znači da se otprilike 1 dB signala izgubi svakih 5 km.

2. Jednomodalno vlakno ima veći promjer načina polja na 1550 nm nego na 1310 nm, te na 1625 nm nego na 1550 nm. Veći promjer načina polja manje je osjetljiv na lateralno pomaknuće tijekom spajanja, ali je osjetljiviji na gubitke uzrokovane savijanjem tijekom instalacije ili procesa kabliranja.

- 1550 nm je osjetljiviji na savijanja u vlaknu od 1310 nm. To se naziva makro savijanje.

- 1310 nm će općenito mjeriti gubitke spojeva i konektora više nego 1550 nm.

#### 4.4. MOGUĆNOSTI MJERENJA OTDR-A

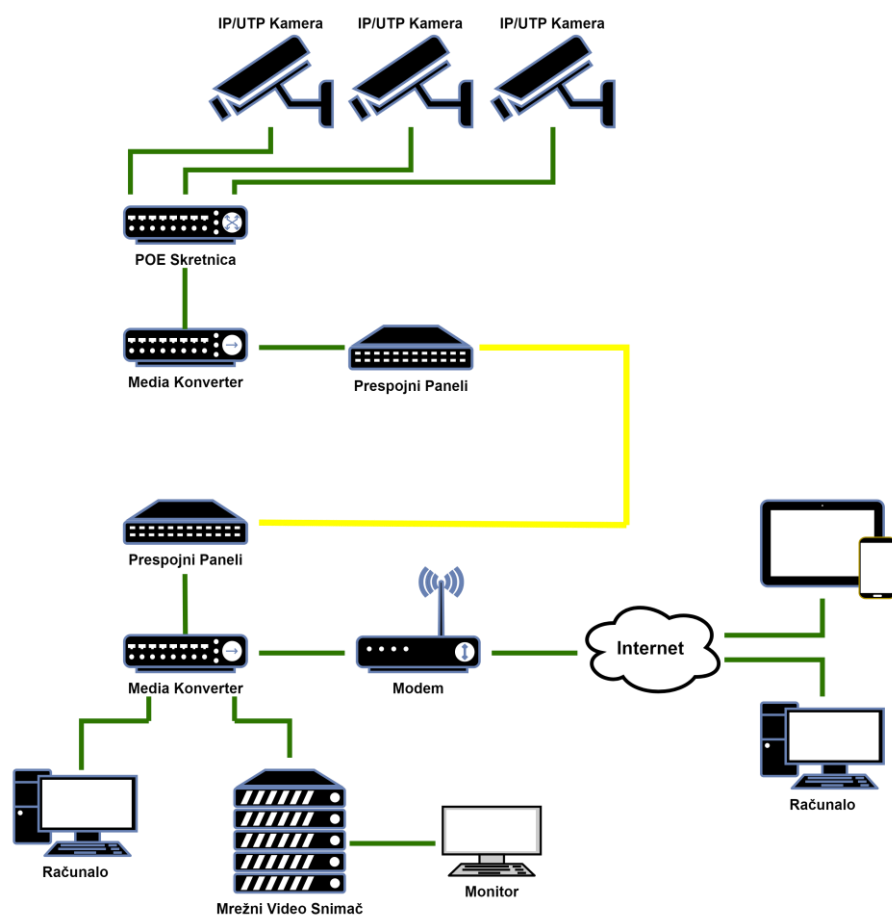
Mjerenje ukupnog gubitka i refleksije su samo jedne od mogućnosti koje pružaju OTDR-ovi. Mjerenjem reflektiranog svjetla duž niti, uređaj može identificirati i kvantificirati različite događaje poput spojeva, konektora i grešaka. Na temelju reflektiranog signala, OTDR ima mogućnost generirati graf koji prikazuje ove događaje na specifičnim udaljenostima. Na taj način, OTDR omogućuje precizno lociranje i procjenu stanja pojedinih dijelova sustava kao i cjelokupnog sustava, što je ključno za održavanje i optimizaciju optičke mreže.

**Tablica 4.** Mogućnosti mjerenja OTDR-a

Za svaki događaj (event):	Za svaki dio niti:	Za kompletan završeni sustav:
Udaljenost lokacije (mjesto događaja)	Dužina odjeljka	Duljina veze
Gubitak (loss)	Prigušenje odjeljka (u dB)	Ukupno prigušenje veze (u dB)
Refleksija (reflectance)	Stopa prigušenja odjeljka (u dB/km)	ORL veze
	Optički povratni gubitak (ORL) odjeljka	

## 5. REZULTATI MJERENJA U REALNOM SUSTAVU

Pomoću OTDR uređaja izvršili smo mjerenja dijelova sustava, kao i cjelokupnog sustava. Analizom reflektiranog svjetla duž optičke nit, precizno smo identificirali i kvantificirali ključne događaje poput spojeva, konektora i mogućih grešaka. Ova mjerenja omogućila su nam da procijenimo stanje pojedinih dijelova sustava te osiguramo optimalan rad i pouzdanost cijelog sustava.



Slika 22. Dijagram shema realnog sustava

Izvor: Izradio autor

Ovaj IP CCTV sustav koristi POE skretnicu za olakšano ožičenje IP kamere, pružajući i podatke i napajanje putem jednog kabela. Žuta linija prikazuje optički kabel koji spaja lučko područje s kontrolnim centrom koji su međusobno udaljeni gotovo 3 km. Media konverter i prespojni panel

su potrebni uređaji za konverziju signala između različitih tipova kabela, u ovom slučaju optičkog i bakrenog (Ethernet), što je potrebno za postizanje prijenos signala na toliko veliku udaljenost. Sustav je povezan s mrežnim video snimačem, koji snima i pohranjuje video snimke s kamera , a cijeli sustav je povezan na internet za lokalni i daljinski pristup. Lokalno računalo omogućuje upravljanje na licu mjesta, dok ostali udaljeni uređaji, poput računala i mobilnih uređaja, mogu se povezati putem interneta omogućavajući daljinski nadzor i upravljanje operativnog područja uživo ili radi pregledavanje unatrag snimljenih videa.

## **5.1. OPIS MJERENJA**

Sustav koristi monomodalni kabel s 12 niti. Za prijenos signala i upravljanje potrebna su nam dvije niti, jedan iz operativnog djela luka prema kontrolnom centru i obrnuto. Ostala su vlakna za rezervu radi buduća unaprjeđenja sustava, dodavanja novih kamera ili drugih uređaja. Mjerili smo zasebne dijelove sustava te i cjelokupni sustav u oba smjera.

Za ova mjerenja koristili smo OTDR uređaj marke Fluke, model OptiFiber OFTM-5731. Ovaj uređaj omogućava precizna mjerenja optičkih karakteristika kabela, uključujući ukupni gubitak, refleksiju i optički povratni gubitak (ORL). Za mjerenja sustava koristili smo potpunu automatsku metodu. Prikazani rezultati se odnose na valne duljine 1350/1550 nm. Izmjereni su slijedeći parametri: udaljenost, gubitak, koeficijent atenuacije, maksimalno ograničenje, te povratni gubitak (ORL) .

## 5.2. OTDR SPECIFIKACIJE UREĐAJA

**Tablica 5.** Specifikacije uređaja Fluke Networks OFTM-5611

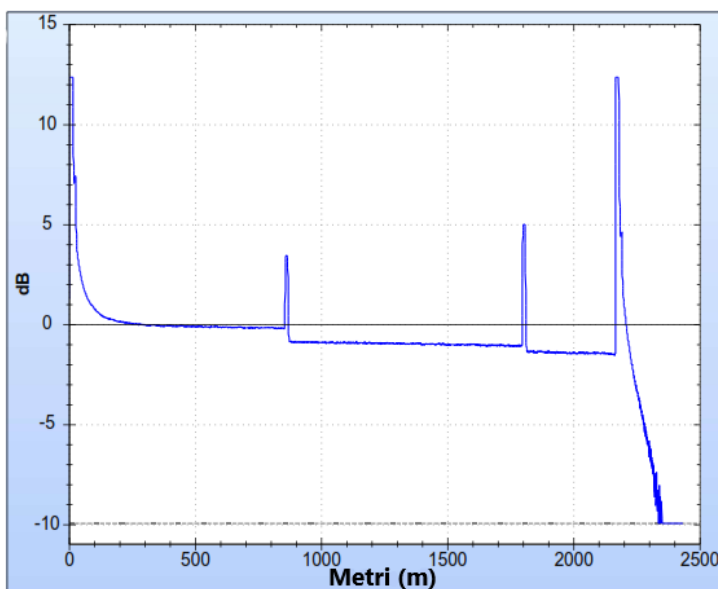
Ključne značajke	Multimodalne	Monomodalne
Ulazno/izlazni konektori	SC/UPC uklonjivi	SC/UPC uklonjivi
Valna duljina*1	850 ± 20nm and 1300 ± 25 nm	1310 ± 25 nm and 1550 ± 30 nm
Testirana vrsta niti	50/125 μm or 62.5/125 μm multimode	9/125 μm singlemode
Mrtva točka*2	850 nm: 0,5 m 1300 nm: 1,3 m	1310/1550 nm: 1 m
Prigušenje mrtve točke*3	850 nm: 4,5 m 1300 nm: 10,5 m	1310/1550 nm: 8 m
Širina impulsa	850 nm: 4 ns, 20 ns 1300 nm: 8 ns, 40 ns, 100 ns, 200 ns, 400 ns, 650 ns	1310/1550 nm: 5 ns, 20 ns, 40 ns, 100 ns, 300 ns, 1 μs, 3 μs, 10 μs
Maksimalni domet	850 nm: 3km, 1300 nm: 7 km	1310/1550 nm: 60 km
Dinamički raspon*4	850 nm: 15 dB 1300 nm: 14 dB	1310 nm: 26 dB 1550 nm: 24 dB
Brzina testiranja	<10s za dvije valne duljine na 2 km s 25 cm rezolucije <30s za dvije valne duljine na 400 m s 3 cm rezolucije	Auto OTDR 15 s Manual OTDR 15 s do 3 min
Izlazna snaga*5	850 nm: >110 mW-pk 1300 nm: >22 mW-pk	1310 nm: >28 mW-pk 1550 nm: > 24 mW-pk
Prag gubitka*6	0,2 dB	0,01 dB do 1,5 dB
Linearnost*7	± 0,07 dB/dB	± 0,05 dB/dB
Rezolucija uzorka*8	3 cm do 50 cm	3 cm do 400 cm
Refleksijska točnost	± 4 dB	± 4 dB
ORL točnost	± 4 dB	± 4 dB
Klasifikacija	Class 1 CDRH, udovoljava EN 60825-2	

- 1\* - Valna duljina: OTDR-ovi mjere prema valnoj duljini. Trenutne valne duljine za OTDR su 850 nm i 1300 nm za višemodna vlakna i 1310 nm, 1550 nm i 1625 ili 1650 nm za jednomodna nit. Laserska dioda od 1625 nm može se koristiti u sustavima daljinskog nadzora koji prenose promet uživo. Svrha korištenja valne duljine od 1625 ili 1650 nm je izbjegavanje smetnji s prometom na 1310 nm i oko 1550 nm.
- 2\* - Mrtva točka: Najkraća udaljenost između dva reflektirana događaja koje uređaj može razlikovati. Izražava se u metrima.



- 3\* - Prigušenje mrtve točke: Najkraća udaljenost na kojoj uređaj može točno izmjeriti prigušenje bez smetnji. Također se izražava u metrima.
- 4\* - Dinamički raspon: Mjera najveće razlike u razini signala koju uređaj može pouzdano izmjeriti. To je ključna značajka za mjerenje udaljenosti i gubitka.
- 5\* - Izlazna snaga: Snaga svjetlosnog signala koju uređaj emitira. Obično se izražava u decibelima milivata (dBm).
- 6\* - Prag gubitka: Najmanji gubitak signala koji uređaj može detektirati i prikazati.
- 7\* - Linearnost: Točnost mjerenja prigušenja duž nit.
- 8\* - Rezolucija uzorka: Mjera najmanje promjene u udaljenosti koju uređaj može detektirati. Bolja rezolucija omogućava preciznije lokacije grešaka.

### 5.3. OPIS CJELOKUPNOG MJERENOG SIGNALA



**Slika 23.** Prikaz mjernog signala realnog sustava 1350 nm

*Izvor: Izradio autor*

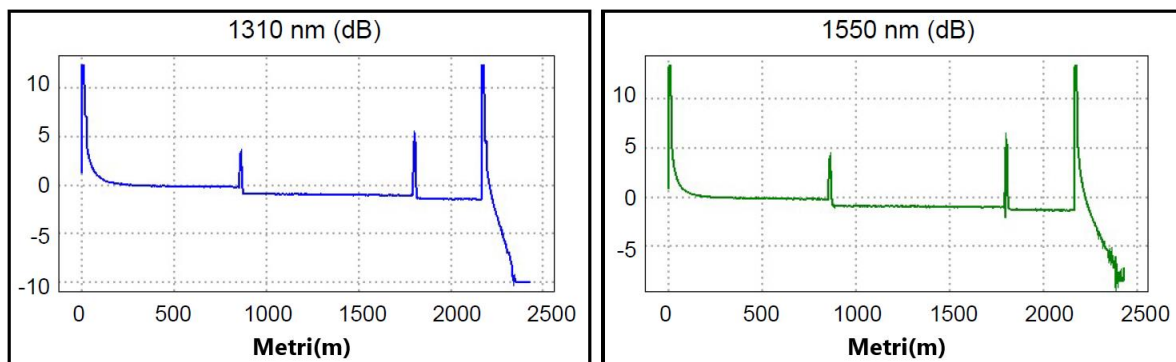
Trag ukazuje na lokacije značajnih događaja duž niti, što u ovom slučaju predstavljaju konektore.

Y-os (dB): predstavlja gubitak signala u decibelima. Veća vrijednost ukazuje na veći gubitak signala.

X-os (Metri): predstavlja udaljenost duž niti u metrima.

Na početku traga postoji strm pad signala, što je tipično i ukazuje na početak mjerenja iz OTDR-a. Okomiti šiljci i koraci duž traga predstavljaju događaje poput konektora i spojeva. Prvi Događaj (~900 metara): Značajan šiljak koji ukazuje na moguću refleksiju, što ukazuje na konektor. Drugi Događaj (~1800 metara): Još jedan značajan šiljak, koji ukazuje na drugi konektor. Na kraju traga, postoji oštar pad prema dolje, ta završna refleksija ukazuje na kraj niti.

## 5.4. REZULTATI MJERENJA OPTIČKOG SUSTAVA



**Slika 24.** Prikaz signala sustava 1310/1550nm

*Izvor: Izradio autor*

Duljina niti: 2165,4 metara

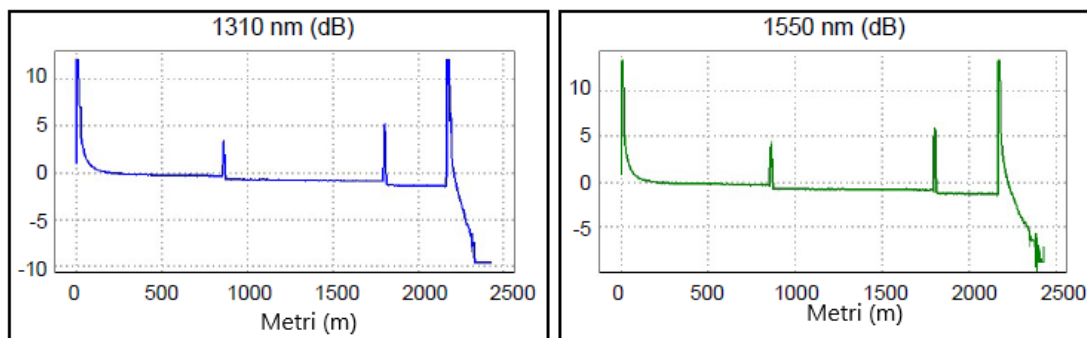
- Margina gubitka: 3,52 dB
- Ukupni gubitak (dB): 1,48 dB (1310 nm), 1,33 dB (1550 nm)
- Ukupni koeficijent atenuacije: 0,24 dB/km (1310 nm), 0,19 dB/km (1550 nm)
- Reflektancija: > -28,77 dB (1310 nm), > -29,44 dB (1550 nm)

Događaji reflektancije:

- Na 2165,4 metara: Reflektancija > -28,77 dB (1310 nm), > -29,44 dB (1550 nm)
- Na 1796,7 metara: Reflektancija -47,83 dB (1310 nm), -48,88 dB (1550 nm)
- Na 855,81 metara: Reflektancija -53,39 dB (1310 nm), -54,28 dB (1550 nm)

Događaji atenuacije:

- Na 2165,4 metara: Atenuacija 0,29 dB (1310 nm), 0,26 dB (1550 nm)
- Na 1796,7 metara: Atenuacija 0,29 dB (1310 nm), 0,26 dB (1550 nm)
- Na 855,81 metara: Atenuacija 0,66 dB (1310 nm), 0,65 dB (1550 nm)



**Slika 25.** Prikaz signala sustava 1310/1550nm

*Izvor: Izradio autor*

Duljina niti: 2165,7 metara

- Margina gubitka: 3,63 dB
- Ukupni gubitak (dB): 1,37 dB (1310 nm), 1,32 dB (1550 nm)
- Ukupni koeficijent atenuacije: 0,28 dB/km (1310 nm), 0,27 dB/km (1550 nm)
- Reflektancija: > -29,43 dB (1310 nm), > -29,50 dB (1550 nm)

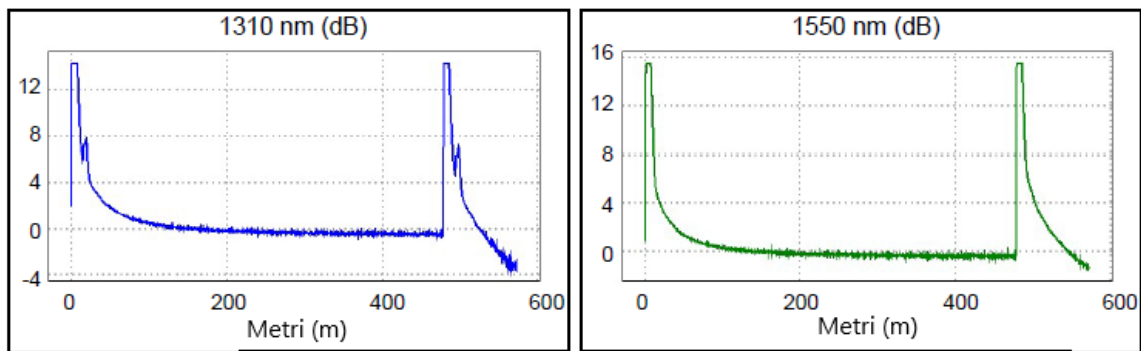
Događaji reflektancije:

- Na 2165,7 metara: Reflektancija > -29,43 dB (1310 nm), > -29,50 dB (1550 nm)
- Na 1796,9 metara: Reflektancija -47,96 dB (1310 nm), -49,14 dB (1550 nm)
- Na 855,81 metara: Reflektancija -53,49 dB (1310 nm), -54,56 dB (1550 nm)

Događaji atenuacije:

- Na 2165,4 metara: Atenuacija 0,29 dB (1310 nm), 0,18 dB (1550 nm)
- Na 1796,7 metara: Atenuacija 0,26 dB (1310 nm), 0,23 dB (1550 nm)
- Na 855,81 metara: Atenuacija 0,31 dB (1310 nm), 0,35 dB (1550 nm)

Mjerenja su pokazala da su niti prošle opći test s značajnom rezervom. Vrijednosti reflektancije i gubitka su unutar prihvatljivih granica, što ukazuje na kvalitetnu instalaciju niti. Ukupni koeficijenti slabljenja obe niti ,za obje valne duljine su unutar tipičnih raspona za jednomodne niti. Ovo mjerenje pokazuje zdravu vezu optičkog vlakna s minimalnim gubicima i dobrim vrijednostima reflektancije, što ukazuje na optimalne performanse mreže.

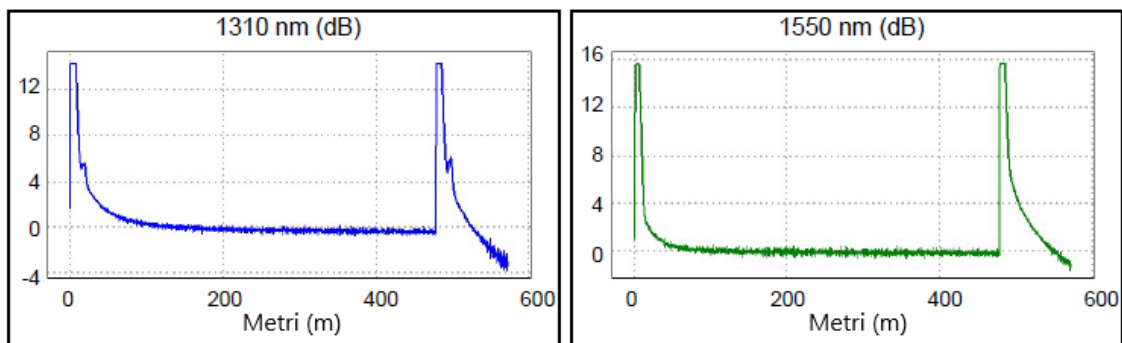


**Slika 26.** Prikaz signala sustava 1310/1550nm

*Izvor: Izradio autor*

Ukupna duljina: 478,1 metara

- Ukupni gubitak: 1310 nm: 0,52 dB (granica: 5,00 dB), 1550 nm: 0,43 dB (granica: 5,00 dB)
- Optički povratni gubitak (ORL):: < 32,15 dB (1310 nm), < 32,57 dB (1550 nm)
- Ukupni koeficijent atenuacije: 1,09 dB/km (1310 nm), 0,91 dB/km ( 1550) nm
- Reflektancija: > -29,09 dB (1310 nm), > -30,38 dB (1550 nm)



**Slika 27.** Prikaz signala sustava 1310/1550nm

*Izvor: Izradio autor*

### **Ukupna Duljina: 478,2 metara**

- Ukupni gubitak: 1310 nm: 0,39 dB (granica: 5,00 dB), 1550 nm: 0,18 dB (granica: 5,00 dB)
- Optički povratni gubitak (ORL):: < 32,38 dB (1310 nm), < 32,69 dB (1550 nm)
- Ukupni koeficijent atenuacije: 0,82 dB/km (1310 nm), 0,39 dB/km ( 1550) nm
- Reflektancija: > -29,45 dB (1310 nm), > -29,69 dB (1550 nm)

Temeljem četiri izvješća o testiranju optičkih vlakana oba kabela su prošla testove unutar specificiranih granica, pokazujući prihvatljive performanse. Ukupni gubitak signala, optički povratni gubitak (ORL) i refleksija za obje valne duljine (1310 nm i 1550 nm) su unutar propisanih granica, što ukazuje na visoku kvalitetu i pouzdanost kabela. Mjerenja su obavljena bez kompenzacije lansiranja, koristeći automatske postavke OTDR-a, te su pokazala minimalne gubitke i stabilne performanse kroz cijelu duljinu kabela. Ovi rezultati potvrđuju da su optički kabela spremni za upotrebu.

## 6. ZAKLJUČAK

Naposljetku, optičke niti ključni su elementi suvremenih CCTV sustava, pružajući visoku propusnost, dugotrajno prijenosno rastojanje, imunitet na smetnje, sigurnost te fleksibilnost. Njihova sposobnost učinkovitog prijenosa video signala čini ih nezamjenjivim dijelom sigurnosne infrastrukture, pomažući u osiguranju sigurnosti i zaštiti u različitim okruženjima diljem svih dijelova jedne pomorske luke.

Dolaskom optičkog kabla do krajnjeg korisnika ponekad je nužno konfigurirati interijer na način da je optički kabel potrebno kratiti i respajati. To podrazumijeva upotrebu jedne od tehnika spajanja (eng. *splicing*), no međutim, ako je riječ o velikoj infrastrukturi koja je udaljena od centralnog objekta, postoji mogućnost da kabel moramo nastavljati zbog zahtijevane udaljenosti. Korištenjem uređaja *Fitsel* jednostavno se mogu stvoriti duži optički spojevi za kvalitetniji i daleki optički prijenos signala. Pomoću unaprijed instaliranih programa uporaba spajča je vrlo jednostavna i brza. Prenosnje uređaja uvelike je olakšano zahvaljujući baterije koja omogućava njegovo korištenje na bilo kojem djelu mreže gdje je potreban novi spoj. Ispitivanje optičkih vlakana igra ključnu ulogu u osiguravanju pouzdanosti, performansi i dugovječnosti mreža optičkih vlakana.

Testiranjem pomoću OTDR-a osiguravamo da instalirane komponente sustava zadovoljavaju potrebne standarde i specifikacije, provjeravaju se i performanse komponenti mreže, uključujući kablove, konektore, spojeve i završetke. Ovim putem osiguravamo da mreža može pouzdano prenositi podatke potrebnom brzinom i uz minimalan gubitak signala. U slučaju kvara, OTDR olakšava određivanje mjesta i prirode istog. Analizirajući rezultate ispitivanja, tehničari mogu identificirati greške kao što su lomovi, savijanja ili neispravni konektori te poduzeti odgovarajuće korektivne radnje.

## **PRILOZI**





**Cable ID: VAK-INFO1**

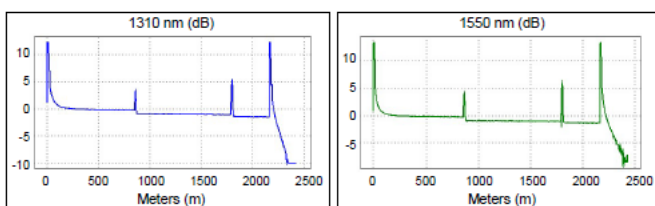
Date / Time: 05/06/2022 12:54:05 PM n = 1.467700 (1310 nm)  
 Cable Type: Generic, SMF n = 1.468200 (1550 nm)  
 End1 Name: GLAVNI SERVER End2 Name: SERVER 1

**Test Summary: PASS**

Backscatter Coefficient: -80.0dB (1310 nm)  
 Backscatter Coefficient: -82.5dB (1550 nm)

**OTDR End1 PASS**

Test Limit: General Fiber Auto OTDR 1310 nm 1550 nm  
 Limits Version: Range (Auto) 2474 m 2473 m  
 Date / Time: Resolution (Auto) 0.51 m 0.26 m  
 Operator: Pulse Width (Auto) 100 ns 100 ns  
 Versiv Averaging Time (Auto) 8 s 13 s  
 S/N: 9086014 Loss Threshold (Auto) 0.10 dB 0.10 dB  
 Software Version: V2.0.5  
 Module: OptiFiber (OFTM-5731)  
 S/N: 9327002  
 Calibration Date: 01/02/2007  
 No Launch Compensation



Measurements	Status	1310 nm		1550 nm	
		Value	Limit	Value	Limit
Overall Length (m)	PASS	2165.4	5.00	1.33	5.00
Overall Loss (dB)		1.48		< 32.83	
ORL (dB)		< 32.34			
Overall Attn Coeff (dB/km)		0.24		0.19	
<b>Events</b>					
2165.4 m End					
Reflectance (dB)		> -28.77		> -29.44	
Attn Coeff (dB/km)		0.29		0.14	
1796.7 m Reflection	PASS		0.75	0.26	0.75
Loss (dB)		0.29		-48.88	
Reflectance (dB)		-47.83		0.16	
Attn Coeff (dB/km)		0.24			
855.81 m Reflection	PASS		0.75	0.65	0.75
Loss (dB)		0.66		-54.28	
Reflectance (dB)		-53.39		0.24	
Attn Coeff (dB/km)		0.24			
0.00 m OTDR Port					
Reflectance (dB)		> -31.00		> -31.58	

**Cable ID: VAK-INFO2**

Date / Time: 05/06/2022 12:55:11 PM n = 1.467700 (1310 nm)  
 Cable Type: Generic, SMF n = 1.468200 (1550 nm)  
 End1 Name: GLAVNI SERVER End2 Name: SERVER 1

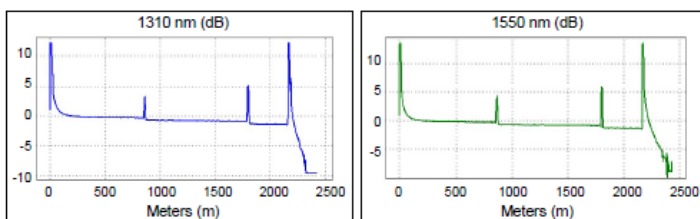
**Test Summary: PASS**

Backscatter Coefficient: -80.0dB (1310 nm)  
 Backscatter Coefficient: -82.5dB (1550 nm)

**OTDR End1 PASS**

Test Limit: General Fiber  
 Limits Version:  
 Date / Time:  
 Operator:  
 Versiv  
 S/N: 9086014  
 Software Version: V2.0.5  
 Module: OptiFiber (OFTM-5731)  
 S/N: 9327002  
 Calibration Date: 01/02/2007  
 No Launch Compensation

Auto OTDR  
 Range (Auto) 1310 nm 1550 nm  
 2474 m 2473 m  
 Resolution (Auto) 0.51 m 0.26 m  
 Pulse Width (Auto) 100 ns 100 ns  
 Averaging Time (Auto) 5 s 16 s  
 Loss Threshold (Auto) 0.10 dB 0.10 dB



Measurements	Status	1310 nm		1550 nm	
		Value	Limit	Value	Limit
Overall Length (m)	PASS	2165.7	5.00	1.32	5.00
Overall Loss (dB)		1.37		1.32	
ORL (dB)		< 32.12		< 32.78	
Overall Attn Coeff (dB/km)		0.28		0.27	
<b>Events</b>					
2165.7 m End					
Reflectance (dB)		> -29.43		> -29.50	
Attn Coeff (dB/km)		0.29		0.18	
1796.9 m Reflection	PASS		0.75	0.39	0.75
Loss (dB)		0.43		-49.14	
Reflectance (dB)		-47.96		0.23	
Attn Coeff (dB/km)		0.26			
855.81 m Reflection	PASS		0.75	0.34	0.75
Loss (dB)		0.33		-54.56	
Reflectance (dB)		-53.49		0.35	
Attn Coeff (dB/km)		0.31			
0.00 m OTDR Port					
Reflectance (dB)		> -31.52		> -31.63	



**Cable ID: VAK-LU1**

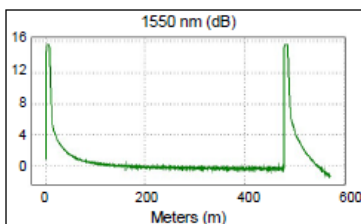
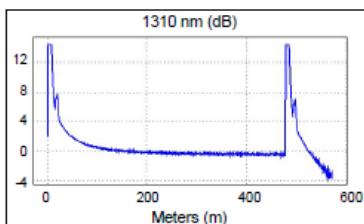
Date / Time: 05/06/2022 12:52:53 PM n = 1.467700 (1310 nm)  
 Cable Type: Generic, SMF n = 1.468200 (1550 nm)  
 End1 Name: GLAVNI SERVER End2 Name: SERVER 1

**Test Summary: PASS**

Backscatter Coefficient: -80.0dB (1310 nm)  
 Backscatter Coefficient: -82.5dB (1550 nm)

**OTDR End1 PASS**

Test Limit: General Fiber Auto OTDR 1310 nm 1550 nm  
 Limits Version: Range (Auto) 614 m 613 m  
 Date / Time: 05/06/2022 12:52:53 PM Resolution (Auto) 0.26 m 0.26 m  
 Operator: ANTONIO Pulse Width (Auto) 40 ns 40 ns  
 Versiv Averaging Time (Auto) 7 s 15 s  
 S/N: 9086014 Loss Threshold (Auto) 0.10 dB 0.10 dB  
 Software Version: V2.0.5  
 Module: OptiFiber (OFTM-5731)  
 S/N: 9327002  
 Calibration Date: 01/02/2007  
 No Launch Compensation



Measurements	Status	1310 nm		1550 nm	
		Value	Limit	Value	Limit
Overall Length (m)	PASS	478.12	5.00	0.43	5.00
Overall Loss (dB)		0.52		0.43	
ORL (dB)		< 32.15		< 32.57	
Overall Attn Coeff (dB/km)		1.09		0.91	
<b>Events</b>					
478.12 m End					
Reflectance (dB)		> -29.09		> -29.56	
Attn Coeff (dB/km)		1.09		0.91	
0.00 m OTDR Port					
Reflectance (dB)		> -30.38		> -31.05	



**Cable ID: VAK-LU2**

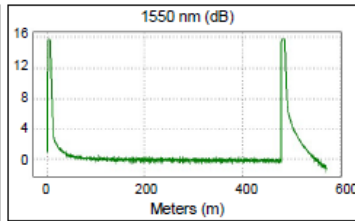
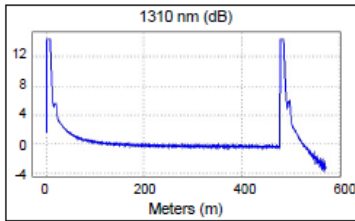
Date / Time: 05/06/2022 12:51:10 PM n = 1.467700 (1310 nm)  
 Cable Type: Generic, SMF n = 1.468200 (1550 nm)  
 End1 Name: GLAVNI SERVER End2 Name: SERVER 1

**Test Summary: PASS**

Backscatter Coefficient: -80.0dB (1310 nm)  
 Backscatter Coefficient: -82.5dB (1550 nm)

**OTDR End1 PASS**

Test Limit: General Fiber Auto OTDR 1310 nm 1550 nm  
 Limits Version: Range (Auto) 614 m 613 m  
 Date / Time: 05/06/2022 12:51:10 PM Resolution (Auto) 0.26 m 0.26 m  
 Operator: ANTONIO Pulse Width (Auto) 40 ns 40 ns  
 Versiv Averaging Time (Auto) 5 s 13 s  
 S/N: 9086014 Loss Threshold (Auto) 0.10 dB 0.10 dB  
 Software Version: V2.0.5  
 Module: OptiFiber (OFTM-5731)  
 S/N: 9327002  
 Calibration Date: 01/02/2007  
 No Launch Compensation



Measurements	Status	1310 nm		1550 nm	
		Value	Limit	Value	Limit
Overall Length (m)	PASS	478.22	5.00	0.18	5.00
Overall Loss (dB)		0.39		< 33.69	
ORL (dB)		< 32.38			
Overall Attn Coeff (dB/km)		0.82		0.39	
<b>Events</b>					
478.22 m End					
Reflectance (dB)		> -29.45		> -29.69	
Attn Coeff (dB/km)		0.82		0.39	
0.00 m OTDR Port					
Reflectance (dB)		> -30.49		> -30.67	

## LITERATURA

- 1) Blundell, B. G. (2020.) Surveillance: Technologies, Techniques and Ramifications. *Ethics in Computing, Science, and Engineering*, str. 211-292.
- 2) Chen, W., Javidi, B. i Chen, X. (2014.) Advances in Optical Security Systems. *Advances in Optics and Photonics*, 6 (2), str. 120-155.
- 3) Collins, D. (20. travanj 2023.) Understanding NVR Storage: Types, Capacity and Best Practices. *Wasabi.com*. Web domena: , 11.06.2024., 00:01h.
- 4) Crnčić, K. (2. studeni 2021.) Što je optičko vlakno? *From.hr*. Web domena: , 12.06.2024., 09:46h.
- 5) Flannery, S. (21. kolovoz 2019.) Benefits of Fiber Optics in Video Security/Surveillance. *Westpennwire.com*. Web domena: , 29.05.2024., 13:32h.
- 6) Garcia-Legaz, A. C. i Peral, A. C. (1998.) An Electro-Optical Surveillance System Application for Ship Collision Avoidance. *IFAC Proceedings Volumes*, 31 (2), str. 263-268.
- 7) Heng, J. (9. ožujak 2016.) Network of CCTV Cameras Proving Effective. *The Straits Times.com*. Web domena: , 02.06.2024., 12:20h.
- 8) Kim, J. (9. veljače 2023.) Fiber Optics: What Is It? And How Does It Work? *Dgtl Infra.com*. Web domena: , 01.06.2024., 08:28h.
- 9) Mignone, C. i Barnes, R. (14. studeni 2011.) Više no što vidimo očima: elektromagnetni spektar. *Science in School.org*. Web domena: , 07.06.2024., 13:21h.
- 10) Mould, N., Regens, J. L., Jensen, C. J. i Edger, D. N. (2014.) Video Surveillance and Counterterrorism: The Application of Suspicious Activity Recognition in Visual Surveillance Systems to Counterterrorism. *Journal of Policing, Intelligence and Counter Terrorism*, 9 (2), str. 151-175.
- 11) Narendra Rao, T. J., Girish, G. N., Tahiliani, M. P i Rajan, J. (2019.) Anomalous Event Detection Methodologies for Surveillance Application. *Censorship, Surveillance, and Privacy*, str. 787-813.
- 12) Petersen, J. K. (2012.) Optical Surveillance. *Introduction to Surveillance Studies* (ur.) Petersen, J. K. New York. Routledge.
- 13) Regens, J. L. (2019.) Augmenting Human Cognition to Enhance Strategic, Operational, and Tactical Intelligence. *Intelligence and National Security*, 34 (5), str. 673-687.
- 14) Roberts, L. (20. listopad 2011.) History of Video Surveillance and CCTV. *Web archive.org*. Web domena: , 02.06.2024., 15:15h.

- 15) Srdojević, L. (2022.) *Optička koherentnost*. Sveučilište u Rijeci: Fakultet za fiziku. Web domena: , 07.06.2024., 09:53h.
- 16) Sukalac, M. (2017.) *Disperzija svjetlosti*. Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera. Web domena: , 19.05.2024., 13:33h.
- 17) Thorpe, J. (19. studeni 2020.) Selecting the Most Suitable Cameras to Monitor Large Areas. *International Security Journal.com*. Web domena: , 30.05.2024., 23:33h.

## POPIS PRILOGA

### Mjerni izvještaj

br.1.....	str.53.
br.2.....	str.54.
br.3.....	str.55.
br.4.....	str.56.

### SLIKE

Slika 1. Optička vlakna .....	str. 6.
Slika 2. Optička kutija .....	str.20.
Slika 3. Korištenje specijalnog sjekača vlakana .....	str. 30.
Slika 4. Postupak poravnanja optičkih vlakana .....	str. 30.
Slika 5. Zaslona splicera tijekom procjene kvalitete spoja između dvaju optičkih vlakana .....	str. 30.
Slika 6. Proces spajanja vlakana .....	str. 31.
Slika 7. Spojene niti .....	str. 31.
Slika 8. Priprema niti za postavljanje zaštite .....	str. 32.
Slika 9. Završni rezultat s postavljenom zaštitom .....	str. 32.
Slika 10. Provjera nečistoća .....	str. 32.
Slika 11. Mane kod spajanja optičkih niti .....	str. 33.
Slika 12. Pogreške kod spajanja optičkih niti.....	str. 34.
Slika 13. Prevelik iznos prigušenja .....	str. 34.
Slika 14. Greška radi loših rubova vlakana .....	str. 34.
Slika 15. Greška radi nepreciznog pozicioniranja vlakana .....	str. 35.
Slika 16. Greška fokusiranja zbog lošeg ruba .....	str. 35.

Slika 17. Dijagram shema principa rada OTDR-a.....	str.36.
Slika 18. Emitirani spektar Fabry Perot lasera i Shematski dijagram Fabry Perot lasera .....	str. 37.
Slika 19. Emitirani spektar DFB lasera i shematski dijagram DFB lasera .....	str. 38.
Slika 20. Princip generiranja impulsa OTDR-a .....	str. 40.
Slika 21. Tipičan OTDR-ov trag .....	str. 41.
Slika 22. Dijagram shema realnog sustava .....	str. 45.
Slika 23. Prikaz traga mjerenja realnog sustava 1350 nm .....	str. 49.
Slika 24. Prikaz traga realnog sustava 1310/1550n.....	str. 50.
Slika 25. Prikaz traga realnog sustava 1310/1550n.....	str. 52.
Slika 26. Prikaz traga realnog sustava 1310/1550n.....	str. 53.

## **TABLICE**

Tablica 1. Razlika između multimodnih i jednomodnih vlakana.....	str. 7.
Tablica 2. Specifikacije Fitsel S176 spajача optičkih vlakana.....	str. 26.
Tablica 3. Razlike između led i laser tehnologije .....	str. 35.
Tablica 4. Mogućnosti mjerenja OTDR-a .....	str. 40.