

A fényvezető szálak tulajdonságai és mérési
technológiái

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	4
2.	FIZIKAI ALAPELVEK	5
1.1.	Az elektromágneses spektrum. A fény	5
2.1.1.	Száloptika, a fényvezető szál (LWL) felépítése.....	6
2.1.2.	Fényvezető szál-profilok	9
2.2.	Fényvezető szálak veszteségei	11
2.3.	Csillapítás:.....	11
2.3.1.	Abszorpció:.....	12
2.3.2.	Szóródás	12
	Geometriai eltérések:	12
2.4.	Diszperzió:.....	15
2.4.1.	Módusdiszperzió:.....	16
2.4.2.	Anyagi diszperzió:.....	17
2.4.3.	Hullámvezető diszperzió:.....	17
2.5.	Az MM és SM szálak másodlagos paraméterei az üzemi hullámhosszokon:.....	19
2.6.	Mechanikai és környezetállósági jellemzők.....	19
2.6.1.	Mechanikai szilárdság	19
2.6.2.	Öregedési tulajdonságok, klímaállóság	20
3.	Egymódusú fényvezető szálak mérései.....	22
3.1.	Mérési célok, követelmények.....	22
3.1.1.	Laboratóriumi mérések.....	22
3.1.2.	Gyári mérések.....	22
3.1.3.	Üzemi mérések.....	23
3.1.4.	Referencia és alternatív mérési eljárások	23
3.2.	Átviteli jellemzők mérése	23
3.2.1.	Becsatolási feltételek.....	23
3.2.2.	Becsatolási feltételek egymódusú szálaknál.....	24
3.2.3.	Becsatolási feltételek többmódusú szálaknál.....	24
3.2.4.	Egyéb becsatolási problémák.....	25
3.2.5.	A kilépő teljesítmény detektálása.....	26
3.3.	Csillapításmérés	26
3.3.1.	Visszavágós módszer	27
3.3.2.	Beiktatós módszer.....	29
3.3.3.	Visszaszórós módszer.....	31
3.4.	Módustér átmérő mérése.....	38
3.4.1.	A módustér átmérőjének mérése közvetlen távolféteri letapogatási módszerrel.....	38
3.4.2.	A módustér átmérőjének mérése közféteri letapogatással.....	40
3.4.3.	Egyéb eljárások a módustér-átmérő meghatározására	42
3.5.	Levágási hullámhossz mérése	43
3.5.1.	Kábelezetlen fényvezető szál levágási hullámhosszának meghatározása átvitt teljesítmény módszerrel.....	44
3.5.2.	Kábelezett fényvezető szál levágási hullámhosszának meghatározása az átvitt teljesítmény módszerével.....	46
3.6.	Kromatikus diszperzió mérése	47
3.6.1.	Fáziseltolós módszer.....	48
3.6.2.	Differenciális fáziseltolós módszer.....	54
3.7.	Impulzuskésleltetés mérése.....	58
3.8.	Mikrogörbület érzékenység vizsgálata	61
3.9.	Makrogörbületi érzékenység vizsgálata	61
3.10.	Geometriai és optikai mérések	62
3.10.1.	Megtört közfétert módszer.....	62
3.10.2.	Közféteri fényeloszlás	64
3.10.3.	Egyéb módszerek a geometria i-optikai paraméterek méréséhez.....	64

3.11. Mechanikai és környezetállósági mérések.....	65
3.11.1. Szakítószilárdság vizsgálata	65
3.11.2. Húzásállóság vizsgálata.....	65
3.11.3. Klímaállóság vizsgálata ciklikus hőmérséklet-változtatással	68

1. BEVEZETÉS

Átviteltechnikai áttekintés

Az információ két távoli pont közötti továbbításának problémája már az 1700-as évektől kezdve foglalkoztatja a kutatókat. Az elektromágneses hullámok infravörshöz közeli, üvegszálon történő - optikai továbbításának feltalálója C. Kao (1963) valamint M. Börner(1964). Az üveg csillapítási tényezője akkoriban még 1000 dB/km felett volt; ezért a gyakorlati alkalmazásra még gondolni sem lehetett. Az áttörés 1970-ben következett be, amikor a Cornig Glass Works cég 20 dB/km csillapítású üvegszálat volt képes előállítani. A 70-es-évek elején már készen állt az optikai híradástechnika minden építőköve - fényforrás, fényvezető szál és fényérzékelő -, és elkezdődhetett a módszer napjainkig is tartó tökéletesítése.

A kutatások kezdetben az egymódusú szál irányában folytak, azonban a megfelelő technológia hiánya miatt - mellyel a 10⁻⁶m-nél kisebb magátmérőket kézben tudták volna tartani - az érdeklődés hamarosan a többmódusú szál felé fordult. Mivel azonban a monomódusú szál számos előnnyel rendelkezik, a fejlesztés ezen a téren sem állt le, aminek az eredménye az lett, hogy 1980 körül sikerült olyan technológiát kidolgozni, amellyel lehetővé vált az egymódusú szálak széleskörű felhasználása.

Mivel a fényvezető hálózatok kiépítése és használata egyre kisebb költségeket ér el, így az optikai szál fokozatosan kiszorítja a hagyományos vezetékeket a hírközlés területéről. Ezt a tendenciát mutatja a Kessler's Market Intelligence felmérése, miszerint 1992-ben 10,4 millió kilométer fényvezető kábelt telepítettek, amely érték 1998-ra várhatóan háromszorosára nő.

2. FIZIKAI ALAPELVEK

2.1. Az elektromágneses spektrum. A fény

A hírek továbbításában nagy szerepe van a valamilyen átviteli közegben terjedő elektromágneses hullámnak. Az átviteli közegnek azonban nem feltétlenül fémes közegnek kell lennie, a hullámok vákumban vagy dielektromos anyagban is terjedhetnek. Az elektromágneses hullámok spektruma a hosszú rádióhullámoktól a rövid hullámhosszú kozmikus sugárzásig terjed. Az optikai átviteltechnika céljára az elektromágneses spektrumnak csak egy kis tartománya, nevezetesen az infravörös (IR) és a látható fénytartomány (VIS) felel meg, beleértve az ultraibolya (UV) fényt is.

A látható fény a 380 nm (ibolya) és a 780 nm (vörös) hullámhossz közötti keskeny tartományt foglalja el. Ezt a tartományt a kisebb hullámhosszak felől az ultraibolya fény, a nagyobb hullámhosszak felé pedig az infravörös fény határolja. A szorosabb értelemben vett fényt csak a látható hullámhossztartomány jelenti, amelybe gyakran beleértik az IR- és az UV tartományt is. A hullámhossz (λ) és a frekvencia (f) között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$c = \lambda \cdot f$$

A képletben a $c=3 \cdot 10^8$ m/s érték a fény sebességét jelenti légüres térben.

Az optikai átvitelre különösen az 500 nm-től az 1500 nm-ig terjedő tartomány alkalmas.

Az elektromágneses hullámok spektruma:

- .elektromos hullámok
- IR-sugárzás
 - látható tartomány
 - vörös
 - narancs
 - sárga
 - zöld
 - kék

- ibolya .

- Röntgensugárzás .
- Gammasugárzás .
- Kozmikus sugárzás

2.1.1. Száloptika, a fényvezető szál (LWL) felépítése.

A multimódusú üvegszálban megvalósuló fényterjedést a száloptika, vagy geometriai optika törvényeivel lehetne leírni. Maga a fénysugár a folyamat modellezésére alkalmas. A kis nyílásszögű fénykúp idealizált változatát jelenti, egyenes vonalban terjed, és tükörrel, prizmával vagy lencsékkel más irányokba téríthető el. A fényvezető szálban a fény útja a fénytörés és a visszaverődés törvényein alapul. Ha a fénysugár egy dielektromos határrétegre esik, akkor általában mindkét folyamat fellép. Ha a fénysugár két, egymástól különböző törésmutatójú anyag határfelületére esik, akkor a visszaverődési törvény szerint:

$$\alpha = \alpha'$$

Ebben az esetben az α beesési szög és az α' visszaverődési szög egy síkban van.

A Snellius féle törési törvény értelmében a fénysugár nem visszaverődött része a második anyagban folytatja útját, de megváltozott terjedési irányban. A törési törvény a következő:

$$\frac{\sin \mathbf{a}}{\sin \mathbf{b}} = \frac{c_1}{c_2}$$

A vákumban mért c_0 fénysebesség viszonyát törésmutatónak (n) nevezzük. Ez egy anyagállandó, és azt adja meg, hogy az adott közegben hányszor kisebb a fény sebessége, mint légüres térben.

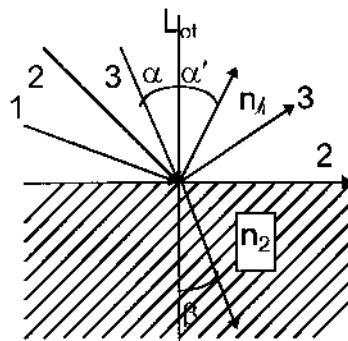
$$c = \frac{c_0}{n}$$

Az előzőek felhasználásával:

$$\frac{\sin \mathbf{a}}{\sin \mathbf{b}} = \frac{n_1}{n_2}$$

Az α beesési szög növelésével a β törési szög az optikailag sűrűbb, n_1 törésmutatójú anyagból az optikailag ritkább, n_2 törésmutatójú anyagba való átmenetkor eléri a $\beta=90^\circ$ értéket. Két átlátszó anyag közül az az optikailag sűrűbb, amelyikben a fény sebessége kisebb. Az ehhez a $\beta=90^\circ$ -hoz tartozó beesési szöget határszögnek nevezzük:

$$\sin \alpha_G = \frac{n_2}{n_1}$$



2.1 .ábra: A fény visszaverődése és törése

Ha a beesési szög túllépi az α_G határszöget, akkor már nem léphet fel törés, és a határréteg teljes egészében visszaveri a fénysugarat. Ezt a jelenséget nevezzük teljes visszaverődésnek. Ez a jelenség csak az optikailag sűrűbb anyagból az optikailag ritkább anyagba való átmenetkor következhet be, és fényvezető szál (multimódusú optikai szál) ezt használja fel. Éppen ezért a fényvezető szál egy hengeres magból, és az ezt körülvevő koncentrikus köpenyből áll. A mag üvegének n_1 törésmutatója valamivel nagyobb, mint a köpeny üvegének n_2 törésmutatója.

Az utóbbi képletből következik, hogy minden olyan fénysugár, amely $(90^\circ - \alpha_G)$ szögnél kevesebbet tér el a fényvezető szál tengelyének irányától, a magban fog tovább haladni. Ha a külső térből (az $n_0=1$ törésmutatójú levegőből) egy fénysugarat akarunk a magba csatolni, akkor a fénysugár és a fényvezető szál tengelye által bezárt θ becsatolási szögre a következő összefüggés érvényes:

$$\frac{\sin \mathbf{q}}{\sin (90^{\circ} - \mathbf{a})} = \frac{n_1}{n_0}$$

Ebből $n_0=1$ helyettesítéssel:

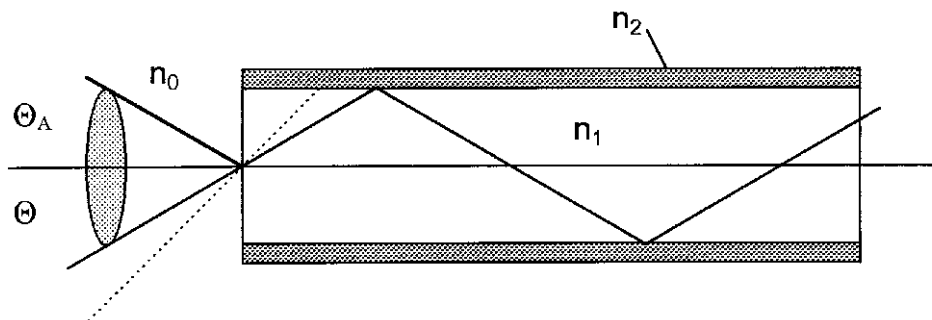
$$\sin \mathbf{q} = n_1 \cdot \cos \mathbf{a} = n_1 \cdot \sqrt{(1 - \sin^2 \mathbf{a})}$$

Az ehhez tartozó θ_A becsatolási szöget a fényvezetőszál befogadási szögének nevezzük, és csak az n_1 és n_2 törésmutató értékétől függ.

A befogadási szög szinusztát a fényvezető szál numerikus apertúrájának (NA) nevezzük (1.2.ábra).

$$NA = \sin \mathbf{q}_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Ennek a jellemzőnek nagy jelentősége van a fény a fényvezető szálba való becsatolásakor. Minél nagyobb egy fényvezető szál numerikus apertúrája, annál több fényt lehet becsatolni, de annál nagyobbak lesznek a futásiidő különbségek is.



2.2. ábra: A fény útja a fényvezető szálban

2.1.2. Fényvezető szál-profilok

Ha egy fényvezető szál a törésmutatóját a maganyag sugarának függvényében ábrázoljuk, akkor a törésmutató-profil, vagy másképpen az indexprofil kapjuk. A gyakorlatban két törésmutató-profil alkalmaznak:

- lépcsős profil
- gradiens-profil

A lépcsős profilt az jellemzi, hogy a mag n - törésmutatója állandó, a mag és a köpeny határán pedig meredeken n_1 ($n_1 > n_2$) értékre esik le. A 2.3.ábra azt mutatja, hogy a kisebb szögben becsatolt fénysugarak rövidebb utat tesznek meg, mint a meredekebben becsatolt fénysugarak, mert ezek gyakrabban verődnek vissza. Ilyen esetben magasabbrendű módusról (sokszoros cikkcakk vonal) és ennek megfelelően alacsonyabbrendű módusról (kevés számú visszaverődés) beszélünk. A módusok a fényvezető szálban fizikailag matematikailag lehetséges terjedési utakat jelentik.

Az eltérő nagyságú módusok létezése azt eredményezi, ahogy azt a következő megfontolásunk is igazolni fogja, hogy a jelátvitel során bonyodalmak léphetnek fel. Egy rövid fényimpulzus sokféle különböző útvonalon {magasabb módusok, eltérő futási idővel} terjedhet. A rövid, időben élesen behatárolt bemeneti impulzusból a kimeneten az egymás után beérkező jelek összegződése miatt erősen szétszórt impulzus lesz (módus diszperzió). A lépcsős profilú fényvezető szál ezért nagyobb sávszélesség átvitelére nem alkalmas.

A megoldást a gradiens profil jelenti. A lépcsős profillal ellentétben itt a fénysugarak már nem cikk-cakk vonalban terjednek. A gradiens-profilú fényvezető szálban a törésmutató-profil a fényvezető szál sugarának függvényében folyamatosan változik. A fényvezetés ebben az esetben nem a teljes visszaverődésen, hanem a fénytörésen alapul. Gyakran parabolikus profilt alkalmaznak. A maganyag $n(r)$ törésmutatójának folyamatos változása miatt a fénysugarak folyamatosan megtörnek. A terjedési irány folyamatosan változik, a fényvezető szál tengelye körül hullám alakú lesz. A tengelyre vonatkoztatva meredeken haladó fénysugarak mindig hosszabb utat tesznek meg, mint a fényvezető szál tengelye mentén haladó fénysugarak. A fényvezető szál tengelyétől kifelé haladva csökkenő törésmutató miatt ezek a sugarak azonban egyre gyorsabban haladnak (lásd 2.3.ábra) és a hosszabb út időben

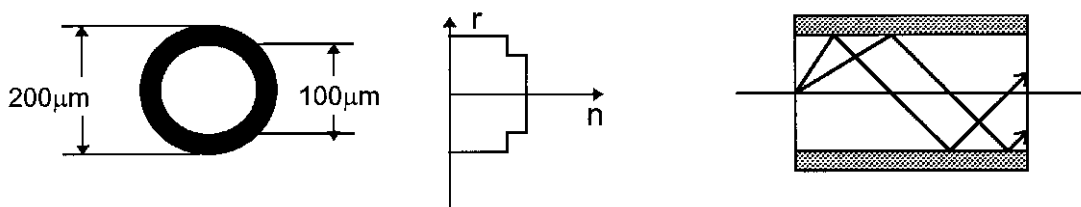
kiegyenlítődik. Ennek eredménye képpen szinte teljesen eltűnik az egyes sugarak futási idő-különbsége. A módus-diszperzió csekély.

Az optimális átviteli jóság elérése érdekében a lépcsős profilú fényvezető szál egy speciális esetét, a monomódusú (egymódusú) fényvezető szálát alkalmazzák. A szál sugarának 2-10 μm nagyságrendbe kell esnie. A magban ekkor csak egyetlen módus lesz képes terjedni, így a futási időkben nem lehet különbség (nincs módus-diszperzió). A méretek, törésmutató-profilok és néhány további jellemző érték áttekintését az 2.3.ábra mutatja.

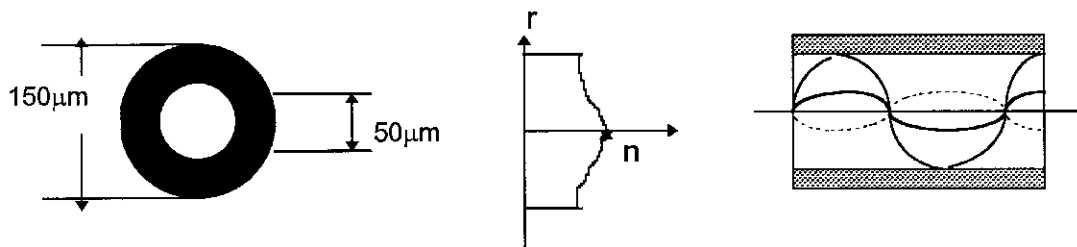
Az egymódusú és sokmódusú szálak között lényeges különbség mutatkozik az átviteli sáv szélesség szerinti összehasonlításban. Míg a sokmódusú szállal maximálisan kb. 15GHzkm-es átvitel valósítható meg, addig az SM szálnál ez az érték 100 GHzkm. Hogy a multimódusú szálak mégis széles körben elterjedtek, az a monomódusú szálnál megvalósítandó igen kicsi magátmérő gyártási nehézségeiből adódott. Ez a probléma azonban a mai gyártási technológiákkal szinte teljesen megszűnt, és gyakorlatilag ma már tetszés szerinti törésmutató-profil megvalósítható. Azt is látnunk kell azonban, hogy az egymódusú szálak használata nagyobb követelményeket támaszt a rendszer többi elemével, adóelemekkel, csatlakozókkal és egyéb passzív rendszerrel szemben. Ez indokolja, hogy kevésbé igényes alkalmazásoknál megmaradtak a többmódusú szálak használata mellett.

Az egymódusú szálak alkalmazása - az elérhető nagyobb ismétlőtávolság és bitsebesség miatt - igen gazdaságos a gerinchálózatokban. Ugyanis a telepítés és a fenntartás költségeit nem csupán a kábel ára szabja meg, hanem a szükséges ismétlőállomások száma, tehát a regenerálás nélkül átvihető maximális távolság is.

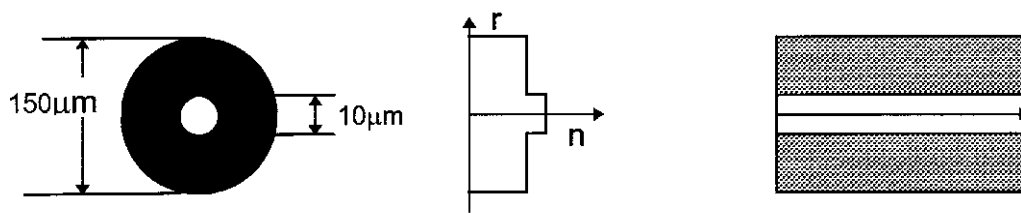
a.) Multimódusú lépcsős indexű fényvezető szál



b.) Multimódusú gradiens indexű fényvezető szál



c.) Monomódusú fényvezető szál



2.3. ábra: Az általánosan használt fényvezető-szál típusok áttekintése

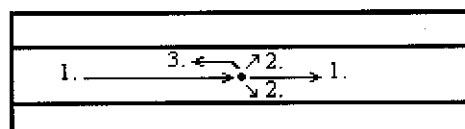
2.2. Fényvezető szálak veszteségei

Egy fényvezetős kábelszakasz hosszát a szál csillapítása és diszperziója korlátozza. Ebben a fejezetben ezekről a veszteségekről kívánunk beszélni.

2.3. Csillapítás:

A csillapítást a szál anyagának fényelnyelése (abszorpciója), fényszóródása, visszaverődése, valamint a szál geometriai paraméterei határozzák meg.

A magban terjedő fény (1.), elérve egy másfajta (pl. szennyező vagy adalék-) anyagot illetve inhomogenitást, szóródik (2.), visszaverődik (3.) és elnyelődik (2.4. ábra).



2.4. ábra: Fényterjedés fényvezető szálban

2.3.1. Abszorpció:

Az abszorpciót a szálban jelenlévő fémes szennyező anyagok {vasionok (Fe^{++}), rézionok (Cu^{++}) stb.}, a hidroxidionok {OH-} jelenléte és az alkalmazott adalékanyagok (Ge,P,B) okozzák. A fény szálban való terjedése közben ezeknek az anyagoknak ütközik, melyek így a fény egy részét továbbengedik egy részét elnyelik és egy részét visszaverik. A fényelnyelés mértéke a hullámhossztól és a szennyezők mennyiségétől függ.

2.3.2. Szóródás

A fény szóródását a szálanyag inhomogenitása okozza. A legjelentősebb szórási veszteséget, a Rayleigh-szórást, az anyagon belüli molekuláknak a véletlen jellegű eloszlása eredményezi. A Rayleigh-szórás hullámhosszfüggő; az üzemi hullámhossz növekedésével a fajlagos csillapítás csökken.

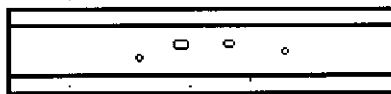
$$a \approx \frac{1}{I^4}$$

2.3.3. Geometriai eltérések:

a) A gyártás során fellépő belső hibák:

A csillapítás felléphet a szál gyártása során keletkezett szabálytalanságok, hibák miatt. Ilyenek lehetnek a:

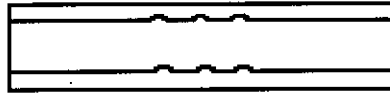
- buborék a magban:



- mikrohajlat:



- egyenetlen mag-héj átmenet:



b) Az üzembe helyezés során keletkezett hibák:

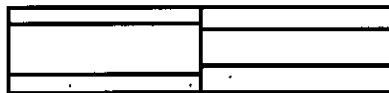
A szál (illetve a kábel) szállítás, behúzás és szerelés közben is szenvedhet geometriai elváltozásokat (csavarodás, törés; pontatlan összeillesztés stb.), eltéréseket.

Ilyenek a szálkötés során fellépő belső vagy külső csillapítások, melyek közül természetesen egyszerre több is fennállhat:

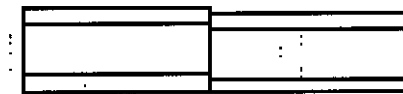
1. Belső csillapítások:

A szálak belső paramétereinek eltéréseiből adódó csillapítások.

- különböző magátmérők:



- különböző héjátmmérők:



- különböző numerikus apertúrák:



- magexcentricitás:



- elliptikus mag:



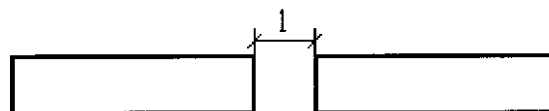
- elliptikus héj:



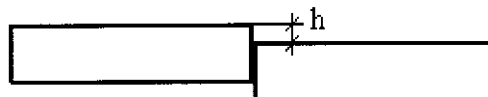
2. Külső csillapítások:

A külső csillapítások a szálkötési eljárások pontatlanságaiból erednek.

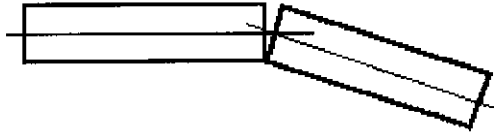
- távolság a szálvégek között:



- a száltengelyek nem esnek egybe:



- a száltengelyek szöget zárnak be:



- szálvágási pontatlanság:



- szennyeződés (porszemek) kerül a szálvégek közé:



- Fresnel-reflexiók csillapítás:

A szálak törésmutatójában létrejövő hirtelen változások okozzák.

Ilyen például az üveg-levegő átmenet az összekapcsolt szálak között.

2.4. Diszperzió:

A fényimpulzus a szálban megtett úttal arányosan szélesedik (nő az impulzus szélessége).

Ez a jelenség a diszperzió.

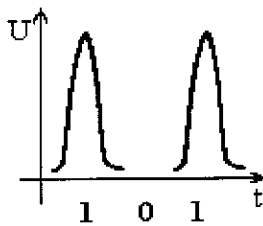
Három féle diszperziót különböztetünk meg:

- módus diszperzió;
- anyagi diszperzió;
- hullámvezető diszperzió.

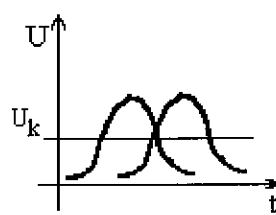
A diszperzió meghatározza az információátviteli sebességet (és ezzel összefüggésben a sávszélességet), mivel a túl nagy impulzuskiszélesedés meggátolhatja a jel helyes detektálását.

Pl.:

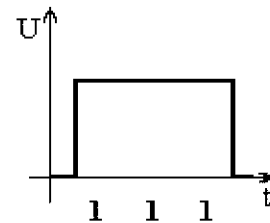
adott jelsorozat



vett jelsorozat



vett jelből előállított jel



(U_k a küszöbfeszültség)

A diszperzió és a sáv szélesség közti kapcsolatot az alábbi képlet adja:

$$b[\text{Mhz} / \text{km}] = \frac{310}{d} [\text{ns} / \text{km}]$$

ahol β a fajlagos sáv szélesség, δ pedig a diszperzió

2.4.1. Módusdiszperzió:

A fényvezetőben csak bizonyos diszkrét számú hullámkonfiguráció terjedhet; ezeket a hullámokat móctusoknak nevezzük. A móctusok három fajtája:

- • lesugárzó móctus: a megengedett becsatolási szögön kívülről beérkező fényből jön létre és egy része a héjban terjed; gyorsan lesugárzódik;
- • szivárgó móctus: a mag-héj határfelületen terjed; lassan cseng le;
- • vezetett móctus: adott pillanatban a fényvezető magjában, adott hosszban található móctus. Köztük véletlenszerű móctuscsatolások, móctuskeveredések jönnek létre.

A lesugárzó móctusokat és a szivárgó móctusokat héjmóctusoknak hívjuk.

Mivel a móctusok különböző hosszúságú utakon, s emiatt különböző időben érkeznek meg a szál végére, köztük futási időkülönbség alakul ki, ami az átvitt impulzusok torzulását eredményezi. Ezt nevezzük móctusdiszperzióknak. Jelentősége csak a multimóctusú (MM - Multi-Mode) szálaknál van, mivel itt terjed több móctus a fényvezető belsejében. Az MM-SI (Step-Index - lépcsős törésmutatójú) szálak esetében nagysága jelentős, MM-GI (Graded-Index gradiens indexű) fényvezető esetén azonban a móctusdiszperzió egy nagyságrenddel

kisebb, aminek oka a törésmutató változása a magon belül. Általában kisfrekvenciás összekötéseknél a módusdiszperzió elhanyagolható.

2.4.2. Anyagi diszperzió:

A csoport-törésmutató változása -a különböző hullámhosszaknál okozza.

$$\mathbf{d}_a(\mathbf{I}) = -\frac{1}{c} \cdot \frac{dn_{cs}}{d\mathbf{I}} = \frac{\mathbf{I}}{c} \cdot \frac{dn^2}{d\mathbf{I}^2}$$

ahol δ_a az anyagi diszperzió, n_{cs} a csoport-törésmutató.

2.4.3. Hullámvezető diszperzió:

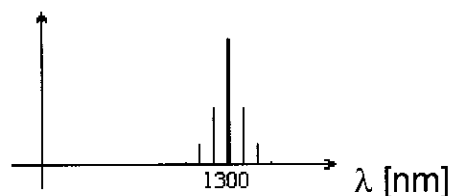
Oka az eltérő csoportsebesség. Általában csak az egymódusú szálakban van számottevő hatása, ugyanis a hullámhossz növekedésével a módus egyre inkább a héjban terjed. Az SM (Single-Mode - egymódusú) fényvezetőknel azonban ez a hatás is kiküszöbölhető (módusdiszperzió sincs), így ezek a szálak több Ghz-es sáv szélességen (nagy sebességgel) tudnak üzemelni.

Az anyagi és a hullámvezető diszperziót közösen kromatikus (vagy szín-) diszperzióknak is nevezzük. Ha $\delta_h(\lambda)$ jelöli a hullámvezető diszperziót, akkor a kromatikus diszperzió ($\delta_k(\lambda)$):

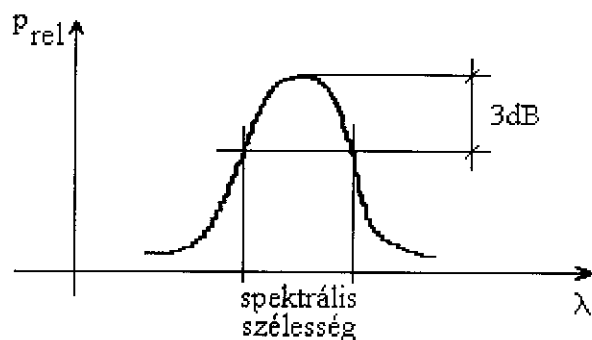
$$\delta_k(\lambda) = \delta_a(\lambda) + \delta_h(\lambda)$$

A kromatikus diszperzió a fényadók azon tulajdonságából adódik, hogy nem képesek monokromatikus fényimpulzus előállítására (nem egy, hanem több hullámhossz kerül adásra). Minnél kisebb a becsatolt fény sáv szélessége, annál kisebb a kromatikus diszperzió.

PI.: az 1300 nm-es névleges hullámhossz mellett más hullámhosszak is megjelennek az adó kimenetén:



A lézerdíoda jeladóknak spektrális szélessége (a 3 dB-es pontok közti szélesség) jóval kisebb (néhány nm), mint a LED fényadóké (kb. 50 nm):



(Megjegyzendő, hogy a kromatikus diszperzió kb.1550 nm-en nulla.)

A módusegyensúly az az állapot, ahol a hasznos energiát hordozó fénynyalábok a fényvezető szál adott pontján metszik egymást.

A módusegyensúly létrehozása:

- előfényvezetővel: hosszú fényvezető szálát alkalmazunk, melynek numerikus aperturája egyezik a vizsgálandó száléval. (Jó fényvezetőnél néhány 100m, rossznál néhány kilométer után lép fel a módusegyensúly.);
- koncentrált előfényvezetővel: különböző törésmutatójú szálakat hegesztünk össze (a szálak keresztmetszete el is térhet);
- módusirtóval: az elsődleges védelmet és a héj egy részét eltávolítjuk és immerziós folyadékba mártjuk. Így a héjmódusok lesugárzódnak. (Az immerziós folyadék megakadályozza a teljes visszaverődést; csökkenti a numerikus aperturát, így biztosítva nagyobb, koncentráltabb teljesítményt.);
- móduskeverővel: a szálát két feldurvított felület közé szorítjuk, ezzel véletlenszerű móduscseréket hozva létre;
- kis numerikus aperturát alkalmazva.

2.5. Az MM és SM szálak másodlagos paramétereai az üzemi hullámhosszokon:

Fajlagos csillapítás:

α [dB/km]			
λ	850 nm	1330 nm	1550 nm
MM-SI szál	10	-	-
MM-GI szál	3	0.7	-
SM szál	-	0.4	0.2

Fajlagos sáv széleség:

λ	850 nm	1330 nm	1550 nm
MM-SI szál	0.1	-	-
MM-GI szál	0.6 – 0.8	0.6 – 1.2	-
SM szál	-	200 – 250	200 – 250

2.6. Mechanikai és környezetállósági jellemzők

2.6.1. Mechanikai szilárdság

A fényvezető szálak alapját képező adalékolt üvegelemek jellemzője a rideg, törékeny viselkedés, valamint az igen nagy szakítószilárdság, melynek hozzávetőleges értéke 16000 N/mm. Ez azonban csak egy elméleti érték, amit a gyakorlatban jelentősen csökkentenek a gyártás és kábelezés során keletkező mikroszkópikus felületi hibák és repedések.

A tapasztalat az, hogy a szál felszínén lévő repedések mechanikai feszültség hatására növekednek. Ez az úgynevezett feszültségi korrózió jelensége, melynek közvetlen kiváltója a környezeti légnedvesség. A szálfelületi mikrorepedések növekedési sebessége a következő formulával adható meg:

$$\frac{d\mathbf{d}}{dt} = (AK)^m$$

ahol:

- m az úgynevezett feszültségi korróziós állandó
- A az anyagtól és környezeti hatásoktól függő állandó
- K a feszültségi tényező.
-

K az alábbi módon számítható

$$K = Y \cdot \mathbf{d}^{\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{s}$$

ahol:

- δ a fényvezető felületén előforduló legmélyebb repedés
- σ a szálra ható húzófeszültség
- Y alaktól függő állandó.

Míthogy a szálfelületi repedések helye és mérete véletlen eloszlást mutat, így a szál szilárdsága egy statisztikus mennyiség. A fényvezető élettartamát jelentősen korlátozza az állandó mechanikus igénybevétel, valamint a környezeti ártalmak okozta statikus fáradás.

2.6.2. Öregedési tulajdonságok, klímaállóság

A fényvezető rendszerek működése szempontjából alapvető, hogy a kábelezett szálak átviteli tulajdonságai a kábel élettartama alatt ne változzanak számottevően. Normál üzemi körülmények között a fényvezető szálak átviteli tulajdonságainak romlásáért leginkább a hidrogéngáz és a radioaktív sugárzás a felelős. A hidrogén veszélyessége abban rejlik, hogy az üvegben gyorsan diffundál. A fényvezető szál belsejébe került hidrogén többféle káros hatást fejt ki. Abszorpciós csúcsok alakulnak ki maga a molekuláris hidrogén miatt, valamint a bekerült hidrogén és az üveg különböző alkotóinak vegyi reakciója során keletkező OH csoportok miatt. Ezen kívül az üveg szerkezetébe beépülő hidrogén szerkezeti hibákat hoz létre, mely a hosszabb hullámhosszakon is érezteti hatását.

Az optikai szálra érő külső eredetű ionizációs sugárzás hatására a fényvezetőben atomi hibahelyek alakulhatnak ki, melynek abszorpciós spektruma szintén a működési tartományba eshet.

A hőmérséklet- változás befolyása leginkább az elsődleges védelem anyagi és geometriai tulajdonságaitól függ, valamint attól, hogy az mennyire tapad a fényvezető felszínéhez. Az elsődleges bevonat és az üveg eltérő hőtágulási együtthatójából adódó -és a termikus viszonyok változása miatt létrejövő- mechanikai feszültségek, mikrohajlatok gyakran vezetnek a szál csillapításának romlásához. Azonban a vizsgálatok azt mutatják, hogy az elsődleges védelemmel ellátott szál csillapítása széles hőmérséklettartományban állandó, és ezt a tulajdonságot a kábelezés után is megtartják.

3. EGYMÓDUSÚ FÉNYVEZETŐ SZÁLAK MÉRÉSEI

3.1. Mérési célok, követelmények

Egymódusú szálak mérésekor igen szigorú követelményeknek kell eleget tenni a meglehetősen kicsi magátmérő és numerikus apertúra, valamint a szálak rendkívül nagy sávszélessége miatt. A méréshez használt eszközök kiválasztásánál figyelembe kell venni ezeket a feltételeket. Ugyanakkor az egymódusú tulajdonság bizonyos szempontból fontos előnyökkel jár. Szemben a sokmódusú szálak bizonytalan, változó mezőeloszlásával, itt minden esetben csak egy, jól definiált mezőeloszlással kell számolnunk. Ez nagyban megnöveli a mérések megbízhatóságát, valamint lehetővé teszi, hogy már néhány átviteli paraméter mérésével a szál tökéletesen és egyértelműen jellemezhető legyen. A nagyobb megbízhatóságból és jobb reprodukálhatóságból kisebb mérési szórás adódik.

A fényvezető szálon elvégzett méréseket a mérési körülményeknek megfelelően három kategóriába sorolhatjuk:

- • laboratóriumi mérések
- • gyári mérések
- • üzemi mérések

3.1.1. Laboratóriumi mérések

A laboratóriumi mérések a kutatást és fejlesztést szolgálják. Előfordulhat azonban, hogy a gyártás során, minőségellenőrzés céljából végeznek ilyen minőségű méréseket. A célból következik, hogy laboratóriumi méréseknél elsődleges követelmény a különleges pontosság, nagy érzékenység, ugyanakkor a mérési összeállítás bonyolultsága és a mérés egyszerű elvégezhetősége csak másodrendű kérdés.

3.1.2. Gyári mérések

Gyári méréseket rendszerint minőségellenőrzés és átvételi gyártmányellenőrzés céljából végeznek. Az ilyen mérések lehetséges maximális automatizáltságot, nagy megbízhatóságot és jó reprodukálhatóságot követelnek. A minőségellenőrzéssel együttjáró feladat még a különböző terhelhetőségi vizsgálatok elvégzése.

3.1.3. Üzemi mérések

Az üzemi mérések elsősorban a kész fényvezető összeköttetések ellenőrzését jelentik. Ennek megfelelően ezeknél a méréseknél elsődleges szempont a mérés egyszerűsége, és a mérőműszerek könnyű kezelhetősége. Főként ilyen célokra kerültek kifejlesztésre a hordozható elemes optikai mérőkitek, amelyekkel egyponos, illetve végpontok közötti mérések végezhetők.

3.1.4. Referencia és alternatív mérési eljárások

A fényvezető szálak és kábelek fontosabb paramétereinek átvételi gyártmányellenőrzésére a CCITT több mérési eljárás ajánlását is kidolgozta. Ezeket a mérési eljárásokat két csoportba sorolták:

- Referencia Mérési Eljárás-ok közé azok a mérési módszerek tartoznak, amelyek az adott paramétert szigorúan, közvetlenül annak definíciója alapján mérik. Követelmény ezekkel a mérésekkel szemben, hogy a gyakorlatban is megvalósíthatók legyenek, valamint a vonatkozó paraméter értékére pontos és mindig reprodukálható eredményt adjanak.

- Alternatív Mérési Eljárás-ok közé sorolhatók azok a módszerek, amelyek a vizsgálandó paramétert a definíciótól eltérő, esetleg közvetett módon mérik. Szintén követelmény a pontosság és a reprodukálhatóság, valamint, hogy a megfelelő Referencia Mérési Eljárással mindig konzisztens eredményt adjon.

Olyan esetben, amikor az alternatív és a neki megfelelő Referencia Mérési Eljárás eltérő eredményt szolgáltat, úgy a Referencia Mérési Eljárással kapott értéket kell hitelesként elfogadni.

A mért paraméter típusa szerint a mérés lehet:

- Átviteltechnikai mérés
- Geometriai-optikai mérés
- Mechanikai és környezetállósági mérés.

3.2. Átviteli jellemzők mérése

3.2.1. Becsatolási feltételek

A továbbiakban ismertetésre kerülő csillapítás mérési módszerek alkalmasak mind az egymódusú, mind a multimódusú szálak vizsgálatára, eltérő becsatolási feltételek mellett.

Ezért célszerű ebben a fejezetben ismertetni a többmódusú szálak vizsgálatánál megkívánt becsatolási körülményeket is.

Az átviteli paraméterek mérési pontossága és a mérés reprodukálhatósága nagymértékben függ a csatolási körülményektől. Egy szál csillapítási együtthatója csak akkor határozható meg egzaktul, ha stacionárius becsatolási feltételeket teremtünk a méréshez.

3.2.2. Becsatolási feltételek egymódusú szálaknál

A vizsgálandó szál gerjesztésére használható megfelelő lámpa, lézerdíoda vagy LED. A választás függ a mérési módszertől. A forrás geometriai helyzete, intenzitása és hullámhossza a mérés időtartamára stabil kell, hogy legyen, valamint kis spektrális vonalszélességgel kell rendelkeznie.

A becsatolásra optikai lencserendszert, vagy szálcsonkot alkalmaznak. Szálcsonk alkalmazásakor az interferenciás hatások kiküszöbölése érdekében törésmutató illesztő anyagot használnak a fényforrás szálcsonkjára és a vizsgálandó szál bemenete között.

A magasabb rendű módusok eltávolítására úgynevezett módusszűrőt alkalmaznak. Ez egyszerűen megvalósítható, egy elég kis sugarú hurokkal, ami a levágási hullámhosszt a használt legkisebb hullámhossz alá tolja, így a vizsgálati hullámhosszon nem jönnek létre magasabb rendű módusok.

Gondot okoznak a héj tarományában terjedő sugárzó módusok. Módusirtó használatával ezek a módusok rövid távolság után a szálban már nem detektálhatók. Bizonyos körülmények mellett ezt maga a szálbevonat is megvalósítja. A héj elsődleges védőrétegének eltávolítása után a szálát immerziós folyadékba merítve elérhető a kívánt hatás.

3.2.3. Becsatolási feltételek többmódusú szálaknál

Legfontosabb feladat, az úgynevezett egyensúlyi móduseloszlás (EMB) megvalósítása a szál teljes hosszában. Ezért el kell kerülni a teljesítmény becsatolását a magasabb rendű, lecsengő módusokba, mert csak így mérhetünk közel lineáris csillapítást a vizsgálandó szálon.

Két módszer van az egyensúlyi móduseloszlás megvalósítására:

- • módusszűrő alkalmazása
- • korlátozott fázisterű becsatolás

Módusszűrő megvalósítható egy, a vizsgálandó szálhoz hasonló típusú előtészál alkalmazásával, melynek hossza 1 Km vagy annál több.

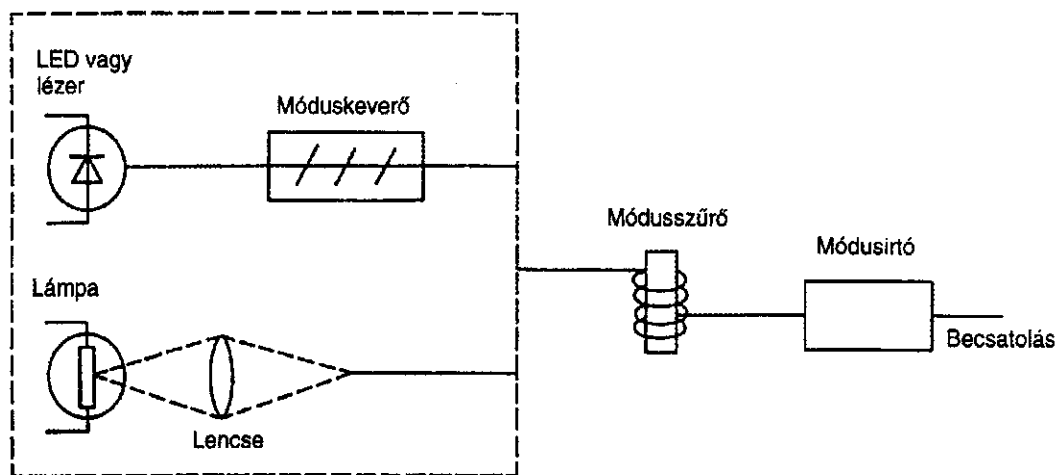
A szálban lévő törésmutató egyenetlenségek és a szálhossz mentén létrejövő mikrogörbületek miatt stochasztikus móduscsatolódások jönnek létre. A csatolások és keveredések révén,

valamint a szivárgó módusok lecsengése után a szálban létrejön az egyensúlyi móduseloszlás (k.b. 1 Km után). Utána az egyes módusok által szállított teljesítmények aránya már nem változik.

Módusszűrőt úgy is létrehozhatunk, hogy egy megfelelően kis átmérőjű "tüskére" a vizsgálandó szálból néhány menetet (3-5) felcsévélünk.

A korlátozott fázisterű becsatolás (LPS) egy olyan geometriailag létrehozott becsatolást jelent, amely egyenletesen tölti ki a vizsgálandó szál magátmérőjének, valamint numerikus apertúrájának 70%-át. Ez egy geometriailag becsatolt optimális teljesítmény-eloszlás, amely nem csatol teljesítményt a szivárgó, nem vezetett módusokba.

Általános becsatolási elrendezést mutat a 3.1 ábra.



3.1 ábra

Az ábrán látható móduskeverő akkor szükséges, ha az alkalmazott fényforrás nem valósít meg homogén teljesítmény-eloszlást.

Móduskeverés valósítható még oly módon, hogy a szálát két feldurvított felület közé szorítják, ahol a létrejövő mechanikai feszültségek és görbületek mintegy szimulálják a hosszabb szálban lévő véletlenszerű hibákat. Eltérő törésmutató profilú szálak összekapcsolásával szintén megvalósíthatunk móduskeverő jelleget

3.2.4. Egyéb becsatolási problémák

A becsatolás hatásosságára nagy hatással van a mag kis alapterülete és a kis numerikus apertúra. Tehát a becsatolásnál nem a teljes teljesítmény jut be a szálba (a szálát a magátmérőjénél nagyobb fényfolttal és a szál numerikus apertúrájánál nagyobb apertúrával

gerjesztik), amit az esetleges reflexiók is csökkentenek. Hiba lenne tehát ezt az "elveszett" fényintenzitást a szál csillapításához számolni.

Ez a hatás kiküszöbölhető:

- a referencia és a mérendő szál becsatolási körülményeinek lehetőség szerinti azonosan tartásával.

- olyan módszerek alkalmazásával, ahol a csillapítást nem közvetlenül a becsatolt és kimeneti teljesítményhányadokból számítjuk (p.l.:a visszaszórás mérésekor), így a becsatolási körülmények bemeneti teljesítményre gyakorolt hatása nem befolyásolja a mérési pontosságot.

Fontos, hogy a szálvégek tiszták, simák, és a száltengelyre merőlegesek legyenek, valamint hogy a fényfolt középpontja a mag középpontjába legyen pozícionálva.

3.2.5. A kilépő teljesítmény detektálása

A vizsgálandó szálból kilépő teljesítmény detektálásakor nem találkozunk olyan kritikus problémákkal, mint a becsatolásnál, mivel az alkalmazott optikai detektorok megfelelő méretű aktív felülete és numerikus apertúrája lehetővé teszi a kilépő teljesítmény maradéktalan érzékelését.

A reflexiók elkerülése érdekében szükséges a szálvég és a detektor közötti törésmutatóillesztés.

Az alkalmas detektor a használt intenzitás tartományban lineáris és stabil a mérési idő alatt. Alkalmazható fotofeszültség-üzemű fotodióda, amelynek jelét árambemenetű erősítő erősíti.

A vevő jel/zaj viszonyának javítására a fényforrást modulálni szokás. Ez megvalósulhat úgy, hogy alacsony (100...10000Hz) frekvenciával szaggatják a becsatolt fénysugarat. Ilyen megoldásnál a detektort hozzá kell kötni a fényforrás modulációs frekvenciájával szinkronban lévő jelfeldolgozó rendszerhez, ami szelektív optikai detektálást valósít meg. Ezzel az eljárással ki lehet küszöbölni a külső fényviszonyokból származó, a mérés pontosságát és reprodukálhatóságát csökkentő zajt.

3.3. Csillapításmérés

A különféle csillapítás mérések a fényvezető szálak leggyakoribb rutinmérései.

Három fajta mérési módszer terjedt el a csillapítás meghatározására:

- Visszavágásos csillapításmérés
- Beiktatási csillapítás mérése
- Visszaszórásos csillapításmérés

Ezek közül a CCITT a Visszavágásos csillapításmérést ajánlja Referencia Mérési Eljárás-ként.

3.3.1. Visszavágásos módszer

Ez a módszer a csillapítás fogalom meghatározásából közvetlenül valósítja meg a mérést.

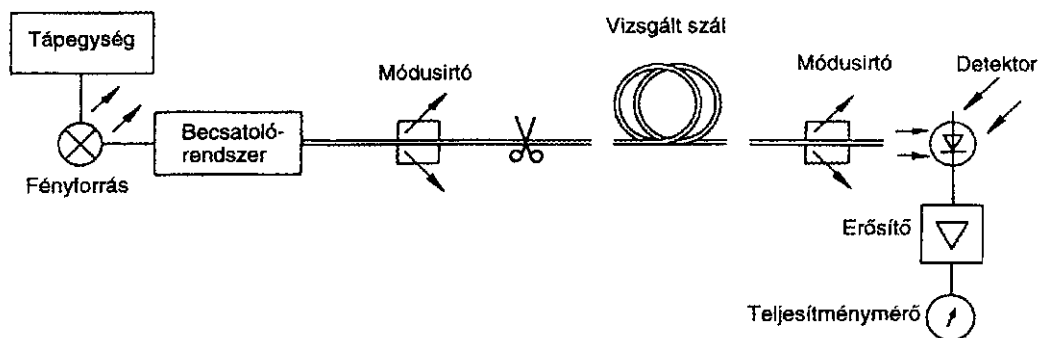
A visszavágásos módszernél először a szál táolvégén mérjük a P1 teljesítményt, majd a mérendő szálát a becsatolási körülmények megváltoztatása nélkül L hosszúságra visszavágjuk (L jellemzően 1 m), és így is mérünk a szálvégén egy P2 teljesítményt.

A mért értékekből a fajlagos csillapítás a definíció szerint:

$$a_{(l)} = \frac{10}{L} * 1g \frac{P_2}{P_1} \left[\frac{dB}{km} \right]$$

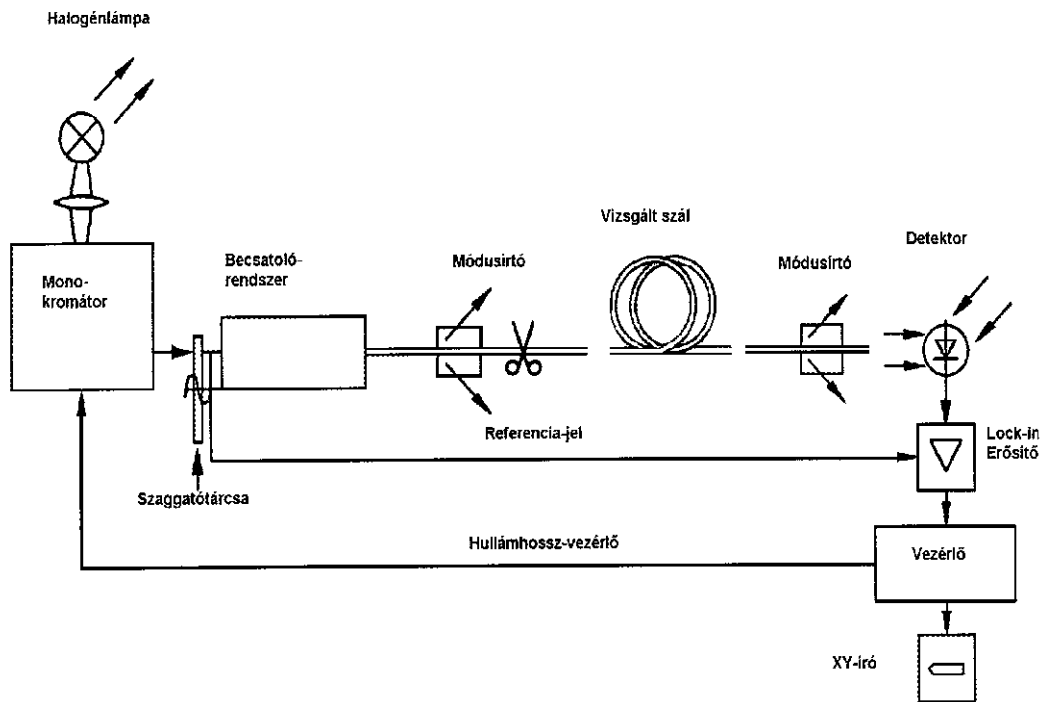
ahol λ a vizsgálati hullámhossz.

Alkalmos mérési elrendezést mutat a 3.2 ábra:



3.2 ábra

A csillapítást nem csak adott hullámhosszon mérhetjük, hanem meghatározhatjuk a szál spektrális csillapítását is. Erre mutat alkalmas berendezést a 3.3 ábra.



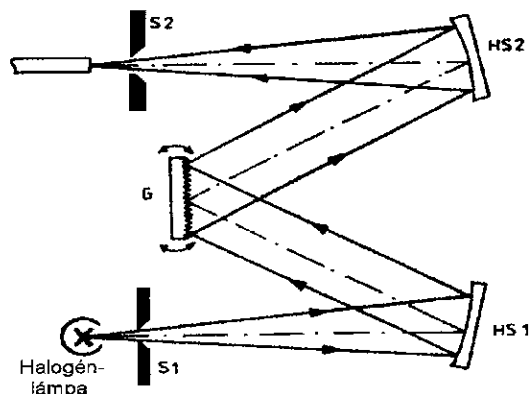
3.3 ábra

A méréshez a vizsgálandó hullámhossz-tartományban folyamatosan sugárzó fényforrást (pl: halogénlámpát) használnak. Monokromátorral lehet végigpásztázni a kérdéses hullámhossz-tartományt, a csillapítás pedig visszavágásos módszerrel mérhető. Így felvehető a vizsgált szál hullámhosszcsillapítás görbéje.

Figyelembe kell venni a mérésnél, hogy a fényforrás intenzitása hullámhosszfüggő, ezért a szálba vezetett teljesítményt is mérni kell.

A 3.3 ábrán látható egy mechanikai szaggatóval szinkronizált erősítőpárosítás, ami a jel/zaj viszony javítására szolgál.(A modulálásról részletesebben a 3.2.2 fejezetben.)

A mérési hullámhossz változtatása megvalósítható úgynevezett Rácsmonokromátorral.



Elvi felépítését a 3.4 ábrán láthatjuk: A szelektálás a rács elfordításával valósul meg, mivel a rács reflexiós szöge függ a hullámhossztól.

A visszavágásos spektrálistabilizációs mérést a gyártás során rendszerint minden egyes szálon elvégzik, és a mérést a kábelezés után is megismétlik. Így a mérés eredménye hasznos információkat nyújt (nemcsak az átviteli tulajdonságokról) a szálgyártás, kábelezés minőségéről. Legfontosabb előnye, hogy a csillapítás fogalom-meghatározásából kiindulva, adott feltételek esetén ez a módszer adja a legpontosabb eredményt.

Hátránya viszont, hogy ezzel a módszerrel nem lehet tájékoztatást kapni a szál hosszmenti csillapítási tulajdonságairól. További hátránya, hogy a szál megcsonkításával jár, ami üzemi méréseknél általában nem engedhető meg. Ezért használata inkább laboratóriumi és gyári méréseknél célszerű.

3.3.2. Beiktatásos módszer

A Beiktatásos csillapításmérést a CCITT Alternatív Mérési Eljárás-ként ajánlja.

A mérés kétféleképpen valósítható meg:

a.)

Veszünk egy rövid (pl.:2m), a vizsgálandóéval azonos típusú referencia szálát és azt a 3.5 ábra szerinti kapcsolásba helyezve megmérjük a szálvégen kilépő fény teljesítményét (P1). Ezután a referencia szál helyére (az 1-2 pont közé) beiktatjuk a vizsgálandó szálát és mérjük a kimenetén a teljesítményt (P2).

A referencia szál csillapításának ismeretében (a_r) a vizsgált szál csillapítása:

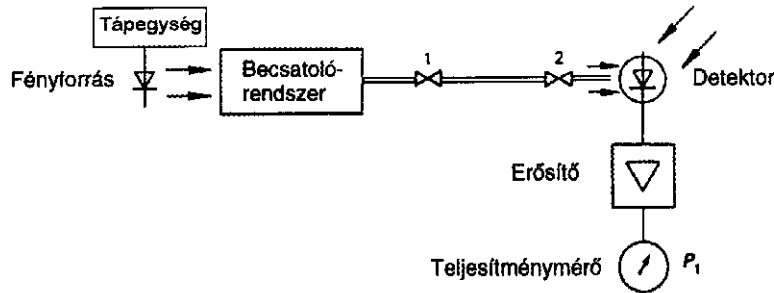
$$a = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} + a_r [dB]$$

a fajlagos csillapítás pedig:

ahol: - L = a vizsgálandó szál hossza [km]

$$a = \frac{10}{L - L_0} * \lg \frac{P_1}{P_2} \left[\frac{dB}{km} \right]$$

- L_0 = a referencia szál hossza [km].



3.5 ábra

Ha a referencia szál hossza (csillapítása) elhanyagolható a vizsgált szál hosszához (csillapításához) képest, akkor hatása figyelmen kívül hagyható.

Mérési hibákat okozhat, ha a referencia, valamint a vizsgálandó szál mérésénél a becsatolási körülmények változnak, illetve ha a két szál típusa nem egyezik meg, amivel a geometriai eltérések okozzák a hibát.

b.)

A mérések lehetséges megoldása, hogy a vizsgálandó szálát a referencia szál végéhez csatlakoztatjuk, ahol az előzőek szerint már meghatároztuk a teljesítményt (P_1). Ezután megmérjük a kilépő teljesítményt (P_2).

Ekkor a szál csillapítása:

$$a = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} + a_{cs} [dB]$$

ahol a_{cs} a két szál közötti csatlakozó csillapítása.

A beiktatásos módszer igen pontos szál-szál csatolást igényel a csatolási csillapítás csökkentése és a megbízható eredmények érdekében. Ehhez pontos mag-mag pozicionálás szükséges. Természetesen ennél a mérésnél is szükséges módusírtó, módusszűrő alkalmazása.

A módszer legfontosabb előnye a visszavágásos módszerhez képest, hogy nem destruktív, ezért alkalmazható üzemi méréseknél is.

A gyakrabban (pl.:átadás-átvételi méréseknél) a szálszakasz csillapítását a mindkét irányból megmért beiktatási csillapítás számtani átlagaként határozzák meg.

(Ehhez persze pontossági igény, hogy a két irányból mért csillapítások különbsége meghatározott kis érték alatt legyen.)

3.3.3. Visszaszórásos módszer

A visszaszórásos csillapításmérést a CCITT Alternatív Mérési Eljárásként ajánlja. A csillapításon kívül a visszaszórás elvén mérhetők a szál mentén jelenlévő fizikai hibák, reflexiók helyek jellege, elhelyezkedése, valamint a szál hossza.

Ez tulajdonképpen három alpmérés, amit optikai időtartományú reflektométerrel (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) el lehet végezni.

Ez a mérési eljárás jelentősen különbözik abban az eddig ismertett csillapításmérési eljárásoktól, hogy nem csupán egyetlen adatot szolgáltat (a szál csillapítás értékét), hanem minőségi képet nyújt a fényvezető teljes hosszában. Így lehetőséget ad arra, hogy a szál csillapítási koefficiensét letapogassuk a szál mentén.

A mérés elve a következő:

A szálba létrejövő fényszóródást használjuk fel, valamint azt, hogy a szórt teljesítmény numerikus apertúrán belüli hányada a szálban visszafelé is képes terjedni.

A fényszóródást különböző fizikai jelenségek okozzák. A hosszmenti tulajdonságoktól függően a két legfontosabb:

- homogén eloszlású szakaszon a Rayleigh-szórás. Ekkor a szál adott pontján jelenlévő teljesítménynek az S által mutatott hányada verődik vissza a bemenet felé:

$$S(dB) = 10 \lg \left[a_D \left(\frac{v_{cs}}{2} \right) * \Delta T * K \right]$$

Ahol: - $a_D = 2,2 \times 10^{-4} \times \lambda^{-4}$ -Rayleigh tényező

- ΔT : impulzus szélessége

- K : szátra jellemző visszaszórési tényező ami eltérő a külön böző száltípusoknál.

- a szál mentén a törésmutató hirtelen megváltozása

Ekkor:

$$S = 20 \lg \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

ahol n_1 és n_2 az illeszkedő elemek törésmutatója.

A szál hossza mentén létrejövő csillapításról a teljesítmény visszaszórt hányadának időtartományú mérésével kaphatunk információt.

Ezért a szál bemenetére adott rövid fényimpulzussal gerjesztjük a szálát.

Az egyes pontokról visszaverődő fényt teljesítménynek megfelelően tudunk következtetéseket levonni a szál hosszanti minőségével kapcsolatban.

A bemenetre visszaérkező jel teljesítményének számítása:

Vegyünk egy E_0 energiájú fényimpulzust, amelyet az $X=0$ ponton, $t=0$ időpontban injektálunk be.

Ekkor az impulzus E energiája a bemenettől X távolságban:

$$E_x = E_0 \cdot e^{-\int_0^x a(t) \cdot dt}$$

ahol $a(I)$ a szál { változó) csillapítása "kifelé" irányban.

Most határozzuk meg a létrejövő szórást egy dx szakaszon:

$$dE_D(x) = E_0 \cdot \alpha_D(x) \cdot e^{-\int_0^x a(t) \cdot dt} \cdot dx$$

ahol α_D a szórési tényező X - nél.

Ennek a szálnak azonban csak egy része {a numerikus apertúrán belüli } tud a szálaban terjedni.

$$dE_D(x) = E_0 \cdot S(x) \cdot a_D(x) \cdot e^{-\int_0^x a(t) dt} \cdot dx$$

$S(x)$ a szórt teljesítmény numerikus apertúrán belül visszavezetett hányada.

Ha megfigyeljük ezt az energiát a szál bemenetén, akkor kapjuk:

$$dE(x) = E_0 \cdot S(x) \cdot \mathbf{a}_D(x) \cdot e^{-\int_0^x a(t) dt - \int_0^x \mathbf{a}'(t) dt} \cdot dx$$

itt $\alpha'(I)$ a szál "visszafelé" irányú csillapítási együtthatója

Ha homogén szálat feltételezünk, jó közelítéssel mondhatjuk, hogy: $\alpha(I) = \alpha'(I) = \text{konstans}$

Így:

$$dE(x) = E_0 \cdot S \cdot \mathbf{a}_D \cdot e^{-2\mathbf{a} \cdot x} \cdot dx$$

Mivel: $E_0 = P_0 \Delta t$

ahol Δt az impulzus félérték szélessége

$$x = \frac{v_{cs} \cdot t}{2} \qquad dx = \frac{v_{cs}}{2} \cdot dt$$

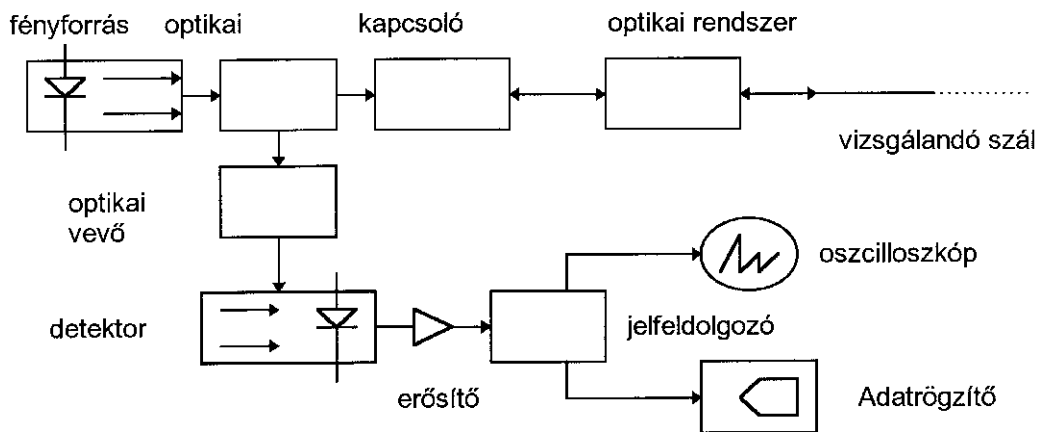
ahol v_{cs} a csoportsebesség, behelyettesítve kapjuk, hogy:

$$P(t) = \frac{1}{2} P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \mathbf{a}_D \cdot v_{cs} \cdot e^{-\mathbf{a} \cdot v_{cs} \cdot t}$$

A végeredményből láthatjuk, hogy a visszaverődési teljesítmény egyenesen arányos:

- a P_0 bemeneti teljesítménnyel
- a Δt impulzusszélességgel
- az S és az a_D szálparaméterekkel.

Belátható, hogy abban az esetben, ha $a =$ konstans a hossz mentén, akkor $P(t)$ időfüggvény logaritmusát egyenest ad, amelynek iránytangense megegyezik az átlagos csillapításértékkel. $P(t)$ logaritmusát a hossz (X) függvényében ábrázolva a csillapítás helyfüggését kapjuk. Ehhez mutat alkalmas elrendezést a 3.6 ábra.



3.6. ábra

Azokon a helyeken, ahol a fajlagos csillapítás az átlagostól eltérő (pl.:kötések, csatlakozók, helyi hibák), a kapott görbén töréspontok vagy lépcsők jelennek meg.

A szálban lévő reflexiók helyek, valamint a szálvégeken létrejövő Fresnelreflexiók reflexiók csúcsként jelentkeznek.

Tipikus csillapításgörbét mutat a 3.7 ábra.

Egyenletes lejtésű szakasz csillapítása X_1 és X_2 között:

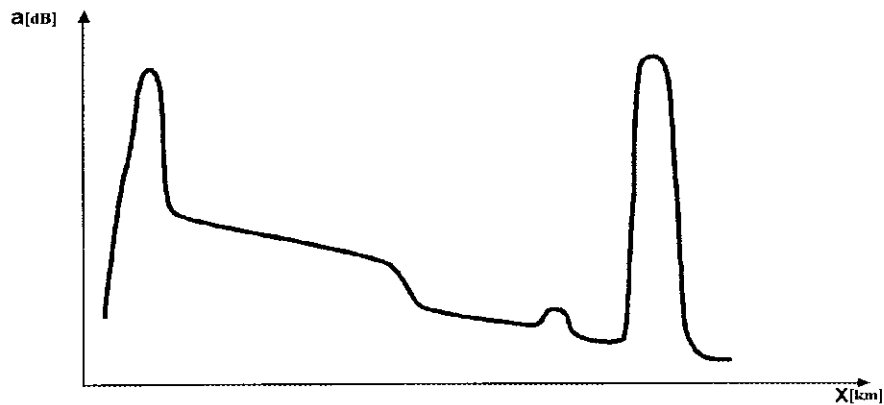
$$a(\text{dB}) = P(x_1) - P(x_2)$$

a szál csillapítási együtthatója:

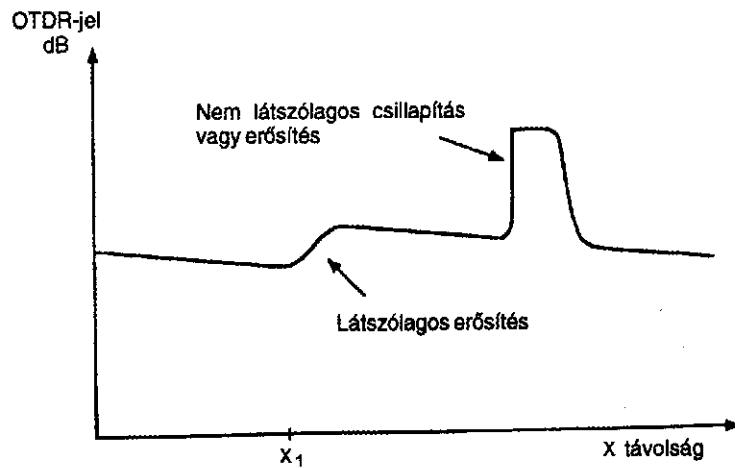
$$a = \frac{P(x_1) - P(x_2)}{x_2 - x_1}$$

Ha megfigyeljük a 3.8 ábrát, érdekes dolgot tapasztalunk. Ugy tûnik mintha X_1 helyen egy erősítõt iktattunk volna be. A jelenség magyarázata a következõ:

A visszaszórt fény mennyisége arányos a szál visszaszórási együtthatójával, mely az egyes fényvezetõ típusoknál más-más értékû. Az X_1 helyen egy kötés található. Az OTDR kétféle hatást "lát" ezen a helyen.



3.7 ábra



3.8 ábra

Egyrészt a teljesítmény tényleges csillapítását, amely a kötés pontatlan illesztettsége miatt jön létre.

Másrészt pedig a távolabbi szál - mivel nagyobb a visszaszórási együtthatója a teljesítmény nagyobb hányadát szórja vissza a bemenet felé, mint a közelebbi szál, ezt pedig az OTDR teljesítménynövekedésként fogja érzékelni. Ha ez a második hatás erőteljesebb, mint az első, az úgy fog mejelelni a csillapításgörbén, mintha egy erősítőt iktattunk volna be a két szál közé. Természetesen, ha a másik irányból is elvégeznénk a mérést, ugyanezen a helyen egy aránytalanul nagy csillapítás lenne tapasztalható, melynek számszerű értéke az előző eset erősítésével egyezik meg.

Ha a mérést mindkét irányban elvégezzük és átlagoljuk a kapott eredményeket, akkor a két nemkívánatos hiba kompenzálja egymást, tehát valós eredményhez jutunk.

Az OTDR-nél a kompromisszum a felbontóképesség és a dinamikartomány között köttetik meg.

Felbontóképességen értjük azt a legkisebb távolságot, amely távolságban két eseményt meg tud különböztetni az OTDR.

Minél kisebb az impulzus szélessége, annál finomabb felbontást kapunk. Emellett kívánatos a nagy dinamikartomány, ami megadja, hogy mekkora az a maximális hosszúságú szál, amit az OTDR megvizsgálni képes. (A nagy távolságból visszaszórt fény teljesítménye ugyanis annyira csillapodhat, hogy a detektor már nem képes érzékelni.)

Mint az előzőekben láthattuk, a visszaszórt fény teljesítménye függ a vizsgáló impulzus szélességétől, mégpedig azzal egyenesen arányos.

Tehát nagyobb dinamikartomány eléréséhez hosszabb impulzusokat kell alkalmazni.

Ezt a két ellentétes követelményt számos OTDR intelligens szoftver segítségével oldja meg, mely kombinálni képes a különböző impulzusszélességeket.

A reflexiós helyről visszavert fény szintje az optikai impulzus amplitudójától függ, de majdnem független az impulzus szélességétől.

A visszaszórt fény szintje ugyanakkor az amplitudótól és az impulzusszélességtől egyaránt függ.

Az OTDR így behatárolhat eseményeket kis szélességű, nagy energiájú impulzusokkal, de széles impulzusokat kell alkalmazni a nem-reflexiós események vizsgálatához.

A reflexiós helyek mérésénél a következő problémával találkozunk:

Előfordulhat, hogy kötéseknel, csatlakozónál igen nagy reflexiók jönnek létre, amikor is a mérésnél a visszaverődő nagy teljesítményű impulzus telítésbe viszi a vevőt, ami ezek

után már nem képes pontosan mérni a visszaszórt fény mennyiségét. Így a jelentős reflexióval rendelkező események után úgynevezett "holtzóna" jön létre, melyről az OTDR nem tud pontos információt nyújtani.

Mivel a szálbemenet és a műszer csatlakozója között is létrejön Fresnelreflexió, ezért a mérendő szál elé szokás egy úgynevezett "holtzóna-szálat" csatlakoztatni. Ezenkívül elektronikus maszkolással akadályozzák meg, hogy a detektor telítésbe menjen.

Mérési eredményt több visszaszórásvizsgálat átlagolásával kapunk (a műszeren be lehet állítani az átlagolandó mérések számát). Nagyobb számú mérés átlagolásával javítjuk a jell zaj viszonyt. Az impulzus ismétlődési frekvenciáját pontosan be kell állítanunk annak érdekében, hogy addig ne gerjessze a műszer újabb impulzussal a szálat, míg az előző a szál végétől vissza nem ért, mert akkor valótlan eseményt fog érzékelni a szál mentén.

Az impulzus megtett útja alatt eltelt idő:

$$t = \frac{2 * l}{v_{cs}}$$

ahol: - l a szál hossza

$$v_{cs} = \frac{c_0}{n}$$

n a fény csoportsebessége a szálban

Az ismétlődési frekvenciának tehát kisebbnek kell lennie 1/t -nél.

Az előbbiek alapján történik a szál hosszának meghatározása.

$$l = \frac{v_{cs} * t}{2}$$

A szál hossza:

Hogy helyes eredményt kapjunk, a mérés előtt a műszert be kell programozni. Meg kell adni az átlagolás számán és a vizsgált hullámhosszon kívül a szál törésmutatóját is, amiből a műszer meghatározza a csoportsebességet, így a távolságot helyesen fogja jelezni.

Számos vizsgálatot végeztek az OTDR-rel dinamikatarományának a kiterjesztésére. Sokáig a nagy teljesítményű lézereket (Nd:YAG,Er³⁺) használó OTDR-ek adták a legnagyobb dinamikatarományt. Ezek a műszerek azonban nem alkalmasak a terepen történő

felhasználásra, mert nagyteljesítményű lézerek nehezen illeszthetők be a hordozható műszerekbe és nagy a villamos áramfogyasztásuk.

A koherens detektálás ígéretes eljárás a vevőérzékenység növelésére (C-OTDR). Ennek előnyei azonban jórészt elvesznek a koherens fényimpulzusok kicsi kibocsájtott teljesítménye miatt.

Újabban az erbiummal adalékolt fényvezetőszálat tartalmazó erősítő (EDFA) alkalmazásával - amely utóerősítőként a visszaszórt fényjelet erősíti kívánják a dinamikatarományt növelni.

A visszaszórás mérés fő előnyei, hogy elvégzéséhez elegendő csak a szál vagy kábel egyik végének hozzáférhetősége és hogy nem destruktív. Ezek az előnyök teszik igen alkalmassá a már lefektetett kábel üzemi csillapításméréseinek elvégzésére. Előszeretettel alkalmazzák a visszaszórás mérést gyári mérésként is a fényvezető szálak hosszanti egyenletes minőségének ellenőrzésekor.

MATÁV előírás szerint a fényvezető kábel-hálózatok átadás-átvételénél a jegyzőkönyvekhez mellékelni kell a fényvezető kábelszakaszok visszaszórás méréssel felvett csillapításgörbéit (mágneslemezen).

3.4. Módustér átmérő mérése

A módustér átmérő meghatározásának legközvetlenebb módja a szál közel-vagy távolféri sugárzási eloszlásának kísérleti felvétele, majd a megfelelő definíciós összefüggésbe behelyettesítéssel a módustér átmérő numerikus meghatározása.

A sugárzási kép letapogatása történhet optikai úton (kis felületű fotodetektor, vagy egy fotodetektorral ellátott rövid száldarab mechanikus mozgatással), vagy elektronikusan (pl.: töltéscsatolt képbontó alkalmazása). Az elektronikus letapogatás gyorsabb, de kevésbé pontos.

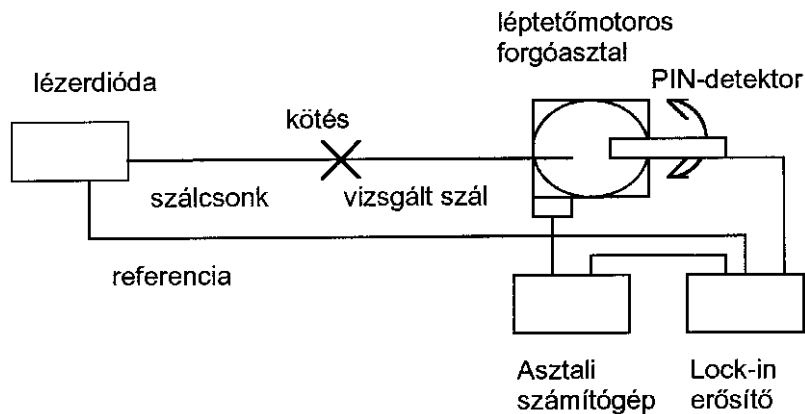
Más letapogatási eljárások rést, vagy változtatható, mozgatható apertúrát alkalmaznak.

3.4.1. A módustér átmérőjének mérése közvetlen távolféri letapogatási módszerrel

Ezt az eljárást ajánlja a CCITT a módustér átmérő meghatározásának Referencia Mérési Eljárásaként, mivel a nevezett átviteli paraméter definíciójaként a távolféri intenzitáselosztás négyzetgyöke közepének inverzét fogadták el.

Ez tulajdonképpen egy kétlépéses eljárás. Először a szál távoltéri sugárzási eloszlását kell mérni, majd az effektív távortér -definíció alapján matematikai eljárást kell használni a módustér számítására.

Egy tipikus vizsgálati elrendezés látható a 3.9 ábrán:



A detektor letapogatására egy $0,5^\circ$ -os vagy finomabb lépésekre alkalmas letapogató eszközt szokás használni. A tipikus rendszer egy fotofeszültség-üzemű, árambemenetű előerősítővel ellátott PIN-fotodiódát tartalmaz, lock-in erősítővel végzett szinkron detektálással. A távortéri adatokat egy számítógép dolgozza fel.

A detektort a szálvégtől $2Wb/\lambda$ -nál nagyobb távolságra helyezik el, ahol $2W$ a várható módustér átmérő, b pedig a detektor aktív felületének az átmérője.

A méréshez egy rövid (tipikusan 2m) szálmintát kell használni, melyet úgy kell beállítani, hogy a kimenő vég a detektor egységnek a legnagyobb teljesítményt adja. A detektort megfelelően kis lépésekben letapogatva a feljegyzett teljesítményekből a következőképpen lehet meghatározni a módustér átmérőjét:

$$2W_0 = \frac{\sqrt{2 \cdot I}}{P} \cdot \left[\frac{\int_0^\infty Pm(\Theta) \cdot \sin \Theta \cdot \cos \Theta \cdot d\Theta}{\int_0^\infty Pm(\Theta) \cdot \sin^3 \Theta \cdot \cos \Theta \cdot d\Theta} \right]^{\frac{1}{2}}$$

- ahol:
- $P_m(\Theta)$ a mért távolférfi teljesítményelosztás
 - λ a mérési hullámhossz
 - Θ a szál tengelyétől mért szög

A képletben jelölt integrálási határok (0-00) a gyakorlatban csonkíthatók, mert az integrandusok növekvő argumentumnál nullához közelítenek.

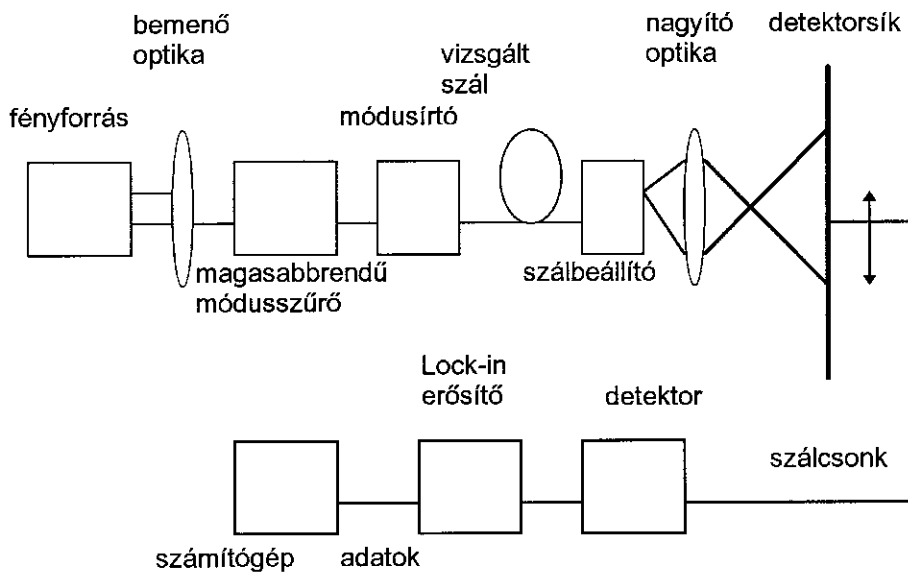
3.4.2. A módustér átmérőjének mérése közeltéri letapogatással

Ez a mérési eljárás -melyet a CCITT Alternatív Mérési Eljárásként ajánl hasonlóan az előzőhöz, két lépésből áll; mérjük a sugármenti közeltéri eloszlást, majd egy matematikai eljárást alkalmazva kiszámítjuk a mért adatokból a módustér átmérőjét.

Tipikus mérési elrendezést láthatunk a 3.10 ábrán, melynek a., része mechanikus, b., része elektronikus letapogatásra mutat példát.

A vizsgálandó szál kimenő végének nagyítására, annak a letapogató detektor síkjára való fókuszálására megfelelő optikai rendszert kell használni (p.l.:mikroszkópot). Fontos, hogy ez az optika ne korlátozza a kialakított kép numerikus apertúráját.

a.) Mechanikus letapogatás



Olyan (mechanikus vagy elektronikus) letapogató rendszert kell használni, amely lehetővé teszi a közeltéri kép megfelelő felbontását. (A közeltéri tartományban ez 100 pont, vagy több, mely tartomány kb.:háromszorosa a szál homloklfelületére megadott névleges módustér átmérőnek.)

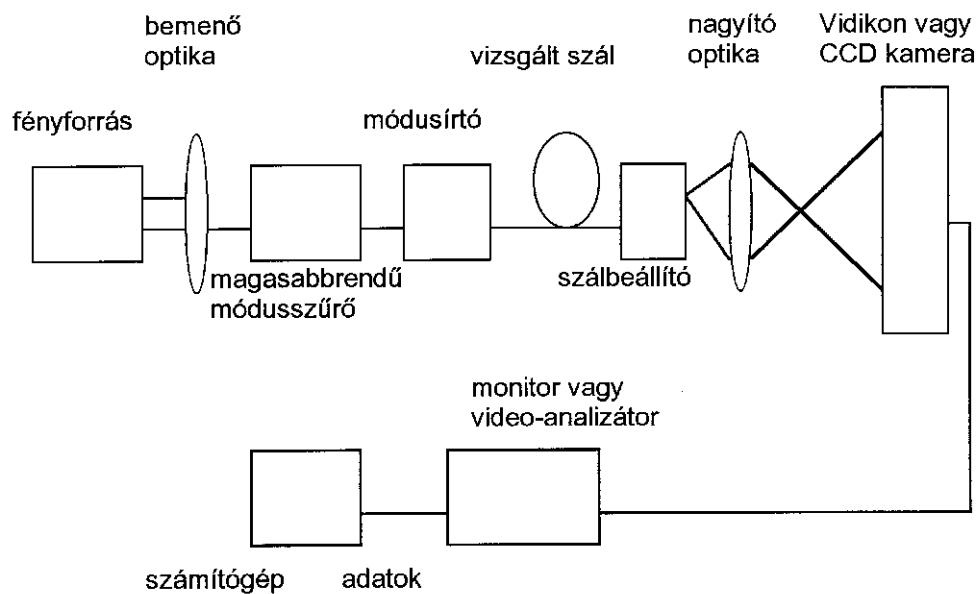
Vigyázni kell a megfelelő fókusz-beállításra (a legnagyobb képkontrasztot kell figyelni). Az intenzitást letapogatva a helyzet függvényében, a módusmezőátmérő a következő matematikai összefüggéssel számítható ki:

$$2W_0 = 2 \cdot \left[\frac{\int_0^{\infty} r \cdot f^2(r) \cdot dr}{\int_0^{\infty} r \cdot \left[\frac{df(r)}{dr} \right]^2 \cdot dr} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ahol: - $f(x)$ a közeltéri intenzitás-eloszlás

- r a sugárirányú koordináta

b.) Elektronikus letapogatás



Az integrálási határok a gyakorlatban csonkolhatók, mivel az integrandusok növekvő argumentumoknál nullához tartanak.

A közvetlen távolférfi letapogatási módszernek a hátránya az előző mérési eljáráshoz képest, hogy nagyító optikát igényel. Másrészfől pedig előnye, hogy a használt mérési

összeállítás csaknem teljes egészében megegyezik a szál geometriai méréseihez használt mérési elrendezésekkel.

Összességében megállapíthatjuk, hogy a közvetlen letapogatásos módszerek a gyakorlatban jól használhatók, általában kellően pontos eredményt szolgáltatnak és így akár üzemi mérések során is alkalmazhatók.

3.4.3. Egyéb eljárások a módustér-átmérő meghatározására

Az említett módszereken kívül, különböző - a CCITT által ajánlott Alternatív Mérési Eljárások léteznek a módustér-átmérő meghatározására.

Egyes letapogatási eljárások rést, változtatható vagy mozgatható apertúrát alkalmaznak, ennek megfelelően

- változtatható apertúrájú {távoltéri letapogatás}
- illetve késél letapogatással

is meghatározhatjuk az intenzitáselosztást, majd a megfelelő matematikai összefüggéseket használva kiszámíthatjuk a módustér átmérőt.

Két másik, alapjaiban különböző eljárást is meg lehet említeni. Ezek a transzverzális elmozdulás valamint a maszkolós módszer.

Az előbbi módszer azon alapszik, hogy az azonos, egymódusú szálak illesztésekor kis transzverzális elmozdulások esetében fellépő csatolási veszteségek a módustér-átmérő négyzetének inverzével arányosak. Így szándékosan létrehozott transzverzális csatolási hibák hatásának vizsgálatával a módustér-átmérő meghatározható.

Nehézséget okoz, hogy mikron alatti tartományokba eső elmozdulások okozta csatolási hibák hatását kell vizsgálni.

A maszkolós technika alapja egy olyan szűrő, melynek áteresztő képessége a radiális koordináta négyzetével arányosan változik.

A mérés során a szálból kilépő fényt teljesítményt mérjük először szűrő nélkül, majd annak beiktatásával. A két teljesítmény hányadosa éppen a sugárzási eloszlás szélességét adja, és így ezzel az eljárással a módustér-átmérő közvetlenül, letapogatás nélkül határozható meg.

Ez az eljárás igen egyszerű, és általában nagyon pontos eredményt szolgáltat. Ezek a tulajdonságok alkalmassá teszik a mindennapi gyakorlat céljára. Különleges figyelmet csak a maszk megfelelő elkészítésére kell fordítani, mivel a nem kellő precizitással elkészített szűrő súlyos mérési hibát okoz. Leggyakrabban előforduló maszkhibák a maradék elfedtlenség, illetve a maszk közepének túl kicsi felbontóképessége.

3.5. Levágási hullámhossz mérése

A másodrendű módus (LP₁₁) levágási hullámhossza igen fontos jellemzője az egymódusú szálnak, mivel ez a hullámhossz az egymódusú viselkedés alsó határát jelenti. Ennek alapján célszerű tehát, ha a levágási hullámhossz minél rövidebb, hogy az üzemi hullámhossztól távol essen, megakadályozva ezzel az esetleges magasabbrendű módusok terjedését, ami a diszperziós karakterisztika komoly romlásával járna.

Az 1550 nm-es tartományban üzemelő fényvezetők érzékenyebbek hajlításokra, ahol összefüggés figyelhető meg a hajlítási veszteség és a levágási hullámhossz között. Ennek alapján - ellentétben az előzőekkel - az volna a kívánatos, ha a levágási hullámhossz minél közelebb esne az üzemi hullámhosszhoz, mivel ekkor a terjedő módus jobban koncentrálódna a magban, ami csökkentené a hosszúhullámon jelentkező hajlítási veszteségeket.

A levágási hullámhossz referencia mérésének definíciós elrendezését meghatározza a két ellentétes követelmény.

Ha az előző követelményt tekintjük fontosabbnak, a levágási hullámhossz mérését célszerű egy rövidebb, külső mechanikai feszültségektől mentes szálon elvégezni. Ha az üzemi hullámhosszat az így elvégzett mérés alapján határozzuk meg, elegendően nagy magasabbrendű móduselnyomást kapunk. Ha viszont a kis hajlítási veszteségeket biztosító, másik követelményt tartjuk fontosabbnak, akkor jobb a mérést egy már kábelezett gyártási hosszon elvégezni. Az így megválasztott üzemi hullámhossz csökkentené a hosszúhullámokon jelentkező hajlítási veszteségeket, ugyanakkor még rövid hullámhosszokon is kellő móduselválasztást képes biztosítani, ha az összeköttetés nem tartalmaz túl rövid szakaszt.

Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a kábelezett és kábelezetlen szál levágási hullámhossza között se elméleti, se tapasztalati úton determinisztikus összefüggés nem állítható fel, mivel a levágási hullámhossz változása erősen függ a szál és a kábelezés szerkezetétől, valamint technológiájától.

Megállapítható azonban, hogy a kábelezés általában a levágási hullámhossz néhányszor 10 nm-es csökkenésével jár.

Ha a mérést a kábelezetlen szakaszon végezzük, úgy az ennek alapján meghatározott üzemi hullámhossz minden gyakorlatban előforduló esetben képes biztosítani az összeköttetés stabil egymódusú működését. Míg ha a mérést a kábelezett szálon végezzük, úgy az

egymódusú működés csak a mérési mintánál hosszabb, vagy azonos hosszúságú, azonos technológiával készült kábelekre garantálható.

A levágási hullámhosszat a gyakorlati mérési és tervezési célokra azzal a hullámhosszal definiálhatók, amelynél a fényvezetőben terjedő összes fényteljesítmény és az alaplómódus által hordozott teljesítmény hányadosa éppen egy előre meghatározott kis értékkel egyenlő.

A CCITT a levágási hullámhossz meghatározására Referencia Mérési Eljárásként ajánlja az úgynevezett átvitt teljesítmény módszert mind a kábelezetlen, mind pedig a kábelezett szálhoz.

Ezenkívül még több lehetőség létezik a levágási hullámhossz meghatározására, amelyek alapja valamilyen optikai átviteli jellemző (pl.: módusmező átmérő, közeltéri eloszlás) spektrális mérése.

3.5.1. Kábelezetlen fényvezető szál levágási hullámhosszának meghatározása átvitt teljesítmény módszerrel

Ezzel a módszerrel a rövid (2 m) vizsgálandó szálon átvitt teljesítményt az átvitt referencia-teljesítménnyel hasonlítjuk össze.

A referencia-pontokat kétféle eljárással kaphatjuk meg:

- a., kis sugarú hurokkal a vizsgálandó szálban
- b., 1-2 m hosszú többmódusú szállal.

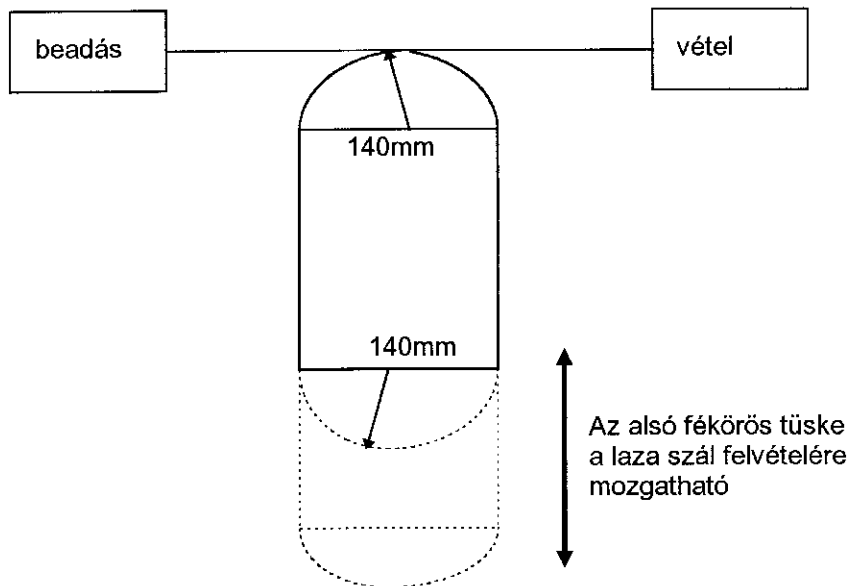
A fényforrásnak és a detektornak a vizsgálati hullámhossz-tartományban (1-1,6 m) stabilan kell működniük. Fontos az alaplómódus és a magasabbrendű módusok azonos gerjesztése (Lambert-forrás).

A vizsgálati elrendezést a 3.11 ábra mutatja.

A 2 m hosszú vizsgálati szál két, 140 mm sugarú éritők mentén összekötött ívből (félkörből) áll.

Az alsó félkör elmozdulhat, a mechanikai feszültségek elkerülése érdekében. Mérni kell a $P_{1(\lambda)}$ kimenő teljesítményt - a várt levágási hullámhossz körüli elég széles sávban a λ , függvényében.

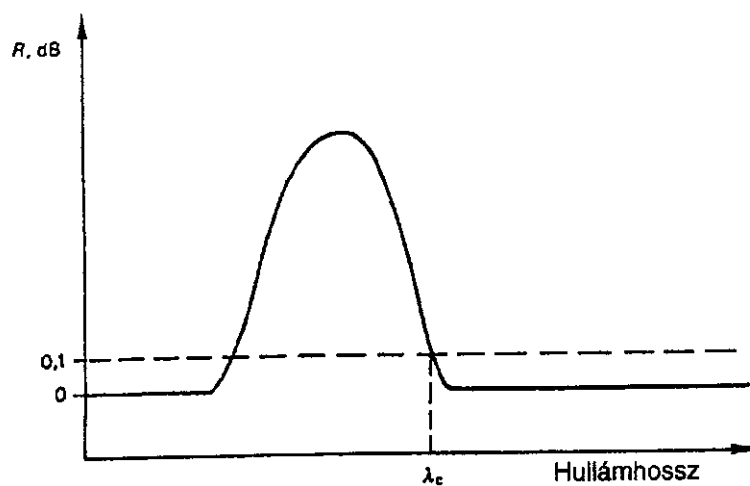
Ezután két lehetőség van a levágási hullámhossz meghatározására, attól függően, hogy milyen referencia mintát választunk.



a.) Referencia mintaként a vizsgált szálát választjuk, melyen egy körülbelül 30 mm sugarú hurkothozunk létre a másodrendű LP_{11} módus kiszűrésére. Majd meghatározható a $P_2(\lambda)$ kimeneti teljesítmény, ugyanabban a hullámhossztartományban.

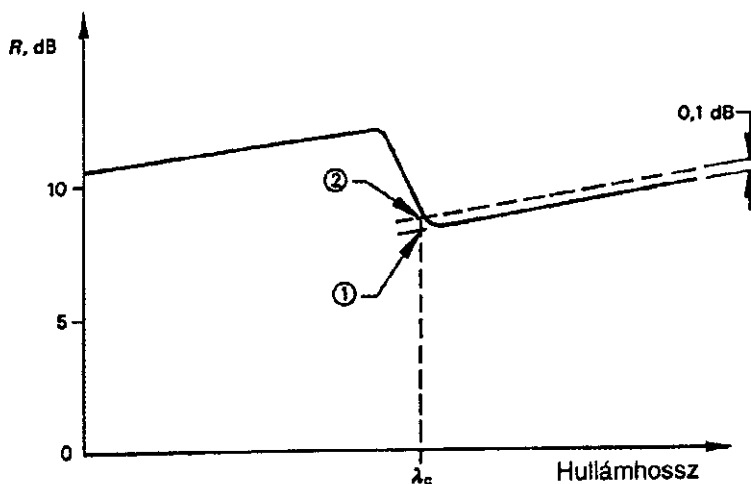
A 3.12 ábra szerint az λ_c levágási hullámhossz az a legnagyobb hullámhossz érték, melynél $R(\lambda)=0,1$ dB

$$R(\lambda) = 10 \lg \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)}$$



3.12 ábra

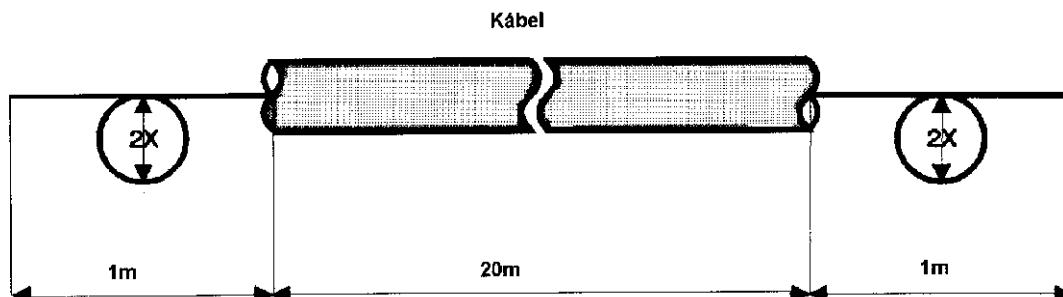
b.) Referencia mintakén választható 1-2 m hosszú többmódusú szál. Szintén mérjük a $P_2(\lambda)$ kimeneti teljesítményt a vizsgált szálal azonos hullámhosszatományban. Ekkor a 3.13 ábra szerint az $R(\lambda)$ görbének és egy olyan egyenesnek {2.vonal} a metszéspontja, amely párhuzamos az $R(\lambda)$ hosszabb hullámú, részéhez illesztett egyenessel {1.vonal} és attól 0,1dB távolságra van.



3.13 ábra

3.5.2. Kábelezett fényvezető szál levágási hullámhosszának meghatározása az átvitt teljesítmény módszerével.

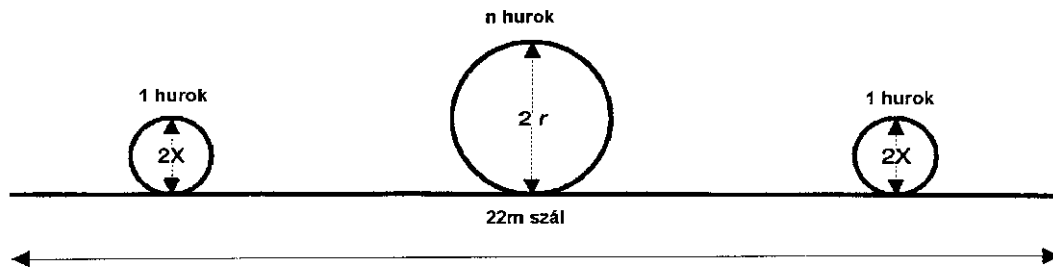
A mérési eljárás és az alkalmazott számítások teljesen megegyeznek az előzőekben részletezettekkel, azzal a különbséggel, hogy a vizsgálandó minta egy, a 3.14 ábra szerinti kábel.



3.14 ábra

Ez egy 22 m hosszú kábel, amelynél a mindkét oldalra túllógó 1-1 méteres kábelezetlen szálon $x=40$ mm sugarú hurkot képezünk. Esetleges nagyobb sugarú hajlítások megengedettek a szálon, illetve kábelen, mert az nem okoz mérési hibát.

Alternatív eljárásként vizsgálati mintaként használható a 3.15 ábra szerinti másodlagos bevonattal rendelkező szál, ahol $x=40$ mm és $r \geq 140$ mm.



3.15 ábra

3.6. Kromatikus diszperzió mérése

A kromatikus diszperzió ismerete a fényvezető szálak átviteli kapacitásának meghatározásához szükséges. Az egymódusú szálon az impulzuskiszéledés jó közelítéssel megadható a szál hosszának, az optikai spektrum szélességének és a kromatikus diszperzióknak a szorzatával. A kromatikus diszperziót a csoportfutási idő hullámhossz szerinti deriváltjaként definiálták. Mivel az egymódusú szálak diszperziós állandója igen kicsiny, ezért a sáv szélesség vagy az impulzuskiszéledés közvetlenül elég nehezen mérhető, így általában ezeket a mennyiségeket a kromatikus diszperzió mérésén keresztül, számítással határozzák meg.

Általában a kromatikus diszperzió nem túl kritikus szálparaméter, így a gyári mérések során rendszerint csak szűrőpróbaszerűen ellenőrzik.

A kromatikus diszperzió mérésének technikáját alapvetően meghatározza a méréshez használt szálminta hossza. Hosszú szálminták esetében idő- vagy frekvencia- tartománybeli mérést alkalmaznak, míg rövid szálminták esetén a mérés végezhető direkt módon, például interferometrikus mérési eljárással, vagy indirekt módon, például a módusmező átmérő spektrális mérésével.

3.6.1. Fáziseltolásos módszer

Ez a CCITT által Referencia Mérési Eljárásként ajánlott frekvenciatartománybeli mérési módszer.

A mérés elve a következő: Amplitudóban moduláljuk a kiválasztott vizsgálati hullámhosszú fényjeleket (A moduláló jel lehet szinusz, trapéz vagy négyszöghullám is). Megvizsgáljuk, hogy milyen méretű fázistolást okoz a modulált jelben a szálon való áthaladás a választott hullámhosszakon.

A fázistolásokból meghatározható az időkéésés, majd pedig a futási idő deriváltja adja a diszperzió értékét.

Ez a vizsgálati módszer az 1 km-nél hosszabb szálak vagy kábelek mérésére alkalmazható.

Alkalmas vizsgálati elrendezés látható a 3.16 ábrán.

Fényforrásként lézerdíóda vagy fényszűrös világítódíóda is alkalmazható. A megfelelő hullámhossztartomány átfogás érdekében több fényforrást kell használni. A jelforrások kimenetét úgy kell a vizsgálandó vagy a kalibrációs szálhoz csatolni, hogy minden egyes fényforrás fizikai úthossza a vizsgálat során állandó legyen. A modulátornak a megfelelő pontosság eléréséhez nagy frekvenciastabilitással kell működnie (10^{-8}).

A moduláló frekvencia kiválasztásánál két ellentétes követelményt kell figyelembe venni. Egyrészt megfelelően alacsony frekvenciát kell választani annak érdekében, hogy elkerüljük a 360° -nál nagyobb fázistolást. Ugyanis $n=360^\circ$ -os fázistolás után a kapott eredményt nem lehet kiértékelni. Másrészt pedig a moduláló frekvenciának elegendően nagyoknak kell lennie a megfelelő mérési pontosság megvalósítása érdekében. A helyes moduláló frekvencia választása függ:

- a szálminta hosszától
- a várható diszperziós meredekségtől
- a vizsgálóberendezés fázisstabilitásától

A 3.16 ábrán látható, változtatható optikai csillapítás a mérendő teljesítményt abba a tartományba helyezi, amelyben a detektor-erősítőfázismérő rendszer (amely csak a moduláló jel Fourier alapharmónikusára válaszol) megfelelő pontossággal dolgozik.

Referencia jel:

A moduláló jellel azonos frekvenciájú referenciajelet kell a fázismérőhöz vezetni, melyhez képest a jelforrások fázisa mérhető.

A referenciajelet általában a modulálójelből származtatják, amely vele kötött fázisú kell hogy legyen.

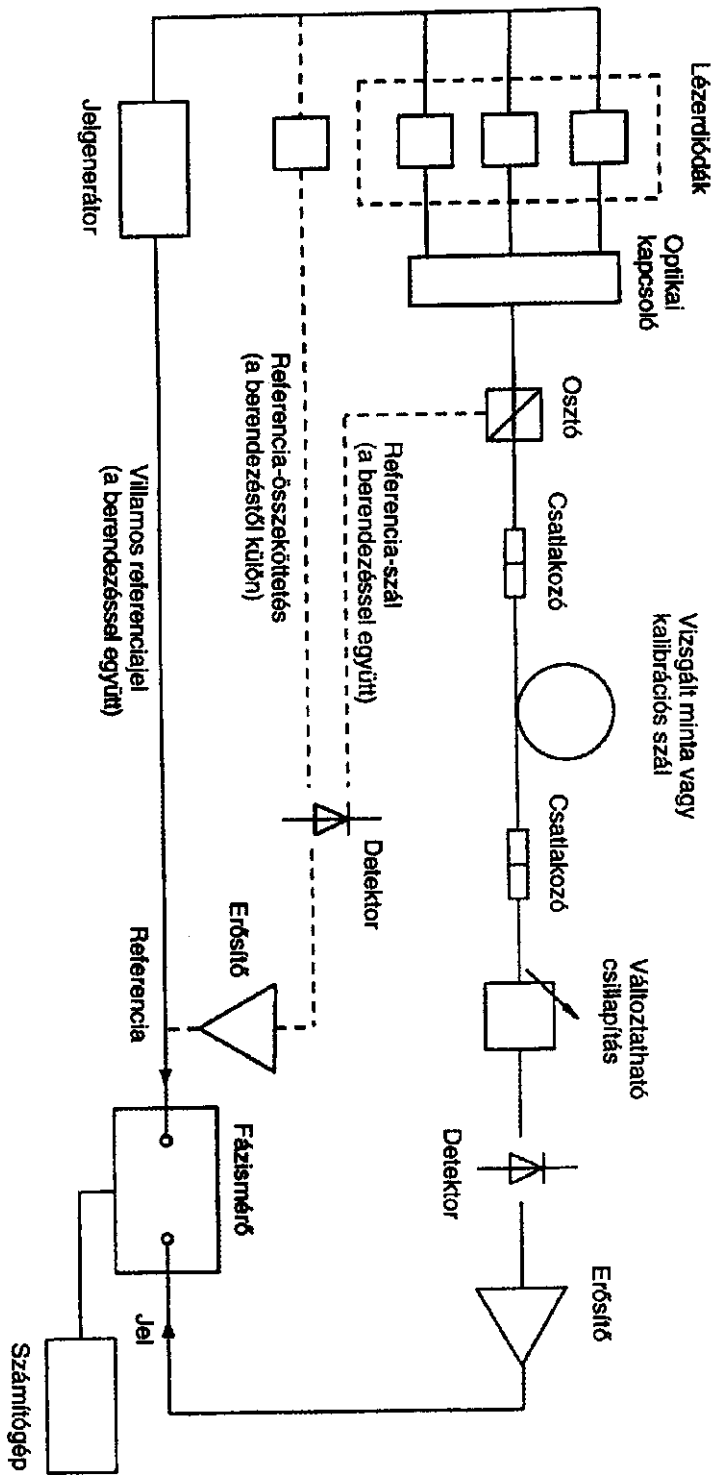
Ahogy a 3.15 ábra mutatja, különböző módokon lehet előállítani a referenciajelet, attól függően, hogy a fényforrás és a detektor térben milyen távol helyezkedik el egymástól.

Használható elektromos vagy optikai összeköttetés, a referencia jel átvihető hullámhossz-multiplexelést használva a vizsgált szálban is.

A berendezés vezérlésére az adatgyűjtésre és az adatok számszerű kiértékelésére számítógépet használhatunk.

Kalibrálás:

A bemeneti fázis méréséhez egy rövid (a szál hosszúságának 0,2%-a), a vizsgálandó szállal azonos típusú szálát kell választani. A fáziskalibráló szálát a mérőkészülékbe helyezve meg kell mérni minden egyes jelforrás fázisát ($P_m(\lambda)$) a referencia jelhez képest.



3.16 ábra

A vizsgálandó minta mérése:

A vizsgálandó szálát a mérőkészülékbe helyezve meg kell mérni a szálból kilépő jel fázisát $\{\varphi_{out}(\lambda_1)\}$ a választott hullámhosszakon (a referenciajelet alapul véve).

Számítások:

Minden egyes hullámhosszon a mért bemeneti fázist ki kell vonni az adott hullámhosszon mért kimeneti fázisból. A relatív csoportfutásidő ps/km-ben minden λ_1

$$t_{(I_i)} = \frac{\varphi_{out}(I_i) - \varphi_{in}(I_i)}{360^\circ \cdot a \cdot L} \cdot 10^6$$

ahol:

- φ_{out} a kimeneti fázis fok-ban mérve
- φ_{in} a bemeneti fázis fok-ban mérve
- f a moduláló hullám frekvenciája MHz-ben
- L a vizsgálandó minta és a kalibráló szál hosszának a különbsége km-ben

Ahhoz, hogy ebből a diszperzióra szakszerű eredményt kapjunk, a felvett mérési pontokra valamilyen alkalmas görbét kell illesztenünk, majd képezni kell a deriváltját.

A mért fajlagos hullámhossz szerinti csoportfutásidőt a következő kifejezésekhez kell illeszteni: (ahol τ_0 a relatív futásidő minimuma, a λ_0 zérus diszperziójú hullámhossznál, és S_0 a diszperzió meredeksége λ_0 -nál.).

A CCITT 6.652 által meghatározott szálnál:

$$t_{(I)} = t_0 + \frac{S_0}{8} \cdot \left(I - \frac{I_0^2}{I} \right)^2$$

$$D(I) = \frac{dt}{dI}$$

A kromatikus diszperziós együtthatót a $D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) S_0$ differenciált négyzetes kifejezésből lehet meghatározni.

A CCITT 6.653 által meghatározott szálnál:

$$t(\mathbf{I}) = t_0 + \frac{S_0}{2} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{I}_0)^2$$

és

$$D(\mathbf{I}) = (\mathbf{I} - \mathbf{I}_0) \cdot S_0$$

A CCITT 6.654 által meghatározott szálnál:

$$t(\mathbf{I}) = t_{1550} + (S_{1550}/2) \cdot (\mathbf{I} - 1550)^2 + D_{1550} \cdot \mathbf{I}$$

és

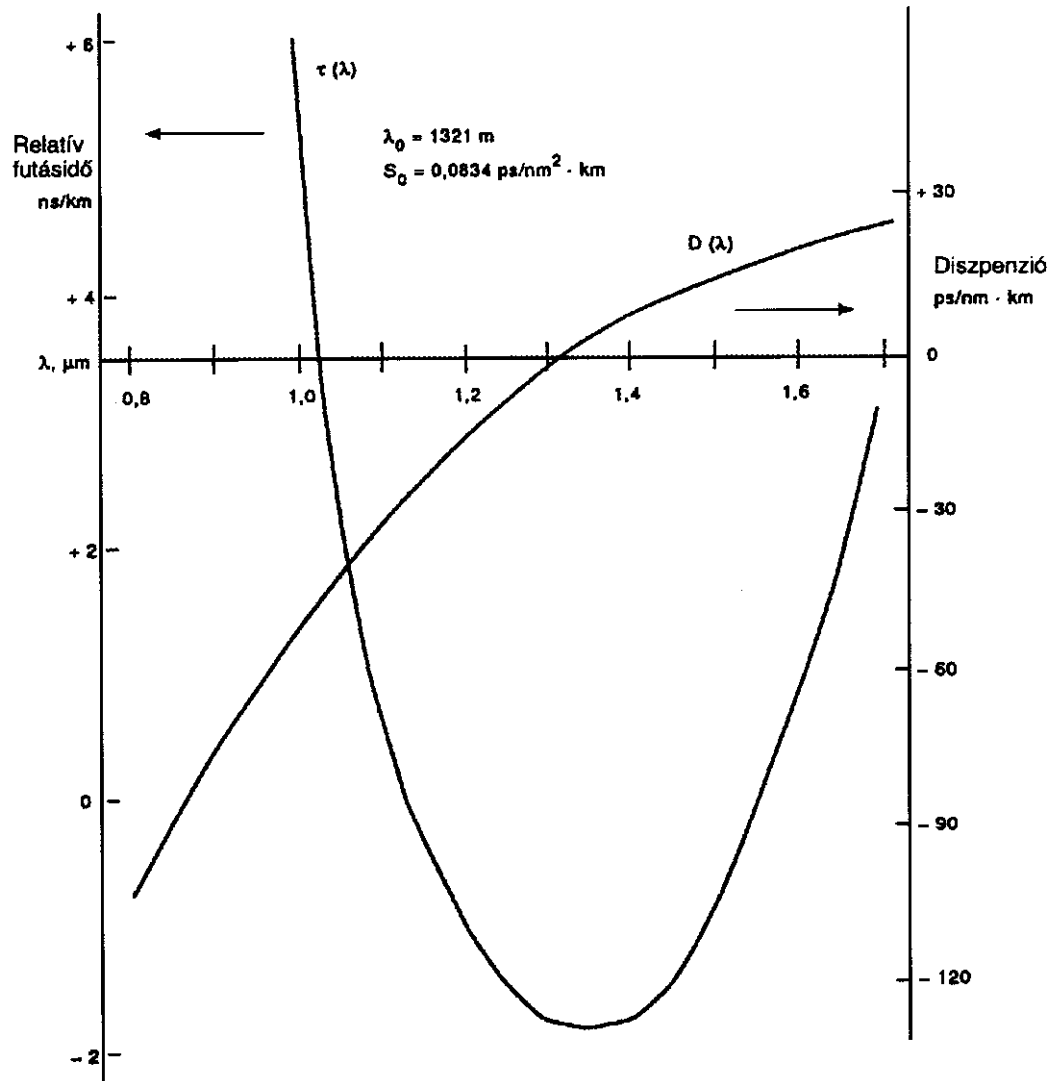
$$D(\mathbf{I}) = S_{1550}(\mathbf{I} - 1550) + D_{1550}$$

ahol az 1550 -es index az ezen a hullámhosszon (nm-ben) való értéket jelenti.

A fenti kifejezések csak az ajánlásban meghatározott szál működési hullámhossza körül adnak megfelelő pontosságot

Tipikus futásidő- és diszperziós görbe látható a 3.17 ábrán.

A mérési eljárás nagy előnye, hogy viszonylag egyszerű mérési összeállítás mellett is képesek lehetünk a futási idő nagy pontosságú meghatározására a megfelelő fázisok detektálásával.



3.17 ábra

3.6.2. Differenciális fáziseltolásos módszer

Ez az eljárás is - az előzőhöz hasonlóan - a frekvenciatartománybeli mérések közé sorolható.

A mérés elve a következő:

Ennél az eljárásnál egy modulált fényforrást csatolunk a vizsgálandó szálba. A szálból két különböző hullámhosszon kilépő modulált jel fázisát hasonlítjuk össze. Majd a két hullámhossz közötti átlagos kromatikus diszperziót a differenciális fáziseltolásból, a hullámhosszak közötti különbségből és a szálhosszból határozzuk meg.

A két vizsgálati hullámhossz közé eső hullámhosszon a kromatikus diszperziós együtthatót a két hullámhossz közötti tartomány átlagos kromatikus diszperziójával egyezőnek tételezzük fel.

Ez az eljárás szintén a hosszabb szálak vizsgálatára alkalmas.

Az előző mérésnél ismertetett fényforrás használható, a moduláló frekvencia megváltoztatásánál is ugyanazokat a megfontolásokat kell tennünk. Valamennyi méréshez két hullámhossz szükséges, amelyek távolsága tipikusan 2-20 nm között van.

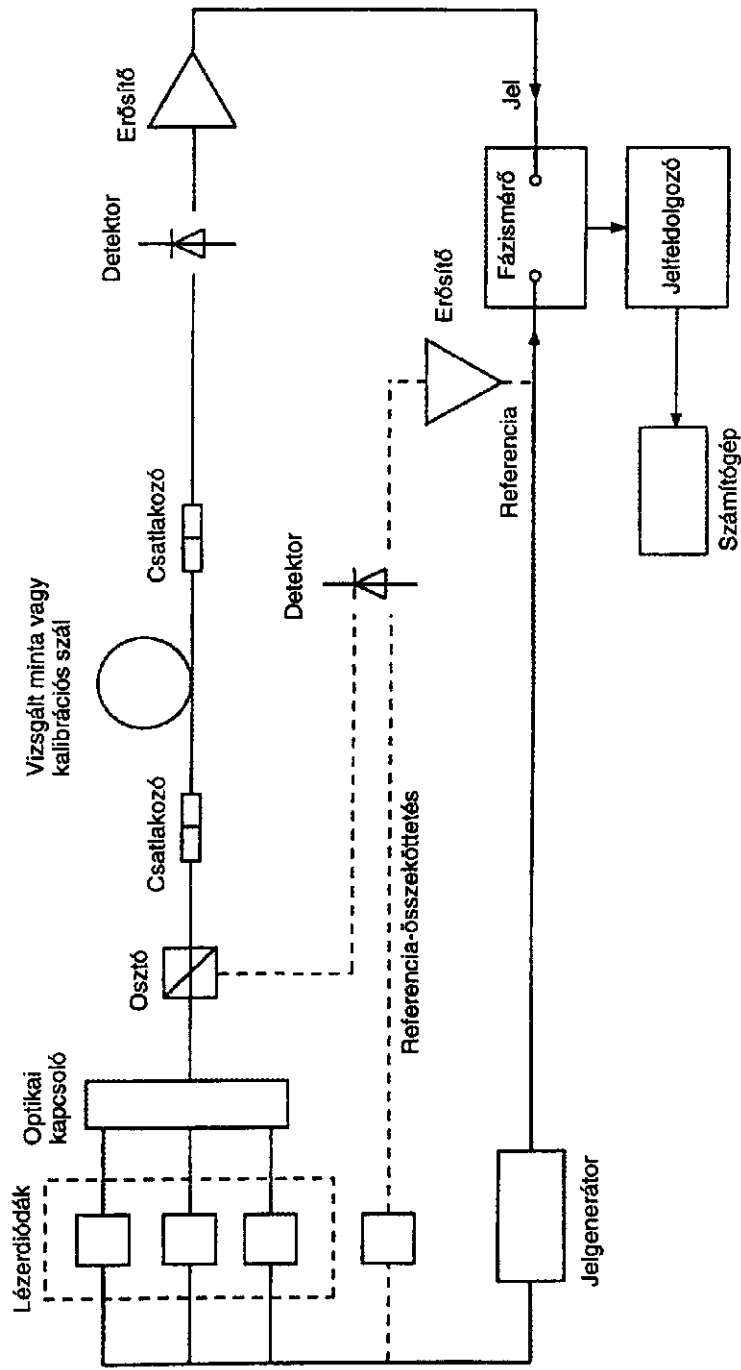
A differenciális fázismérés többféleképpen megvalósítható:

a.) A 3.18 ábrán lévő kapcsolással megvalósított mérésnél a jelfeldolgozó először az első vizsgálati hullámhosszon, majd a másikon jegyzi fel a fázist. Ezután a kromatikus diszperziót a központi hullámhosszon a differenciális fázisból és a szálhosszból határozzuk meg.

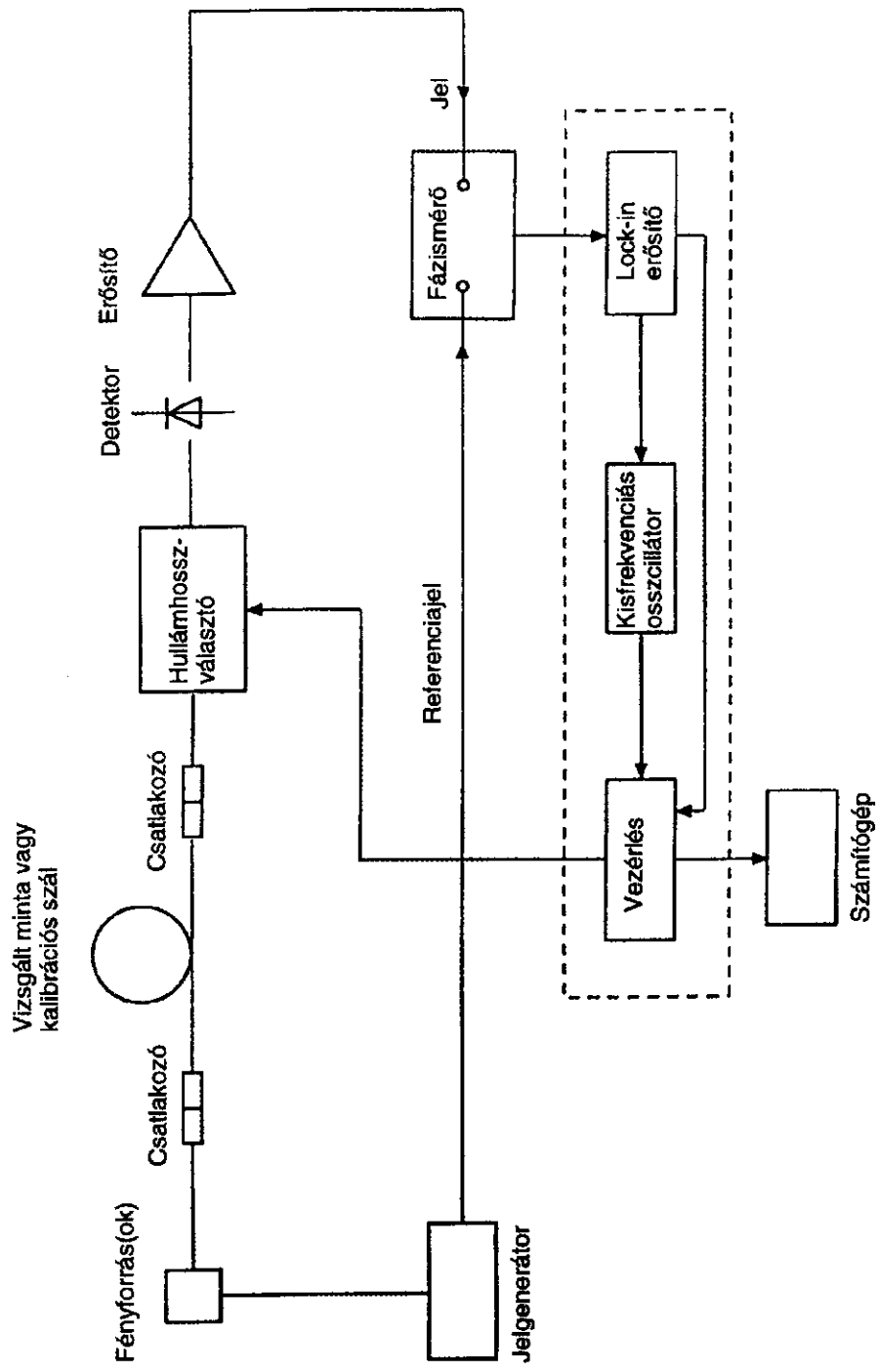
b.) A második példa a 3.19 ábrán látható.

A vezérlő néhány száz Hz-es frekvenciával kapcsolgatja a hullámhosszválasztót a két hullámhossz között. A fázismérő a hullámhosszmodulálással szinkronban lévő váltakozó áramú jelet állít elő, melynek amplitudója arányos a két vizsgálati hullámhossz közötti differenciális fázissal. Ezt követően a jelet egy lock-in erősítő demodulálja, amivel a differenciális fázisnak megfelelő nagyságú egyenáramú jelet kapunk. Ennek ismeretében a kromatikus diszperzió kiszámítható.

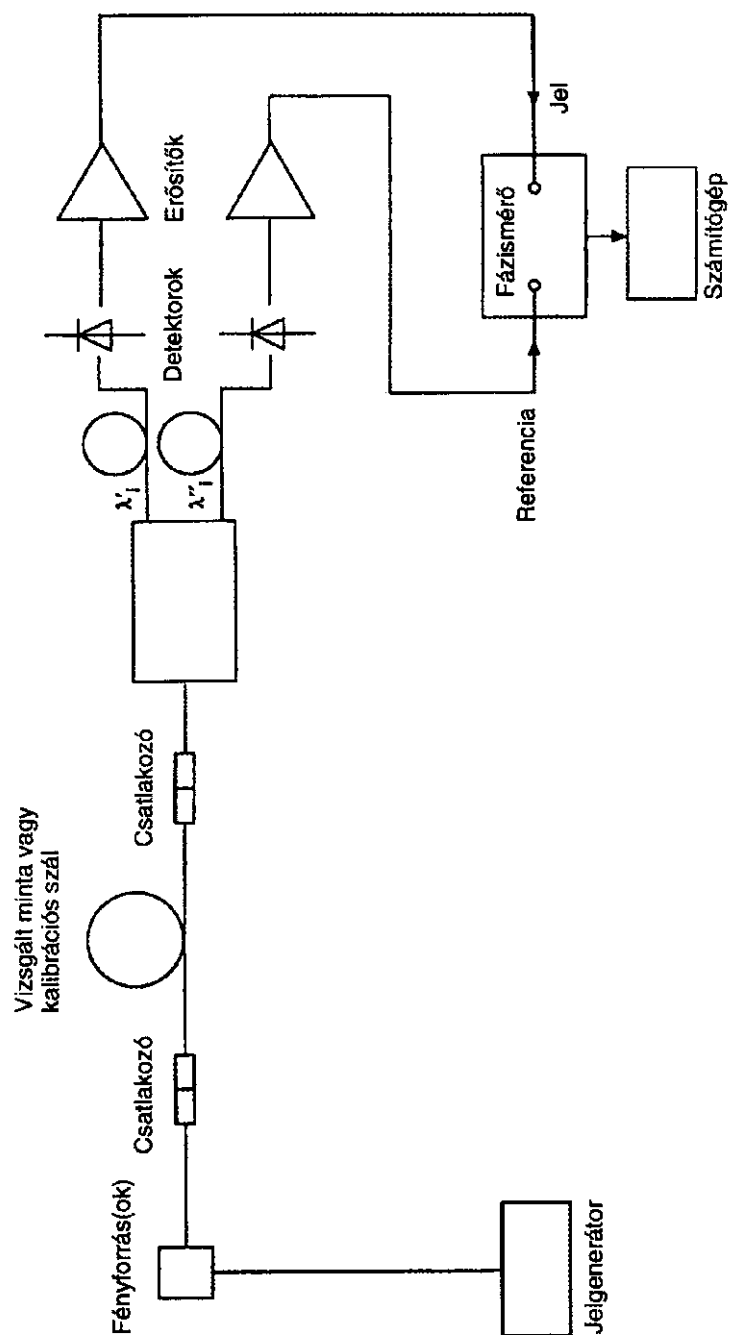
b.) A 3.20 ábrán látható megoldásnál a fázismérő számára a referenciajel a két vizsgálati hullámhossz közül az egyik maga, amelyik végighalad az áron. A két, eltérő hullámhosszú jel fáziskülönbsége meghatározható, amelyből a kromatikus diszperziót számítani tudjuk.



3.18 ábra



3.19 ábra



3.20 ábra

Vizsgálati eljárás:

A minta mérése: A λ_i átlagos hullámhosszú λ_i' , λ_i'' hullámhosszpór differenciális fázisát le kell mérni, az előzőekben vázolt módszerek valamelyikével.

Kalibrálás: A berendezés egyes részei kromatikus késleltetésének a kompenzálására szükséges elvégezni a kalibrációt. A mérendő szálával azonos típusú rövid (a vizsgálandó szál hosszának 0,2 %-a) kalibráló szálát kell használni. Ezt a szálát a mérőkészülékbe helyezve mérjük λ_i hullámhosszon λ_i' , λ_i'' hullámhosszpár $\Delta\varphi'(\lambda_i)$ differenciális fázisát.

Számítás: A kromatikus diszperziós együttható minden egyes λ_i hullámhossznál:

$$D(\lambda_i) = 10^{12} \frac{\Delta j(\lambda_i) - \Delta j(\lambda_i')}{360 \cdot f \cdot L \cdot \Delta \lambda} \quad \text{Ps/(nm km)}$$

Ahol: $\Delta\lambda$, λ_i' nm-ben

- f a moduláló hullám frekvenciája Hz-ben
- L a vizsgált minta és a kalibráló szál hosszúságának a különbsége km-ben van megadva.

A módszer nagy előnye, hogy nem kell bonyolult összefüggéseket használni a diszperziós együttható meghatározására.

3.7. Impulzuskésleltetés mérése

Ezt az időtartományban végezhető mérést a CCITT Alternatív Mérési Eljárásként ajánlja. Szintén a minimálisan 1 km hosszú fényvezető kromatikus diszperziójának a meghatározására alkalmas.

A méréshez olyan fényforrás szükséges, amely képes rövid időtartományú (~ 400 ps), de elegendő intenzitású, valamint térbeli és időbeli stabilitású impulzusok előállítására.

(Alkalmazható több injekciós lézerdíóda vagy ND: YAG lézert tartalmazó Ramanszál-lézerrendszer monokromátorral.). Fontos, hogy elegendően kicsi legyen az impulzus hullámhosszának a spektrális szélessége (max 10 nm). Jeldetorként az előforduló intenzitástartományon belül lineáris, nagy sebességű optikai detektort kell használni.

A detektálási rendszer érzékenységének növelésére szélessávú erősítő, az állandó jelamplitúdó fentartására optikai csillapító használható.

Szükség van még olyan kijelzőeszközre – általában nagyfrekvenciás mintavételező oszcilloszkópot használnak -, amely képes az optikai impulzusok relatív érkezési idejének egy kalibrált időskálán való kiejzésére.

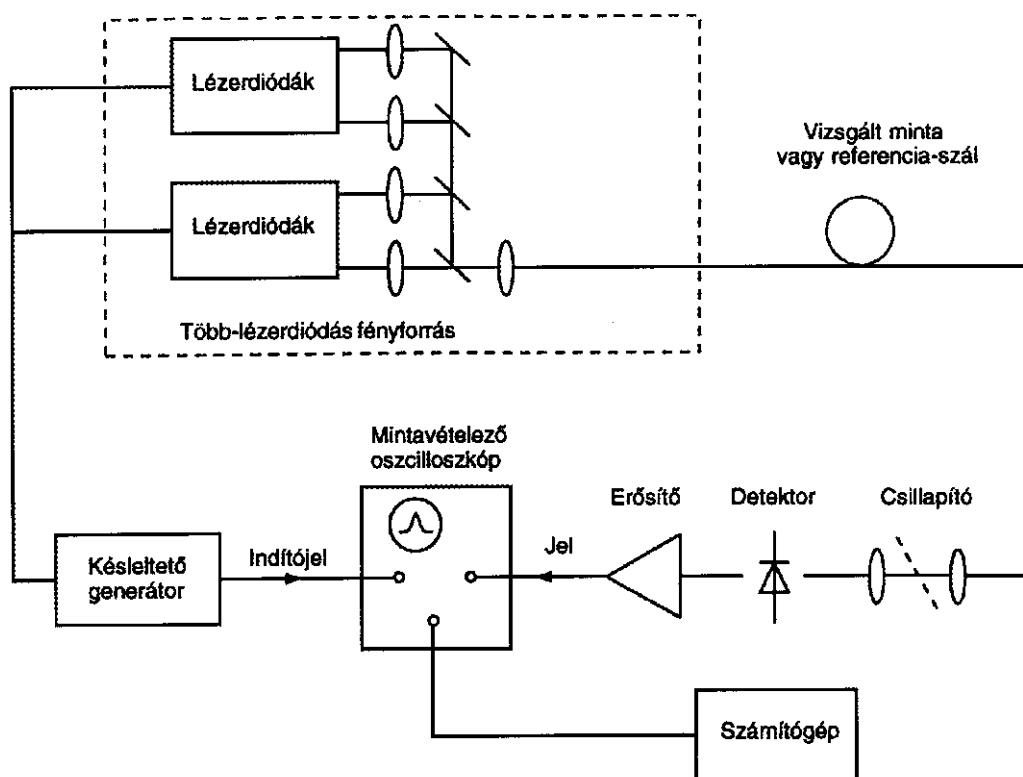
Ehhez gondoskodni kell a vizsgálandó minta és a referencia minta késleltetési különbségének a kiegyenlítéséről a detektáló elektronika indítójelének előállítása során. E célra digitális késleltetődetektor használható. A mérőberendezés vezérlésére, az adatok gyűjtésére a kiértékelésére számítógépet használunk. Mindezen eszközök láthatók a mérés kapcsolási vázlatát mutató 3.21. ábrán.

A mérési eljárás a következő lépésekből áll:

Referencia mérések:

Rövid {a vizsgálandó szálhossz 0,2%-a), a mérendő szálmintával azonos típusú szálat kell használni. A referenciaszálat a mérőkészülékbe helyezve a fényforrás hullámhosszát beállítjuk az első vizsgálati hullámhosszra. Ez lesz a referencia hullámhossz. Ekkor be kell állítani a késleltető generátort is, hogy a bemenő impulzus alakja látható legyen.

A fényforrást a következő hullánhosszra kell állítani, és a késleltető generátor változtatása nélkül mérni kell az ezen impulzus helyzete és a referenciahullámhosszon mért impulzus helyzete közötti különbséget ($\tau_{in}(\lambda_i)$). Ezt az összes előírt hullámhosszon meg kell ismételni.



3.21 ábra

A minta mérése:

A mintát a mérőkészülékbe helyezve ki kell választani az első hullámhosszat (referencia hullámhossz), és a késleltetőgenerátort úgy beállítani, hogy a kimeneti impulzus az oszcilloszkópon látható legyen. Az impulzus helyzetét jegyezzük fel. Ezután a fényforrást a következő hullámhosszra kell állítani a késleltető generátor változtatása nélkül és mérni kell az ezen impulzushelyzet, és a referencia hullámhosszon kapott impulzushelyzet közötti időkülönbséget $\{\tau_{out}\lambda_i\}$. Ezt az összes előírt hullámhosszon meg kell ismételni.

Számítások:

A mért bemeneti impulzus időeltolását az összes hullámhosszon ki kell vonni a kimenő impulzusnak az ugyanazon a hullámhosszon mért eltolásából.

A hosszegységre vonatkozó csoportfutási idő minden λ_i esetén:

$$t(\lambda_i) = \frac{t_{out}(\lambda_i) - t_{in}(\lambda_i)}{L}$$

ahol L a vizsgált szál és a referencia szál hosszúságának a különbsége.

A továbbiakban a " fáziseltolós módszer"-nél kifejtett számítások szerint kell eljárni. A mért értékek pontjaira az ott részletezett kifejezések segítségével alkalmas görbéket kell illeszteni, majd pedig a kromatikus diszperziót meghatározni.

Az itt ismertetett mérési módszernek több hátránya van a frekvenciatartománybeli mérésekkel szemben. Egyrészt az igen rövid (néhány ps) időtartamok mérése meglehetősen komplikált, kifinomult eszközök használatát teszi szükségessé. Másrészt pedig a fáziskülönbség mérése, kisebb dinamikartomány igénye miatt, LED-es adóelemek alkalmazásával is megoldható, ez pedig annyit jelent - tekintve a LED-ek nagyobb spektrális választékát -, hogy a mérést a spektrum lényegesen több pontján tudjuk elvégezni.

3.8. Mikrogörbület érzékenység vizsgálata

Ez a mérés nem rutinmérés, rendes körülmények között a szál általános kiértékeléséhez nem használják, általában a termékszabványban nincs előírva

A vizsgálat elve a következő:

Körülbelül 400m szálhosszat egy folyamatosan változtatható átmérőjű dobra tekernek, oly módon, hogy a szálon keresztezések, átlapolódások ne jöjjenek létre. A makrogörbületi hatások elkerülése érdekében a dob átmérője legalább 200 mm legyen. A felületét meghatározott érdességű anyaggal (például 40 μm érdességű alumíniumoxid - üvegpapírral) kell bevonni. A dob kitágítása során a szál nyúlását kell mérni (Ez megvalósítható a fáziseltolás mérés szerinti elrendezést használva.). A csillapítás visszavágásos - vagy visszaszórásos-módszerrel mérhető. Ezek után a szál csillapítás együtthatójának a változása megadható a szál hosszának nyúlása (%) vagy az alkalmazott vonalnyomás (N/mm) függvényében. A kapott mérési pontokat a kezdőponton áthaladó egyenessel közelítve, az egyenes meredeksége a vizsgált szál mikrogörbület-érzékenységét adja dB/km/%-ban, illetve dB/km/N/mm-ben.

3.9. Makrogörbületi érzékenység vizsgálata

A következőkben röviden ismertetett mérési eljárás az 1550 nm-es hullámhosszon üzemelő egymódusú fényvezetők vizsgálatára alkalmas.

A szálat lazán fel kell csévélni egy 60mm vagy 75mm (a termékszabvány határozza meg) átmérőjű tüskére. A vizsgált szál tüskén kívüli része mentes legyen a mérési eredményekbe számottevő változást behozó hajlításoktól. A felcsévélte menetek számát a termékszabvány írja elő (általában 100 az ajánlott). A felcsévélés előtt és után a vizsgált fényvezető csillapítását valamelyik csillapítás mérési módszerrel kell mérni.

Ezek után a szál makrogörbületi érzékenysége nem más, mint az egyenes állaptól (nagyobb sugarú csévélés) hajlított állapotba való változás következtében előálló csillapításnövekedés.

3.10. Geometriai és optikai mérések

Mérési feladatok

Mivel az egymódusú szálak geometriai-optikai viselkedését a módusmező átmérő tökéletesen jellemzi, ezért általában a törésmutató eloszlás mérése nem feltétlenül szükséges. Azonban a fényvezető szálak gyártása során, minőségellenőrzéskor igény támadhat a törésmutató profil pontos ismeretére, ezért annak mérésére alkalmas mérési eljárásokat kellett kidolgozni.

Az egymódusú szálak geometriai mérései magukban foglalják a módusmező (ami gyakorlatilag a magnak felel meg), valamint a héj cirkularitási és koncentricitási hibáinak méréseit, és a héjátérő meghatározását. Mindezen paraméterek általában nem kritikusak, bár a csatlakozások, kötések megbízhatósága szempontjából igen fontosak. Így rendszerint ezeket a jellemzőket a gyártás után, szűrőpróbaszerűen ellenőrzik.

Alkalmazott mérési eljárások

3.10.1. Megtört közeltért módszer

A CCITT ezt a módszert egymódusú szálak esetében Alternatív Mérési Eljárásként ajánlja. (Multimódusú szálaknál ez a Referencia Mérési Eljárás).

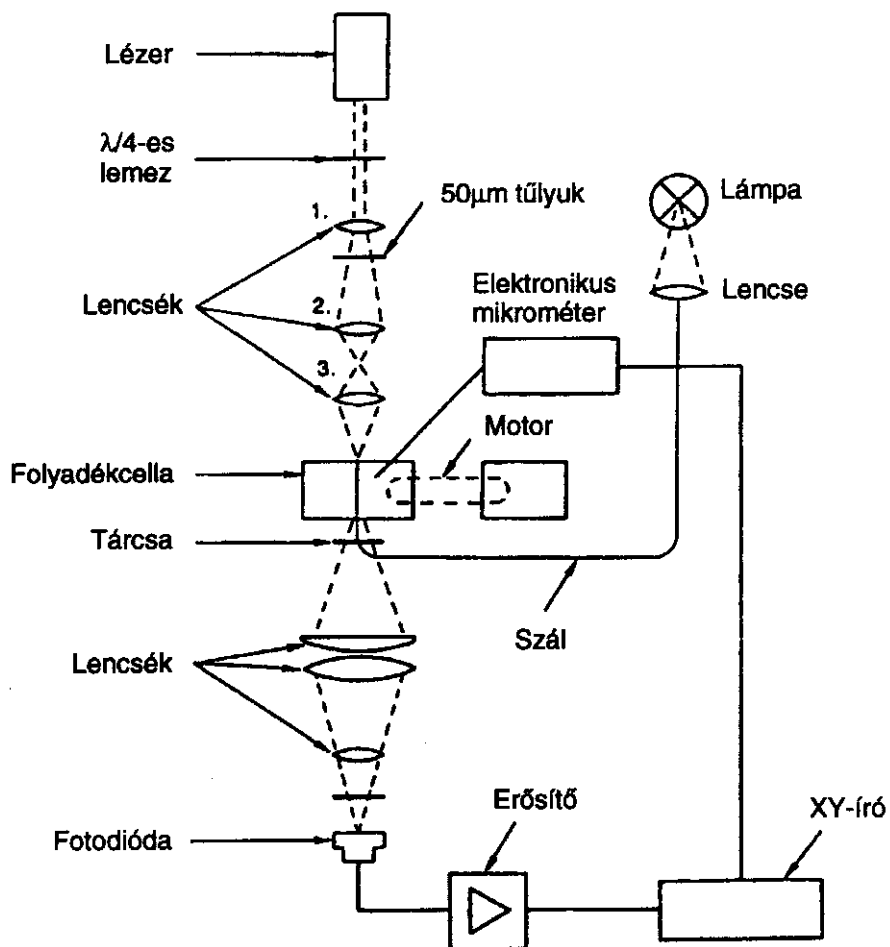
Ezzel a méréssel pontosan és közvetlenül a törésmutató eloszlását vizsgálhatjuk a szálátérő mentén. Kiszámíthatók továbbá a mag és a héj átmérője, a mag/héj excentricitás, valamint a mag és a héj köralakhibája.

A vizsgálókészülék vázlatát a 3.22 ábra mutatja.

A szálát egy 633 nm-en működő lézerdióda gerjeszti, hátulról pedig egy volframlámpa fénye világítja meg.

A 2. és 3. lencse a szál fókuszált képét állítja elő. A 3. lencse helyzetét a szálközép központosítására és fókuszálására kell beállítani, ezzel egyidejűleg a lézersugár is központosítva és fókuszálva lesz a szálán. A készülék felbontóképességét a fókuszált pont nagysága határozza meg, melynek a lehető legkisebbnek kell lennie. A készülék lehetővé teszi, hogy a fókuszált folt léptethető legyen a szál átmérője mentén.

Az 1. lencse fókuszában elhelyezett túlyuk térbeli szűrőként viselkedik.



3.22 ábra

A kb. 1 m hosszú szál gerjesztett végét (minden bevonatot eltávolítva) be kell méríteni egy olyan folyadékcellába, amelynek a törésmutatója valamivel nagyobb, mint a szál héjájé. Az ábrán látható tárcsát a kimeneti kúpon kell központosítani, úgy beállítva, hogy a legjobb felbontást adja, és éppen lezárja a szivárgó módusokat. A kitarakó tárcsa nagyságát és helyzetét számítással lehet meghatározni.

A tárcsa mellett haladó megtört módusokat össze kell gyűjteni, és lencsék segítségével egy fotodiódára fókuszálni.

Ha a szál bemenetén a fókuszált lézerfoltot az átmérő mentén végigvezetjük, a kimeneti fénykúp szöge a szálba való belépési pontnál látott törésmutatónak megfelelően változik. A megtört módusok detektálásával a szál törésmutatóváltozása közvetlenül megkapható.

A készülék kalibrálását a szálminta nélkül kell végezni. a kúp szögének változása a tárcsának az optikai tengely mentén való eltolásával szimulálható. A tárcsának előre meghatározott helyzetbe történő mozgatásával a profil relatív törésmutató-adatokkal skálázható. Az abszolút törésmutatók csak akkor kaphatók meg, ha a héj vagy a folyadék törésmutatója az adott mérési hullámhosszon ismert.

3.10.2. Közeltéri fényeloszlás

A használható mérési berendezés majdnem teljes egészében megegyezik a módusmező átmérő mérésénél alkalmazott közeltéri letapogatási módszer vizsgálati elrendezésével. A módszer előnye éppen abban rejlik, hogy viszonylag kevés eszköz használatával a fényvezető szál több paramétere vizsgálható.

A mérésnél a detektáló rendszerek széles skálája alkalmazható a mérés típusától függően. Használható mikroszkóp, amely fényképező géppel vagy kamerával és video-analizátorral kapcsolható össze. A kamera helyett azonban alkalmazhatunk tûlyuk-detektort a közeltér letapogatására, amit egy x-y íróhoz csatlakoztatunk.

A fényintenzitást az átmérő mentén vizsgálva vonhatunk le következtetéseket a geometriai jellemzőkre (módusmező és a héj kiterjedése) vonatkozóan.

A közeltéri intenzitásból gyököt vonva az elektromágneses tér amplitudóját kapjuk, amit a skaláris hullámegyenletbe helyettesítve a törésmutató profil már számítható. A számítást bonyolultsága miatt-számítógép végzi.

Ezzel a mérési módszerrel csak a mag és a belső héjtartomány törésmutató eloszlására kaphatunk megbízható eredményt.

3.10.3. Egyéb módszerek a geometriai-optikai paraméterek méréséhez

A fényvezető szálminta $n(r)$ törésmutató profilja meghatározható keresztirányú interferometriával. A szálmintát a tengelyére merőlegesen kell kivilágítani, majd egy interferencia-mikroszkópot használva interferencia csíkok állíthatók elő. A csíkok számítógép-vezérelt detektálásával és digitalizálásával a törésmutató profil megkapható. A keresztirányú interferencia módszert az IEC 793-1-A1B tartalmazza.

Az IEC 793-1-A3 módszer (Négy koncentrikus kör) a fényvezető szálak geometriai jellemzőinek és tûréseinek megfeleléségi vizsgálatára alkalmas. Nem használható azonban a mag- és héjátérő, a köralakhiba és excentricitás tényleges értékének a mérésére.

A héjátmérő meghatározására mechanikai átmérőmérés is használható. Egy olyan mérési sorozattal, melynek során a szálát az egyes mérések között elforgatjuk, mérhető a szál köralakhibája.

Az eljárást részletesen az IEC 793-1-A4 módszer írja le.

3.11. Mechanikai és környezetállósági mérések

3.11.1. Szakítószilárdság vizsgálata

A szakítószilárdsági próba során a fényvezető szálak hosszirányú mechanikai terhelésekkel szembeni szilárdságát mérik egészen a szakadási pontig. A szakítószilárdság az a mechanikus feszültség, melynél a szál elszakad. Ez a fényvezető szálak fontos mechanikai jellemzője, aminek értéke függ a szálminta hosszától, a terhelés növekedésének ütemétől, valamint a hőmérsékleti és nedvességi viszonyoktól. Több vizsgálat elvégzése után a szál szakítószilárdságát, mint statisztikai adatot adják meg, az eredmény tehát egy statisztikai eloszlás lesz.

3.11.2. Húzásállóság vizsgálata

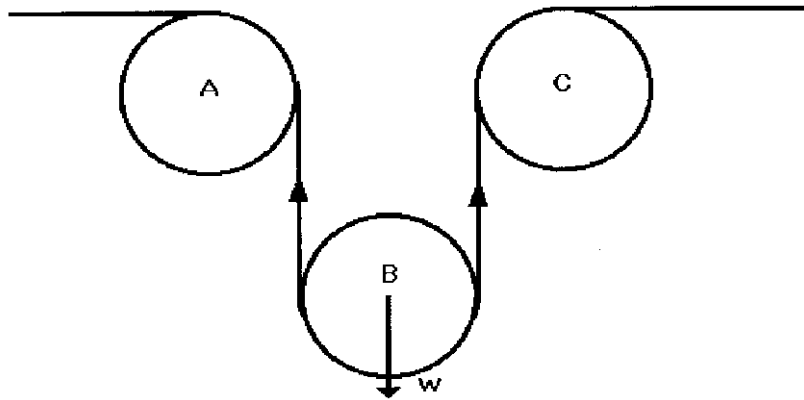
Ez a nem destruktív mechanikai vizsgálat általában a szálgyártás utolsó lépéseként, a teljes gyártási hossz mechanikai ellenőrzését szolgálja. Ezzel az eljárással ki lehet szűrni a hibás, nem kielégítő szilárdságú szálakat.

A húzásállósági próbánál a szálát a további felhasználás során várható mechanikai feszültségnél nagyobb, az úgynevezett elenállósági próbaterheléssel - ami azonban az előírt szakítószilárdságnál kisebb terhelik. Ha a szál elszakad, vagy jelentősebb maradandó csillapításnövekedést szenved, kiselejtezik.

A húzásállósági vizsgálatot a következő három módszer egyikével lehet elvégezni.

Állandó húzófeszültségű vizsgálat:

A mérés elvégzéséhez a 3.23 ábra által mutatott elrendezést használjuk.



3.23 ábra

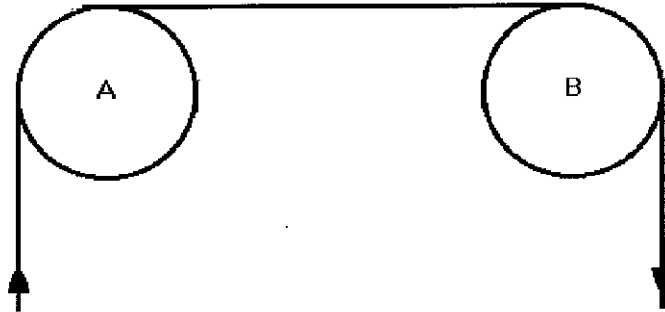
A berendezés három csigából áll, melyek A és C hajtott, B pedig szabadon fut. A B-re alkalmazott W súly szolgáltatja a megfelelő nagyságú - a termékszabványban előírt - húzóerőt. Lényeges, hogy a fényvezető szál és a tárcsák közötti súrlódási együttható nagy legyen. A beállítás után a szálnak a termékszabványban előírt vizsgálati időnek megfelelő sebességgel kell áthaladnia a készüléken.

Az igénybevétel után az szálát optikai időtartományú reflektométerrel, vagy más eszközökkel is lehet ellenőrizni.

Állandó nyúlású vizsgálat:

Alkalmos vizsgáló berendezés a 3.24 ábra szerinti két olyan tárcsa, melyek eltérő kerületi sebességgel forognak.

A megfelelően beállított kerületisebesség-külömbőség a szálnak a termékszabványban előírt mértékű nyúlását. Miután a fényvezető megfelelő sebességgel áthaladt a készüléken, itt is meg kell vizsgálni az esetleges mechanikai feszültségek okozta hibákat.

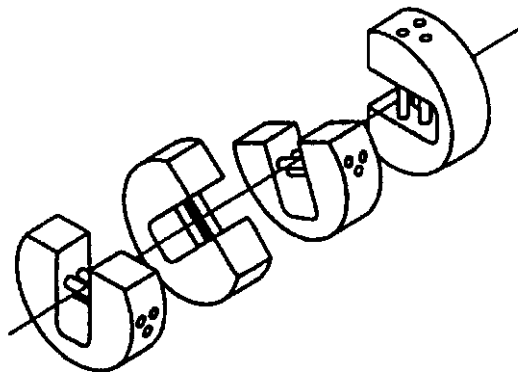


3.24 ábra

Állandó hajlítási igénybevételű vizsgálat:

Az eljáráshoz 3.23 ábra szerinti görgőrendszerre van szükség. A szálnak megfelelő feszítést kell biztosítani, hogy kövesse a görgők geometriáját. A görgők átmérőjét úgy kell megválasztani, hogy azok biztosítsák a kívánt nyúlást a szál felületén.

Annak érdekében, hogy a szálfelület minden pontjára közel állandó nyúlást kapjunk, több görgőkészletet kell használni, egymáshoz képest bizonyos szögben elfordítva. Erre mutat jellemző példát a 3.25 ábra.



3.25 ábra

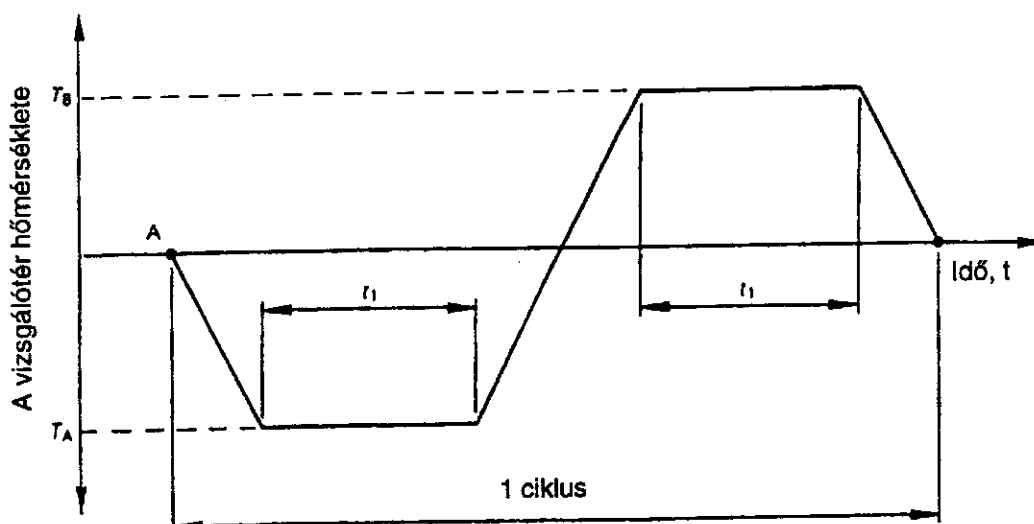
A fényvezető megfelelő sebességű áthaladása után vizsgálhatjuk a mechanikai feszültség hatására létrejött minőségi változásokat.

3.11.3. Klímaállóság vizsgálata ciklikus hőmérséklet-változtatással

Ezzel az eljárással az elsődleges védelemmel ellátott szálak tulajdonságainak olyan hőmérséklet-változásokkal szembeni stabilitását ellenőrzik, mint amilyenek a fényvezetőt a raktározás, szállítás és a normál üzemi körülmények között érhetik. (A vizsgálati körülmények a legrosszabb feltételeket szimulálják.)

A vizsgálandó szál egy megfelelő átmérőjű dobra kell felcsévélni, hogy csupán a használati feltételnél is előforduló mechanikai feszültséggel terheljük a szálát, amely még nem okozza a paraméterek lényeges változását.

A mintának szabályozható hőmérsékletű helyezése után, a 3.26 ábra szerinti hőmérséklet-változtatást kell megvalósítani.



3.26 ábra

A ciklusok száma, (általában a mintákat két ciklusnak kell alávetni illetve a jellemző időtartamok a termékszabványban vannak megadva.

Mérések:

A vizsgálat megkezdése előtt- a laboratóriumi környezeti hőmérsékleten -ellenőrizni kell a szál átviteli tulajdonságait. Majd a vizsgálat közben mérni kell a csillapítás változását az előírt hullámhosszon a hőmérséklet-ciklusok függvényében. Az eljárás befejezésekor, mikor a szál újra felvette a környezeti hőmérsékletet, el kell végezni a termékszabványban előírt (optikai, kiviteli, mechanikai) vizsgálatokat.

A klímaállóságon kívül egyéb környezeti jellemzőit is szokták vizsgálni a fényvezető szálak. Ilyen környezeti jellemző a kémiai ellenállóképesség, amire az IEC 793-1-D2, a biológiai ellenállóképesség, amire az IEC 68-2-10, illetve a nukleáris sugárzásállóság, amire az IEC 793-1-D3 módszert lehet alkalmazni.