

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

OPTIKAI KÁBEL TELEPÍTÉSI HIBÁINAK SZIMULÁCIÓS TESZTASZTALA

Szerző: Óhegyi Dávid
villamosmérnök BSc. szak, IV. évf.

Konzulens: Dr. Varga Péter János PHD
egyetemi docens

Budapest, 2022.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	3
2. A feladat részletes megfogalmazása és koncepciótervezés	4
2.1 Projektkörnyezet és gyakorlati felhasználhatóság.....	4
2.2 A teszttasztal architektúrája.....	4
2.2.1 Logikai felépítés és a komponensek bemutatása.....	4
2.2.2 Elméleti összeállítás és látványterv	7
3. Felhasznált eszközök.....	9
3.1 Alkalmazott optikai kábeltípus és kritériumai.....	9
3.1.1 Univerzális, kül- és beltéri optikai kábel.....	9
3.1.2 LC-LC duplex csatlakozós, optikai patch kábel.....	10
3.2 A szimulációs körülményeket megvalósító eszközök és módszereik	11
3.3 Mérés és kiértékelés eszközei.....	12
3.3.1 Az OTDR mérőműszer.....	13
3.3.2 VFL hibakereső eszköz	15
4. A szimulálni kívánt, valós esetek bemutatása.....	16
4.1 Megfelelően telepített, hibamentes optikai kábel	16
4.2 Szűk hajlítási sugár és meghajlás	18
4.3 Folyamatos nyomó és szorítóerők hatása	19
4.4 Mechanikai feszültség okozta csavarodás és szál törés.....	20
4.5 Kifejtőpanelen és rendezőszekrényen belüli hibás telepítés	21
5. A teszttasztal megvalósítása.....	24
5.1 Anyagfelhasználás és összeszerelés	24
5.2 Optikai kifejtőpanel telepítése	26
6. Mérések és kiértékeléseik	29
6.1 1. mérés: Megfelelően telepített optikai kábel	29
6.2 2. mérés: Éles szögben meghajló optikai kábel.....	31
6.3 3.1. mérés: Patch panelen belüli problémák (hibás hegesztés)	33
6.4 3.2. mérés: Patch panelen belüli problémák (szennyezett csatlakozó).....	35
6.5 4. mérés: Áthurkolt optikai kábel	37
6.6 5. mérés: Mechanikai nyomásnak kitett optikai kábel	39
6.7 6. mérés: Törött szálak az optikai kábelben	41
7. Minőségi irányelvek.....	43
8. Továbbfejlesztési lehetőségek.....	44
9. Összefoglaló	45
10. Irodalomjegyzék.....	46
11. Ábrajegyzék	47

1. BEVEZETÉS

Az optikai kábel a világszintű – és számtalan esetben a lokális kommunikáció gerincét, alappillérjét képező technológiai megoldás. Megfelelő, az adott körülményekhez és igényekhez igazodó telepítése a kifogástalan és megbízható adatátvitel kulcsfontosságú tényezője. A gyakorlatban azonban, gyakran nem elég körültekintő, vagy műszaki elmélyültséget nélkülöző, és ezáltal a vonatkozó szabványi előírásoknak nem eleget tevő telepítési módokkal találkozhatunk. Ezen problémák már az üzembe helyezés előtt csorbitják, akár ellehetetlenítik a technológia adottságainak kiaknázását, súlyosabb esetekben pedig, a kielégítő funkcionalitást egyaránt, hibajavításukkal hatalmas többletköltséget produkálva.

Reprezentatív és oktató jelleggel készítettem el dolgozatom tárgyát, egy olyan kompakt tesztasztalt, amelyen a telepítési hibák leggyakrabban előforduló változatait sűrítettem egy felületre. Az optikai szálban futó impulzus számára ez egy, tulajdonképpeni „akadálypályaként” viselkedik, így láthatóvá válik, hogy a különböző mechanikai igénybevételek és károsodások milyen adatközlési deficitet indukálnak. Céлом, hogy a valóságban elvétve jelentkező eseteket szimulációs mérések során bemutassam, így megismertetve a problémák szemmel látható kinézetét, súlyosságuk mértékét, illetve elkerülésük lehetőségeinek módjait. Dolgozatomban bemutatom az általánosan előforduló, helyszíni telepítések során felmerülő kockázatokat is, és az azoktól történő mentesítések lehetőségeit egyaránt, melyek szemléltetésére jelen szimulációs tesztasztal is készült. Az itt fellelhető problémákkal magam is találkoztam már, szakmai munkavégzésem során. Az utóbbi években volt szerencsém ide tartozó, műszaki kompetenciát gyűjteni, különböző nagyvállalatok irodaházi telephelyein/gyártócsarnokaiban, vagy TIER III minősítéssel ellátott adatközponti megbízások keretében. Dolgozatom is, legfőképpen ezen, elméleti és gyakorlati tapasztalatok felhalmozása, a szakmai ismereteim önálló bővítése, illetve ez idő alatt, műszaki kollégákkal folytatott gondolatcserek és problémamegoldások alapján készült el.

Ezúton szeretném köszönetemet is kifejezni az IT CABLING SERVICES HUNGARY Kft.-nek, a szakmai fejlődésemet összesen négy éven át támogató munkahelyemnek, mely széleskörű és változatos projektek által biztosította tapasztalatszerzésemet, illetve eszközparkjának rendelkezéseimre bocsátásával segítette ezen dolgozat elkészültét. Köszönet illeti továbbá, Dr. Varga Péter János egyetemi oktatómat – és jelen dolgozat esetében, konzulensemet. Az ő töretlen támogatása, motiválása, illetve értékes, elmélyült műszaki rálátása és visszajelzései nélkül, a dolgozatom ezen formájában nem jöhetett volna létre.

2. A FELADAT RÉSZLETES MEGFOGALMAZÁSA ÉS KONCEPCIÓTERVEZÉS

2.1. Projektkörnyezet és gyakorlati felhasználhatóság

A szimulációs teszttasztal egyszerű, átlátható felépítése, és kompakt, jól elhelyezhető jellege, azonban könnyen mozgatható tulajdonságai okán, ideálisan alkalmazható egyetemi, infokommunikációs laborkörnyezetben, vagy egyéb, oktatási célra szánt bemutatók esetén, az optikai fizikai közeg telepítési hibának demonstrálása céljából. Igyekszik kézzelfoghatóan és látványosan szemléltetni azokat a telepítési hibákat, amelyek konkrét, specifikus eseteiről a magyar és angol nyelvű szakirodalom esetekben hiányosan, vagy nehezen fellelhetően értekezik, és saját, gyakorlati tapasztalatokból táplálkozik. Ezáltal, oktatási célra szánt, optikai hálózati méréselmélethez, gyakorlati reprezentáció gyanánt könnyen adaptálható.

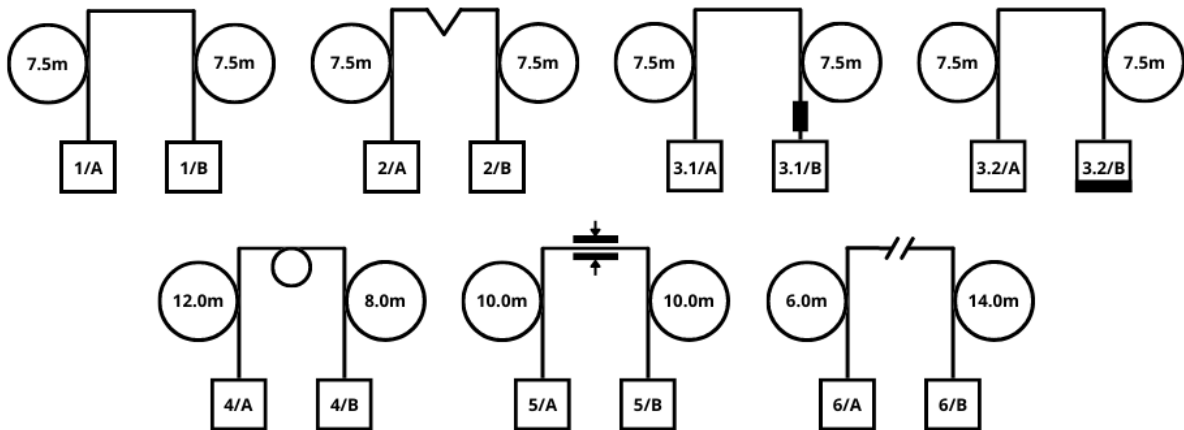
Az igény megfogalmazása szubjektív aspektusból indult ki: Hogyan tehetnék szert egzakt, visszaellenőrizhető OTDR mérési eredményekre a különböző telepítési hibák kapcsán, ha az eddig rendelkezésemre álló, munkám során a megrendelők részére kiállított mérési jegyzőkönyveim, mind más jellegű hálózattelepítési projektjeimből származnak? Ezen jegyzőkönyvek más és másképp fennálló esetek szempontjából történtek kiállításra, alapvető paraméterekben térnek el egymástól, így szignifikáns összehasonlításra nem alkalmasak. A megoldással egy olyan, saját elkészítésű objektum szolgált, amely felületén tartalmazza a valóságban elszórtan jelentkező és nehezen lekövethető eseteket, anyagfelhasználása és kialakításának módja a lényegi pontjaiban ismert, a mérések kimenetele megjósolható, alkalmas a visszaellenőrzésre, mindezek által pedig, releváns szemléltetésre megfelelő.

2.2. A teszttasztal architektúrája

2.2.1. Logikai felépítés és a komponensek bemutatása

Minden egyes mérési reprezentáció egy-egy, elvi komponensként definiálható a teszttasztalon. Az összesen hét, különböző jelenséget szemléltető, mérés alá vonható kábel mindegyikéhez egy-egy, „A” és „B” irányból is vizsgálható, duplex optikai adapter tartozik, az 1 unit magasságú, 19” szélességű kivejtőpanelen (a 3. mérés esetében egy-egy simplex port: 3.1 és 3.2). Adott, mérendő kábel a hozzá tartozó adapterből indul ki, a teszttasztali nyomvonalán elszervezi a hibajelenséget, majd a kivejtőpanel ellenkező oldalán, a hozzá tartozó, túlvégi adapterbe csatlakoztatva érkezik vissza. Továbbá, a kábeltartalékok egyes oldali, eltérő hosszának képzéséből fakadóan, lehetőség nyílik a kábel mentén található

hibahely még inkább szemléletesebbé tételére, ugyanis a két irányból történő mérés során ezek algebrai összege a kábel teljes hosszát adja vissza. Mindezek együttese, többszöri, több perspektívából történő méréseket tesz lehetővé, az egzakt visszaellenőrzés érdekében. Az alábbi ábrán látható az imént felvázolt elképzelés sematikus, logikai vázlata, majd ezt követően, az ezekhez tartozó mérések megvalósítandó koncepciója kerül ismertetésre.



1. ábra: A mérendő komponensek logikai vázlata

1. mérés: Megfelelően telepített optikai kábel

- Reprezentáció: A telepítés megfelel a sztenderdeknek.
- Módszer: Megfelelő vezetés a nyomvonalon és körültekintő szálkifejtés.
- Mérés várható eredménye: OTDR mérés során nem jelentkezik probléma.
- Anyag: Univerzális Loose Tube OS2 9/125 μm magátmérőjű kábel 15 m
- Kábeltartalék: Hátsó állványokon 7.5-7.5 m

2. mérés: Éles szögben meghajló optikai kábel

- Reprezentáció: Nem körültekintő kábelvezetés a nyomvonalon, pl. kábeltálcából történő kilépéskor, felszállókból történő kilépéskor jelentkező probléma.
- Módszer: Nyomvonalon éles meghajlás, a kábel és a belső pászma deformációja, L-acél segítségével.
- Mérés várható eredménye: OTDR mérés során makrohajlítás, vagy erős reflexiók zavar jelentkeznek.
- Anyag: Univerzális Loose Tube OS2 9/125 μm magátmérőjű kábel 15 m
- Kábeltartalék: Első állványokon 7.5-7.5 m

3. mérés: Patch panelen belüli problémák

- Reprezentáció: Szakszerűtlen szálkifejtés a patch panelben, szennyezett csatlakozó használata.
- Módszer: Egy szál hibás hegesztése a kötésvédő kazettában (3.1. mérés). Egy pigtail csatlakozó erősen szennyezett (3.2. mérés).
- Mérés várható eredménye: OTDR mérés során rossz hegesztési és magas csatlakozóveszteségi karakterisztika jelentkezik.
- Anyag: Univerzális Loose Tube OS2 9/125 μm magátmérőjű kábel 15 m
- Kábeltartalék: Középső állványokon 7.5-7.5 m

4. mérés: Áthurkolt optikai kábel

- Reprezentáció: Áthurkolás rendezőszekrényekben történő kábeltartalék kezelésekor, esetleg csöveken, a nyomvonalon történő vezetés során.
- Módszer: Kis keresztmetszeti átmérőjű, acél menetes száron kétszer áthurkolt optikai patch kábel.
- Mérés várható eredménye: OTDR mérés során makrohajlításból fakadó csillapítási érték jelentkezik.
- Anyag: OS2 9/125 μm magátmérőjű patch kábel 20 m
- Kábeltartalék: Hátsó állványokon 12-8 m

5. mérés: Mechanikai nyomásnak kitett optikai kábel

- Reprezentáció: Nagy tömegű tárgyak terhelést fejtenek ki az optikai kábelre (szekrény alá szorulás, munkagépek áthaladása). Rack elemek közé beszorult optikai patch kábel.
- Módszer: Gépsatu segítségével statikus nyomás kifejtése optikai patch kábelre.
- Mérés várható eredménye: OTDR mérés során magdeformációból fakadó csillapítási érték jelentkezik.
- Anyag: OS2 9/125 μm magátmérőjű patch kábel 20 m
- Kábeltartalék: Középső állványokon 10-10 m

6. mérés: Törött szálak az optikai kábelben

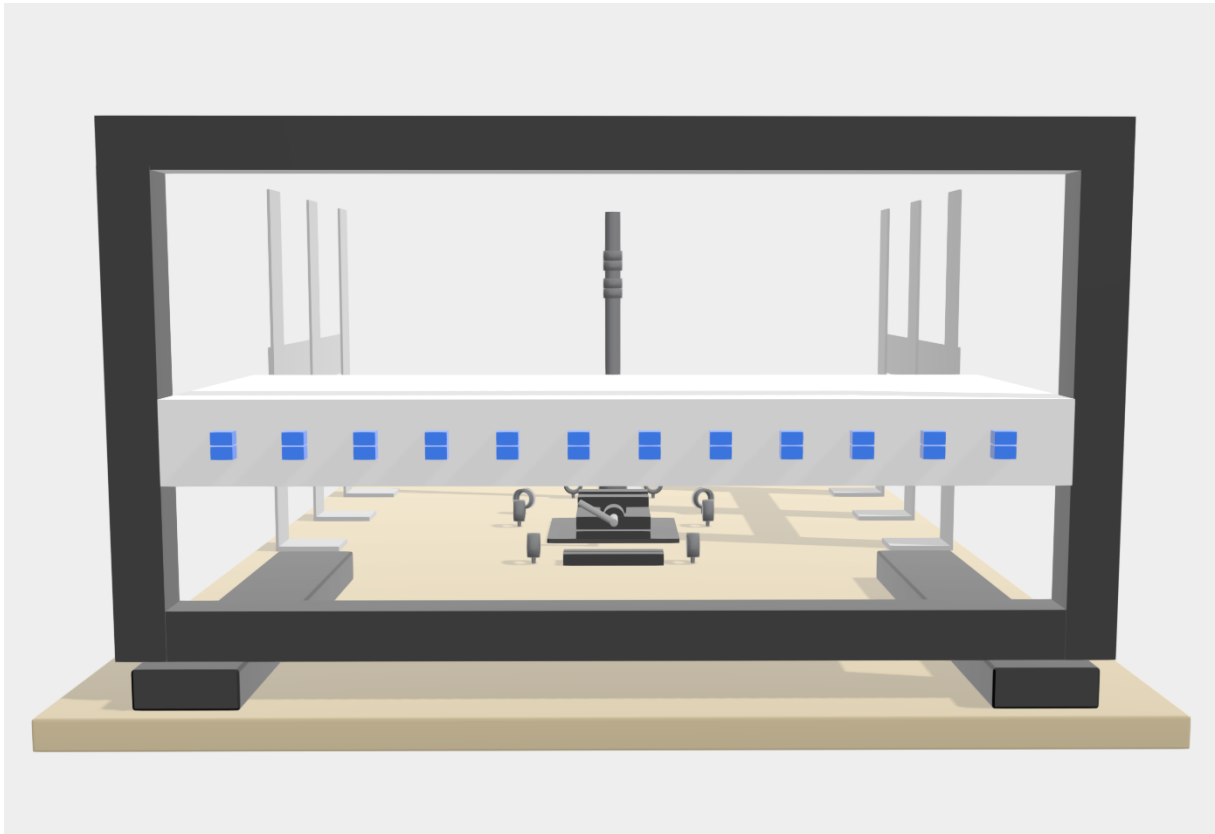
- Reprezentáció: Emberi szemmel alig észrevehetően megtört optikai kábel, nyomvonalon telepítés, vagy rendezőszekrénybeli kapcsolatok kialakítása során.
- Módszer: Az optikai patch kábel szándékos megtörése, a hibás szakasz kiemelése a teszttasztalon.
- Mérés várható eredménye: Az OTDR mérés során szabad szálvég jellegzetes karakterisztikája látható, mindkét irányból.
- Anyag: OS2 9/125 μm magátmérőjű patch kábel 20 m
- Kábeltartalék: Első állványokon 6-14 m

2.2.2. Elméleti összeállítás és látványterv

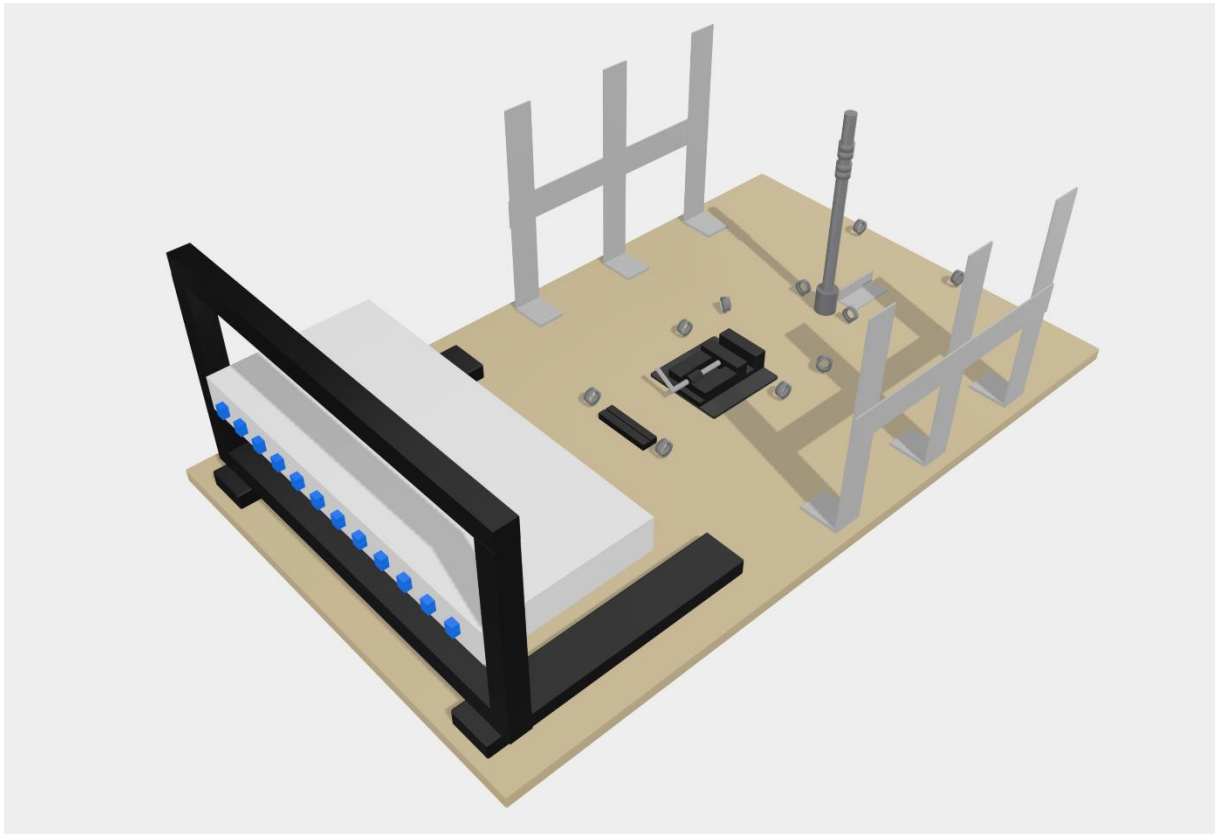
Az optikai kábelek statikus igénybevételeinek bemutatása céljából, egy ragasztott falapon álló, 4 unit magas rendezőkeret foglal helyet, amelybe egy, összesen 12 db duplex (azaz, 24 db szimplex), monomódusú kábelek csatlakozóit fogadni képes, optikai kifejtőpanel (patch panel) kerül beszerelésre. Az egyes mérési komponensek (linkek), mint a teszttasztal felületén futó hurkok valósulnak meg, azaz a kábel mindkét végének végződtetése ugyanabban a patch panelben, csak átellenes adapterében valósul meg, ezáltal a mérést végző személy egy oldalról, helyváltoztatás nélkül képes mind az „A”, illetve „B” irány mérésére.

Szemléltetve a kábelnyomvonalon, illetve a rendezőhelyiségekben felmerülő problémákra való érzékenységet, ugyanazon magátmérővel rendelkező, azonban kialakításában és védelmi rétegezésében két, különböző kábeltípus kerül beépítésre. Ezek 3 db 9/125 OS2 univerzális Loose Tube (robosztusabb kialakítású, jelentősebb szálvédelemmel ellátva, a nyomvonal igénybevételek reprezentációjához), és 3 db 9/125 OS2 LC-LC duplex patch kábel (egyszerűbb, kevésbé szálvédett, de flexibilisebb megoldás a rendezőszekrényekben található, optikai kapcsolatok kialakításához). Az univerzális kábelek a kifejtőpanelen belüli szálhegesztéssel, míg a patch kábelek egyszerű, adapteres csatlakoztatás segítségével történnek végződtetésre.

A fa alapra rögzített, álló L-acélelemek kábelvezetésre és a kábeltartalékok fogatására hivatottak, a fém rögzítőbilincsek a felületi kábelvezetést segítik elő, a szimulációs körülményekért felelős alkatrészek pedig a falap felületén foglalnak helyet. Mindezen elképzeléseimről a Vectary, egy ingyenesen igénybe vehető, online 3D-tervező segítségével, még a teszttasztal kivitelezése előtt látványtervet készítettem.



2. ábra: A tesztasztal látványtervének előlnézeti perspektívája

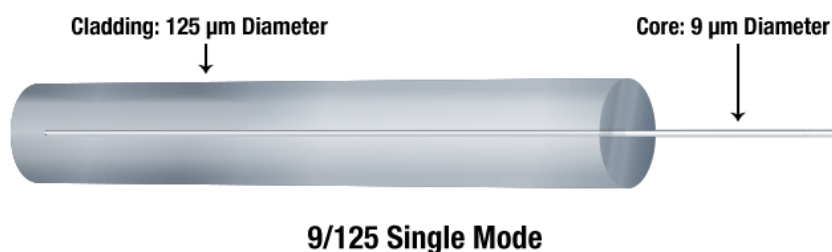


3. ábra: A tesztasztal látványtervének felülnézeti perspektívája

3. FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK

3.1. Alkalmazott optikai kábeltípus és kritériumai

A monomódusú (single mode) típusú optikai szál esetében a szálmag átmérője már csupán 9 mikron [1] átmérőjű, kvantumfizikai jelenségekből kifolyólag tekinthető úgy, hogy a fényimpulzus látszólag folyamatos visszaverődés helyett, egyenes vonalban terjed a szálban. Ez a tulajdonság lényegesen kitolja a telepíthető maximális szálhossz értékét, kiterjesztve ezzel az optikai áthidalás lehetőségét a különböző adó- és vevőegységek között, növelve a kiaknázható sáv szélességet és lehetővé téve a hullámhosszostáson alapuló multiplexálást, az egy azon szálon történő adattovábbítást mindkét irányban.



4. ábra: Monomódusú optikai kábel szálmagja és környezete

A hibák szimulációjának tesztalánya jelen esetben is a monomódusú, 9/125 mikrométer magátmérőjű optikai kábeltípus, amely a nagy távolságokat áthidaló, adatkommunikációs átvitelre a legideálisabb fizikai közeg – mindemellett azonban, a hibás telepítési eljárásokra és mechanikai behatásokra a leginkább érzékeny, ennek okán is (és mivel gyakorlati alkalmazásokban ez a inkább elterjedtebb) a legalkalmasabb a felmerülő problémák szemléltetésére. Vizsgálataimhoz univerzális (kül- és beltéren, korlátozott igénybevételi határokig egyaránt telepíthető), illetve a hálózati kapcsolatok fizikai kialakítására szolgáló, „patch” kábeltípust alkalmazok, a különböző hibák látványosabb bemutatása érdekében.

3.1.1. Univerzális, kül- és beltéri optikai kábel

Az optikai kábel szerkezetére vonatkozó megoldások számos konstrukciója létezik, az időtálló telepítésre történő kiválasztásukat pedig a terület jellegi tulajdonságai, a telepítése módja, illetve a meglévő és a jövőbeli fizikai igénybevételek határozzák meg. Léteznek úgynevezett „univerzális” optikai kábelkialakítások, amelyek köztes megoldásként egyaránt alkalmazhatók kültéren (a megfelelő kábelvédelemmel ellátva, természetesen) – de nem fokozott igénybevételek esetén, illetve beltéren, ahol a nyomvonal körülményesebb kialakítású, azonban ez a kábeltípus még épp elég flexibilis a kényelmes telepítéshez.



5. ábra: Schrack Technik univerzális optikai kábel

A kábel külső védelmi szerepéért legfőképpen a kábel köpenye felelős – ugyanis ez a réteg érintkezik közvetlenül a külső hatások jelentős részével –, illetve annak kialakítása és anyagfelhasználása. Ez alatt, általánosan alkalmazott, aramid – más néven: kevlár – védelmi réteget találhatunk. Ez a vékony szálakban kialakított, szintetikus anyag az egyéb erősítőszálakhoz képest, meglehetősen alacsony fajsúllyal rendelkezik, azonban szakítószilárdsága, nyírószilárdsága, kopás- és hőállósága kiemelkedő.

Beljebb haladva az optikai kábel rétegeinek során, már a fényvezető szálak közvetlen környezetét vizsgálhatjuk. E fajta, „loose tube” típusok esetén a szálak egy (akár több), pászmának nevezett, műanyag csőben helyezkednek el. A külső behatásokra érzékeny, vékony üvegszálak egy, speciális, pászmát kitöltő gélben „lebegnek”, mely mechanikailag feszültségmentesíti azokat, illetve a szálak közvetlen környezetét víztől, portól, szennyeződéstől elzárt régióvá teszi.

A teszttasztalon alkalmazott egyik kábeltípus a Schrack Technik gyártású, 9/125 μ m OS2, LS0H-3 univerzális optikai kábel, amely az 1., 2., és 3. mérés során kerül tesztelésre. A bekötési eljárás ezek esetében, a csatlakozókkal ellátott pigtailekhez történő, optikai szálhegesztés, a kifejtőpanelen belül.

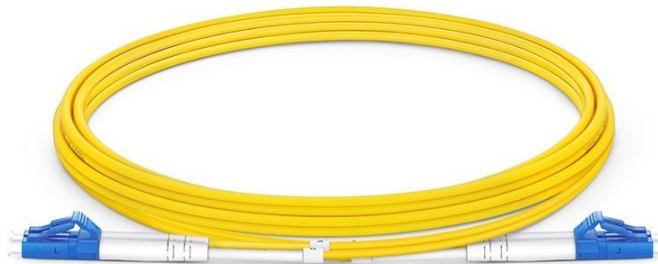
3.1.2. LC-LC duplex csatlakozós, optikai patch kábel

A patch kábelek feladata ott kezdődik, ahol a vertikális és horizontális kábelezésre szánt optikai kábeleké véget ér. Kapcsolatot alakítanak ki a szálkifejtéssel végződött optikai végpontok és az aktív eszközök, vagy akár közvetlenül ezen végpontok között. Mivel alkalmazási területeik közé főként a szeparált és védett informatikai rendezőhelyiségek, illetve az azokban található rendezőszekrények tartoznak, ezért a sérülés veszélyének nagyságrendekkel kisebb eséllyel vannak kitéve. Ezen megfontolás okán, az anyagkialakításuk is kevésbé követeli meg a mechanikai védelmet: a vékony kábelköpeny alatt általánosságban csupán kevlárréteget alkalmaznak a gyártók a szálak óvására.

Kisebb súlya, jelentős flexibilitása és szálhegesztés nélküli, közvetlenül az adapterbe történő csatlakoztathatósági lehetősége mellett, azért is használtam fel a teszttasztal építése

során, mivel könnyebben végezhető rajta mechanikai behatás, és a látható lézerfényvel történő tesztelések során, meglehetősen szemléletes képet kaphatunk a hibákról.

Előregyártott, 20 méteres hosszúságú, LC-LC duplex (mindkét végén UPC csiszolású) csatlakozóval ellátott kábelek szerepelnek a 4., 5., és 6. mérések esetében. Fontos a csatlakozók csiszolás szerinti kompatibilitása, így a mérőkábelek esetén is ez alkalmazandó, OTDR kimenet-kompatibilis csatlakozóval.



6. ábra: OS2 LC(UPC)-LC(UPC) duplex csatlakozós patch kábel

3.2. A szimulációs körülményeket megvalósító eszközök és módszereik

A kábelezési hurkok végződtésének megoldása egy, Schrack Technik gyártású, 12 db duplex, monomódusú kábelcsatlakozók fogadására képes, precíz adapterrel rendelkező, 1 unit magas, 19” széles (rendezőkeretbe szerelhető) optikai kifejtőpanellel valósul meg. Balról jobbra haladva, az első 6 db duplex adapter egyenként, az összesen hat mérendő kábel „A” irányú bemenetei, az utolsó 6 db duplex adapter pedig azok kimenetei, azaz a „B” irányú bemenetei.

Az 1. számú mérés a kontrollmérés, egy hibamentesen vezetett és végződtesített, univerzális kábeltípus szálainak vizsgálata. Ennek érdekében, a kábel körültekintő vezetése és rögzítése szükséges a nyomvonalon, ügyelve a pászma roppanásának elkerülésére, egyidejűleg betartva a minimális hajlítási sugár követelményeit, és a megfelelő rögzítési eljárásokat.

A 2. számú mérés során, egy fektetett, az asztallapra rögzített L-acél segítségével, az univerzális kábel erős, nyomvonalai hajlítást szenved ($\sim 30^\circ$ szöget bezárva). A megfelelő hajlítási szög elérésnek érdekében, a pozicionálásra több, rögzített tartóbilincs is szolgál.

A 3. számú mérés(ek) szimulációja a teszasztal lapján nem kíván beavatkozást, azok a kifejtőpanelen belül történnek meg, mint egyoldali, szándékosan rossz minőségben elvégzett szálhegesztés (3.1. mérés), illetve egyoldali, szándékosan jelentős szennyeződéssel borított csatlakozófelület (3.2. mérés). Mindezek egy oldalon történő alkalmazása felhívja a figyelmet a reflexiókból történő következtetések, és a két irányú mérések szükségességére.

A 4. számú méréshez felhasznált eszköz egy, 16 mm keresztmetszeti átmérőjű, ~30 centiméteres méretre vágott, tesztasztal lapjába rögzített, álló menetes szár. Az e körül, két alkalommal körbehurkolt optikai patch kábel jelentős makrohajlítást szenved el. Helytakarékoság és megfelelőbb szemléltetés céljából, a patch kábel ez esetben, a menetes szár felső 5-10 centiméterén kerül vezetésre.

Az 5. számú mérés esetében, falpra szerelhető gépsatu kerül alkalmazásra. Ez, kellően beállított szorítóerő segítségével, biztosítja a kábelre nehezedő, nagy tömegű tárgyak szimulációját.

A 6. számú mérés nem igényel külön eszközt, ugyanis a szemléltetés módja, a szándékosan és véglegesen, kézzel megtört szál a kábelben. Csupán az asztallap síkjából történő kiemelés, a kontrasztosság és a további sérülések elkerülésének érdekében kerül a hibás kábelszakasz egy habszivacs elemre.

3.3. Mérés és kiértékelés eszközei

A kiértékelések szempontjából, elsősorban az OTDR mérőműszert (optikai időtartomány reflektométer) tartom a legcélravezetőbbnek, ugyanis a mérési grafikonon a szándékosan előidézett problémák csillapítási értékei látványosak megmutatkoznak, azok egzakt módon leolvashatóak. Emellett, emberi szemmel érzékelhető lézerforrással is szemléltetem az egyes kábelekből, a hibahelyeken kilépő lézerfény intenzitását.

A tesztasztalon történő, hiteles méréseket egy, Viavi MTS-2000 típusú, OTDR készülékkel végzem, az eredményeket pedig a FiberCable 2 Suite szoftver segítségével értékelem ki, mely számos lehetőséget kínál a mérőműszer által gyűjtött adatok reprezentatív feldolgozásához. A következő táblázat tartalmazza az összes OTDR méréshez használt műszerbállításokat:

OTDR mérési paraméterek				
Hullámhossz	Impulzusszélesség	Felbontás	Adatgyűjtési idő	Hatótáv
1550 nm	3 ns	16 cm	20 s	500 m

A mérést az alkalmazott kábeltípusnál ajánlott, 1550 nm hibakeresési hullámhosszon végzem, ugyanis az 1310 nm hullámhosszúságú impulzusok esetében, a problémák jelentős része nem szemléletesen, vagy egyáltalán nem rajzolódik ki. A 3 nanoszekundumonként közölt impulzusok és a megfelelően hosszúra megválasztott adatgyűjtési idő együttesen biztosítják a sűrű és pontos letapogatást a szál mentén, a grafikon részletes felbontása érdekében, melynek hatótávja bőven túlnyúlik a teljes mérési rendszer hosszán.



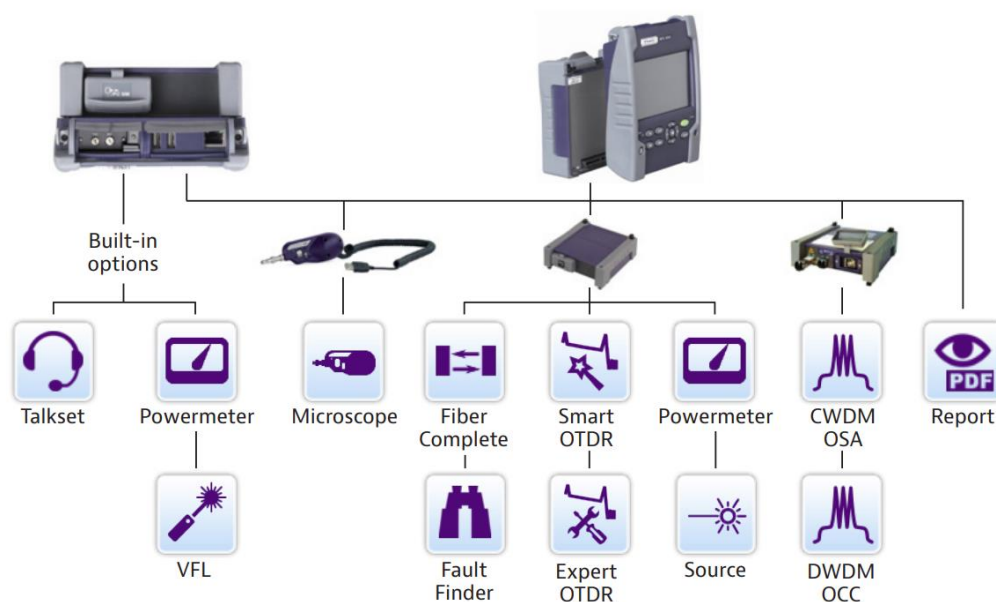
7. ábra: A méréshez használt eszközök (OTDR, 20-20m előtétsszalakkal és VFL lézer)

3.3.1. Az OTDR mérőműszer

Az optikai szálak hibakeresési vizsgálatához használt, leginkább ideális mérőműszer az OTDR. Szemben a beiktatási csillapításmérővel, ez az eszköz egyben látja el az adó-, illetve vevőberendezés feladatát. Mérési módszerében is alapvetően különbözik: nem az átviteli jelszint optikai szálon történő csillapításmérésére fókuszál, hanem az időegységenként a szálba küldött impulzus – a szál anyagi jellemzőinek és a fizikai folyamatok eredményeképp – visszaérkező, gyenge reflexióinak vizsgálatából következtet a szál kontinuitásának megfelelőségére, a hibák egyedi jellegére és mérőműszertől lévő távolságaira.

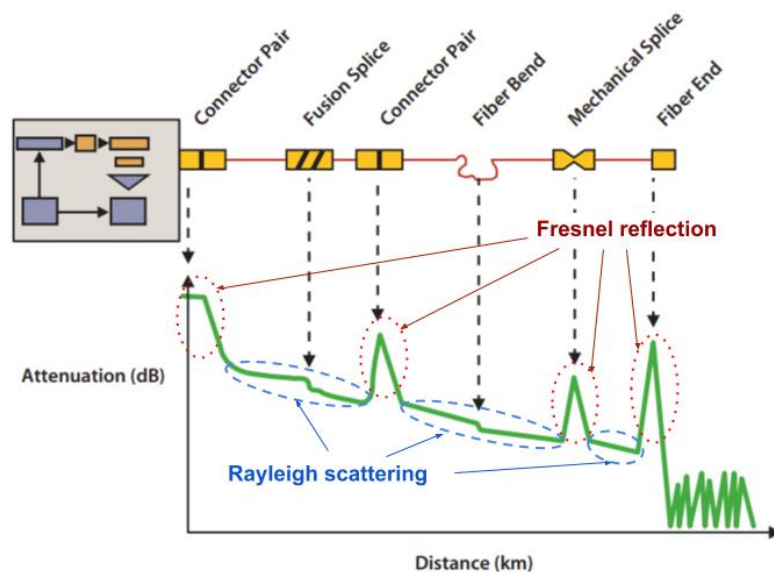
A visszaérkező impulzuscsoomagok általánosan kialakulnak a szál teljes hosszában – a tökéletlen anyagkialakítás okán, szóródás formájában, csatlakozófelületeken, szálhegesztések akár minimális tökéletlenségéből fakadóan, szál meghajlása, illetve összenyomódása és egyéb szálsérülések folyamán. Ezek időbeli, jelerősségbeli és szóródási analízisével az OTDR mérőműszer következtetni tud a jelenségek típusára a szál meghatározott hosszanti pontjain. Az OTDR-ek alkalmasak, hogy meghatározzuk a kötések, és sérülések távolságát a mérési ponttól; azonos száltípusú szakaszok csillapítását; csatlakozók, csatlakozások visszaverődési veszteségeit; szakaszok pontos hosszát. [1]

Rendkívül fontos, hogy a mérési paramétereket a mérés előtt, a vizsgálni kívánt optikai szál típusa, illetve a feltérképezni kívánt hibahalmazok szerint határozzuk meg. Ezek közé tartozik a száltípus (SM: 1310/1550 nm hullámhossz, MM: 850/1300 nm hullámhossz; CWDM, DWDM mérési tartomány, stb); a mérendő szál hossza az előtét- és utótétszalakkal (jelen esetben 20-20m) együtt, és ez utóbbiak kiiktatása a mérési analízisből; és az impulzusszélesség meghatározása (kis impulzusszélesség: nagyobb felbontás, de kisebb hatótáv, nagy impulzusszélesség: kis felbontás, de nagyobb hatótáv). Ezen alapvető paraméterek megfelelő megválasztásával optimalizálható a mérési folyamat, az átfogó kép elemzése után, részletes hibaelemzést is végre tudunk hajtani, finomhangolás segítségével. Az említett előtét- és utótétszalak szintén fontos elemei a mérési konfigurációnak, kiküszöbölik a holttereket a vizsgálandó szálak elején és végén, ezáltal valóban az első csatlakozási ponttól, a szálvégi kimenetig, teljes mértékben megtörténhet a kiértékelés, illetve gondoskodnak a szál belépési és kilépési pontján az impulzusok egyenletességéről, mérési validitásáról.



8. ábra: Viavi MTS-2000 OTDR mérőműszer, bővíthető modulokkal és funkciókkal

A mért adatok kiértékelését a csillapítási grafikonról történő, jellegzetes eseményjelek csillapításbeli értékeinek és távolságának leolvasásával tehetjük meg, azonban egyes OTDR típusok ábra-szerűen is képesek megjeleníteni a szálhosszon történt események sorozatát. Ezek alapján pontosan beazonosítható a hibahely és a megoldási mód is kalkulálhatóvá válik, a hiba típusának ismeretében. Szintén fontos tényező, hogy az vizsgálni kívánt optikai szálát két irányból szükséges mérni, ugyanis egyes hibák jellegzetes karakterére, illetve azok a szálon ejtett csillapítására csak a két, ellentétes irányból („A” és „B” irány) gyűjtött adatok alapján lehet megfelelően következtetni.



9. ábra: Egy tipikus OTDR mérési grafikon, az események típusaival

Az következőkben részletezett, szálakon történő, különböző behatások vizsgálatakor az OTDR mérőeszköz remekül alkalmazható a hibák detektálásához. A gyűjtött adatok értelmezéséhez és a konklúziók levonásához nagyban hozzájárultak a korábbi munkáim során szerzett, optikai hibakeresésre és hibaelhárításra irányuló tapasztalataim, ugyanis az esetek számottevő részében, elengedhetetlenül szükséges a felhalmozott kompetencia alkalmazása.

3.3.2. VFL hibakereső eszköz

Jelen munkámhoz az OTDR mérőműszer kiegészítéseképpen használt, vizuális hibakereső eszköz egy, 10 mW teljesítményű, az emberi szemmel is érzékelhető 650 nm hullámhosszúságú (vörös) lézert fényt kibocsátó szerkezet. Ideális az optikai szál kontinuitásának ellenőrzésére, illetve a hibahelyek gyors és egyszerű pontosítására, rövidebb szálhosszokon. A maximális lézerteljesítmény szálba juttatásához, ajánlott a kompatibilis csatlakozóval ellátott, patch kábel kifejtőpaneli adapterbe történő közvetlen csatlakoztatása, így elkerülhetjük a csatlakozóvégek sérülését is.

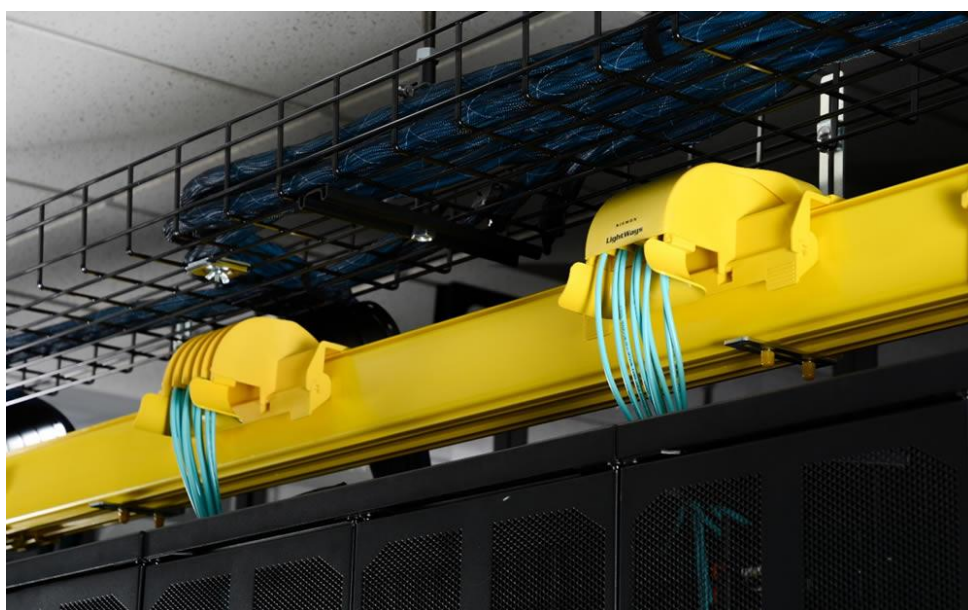
Gyakorlati alkalmazásának azonban erős korlátjai vannak: egzakt adatgyűjtésre nem alkalmazható, csupán szemléletes megfigyelésekre, ezek esetében viszont egyértelmű és látványos. Teljesítményének függvényében távolságfüggő is, több kilométeres szálhosszokon, a lézernyaláb intenzitásának csökkenése okán, nem bevetethető. A makrohajlítás detektálása érdekében, kizárólag olyan kábelek esetében használható, amelyeknél a szálakat védő rétegek, illetve a kábelköpeny átengedik a lézert fényt, melynek intenzitása eltérő a különböző hibák típusainak esetében, és korrelál az OTDR grafikonján megfigyelhető csillapítási értékkel.

4. A SZIMULÁLNI KÍVÁNT, VALÓS ESETEK BEMUTATÁSA

Az alábbi fejezet azt a célt szolgálja, hogy a teszttasztal tényleges, fizikai valójában történő megismerése és a mérések megkezdése, majd kiértékelése előtt, egy átfogó képet vázoljon fel a gyakorlatban előforduló telepítési hibák előfordulásainak okairól és tulajdonságairól. A legáltalánosabban előforduló problémák a legtöbb esetben az emberi mulasztásból fakadnak, legyen szó akár az optika kábel és a végződtetések telepítési fázisáról, akár a telepítés utáni – részint akaratlagos, részint pedig szándékosságtól független – környezeti behatásokról. Ezen fejezet kifejezetten azokkal az eshetőségekkel foglalkozik, amelyek szimulálása céljából a teszttasztal elkészült, ezáltal legfőképpen személyes, gyakorlati tapasztalataim nyomán íródott.

4.1. Megfelelően telepített, hibamentes optikai kábel

Ideális esetben, az optikai kábel nyomvonala kanyar- és fordulásmentes, irányában csupán egydimenziós kiterjedésű. A valóság természetéből adódik azonban, hogy nem létezik ilyen jelleggel fizikailag telepíthető nyomvonal, ugyanis már a felszállókon történő vezetés során, illetve a szálkifejtéshez alkalmazandó szekrénybeállításoknál is el kell térnünk az ideális egy dimenziótól. Törekedni kell azonban a minél kevesebb, kábellel történő fordulásra, azok megfelelő, 90° -nál nem kisebb szögére, a hajlítási sugár határértékének betartására (min. 2.5 cm radius) és a mechanikai terhelések – mint a nyomás, szorítás, csavarodás, pozitív/negatív hosszirányú feszültségek – kockázatának kiküszöbölésére. A nyomvonalon szükségszerűen alkalmazandók a kiegészítő kábelvédelmek: optikai kábelezés számára fenntartott kábeltálca; körülményeikhez igazodó védőcsövezések; tehermentesítő anyagok faláttörések esetében stb.



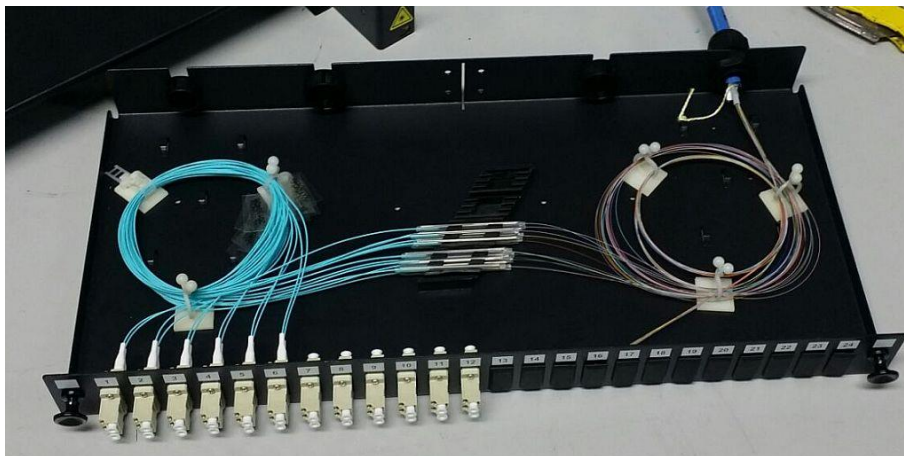
10. ábra: Adatközponton belüli, optikai kábelvezetés, szeparált, műanyag kábeltálcában

Az alábbi ábrán egy acélsodrony páncélozású, OS2 9/125 típusú, monomódusú optikai földkábel OTDR mérési grafikonja látható. A csillapítási grafikon lejtése folytonos, a kábelvégi csatlakozók közötti, hozzávetőlegesen 500 m hosszúságú szakaszon eseményektől mentes, 0.107 dB csillapítási értékkel, mely teljes mértékben optimális használati értéknek tudható be. Az alapvető csatlakozóveszteségeken túl, a kifogástalan szálkifejtés és hegesztés nem okoz további, számottevő csillapítást a szakaszon.



11. ábra: Hibamentesen telepített, földkábel OTDR grafikonja 1310 nm hullámhosszon

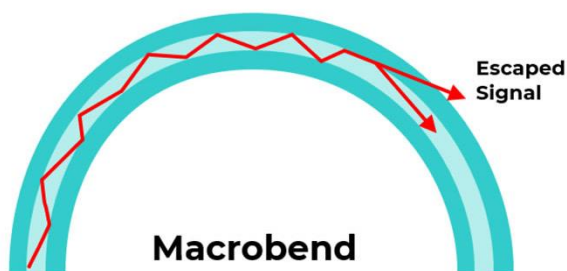
Mint említésre került, a nyomvonal kialakításon túl a másik kritikus tényező az optikai szál kifejtésének megfelelősége. Az alábbi ábrán egy, megfelelő minőségű és metódusú eljárás látható, melynek során ügyeltek az optikai kábelből kifejtett szálak és pigtail kábelek hajlítási sugárára, a gondos kábelvezetésre kiegészítők által, illetve a panel belsejének porvédettségére – a ki nem használt csatlakozóhelyekre történő vakdugók beillesztésével. Esetleg, egy kötészvédő kazetta beszerelésével lehetne mechanikailag még inkább védetté tenni a kötéseket.



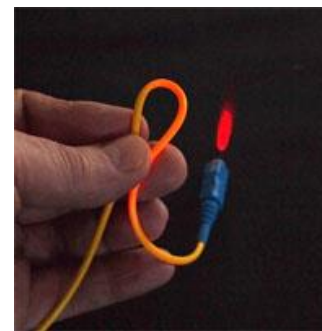
12. ábra: Körültekintő szálkifejtés 19” optikai patch panelben

4.2. Szűk hajlítási sugár és meghajlás

Jellemző probléma a telepítések folyamán, hogy a telepítést végző személyzet nem veszi figyelembe az optikai fényvezető szálak fiziológiájából fakadó, parametrikus tényezőt, amely a hajlítási sugár minimális értékét adja meg. Általában ~2.5 cm radius-on belüli (pontos értéket a gyártó definiál a termékére), ún. makrohajlítás esetén, a fényimpulzusok teljes visszaverődés helyett, csupán részleges visszaverődést szenvednek: a közölt energia egy része kilép a belső közeghatáron keresztül a szálból, és vagy elveszik, vagy akár a párhuzamosan futó szálba belépve dekódolási zavart okozhat. Ennek a jelenségnek súlyos kihatása lehet az adatátviteli minőségre, jelentős csomagvesztést okozva.

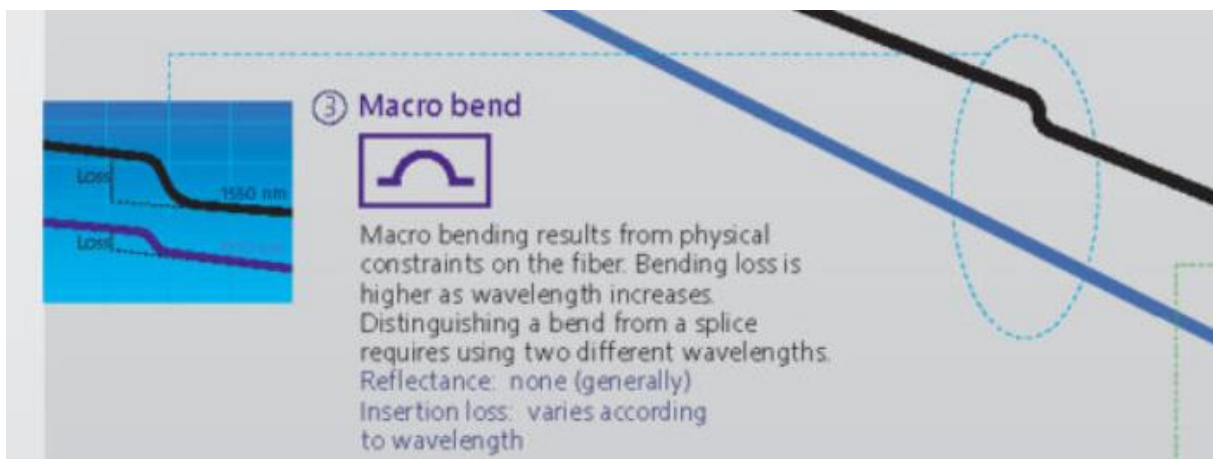


13. ábra: A makrohajlítás jelensége



14. ábra: Kilépő lézertény

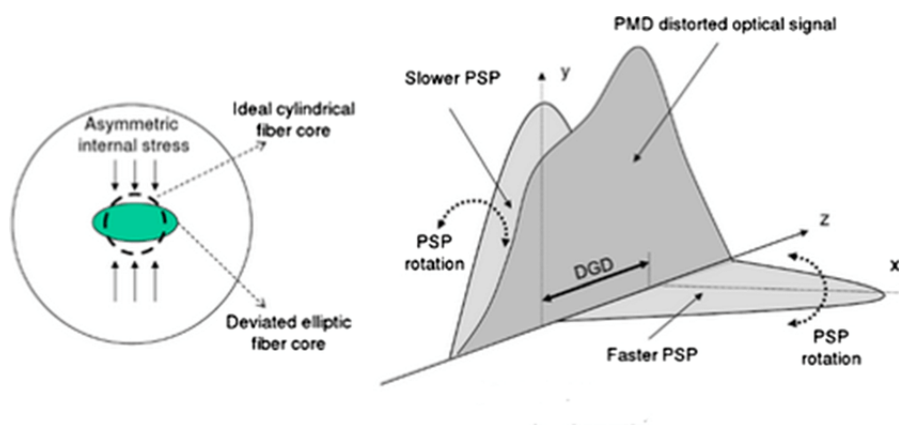
A jelenség fő kiváltó oka lehet, a 90°-on belüli szálmeghajlás, amely bekövetkezhet a kábelnyomvonal fordulójánál; a nyomvonal közeghatáron történő meghajlás miatt (jellemzően kábeltálcából való függőleges kilépéskor – különösen, ha egyéb kábelezés súlya is nehezedik az optikára, vagy megfelelő merevítéssel el nem látott faláttöréseken történő átbukáskor, esetleges védőcsővezetés-megszakításkor); parapet-csatornában, kábeltartalék szakszerűtlen képzésekor; illetve az optikai kábel csövekre, vagy egyéb elemekre történő, óvatlan, vagy szándékos feltekerése esetén.



15. ábra: Makrohajlítás OTDR grafikonon és ábrán (VIAVI)

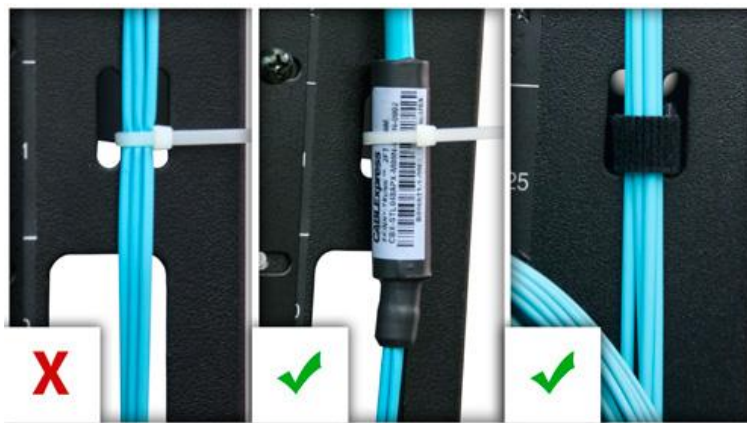
4.3. Folyamatos nyomó és szorítóerők hatása

Az optikai kábelre – és ezáltal magára, a fényvezető szálra nehezedő, koncentrált, jelentős súly, (mint pl. nehéz tárgyak, gépek, bútorok lábai, építőelemek, munkagépek áthaladásakor) a szálmag ideiglenes deformációjához vezetnek. Ilyen esetben a 9, vagy 50 μm vékonyságú szálmagok függőleges tengelyük mentén összenyomódnak, ezáltal a kettős törés hatására, az impulzusokban szintén deformitás következik be, ahogy azt az alábbi ábra is remekül szemlélteti. Az optikai kábelt minden esetben el kell határolni a rá nehezedő, fizikai terhelések bekövetkezésének lehetőségétől.



16. ábra: Nyomás hatására deformálódott szálmag és a haladó impulzus képe

Kiépített, főként tálcás nyomvonalon történő kábelhúzás alkalmával, illetve a rendezőszekrényben történő kábelrendezéskor elkerülhetetlen a gyorskötöző használata, akár a kábel helybeni fixálásáról, akár esztétikai szempontokról van szó. Fontos tudni azonban, hogy a felelőtlenül nagy erővel meghúzott kábelkötegelő különböző torzulásokat (mikro-, makrohajlítást, magdeformációt), illetve visszafordíthatatlan szálsérülést (száltörtést) okozhat. Ajánlott a jóval esztétikusabb és a mechanikai nyomást nagyobb felületen elosztó, tépőzáras gyorskötöző használata.

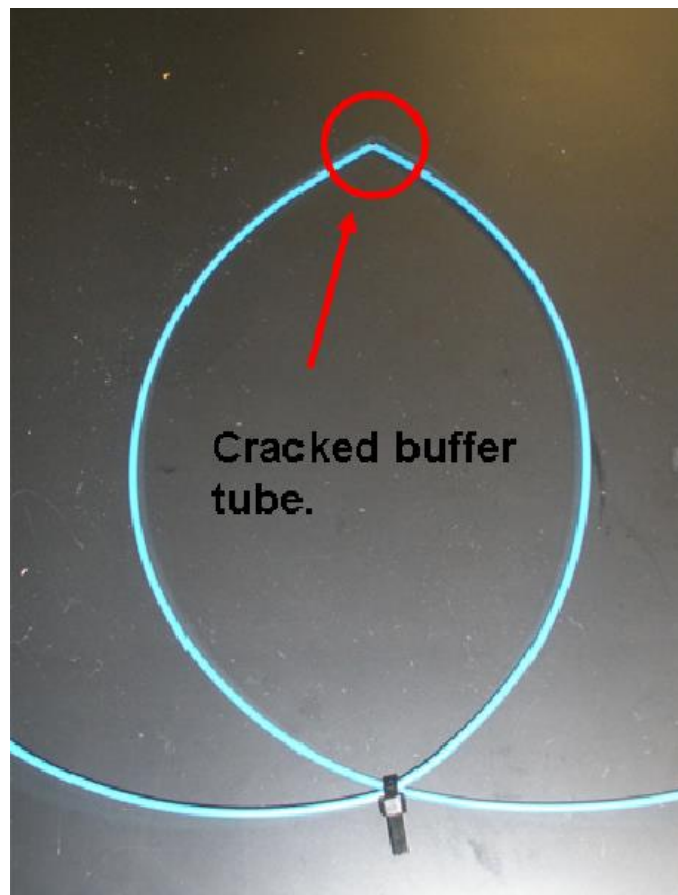


17. ábra: Kábelkötegelő megfelelő használata optikai kábeleken

4.4. Mechanikai feszültség okozta csavarodás és száltörés

Ellentétben a réz alapú adatátviteli kábelekkel, az optikai kábelek jelentős részében – a műanyag anyagú pászmá(k)nak, illetve a kiegészítő merevítő- és vezetősálaknak köszönhetően, nagyságrendekkel nagyobb mechanikai feszültség halmozódik fel a kábel húzása során. Amennyiben a kábelezést végző személyzet nem körültekintően jár el a kábeldobról történő letekérést, illetve a nyomvonalon történő behúzást illetően, ez a mechanikai feszültség a kábel bizonyos pontján felhalmozódik, és hirtelen felszabadul. Ennek következtében a kábel megroppan, a jellegzetes omega-alakú feszültségfelhalmozódás gyorsan kis keresztmetszetre összpontosul, erős csavarodást előidézve a kábel szerkezetében.

A következmények általában súlyosak: több, vagy akár az összes, pászmában található szál eltörik, amely a tartalék nélküli kábel teljes újrahúzását, vagy a helyszíni kábeltoldást követeli meg. Érdekes a „8-as” (vagy „masni”, „pillangó”) alakú kábelfelhalmozás módszerét alkalmazni, amely elosztja és két irányba dekoncentrálja a feszültséget, ha egyszerre nagy mennyiségű kábelt szükséges letekerni, kis alapterületen. Úgyszintén érvényes a szálak törésének kockázata, szabadon lévő pászma megroppanásakor:



18. ábra: Megroppant, optikai szálakat tartalmazó pászma

4.5. Kifejtőpanelen és rendezőkerényen belüli hibás telepítés

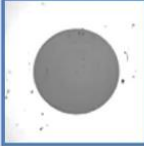
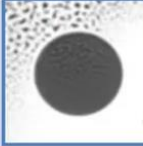
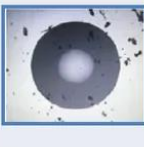
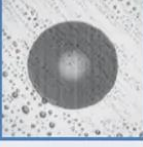
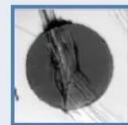
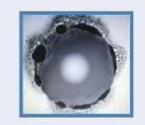
Súlyos problémát jelent a telepített hálózat funkcionalitásának és minőségmegőrzésének szempontjából, ha nyomvonalon történő kábelvezetés után, az optikai szálak végződtesénél nem járnak el kifejezett körültekintéssel és az előírások betartásával. Habár az elején – a megfelelő kábeltartalék biztosítottága esetén, a hibásan kialakított végződteseket egyszerűbb és költséghatékonyabb javítani, mint a nyomvonalon előforduló hibákat, üzemelő hálózat mellett ezek az eljárások akár a működő rendszer ideiglenes leállításának igényét is felvethetik. Kiépített, redundáns útvonal hiányában ez súlyos költségeket és veszteségeket is róhat az üzemeltetőre, ha a hibás optikai adatközlés utólagosan kerül kijavításra.

Az optikai szálak megfelelő védelem nélküli kifejtése megnöveli a fizikai sérülések és száltörések kockázatát, teret enged az óvatlan emberi behatásoknak, ezért a szálkifejtés minden esetben lezárásra, a külső környezettől történő elzárásra kell, hogy kerüljön. IP védett kötődobozok, harangok, elosztószekrények esetében ez akár kulccsal zárható kivitelben valósulhat meg, patch panel esetén pedig szükségszerűen a panel takaróelemének felszerelésével, és a csatlakozóhelyek vakdugóinak behelyezésével. Tömszelence alkalmazása szintén fontos, ugyanis stabil kábelrögzítést tesz lehetővé, illetve elzárja a lefejtett, köpenytől már mentes kábelszakaszt a külső behatásokkal szemben. Túl szorosra húzása azonban nem indokolt és nem is célszerű, mivel szálsérülést és szálösszenyomódást okozhat.

A hegesztések stabilan tartásához kötőkazettát alkalmaznak, annak belsejében változó számú szálát fogadni képes kötéstartóval. A kazetta, vagy annak fedele alá szorult szálak szintén összenyomódhatnak, így ez magdeformitáshoz vezethet, amely rontja az adatátvitel minőségét. A nem szakszerű, elnagyolt telepítés gyakran jár együtt a kazettákban rendszertelenül futó szálakkal, hibás szálmenedzsmenttel, ezekből kifolyólag, makrohajlítások és szintén szálsérülések, törések alakulhatnak ki. Átgondolt, megfelelő technika alkalmazásával és a hegesztendő szálak pontos méretre vágásával a hegesztés előtt, ez elkerülhető. A hozzáértő technika folytán lehetőség nyílik a bővíthetőség szem előtt tartására és egyszerűsítésére is a későbbiekben, amely elejét veheti a bővítési igény teljesítésekor egyébként megjelenni képes problémáknak.

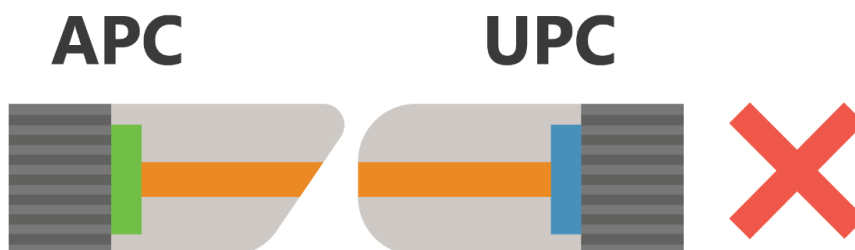
A telepítés ezen fázisában fontos a körültekintő szennyeződés-megelőzés és esetleges tisztítás, ami az optikai csatlakozókat érinti. Speciális, erre a célra fejlesztett tisztítópálcákkal könnyedén szabadíthatók meg a csatlakozók szálfelülete a szennyeződésektől (por, zsíros szennyeződés, stb.). Ellenkező esetben, ezek kiugróan megnövelnék a csillapítási értékeket, és akár az aktív berendezésekben is kárt okoznának: a transceiver modulok optikai

csatlakozójának, lézerimpulzusok által beégetett szennyeződései folytán. Természetesen ez esetben is a megelőzésre kell fókuszálni, és alkalmazni a porvédő sapkákat, amelyek a fizikai rongálódásoktól, karcolásoktól is óvják a csatlakozókat, modulokat.

	OK	Dirt/ Particles	Oil/Finger print	Scratches/ Grooves	Cleaning agent residues	Adhesive residues
Single- mode						
Multi- mode						

19. ábra: Szálvizsgáló mikroszkóppal készített felvételek, tiszta, szennyezett és sérült szálvégekről

Érdemes megemlíteni a különböző csatlakozótípusok inkompatibilitását is, mely hibás megválasztásukkor jelentős jelvesztéseget okoznak. Bizonyos, speciális alkalmazások igényeitől eltekintve, az eltérő magátmérőjű optikai szálak csatlakoztatásakor a magas refraktív index okán, a jelerősség és módusa átvihetatlenné válik, így figyelni kell, hogy helyesek alkalmazzuk a single mode és multimode csatlakozókat. Másik problémakör a csatlakozófelület csiszolása: az UPC típusú csiszolat magátmérőnél teljesen sík, míg az APC csiszolat ezzel szemben, $\sim 8^\circ$ -os ferde irányú csiszolást jelent. A végek fizikailag sem kompatibilisek egymással, így a csatlakozás sohasem lesz tökéletes, a jelátvitel pedig ezáltal nem lesz megfelelő, sőt, a két csatlakozó használhatatlanná válását is kockáztatjuk.



20. Egymással inkompatibilis APC és UPC csiszolások

Szervertermi/adatközponti rendezőszekrényeken belüli kábeltartalék elhelyezése, feltekerése körültekintően kell, hogy történjen, elejét véve az esetleges beleakadásoknak. Ebben a környezetben a leginkább jellemző, azonban általánosan érvényes minden nyomvonalon

történő telepítésnél, hogy a kábelkötegelők használata körültekintést és mértékletességet követel meg. A túl szorosra, és/vagy nem megfelelő szögben meghúzott kábelkötegelő a kábelben nyomást, nyíródást, csavarodást kiváltó erőt fejt ki, amely által nem csak az adatátvitel minősége csökkenhet, hanem a maga a szálak végleges sérülése is bekövetkezhet.

Az optikai kifejtőpanelek telepítésénél, annak és komponenseinek szakszerű, a gyártó által előírt formában történő megválasztásával, a szálkifejtés során a hajlítási sugár értékének betartásával, a panelben található kötőkazettában elhelyezett hegesztések épségének biztosításával, illetve a csatlakozók és patch kábelek használat előtti tisztításával és ellenőrzésével elejét vehetjük a telepített rendszerben fellépő hibatényezők kialakulásának. Fontos a teljes optikai channel, azaz a hozzá tartozó patch kábelek kifogástalanságának őrzése (száلتörés-mentes tárolás, lezáró kupakok alkalmazása a szennyeződések és a csatlakozósérülések elkerülésének érdekében).



21. ábra: Különösen rossz módon tárolt optikai patch kábel

Az optikai szálhegesztés módszere azon alapul, hogy a hegesztő készülék az előkészített szálvégeket egy, a két hegesztőelektroda között kialakuló elektromos impulzus által létrehozott, nagy energiájú plazmával segítségével, tulajdonképpen megfelelően összeolvasztja. [1] A kifogástalan eredmény érdekében elengedhetetlen, hogy az előkészítés folyamán minden lépést szakszerűen, és a megfelelő típusú és állapotú segédeszközökkel végezzünk, a szálhegesztő gép beállítási paramétereit pedig az igényekhez és lehetőségekhez mérten, a leghatékosabban válasszuk meg. A szerelés módja és igényessége, illetve a munkát végző személy kompetenciája ugyanúgy kritikus tényező. A megfelelő hegesztés biztosítja az optikai szálmag kifogástalan kontinuitását az impulzusok számára, az szennyeződésektől és számottevő deformációktól mentes.

5. A TESZTASZTAL MEGVALÓSÍTÁSA

5.1. Anyagfelhasználás és összeszerelés



22. ábra: Az elkészült teszttasztal előlnézeti képe

Az ötlet megfogalmazódása után, az alapos átgondolás és az elképzelés logikai tervezetbe, majd végül egy megszerkesztett 3D látványtervbe ültetésének segítségével, számomra és konzulens oktatóm számára is könnyebb volt előre látni a megvalósításhoz szükséges lépéseket, és azok sorrendjét. A teljes anyagbeszerzési és szerelési munkákat egyedül végeztem csakúgy, mint a patch panelen belüli telepítéseket, majd az azt követő méréseket.

Mindez összesen pár napos aktív munkavégzést, és esetenkénti újrastrukturálást vett igénybe, relatív könnyű, de nagy odafigyelést igénylő, precíz szerelési munka formájában. A megvalósítási folyamat során igyekeztem olyan elemeket alkalmazni, amelyek ugyan esztétikusak, de szükség esetén könnyen pótolhatók, illetve cserélhetők. A rendszer- és szimulációs elemek rögzítéseinek tartósságáról és szimmetrikus mivoltáról többször is megbizonyosodtam, szem előtt tartva azok gyakorlati határait. A kábelezés kialakítása során igyekeztem nagy hangsúlyt fektetni a kompakt, de esztétikus elrendezésre, mindeközben folyamatosan óvtam a kábeleket a sérülések bekövetkeztétől. Ez kiterjedt mind a méretre vágásra, nyomvonalra telepítésre, súlyelosztásra és elrendezésre, mind a rögzítés módjának megválasztására: kizárólag tépőzáras kábelrögzítőt alkalmaztam a kábelek felületén, a szorító gyorskötőzökkel történő rögzítés már csupán a tépőzáras elemekkel került csak kontaktusba.



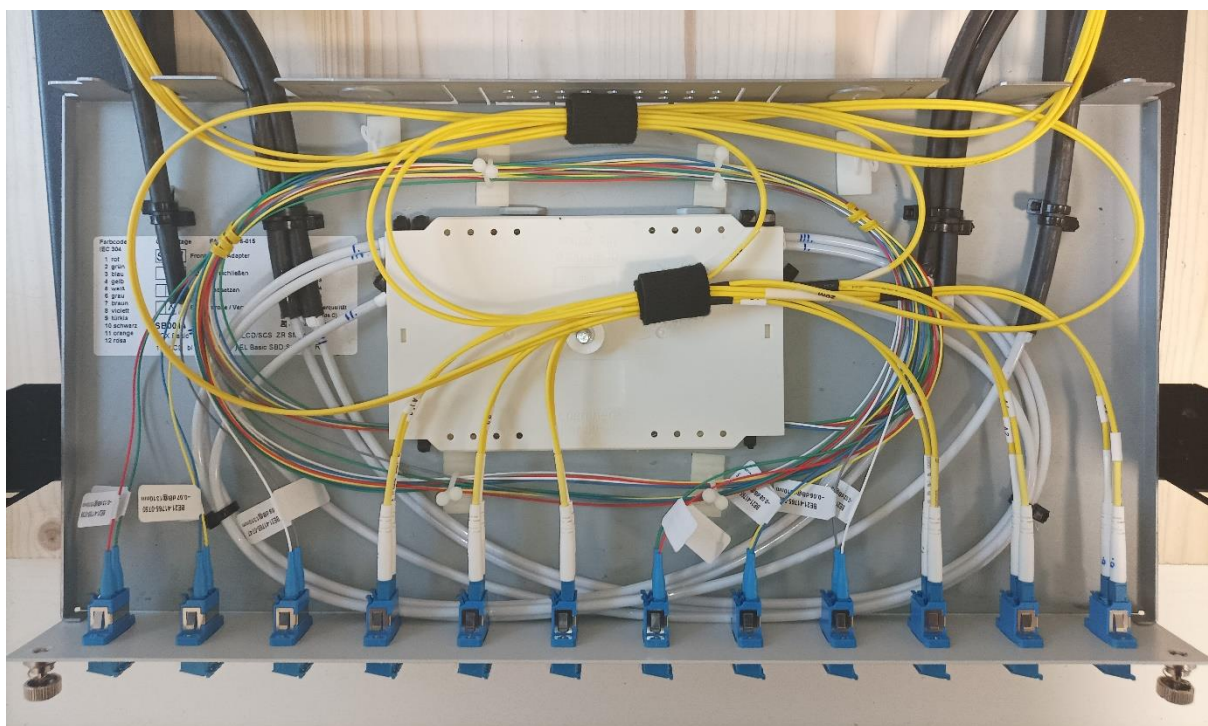
23. ábra: Az elkészült tesztasztal felülnézeti képe



24. ábra: Az elkészült tesztasztal „akadálypályája” a kábelezés számára

5.2. Optikai kifejtőpanel telepítése

A kifejtőpanelen belüli telepítés során is fokozottan ügyeltem ügyelni a tartósságra: biztos, dupla fogatási módok a beérkező kábelek számára, a pászmák leginkább feszültségmentes elvezetése (a megropanás és a károkozás elkerülése érdekében), illetve a kötéstartó kazetta és fedelének biztos rögzítése. Ezeken felül, elkerültem a kis hajlítási sugár okozta hibajelenségek kialakulását a pigtail- és a panelbe érkező patch kábelek esetében, és a kazettán belüli, csupasz optikai szálak tartalékképzése során egyaránt. Végso lépésekként, a kifejtőpanel a hozzá tartozó takaróelemével lezárásra került, hogy védve legyen a további mechanikai sérülésektől, illetve a porttól, majd ezt követően kerültek felcímkézésre az adapterek, a mérési struktúrának megfelelően.

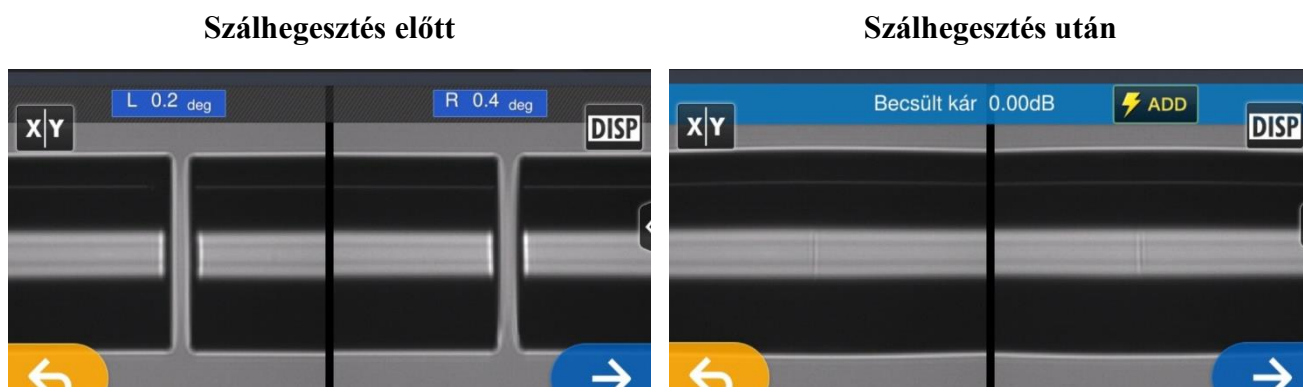


25. ábra: A teszttasztalhoz tartozó, optikai kifejtőpanel belülnézete

A szálhegesztést gondosan, megfelelően, és arra alkalmas eszközökkel végeztem el, hogy a méréseknél a hegesztések csillapítási értékei még csak kis mértékben se legyenek számottevőek. Kivételt képez ez alól természetesen, a 3. mérés esetében, közvetlenül a 3.1/B csatlakozó utáni szálhegesztés, melyet szándékosan hibásan, a procedura előtt szennyezett és rossz szögben vágott szálvég alkalmazásával iktattam a mérendő optikai linkbe.

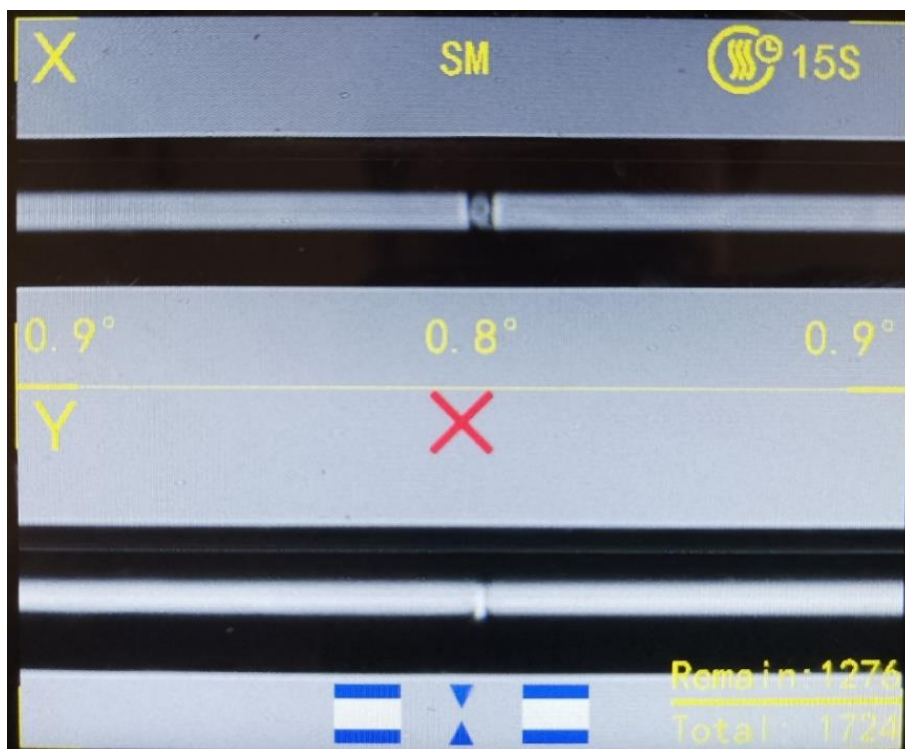
Az alábbiakban bemutatom az említett, hibás hegesztés képét, összehasonlítva egy korábban, kifogástalanul hegesztett optikai szál felvételével. A hegesztésre megfelelően előkészített szálak esetében látható a szennyeződésmentesség, a vágások merőlegessége

mindkét szálvégen, a magra pozicionálás pontossága. A hegesztés után kivehető a mag magra történő, megfelelő illeszkedése, sem a szálmag, sem pedig a köpeny nem szenvedett károsodást. A köpeny kitüremkedése elhanyagolható, a hegesztés után visszamaradt egy, nem számottevő hegesztési vonal, azonban ez a csillapítási értéken nem ront, mivel csupán refraktív optikai effektus. [2] [3]



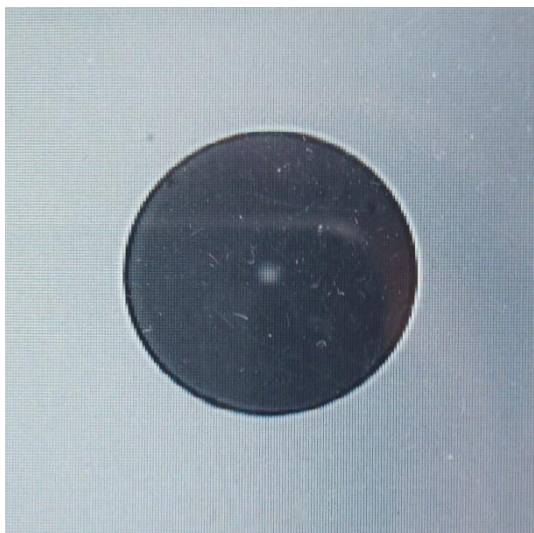
26. ábra: Megfelelően hegesztett optikai szál (multimódosú 50/125 μm típus)

Ettől eltérően, a lenti ábrán látható, a szándékosan hibás hegesztés képe, melyen buborékképződés, és ezáltal a szálmag és az azt burkoló réteg deformációja jelentkezik:

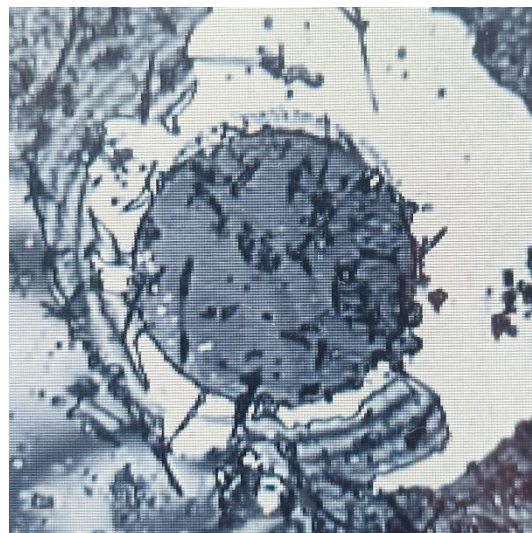


27. ábra: Hibás hegesztés a 3.1/B csatlakozó oldalán

A 3. mérés 3.2/B, azaz a szennyezett felületű csatlakozó optikai szálvizsgáló mikroszkóppal készült képe alább látható. Összehasonlítva egy tiszta csatlakozó képével, amelyen a szálmag is könnyedén kivehető, ennél karcolásokat, port és zsíros, szálmagot takaró foltokat lelhetünk fel, amelyek felelősek a szándékosan beiktatott, mérési hibajelenségért. Minden más esetben, az összes csatlakozó felülete többszöri tisztításra került, speciális száltisztító pálcá segítségével.



28. ábra: Tiszta csatlakozó

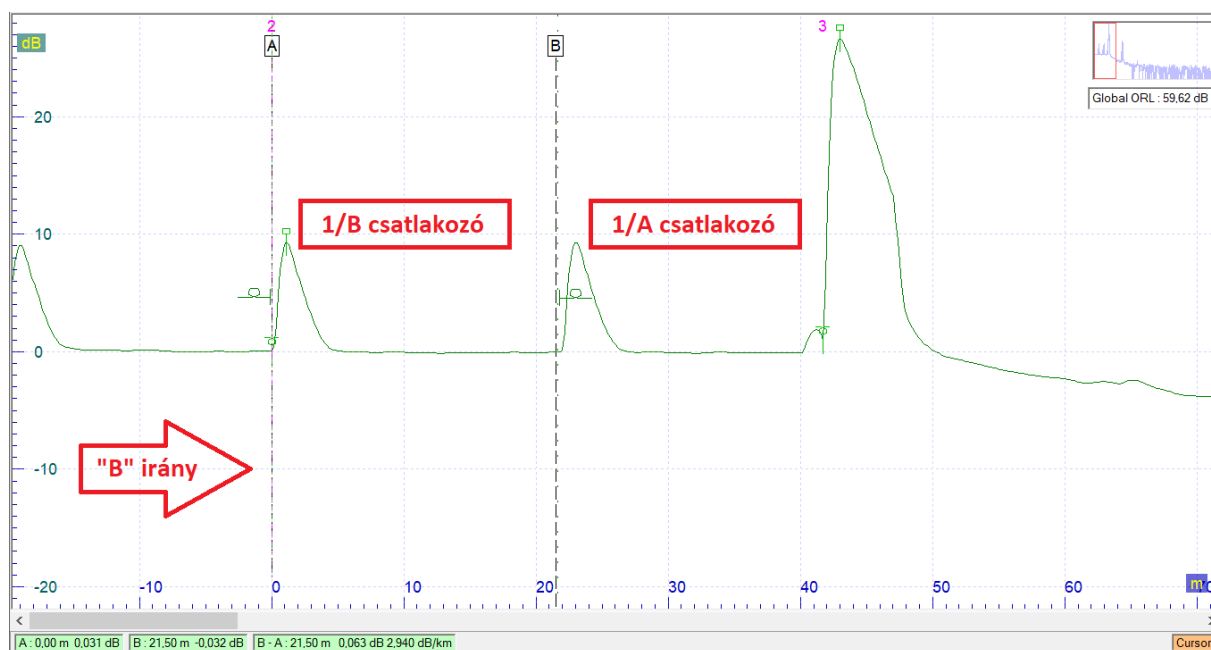
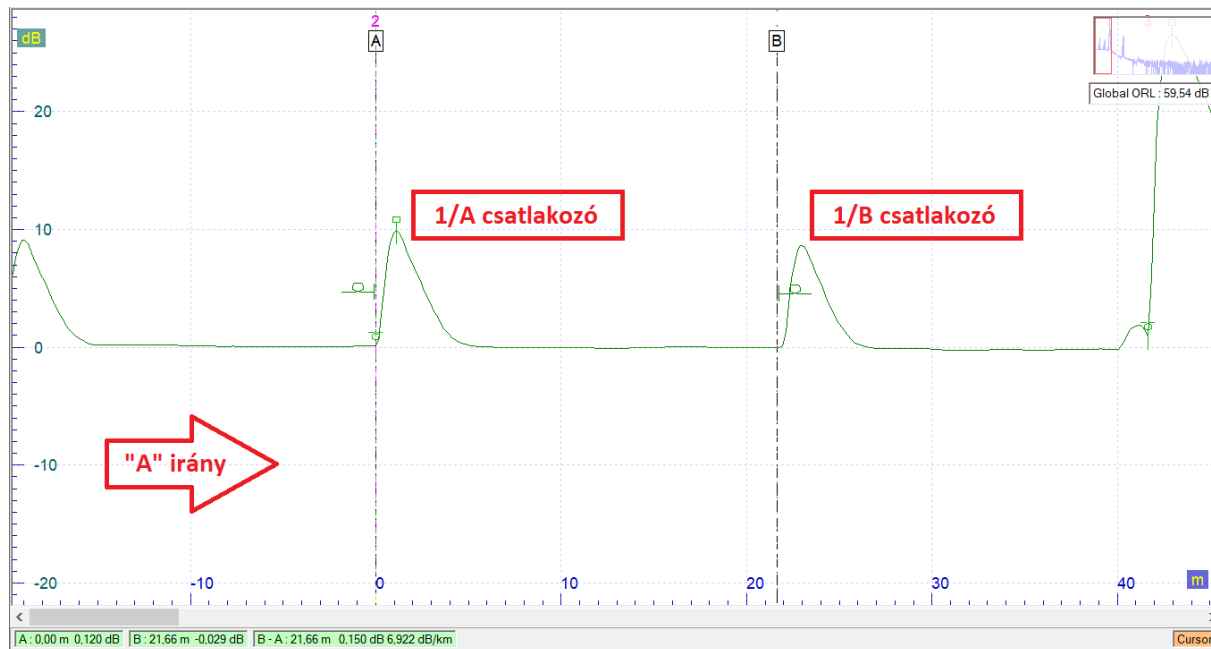


29. ábra: Szennyezett 3.2/B csatlakozó

6. MÉRÉSEK ÉS KIÉRTÉKELÉSEIK

6.1. 1. mérés: Megfelelően telepített optikai kábel

OTDR MÉRÉSI ADATOK					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
21.66 m	0.150 dB	6.922 dB/km	21.50 m	0.063 dB	2.940 dB/km



30. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

A mérések kiértékelésének megkezdése előtt, fontos definiálni a már többször említett „A” és „B” irány fogalmát. Ez mindösszesen annyit jelent, hogy az adott optikai szálba, egymás után, mindkét szálvégi csatlakozón keresztül egy-egy mérést végzünk. Tehát, „A” esetben az 1/A csatlakozóba történik az OTDR kimenetének csatlakoztatása, „B” irányban pedig az 1/B csatlakozóba (lásd: 1. mérés OTDR grafikonjain). Csak ezáltal nyerhetők ki valós eredmények az optikai szálon esett csillapítási értékekre, illetve a hibák pontos helyei és karakterei is csak így mutatkoznak meg reálisan. Mindez nem tévesztendő össze, a mérési grafikonon található markerekkel, amelyek szintén „A” és „B” jelölésekkel rendelkeznek, ugyanis ezek csupán a mért szál szakaszértékeinek behatárolására szolgáló jelzések a szoftverben. A további mérésekben ugyanezen metódus alapján jártam el.

A kapott mérési eredmények (táblázat) megfelelően illeszkednek az elvártakhoz. A tényleges, teljes szálhosszon végigfutottak az mérőimpulzusok, melynek hossza összesen ~20m (A-B markerek közötti szakasz, ezek előtt és után már az előtét- és utótétszálakat találjuk), amely a 15m hosszúságú kábelből és a mindkét oldalon, ~2.5-2.5m hosszú, szálvégekre hegesztett, csatlakozóval ellátott pigtailekből tevődik össze.

Nincs kiugró értékű reflexió a szálvégi csatlakozóknál, a grafikon lejtése egyenletes, és a csillapítási érték pedig konvergál az adott száltípusra vonatkozó sztenderdekhez. Az utótétszál utáni területen a mérési rendszer végét találjuk, ezt egy magas reflexiójú pont jelzi, a továbbiakban már csak végtelen csillapítást, esetleg zajt tapasztalunk. Az „A” irányban történt mérés nullpontját a kiértékelő szoftver némileg pontatlanul vette fel (a csatlakozóreflexiók eltolódott érzékelésének okán), így adódik ez esetben, a vártnál magasabbnak tűnő csillapítási és lejtési érték. Ilyenkor válik szükségessé a mérést végző személy kompetenciájának alkalmazása, amely segítségével megállapítható, hogy a grafikon értékei és kinézete – a fent felsoroltak szerint, mégis egy megfelelően telepített szálra enged következtetni.

6.2. 2. mérés: Éles szögben meghajló optikai kábel

OTDR MÉRÉSI ADATOK					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
22.62 m	8.988 dB	397.375 dB/km	22.62 m	8.222 dB	363.514 dB/km



31. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

A vizsgált kábelünk éles szögben történő meghajlása folyamán, a mérőimpulzusok jelentős része kilép a szálból a hibahelyen, ezáltal okozva az igazán kiugróan magas csillapítási és lejtési értékeket. A markerek műszerkezelő általi korrekciója, azaz a tényleges mérési nullponthoz történő igazítása után, a megfelelő szálhossz adódik. A hibahely éppen a szál közepén, pontosan az elvárt távolságban található. Jelen esetben ez a fals-nullpont a grafikonon, ugyanis a műszer hibásan, azt a pontot érzékelte a bemeneti csatlakozónak.

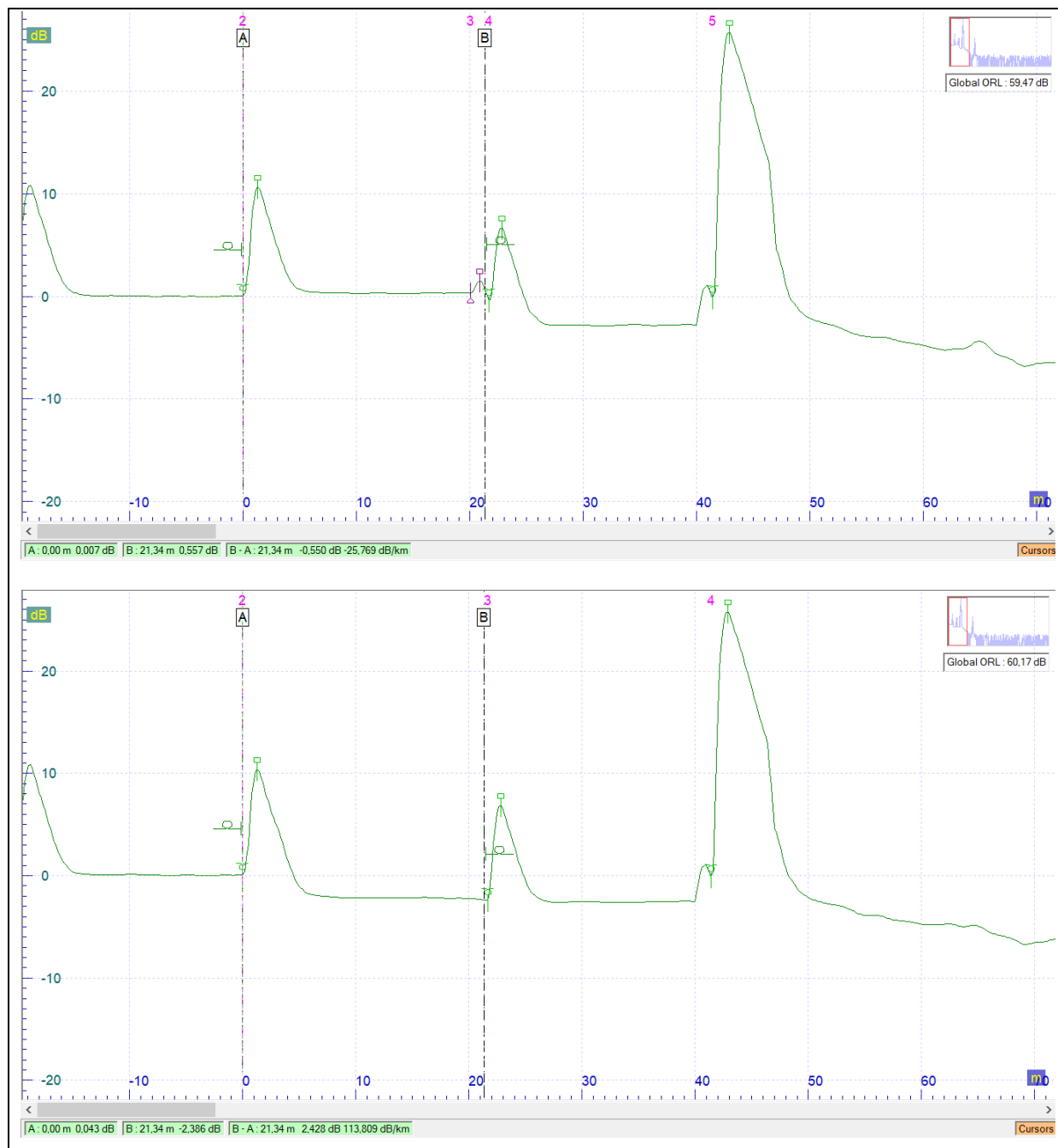
A grafikon elvi pontatlanságai nem véletlenek, nem a hibás előfeltételekből vagy beállításokból fakadnak, hanem a hibahely utáni, kivételesen rossz reflexiós tényezőkből. Hiányos és elvesző visszaverődési adatgyűjtés látható, tulajdonképpen „szétesik” a grafikon vége – a túl kicsi hajlítási szög okán kilépnek, elvesznek és összekeverednek az visszaverődő, dekódolandó impulzusok, amelyekre az OTDR műszer alapvetően támaszkodik. Ez jellegzetesen, zajhoz hasonló képet produkál a problémás terület után, a mindkét irányban történt mérés esetén.



32. ábra: Közeleli kép a kis szögben meghajló, optikai kábelről

6.3. 3.1. mérés: Patch panelen belüli problémák (hibás hegesztés)

OTDR MÉRÉSI ADATOK					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
21.34 m	-0.550 dB	-25.769 dB/km	21.34 m	2.428 dB	113.809 dB/km



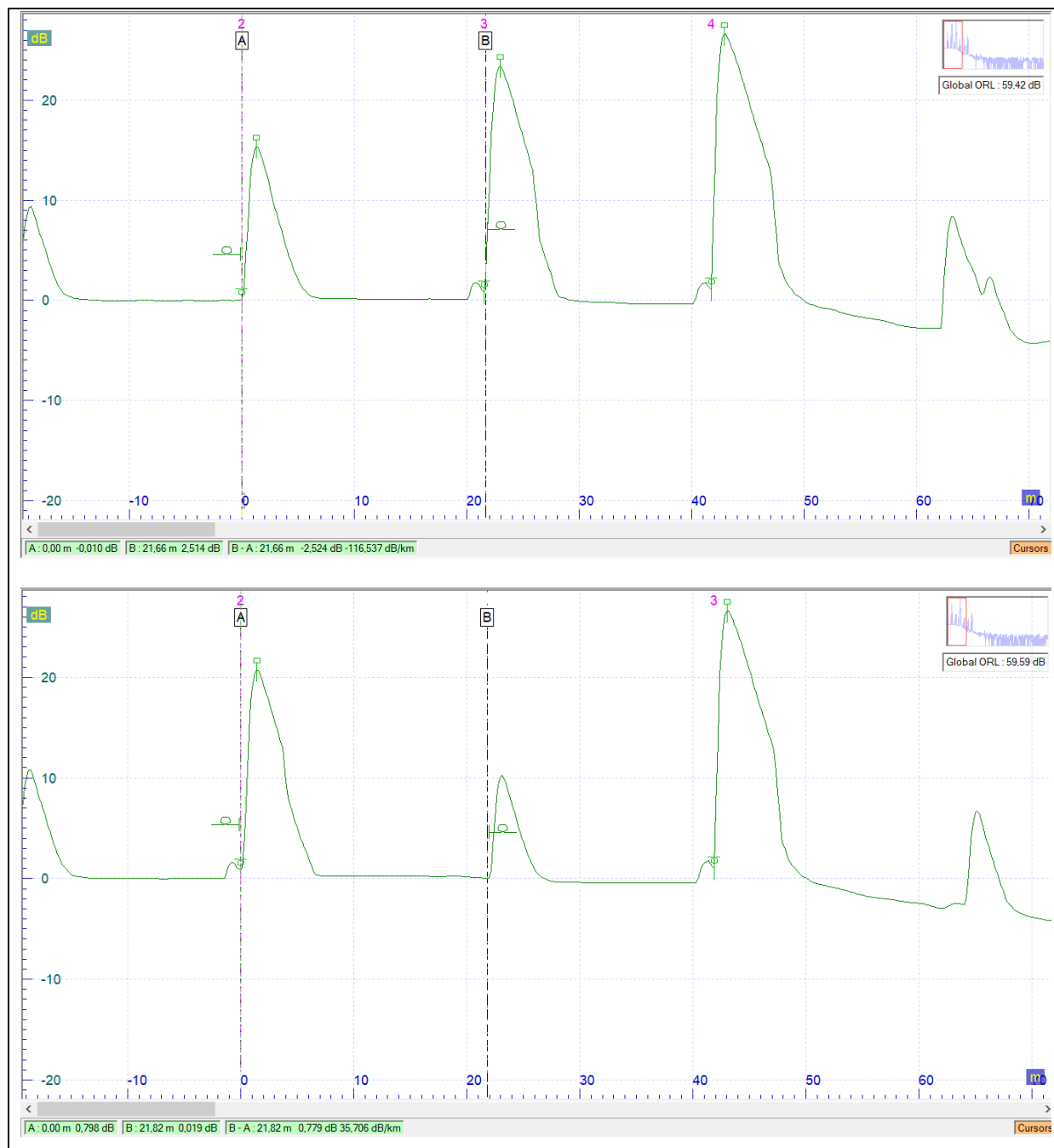
33. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

Az „A” irányból indítva a mérési procedúrát, a grafikonról megállapítható, hogy a vizsgált szálhosszon a csillapítás és lejtés értéke általánosan véve, nem jelentős. Ennek ellenére, a markerek segítségével leolvasható értékek mégis, mintha „erősítést” jeleznének, amely aktív alkatrész közbeiktatása nélkül, fizikai tényezők okán, lehetetlen. Ebben az esetben, a túlvégi csatlakozó közelében megjelenő reflexiós érték tehető felelőssé: egy relatívan jelentős reflexiós anomáliát tapasztalunk, közvetlenül a csatlakozó előtt, amely torzítja a mérést. Pontosan itt található a hibás szálhegesztés. A csillapítás ezen pont után számottevővé válik, amelyet az utótétszáli szakaszon vehetünk észre.

Amint „B” irányból is megvizsgáljuk az optikai szálát, már azonnal, a szakasz belépési pontja után jelentős a csillapítás, így megerősítve azt, hogy a probléma forrása pontosan behatárolható ott, ahol „A” irányból is tapasztaltuk: körülbelül 2 méterre a csatlakozótól, ahol a kábel pigtailhez való hegesztése megtörtént. A „B” irányú belépési pont után azonban, az 3.1/B csatlakozó reflexiós ábrája összemosódik a hibahellyel, így ebből egzakt adat ebben az irányban nem nyerhető ki. Ez az eset kifejezetten jó példát szolgáltat arra, hogy miért szükséges mindkét irányból vizsgálni a mérendő szálakat, a kielégítő problémafeltárás érdekében. Mindezek ellenére, a teljes mérendő hossz látható mindkét grafikonon, tehát a szál folytonos.

6.4. 3.2. mérés: Patch panelen belüli problémák (szennyezett csatlakozó)

OTDR MÉRÉSI ADATOK					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
21.66 m	-2.524 dB	-116.537 dB/km	21.82 m	0.779 dB	35.706 dB/km



34. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

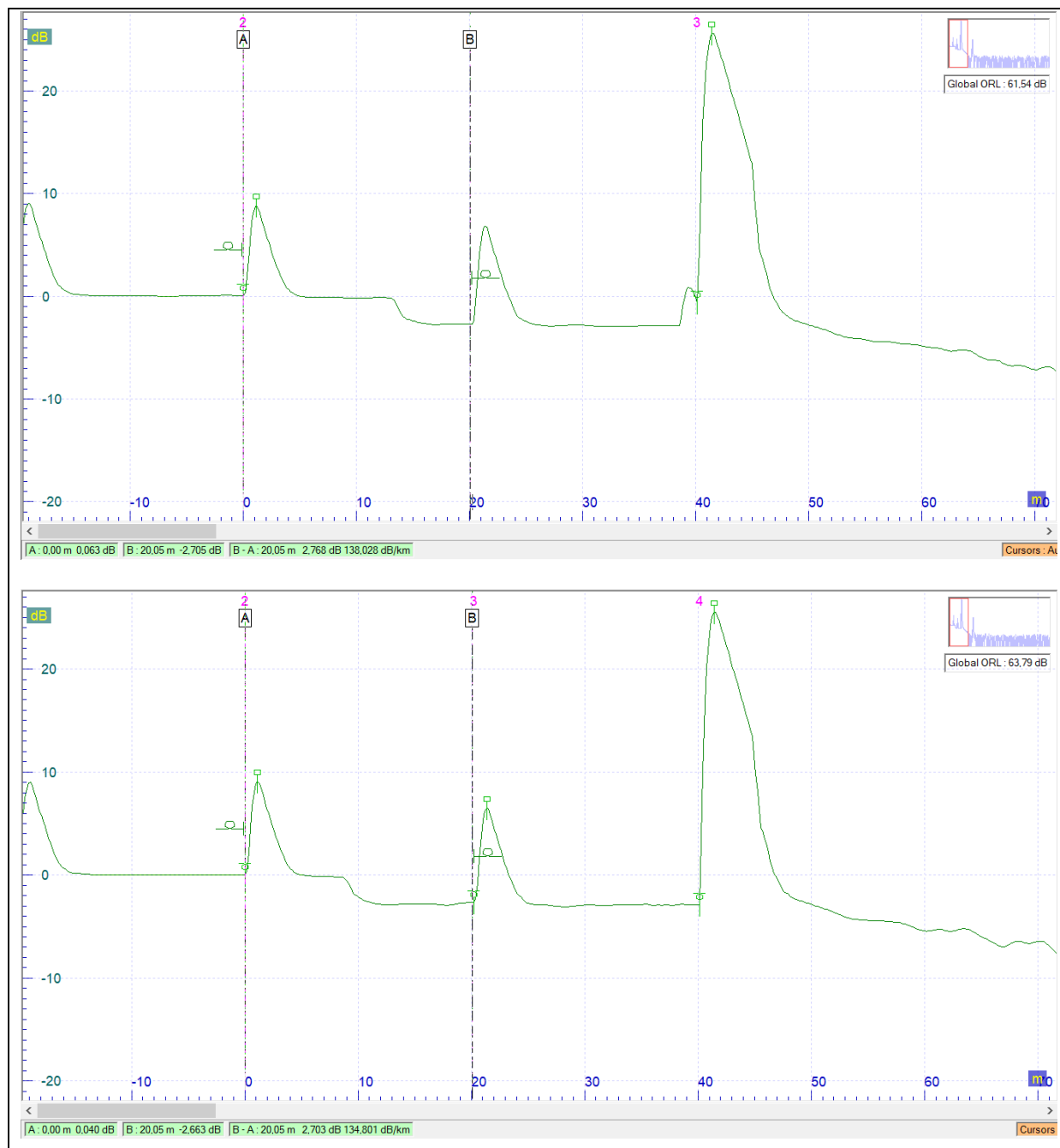
Jól látszik mindkét OTDR grafikonon, hogy habár a szál biztosan folytonos, eseménymentes, és hossza az elvárást tükrözi, akármelyik irányból is vizsgáljuk az optikai szakaszt, a 3.2/B jelű csatlakozó meglehetősen magas reflexiós értékkel rendelkezik, hasonlóan ahhoz, mint amit a mérési rendszer végén találunk. Az „A” irányból mérve szintén erősítés-jellegű adatokat nyerhetünk ki, azonban ezek ez esetben sem megalapozottak csakúgy, mint a hibás hegesztés esetében. A szakaszra vonatkozó, valós csillapítási és lejtsési értékeket a „B” irányból mérve kapjuk, amelyek meglehetősen magasak.

Az ilyen jellegű reflexiós karakterisztika, egy felületén szennyeződött csatlakozóról árulkodik, amely a kifejtőpanel telepítése során, a legáltalánosabban előforduló probléma. Szerencsére, a kiküszöbölés és a hiba elhárítása általában egyszerű: optikai tisztítópálca, vagy szálmentes törülőkendő és izopropil-alkohol együttes használatával orvosolható.

Jóval a mérési rendszer vége után, ~65m elméleti távolság közelében, a vizsgált szakasz végén elhelyezkedő csatlakozó „visszhangja”, más néven „szelleme” látható. Ez az említett, csatlakozón jelentkező, hibás reflexióból fakadó jelenség, amely a hibahely és a mérési rendszer vége közötti távolság alapján, periodikus távolságokban látszat-eseményekként tűnhet fel a mérésben. Természetesen, ebben a távolságban már nincs mérendő kábel, viszont az ismeretlen szálhosszok megállapításánál, a tapasztalatlan műszerkezelő hibás következtetést vonhat le emiatt.

6.5. 4. mérés: Áthurkolt optikai kábel

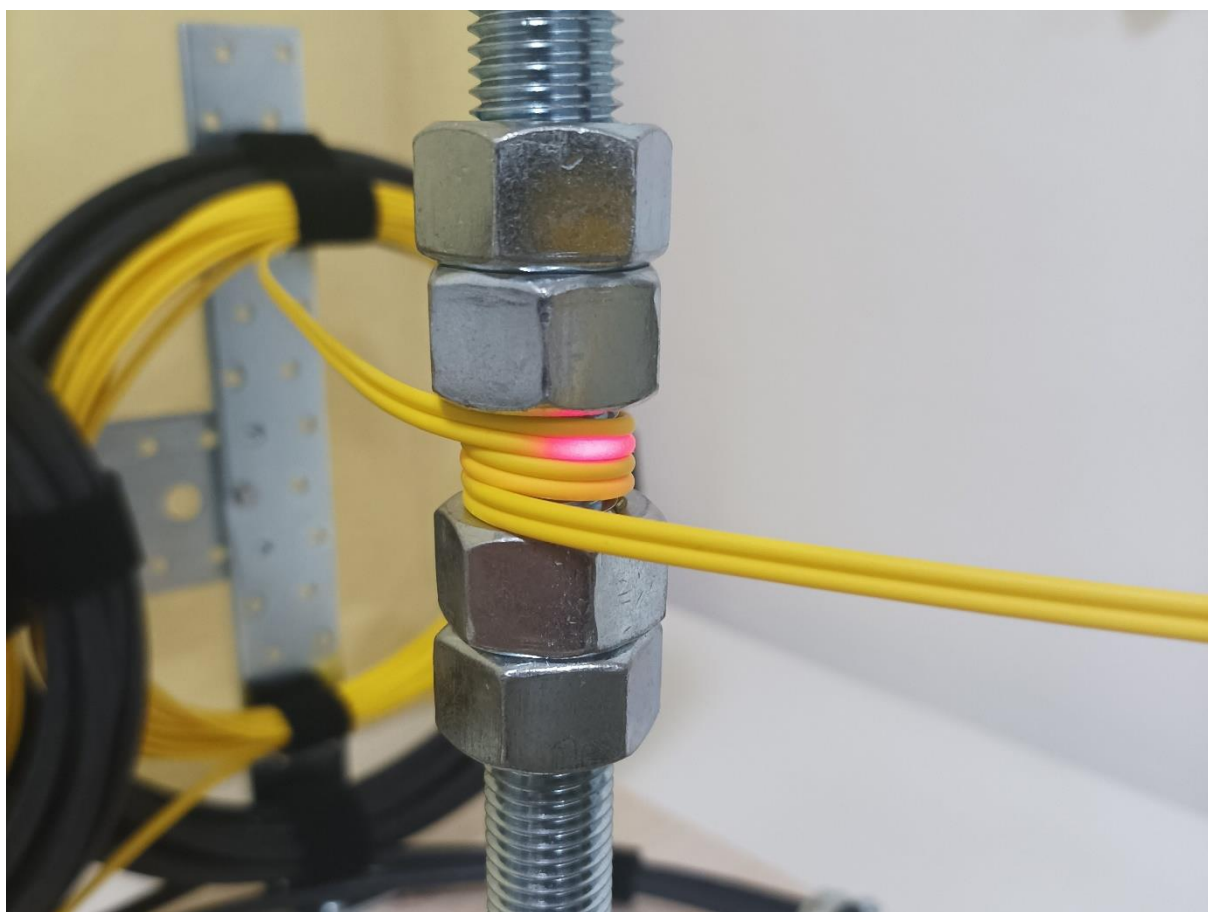
OTDR MÉRÉSI ADATOK					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
20.05 m	2.768 dB	138.028 dB/km	20.05 m	2.703 dB	134.801 dB/km



35. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

A mért szál kontinuitása sértetlen mindkét irányból tekintve, azonban egy jelentős csillapítási hatással rendelkező esemény jelentkezik az optikai link grafikonján – mindkét esetben közel megegyező dB és dB/km értékekkel. A hibahely „A” irányból vizsgálva ~12m, míg „B” irányból ugyanez ~8m távolságban található. Ez tökéletesen illeszkedik a 4. mérési komponens kábelezésének 12-8 méter arányú elosztásához. A hiba karakterisztikája makrohajlításra enged következtetni, amely az optikai patch kábel menetes száron történő, kétszeres felhurkolása következtében alakult ki.

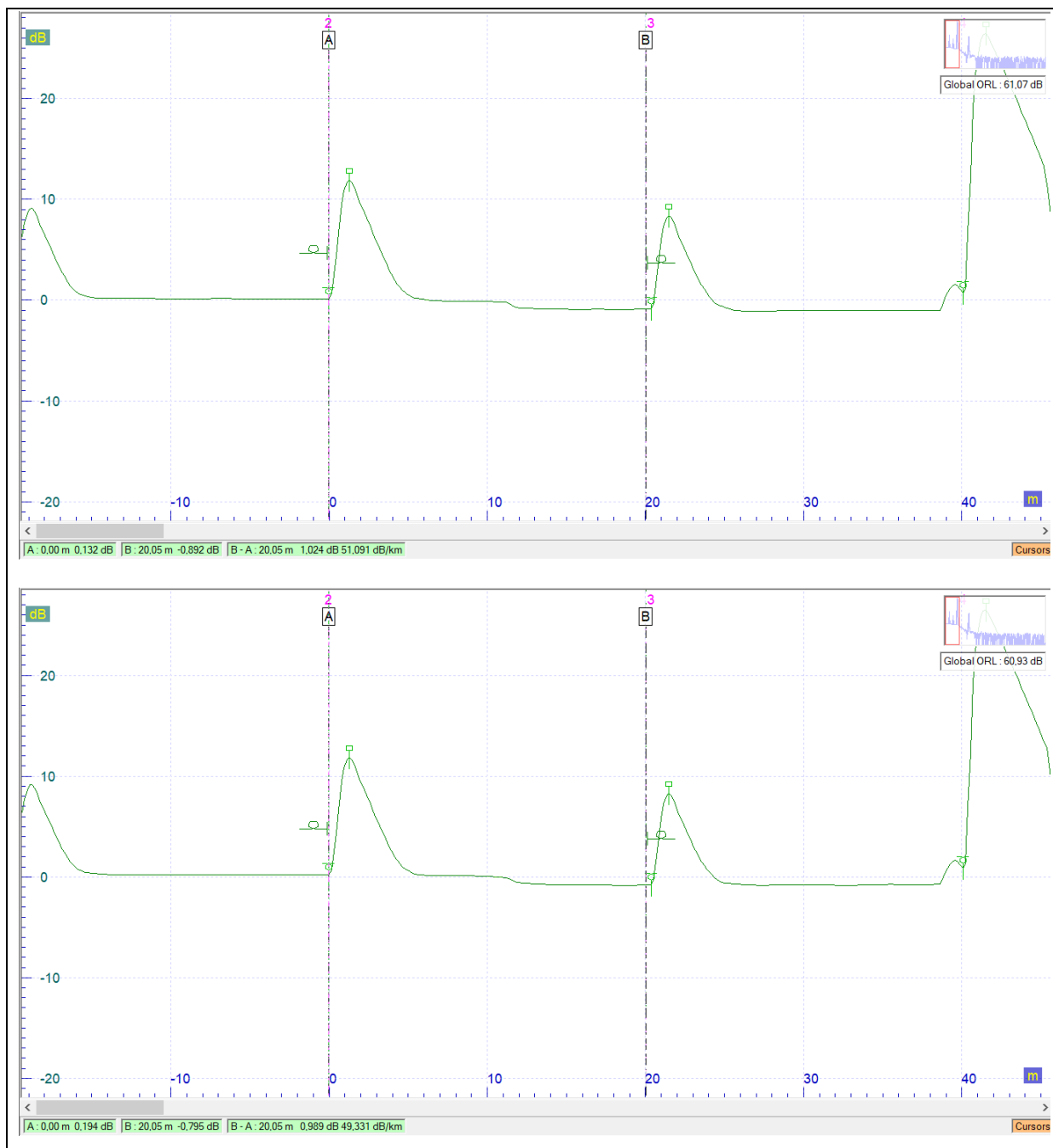
VFL eszköz segítségével szemléletessé válik, ahogy a látható lézerfény részben, ténylegesen kilép a szálból, vörösen átvilágítva a kábel köpenyén:



36. ábra: Az áthurkolt optikai kábelből kilépő, látható lézerfény

6.6. 5. mérés: Mechanikai nyomásnak kitett optikai kábel

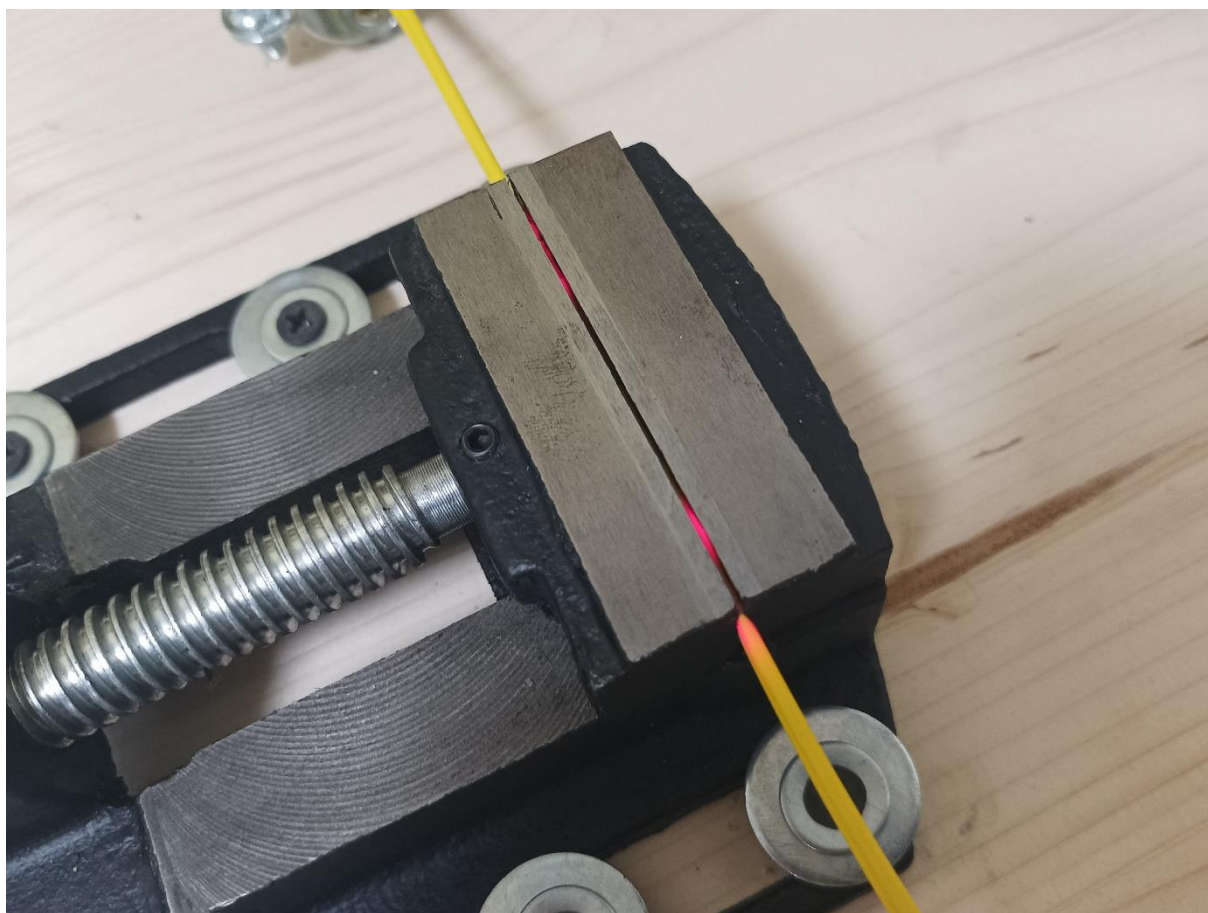
OTDR MÉRÉS					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
20.05 m	1.024 dB	51.091 dB/km	20.05 m	0.989 dB	49.331 dB/km



37. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

A szál folytonos, és jelen esetben is pontosan ott található a hibahely, ahol az elvártnak tekinthető: a 10-10m kábelezési elosztáshoz igazodva, a vizsgált szakasz közepén. A grafikonon megjelenő képe szintén hajlítás gyanúját veti fel, azonban ez esetben sokkal inkább a szálmag, folyamatos mechanikai nyomás hatására bekövetkező deformációja a felelős a jelenségért. A csillapítás és a lejtés leolvasott adatai lényegesen kisebbek, közel harmada a 4. mérésben tapasztalt esetnek, de szintén jelentős, nem tolerálható értékkel bírnak.

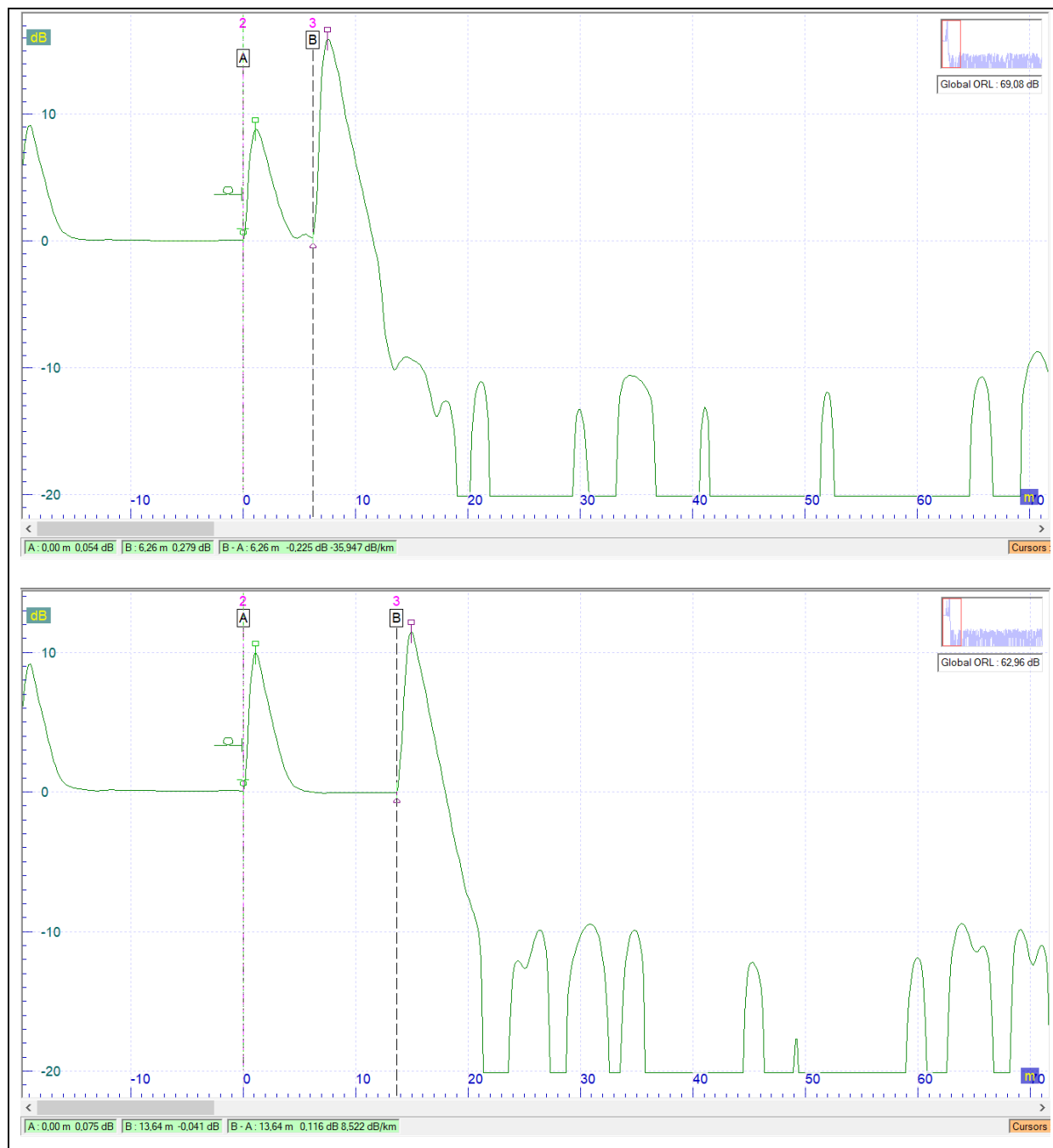
A vizuális hibakereső használatakor vöröses derengés látható azon a pár centiméter hosszúságú szakaszon, ahol a patch kábel a gépsatu általi nyomásnak van kitéve. A kilépő lézerfény intenzitása csekélyebb, mint az előző esetben, tehát megállapítható, hogy korrelál a grafikonokról leolvasható csillapítási értékekkel, ha összehasonlítjuk a 4. mérésben fellépő esettel.



38. ábra: Mechanikai nyomásnak kitett optikai kábelből kilépő, látható lézerfény

6.7. 6. mérés: Törött szálak az optikai kábelben

OTDR MÉRÉS					
„A” irány			„B” irány		
Szálhossz	Csillapítás	Lejtés	Szálhossz	Csillapítás	Lejtés
6.26 m	-0.225 dB	-35.947 dB/km	13.64 m	0.116 dB	8.522 dB/km

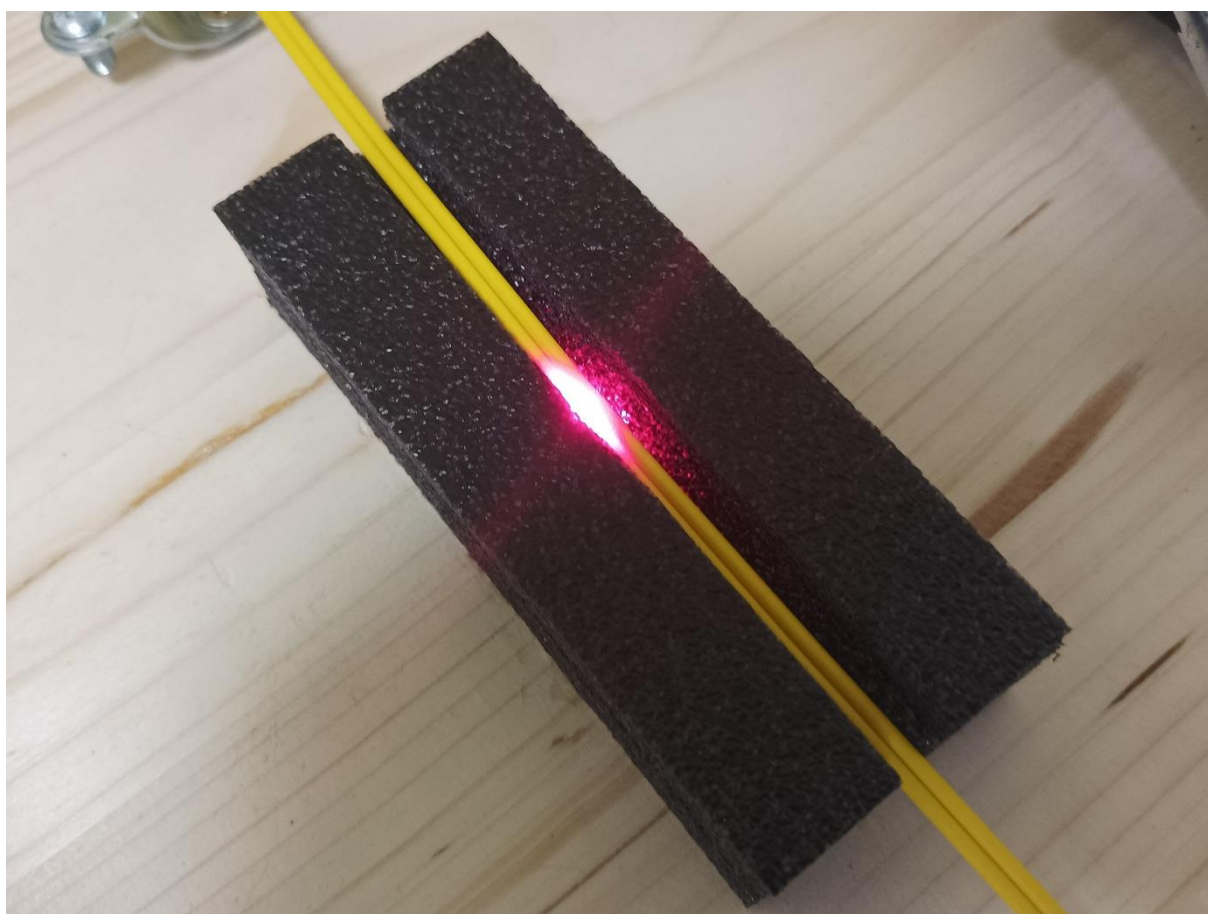


39. ábra: „A” (fent) és „B” (lent) irányból kapott OTDR mérési grafikon

Az eddig bemutatott esetekben a vizsgált szál folytonossága a hibák ellenére ép maradt, ezen problémák körültekintő elhárítása után, nagy valószínűséggel egy megfelelő, adatátvitelre tökéletesen alkalmas optikai linket kaphatunk. Azonban az optikai szál megtörése olyan végzetes hibafaktor, amely kizárólag körülményesen, vagy egyáltalán nem orvosolható, ezáltal az adott kábel, vagy kábelszakasz teljes cseréjének szükségességét vonja maga után.

A mérés során kapott grafikonokról jól leolvasható, hogy „A” irányból csupán ~6m, „B” irányból pedig ~14m a vizsgált szál hossza, mindkét esetben pedig csatlakozó nélküli, csupasz szálvég jellegzetes karakterisztikája rajzolódik ki, amelyet a mérési rendszer végének képe követ. Összeadva ezeket a külön-külön mért hosszokat, megkapjuk a kábel 20 méteres, eredeti hosszát. Egyértelművé válik tehát, hogy a kábelben lévő szál megtört. Ilyen esetben a csillapításra vonatkozó adatok nem értelmezhetőek, azok tulajdonképpen végtelen nagy értékűnek tekinthetők.

A VFL tesztelés során a lézerfény maximális intenzitással lép ki azon a ponton, ahol a száltörés található:



40. ábra: Szálmagjában megtört optikai kábelből kilépő, látható lézerfény

7. MINŐSÉGI IRÁNYELVEK

A dolgozatban szemléltetett, hibás telepítési kimenetek elkerülése érdekében, a mérnökök, technikusok és szakemberek szigorú szabályrendszerrel és a vonatkozó szabványok elengedhetetlen betartásával kell, hogy tervezzenek és dolgozzanak. A minőségbiztosítás érdekében megalkotott, Európában használatos és nemzetközi szintű, az optikai kábelek alkalmazhatósági típusaira, mérésére, nyomvonalai telepítésére vonatkozó ISO/IEC szabványok definiálják az anyagokat, folyamatokat, minősítéseket és dokumentációtípusokat, ezáltal biztosítva, hogy egy nemzetközi közösség számára is közérthető, egységes és hibáktól mentes hálózatok, rendszerek telepítései valósulhassanak meg.

- IEC 60793-1-40, Optical fibres — Part 1-40: Measurement methods and test procedures — Attenuation
 - IEC 60793-2 (all parts), Optical fibres – Part 2: Product specifications
 - IEC 60794-2, Optical fibre cables — Part 2: Indoor cables — Sectional specification
 - IEC 60794-3, Optical fibre cables — Part 3: Outdoor cables — Sectional specification
 - ISO/IEC 18010:2002, Information technology – Pathways and spaces for customer premises cabling
- [4]

Az IEC 61073-1 szabvány a száloptikai illesztési hardverekre vonatkozik (mechanikus toldások és hegesztések, toldásvédelem), optikai szálakhoz és kábelekhez. Magában foglalja a száloptikai toldás hardverkövetelményeit és minőségértékelési eljárásait. Ez a szabvány nem vonatkozik a vizsgálati és mérési eljárásokra, amelyeket az IEC 61300-1, IEC 61300-2 és az IEC 61300-3 sorozat ír le:

- IEC 61300-1, Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 1: General and guidance
 - IEC 61300-2 (all parts), Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 2: Tests
 - IEC 61300-3 (all parts), Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3: Examinations and measurements
- [5]

A telepítést és mérést, dokumentálást végző személyzet pontos koordinációja és felügyelete, szintén kiemelt feladatkör. Az megvalósítást irányító mérnöki feladat végzésekor, elengedhetetlen az alkalmazandó és vonatkozó technológiák, szabályrendszerek pontos és naprakész ismerete, az ezekből fakadó kockázati pontok felismerése, azok elkerülésére szolgáló stratégiák, alternatívák és technológiai megoldások kidolgozása, a kifogástalan végeredmény és adatátvitel, illetve a kialakított hálózat műszaki időtállóságának biztosítása érdekében.

8. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az OTDR műszerrel történt hibameghatározáson, és a VFL lézer szemléltető jellegű alkalmazásán kívül, kiegészítő mérési szerepet tölthet be, egy teljesítményvesztés- és beiktatási csillapításmérő műszer használata. Általa, a mindkét irányból vett minták alapján, az említett dimenziókban is feltérképezhető a teszttasztalon telepített kábelek adatátvitelre alkalmas állapota, amely tovább tágítja a reprezentáció látókörét, az egyes telepítési hibák esetében.

Ugyan a jelen teszttasztal – mint „prototípus”, jelentős része hétköznapi használatú szerelési elemekből épült (mivel főként a funkcionalitást helyezi előtérbe), azonban meghatározott, moduláris és márkakompatibilis gyártású építőelemek felhasználásával, saját sztenderdjeinek megfelelően, hatékonyan, több példányban sokszorosíthatóvá válna. Az ilyen módon megépült darabok, kiegészítve az elméleti háttér és a mérések írásos dokumentációjával, hatékony szerepet tölthetnének be több helyszínen is. Oktatási eszköz gyanánt, infokommunikációs hálózatépítéssel foglalkozó cégeknél, vagy olyan vállalatoknál, amelyek optikai hálózatok elemeinek gyártói, viszonteladói. Kábelgyártó és kábelforgalmazó cégek roadshow-in kompakt és reprezentatív szemléltetőeszközként funkcionálhatna, saját termékeik kapcsán.

Konzulensi felkérésre, ezen dolgozat alapján, a jövőben mérésfejlesztés végzek majd az egyetemi laborfoglalkozások számára. Így a hallgatók első kézből tapasztalhatják meg az optikai kábel telepítési hibáinak ismérveit, a bemutatott teszttasztalon történő mérések segítségével, ezáltal kézzelfogható tapasztalatot és elmélyültebb háttértudást halmozhatnak fel.

9. ÖSSZEFOGLALÓ

Megállapítható, hogy a mérések minden egyes komponens esetében sikeresek voltak: az elméleti aspektusok alapján elvárt eredményeket produkálták, és kifejezetten jól reprezentálták azokat. A teszttasztal tervezése és megépítése számomra is remek időtöltésnek bizonyult, amely során még inkább elmélyíthettem magam is, a korábban szerzett elméleti és gyakorlati tapasztalataimat az optikai hálózatok telepítésének és mérési vizsgálatának témakörében.

Bízom benne, hogy a jelen dolgozatomból készülő labormérés fejleszteni fogja az egyetem jövőbeni hallgatóinak szakmai kompetenciáját. A szimulációs teszttasztal által, ők maguk töredék idő alatt sajátíthatják el és alkalmazhatják azokat az értékes, de a gyakorlatban elvétve fellelhető információkat, amelyek megszerzésére én a munkám során, a való életben évek alatt tettem szert, a különböző hálózatépítési tevékenységekben történő részvételem által.

Amióta megismerkedtem az optikai adatátviteli technológiával, csodálattal és érdeklődéssel fordulok felé, ugyanis elveiben egyszerű és elegáns, fizikájában és megvalósításában mégis komplex, egy továbbra is kiaknázandó műszaki és tudományos terület, amely a technológiai és gazdasági jelenünket, illetve jövőnket is alapjaiban határozza meg. Nagy motivációval igyekeztem bemutatni egy ilyen kifinomult rendszer működésének egy szegletét, mely a mai digitalizált világunkban – ha sokak számára, soha nem is válik nyilvánvalóvá ez a tény – életminőségünk egyik legfontosabb alappillére.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] OPTIKAI Hálózatok, Alaptanfolyam egy sikeres kezdéshez, 2018. szeptember 17-18.
AGENDA-AGE KFT
- [2] The Seven Deadly Sins of Fiber Optics, Author: Sean Sheedy, Fiber Optic Specialist,
Industry: Fiber Optics, Published: ISE Magazine, 2020 MicroCare
ISO 9001:2015 Registered
https://www.microcare.com/MicroCare/media/Documents/Tech%20Articles/TA_Optics_The-Seven-Deadly-Sins-of-Fiber-Optics.pdf (Letöltve: 2022.09.15)
- [3] Single Fiber Fusion Splicing Application Note, AN103, Issued: May 2020, Supersedes: June 2009
ISO 9001 Registered
<https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/application-notes/AN103.pdf>
(Letöltve: 2022.09.10)
- [4] ISO/IEC 11801-1:2017(en)
Information technology — Generic cabling for customer premises — Part 1: General requirements
<https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso-iec:11801:-1:ed-1:v1:en> (Letöltve: 2022.09.22)
- [5] IEC 61073-1 Edition 4.0 2009-01 INTERNATIONAL STANDARD
Fibre optic interconnecting devices and passive components – Mechanical splices and fusion splice protectors for optical fibres and cables – Part 1: Generic specification
https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61073-1%7Bed4.0%7Den.pdf (Letöltve: 2022.09.15)
- [6] The importance of protecting fiber optic cabling infrastructure
By Christopher Homewood
<https://blog.siemon.com/infrastructure/the-importance-of-protecting-fiber-optic-cabling-infrastructure>
(Letöltve: 2022.09.26)
- [7] FTTH-GPON passzív hálózatok műszaki irányelvei
Megrendelő: Magyar Mérnöki Kamara Hírközlési és Informatikai tagozata
Készítette: Técsi Zsolt
Lektorálta: Engedi Antal
Készült: 2015/09/29
- [8] TÁVKÖZLÉSI ISMERETEK, FÉNYVEZETŐS GYAKORLAT
Szakirodalomból szerkesztette: Varga József
- [9] Understanding How the Appearance of Optical Fiber Splices Relates to Splice Quality,
Douglas Duke & David Mansperger, Fusion Splicing Systems, AFL, Duncan, SC
2017 BICSI
<https://www.bicsi.org/docs/default-source/conference-presentations/2017-fall/understanding-howthe-appearance.pdf> (Letöltve: 2022.09.11)

11. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Saját készítésű ábra
2. ábra Saját készítésű ábra, Vectary online tervező által
3. ábra Saját készítésű ábra, Vectary online tervező által
4. ábra CLEERLINE
Single Mode vs. Multimode Fiber Optic Cables
<https://cleerlinefiber.com/2019/03/19/singlemode-vs-multimode-fiber-optic-cables/>
5. ábra Schrack Technik
LWL Universalkabel A/I-DQ(ZN)BH 12x 9/125µm OS2, LS0H-3, Dca
<https://www.schrack.at/shop/netzwerktechnik-sat/netzwerkkabel/installationskabel-lwl/universal-aussen-innenkabel-mit-nichtmetallischem-nagetierschutz-8mm-5000n-dca/kategorie-os2-faser-9-125um/lwl-universalkabel-a-i-dq-zn-bh-12x-9-125um-os2-ls0h-3-dca-hseaibh129.html?q=os2>
6. ábra FS Europe
2m (7ft) LC UPC to LC UPC Duplex OS2 Single Mode PVC (OFNR) 2.0mm Fiber Optic Patch Cable
<https://www.fs.com/de-en/products/40192.html>
7. ábra Saját készítésű fotó
8. ábra Data Sheet VIAVI T-BERD/MTS-2000 Handheld Modular Test Set
9. ábra Basics of OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer)
<https://community.fs.com/blog/understanding-otdr-dead-zone-specifications.html>
10. ábra The importance of protecting fiber optic cabling infrastructure
<https://blog.siemon.com/infrastructure/the-importance-of-protecting-fiber-optic-cabling-infrastructure>
11. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
12. ábra Twisted Pair Technologies: Sony completes full network upgrade
<https://twistedpairtech.co.uk/sony-completes-full-network-upgrade/>
13. ábra The importance of protecting fiber optic cabling infrastructure
<https://blog.siemon.com/infrastructure/the-importance-of-protecting-fiber-optic-cabling-infrastructure>
14. ábra Forrás: internet
15. ábra TECH TIP #2: WHAT IS A MACROBEND?
VIAVI / Field Force
<https://fieldforce.viavisolutions.com/en-uk/tech-tip-2-what-is-a-macro bend/>

16. ábra Photonic Network Communications
Liu Aichun & Fethallah Karim - Abou Bakr Belkaid University of Tlemcen
October 2020
17. ábra WIRE & CABLE TIPS: Data Center Fiber Cabling – What You Don’t Know
Could Hurt You. NOVEMBER 18, 2013 BY MARY GANNON
<https://www.wireandcabletips.com/data-center-fiber-cabling-dont-know-hurt/>
18. ábra Lifetime Prediction of Fiber Optic Cable Materials for Nuclear Power
Applications: Evaluation of Failure Mechanism, End of Life Criteria, and Test
Methodology. Figure 1 - uploaded by Brian Risch
19. ábra Forrás: internet
20. ábra WHY YOU CAN NOT USE APC CONNECTORS WITH UPC TYPE
EQUIPMENT? AD-net Technology CO., LTD
<https://www.ad-net.com.tw/about-us/>
21. ábra Saját készítésű fotó
22. ábra Saját készítésű fotó
23. ábra Saját készítésű fotó
24. ábra Saját készítésű fotó
25. ábra Saját készítésű fotó
26. ábra Saját készítésű felvételek, Sumitomo T-72C+ optikai szálhegesztő gép által
27. ábra Saját készítésű felvétel, Signalfire AI-8 optikai szálhegesztő gép által
28. ábra Saját készítésű felvétel, EXFO FIP-400 szálvizsgáló mikroszkóp által
29. ábra Saját készítésű felvétel, EXFO FIP-400 szálvizsgáló mikroszkóp által
30. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
31. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
32. ábra Saját készítésű fotó
33. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
34. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
35. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
36. ábra Saját készítésű fotó
37. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
38. ábra Saját készítésű fotó
39. ábra Saját készítésű Viavi MTS-2000 OTDR mérés
40. ábra Saját készítésű fotó