

Tomislav Pušec, mag. ing. el., univ. spec. el.

SUSTAV ZA NADZOR OPTIČKE MREŽE HŽ INFRASTRUKTURE

1. Uvod

Za nadzor mreže optičkih kabela HŽ Infrastrukture koristi se sustav ONMSi (engl. *Optical Network Management System*). Sustav se sastoji od šest autonomnih optičkih mjernih jedinica smještenih tako da je pokriju cijelu optičku mrežu HŽ Infrastrukture, poslužiteljskoga računala i odgovarajuće programske podrške. Optičke mjerne jedinice tipa OTU-8000 smještene su u kolodvorima Zagreb Glavni kolodvor, Ogulin, Rijeka, Knin, Osijek i Strizivojna-Vrpolje i preko intranetske mreže HŽ Infrastrukture povezane su sa središnjim poslužiteljskim računalom sustava ONMSi koje se nalazi u Zagreb Glavnom kolodvoru (slika 1.). Centralno poslužiteljsko računalo u bazi podataka *Oracle* sadrži sve relevantne podatke o mreži: dokumentaciju, referentne izmjerene krivulje optičkih linkova, listu sistemskih inženjera zaduženih za održavanje i slične.

Sastavni dio sustava za nadzor svjetlovoda jest i programski paket OFM-500 (engl. *Optical Fiber Mapping*) koji služi za izradu dokumentacije optičkoga kablenskog sustava i omogućuje integraciju mjernih funkcionalnosti, dokumentiranja optičkoga kablenskog sustava i geografskoga informacijskog sustava (GIS).

2. Arhitektura sustava

Sustav za nadzor optičke mreže koncipiran je tako da se sastoji od tri komponente:

- centralnoga poslužiteljskog računala – ONMSi poslužitelj
- klijentskih računala
- udaljenih optičkih mjernih jedinica.

Centralno poslužiteljsko računalo – ONMSi poslužitelj s instaliranim operativnim sustavom *Windows Server 2012* osigurava bazu podataka, dokumentaciju mreže, prijavu alarma i obavljanje testnih mjerenja po unaprijed zadanim sekvencama, obavljanje testnih mjerenja na zahtjev i konfiguriranje optičkih mjernih jedinica. ONMSi poslužitelj komunicira s optičkim mjernim jedinicama preko TCP/IP protokola tijekom konfiguriranja i u trenutku pojave alarma u sustavu. Klijentsko računalo može biti bilo koje računalo u intranetskoj

mreži s instaliranim mrežnim preglednikom koje ima pristup do poslužiteljskoga računala. Udaljena optička mjerna jedinica (engl. *Optical Test Unit*) sastoji se od jednog ili dva mjerna modula čiji je sastavni dio optički reflektometar u vremenskoj domeni (engl. *Optical Time Domain Refletometer*) te optičkoga preklopnika koji omogućuje mjerenje više optičkih niti (do 24 niti).

3. Optički reflektometar u vremenskoj domeni

Princip rada optičkoga reflektometra u vremenskoj domeni (engl. *Optical Time Domain Reflectometer*; u nastavku teksta: OTDR uređaj) bazira se na dva optička fenomena: povratnome Rayleighovu raspršenju i Fresnelovoj refleksiji. Rayleighovo raspršenje inherentno je svojstvo materijala od kojega je izrađen svjetlovod i prisutno je cijelom dužinom svjetlovoda. S obzirom na jednolično Rayleighovo raspršenje dužinom svjetlovoda, svaki diskontinuitet povratnoga Rayleighova raspršenja prikazuje neku anomaliju na mjerenoj svjetlovodu. S druge strane Fresnelova refleksija zbiva se na mjestima gdje postoji kontakt sa zrakom ili kontakt dvaju medija. To su mehanički spojevi svjetlovoda, konektori ili polirani završeci svjetlovoda.

Rayleighovo raspršenje daje amplitudnu i vremensku informaciju duž svjetlovoda. Dio svjetlosti raspršit će se u smjeru suprotnome od smjera ulaznoga impulsa i taj se signal naziva „signal povratnoga raspršenja“. OTDR uređaj može vrlo precizno mjeriti razinu signala povratnoga raspršenja i tako detektirati male promjene na svjetlovodu u bilo kojoj točki. Magnituda Rayleighova raspršenja znatno se mijenja s valnom duljinom.

Fresnelova refleksija zbiva se na granici dvaju optičkih sredstava različitih indeksa loma. Ta refleksija



Slika 1. Sustav za nadzor optičke mreže hrvatskih željeznica

može biti konektor, mehanički spoj optičkih niti, prekid optičke niti i neterminirani kraj optičke niti. Iznos Fresnelove refleksije ovisi o ulaznoj snazi i relativnoj razlici indeksa loma dvaju optičkih sredstava. Reflektirana snaga na granici između svjetlovoda i zraka ima teorijsku vrijednost od -14 dB, što je oko 4000 puta više od razine signala povratnoga raspršenja. To znači da detektor u OTDR uređaju mora procesirati signal velike dinamike. Konektori koriste poseban gel koji smanjuje Fresnelovu refleksiju. Na slici 2. prikazana je blok-shema tipičnoga OTDR uređaja. OTDR uređaj injektira svjetlosni impuls u vlakno uz pomoć laserske diode i impulsnoga generatora. Reflektirani signal odvaja se sprežnikom od injektiranoga signala i dovodi na fotodiodu. Optički signal konvertira se u električni, pojačava, uzorkuje i prikazuje na ekranu OTDR uređaja. Laserska dioda radi na valnim duljinama od 850 nm i 1300 nm za višemodne optičke niti i na duljinama od 1310 nm i 1550 nm za jednomodne optičke niti. Za sustave nadzora svjetlovoda gdje se nadziru aktivni svjetlovodi koristi se i valna duljina od 1625 nm kako bi se izbjegla interferencija s „radnim“ valnim duljinama od 1310 nm i 1550 nm. Lasersku diodu pogoni generator impulsa. Impulsi koji se odašilju u vlakno tipične su širine od 2 ns do 20 μs, snage od 10 mW do 1 W i frekvencije ponavljanja od nekoliko kiloherca. Duljinu trajanja impulsa određuje operator na uređaju.

OTDR mjeri vremensku razliku između odaslanoga impulsa i primljenih impulsa signala povratnoga raspršenja te uzrokuje povratni signal. Izmjerenu vremensku razliku konvertira u udaljenost koristeći vrijednost indeksa loma za mjereni svjetlovod koju je unio operator. Zbog toga je važno da indeks loma bude točan. Propagacijska brzina svjetlosti u svjetlovodu iznosi:

$$v = \frac{c}{n} \approx 3 \times \frac{10^8}{1.5} = 2 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$$

gdje je:

c = brzina svjetlosti u vakuumu

n = indeks loma svjetlovoda.

Konverzija vremenske informacije u udaljenost uključuje dijeljenje s dva jer impuls putuje dvostruku udaljenost po svjetlovodu:

$$L = \frac{v t}{2} = \frac{c t}{2 n} \approx 10^8 \times t(sec)$$

Na primjer, za 10 ns širinu impulsa:

$$L = 10^8 \times 10ns = 1m .$$

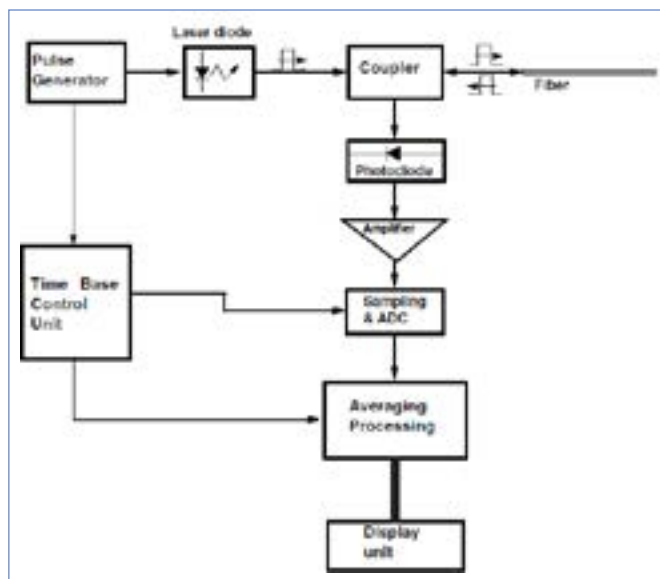
Fotodiode koje se koriste u OTDR uređajima moraju moći detektirati ekstremno nisku razinu povratnoga svjetlosnog signala, oko 0,0001 posto razine odaslanoga impulsa. Istodobno moraju detektirati i relativno visoke razine reflektiranoga svjetlosnog signala, što uzrokuje određene probleme prilikom analize OTDR krivulje (tzv. mrtva zona). Širina pojasa, osjetljivost i dinamički opseg fotodiode kao i pojačivačkoga sklopovlja moraju biti pažljivo odabrani i dizajnirani kako bi bili u skladu sa širinama impulsa koje se koriste i s razinama reflektiranih signala. Kontrolna jedinica usrednjava izmjerene uzorke i iscrtava ih kao logaritamsku funkciju udaljenosti na ekranu OTDR uređaja. S obzirom na to da je šum slučajna pojava, uzima se više uzoraka za svaku akvizicijsku točku i izvodi se njihovo usrednjavanje kako bi se poboljšao odnos signal – šum. Krivulja koju generira OTDR uređaj naziva se krivuljom povratnoga raspršenja ili OTDR krivuljom. Na vertikalnoj osi krivulje je gušenje u decibelima, a na horizontalnoj osi udaljenost u kilometrima.

4. Parametri mjerenja

Većina modernih OTDR uređaja ima mogućnost automatskoga konfiguriranja parametara mjerenja. Korisnik će jedino odabrati valnu duljinu na kojoj želi mjeriti, vrijeme akvizicije i indeks loma mjenjenoga svjetlovoda. Nešto iskusniji korisnik neće koristiti automatske postavke, već će prema vlastitome iskustvu i poznavanju optičkoga linka koji mjeri odabrati optimalne parametre mjerenja.

4.1. Ulazna razina

Ulazna razina (engl. *injection level*) jest razina snage koju OTDR odašilje u optičku nit. Što je ta razina



Slika 2. Blok shema optičkoga reflektometra u vremenskoj domeni (OTDR)

veća, veći je dinamički opseg mjerenja. To nije parametar koji se izravno prilagođava u OTDR uređaju, ali pruža informaciju o uvjetima na ulaznome konektoru: posljedica loših uvjeta na ulaznome konektoru poput prisustva nečistoća bit će niska ulazna razina impulsa, odnosno izmjerena krivulja bit će „onečišćena“ šumom, a bit će narušena i točnost mjerenja. Zato je vrlo važno da na svim prespojima na mjerenoj optičkoj trasi nema prljavštine, prašine i sličnog.

4.2. Valna duljina

Optički sustav imat će drugačije karakteristike na različitim valnim duljinama. Općenito, svjetlovod treba mjeriti na „radnoj“ valnoj duljini, dakle na 850 nm i/ili 1300 nm za višemodne sustave, odnosno na 1310 nm i/ili 1550 nm za jednomodne sustave. Ako se mjerenje provodi na jednoj valnoj duljini, u obzir treba uzeti sljedeće:

- za određeni dinamički opseg mjerni impuls na valnoj duljini od 1550 nm imat će veći doseg zbog manjega gušenja (0,35 dB/km na 1310 nm u usporedbi s 0,20 dB/km na 1550 nm)
- jednomodni svjetlovod ima veći promjer moda širenja na 1550 nm nego na 1310 nm, što omogućuje slabiju osjetljivost na pomake tijekom varenja niti, ali i veću osjetljivost na savijanja tijekom kabliranja, tzv. makrosavijanja (engl. macro bending)
- na valnoj duljini od 1310 nm gubici na konektorima i termičkim spojevima niti imat će općenito veće vrijednosti nego na valnoj duljini od 1550 nm.

4.3. Širina impulsa

Širina impulsa jest vrijeme za koje je laser OTDR uređaja uključen pa određuje količinu svjetla odnosno definira snagu signala koji će biti injektiran u svjetlovod i jedan je od ključnih parametara za dobivanje kvalitetnoga mjerenja. Impuls veće širine imat će proporcionalno veću snagu pa će i količina reflektiranoga svjetla biti veća. Impuls veće širine imat će veći „domet“ u svjetlovodu, ali manju prostornu rezoluciju i šire tzv. mrtve zone (područja na OTDR krivulji gdje mjerenja nisu moguća). Manje širine impulsa generiraju manje svjetla u svjetlovodu pa će dinamički opseg mjerenja biti manji i dobivena OTDR krivulja može biti maskirana šumom. S druge strane mjerenje impulsom manje širine dat će manje mrtve zone, odnosno bolju prostornu rezoluciju. Dakle, odabir širine impulsa stvar je kompromisa između dobre rezolucije i velikoga dinamičkog opsega. Kada je god potrebno vidjeti „bliske“

događaje na svjetlovodu, treba koristiti uže impulse. Širina impulsa obično je dana u ns ili μ s, ali se može i konvertirati u udaljenost prema formuli: $D = \frac{c t}{2 n}$

gdje je:

c = brzina svjetlosti u vakumu

n = indeks loma

t = širina impulsa.

4.4. Raspon mjerenja

S obzirom na to da OTDR uređaj akviziciju točno određenog broja uzoraka raspon mjerenja određuje udaljenost, odnosno domet mjerenja i prostornu rezoluciju. Prostorna rezolucija određuje udaljenost između dviju susjednih mjernih točaka. S obzirom na to da je markere (kursore na ekranu OTDR uređaja) moguće postavljati samo na mjerne točke, smanjivanjem raspona mjerenja moguće je „približiti“ mjerne točke samom događaju na svjetlovodu.

4.5. Vrijeme usrednjavanja

Rezultati mjerenja svakog odaslanog impulsa u svjetlovod usrednjuju se s rezultatima prethodnih impulsa, čime se smanjuje šum u prijemniku. Duže vrijeme usrednjavanja povećava dinamički opseg jer smanjuje razinu šuma. Najbolja „poboljšanja“ na krivulji povratnog raspšrenja postižu se unutar prve tri minute usrednjavanja.

4.6. Dinamički opseg OTDR uređaja

Dinamički opseg OTDR uređaja jedno je on najvažnijih svojstava OTDR uređaja koje određuje maksimalni gubitak snage između početka krivulje povratnoga raspšrenja i vršne vrijednosti šuma. Ako mjereni svjetlovod ima veće gušenje od dinamičkoga opsega OTDR-a, neće se moći vidjeti kompletna optička trasa. Dinamički opseg OTDR uređaja trebao bi biti od 3 dB do 6 dB veći od ukupnoga gušenja na mjerenoj optičkoj trasi.

4.7. „Mrtva“ zona

Takozvana mrtva zona događaja jest minimalna udaljenost na kojoj se dva uzastopna reflektivna događaja mogu razlikovati, odnosno na kojoj se može izmjeriti udaljenost do svakoga od njih, ali se ne može izmjeriti gušenje svakog od njih. Mrtva zona događaja (engl. *Event Dead Zone*) za reflektivni događaj definira se kao udaljenost između dviju suprotnih točaka koje su za određeni iznos u decibelima ispod nezasićenoga pika reflektivnoga događaja. Ona se definira kao udaljenost između dviju suprotnih točaka koje su za određeni iznos u decibelima ispod nezasićenoga pika reflektivnoga

događaja. Atenuacijska mrtva zona jest minimalna udaljenost nakon reflektivnoga događaja na kojoj je moguće mjeriti gušenje bliskoga nerefleksivnog događaja, npr. termičkoga spoja. Definira se kao područje nakon događaja u kojemu se OTDR krivulja razlikuje od „uobičajenoga“, karakterističnog nagiba za više od određene vrijednosti koju je definirao proizvođač. Što je veća snaga reflektiranoga signala prema OTDR-u, dulje je vrijeme oporavka detektora, što rezultira duljom mrtvom zonom. Različiti proizvođači OTDR uređaja deklariraju mrtvu zonu pri različitim testnim uvjetima. S obzirom na to da na veličinu mrtvih zona utječe i širina impulsa, proizvođači opreme obično deklariraju širinu mrtvih zona na najkraćoj širini impulsa kako bi prikazali podatak o najmanjoj mrtvoj zoni.

4.8. Parametri svjetlovoda

Od inherentnih parametara samoga mjenog svjetlovoda važno je znati indeks loma kabela, tzv. heliks-faktor (engl. *helix*) te koeficijent raspršenja svjetlovoda. Heliks-faktor i indeks loma kabela bitni su parametri za precizno određivanje udaljenosti. Heliks-faktor optičkoga kabela jest razlika između tzv. optičke duljine, odnosno duljine samoga svjetlovoda, i duljine kabela i ovisan je o proizvođaču i tipu kabela, a uobičajene vrijednosti su oko 1 do 2 posto. Koeficijent povratnoga raspršenja K svjetlovoda važan je podatak za točno mjerenje gušenja i refleksije.

4.9. Događaji na svjetlovodu

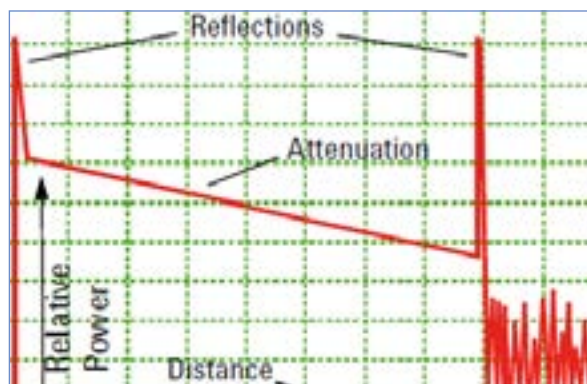
Događaji na svjetlovodu (engl. *events*) općenito se mogu podijeliti na reflektivne događaje, odnosno na događaje koji uključuju refleksiju, i na događaje koji ne uključuju refleksiju.

Reflektivni događaji su oni kod kojih nekakav diskontinuitet na svjetlovodu uzrokuje promjenu indeksa loma. To su konektorski spojevi, mehanički spojevi svjetlovoda, prekid svjetlovoda i neterminirani kraj svjetlovoda. Događaji na svjetlovodu koji ne uzrokuju refleksiju jesu termički spojevi svjetlovoda i gubici zbog savijanja. Tipične vrijednosti gubitaka takvih događaja su od 0,02 dB do 0,1 dB, ovisno o opremi za termičko spajanje svjetlovoda i vještini operatora. Tipična krivulja povratnoga raspršenja (OTDR krivulju) za samo jedan svjetlovod prikazana je na slici 3., a na slici 4. prikazan je tipičan izgled OTDR krivulje za cijeli optički link koja osim normalnoga gušenja pokazuje i nekakve tipične događaje (engl. *events*) na svjetlovodu.

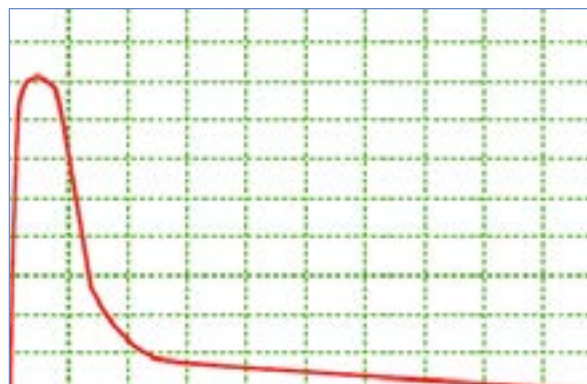
Ako se koristi tipični ravni konektor, na početku svjetlovoda je jaka refleksija (slika 5.). Na kraju mjenog svjetlovoda također je jaka refleksija, nakon čega krivulja pada do razine šuma (slika 6.).



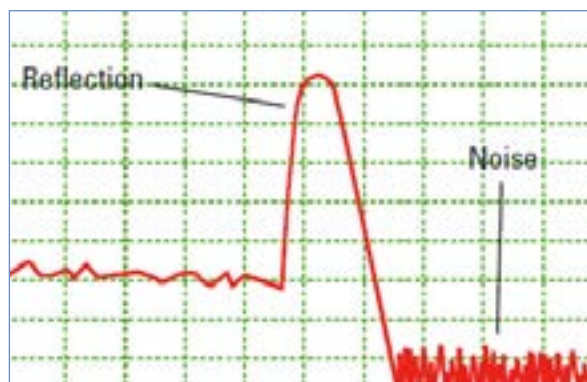
Slika 3. Tipična OTDR krivulja svjetlovoda



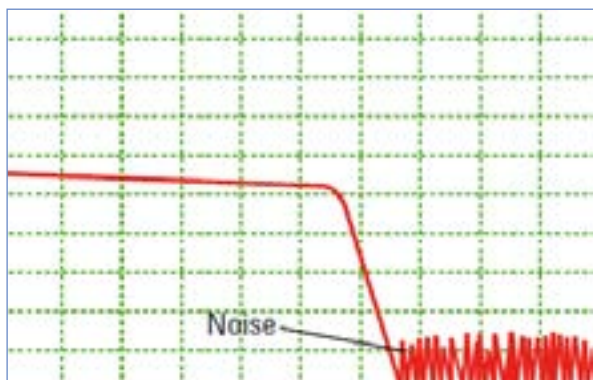
Slika 4. Tipična OTDR krivulja cijeloga optičkoga linka



Slika 5. Početak svjetlovoda



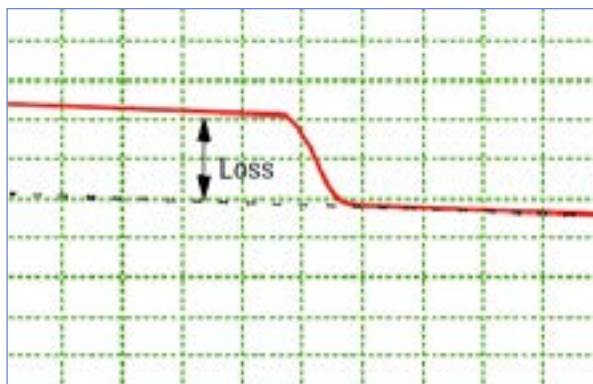
Slika 6. Kraj svjetlovoda



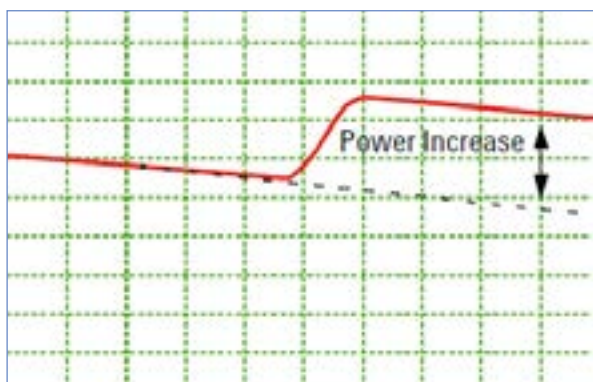
Slika 7. Prekid svjetlovoda



Slika 8. Optički konektor



Slika 9. Gušenje na svjetlovodu



Slika 10. „Pojačanje“ na svjetlovodu

Prekid svjetlovoda rezultira nereflektivnim događajem (slika 7.). Konektor ili mehanički spoj svjetlovoda pokazat će i refleksiju i gušenje na OTDR krivulji (slika 8.). Termički spoj svjetlovoda također je nereflektivan događaj i pokazat će samo gušenje koje ovisno o kvaliteti spoja može biti gotovo nevidljivo (slika 9.). U slučaju lošega termičkog spoja može se vidjeti i neka refleksija, a neki termički spojevi uzrokovat će pojavu „pojačanja“ na svjetlovodu (slika 10.), koja je rezultat različitih koeficijenata povratnoga raspršenja u svjetlovodu prije termičkog spoja i nakon njega.

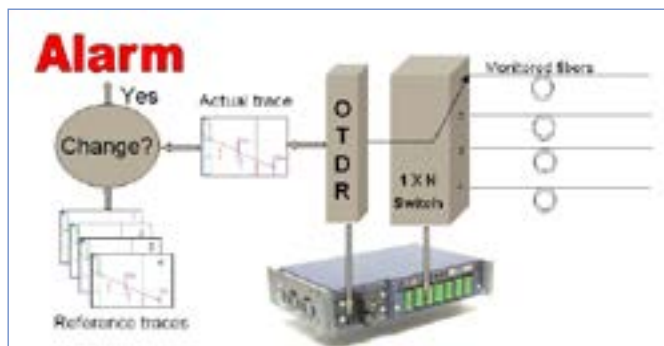
U slučaju kada se vidi „pojačanje“ mjerenje s druge strane svjetlovoda pokazat će gubitak na tome mjestu, a razlika u razini toga gubitka i razine „pojačanja“ prava je vrijednost gušenja u toj točki. Savijanje svjetlovoda također je nereflektivan događaj i ako nisu poznata točna mjesta termičkih spojeva, ono se ne može razlikovati od samoga termičkog spoja na bazi mjerenja s jednom valnom duljinom. Međutim, mjerenje na većoj valnoj duljini pokazat će veće gušenje na mjestu savijanja kabela.

Tijekom mjerenja svjetlovoda OTDR uređajem, osim navedenih događaja, ponekad se na OTDR krivulji mogu pojaviti i događaji lažne Fresnelove refleksije ili tzv. „duhovi“ (engl. *ghosts*) koji mogu „zbuniti“ nedovoljno iskusnoga operatora na OTDR uređaju. „Duhovi“ nastaju jer cjelokupna svjetlost koja se vraća prema OTDR uređaju ne stigne do njegova fotodetektora, već se djelomično reflektira od konektora instrumenta u svjetlovod, stvarajući nove (lažne) refleksije. Cijeli proces može se ponoviti više puta i svaki put snaga reflektiranoga signala opada, uzrokujući brojne ekvidistantne događaje duž kabela s padajućim amplitudama. Najčešće se „duhovi“ pojavljuju u području šuma, iza kraja svjetlovoda, jer su refleksije najizraženije na optičkoj trasi od poliranoga završetka vlakna. „Duh“ se može prepoznati po svojoj ekvidistantnosti i podajućoj amplitudi svakoga sljedećeg šiljka na krivulji, premda to ne mora biti slučaj u složenijim situacijama s puno reflektivnih događaja. Ako se sumnja na nazočnost „duhova“, potrebno je smanjiti širinu impulsa (odnosno njegovu snagu).

5. Principi nadzora svjetlovoda u sustavu ONMSi

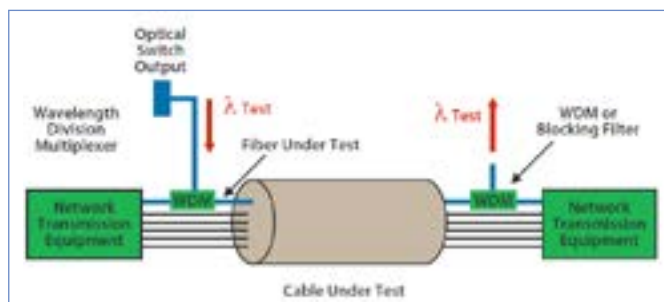
5.1. Uvod

Optička mjerna jedinica neprekidno snima OTDR krivulju za svaki mjereni svjetlovod i uspoređuje svaku izmjerenu krivulju s referentnom krivuljom izmjerenu prilikom ugradnje optičkoga kabela te u slučaju problema na optičkome kabeu (povećanje gušenja, povećanje refleksije, prekid kabela) šalje alarm sre-



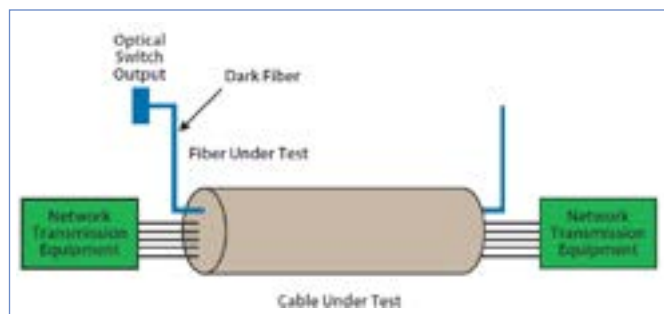
Slika 11. Princip nadzora svjetlovoda u sustavu ONMSi

dišnjemu računalu koje putem intranetske mreže elektroničkom poštom šalje obavijest djelatnicima mjerodavnima za održavanje optičkoga kabelskog sustava. Optički kabel može se nadzirati na dva načina: tzv. *Dark Fiber* metodom ili tzv. *Active Fiber* metodom. *Dark Fiber* metoda (slika 12.) zahtijeva jedan slobodan svjetlovod u optičkome kabelu koji će se koristiti isključivo za mjerenje. Za primjenu te metode na optičkome linku nije potrebna dodatna oprema. Također, prednost te metode jest mogućnost upotrebe iste valne duljine u mjerenoj svjetlovodu i svjetlovodima koji su u upotrebi. Nedostatak metode jesu moguće neispravnosti na ostalim svjetlovodima u optičkome kabelu.



Slika 12. Dark Fiber metoda

Želi li se svjetlovide u kabelu nadzirati *Active Fiber* metodom (slika 13.), na optičke linkove potrebno je ugraditi dodatnu opremu, i to optički multiplexsor na ulaznoj strani mjerena optičkog kabela kako bi se ubacio mjerni signal na valnoj duljini različitoj od one na kojoj teče promet u svjetlovodu te filtere na izlazu nadziranoga optičkog kabela koji će odvojiti mjerni



Slika 13. Active Fiber metoda

signal. Ta metoda omogućuje nadzor nad svim svjetlovodima u kabelu, ali je skuplja i uzrokuje dodatna gušenja na trasi zbog dodanih optičkih komponenata i obično se koristi za nadzor svjetlovoda velike važnosti. Na optičkoj mreži hrvatskih željeznica za sada je u primjeni *Dark Fiber* metoda.

5.2. Princip detekcije neispravnosti u sustavu ONMSi

Na optičkome kabelu mogu se pojaviti dvije vrste neispravnosti: potpuni prekid kabela ili oštećenje uzrokovano starenjem varenih spojeva i konektora te prodorom prašine ili drugih nečistoća. Svi konektori i vareni spojevi koji se nalaze na mjerenoj svjetlovodu, a nazivaju se događaji (engl. *events*), prikazani su markerima na OTDR krivulji. Mjerenje za detekciju problema obično traje 15 sekundi. Svaka netom izmjerena krivulja uspoređuje se s referentnom OTDR krivuljom tako da se uspoređuju razine obiju krivulja na mjestima markera. Ako je razlika izvan definiranih pragova (engl. *threshold*), s mjerenja za detekciju problema automatski se prelazi na ponovno mjerenje u režimu za lokalizaciju problema koje u prosjeku traje 60 sekundi. U slučaju kada je odstupanje potvrđeno, generira se alarm. Alarm sadrži podatak o događaju (prekid ili smetnja) i informaciju o lokaciji prekida odnosno smetnje. Ako problem nije detektiran, prelazi se na mjerenje sljedećega svjetlovoda i tako redom do posljednjega svjetlovoda, odnosno do završetka ciklusa. Tijekom nadzora, svaki put kada se izvodi mjerenje (detekcija), kreira se nova OTDR krivulja. Nadzor se obavlja 24 sata na dan, 365 dana u godini, prema cikličkome rasporedu i na jednome svjetlovodu iz svakoga kabela. Na OTDR krivuljama udaljenosti odgovaraju tzv. optičkim duljinama, odnosno duljinama mjenjenih svjetlovoda. Te udaljenosti ne odgovaraju u cijelosti stvarnim fizičkim udaljenostima zbog zalihosti optičkoga kabela koji se ostavlja prilikom ugradnje. Također, s obzirom na upletenost samih svjetlovoda u optičkome kabelu, dodaje se oko tri posto na ukupnu duljinu. Na temelju fizičke udaljenosti moguće je izračunati odnos između fizičkih i optičkih udaljenosti na kabelu koji omogućava dobivanje fizičke udaljenosti do neispravnosti na kabelu.

5.3. Korisničko sučelje u sustavu ONMSi

Korisničko sučelje sastoji se od nekoliko glavnih panela: sistemskoga panel, panela mape (karte), alarmnoga panela, OTU panela i panela optičkih linkova. Korisničko je sučelje vrlo intuitivno, pregledno i jednostavno za korištenje, a koncipirano je tako da je ista informacija prikazana uvijek na istome mjestu, bez obzira na to u kojemu se prozoru, odnosno panelu na-

lazimo. Pojedini dijelovi sučelja, odnosno paneli, mogu se uključivati i isključivati po želji. Pristup pojedinim objektima sustava ONMSi (domene, OTU jedinice, linkovi) moguć je i kroz uobičajeni stablasti pregled u lijevome dijelu sučelja.

Kako bi se određeni optički kabel stavio pod stalni nadzor, potrebno je kreirati optički link u sustavu ONMSi. Svaki optički link može imati više definiranih testova. Za svaki test mogu se definirati dvije referentne OTDR krivulje: tzv. detekcijska OTDR krivulja koja služi za definiranje stupnja alarma i tzv. lokalizacijska OTDR krivulja koja potvrđuje alarmno stanje i služi za preciznu lokalizaciju problema na mjerenoj svjetlovodu. Za dobivanje kvalitetne OTDR referentne krivulje potrebno je optimalno odabrati parametre mjerenja: širinu impulsa, domet, rezoluciju, indeks loma svjetlovoda i vrijeme akvizicije tako da razina tzv. zadnjega marker bude minimalno 6 dB iznad razine šuma, o čemu je bilo riječi u prethodnome poglavlju.

Također, da bi sustav mogao verificirati test, neophodno je provjeriti položaj tzv. prvoga (FM – First Marker) i zadnjega markera (Last Marker), iako ih sustav postavlja automatski. To su markeri koji određuju optičku bilancu na mjerenoj svjetlovodu i oni se moraju nalaziti na linearnome, ravnome dijelu krivulje povratnoga raspršenja i iznad crvene linije koja označava minimalnu razinu markera (6 dB iznad razine šuma) kao što je vidljivo na slikama 14. i 15. Ako to nije slučaj, treba prilagoditi njihov položaj. Veličina fluktuacije op-



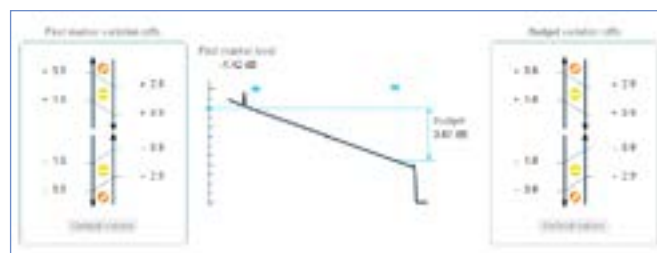
Slika 14. Položaj prvoga markera (FM)



Slika 15. Položaj zadnjega markera

tičke bilance i definirana veličina odstupanja prvoga markera odredit će jednu od tri razine alarma u sustavu.

Postoje tri razine alarma u sustavu: mali alarm (engl. *minor*), veliki alarm (engl. *major*) i kritični alarm (engl. *critical*). Odstupanje optičke bilance za ± 1 dB aktivirat će mali alarm (žuta boja alarma), a odstupanje optičke bilance za ± 3 dB veliki alarm (narančasta boja alarma). Smanjenje optičke bilance za više od 6 dB kao i položaj zadnjega markera u šumu aktivirat će kritični alarm (alarm crvene boje) odnosno alarm prekida (engl. *fiber cut*). Pad razine prvoga markera aktivirat će tzv. *injection* alarm. Vrijednosti pragova za prvi marker i za optičku bilancu mogu se prilagođavati i imaju određenu histerezu ovisno o smjeru promjene (slika 16.).



Slika 16. Prilagođavanje vrijednosti pragova markera i optičke bilance snage

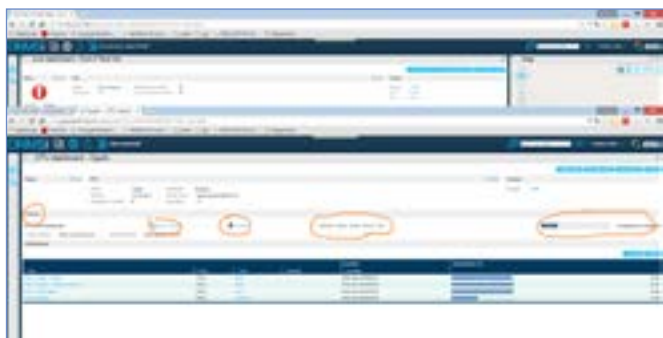
Postupak kreiranja optičkoga linka sastoji se od sljedećih operacija:

- spojiti slobodni svjetlovod koji se želi koristiti kao mjerni na jedan od slobodnih optičkih portova na OTU jedinici
- provjeriti cijeli optički put od početne do krajnje točke, odnosno kontinuitet optičkoga puta i čistoću svih konektora na optičkome putu
- u sustavu ONMSi aktivira se OTU panel odgovarajuće OTU jedinice klikom na OTU jedinicu (OTU jedinicu nalazi se na stablastome pregledniku / engl. tree view/ s lijeve strane ili uz pomoć alata za pretraživanje, ako je poznat naziv OTU jedinice)
- aktivirati panel Port Association i odabrati optički port na koji je spojen mjereni svjetlovod, kliknuti Create Link, upisati naziv linka, omogućiti mjerenje (uključiti Measurement allowed), spremi link
- dodati test na kreirani optički link (Add test). U tome trenutku potrebno je unijeti parametre za snimanje OTDR detekcijske krivulje mjenenoga svjetlovoda.
- nakon što je OTDR krivulja iscrtana, treba provjeriti položaje prvoga i zadnjega markera na krivulji, koristeći alate za zumiranje (moraju biti iznad crvene linije te na linearnome dijelu krivulje)

- spremi test, nakon čega je optički link pod nadzorom.

Sustav ONMSi pretpostavljeno koristi istu referentnu krivulju za detekciju i lokalizaciju. Ako se radi postizanja veće točnosti želi koristiti posebna OTDR krivulja za lokalizaciju, potrebno je editirati test na željenome linku tako da se uključi mogućnost različite lokalizacijske OTDR krivulje.

Nakon što je ta opcija uključena, moguće je testu linka pridružiti novu OTDR krivulju bolje prostorne rezolucije (korak 2 Localization u panelu Test Setup) koja će biti tzv. lokalizacijska krivulja. Nakon što su optički linkovi na OTU panelu kreirani, moguće je vidjeti aktivnost OTU jedinice, odnosno koji se link trenutno mjeri, koji se test na linku izvodi i kojim parametrima mjerenja (slika 17.).

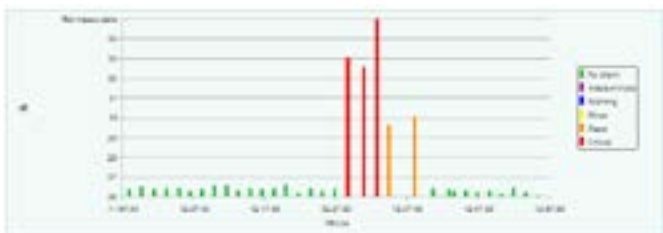


Slika 17. Aktivnost OTU jedinice

Za svaki od definiranih optičkih linkova moguće je vidjeti i grafički prikaz bilance optičke snage na svjetlovodu na kojemu se vidi stanje optičkoga linka u realnome vremenu. Konkretno na slici 18. vidljiva je fluktuaciju optičke bilance nadziranoga linka u zadnjih sat vremena. Ako je optički link pod alarmom, optička bilanca izgledat će kao na slici 19.



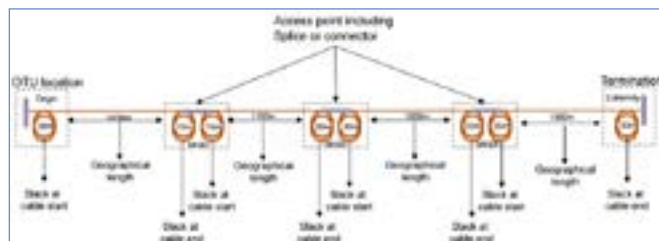
Slika 18. Fluktuacija optičke bilance nadziranog linka



Slika 19. Optička bilanca snage linka pod alarmom

5.4. Lokalizacija uz pomoć objekata na trasi

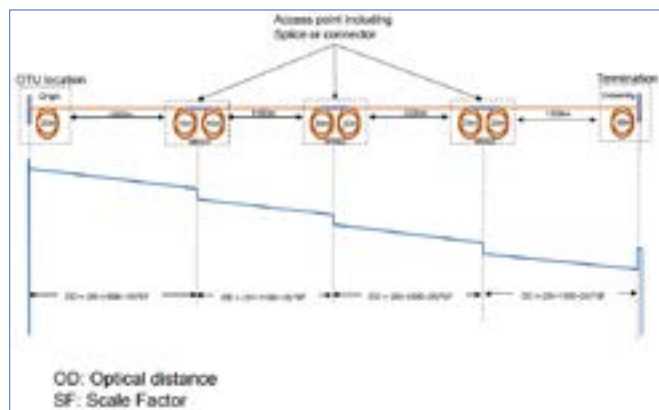
Na slici 20. prikazana je tipična kabelska ruta, gdje se između objekata u kojemu se nalazi OTU jedinica i objekata u kojem završava trasa optičkoga kabela nalaze tri kabelska zdenca u kojima se nalaze optičke spojnice s određenom zalihosti optičkoga kabela s jedne i druge strane optičke spojnice.



Slika 20. Geografske udaljenosti na kabelskoj ruti

Označeni su količina zalihosti kabela u svakom zdencau kao i geografska udaljenost između pojedinih zdenaca. Ukupna kabelska dužina jest zbroj svih kabelskih segmenata i svih kabelskih zalihosti i u ovome primjeru iznosi $20 + 1000 + 15 + 15 + 1100 + 20 + 20 + 1200 + 25 + 25 + 1300 = 4740$ m. Geografska udaljenost trase jest zbroj svih kabelskih odsječaka i iznosi $1000 + 1100 + 1200 + 1300 = 4600$ m. Količina zalihosti uzima se u obzir uz pomoć posebnoga tzv. faktora zalihosti koji predstavlja omjer između ukupne kabelske dužine i geografske udaljenosti početka i kraja promatrane trase na način prikazan na slici 21. i u ovome slučaju iznosi 1,03.

U sustavu OFM-a koristi se i pojam tzv. optičke udaljenosti koja predstavlja kabelsku duljinu pomnoženu s heliks-faktorom, koji je definiran tipom kabela. Spona između optičkih udaljenosti i kabelskih udaljenosti je tzv. tablica orijentira (engl. *Landmark Table*). Tablicu orijentira moguće je generirati iz detektiranih optičkih događaja, odnosno iz izmjerene OTDR krivulje ili iz kabelske rute nacrtane u OFM programskome paketu.



Slika 21. Faktor zalihosti

6. Upravljanje i dokumentiranje optičkoga kablenskog sustava HŽ Infrastrukture

Za upravljanje, nadzor i dokumentiranje kompletnoga optičkog kablenskog sustava HŽ Infrastrukture koristi se programski paket OFM-500 (engl. *Optical Fiber Mapping*). Programski paket OFM moguće je koristiti za katalogizaciju optičkih kablenskih sustava potpuno neovisno od sustava za nadzor svjetlovoda, a moguća je i integracija sa sustavom za nadzor svjetlovoda ONMSi, čime se dobiva kompletan uvid u stanje optičkoga kablenskog sustava iz jednog centraliziranog nadzorno-mjernog središta. OFM programski paket baziran je na geografskome informacijskom sustavu (GIS). GIS mape podloga su na koju korisnik sustava postavlja sve elemente optičkoga kablenskog sustava: optički kabel, cijevi za smještaj kabela, optičke spojnice, kablenske zdence, optičke kablenske razdjelnike, prespojne kabele i drugo. Kada se govori u smislu OFM-a, optički kablenski sustav poprima šire značenje pa se u elemente optičkoga kablenskog sustava ubrajaju i servisi (engl. *services*) u upotrebi na pojedinim svjetlovodima kao i korisnici pojedinih svjetlovoda (engl. *customers*). Sve navedene podatke sustav OFM objedinjava i pohranjuje u centraliziranu bazu podataka *Oracle* koja je smještena na poslužiteljskome računalo sustava i koja autoriziranim korisnicima omogućuje pristup podacima na zahtjev. Programski paket OFM radi na modelu klijent – poslužitelj, prema kojemu je poslužiteljsko računalo isto kao i ono za sustav ONMSi. Svaki fizički element optičkoga kablenskog sustava jest objekt u sustavu OFM pa postoje sljedeći objekti (u zgradama su navedeni engleski izrazi koji se koriste u terminologiji OFM sustava):

- zgrada (engl. *Building*) – objekt koji će se koristiti kao kolodvor i drugi tehnološki objekti u koje ulazi optički kabel
- pristupna točka (engl. *Access Point*) – svaka lokacija na kojoj je omogućen pristup kabele, npr. kablenski zdenac
- optički kabel (engl. *Cable*)
- kod boja (engl. *Color Code*) – kodiranje bojom koje će se pridružiti određenome tipu kabela
- spojno mjesto (engl. *Connection Box*) – objekt koji predstavlja sva moguća spajanja u sustavu, bilo da je riječ o varenim spojevima svjetlovoda, spajanju svjetlovoda na optičke konektore, prespojnima kablerna ili drugome
- cijev (engl. *Duct*) – objekt koji sadrži jedan ili više optičkih kabela ili druge cijevi
- spojni put (engl. *Path*) – objekt koji sadrži jednu ili više cijevi
- tvrtka (engl. *Company*)

- servis (engl. *Service*) – za svaki svjetlovod može se dokumentirati tip prometa koji se obavlja, npr. STM-64, *ethernet*, mjerni svjetlovod i slično
- smještaj (engl. *Placement*) – npr. optički kabel može biti ukopan, u kanalici ili na stupovima kontaktne mreže, a slično vrijedi i za pristupne točke
- bubanj (engl. *Reel*) – pridružuje se optičkome kabele radi dokumentiranja podataka o točno određenome kablenskom bubnju tijekom njegove ugradnje
- status objekta (engl. *Stage*) – je li objekt u izgradnji, u upotrebi, planiran i slično.

Neki od objekata su tipski, odnosno imaju svoj tip pa svi objekti koji pripadaju istome tipu objekta dijele neke zajedničke karakteristike. Pritom je moguće da neki tipovi objekata sadrže odnosno da se referenciraju na druge tipove objekata, na primjer, optički kabel sadrži svjetlovođe (optičke niti) koji su određenoga tipa svjetlovoda. OFM sustav podržava sljedeće tipove objekata:

- tip zgrade – npr. kolodvor
- tip pristupne točke – npr. kablenski zdenac ili stup kontaktne mreže sa spojnicom
- tip optičkoga kabela – npr. optički kabel ELKOPT SM 33 AT
- tip tvrtke – npr. tvrtka koja unajmljuje „tamne“ svjetlovođe
- tip spojnoga mjesta – npr. optička spojnica, optički razdjelnik vertikalni
- tip spoja – vareni spoj ili mehanički spoj, SC/APC konektor
- tip cijevi – npr. PVC cijev ili PEHD cijev s pridruženim podacima o promjeru cijevi
- tip svjetlovoda – npr. standardni jednomodni svjetlovod
- tip prespojnoga kabela – uključuje podatak o tipu konektora s jedne i druge strane, dužinu kabela i sl.

Kako bi sustav mogao identificirati objekte i pohraniti ih u bazu podataka, svaki objekt mora imati nekakav identifikator, odnosno broj koji sustav dodjeljuje automatski i naziv objekta. Osim identifikatora postoje i druga polja, ovisno o tipu objekta. Na primjer, za optički kabel mogu se definirati tip kabela, tip proizvođača, broj tuba u kabele, broj svjetlovoda u tubi, tip svjetlovoda i slično. Prilikom postavljanja objekta na mapu sva tzv. obavezna polja (engl. *mandatory*) objekta imaju neke pretpostavljene (*default*) vrijednosti koje je poželjno promijeniti prema vlastitoj nomenklaturi radi boljšega i lakšega snalaženja, dok su neobavezna polja prazna

i popunjavaju se prema želji odnosno potrebi. Takav način organizacije podataka s tipiziranim objektima omogućava sustavno dokumentiranje kompletnoga optičkog kablenskog sustava.

Prvi korak dokumentiranja optičkoga kablenskog sustava u OFM sustavu jest dovesti u vezu stvarne objekte optičkoga kablenskog sustava HŽ Infrastrukture i objekte, tj. tipove objekata u OFM sustavu odnosno izraditi svojevrsnu bazu podataka elemenata kompletnoga optičkoga kablenskog sustava HŽ Infrastrukture. Taj je postupak u fazi izrade. Prije početka dokumentiranja optičkoga kablenskog sustava u OFM-u treba prilagoditi koordinatni sustav koji će koristiti baza podataka. Koordinatni sustav mora biti istovjetan koordinatnome sustavu digitalne mape koja se koristi i mora biti isti za sve mreže te ga poslije nije moguće mijenjati. Nakon toga prilagođavaju se granične koordinate za mrežu, koje je poslije moguće promijeniti, i veličina segmenta na karti (engl. *tiling*). Prije početka rada prilagođava se i mreža na kojoj se radi. Sustav podržava više virtualnih mreža, što omogućuje podjelu mreže na regionalnome principu te u skladu s time pridruživanje različitih prava za pojedine mreže korisnicima sustava. Korištenjem sustava pokazalo se optimalnim kreirati posebnu mrežu za svaku optičku trasu. Ta prilagođavanja rade se u posebnoj aplikaciji za administriranje sustava *OFM-500 Network Security Admin*.

6.1. Dokumentiranje trase optičkoga kabela na dionici Ogulin – Kukača

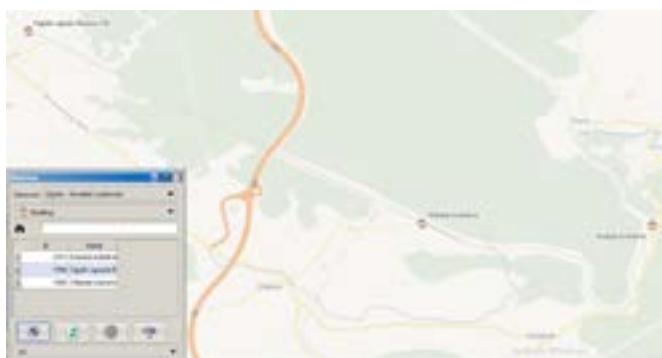
Osnovni principi rada kao i neke spoznaje do kojih se došlo korištenjem sustava OFM prikazani su na primjeru trase optičkoga kabela između kolodvora Ogulin i Kukača. Prikazan je postupak kreiranja trase kabela i integracije trase sa sustavom ONMSi. Prije početka rada treba snimiti GPS koordinate svih objekata koje se želi katalogizirati i dokumentirati u OFM sustavu. U svrhu dokumentiranja optičke trase između kolodvora Ogulin i Kukača pored postojećih tipova objekata definirani su i sljedeći tipovi objekata:



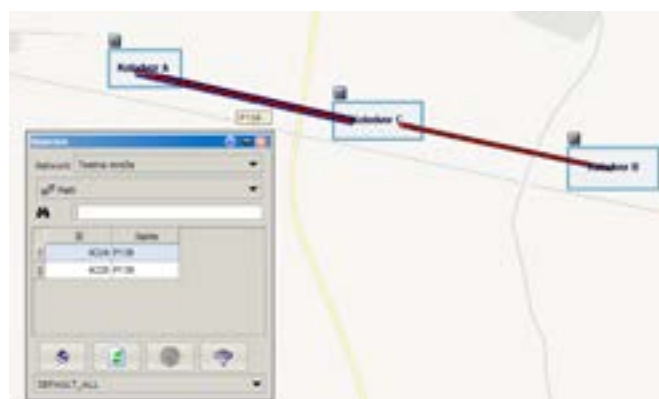
Slika 23. Primjer trase optičkoga kabela

- tip zgrade: kolodvor
- tipovi pristupne točke
 - KZ – postojeći kabelski zdenac
 - MZD0, MZD1, MZD2, MZD3 – tipovi kabelskih zdenaca
 - stup KM – stup kontaktne mreže
 - stup KM križ – stup kontaktne mreže s križem i dvostranim čvrstim zatezanjem
 - stup KM spojnica – stup kontaktne mreže s križem, spojnicom i dvostranim čvrstim zatezanjem
- tip kabela: ELKOPT SM 33 AT – tip proizvođača kabela – u opisanome slučaju od 48 niti (šest tuba po osam niti)
- kod boja: ELKOPT SM 33 AT – tip sustava kodiranja bojom proizvođača kabela
- tipovi spojnih mjesta:
 - optički razdjelnik 48 horizontalni
 - optički razdjelnik 48 prolaz prve tri tube
 - optički razdjelnik 48 vertikalni
 - optička kazeta 24 niti – koristi se u kolodvorima gdje su 24 niti izravno proslijeđene dalje
 - spojnica 48 niti.

Kreiranje trase započinje postavljanjem zgrada na karti. Kao što je prikazano na slici 22., na trasi



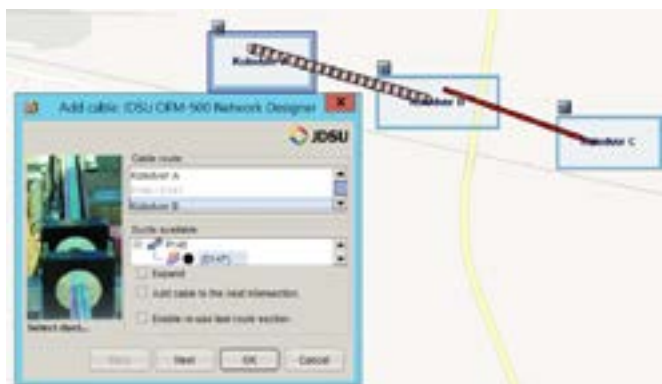
Slika 22. Zgrade na trasi optičkoga kabela između kolodvora Ogulin i Kukača



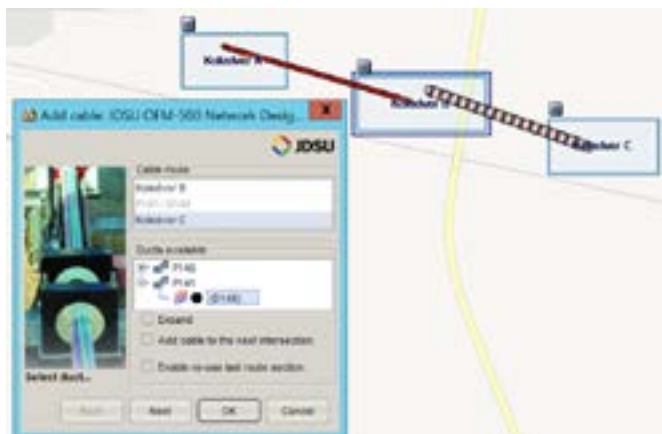
Slika 24. Spojni putovi

optičkoga kabela između kolodvora Ogulin i Kukača postoje tri zgrade, i to ogulinska zgrada Dionice TK, kolodvor Oštarije i kolodvor Kukača. Prilikom postavljanja zgrade na kartu potrebno je upisati naziv zgrade, odabrati tip zgrade (u ovome slučaju kolodvor) i precizno definirati položaj zgrade na karti unošenjem njezinih GPS koordinata. U polje „Komentari“ dodaje se kilometarski položaj zgrade. Nakon što su zgrade postavljene, potrebno je ucrtati pristupne točke. Na toj trasi postoje 24 pristupne točke, i to tri pristupne točke tipa KZ (postojeći kabelski zdenci), 16 pristupnih točaka tipa MZD2 (kabelski zdenci tipa MZD2) i pet objekata tipa Stup KM (stupovi kontaktne mreže). Nije potrebno dokumentirati sve stupove kontaktne mreže, već one koji su iz nekog razloga važni za samu trasu optičkoga kabela, na primjer, oni na kojima se optički kabel spušta ili diže na kontaktnu mrežu. Svi kabelski zdenci nazivaju se po kilometarskome položaju, a stupovi kontaktne mreže imenuju se kao „Stup KM br. 23“. Nakon što su postavljeni svi objekti tipa „pristupna točka“, pristupa se crtanju samoga optičkog kabela. Logika kreiranja optičkoga kabela u OFM-u prikazana je na jednostavnome primjeru na slici 23. na kojoj se vide tri kolodvorske zgrade. Optički kabel od 48 svjetlovoda (šest tuba po osam svjetlovoda) ima svoj po-

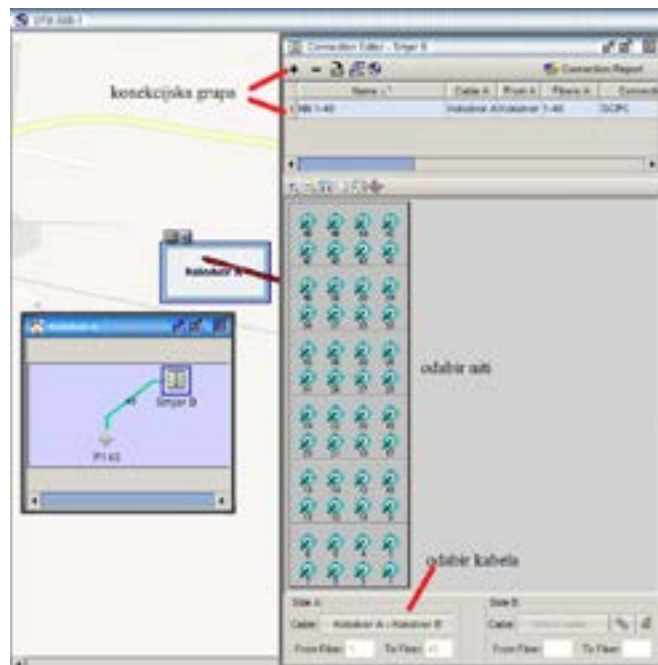
četak u kolodvoru A, a kraj u kolodvoru B. U kolodvoru C izlaze tri tube (24 svjetlovoda), dok su preostale tri tube prospojane, što je tipičan slučaj na optičkoj mreži hrvatskih željeznica. Kreiranje trase optičkoga kabela u



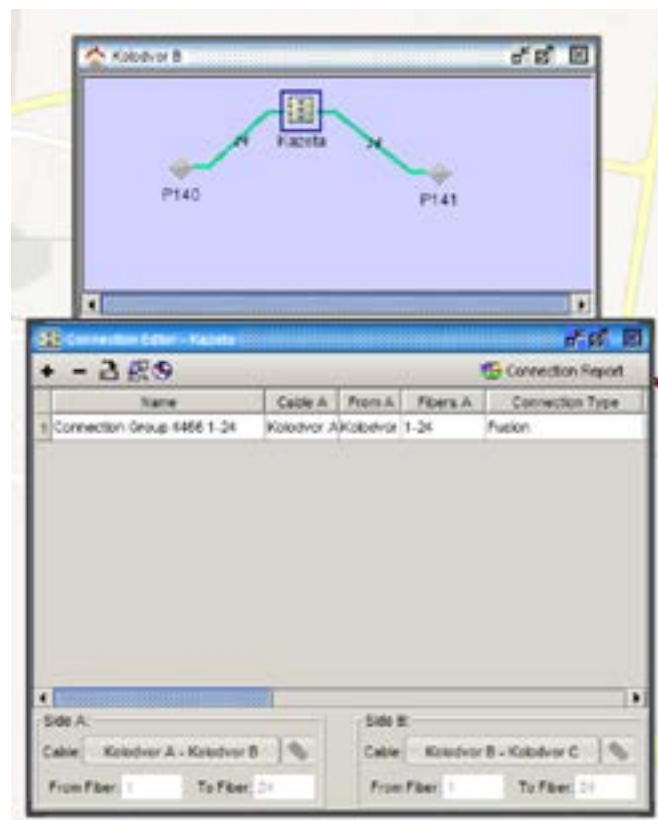
Slika 25. Dodavanje optičkoga kabela između kolodvora A i B



Slika 26. Dodavanje optičkoga kabela između kolodvora B i C



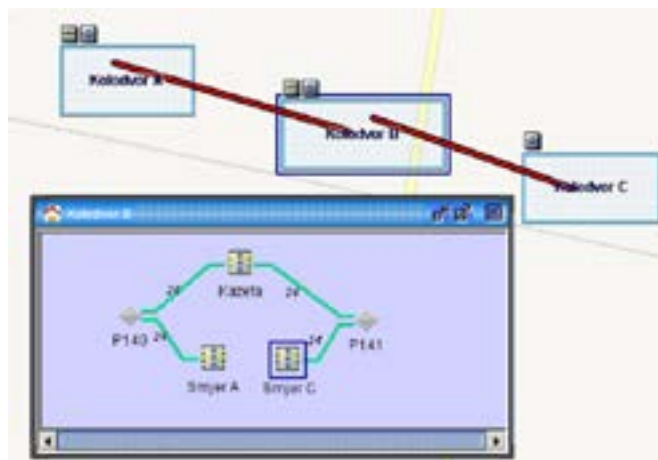
Slika 27. Uređivač konekcija za kolodvor A



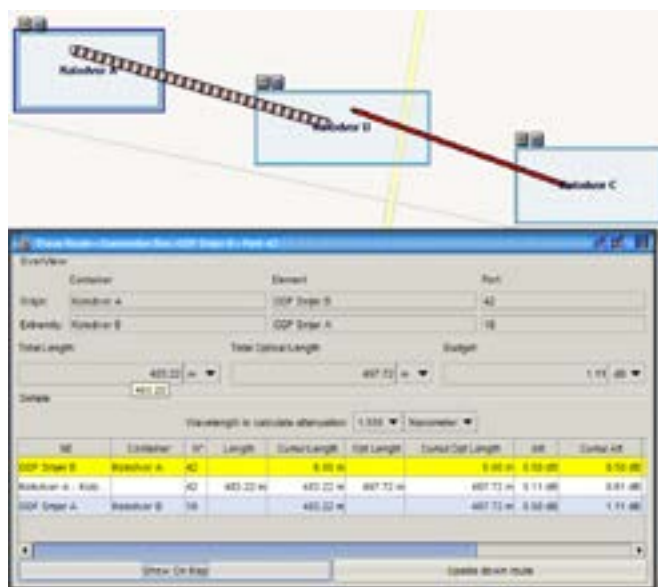
Slika 28. Uređivač konekcija za spojno mjesto „Kazeta“ u kolodvoru B

OFM-u započinje crtanjem spojnoga puta (engl. Path). Spojni put uvijek povezuje dvije susjedne zgrade ili dvije pristupne točke ili zgradu i pristupnu točku i ima posebno svojstvo vezano uz smještaj spojnoga puta u prostoru, što omogućuje da se različito smješteni dijelovi trase u prostoru prikazu na karti u različitoj boji, npr. podzemni dio trase u jednoj boji, a dio trase koja je na stupovima kontaktne mreže u drugoj boji. Spojni put sadrži jednu ili više cijevi (engl. duct). Cijev može sadržavati druge cijevi i/ili jedan ili više optičkih kabela. Na slici 24. prikazana su dva kreirana spojna puta: P140 između kolodvora A i B te P141 između kolodvora B i C.

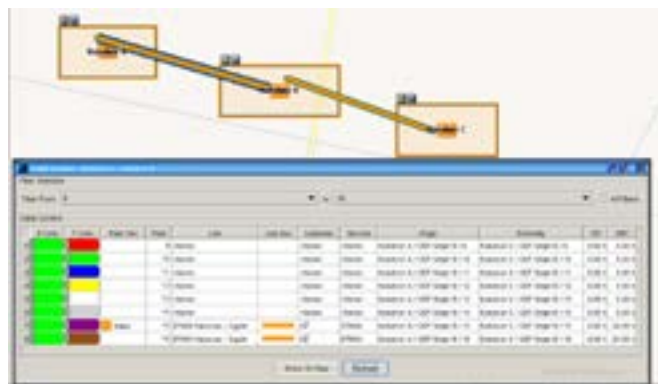
Nazive spojnih putova sustav dodjeljuje automatski i za sada ih ne treba mijenjati. Sustav također u svaki spojni put automatski dodaje jednu cijev (engl. duct). Dodatne cijevi mogu se dodavati u uređivaču spojnih putova prema potrebi. Nakon kreiranja spojnih putova pristupa se crtanju samoga optičkog kabela. Optički se kabel dodaje u segmentima (slika 25.). Najprije se u cijev D147 na spojnome putu P140 dodaje kabel između kolodvora A i B (označeno posebnom teksturom) i ponuditi nastavak crtanja kabela prema sljedećoj zgradi (kolodvoru B) ili pristupnoj točki, ako postoji, ili završetak kabela u kolodvoru B. S obzirom na to da se u kolodvoru B neke svjetlovođe želi „izvući“ na optički razdjelnik, a neke prosljediti dalje, segment kabela bit će završen u kolodvoru B. Prema kolodvoru C treba kreirati novi kabel po istome principu. Sustav će ponuditi spojni put P141 i cijev D148. Kabele će se imenovati kao kabel „kolodvor A – kolodvor B“ i kabel „kolodvor B – kolodvor C“ te će se iz baze podataka odabrati tip kabela, npr. ELKOPT SM 33 AT koji je definiran na početku. S odabirom optičkoga kabela automatski je odabran i tip svjetlovoda koji je pridružen tome tipu kabela kao i kod boja pridružen odabranome tipu kabela. U tome trenutku definiran je optički kabel na trasi i moguće je pristupiti povezivanju pojedinih svjetlovoda u svakoj pristupnoj točki, u ovome slučaju u svakoj zgradi. S obzirom na to da se radi o kabele s 48 svjetlovoda, u kolodvoru A dodat će se optički razdjelnik od 48 optičkih portova. Optički razdjelnik je u OFM terminologiji objekt „spojno mjesto“ (engl. *Connection Box*), koji će u ovome slučaju biti definirana tipa „Optički razdjelnik 48 horizontalni“. Svaki objekt tipa „spojno mjesto“ ima tzv. uređivač spojeva (engl. *Connection Editor*) u kojemu se rade sva spajanja svjetlovoda u sustavu OFM. Budući da je kolodvor A početna točka optičkoga kabela, svih 48 svjetlovoda spojit će se na optički razdjelnik (slika 28.) tako da se kreira grupa svjetlovoda, tzv. spojna grupa (engl. *Connection Group*), da se imenuje te da se odaberu svjetlovođe koji se žele spojiti kao i optički kabel čiji se



Slika 29. Konačna kabelska situacija u kolodvoru B



Slika 30. Pregled optičke trase

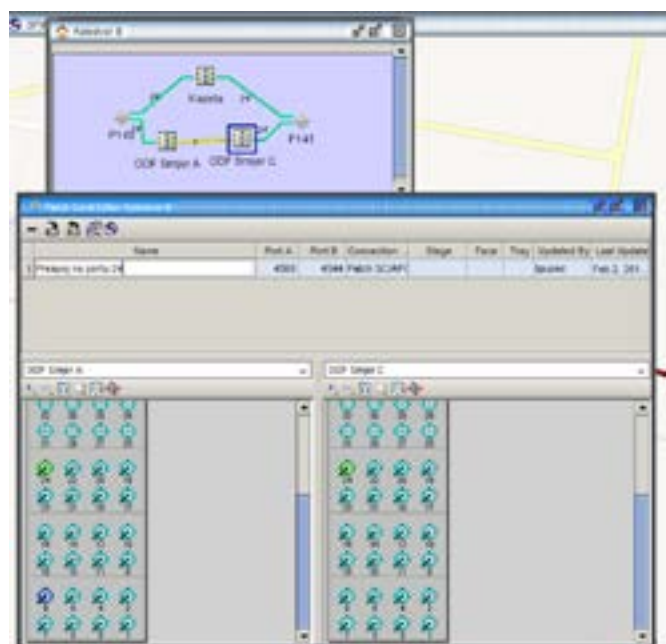


Slika 31. Preglednik kabela

svjetlovođe spajaju. Nakon te operacije na pogledu zgrade kolodvora A (slika 27.) vidi se da je 48 svjetlovoda iz spojnoga puta P140 „izvučeno“ na objekt

„spojno mjesto“ odnosno na optički razdjelnik koji je nazvan „Smjer B“. U kolodvoru B potrebno je tri tube po osam svjetlovoda „prosljediti“ prema kolodvoru C, a preostale tri tube „izvući“ na optički razdjelnik. To je moguće napraviti tako da se kreiraju tri objekta „spojno mjesto“. Jedno spojno mjesto bit će tipa „Optička kazeta 24 niti“, a dva spojna mjesta bit će tipa „optički razdjelnik“, i to jedan za smjer prema kolodvoru A i drugi za smjer prema kolodvoru C. Princip crtanja isti je kao i za kolodvor A, osim što će u uređivaču spojeva spojno mjesto „Kazeta“ imati lijevu i desnu stranu spoja, odnosno „A“ i „B“ stranu kao što je prikazano na slici 28. „A“ strana imat će pridruženi kabel „Kolodvor A – Kolodvor B“, a „B“ strana kabel „Kolodvor B – Kolodvor C“. Također, s obzirom na to da to spojno mjesto predstavlja optičku kazetu, prikazano je u obliku tablice, a ne grafički. Konačna kabela situacija kolodvora B prikazana je na slici 29. Moguće je i drugo rješenje s jednim spojnim mjestom tipa „optički razdjel-

Slika 32. Preglednik spojeva



Slika 33. Uređivač prespojnih kabela

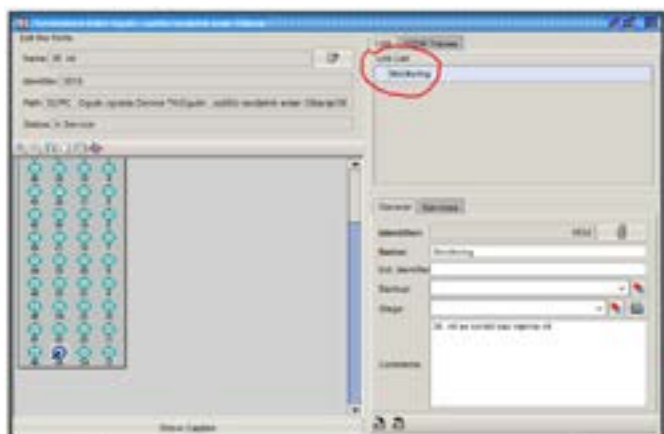
nik“ u kojem bi se kreirale dvije spojne grupe s po 24 svjetlovoda, svaka za jedan smjer. U kolodvoru C situacija je slična kao u kolodvoru A, odnosno potrebno je jedno spojno mjesto tipa „optički razdjelnik“ na koji je „izvučeno“ svih 48 svjetlovoda. Za svaki optički port, odnosno za svaki svjetlovod, moguće je prikazati pregled optičke trase (engl. *Trace Route*) u obliku tablice (slika 30.). Pregled optičke trase daje mnoštvo korisnih podataka o trasi optičkoga kabela: ukupnu geografsku dužinu trase, ukupnu optičku dužinu trase, ukupnu bilancu snage na trasi, popis svih elemenata na trasi s pripadajućim gušenjima, geografsku i optičku udaljenost pojedinih elemenata trase te akumuliranu geografsku i optičku udaljenost pojedinih elemenata. Također se vide i ishodišna i krajnja točka optičke trase, a za proračun optičke bilance snage moguće je odabrati četiri valne duljine. Parametri koji se koriste u proračunu bilance snage definirani su tipom optičkoga kabela odnosno tipom optičke niti u kabelu te tipom spoja spojnoga mjesta. U pregledniku optičke trase nalazi se i opcija za prikaz trase na mapi.

Preglednik kabela (engl. *Cable Content*) omogućuje detaljan pregled bilo kojeg svjetlovoda u svim ucrtanim kabelima. Kao što je prikazano na slici 31., preglednik prikazuje boju tube, boju svjetlovoda, stupanj alarma, ako je svjetlovod pod alarmom, broj svjetlovoda u kabelu, naziv linka (ako je definiran u uređivaču terminiranja) i alarm na linku, ako postoji, korisnika i servis na svjetlovodu, ako su definirani, ishodišnu i završnu točku te zajamčeno vrijeme intervencije i vrijeme popravka svjetlovoda.

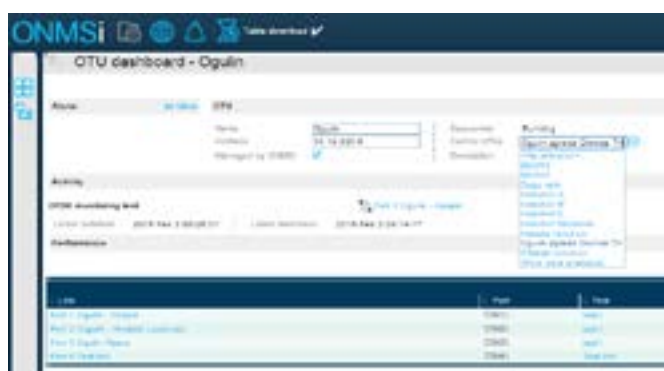
Preglednik spojeva (slika 32.) ima sličnu funkcionalnost, ali je vezan uz spojno mjesto. Dostupan je iz uređivača spojeva, a prikazuje način spajanja svjetlovoda na spojnome mjestu, uključujući sljedeće podatke za svaki svjetlovod za „A“ i „B“ stranu spoja: kabel kojemu svjetlovod pripada, izvorišno mjesto svjetlovoda, broj tube, boja tube, broj svjetlovoda, boja svjetlovoda te tip svjetlovoda i tip spoja. Uređivač terminiranja (engl. *Termination Editor*) vezan je za spojno mjesto. U njemu se pojedinim svjetlovodima koji su terminirani u spojnome mjestu pridružuju servisi, korisnici servisa, OTDR krivulje i OTU port u svrhu integracije sa sustavom ONMSi.

Uređivač prespojnih kabela (engl. *Patch Cord Editor*) omogućuje dodavanje prespojnih kabela između optičkih portova spojnoga mjesta koja se nalaze u istoj zgradi ili istoj pristupnoj točki.

Na slici 33. prikazan je kreirani prespoj s porta 24 spojnoga mjesta ODF Smjer A na port 24 spojnoga mjesta ODF Smjer C.



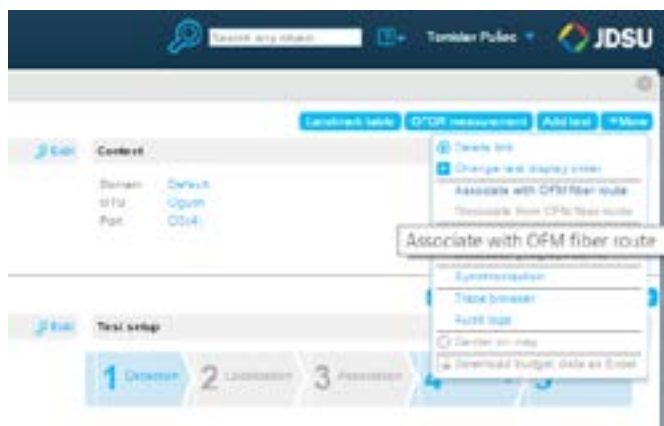
Slika 34. Uređivač terminiranja u kolodvoru Ogulin za optički razdjelnik smjer Oštarije



Slika 35. Odabir objekta u kojemu je smještena OTU jedinica



Slika 36. Uključivanje tablice orijentira



Slika 37. Povezivanje optičkoga linka s optičkom trasom iz OFM-a

7. Integracija OFM – ONMSi

Nakon što je, primjenjujući metodologiju opisanu u prethodnome poglavlju, kreirana kompletna trasa optičkoga kabela između kolodvora Ogulin i Kukača, moguće je izvesti integraciju trase optičkoga kabela sa sustavom za nadzor svjetlovoda ONMSi. Najprije je u ishodišnoj točki kabela, a to je u ovome slučaju zgrada kolodvora Ogulin, u uređivaču terminiranja optičkoga razdjelnika za smjer Oštarije potrebno kreirati optički link na svjetlovodu koji će se koristiti kao mjerni svjetlovod (36. nit; slika 34.). Također će se u cilju dokumentiranja na odabranome svjetlovodu definirati servis „Monitoring“. Ostale operacije vezane uz integraciju obavljaju se u sustavu ONMSi. Najprije je na panelu OTU jedinice potrebno odabrati objekt iz sustava OFM-a (zgradu) u kojemu je smještena OTU jedinica. U opisanome primjeru to je OTU jedinica u Ogulinu koja je smještena u objektu „Ogulin zgrada Dionice TK“ (slika 35.). Svojevrsna spona između sustava ONMSi i OFM jest tzv. tablica orijentira (engl. *Landmark Table*) pa će drugi korak biti uključivanje tablice orijentira



Slika 38. Odabir rute iz OFM-a



Slika 39. Povezivanje optičkih događaja s tablicom orijentira



Slika 40. Sinkronizacija između OTDR krivulje i OFM optičke rute



Slika 41. Lokalizacijska OTDR krivulja alarmnoga događaja



Slika 42. Detalji alarmnoga događaja



Slika 43. Prikaz alarmnoga događaja na panelu mape u sustavu ONMSi



Slika 44. Poruka elektroničke pošte o alarmnome događaju



Slika 45. Datoteka servisa Google Earth s lokacijom alarmnoga događaja

(slika 36.) za optički link „Port 4 Test Link“ koji se želi povezati s optičkom trasom iz OFM-a. Nakon toga treba provesti asocijaciju s optičkom trasom odabirom opcije „Associate with OFM fiber route“ i odabirom optičke trase iz sustava OFM-a (slike 37. i 38.). Potom treba napraviti samu asocijaciju između optičkih događaja na referentnoj OTDR krivulji mjernoga svjetlovoda i objekata na optičkoj trasi koja je kreirana u OFM sustavu. Na slici 39. vidi se pet događaja na referentnoj OTDR krivulji (zaokruženo crvenom bojom, šesti se događaj zanemaruje) i devet orijentira, odnosno objekata na optičkoj trasi iz OFM-a. Sustav je automatskom asocijacijom povezoao optičke događaje 2, 3 i 5 s objektima 530 + 255 te s kolodvorima Oštarije i Kukača. Ručnom asocijacijom povezat će se optički događaj pod brojem 1 s objektom „Ogulin zgrada Dionice TK“, dok optički događaj pod brojem 4 nije moguće asociirati ni s jednim objektom optičke trase. Nakon što je asocijacija obavljena, sustav će istu verificirati i spremiti test u OTU jedinicu Ogulin. U tome trenutku može se koristiti funkcionalnost sinkronizacije između optičke rute iz OFM-a i referentne OTDR krivulje (engl. *Trace Tracking*). To se radi tako da se u ONMSi sustavu usporedno otvore detekcijska OTDR krivulja i panel geografske mape. Pomičući poseban marker po OTDR krivulji (slika 40.), moguće je istodobno pratiti položaj na mapi. Zahvaljujući integraciji optičke trase i mjernoga svjetlovoda u optičkome kabelu dobivena je mogućnost precizne lokalizacije alarmnoga događaja na optičkome kabelu. Na slici 42. prikazano je izvješće o alarmu koje je sada potpunije i preciznije jer osim udaljenosti pozicije pogreške od OTU jedinice sadrži i GPS koordinate pozicije pogreške kao i udaljenost od najbližega orijentira na terenu, u ovome slučaju to je kabelski zdenac sa spojnicom označen kao „527+461 MZD2 spojnica“. U izvješću o alarmu vidljivo je i to da je oznaka oštećenoga kabela u sustavu OFM C40_1 te da se radi o 36. niti u kabelu. Svi ti podaci nalaze se i u poruci elektroničke pošte (slika 44.), koja će u slučaju alarmnoga događaja stići auto-

riziranim djelatnicima i koja u pravitku sadrži i *kmz* datoteku servisa *Google Earth* s lokacijom pogreške koja je prikazana na slici 45.

Na slici 41. vide se referentna OTDR krivulja nadzira-noga svjetlovoda (plava krivulja) i lokalizacijska krivulja alarmnoga događaja (crvena krivulja) koje se nalaze i u pravitku alarmne poruke elektroničke pošte. Na slici 43. na kojoj je prikazan panel mape u sučelju sustava ONMSi vidljivi su optički kabel pod crvenim alarmom (engl. *critical*) te pozicija alarmnoga događaja koja je u samome kolodvoru Oštarije.

8. Zaključak

Važnost optičke infrastrukture za funkcioniranje svih modernih telekomunikacijskih sustava koji se koriste u HŽ Infrastrukturi kao i iznajmljivanje viška optičke infrastrukture zahtijevaju neprekidan uvid u stanje prijenosnoga medija na cijeloj optičkoj mreži. Neprestanim praćenjem karakteristika prijenosnoga medija omogućava se i preventivno održavanje, odnosno moguće je i unaprijed predvidjeti pojavu eventualnih problema na prijenosnome mediju zbog raznih vanjskih utjecaja (npr. temperaturni utjecaji na kabel ili natezanje kabela zbog pada grana), čime se smanjuje i trošak redovitoga održavanja.

S obzirom na to da je sustav integriran s geografskim informacijskim sustavom, znatno je olakšana i ubrzana lokalizacija problema na kabelskoj infrastrukturi, čime se skraćuje i vrijeme sanacije kvara te vrijeme ispada mreže. Svime navedenim znatno se povećava kvaliteta usluge optičke infrastrukture te se smanjuju troškovi održavanja i penalizacije u slučaju prekida telekomunikacijskih linkova koji se iznajmljuju.

Literatura:

- [1] Pušec, T.: Nadzor i upravljanje optičkom mrežom hrvatskih željeznica, Specijalistički rad, 2016.
- [2] JDSU: A Quick Start Guide to Fiber Inspection and Cleaning, 2009.
- [3] Dutton, H.: Understanding Optical Communications, IBM, 1998.
- [4] Acterna: Guide to Fiber Optic Measurements, 2000.
- [5] Elektrotehnički fakultet Osijek: Fizikalne osnove prijenosa podataka, 2012./2013.
- [6] Fakultet elektrotehnike i računarstva, Uvod u fotoničke telekomunikacijske mreže, 2015./2016.
- [7] Hayes, J.: Fiber Optics Technician's Manual, 2nd Edition, 2016.
- [8] Kunarac, A.; Kuljanin, V.; Radenković, N.: Sistemi za daljinsko testiranje kvaliteta mreže optičkih kablova, 2002.
- [9] Marković, S.; Lekić, D.: Sistem za daljinski nadzor mreže optičkih kablova, 2013.

- [10] Mahlke, G.; Gossing, P.: Fiber Optic Cables, Publicis MCD Corporate Publishing, 2001.
- [11] Agilent Technologies: Optical Time Domain Reflectometers, 2001.
- [12] Ponchon, J.: *OFM-500 Training Practice, Version 2*, 2005.
- [13] Ponchon, J.: *OFM-500 Training User Manual, Version 2.5*, 2005.
- [14] Ponchon, J.: *ONMSi Software Description, Version 2.70, Rev2*, 2015.
- [15] JDSU: Reference Guide to Fiber Optic Testing, Volume 1, 2011.
- [16] Urošević, S.: Konektorski spojevi optičkih vlakana, karakteristike i mjerenja, 2008.

UDK: 656.216

Adresa autora:

Tomislav Pušec, mag. ing. el., univ. spec. el.
tomislav.pusec@hzinfra.hr
HŽ Infrastruktura d.o.o.

SAŽETAK:

SUSTAV ZA NADZOR OPTIČKE MREŽE HŽ INFRASTRUKTURE

Optička mreža HŽ Infrastrukture kao temeljni telekomunikacijski resurs i okosnica svih modernih telekomunikacijskih sustava zahtijeva kontinuirani nadzor funkcionalnosti, što podrazumijeva implementaciju opreme koja kontinuirano snima stanje kabelske infrastrukture, odnosno samih optičkih kabela te o tome alarmira osobe zadužene za održavanje optičkoga kabelskog sustava ne samo u slučaju prekida, već i u slučaju promjena karakteristika prijenosnoga medija. U radu će se prikazati fizikalni princip rada sustava za nadzor optičkih niti s posebnim naglaskom na njegove praktične funkcionalnosti.

Cljučne riječi: svjetlovod, sustav za nadzor optičke mreže, optički reflektometar u vremenskoj domeni, optička mjerna jedinica, Rayleighovo raspršenje, Fresnelova refleksija, krivulja povratnoga raspršenja, optička bilanca, sustav za dokumentiranje optičke mreže

Kategorizacija: stručni rad

SUMMARY:

HŽ INFRASTRUKTURA OPTICAL NETWORK MONITORING SYSTEM

The optical network of HŽ Infrastruktura, as the basic telecommunication resource and the backbone of all modern telecommunications systems, requires continuous monitoring of functionalities, which implies the implementation of equipment that continuously records cable infrastructure condition, that is, optical cables themselves, and alerts the persons responsible for the maintenance of the optical cable system not only in the event of an interruption, but also in the case of changed characteristics of the transmission medium. The physical principle of operation of the optical filament monitoring system will be presented in the paper, with special emphasis on its practical functionalities.

Key words: fibre optic, optical network monitoring system, optical time-domain reflectometer, optical measurement unit, Rayleigh scattering, Fresnel reflections, backscattering curve, optical balance, optical network recording system

Categorization: professional paper