

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE  
Elektronikas un telekomunikāciju fakultāte  
TELEKOMUNIKĀCIJU INSTITŪTS

**Makrolocījumu zudumu novērtējums optiskajās pārraides sistēmās**

Evaluation of Macrobending Loss in Fiber Optical Transmission Systems

Bakalaura darbs

Autors – Armands Ločmelis

Telekomunikāciju studiju programmas

Bakalaurants

bak. apl. nr. 141REB123

Zinātniskais vadītājs –

prof. V. Bobrovs Dr. sc. ing.

Konsultants –

T. Salgals Mg. sc. ing.

Rīga 2017

## **Bakalaura darba novērtējuma lapa**

### *Bakalaura darba autora apliecinājums*

Apliecinu, ka esmu šī darba autors, esmu sniedzis visas atsaucis uz šinī darbā izmantotajiem materiāliem un šis darbs atbilst „Nolikuma par bakalaura darbu Telekomunikāciju studiju programmā” prasībām.

Students \_\_\_\_\_ / Armands Ločmelis /

Datums:

### *Zinātniskā vadītāja slēdziens*

Bakalaura darbs formāli atbilst „Nolikuma par bakalaura darbu Telekomunikāciju studiju programmā” prasībām un atļauju to aizstāvēt komisijas sēdē.

Konsultants \_\_\_\_\_ / T. Salgals/

Datums:

Zinātniskais vadītājs \_\_\_\_\_ / V. Bobrovs/

Datums:

*Studiju programmas direktora slēdziens par atbilstību „Nolikuma par bakalaura darbu Telekomunikāciju studiju programmā” prasībām*

Iesniegtais bakalaura darbs formāli atbilst „Nolikuma par bakalaura darbu telekomunikāciju studiju programmā” prasībām un atļauju to aizstāvēt komisijas sēdē.

Studiju programmas direktors \_\_\_\_\_ / V. Bobrovs/

Datums:

### *Recenzenta slēdziens*

Bakalaura darbu vērtēju ar atzīmi „\_\_\_\_\_”.

Recenzents \_\_\_\_\_ / Ģ. Ivanovs /

Datums:

### *Gala pārbaudījumu komisijas slēdziens*

Aizstāvēts gala pārbaudījumu komisijas sēdē 2017 .g. “\_\_\_\_\_” jūnijā un novērtēts ar atzīmi \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_).

Gala pārbaudījumu komisijas priekšsēdētājs \_\_\_\_\_ / Ģ. Ivanovs /

Datums:

## ANOTĀCIJA

Darba tēma ir „Makrolocījumu zudumu novērtējums optiskajās pārraides sistēmās”. Šajā bakalaura darbā tiek apskatīts un izvērtēts vājinājuma koeficients atkarībā no vijumu skaita, kā arī liekuma diametra. Pirmajā daļā tiek sniegta informācija par optisko šķiedru pielietojumu mūsdienās, tās īpatnībām un gaismas izplatīšanos tajā. Darbā iespējams iepazīt faktorus, kas ietekmē vājinājumu optiskajā šķiedrā. Praktiskajā daļā noteiksim jaudas un vājinājuma līmeni optiskai šķiedrai izmantojot gaismas avotu un jaudas mērītāju. Darbā tiks aplūkots process, kā sagatavot un sametināt šķiedru ar savienotājiem. Pēdējās daļās tiks apkopoti rezultāti tabulās, grafikos un izdarīti secinājumi no iegūtajiem rezultātiem.

Darbs satur 62 lappuses, tajā ir 39 attēli un 33 tabulas.

## **ANNOTATION**

The subject of bachelor's work is „Evaluation of Macrobending Loss in Fiber Optical Transmission Systems”. In this bachelor's work we will address and assess the attenuation coefficient according to the number of turns made and macrobendings diameter. The first paragraph will provide information about the use of optical fiber in nowadays, its characteristics and the lights flow in it. Factors which influence the attenuation in the optical fiber will be provided in this work. In the practical part of the work will determine power level and attenuation coefficient using light source and power meter. The process of preparing and welding fiber with connectors will be considered in the work. The final parts will summarise the results in tablets, graphs and conclusion will be given.

This work contains 62 pages, 39 images and 33 tablets.

## SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

1.	APC	Angeled Physical Contact	Leņķveida fizisks kontakts
2.	FC	Fixed Connector	Fiksēts savienotājs
3.	LAN	Local Are Network	Lokālais tīkls
4.	LED	Light Emitting Diode	Gaismu emitējoša diode
5.	MFD	Mode Field Diameter	Modas lauka diametrs
6.	MMF	Multi Mode Fiber	Daudzmodu šķiedra
7.	OLS	Optical Light Source	Optiskais gaismas avots
8.	OTDR	Optical Time-Domain Reflectometer	Optiskais laika joslas reflektometrs
9.	OŠ	Optical Fiber	Optiskā šķiedra
10.	SC	Standart Connector	Standarta savienotājs
11.	SMF	Single Mode Fiber	Vienmodu šķiedra
12.	UPC	Ultra Physical Contact	Ultra fizisks kontakts

## SATURS

ANOTĀCIJA .....	3
ANNOTATION .....	4
SAĪSINĀJUMU SARAKSTS .....	5
IEVADS .....	7
1. OPTISKĀS ŠĶIEDRAS KLASIFIKĀCIJA UN PIELIETOJUMS TELEKOMUNIKĀCIJU JOMĀ .....	9
1.1. Optiskā šķiedra sakaru sistēmās .....	9
1.2. Šķiedras struktūra un darbības principa analīze .....	10
1.3. Optiskās šķiedras veidi .....	12
1.4. Kopsavilkums .....	15
2. OPTISKĀS ŠĶIEDRAS SVARĪGĀKIE PARAMETRI UN ĪPAŠĪBAS .....	16
2.1. Joslas platuma un dispersijas analīze .....	16
2.2. Vājinājuma novērtējums optiskajā šķiedrā .....	17
3. MAKROLOCĪJUMU IETEKME UZ JAUDAS LĪMENI VIENMODU ŠĶIEDRĀ PRAKTISKĀ IZPĒTE .....	25
4. MAKROLOCĪJUMU IETEKME UZ VIENMODU ŠĶIEDRAS VĀJINĀJUMU .....	46
PĒTĪJUMU REZULTĀTU KOPSAVILKUMS UN SECINĀJUMI .....	59
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	61

## IEVADS

Kopš 1970-tajiem gadiem kad tika izgudrota optiskā šķiedra, pieprasījums pēc tās ir tikai audzis gadu gaitā un līdz ar to mūsdienas optisko šķiedru pielieto diezgan daudz. Viss, pateicoties informācijas plūsmai internetā, datu un video pārraidei u.c. To veicināja arī tas, ka kļuva iespējams lietot platāku spektra joslu. Neierobežots joslas platums nodrošina lielāku informācijas pārraides plūsmu. Šāda veida pakalpojums mūsdienās pieejams ir lielai daļai iedzīvotāju, kaut arī agrāk tas bija tikai pieejams šaura loka cilvēkiem. Tas mūsdienās tiek lietots lielās kompānijās, universitātēs, kā arī dažādos privātajos tīklos. Šīs sistēmas nodrošina drošu un uzticamu informācijas pārraidi.

Mūsdienās ir svarīgs fakts, ka priekš optiskajiem sakariem nav nepieciešams varš. Optiskajai šķiedrai ir arī daudz citas labas īpašības, kā piemēram, tas ir piemērots pie informācijas pārraides pie stipriem elektromagnētiskiem traucējumiem [1].

Kā savu bakalaurs tēmu tika izvēlēta “Makrolocījumu zudumu novērtējums optiskajās pārraides sistēmās”, jo mūsdienās šī tēma ir aktuāla. Daudzi varbūt pat to, lietojot mājas, nezina, kādas viņu darbības var radīt nopietnus traucējumus interneta ātruma pārraidei, kuri var rasties deformācijas dēļ. Tāpēc būtu svarīgi zināt, kā novērst dažādus makrolocījumus, lai tie neietekmētu signāla vājinājumu.

Mērķis:

Izpētīt makroizliekumu ietekmi uz vienmodas optisko šķiedru pie 1310 nm un 1550 nm viļņa garumiem.

Uzdevumi:

1. Izpētīt optiskās šķiedras uzbūvi, klasifikāciju, kā arī gaismas viļņa izplatīšanos optiskajā šķiedrā.
2. Izpētīt signāla vājinājuma cēloņus optiskajā šķiedrā.
3. Novērtēt, kā gaismas stars pārvietojas makrolocījumu vietās optiskajā šķiedrā.
4. Izpētīt laboratorijā, kā, mainot makroliekuma diametru no 11 mm līdz 30 mm, mainās signāla jaudas līmenis G.652.A un G.655.D tipa vienmodu šķiedrām pie 1310 nm un 1550 nm lieliem viļņa garumiem.
5. Salīdzināt makrolocījumu ietekmi uz vājinājumu G.652.A un G.655.D tipa šķiedrām pie 1310 nm un 1550 nm viļņa garuma atkarībā no makrolocījuma diametra.
6. Izpētīt laboratorijā makrolocījumu vājinājumu ietekmi G.652.A un G.655.D tipa šķiedrām, ja tā nepareizi uztīta uz uzmavas vai paneļa pie 1310 nm un 1550 nm viļņa garumiem.

# 1. OPTISKĀS ŠĶIEDRAS KLASIFIKĀCIJA UN PIELIETOJUMS

## TELEKOMUNIKĀCIJU JOMĀ

### 1.1. Optiskā šķiedra sakaru sistēmās

Optiskās šķiedras uzdevums ir pārraidīt no viena punkta uz citu punktu informāciju gaismas veidā. Atšķirībā no vara kabeļiem ir tāda, kad optiskajiem kabeļiem nav elektriska rakstura.. Optiskās šķiedras pārraides sistēma sastāv no raidīšanas iekārtas, kas pārveido elektrisko signālu uz gaismas signālu un vēlāk gaismas signāls tiek pārraidīts pa optisko šķiedras kabeli uz uztvērēju, kas saņem signālu un pārveido to atpakaļ par elektrisku signālu. Optisko šķiedru sistēmas var būt dažāda veida sarežģītības līmeņi arī atkarībā pēc kuriem mainītos pašizmaksa, lai uzbūvēt tādu sistēmu. Vienkāršs piemērs varētu būt lokālais tīkls. Cik daudz informācijas pārraidīt ir pietiekami un cik tālu tai jātiek? Šis ir viens no jautājumiem, kas ir jāpatur prātā veidojot savas sakaru sistēmas.

Optisko šķiedru sistēmām ir daudz priekšrocību salīdzinājumā ar metālisku bāzētām komunikāciju sistēmām. Viens no svarīgiem faktoriem būtu:

- 1) Tālākas distances signāla pārraide. Tas ir iespējams tādēļ, kad optiskajā šķiedrā ir mazāks vājinājums. Kamēr uz metāliem bāzētās sistēmas ir nepieciešami signāla atjaunotāji ik pēc pāris kilometriem, lai nodrošinātu apmierinošu kvalitāti, tikmēr optiskajā šķiedrā tās var sasniegt pat simtiem kilometru garas distances bez signāla atjaunošanas.
- 2) Noteicošs faktors ir arī liela caurlaidība, mazs svars un izmēri. Šodien programmatūras prasa arvien lielāku joslas platuma daudzumu, tādēļ ir svarīgi ņemt vērā telpas ierobežojumus. Kļūst arvien populārāk, kad ir nepieciešams jau esošā sistēma pievienot jaunus kabeļus. Mazie izmēri un svari ļauj to paveikt aizņemot ļoti maz vietas viņu vidē.
- 3) Gara, nepārtraukta līnija arī ir viena no priekšrocībām, lai uzstādītu klientam pakalpojumu. Mazais diametrs padara to tik praktisku, kad ir iespējams ražot un uzstādīt optisko kabeli daudz lielākā distancē nekā metālisko kabeli. Daudzmodu kabeļus parasti ražo ap 2km, vai pat vairāk, bet viss tomēr lielākoties ir atkarīgs no pasūtītāja.
- 4) Vienkārša uzstādīšana un uzturēšana padara optisko šķiedru daudz lētāku. Optiskās šķiedras kabeļus var uzstādīt ar vienām un tām pašām iekārtām, ko izmanto vara kabeļu un koaksiālo kabeļu ierīkošanai, ar dažām izmaiņām, kas ir saistītas ar nelielu izmēru

un optisko kabeļu liekuma rādus. Optiskos kabeļus var uzstādīt cauruļvadu sistēmās, kuras ir 6km garas, vai atkarībā no kanāla stāvokļa, kanāla sistēmas izkārtojuma un uzstādīšanas tehnikas. Sistēmas projektētāji parasti plāno optiskās sistēmas, lai tās kalpotu 15 līdz 20 gadiem. Kaut gan to ir grūti prognozēt mūsdienās. Mūsdienās ir izdevīgāk uzstādīt ar rezervi, nekā papildus kabeļus uzstādīt vēlāk.

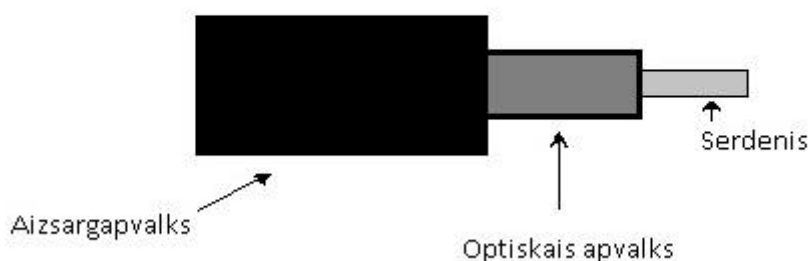
- 5) Viena no īpašībām ir to dielektriskā rakstura īpašība. Tā kā optiskajā šķiedrā nav metāla sastāvdaļu to var uzstādīt apgabalos, kur ir elektromagnētiskie traucējumi.
- 6) Mūsdienās visnotaļ drošība arī ir viens no galvenajiem faktoriem. Optiskās šķiedras dielektriskā rakstura dēļ, attālināti nav iespējams noteikt, kas tiek pārraidīts pa kabeli. Vienīgais veids, kā to piekļūt tādai informācijai, ir fiziski piekļūstot optiskajai šķiedrai. Piekļūstot klāt šķiedrai fiziski, ir iespējams detektēt drošības instancēm [2].

## 1.2. Šķiedras struktūra un darbības principa analīze

Optiskā šķiedra sastāv no trim galvenajām sastāvdaļām:

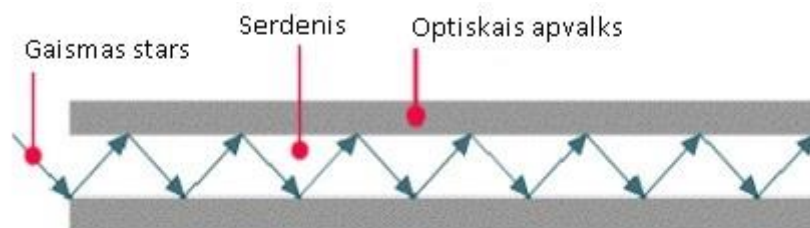
- Serdeņa;
- Optiskā apvalka;
- Apkārtējā apvalka.

Serdeņa galvenā funkcija ir pārraidīt elektromagnētisko enerģiju. Kas ir svarīgi optiskajā šķiedrā, tas ir laušanas koeficients. Tam optiskajā apvalkā ir jābūt mazākam par laušanas koeficientu serdenī, kā arī mazākam par 1% [3].



1.1.att. Optiskās dzīslas struktūra.

Ja gaismas stars, kas pārvietojas vienā materiālā sasniedz atšķirīgu materiālu un atgriežas atpakaļ sākotnējā materiālā bez jebkādiem zudumiem, tad rodas pilnīga iekšējā atstarošanās. Lai panāktu pilnīgu iekšējo atstarošanos, laušanas koeficientam serdenī ir jābūt lielākam nekā optiskajā apvalkā. Mēs izpētīsim gaismas stara kustību pa serdeni tikai divdimensiju plaknē, jo dzīvē, tas izpaužas mazliet sarežģītāk, jo tur ir trīs dimensiju plakne.



1.2.att. Pilnīga iekšējā atstarošanās optiskajā dzīslā [1].

Pilnīga iekšējā atstarošanās rodas, kad krītošā stara leņķis ir lielāks nekā kritiskais leņķis, pēc Snēlliusa likuma (1.1) :

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \gamma, \quad (1.1)$$

kur  $n_1, n_2$  – attiecīgi ir laušanas koeficienti serdenī un optiskajā apvalkā;

$\alpha, \gamma$  – attiecīgi ir krišanas un atstarošanās leņķi.

Lai iegūtu kritisko leņķi, formulā (1.2)  $\gamma$  vietā ir jāievieto  $90^\circ$  un jāveic mazas izmaiņas, līdz ar to beigās iegūsim kritisko leņķi [4].

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1.2)$$

### 1.3. Optiskās šķiedras veidi

Optiskā šķiedra sastāv no diviem galvenajiem veidiem. Viens no tiem ir SMF (Vienmodu šķiedra, no angļu valodas – “*Single Mode Fiber*”), ar mazu serdeni, kas iedarbojas uz gaismas viļņiem tā, lai tie paliktu vienā un tajā pašā modā. Līdz ar to, gaismas signāls tiek pārraidīts, līdz ir nepieciešamība to pastiprināt. Liela daļa tālsakaru komunikācijas sistēmu izmanto SMF optisko šķiedru. Otrs veids ir daudzmodu optiskā šķiedra, kas ir ar daudz lielāku serdeni nekā vienmodu šķiedra. Līdz ar to gaismas viļņiem ir vairāk vietas pārvietojoties dzīslā. Dēļ tā daudzmodu šķiedrā rodas vairāk zudumu. Jo šķiedrā radīsies vairāk zudumu, radīsies nepieciešamība pēc mazākas distances signālu atjaunot un pastiprināt. Daudzmodu optiskā šķiedra ir spējīga pārraidīt līdz 30% informācijas, ko spēj vienmodu šķiedra, kā arī, to nespēj pārraidīt tik lielā distancē. Tabulā 1.1 ir apkopoti dati par optiskās šķiedras tipiskākajiem serdeņa un optiskā apvalka izmēriem [5].

Starpība starp serdeņa diametru 50  $\mu\text{m}$  un 62.5  $\mu\text{m}$  ir tāda, kad Amerikā lieto citu mērvienību sistēmu un līdz ar to ir lielāks serdeņa diametrs. Amerikā izmanto MMF (Daudzmodu optiskā šķiedra, no angļu valodas – “*Multi Mode Fiber*”) ar diametru 62.5  $\mu\text{m}$ , bet Eiropā MMF izmanto ar 50  $\mu\text{m}$  diametru. Atšķirība starp šīm sistēmām ir tāda, kad var pārraidīt ar to pašu ātrumu kā, tikai divtik lielākā attālumā [6].

1.1. Tabula

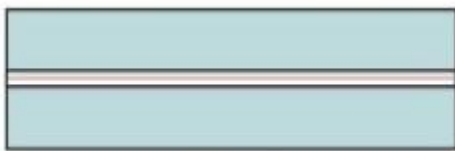
Optiskās šķiedras serdeņa un optiskā apvalka diametru izmēri.

Serdeņa diametrs, $\mu\text{m}$	Optiskais apvalks, $\mu\text{m}$
8	125
50	125
62.5	125

Tīklu inženieri dod priekšroku MMF (Daudzmodu optiskā šķiedra, no angļu valodas – “*Multimode Fiber*”) tādās vietās kā, biroju ēku, vai LAN (Vietējā tīklā, no angļu valodas – “*Local Area Network*”), jo šāda veida tehnoloģija ir lētāka. Līdz ar to var iedalīt divas galvenās grupas :

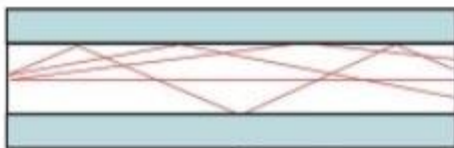
1. Pakāpjveida šķiedra
  - 1.1. Vienmodu
  - 1.2. Daudzmodu
2. Gradientveida šķiedra

Pakāpjveida šķiedras tipam ir asas robežas starp serdeni un optisko apvalku ar skaidri definētu refrakcijas indeksu. Viscaur serdeni ir viens un tas pats refrakcijas koeficients. Vienmodu šķiedrā serdeņa diametrs ir 5 līdz 10  $\mu\text{m}$ , kas ļauj tikai vienam gaismas viļņam plūst caur to. Optiskais apvalks parasti ir 125  $\mu\text{m}$  biezs. Viens no iemesliem, kādēļ optiskajam apvalkam ir jābūt apmēram 10 reižu lielākam ir tāds, lai padarīti OŠ (Optiskā šķiedra, no angļu valodas – Optical Fiber) drošāku pret izliekumiem [7].



1.3. att. Vienmodu šķiedra [8].

Pakāpjveida daudzmodu šķiedra ir visparastākais šķiedras tips. Serdeņa diametrs ir apmēram no 100  $\mu\text{m}$  līdz 1000  $\mu\text{m}$ .

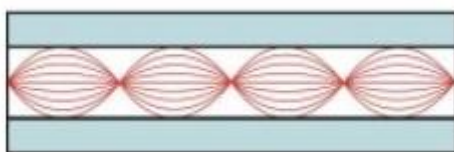


1.4. att. Pakāpjveida daudzmodu šķiedra [8].

Attēlā 1.4 ir parādīts, gaismas stara izplatīšanās trajektorija, tie atstarojas ar dažādiem leņķiem un līdz ar to gaismas staru trajektorijas ir atšķirīgas. Ja gaismas staru trajektorijas būs atšķirīgas, tad var secināt to, kad šķiedras galā, gaismas stari pienāks atšķirīgos laikos. Šī parādība ir modes dispersija. Parasti modes dispersijas vērtība ir robežās no 15 līdz pat 30 ns/km. Tas nozīmē to, kad optiskajā šķiedrā izplatoties gaismas pa 1 km garu distanci parādās signālu nobīde par 15 līdz 30 ns. Uz caurlaides joslu atstāj iespaidu modes dispersiju, jo gaismas

impulsi pārklājas, kamēr nonāk līdz klientam, un līdz ar to daļa no informācijas pazūd. Ja modes dispersiju samazina, tad caurlaides josla palielināsies.

Lai samazinātu dispersijas ietekmi var izmantot gradientveida šķiedru. Tas ir iespējams tādēļ ka serdenis sastāv no vairākiem slāņiem. Jo tālāk no serdeņa, jo būs mazāks laušanas koeficients tālākajos slāņos. Šeit katrs no slāņiem vienmērīgi atstaro gaismu, un līdz ar to laušanas koeficients būs zemāks un gaismas stari nonāks šķiedras galā gandrīz vai vienlaicīgi. Ar šo metodi, ir iespējams samazināt dispersiju līdz pat 1 ns/km.



1.5. att. Gradientveida daudzmodu optiskā šķiedra [8].

Līdz ar šo modes dispersijas samazinājumu, izriet tas, kad gradientveida optiskajai šķiedrai būs lielāks joslas platums nekā pakāpjveida daudzmodu optiskajai šķiedrai. Bet tomēr tāpat joslas platums ir mazāks nekā vienomdu optiskajai šķiedrai. Šajā šķiedrā parasti izmanto serdeni ar dažāda veida diametriem, kā piemēram, 50, 62.5 un 100  $\mu\text{m}$ . Pielietojums ir lielākoties priekš vidēja attāluma komunikācijām, kā piemēram, lokālais tīkls.

Katrai no šīm optiskajām šķiedrām ir atšķirīgas fizikālās īpašības. Kā pirmo varu minēt ieejas un izejas impulsu starpību. Otrā īpašība ir saistīta ar stara izplatīšanās trajektoriju. Tad arī šīm šķiedrām atšķiras laušanas koeficienta vērtība, bet tādā ziņā, kad laušanas koeficients mainās atkarībā no attāluma no serdeņa centra [7].

## 1.4. Kopsavilkums

Par šo nodaļu var secināt, kad optiskā šķiedra ir laba vide priekš informācijas pārsūtīšanas, tikai to ierobežo elektronikas attīstības. Salīdzinājumā ar informācijas pārraidi izmantojot vara kabeli, optiskā šķiedra piedāvā pārraidīt daudz lielāku informācijas daudzumu lielākā attālumā ar mazākiem zudumiem. Informācijas daudzums ir pārraidīto bitu skaits sekundē. Informācija tiek pārraidīta tādā veidā, ka jau kodēta informācija ciparu veidā tiek pārraidīta pa OŠ ar gaismas elektromagnētisko viļņu palīdzību. Tie tiek padoti ar LED (Gaismu emitējoša diode, no angļu valodas – “*Light Emitting Diode*”) vai lāzera gaismas avota palīdzību, pēc tam tie atstarojās OŠ iekšienē no serdeņa un optiskā apvalka robežām, līdz signāls nonāk līdz detektoram. Šķiedra sastāv no aizsargapvalkiem, optiskā apvalka un serdeņa. Informācijas pārraide parasti notiek pa serdeni un optisko apvalku. Parasti serdeni un optisko apvalku taisa no stikla ar dažādiem piemaisījumiem, vai plastikas. Viss ir atkarīgs no kabeļa pielietošanas mērķa. Viena no galvenajām lietām, kas ir jāievēro ir laušanas koeficientu mazā starpība. Optiskā apvalka laušanas koeficientam ir jābūt mazliet mazākam nekā serdeņa laušanas koeficientam, līdz ar to tiks nodrošināti apstākļi, lai pārraidot gaismas impulsus notiktu pilnīga iekšējā atstarošana. Lai pārraidītu informāciju parasti tiek izmantoti viļņa garumi ar šādiem lielumiem :

- 1) 850 nm,
- 2) 1300 nm,
- 3) 1550 nm.

Dēļ lielajām frekvencēm ir iespējams pārraidīt daudz lielāku informācijas daudzumu nekā vara kabelī. Lielāka viļņa garuma vērtība nodrošina to, kad būs mazāki jaudas zudumi līnijā. Optiskā šķiedra tiek iedalīta vienmodu, daudzmodu gradientveida un pakāpjveida šķiedrās. Daudzmodu pakāpjveida šķiedra tiek mazāk lietota nekā vienmodu vai daudzmodu gradientveida šķiedru, jo tai piemīt lieli zudumi izejā. Daudzmodu šķiedru vairāk izmanto iekšējos LAN tīklos, bet vienmodu šķiedru tālsakaru sistēmās, kā piemēram, starp bāzes stacijām.

## 2. OPTISKĀS ŠĶIEDRAS SVARĪGĀKIE PARAMETRI UN ĪPAŠĪBAS

### 2.1. Joslas platuma un dispersijas analīze

Joslas platums nozīmē cik daudz impulsu ir iespējams pārsūtīt pa OŠ pa noteiktu distanci, lai uztvērēja galā varētu atjaunot tos. Bet ir robežas, cik impulsus var pārraidīt. Daudzmodu OŠ limitāciju uzliek dispersija, jo pie noteiktas distances un frekvencēm tie sāk pārklāties līdz vairāk nav iespējams atjaunot impulsu secību. Mērvienība, kādā tiek noteikts joslas platums ir MHz uz km. Kā piemēru varam apskatīt 200 MHz·km. Tas nozīmē to, kad 200 miljonu gaismas impulsi tiks pārraidīti vienā sekundē pa vienu km garu optiskā kabeļa līniju, tādā veidā, lai impulsus uztvērējā varētu atjaunot [9].

Dispersija ir gaismas impulsu izplešanās laikā, kamēr tas tiek pārraidīts caur optisko šķiedru. Impulsiem ir tendence pārklāties, līdz vairāk nav iespējams uztvērēja pusē nolasīt vai ir pienākusi 0 vai 1. To var apskatīt 2.1.attēlā. Līdz ar to tiek pazaudēta informācija. Hromatiskā dispersija parādās tādos gadījumos, kad tiek izmantota dažāda viļņa garuma gaismas avoti. Gaisma no lāzera un gaismu izstarojoša diodes sastāv no dažāda viļņa garumiem. Katrs no viļņa garumiem izplatās ar dažādiem ātrumiem. Garākā distancē, dažādie viļņa garumi izraisa gaismas impulsam izplesties laikā. Modālā dispersija ir izplatīta daudzmodu šķiedrā, kur dažādas gaismas modas pārraidot pa OŠ uztvērēja galā pienāk dažādos laikos, izraisot izplešanās efektu. Tas notiek tādēļ, kad modas atstarojās dažādos leņķos optiskajā šķiedrā un līdz ar to katram ir savādāks ceļš, kas jāveic [10].



2.1.att. Dispersijas ietekme uz ieejas signālu [10].

## 2.2. Vājinājuma novērtējums optiskajā šķiedrā

Gaismas signāla jaudas samazināšanos sauc par rimšanu, kas rodas kamēr gaisma tiek pārraidīta pa OŠ. Zudumi optiskajā šķiedrā un vara vados rodas no dažādiem avotiem, bet ienes vājinājumu tāpat. Vājinājums ir procentuāls jaudas, sprieguma, vai strāvas samazinājums uz garuma vienību. Līdz ar to, OŠ ar mazāku vājinājumu lielāka daļa jaudas sasniegs uztvērēju nekā gadījumā, kad kabelī būs lielāks vājinājums. 50% jaudas zudumu ir vienāds ar 3 dB vājinājumu. Vājinājumu var aprēķināt pēc 2.1. formulas :

$$\alpha = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{ieejā}}{P_{izejā}}\right), \quad (2.1)$$

kur  $P_{ieejā}$  – Jaudas ieejā;

$P_{izejā}$  – Jauda izejā.

Bet, lai varētu novērtēt vājinājumu uz garuma vienību, ir jāizmanto 2.2. formula:

$$\alpha \cdot l = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{ieejā}}{P_{izejā}}\right), \quad (2.2)$$

kur  $l$  – optiskās šķiedras garums.

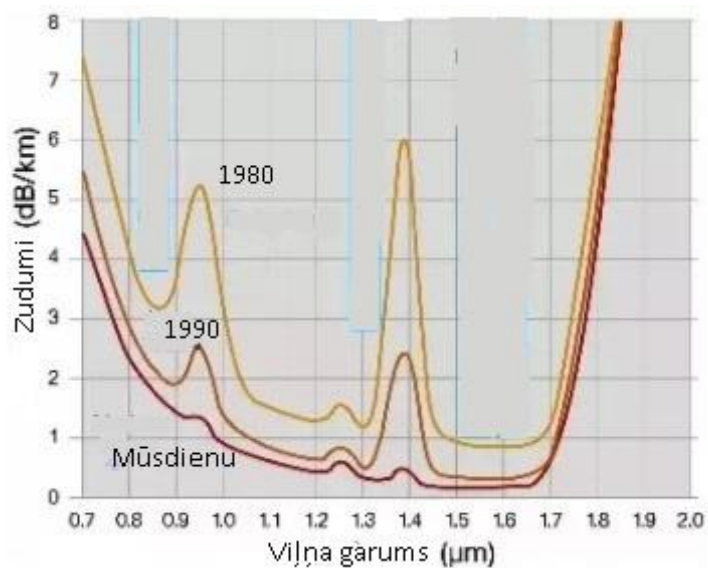
Vispārināti zudumus sastāda divas komponentes, kas ir pašvājinājums un papildvājinājums. Papildvājinājumu nosaka mikrolocījumi, makrolocījumi, kā arī vijumu skaits. Bet pašvājinājumu nosaka absorbcijas zudumi un izkliedes zudumi.

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_k, \frac{dB}{km}, \quad (2.3)$$

kur  $\alpha_p$  – pašvājinājums;

$\alpha_k$  – kabeļa vājinājums.

Gadu laikā kopš optiskā šķiedra tiek ražota, vājinājums uz kilometru ir samazinājies, jo ir bijuši uzlabojumi OŠ ražošanā, lai iegūtu tīrāku silīcija materiālu un samazinātu skābekļa absorbciju [11]. Detalizētāk to var redzēt 2.1. attēlā



2.2.att. Zudumu līmeņa salīdzinājums optiskajā šķiedrā [10].

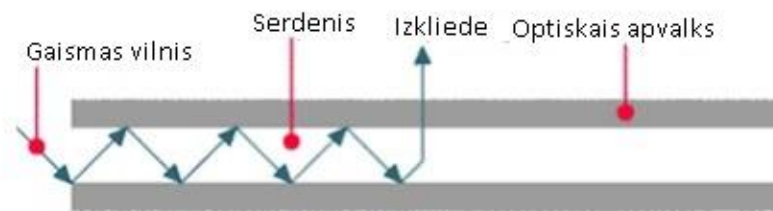
Vājinājuma cēloņus var iedalīt divās kategorijās, ko var apskatīt 2.1.tabulā.

2.1.Tabula

Iekšējo un ārējo cēloņu ietekme uz zudumiem.

Iekšējie		Ārējie	
Izkliede	Absorbcija	Makrolocījumi	Mikrolocījumi

Tātad par iekšējiem cēloņiem, kas rada vājinājumu. Viens no iemesliem ir izkliede, kas rada vislielāko daļu no zudumiem (aptuveni 96%). Rodas ražošanas procesā, dēļ piemaisījumiem. Kad gaismas viļņi tiek pārraidīti caur serdeni, gaismas viļņiem traucē dažādi atomi. Līdz ar to saduroties ar tiem, tiek izmainīts krišanas leņķis un vairāk nenotiks pilnīga iekšējā atstarošanās un līdz ar to tiek pazaudēta daļa no enerģijas. Varbūt arī iespējams, ka pēc sadursmes tomēr krišanas leņķis ir lielāks par kritisko leņķi un neradīsies zudumi. To var apskatīt 2.3. attēlā .

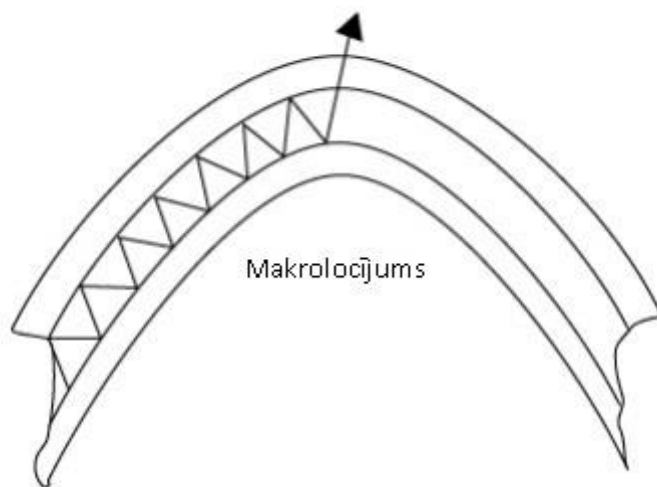


2.3.att. Izkliedes process [1].

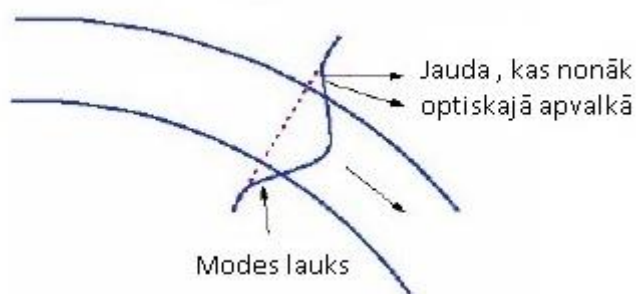
Vēl viens no iekšējiem cēloņiem, kas rada zudumus ir absorbcija. Absorbcija ir viendabīga, jo viens un tāds pats materiāls ar tādu pašu daudzumu, vienmēr absorbēs vienu un to pašu viļņa garuma vienmērīgi. Piemēram trīs vienāda tipa stikla bloki, katrs no tiem vienu centimetru biezš absorbēs tādu pašu gaismas daļu, kas to šķērsos. Absorbcija ir arī kumulatīva, jo tā ir atkarīga arī no kopējā gaismas daudzuma kas to šķērsos. Piemēram, ja absorbēts tiek 1 % gaismas uz pirmajā centimetrā, tad nākošajā centimetrā tiks absorbēts 1% no atlikušās gaismas daudzuma. Viens no absorbcijas veidiem ir iekšējā absorbcija . To izraisa gaismas izplatīšanās vilnis mijiedarbojoties ar dažādām stikla sastāvdaļām. Bet šādā veidā tiek radīta mazākā daļa no zudumiem OŠ un to var novērst tikai nomainot OŠ materiālu. Dažādi piemaisījumi arī rada ietekmi uz zudumiem. Kā piemēram, dzelzs, vara, hroma joni, kas ir šķīdri no ražošanas procesa, jo tos satur ūdens [12].

Makrolocījumi rada zudumus OŠ, kad liekuma rādiuss ir pārāk mazs un līdz ar to vājinājums kļūst daudz lielāks. Tas ir tādēļ, ka krišanas leņķis ir mazāks nekā kritiskais leņķis un līdz ar to daļa no jaudas nonāk optiskajā apvalkā. Ko var apskatīt tuvāk 2.4. attēlā. Par to, ka ir radušies zudumi makrolocījuma dēļ var noteikt izmantojot jaudas līmeni bez locījuma un jaudas līmeni ar locījumu. Un salīdzināt, vai jaudas līmenis ar locījumu ir mazāks nekā bez locījuma. Ja tas tomēr ir mazāks, tad var secināt, kad šajā locījumā rodas zudumi pārraidot gaismas signālu.

Par piemēru varam apskatīt makrolocījumu ietekmi vienmodu šķīdri. Kad notiek liekuma rādiusa izmaiņas, tiek radīta modes lauka nesaskaņotība. Modes lauks ir tāda parādība, kad daļa no jaudas izplatās pa optisko apvalku. Šādus zudumus parasti sauc par pārejas zudumiem. Pārejas zudumi rodas tādēļ, kad pie izliekuma modes laukam ārējā daļā ir jāpārvietojas ātrāk nekā, pa iekšmalu lai saglabātu viļņu fronti. Tā kā tas nav iespējams, tad daļa no enerģijas pāriet uz optisko apvalku. Palielinoties serdeņa diametram rodas lielāka modes lauka nesaskaņotība, jo jaudai ir jāizplatās ātrāk un līdz ar to rodas lielāki zudumi.



2.4.att. Makrolocījums optiskajā šķiedrā [1].



2.5.att. Lauku modes zudumi makrolocījumu vietā.

Makrolocījumus vienmodu šķiedrā var novērtēt pēc 1 formulas :

$$\alpha \left( \frac{dB}{m} \right) = \exp \left[ 8.5 - 519 \cdot D \cdot \left( \frac{\lambda_{ce}}{\lambda \cdot MFD} \right) \right], \quad (2.4)$$

kur D – liekuma diametrs milimetros;

$\lambda_{ce}$  – efektīvais šķiedras viļņa garums;

$\lambda$  – izmantotais viļņa garums;

MFD – modas lauka diametrs.

MFD (Modas lauka diametrs, no angļu valodas “*Mode Field Diameter*”) ir faktiskais diametrs pa kuru tiek pārraidīts gaismas impulss.

Efektīvo šķiedras viļņa garumu var noteikt pēc 1.1. formulas:

$$\lambda_{ce} = \frac{\pi \cdot D \cdot \sqrt{n_0^2 - n_1^2}}{2.4} \quad (2.5)$$

kur D - serdeņa diametrs ;

$n_0$  – laušanas koeficients serdenim;

$n_1$  – laušanas koeficients optiskajam apvalkam [13].

Lai varētu teorētiski aprēķināt makrolocījumu ietekmi uz zudumiem ir nepieciešami refrakcijas koeficienti serdeņa un optiskā apvalka. Tā kā, dokumentācijā par G.652.A un 6.655D šķiedru nav minēti šie koeficienti, tad teorētisko ietekmi šajā darbā autors neapskata.

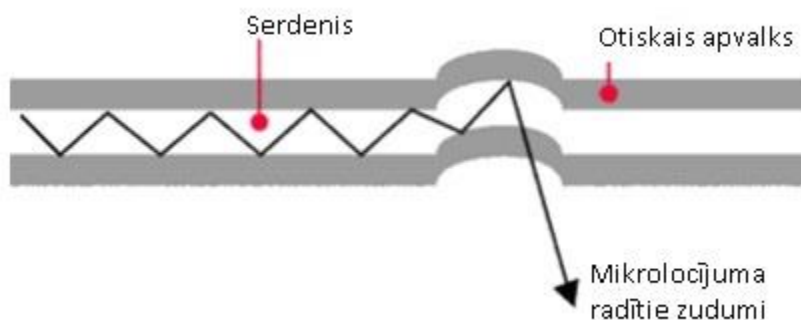
Tā kā makrolocījumi ir locījumi, kas pārsniedz minimālo atļaujamo liekuma rādiusu, tad var arī noteikt tuvināti minimāli noteikto šķiedras izliekuma rādiusu, ko var aprēķināt ar formulu:

$$R_{izl} \approx \frac{3n_0^2 \lambda}{4\pi(n_0^2 - n_1^2)^{3/2}}, \quad (2.6)$$

No 2.6 formulas var secināt, kad minimālais liekuma rādiuss ir atkarīgs no izmantotā viļņa garuma, laušanas koeficienta serdenim un optiskajam apvalkam. Laušanas koeficients ir skaitliska vērtība, kas parāda cik reižu samazinās elektromagnētiskā viļņa ātrums salīdzinājumā ar gaismas ātrumu vakuumā. Gaismas ātrums vakuumā ir  $3 \cdot 10^8$  m/s [14].

Viens no faktoriem, kas ietekmē uz zudumiem ir mikrolocījumi. Tie ir radītie bojājumi ražošanas procesā, vai šķiedras uzstādīšanas procesā. Mikrolocījumi rodas parasti saskrēšanās vietās starp serdeni un optisko apvalku. Piemēram uzstādīšanas laikā uz šķiedras tika novietots

kāds smags priekšmets un līdz ar to radās neatgriezeniskas sekas. Mikrolocījumus, atšķirībā no makrolocījumiem nav iespējams novērst, jo tie rodas OŠ iekšienē, skatīt 2.6.att.. OŠ ražošanas procesā var rasties serdeņa ass nobīde par dažiem mikro metriem. Mikrolocījumi parasti rada no 1 līdz 2 dB/km vājinājumu. Mikrolocījumi jūtību ietekmē arī pārklāšanas procesa izraisīti bojājumi, piemēram, pārklājuma izmēru svārstības, tādu daļiņu kā krāsas pārklājuma pigmentu klātbūtne, kā arī abrazīvo materiālu īpašības, kas var būt atšķirīgas gar stikla šķiedras asi.

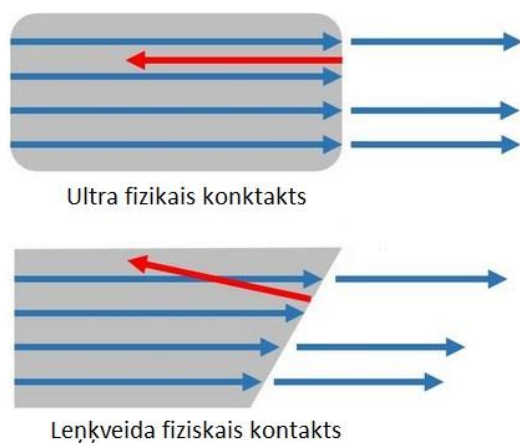


2.6.att. Mikrolocījumu piemērs optiskajā šķiedrā [1].

Viens no faktoriem, kas ietekmē uz kopējo vājinājumu ir savienojumu ienestais vājinājums. Pastāv dažāda veida savienotāji, kā piemēram, izjaucamie un neizjaucamie savienotāji. Savienotājs ir iekārta, kuru izmanto dažādu šķiedru savienošanai, tādā veidā, lai pēc iespējas mazāks būtu ienestais vājinājums. Kā neizjaucamo savienotāju var uzskatīt OŠ metinājuma vietu, jo teorētiski, tas ir šķiedras savienojums [15].

Bet kā izjaucamos savienotājus apskatīsim SC-APC un FC-UPC tipa. Sākumā noskaidrosim, kāda ir atšķirība starp APC (APC – Angled Physical Contact – Leņķveida fizisks savienojums) un UPC (Ultra Physical Contact -Ultra fiziskais kontakts). Galvenā atšķirība starp APC un UPC savienotājiem ir šķiedras gala plakne. UPC savienotājiem pulējums ir bez leņķa, bet APC savienotājiem, tas ir 8 grādu leņķī. UPC savienotājos jebkura gaisma tiek atstarota tieši atpakaļ uz gaismas avotu. Bet APC savienotāju gals atstaro gaismu leņķī pret optisko apvalku atpakaļ uz gaismas avotu. Līdz ar to ir jābūt uzmanīgiem, jo savienotāji rada atgriezeniskos zudumus. Atgriezeniskie zudumi tiek atstaroti tieši pretī gaismas avota izstarotajam signālam, kas var traucēt pārraidāmajam signālam. Kā arī tie var sabojāt gaismas avotu. Tādēļ UPC savienotājiem parasti vajadzētu būt -50 dB atgriezenisko zudumu, vai vairāk, bet APC sākot no -60 dB zudumiem. Šajā gadījumā, jo lielāki ir atgriezeniskie zudumi, jo labāk. Vēl viena no atšķirībām starp šiem savienotājiem ir krāsa. Parasti UPC savienotāji ir

zili, kamēr APC zaļi. Šīs atšķirības var apskatīt 2.7. attēlā. Attēlā 2.7 ar zilo staru ir apzīmēts gaismas avota izstarotais stars, bet ar sarkano staru tiek apzīmēts atstarotais stars no savienojuma vietas.

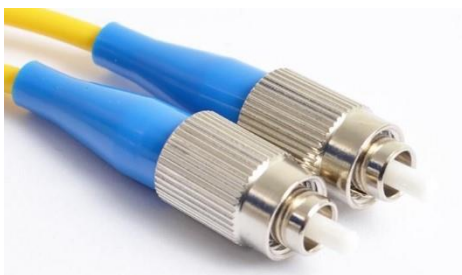


2.7. att. Atšķirība starp UCP un APC savienotāju [16].

Nav šaubu par to, kad no optiskās veiktspējas viedokļa APC savienotāji ir labāki nekā UPC. Pagaidām APC savienotāji vairāk tiek izmantoti sistēmās, kas ir jūtīgas uz atgriezeniskajiem zudumiem. Salīdzinot šos savienotājus ir jāņem vērā arī cena, vienkāršība. Tādēļ ir grūti spriest, kurš no šiem savienotājiem ir labāks. Viss ir atkarīgs no tā, priekš kāda mērķa tas ir nepieciešams. Ja tiks izmantots priekš mazāk jūtīgas sistēmas, tad var izmantot arī UPC savienotāju [16].



2.8.att. SC-APC tipa savienotājs.



2.9. att. FC-UPC tipa savienotājs.

SC (Standard Connector – Standarta savienotājs) savienotājus bieži izmanto jaunākām tīkla lietojumprogrammām. Tos bieži izmanto vienmodu sistēmās, dēļ to veiktspējas. Tie nodrošina precīzu saskarsmi izmantojot keramikas uzgaļus. Šis savienotājs arī ir viegli nofiksējams. Uzgalis parasti ir 2.5 mm diametrā ar aizsardzības apvalku. Parasti tie ir paredzēti 1000 pieslēgšanas cikliem un ienestais vājinājums ir vidēji 0.25 dB [17].

FC (Fixed Connector– Fiksēts savienotājs) savienotājs nosaukumu ir ieguvis tādēļ, kad tas tiek nofiksēts ar vītņotu cilindrisku korpusu. Tādēļ šos savienojumus ir grūtāk lietot. Šie savienotāji ir paredzēti lietošanā tādā vidē pie dažādām vibrācijām. Tas ir viens no populārākajiem uzgaļiem. FC savienotāji nodrošina ļoti augstu savienojuma precizitāti. Tie ir izgatavoti no metāla korpusa ar niķeļa kārtu ap to . Viņš ienes vidēji 0.25 dB lielu vājinājumu. Šis savienotājs ir paredzēts aptuveni 500 pieslēgšanas cikliem [18].

Datus par šiem savienotājiem autors apkopoja 2.2 tabulā.

2.2. Tabula

SC un FC savienotāju salīdzinājums.

Nosaukums	Pieslēgšanas cikli	Uzgaļa diametrs, mm	Ienestais vājinājums, dB
SC	1000	2.5	0.25-0.5
FC	500	2.5	0.25-0.5

### 3. MAKROLOCĪJUMU IETEKME UZ JAUDAS LĪMENI VIENMODU ŠĶIEDRĀ PRAKTISKĀ IZPĒTE

Lai varētu izpētīt liekuma rādiusa ietekmi uz zudumiem, tika izmantota G.652.A un G.655.D. šķiedra. Šo šķiedru raksturojums ir parādīts 3.1 un 3.2 tabulās.

3.1. Tabula

ITU-T rekomendācija G.652.A tipa vienmodu šķiedrai [19].

Parametrs	Vērtība
Serdeņa diametrs	8.6-9.5 $\mu\text{m}$
Optiskā apvalka diametrs	125 $\mu\text{m}$
Vājinājuma koeficients pie 1310 nm	0.5dB/km
Vājinājuma koeficients pie 1550 nm	0.4dB/km
Makrolocījumu zudumi pie 1550 nm	0.1dB pie 100vijumiem ( $r = 30\text{mm}$ )

3.2. Tabula

ITU-T rekomendācija G.655.D tipa vienmodu šķiedrai [20].

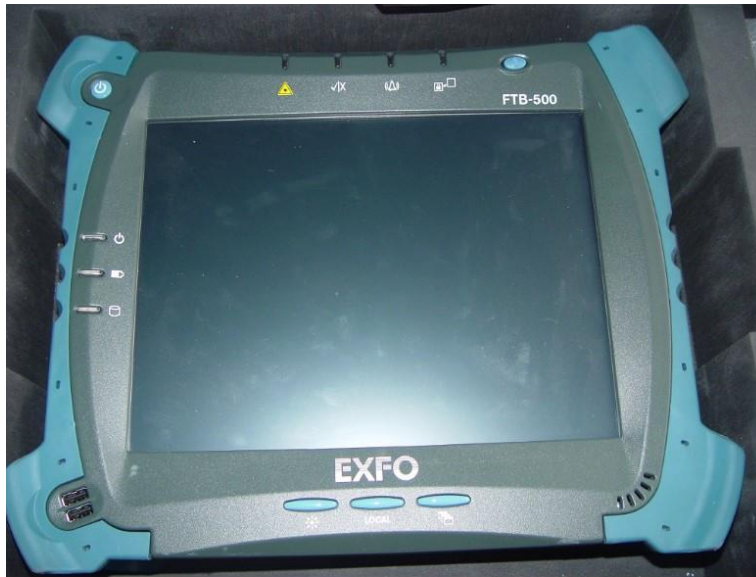
Parametrs	Vērtība
Serdeņa diametrs	8 $\mu\text{m}$
Optiskā apvalka diametrs	125 $\mu\text{m}$
Vājinājuma koeficients pie 1310 nm	0.35dB/km
Vājinājuma koeficients pie 1550 nm	0.4dB/km
Makrolocījumu zudumi pie 1550 nm	0.1dB pie 100vijumiem ( $r = 30\text{mm}$ )

Atšķirība starp G.652.A un G.655.D OŠ ir tāda, kad G.652.A šķiedrai ir augstāka hromatiskā dispersija, līdz ar to G.655.D šķiedra var pārraidīt tālāku distanci ar mazākiem zudumiem, ko arī apliecina 3.1 un 3.2 tabulas [21].

Vājinājuma koeficients G.652.A tipa šķiedrai ir par 0.15 dB/km lielāks nekā G.655.D šķiedrai pie 1310 nm viļņa garuma, bet pie 1550 nm viļņa garuma, vājinājuma koeficients ir vienāds.

Izmantotās iekārtas, priekš vājinājuma noteikšanas :

- EXFO FTB-500 jaudas mērītājs, skatīt 3.1.att.
- Divi gaismas avoti EXFO FLS-110 (1310, 1550 nm), skatīt 3.2. att.



3.1.att. EXFO FTB-500



3.2.att. EXFO FLS-110 [22].

EXFO FTB-500 ir OTDR (Optiskā laika joslas reflektometrs, no angļu valodas – “*Optical Time Domain Reflectometer*”), kas ir paredzēts OŠ optisko parametru mērīšanai, ar ko var notiekt vairākus parametrus. Bet tiem ir ierobežots dinamiskais diapazons, līdz kuram var veikt mērījumus (apmēram līdz 70dB), kas ir saistīts ar atstarotā signāla izkliedes mazo jaudu. Šāda veida iekārtas izmaksā ļoti dārgi.

EXFO FLS-110 ir optiskās gaismas avots OLS (Optiskais gaismas avots, no angļu valodas – “*Optical Light Source*”), ir gaismas avots (lāzerveida, LED, vai cits), kas tiek izmantots, lai izstarotu elektromagnētisko starojumu, lai varētu konstatēt defektus, pārrāvumus līnijā.

Lai spētu novērtēt, kā izmainās zuduma vērtība atkarībā no makroizliekuma rādiusa bija sākumā jāsadala optiskais kabelis. Autors izmantoja 96 dzīslu optisko kabeli “Hengtong GYFTY-24B4+72B1”. Viņš sastāv no 8 kūlīšiem, un katrā no tiem atrodas pa 12 optisko šķiedru dzīslām. Pirmās 24 šķiedras atbilst ITU-T G.655.D rekomendācijai, bet atlikušās ITU-T G.652. Sākumā tika atdalīti kūlīši apmēram 3 metru garumā. Sākumā veicām optiskās šķiedras sagatavošanu, lai varētu sākt izpēti. Tas tika paveikts šādi:

- 1) Tika noņemts aizsargapvalks ar specializētu instrumentu (skatīt 3.3.att.),
- 2) Ar izopropilspirtu tika notīrīta kūlīšu virsma,
- 3) Jāveic kabeļu attīrīšana no kevlāra diega (skatīt 3.4.att.),
- 4) Kūlīšu aizsargapvalka noņemšana (skatīt 3.5.att.).



3.3.att. Ārējā aizsargapvalka attīrīšanas process [23].



3.4.att. Kevlāra diega attīrīšanas process [23].



3.5.att. Kūlīšu aizsargapvalka attīrīšanas process [23].

Kad šis bija paveikts, tad izvēlējamies G.655.D un G.652.A tipa šķiedru. Lai varētu sākt veikt mērījumus, bija sākumā šķiedras vienā galā jāpiemetina FC (Fiksēt savienotājs, no angļu valodas “*Fixed Connector*”) – UPC (Ultra fizisks kontakts, no angļu valodas – “*Ultra Physical Contact*”) un otrā galā SC (Standarta savienotājs – no angļu valodas “*Standart*

Connector”) - APC (Leņķveida fizisks kontakts, no angļu valodas – “*Angled Physical Contact*”). Lai šo varētu paveikt, tika veikti metināšanas darbi :

- Noņemta tiek lakas kārtā abos šķiedras galos
- Ar tam paredzētu aprīkojumu, tika nošķelti abi šķiedras gali
- Ar izoprotilspirtu tiek notīrīti abi šķiedras gali
- Tiek uzlikta virsū aizsardzības caurulīte
- Ar metināšanas iekārtu tiek sametināti abi šķiedras gali
- Aizsardzības caurulīte tiek uzkarsēta virsū metinājuma vietai

Kad šis tika paveikts, tika pieslēgta optiskā šķiedra ar vienu galu pie gaismas avota, bet otrs gals tika pieslēgts pie jaudas mērītāja, kā parādīts 3.1. attēlā . SC-APC savienotāji tika slēgti pie gaismas avota, bet FC-UPC pie jaudas mērītāja. Tika veikti mērījumi pie dažādiem viļņa garumiem. Viens no viļņa garumiem bija 1310 nm, bet otrs 1550nm. Metinājuma vietas ienes zudumus optiskajā šķiedras līnijā, bet tie netraucē pētīt makrolocījumu ietekmi uz optiskās šķiedras līniju. Vienīgais metinājuma vietas ietekmē jaudas līmeni, ko mēs mēram, lai varētu noteikt vājinājumu. Sākumā veiksīm references mērījumus abām šķiedrām, rezultāti tika apkopoti 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 tabulās. Tālākajos aprēķinos izmantosim tās, lai iegūtu vājinājumu optiskajā šķiedrā.

Gaismas avotā tika uzstādīts nemodulēts gaismas signāls. Bet viļņa garumi tika izvēlēti 1310nm un 1550nm. Sākumā tika veikti references mērījumi, pie dažādiem līmeņiem jaudas līmeņiem, kā piemēram, augsta un zema līmeņa.

### 3.1. Tabula

References mērījumi G.652.A tipa šķiedrai pie augsta līmeņa signāla.

Nr.	References mērījums	1310nm	1550nm	kabelis
		dBm	dBm	
1	A-B	-17,6	-9,11	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
2	A-B	-17,59	-9,11	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
3	A-B	-17,6	-9,23	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
4	A-B	-17,59	-9,08	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
5	A-B	-17,58	-9,1	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
6	A-B	-17,63	-9,09	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
7	A-B	-17,58	-9,1	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
8	A-B	-17,62	-9,13	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
9	A-B	-17,6	-9,14	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
10	A-B	-17,61	-9,14	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)

11	A-B	-17,65	-9,18	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
12	A-B	-17,59	-9,17	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
13	A-B	-17,65	-9,12	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
14	A-B	-17,74	-9,09	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
15	A-B	-17,68	-9,07	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
Vidējā vērtība		-17,62	-9,12	

### 3.2. Tabula

References mērījumi G.652.A tipa šķiedrai pie zema līmeņa signāla.

Nr.	References mērījums	1310nm	1550nm	kabelis
		dBm	dBm	
1	A-B	-14,45	-6,11	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
2	A-B	-14,44	-6,1	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
3	A-B	-14,45	-6,23	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
4	A-B	-14,44	-6,08	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
5	A-B	-14,43	-6,09	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
6	A-B	-14,48	-6,08	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
7	A-B	-14,44	-6,1	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
8	A-B	-14,47	-6,13	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
9	A-B	-14,45	-6,14	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
10	A-B	-14,46	-6,15	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
11	A-B	-14,5	-6,18	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
12	A-B	-14,45	-6,22	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
13	A-B	-14,50	-6,11	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
14	A-B	-14,59	-6,09	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
15	A-B	-14,53	-6,06	FC(UPC)-G.655D -SC(APC)
Vidējā vērtība		-14,47	-6,13	

Ir redzams, kad pie mazāka jaudas līmeņa signāla jaudas līmenis tiek vājināts mazāk nekā pie lielāka jaudas līmeņa G.652.A tipa šķiedrai.

### 3.3. Tabula

References mērījumi G.655.D tipa šķiedrai pie augsta līmeņa signāla.

Nr.	References mērījums	1310nm	1550nm	kabelis
		dBm	dBm	
1	A-B	-18,03	-9,44	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
2	A-B	-17,48	-9,05	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
3	A-B	-17,57	-9,05	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
4	A-B	-17,55	-9,07	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)

5	A-B	-17,52	-9,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
6	A-B	-17,53	-9,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
7	A-B	-17,5	-9,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
8	A-B	-17,72	-9,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
9	A-B	-17,58	-9,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
10	A-B	-17,47	-9,04	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
11	A-B	-17,47	-9,04	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
12	A-B	-17,47	-9,03	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
13	A-B	-17,47	-9,02	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
14	A-B	-17,46	-9,1	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
15	A-B	-17,47	-9,01	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
Vidējā vērtība		-17,55	-9,08	

### 3.4. Tabula

References mērījumi G.655.D tipa šķiedrai pie zema līmeņa signāla.

Nr.	References mērījums	1310nm	1550nm	kabelis
		dBm	dBm	
1	A-B	-14,88	-6,44	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
2	A-B	-14,33	-6,05	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
3	A-B	-14,42	-6,05	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
4	A-B	-14,39	-6,07	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
5	A-B	-14,37	-6,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
6	A-B	-14,38	-6,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
7	A-B	-14,34	-6,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
8	A-B	-14,57	-6,07	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
9	A-B	-14,42	-6,06	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
10	A-B	-14,32	-6,04	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
11	A-B	-14,31	-6,04	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
12	A-B	-14,32	-6,03	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
13	A-B	-14,31	-6,03	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
14	A-B	-14,31	-6,1	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
15	A-B	-14,32	-6,01	FC(UPC)-G.652.A -SC(APC)
Vidējā vērtība		-14,49	-6,08	

Līdzīgu ietekmi rada arī uz G.655.D tipa šķiedru augstāks jaudas līmenis. Lai varētu sākt izpētīt jaudas līmeņa atkarību, no liekuma rādiusa tika izveidotas caurulītes ar šādiem diametriem : 30mm, 26mm, 24mm, 20mm, 18mm, 14mm un 11mm. Šādi caurulīšu diametri tika izvēlēti, pamatojoties uz eksperimentāliem mērījumiem un ITU rekomendācijām. Tā kā mēs neņemsim tik lielu vijumu skaitu lai pētītu makrolocījumu ietekmi, tad izvēlēsimies kā lielāko liekuma rādiusu 30mm. Katrai optiskai šķiedrai ir ieteiktais liekuma rādiuss, kādā ir ieteicams satīt OŠ, kas ir definēti ITU rekomendācijās, lai pēc iespējas rastos mazāks

vājinājums. Tabulās tiks atspoguļoti vidējie dati, lai samazinātu tabulu izmērus. Vidējie dati tika iegūti no četriem mērījumiem. Jaudas līmeņi tika mērīti pie dažāda tinuma skaita: 1, 2, 4, 6, 8, 10. Jaudas līmeņa mērvienība ir dBm. Jaudas līmeni aprēķināt var pēc šādas formulas

$$P(\text{dBm}) = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{ref}}}\right), \quad (3.1)$$

kur  $P_{\text{out}}$  - Izejas jauda;

$P_{\text{ref}}$  – References jauda, šajā gadījumā 1 mW [24].

### 3.5. Tabula

G.652.A šķiedras jaudas līmeņa atkarība no liekuma diametra pie dažāda vijumu skaita pie 1310 nm viļņa garuma.

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	-14,44	-14,45	-14,45	-14,45	-14,46	-14,47
26	-14,70	-14,70	-14,71	-14,71	-14,72	-14,72
24	-14,72	-14,72	-14,71	-14,70	-14,70	-14,71
20	-14,73	-14,76	-14,75	-14,73	-14,77	-14,79
18	-14,81	-14,78	-14,86	-14,93	-15,01	-15,14
14	-15,16	-15,35	-15,89	-16,06	-16,78	-17,57
11	-16,97	-18,69	-21,83	-24,40	-27,85	-32,32

### 3.6. Tabula

G.652.A šķiedras jaudas līmeņa atkarība no liekuma diametra pie dažāda vijumu skaita pie 1550 nm viļņa garuma.

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	-6,02	-6,03	-6,05	-6,07	-6,14	-6,15
26	-6,92	-7,22	-7,8	-7,86	-7,9	-8,16

24	-7,51	-7,75	-8,00	-8,40	-8,81	-9,03
20	-8,97	-9,10	-10,34	-10,99	-12,85	-13,33
18	-9,01	-10,40	-13,42	-15,44	-17,87	-19,90
14	-14,36	-22,93	-28,44	-36,01	-42,22	-45,81
11	-30,63	-44,73	-56,70	-62,30	-64,50	-67,30

Tabulās 3.5 un 3.6 var apskatīt iegūtos rezultātus signāla jaudas līmeņa atkarībā no diametra lieluma, pie nomodulēta signāla ar 1310 nm un 1550 nm viļņa garumiem G.652.A tipa šķiedrai.

### 3.7. Tabula

G.655.D šķiedras jaudas līmeņa atkarība no liekuma diametra pie dažāda vijumu skaita pie 1310 nm viļņa garuma.

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	-14,32	-14,33	-14,33	-14,32	-14,32	-14,33
26	-14,36	-14,36	-14,37	-14,37	-14,37	-14,37
24	-14,37	-14,37	-14,37	-14,38	-14,38	-14,37
20	-14,38	-14,40	-14,40	-14,47	-14,47	-14,47
18	-14,42	-14,43	-14,51	-14,59	-14,68	-14,74
14	-14,57	-15,06	-15,41	-16,02	-16,34	-16,92
11	-15,85	-17,60	-20,40	-21,34	-24,77	-26,16

### 3.8. Tabula

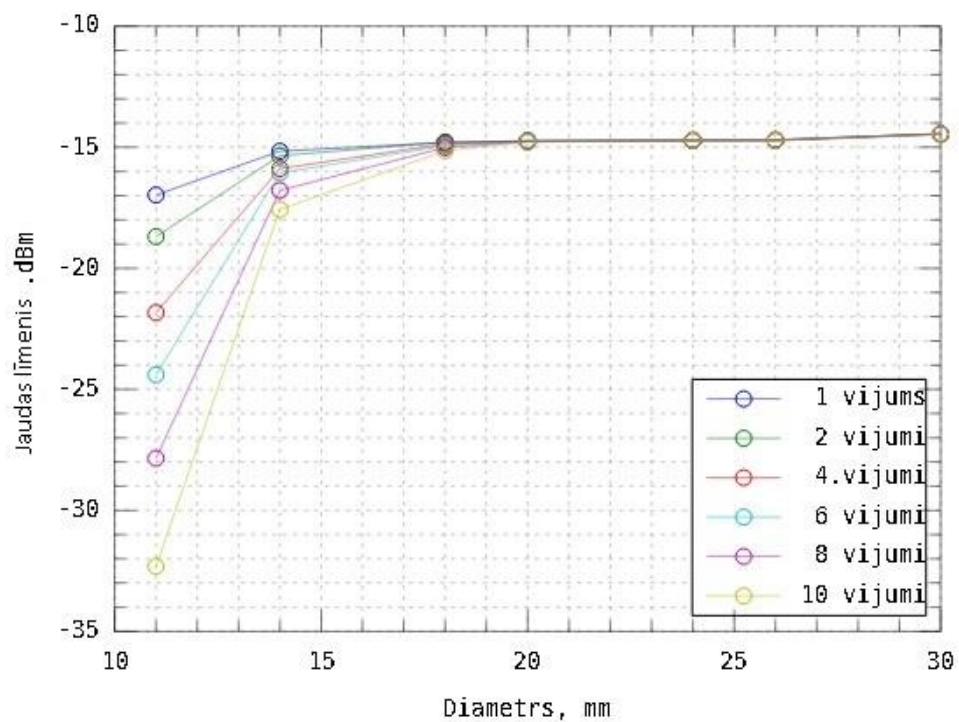
G.655.D šķiedras jaudas līmeņa atkarība no liekuma diametra pie dažāda vijumu skaita pie 1550 nm viļņa garuma.

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	-6,10	-6,11	-6,12	-6,16	-6,21	-6,28

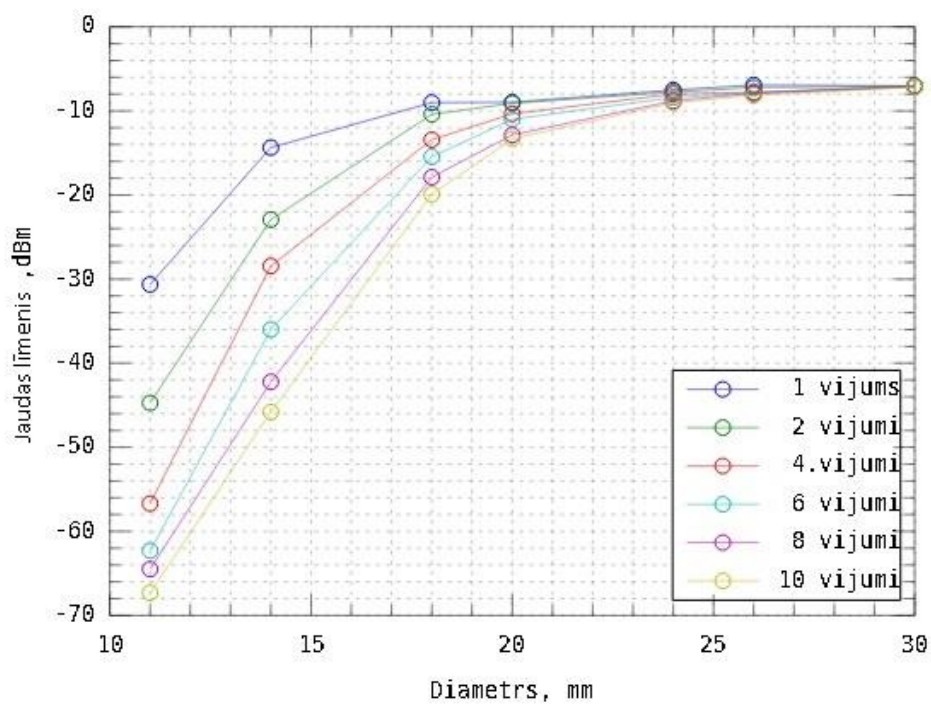
26	-6,35	-6,62	-6,81	-7,02	-7,37	-7,53
24	-6,55	-6,73	-6,96	-7,07	-7,20	-7,32
20	-6,53	-7,45	-8,58	-9,63	-11,01	-11,32
18	-6,95	-7,71	-10,60	-12,01	-13,96	-15,97
14	-10,72	-14,46	-22,03	-26,27	-31,14	-34,50
11	-17,50	-25,51	-45,58	-52,96	-60,20	-58,84

Tabulās 3.7 un 3.8 var apskatīt iegūtos rezultātus signāla jaudas līmeņa atkarībā no diametra lieluma, pie nomodulēta signāla ar 1310 nm un 1550 nm viļņa garumiem G.655.D tipa šķiedrai.

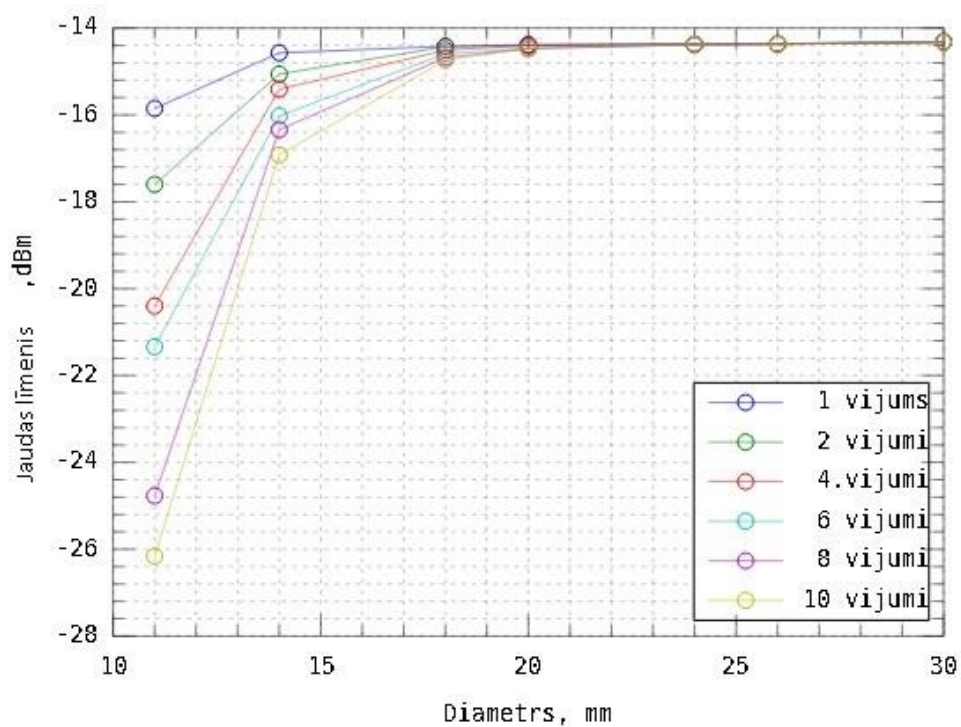
Apskatot iegūtos datus abām šķiedrām ir redzams, kad zemāks jaudas līmenis ir abām šķiedrām pie 1550nm viļņa garuma. Pie abiem viļņa garumiem G.652.A šķiedra tika ietekmēta vairāk nekā G.655.D tipa. Lai varētu tabulas iegūtos datus atspoguļot redzamākā formātā, autors izveidoja grafikus, kuros var redzēt, kā izmainās jaudas līmeņa atkarība no diametra lieluma milimetros. Grafikos ir arī atspoguļoti vairāku vijumu rezultāti. Var novērot faktu, pie rādiusa, mazāka par 18mm, pie dažāda vijumu skaita sāka samazināties jaudas līmeņa vērtība. Attiecīgi, pie lielāka vijumu skaita vairāk samazinājās jaudas līmenis. To var apskatīt 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 attēlos.



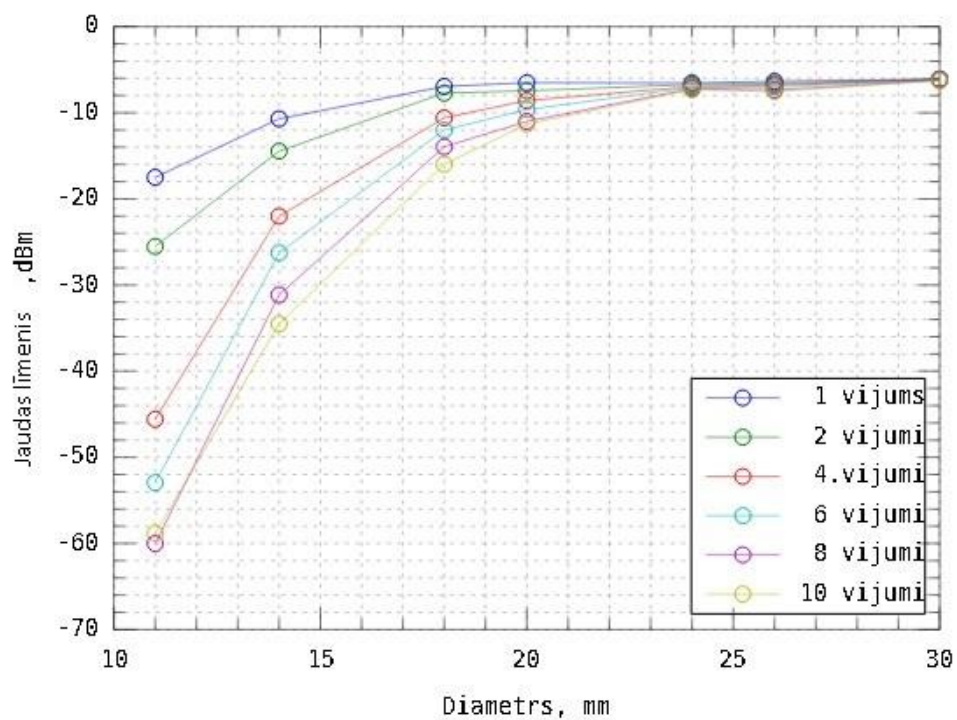
3.1.att. G.652.A tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no makrolocījuma diametra pie 1310nm.



3.2.att. G.652.A tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no makrolocījuma diametra pie 1550nm.



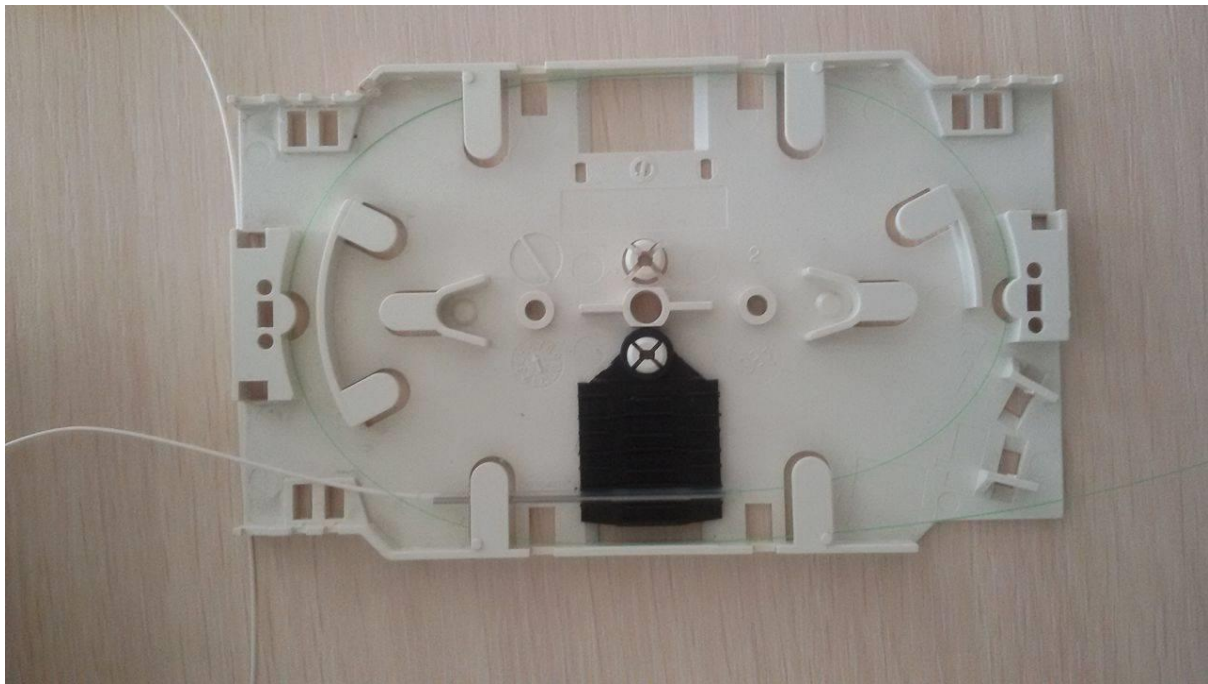
3.3.att. G.655.D tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no makrolocījuma diametra pie 1310nm.



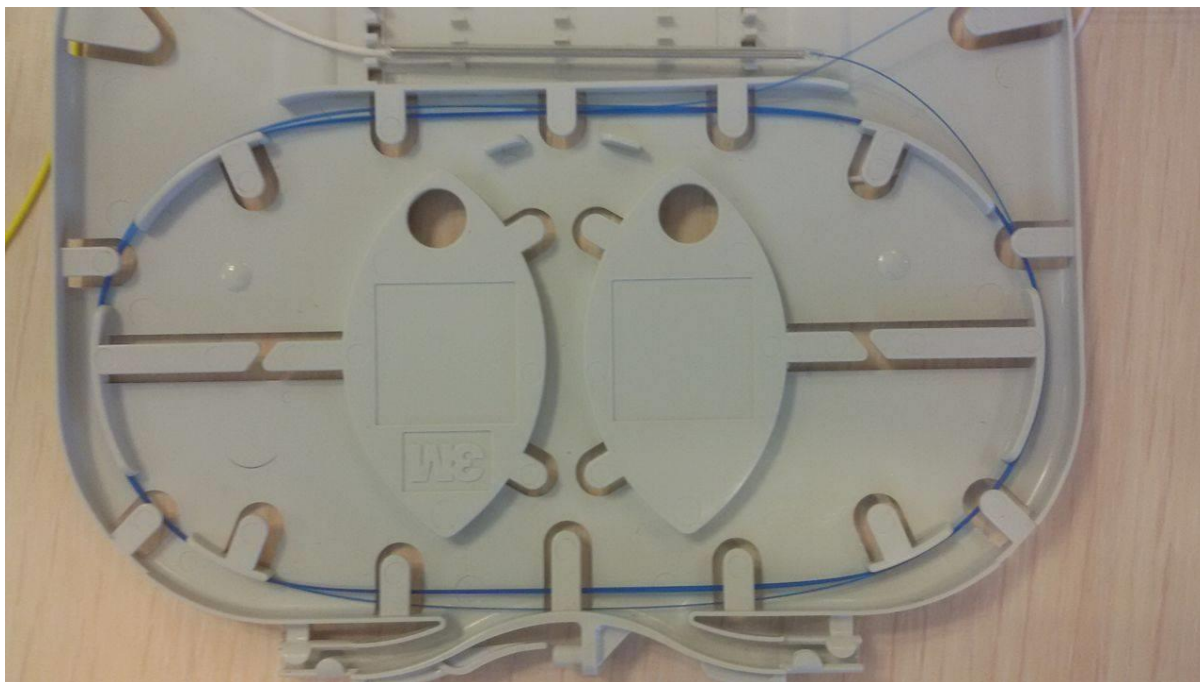
3.4.att. G.655.D tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no makrolocījuma diametra pie 1550nm.

Otrais uzdevums bija pārbaudīt, kādu ietekmi uz jaudas līmeni ienes optiskajā sistēmā, tas, ja lietotājs nepareizi ir satinis šķiedru optiskajā sadales panelī, vai uzmavā. Panelis un uzmava tiek lietota priekš daudziem labumiem. Viena no funkcijām ir aizsargāt no grauzējiem, lai neradītu dažādus pārrāvumus OŠ līnijā, kas radītu papildus izmaksas. Izmanto arī priekš metinājuma vieta montāžas. Papildus pasargājot no bojājumiem.

Līdzīgi, kā pirmajā uzdevumā, tikai šoreiz uztīsim gan pareizus, gan nepareizus veidos šķiedru uz uzmavas un paneļa, tikai šajā gadījumā tiks veikti mērījumi pie tinumiem no 1 līdz 10. Pāris mērījumus nebija iespējams veikt, dēļ izvēlēta šķiedras garuma, jo tas bija pārāk īss, lai uztītu nepieciešamo tinumu skaitu uz paneļa. Pareizs veids kā būtu jāuztīn šķiedra uz paneļa ir attēlots 3.5 un 3.6, jo tad neizveidojas kritiskie leņķi, līdz ar to ir mazāk zudumu pārraidot gaismas staru.



3.5. att. Pareizi uztīta OŠ uz paneļa.



3.6. att. Pareizi uztīta OŠ uz uzmavas.

Šādi vajadzētu uztīt pareizi OŠ uz paneļa un uzmavas, lai pārraidot signālu nerastos lieki zudumi.

3.9. Tabula

G.652.A tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma veida uz paneļa pie 1310 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	-14,62	-14,62	-14,61	-14,60	-14,60	-14,60	-	-	-	-
4 x 3,8	-14,47	-14,52	-14,47	-14,47	-14,49	-14,47	-14,48	-14,48	-14,49	-14,48
4 x 4,5	-14,56	-14,51	-15,93	-14,90	-15,12	-15,09	-15,55	-15,66	-14,99	-15,05
6,5 x 2,7	-15,36	-16,73	-21,84	-20,56	-17,10	-17,72	-19,55	-18,92	-23,12	-21,47

3 x 2,7	-14,62	-15,28	-15,41	-16,24	-16,62	-15,95	-16,64	-16,84	-16,51	-17,04
5 x 2,7	-15,66	-18,24	-19,56	-19,16	-20,36	-20,81	-21,06	-21,42	-22,17	-22,60
3,5 x 3	-14,52	-16,11	-16,52	-16,81	-18,89	-16,35	-18,83	-18,34	-17,92	-18,71
10,3 x 3,5	-14,61	-15,23	-16,17	-15,15	-16,29	-16,41	-16,93	-17,47	-	-

### 3.10. Tabula

G.652.A tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma veida uz paneļa pie 1550 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	-6,18	-6,18	-6,18	-6,18	-6,18	-6,19	-	-	-	-
4 x 3,8	-6,19	-6,27	-6,34	-6,43	-6,24	-6,76	-6,68	-6,81	-6,83	-6,93
4 x 4,5	-6,67	-10,14	-12,78	-14,87	-15,83	-16,68	-16,80	-17,16	-18,52	-19,40
6,5 x 2,7	-7,68	-9,14	-18,03	-19,05	-19,96	-30,7	-33,36	-30,24	-31,40	-37,37
3 x 2,7	-14,05	-17,8	-22,59	-26,34	-27,84	-29,36	-30,92	-34,66	-38,06	-39,25
5 x 2,7	-15,30	-31,23	-43,38	-40,85	-46,81	-48,81	-52,15	-55,13	-54,63	-56,77
3,5 x 3	-10,82	-22,44	-28,53	-39,50	-31,90	-48,82	-50,98	-57,34	-55,42	-58,60
10,3 x 3,5	-8,88	-13,34	-13,74	-15,13	-17,86	-24,23	-28,56	-34,91	-	-

## 3.11. Tabula

G.655.D tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma vieda uz paneļa pie 1310 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	-14,29	-14,32	-14,32	-14,27	-14,28	-14,32	-	-	-	-
4 x 3,8	-14,32	-14,33	-14,32	-14,36	-14,36	-14,36	-14,35	-14,44	-14,44	-14,32
4 x 4,5	-14,38	-14,50	-14,55	-14,55	-17,61	-18,76	-20,47	-19,37	-19,48	-20,14
6,5 x 2,7	-14,44	-15,17	-15,58	-15,68	-15,50	-17,18	-17,46	-17,34	-17,37	-18,45
3 x 2,7	-14,33	-14,51	-15,69	-15,34	-15,78	-15,30	-16,70	-16,05	-17,36	-16,44
5 x 2,7	-14,41	-15,50	-16,95	-16,83	-18,07	-18,17	-17,57	-17,80	-17,16	-17,15
3,5 x 3	-14,65	-15,82	-16,04	-17,13	-18,38	-18,48	-19,18	-19,18	-19,17	-18,85
10,3 x 3,5	-14,62	-15,64	-16,17	-15,59	-16,83	-16,62	-17,25	-17,00	-	-

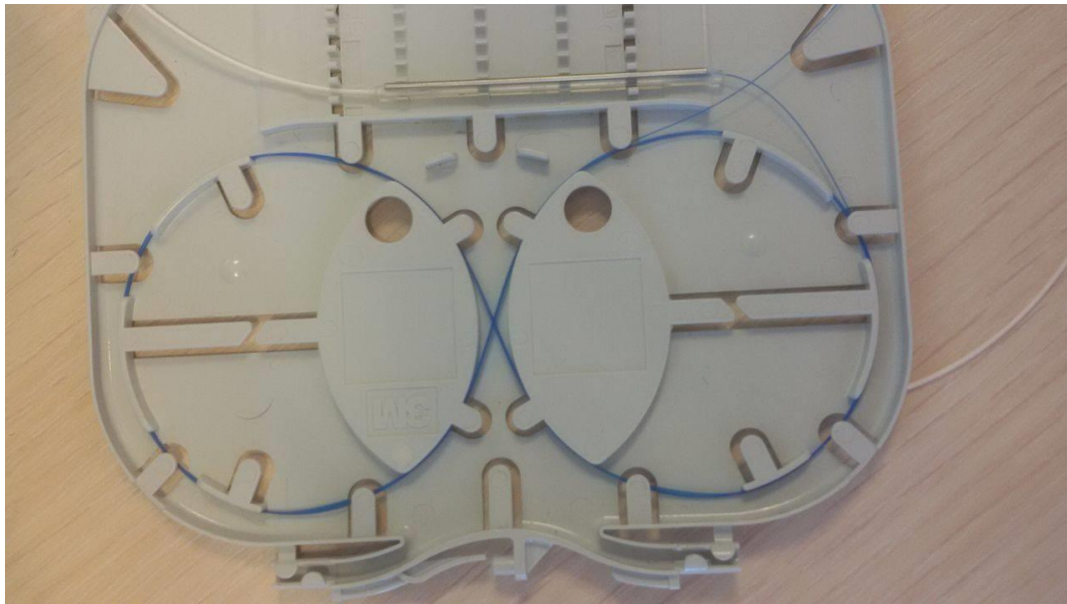
## 3.12. Tabula

G.655.D tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma veida uz paneļa pie 1550 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	-5,98	-5,98	-5,98	-5,97	-6,00	-5,99	-	-	-	-

4 x 3,8	-5,97	-5,97	-5,99	-6,24	-6,15	-6,29	-6,17	-6,39	-6,26	-6,30
4 x 4,5	-6,91	-8,07	-8,97	-9,24	-24,59	-31,03	-38,36	-35,49	-36,54	-39,53
6,5 x 2,7	-7,51	-12,25	-14,37	-16,15	-15,41	-24,57	-27,03	-27,24	-28,40	-33,31
3 x 2,7	-6,29	-8,17	-14,50	-14,08	-16,81	-15,16	-22,08	-20,83	-26,60	-23,56
5 x 2,7	-7,20	-12,70	-14,98	-20,23	-25,07	-27,24	-25,53	-26,76	-25,48	-26,37
3,5 x 3	-8,16	-13,08	-15,98	-21,96	-27,53	-28,91	-32,45	-32,33	-33,18	-33,97
10,3 x 3,5	-8,43	-14,30	-17,01	-15,29	-21,59	-22,14	-25,48	-23,23	-	-

Līdzīgi, kā autors novēroja, kad pie viena liekuma rādiusa G.652.A šķiedra tika vairāk ietekmēta, nekā G.655.D, tad arī pie viena un tā paša liekuma rādiusa, lielāku ietekmi radīja vijumu skaits uz jaudas līmeni G.652.A šķiedrai, nekā G.655.D. Bet, šie rezultāti var būt arī nepareizi, jo mērot jaudas līmeni katrai šķiedrai, var mainīties spēks ar kādu tiek nostiprināts tinums, kas var radīt izmaiņas uz rezultātiem. Lai varētu precīzāk veikt mērījumus ir nepieciešams pirms katra mērījuma kārtīgi nostiprināt šķiedru, kas varētu uzlabot mērījumu kvalitāti.



3.7. att. Viens no veidiem, kā uztīt OŠ uz uzmavas.

3.13. Tabula

G.652.A tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma veida uz uzmavas pie 1310 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-14,36	-14,16	-14,36	-14,36	-14,37	-14,37	-14,39	-	-	-
12x6	-14,39	-14,35	-14,35	-14,35	-14,35	-14,35	-	-	-	-
5x3	-14,56	-14,98	-15,41	-15,78	-15,70	-15,25	-15,95	-16,23	-	-

3.14. Tabula

G.652.A tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no dažāda diametra izvēles pie 1550 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-6,02	-6,03	-6,05	-6,04	-6,05	-6,08	-6,08	-	-	-
12x6	-6,06	-6,05	-6,04	-6,03	-6,04	-6,03	-	-	-	-
5x3	-7,53	-10,41	-13,01	-15,52	-15,98	-14,48	-17,79	-19,38	-	-

3.15. tabula

G.655.D tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma veida uz uzmavas pie 1310 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-14,40	-14,40	-14,35	-14,34	-14,42	-14,43	-	-	-	-
12x6	-14,33	-14,32	-14,35	-14,35	-14,35	-	-	-	-	-
5x3	-14,37	-14,53	-15,00	-14,88	-15,28	-15,14	-15,52	-15,51	-	-

3.16. Tabula

G.655.tipa šķiedras jaudas līmeņa atkarība no tinuma veida uz uzmavas pie 1550 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-5,90	-5,95	-5,99	-5,95	-5,96	-6,03	-	-	-	-
12x6	-5,95	-5,95	-5,95	-5,91	-5,97	-	-	-	-	-
5x3	-6,28	-8,26	-11,21	-10,76	-13,36	-14,16	-17,25	-17,42	-	-

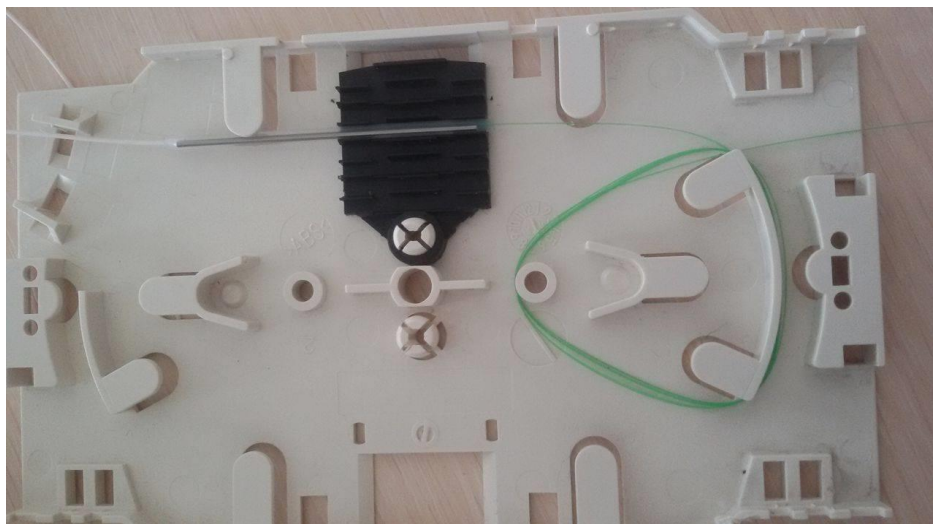
### Secinājumi.

Izpētot jaudas līmeņa atkarību no izliekuma rādiusu, vijuma skaita, veida kā tiek uztīta OŠ, kā arī signāla viļņa garuma, autors secina, kad mērījumus veicot ir jābūt ļoti uzmanīgam, jo mazākas OŠ kustības maina mērāparāta nomērītu vērtību. Dati tika attēloti tabulās un no tiem tika veidoti atbilstošās raksturlīknes, lai varētu vieglāk salīdzināt iegūtos rezultātus.

Pēc iegūtajiem datiem pirmajā uzdevumā, autors secina, kad palielinot tinumu skaitu, sāk parādīties lielāki zudumi OŠ pārraides sistēmā. Mūsu gadījumā lielākais diametrs priekš makrolocījumu pētīšanas tika izmantots šāds – 30 mm. ITU rekomendācijā priekš G.652.A tipa šķiedras ir ieteikts, lai novērstu makrolocījumi radīto ietekmi uz OŠ, izmantot 30 mm lielu liekuma rādiusu. Pētot makrolocījumu ietekmi uz zudumiem atkarībā no liekuma rādiusa, var redzēt, ka samazinot liekuma rādiusu, jaudas līmenis samazinās, jo daļa no gaismas stara nonāk aizsargapvalkā un pārvēršas siltumā. Izpētot makrolocījumu ietekmi uz jaudas līmeni, var

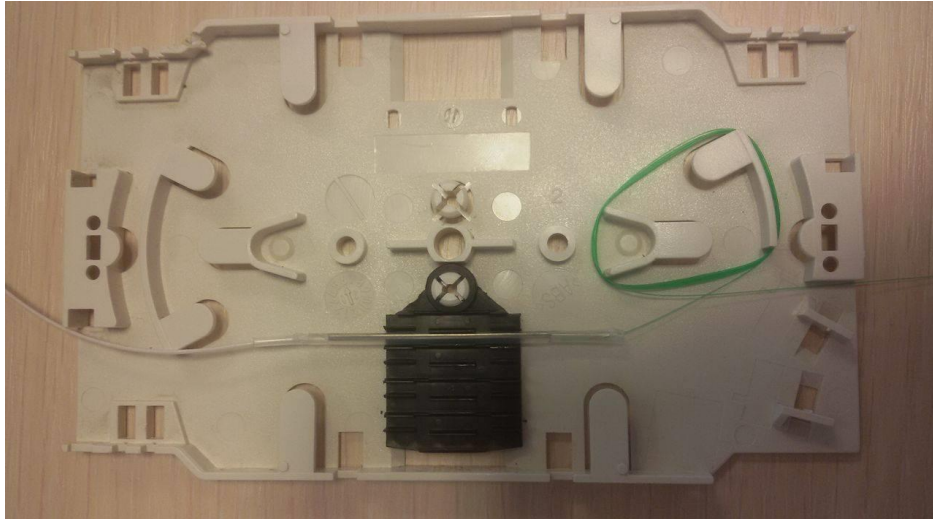
redzēt no grafikiem, ka pāris mm izmaiņas liekuma rādiusā, rada būtiskas izmaiņas zudumos. Šis ir viens no faktoriem, kas ietekmē mērījumu precizitāti, jo, ja tinot uz papīra izveidotām caurulītēm tiek uztīts vēl pa virsu OŠ izmainīsies rādiuss un rezultāti tiks iegūti jau pie savādāka liekuma rādiusa. Ietekmi uz mērījumiem rada arī tas, kad tinot šķiedru viscaur uz caurulītes, netiek izmantots vienāds spēks, līdz ar to vietām šķiedra, var tikt uztīta stingrāk, un izmainīt liekuma rādiusu, vai pretēji, kad netiek uztīta, tik stingri. Par piemēru autors izvēlās apskatīt un izanalizēt G.652.A tipa šķiedras zudumu atkarību no diametra pie viena vijuma. Kā var redzēt, pie diametra ar 30mm ir -14,44 dBm liels jaudas līmenis, kas nozīmē, ka vidēji izejas jauda ir 0.036 Mw, bet pie 11mm liela diametra, jau parādās -16,97dBm liels jaudas līmenis, kas nozīmē, ka izejas jauda jau būs 0.02 Mw, kas ir gandrīz jau uz pusi mazāka nekā pie lielāka liekuma diametra. Tādēļ ir svarīgi ierīkojot OŠ sistēmas klientiem paziņot par makrolocījumu ietekmi uz pakalpojuma kvalitāti.

Otrajā uzdevumā izpētījām, kā ir atkarīgs jaudas līmenis, no tā, vai pareizi ir uztīta OŠ uz uzmavas un paneļa. Eksperimenta laikā pārliecinājāmies, ka ietekme ir liela uz zudumiem, pat viens nepareizs tinums, var izraisīt to, kad puse no signāla jaudas pazudīs vienā tinumā, ko var labi redzēt, no iegūtajiem datiem 3.10 tabulā. Tādēļ ir ieteicams pareizi uztīt paneli, vai uzmavu.

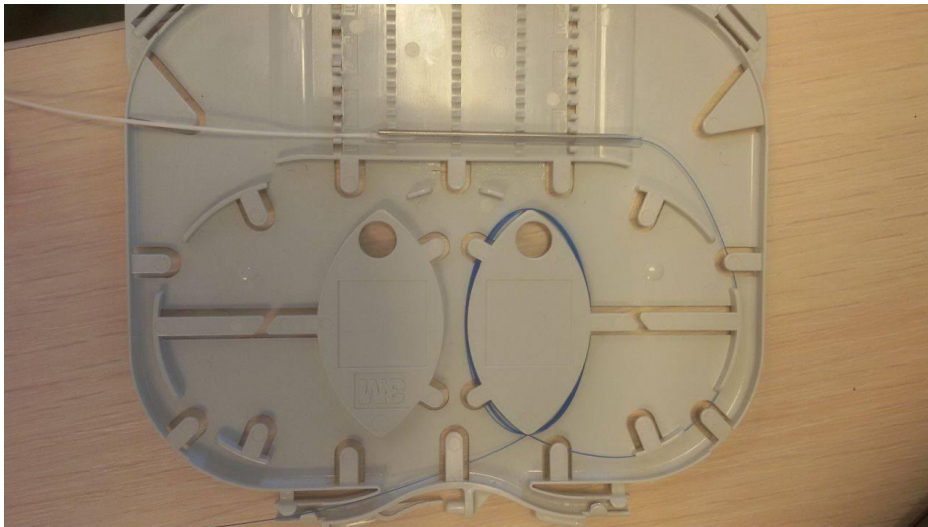


3.8. att. Veids, kā nepareizi uztīt OŠ uz paneļa.

Attēlos 3.9 un 3.10 ir parādīts, kā nevajadzētu uztīt OŠ uz paneļa, jo ja aplūko iegūtos rezultātus, tad var redzēt, kad pie šādiem tinumiem ļoti samazinās jaudas līmenis izejā.



3.9. att. Viens no veidiem, kā nepareizi uztīta OŠ uz paneļa.



3.10. att. Veids, kā nepareizi uztīt OŠ uz uzmavas.

Veicot šo eksperimentu, autors secina, ka makro locījumi ietekme uz jaudas līmeni arī mainās, tādā gadījumā, kad tiek izmantots cita viļņa garuma gaismas stars un liekuma rādiuss. Ir vērts piebilst arī to, kad analizējot jaudas līmeņa atkarību, ietekmi rada arī metinājuma vietas, jo strādājot ar OŠ bija gadījumi, kad lokot OŠ tā pārlūza un līdz ar to nācās pārmetināt savienotājus un pārbaudīt, vai references mērījumi joprojām sakrīt. Ietekmi metinājuma vieta var radīt tādēļ, jo pāris gadījumos metinājuma vietā radās, tā saucamais burbulis. Līdz ar to gaismas staram pārvietojoties pa šķiedru, stars var atstaroties no iekšā esošā burbuļa un mainīt krītošā stara leņķi un var rasties zudumi.

#### 4. MAKROLOCĪJUMU IETEKME UZ VIENMODU ŠĶIEDRAS VĀJINĀJUMU

Lai varētu novērtēt, signāla vājinājuma atkarību no makro locījuma rādiusa ir jāzina references mērījuma jaudas līmenis un jaudas līmenis, jau pie makro locījumiem. Visi šie mērījumi tika veikti pētot pirmo un otro uzdevumu iepriekšējā nodaļā. Lai varētu iegūt ienesto makro locījumu vājinājumu ir nepieciešams no jaudas līmeņa ar locījumiem atņemt references rezultātu

$$a_{makr} = a_{jaudas} - a_{references}, \quad (4.1)$$

kur  $a_{jaudas}$  – Jaudas līmenis pie attiecīgā mērījuma;

$a_{references}$  – References jaudas līmeņa vērtība.

##### 4.1.1. Tabula

G.652.A tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocējuma diametra pie 1310 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,03
26	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22
24	0,22	0,22	0,21	0,20	0,20	0,21
20	0,23	0,26	0,25	0,23	0,27	0,29
18	0,31	0,28	0,36	0,43	0,51	0,64
14	0,66	0,85	1,39	1,56	2,28	3,07
11	2,47	4,19	7,33	9,90	13,35	17,82

##### 4.1.2. Tabula

G.652.A tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocējuma diametra pie 1550 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10

30	-0,09	-0,08	-0,06	-0,04	0,03	0,04
26	0,81	1,11	1,59	1,75	1,79	2,05
24	1,40	1,64	1,89	2,29	2,70	2,92
20	2,86	2,99	4,23	4,88	6,74	7,22
18	2,90	4,29	7,31	9,33	11,76	13,79
14	8,25	16,82	22,33	29,90	36,11	39,70
11	24,52	38,62	50,59	56,19	58,39	61,19

4.1.3. Tabula

G.655.D tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocījuma diametra pie 1310 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	-0,17	-0,16	-0,16	-0,17	-0,17	-0,16
26	-0,13	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
24	-0,12	-0,12	-0,12	-0,11	-0,11	-0,12
20	-0,11	-0,09	-0,09	-0,02	-0,02	-0,02
18	-0,07	-0,06	0,02	0,01	0,19	0,25
14	0,08	0,57	0,92	1,53	1,85	2,43
11	1,36	3,11	5,91	6,85	10,28	11,67

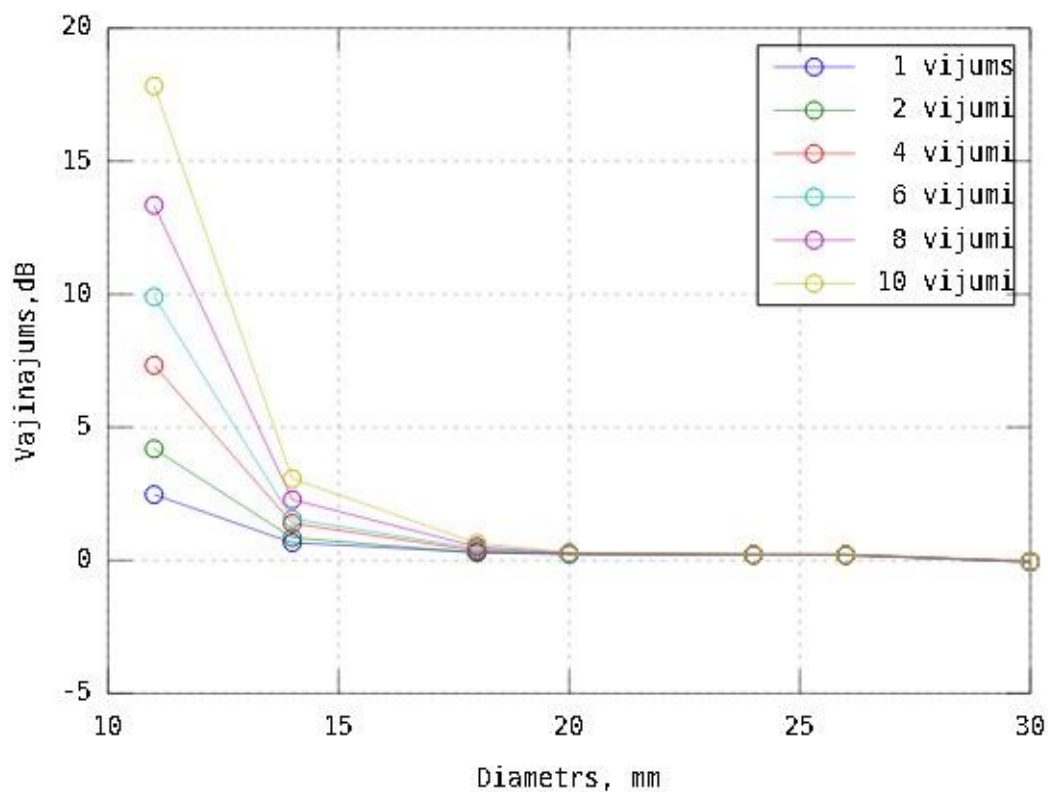
4.1.4. Tabula

G.655.D tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocījuma diametra pie 1550 nm

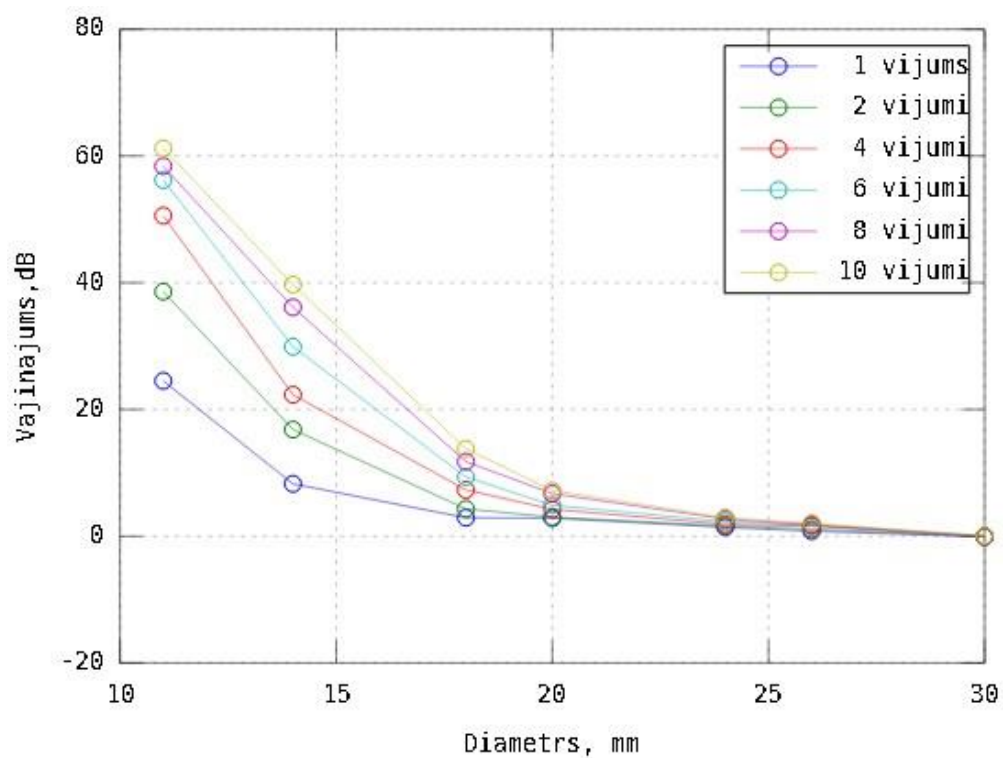
Diametrs, mm	Vijumu skaits					
	1	2	4	6	8	10
30	0,02	0,03	0,04	0,08	0,13	0,20
26	0,27	0,54	0,73	0,94	1,29	1,45
24	0,47	0,65	0,88	0,99	1,12	1,24
20	0,45	1,37	2,50	3,55	4,93	5,24
18	0,87	1,63	4,52	5,93	7,88	9,89

14	4,64	8,38	15,95	20,19	25,06	28,42
11	11,42	19,43	39,50	46,88	54,12	52,76

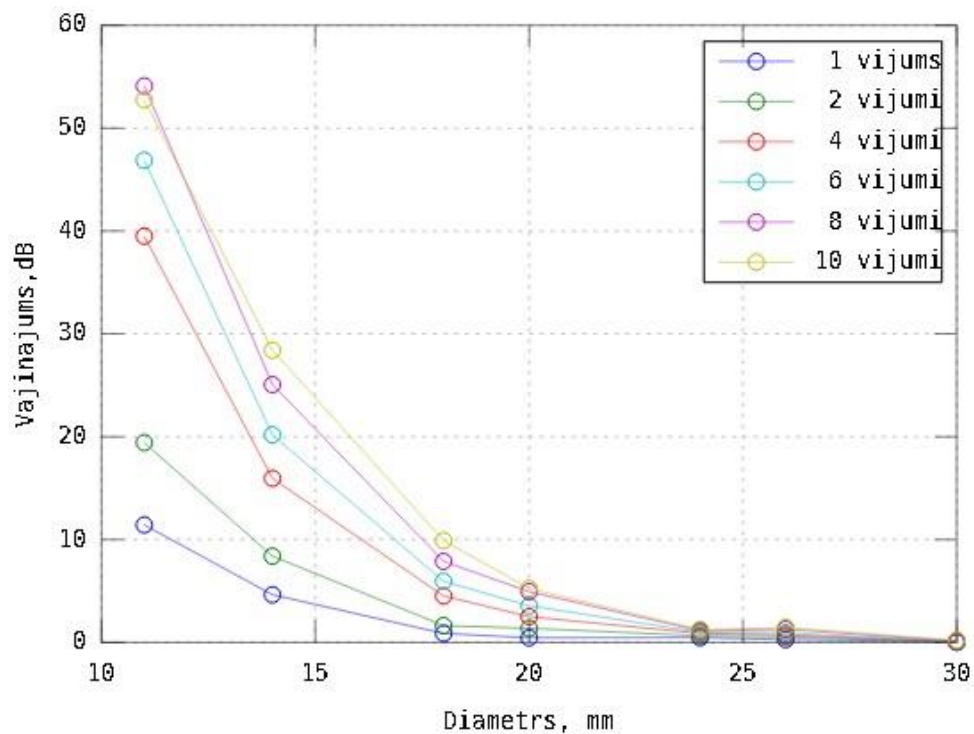
Pēc aprēķinātajiem rezultātiem, kas apkopoti 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 tabulās var redzēt, kad dažos gadījumos, ir iegūts vājinājums, kas ir negatīvs, kas nozīmē, ka OŠ ir darbojusies kā pastiprinātājs, kas teorētiski nav iespējams. Līdz ar to var secināt, ka ir radušās kādas novirzes mērījumos. Par to arī liecina, tas kad, palielinot vijumu skaitu samazinās vājinājums. Tam tā nevajadzētu būt. Vienīgais uz mērījumiem varēja ietekmēt cilvēcīgais faktors, kad pārtinot vijumus, tika pietīts ar savādāku spēku, kas var radīt kritiskos leņķus šķiedrai, kuros rodas lieli zudumi.



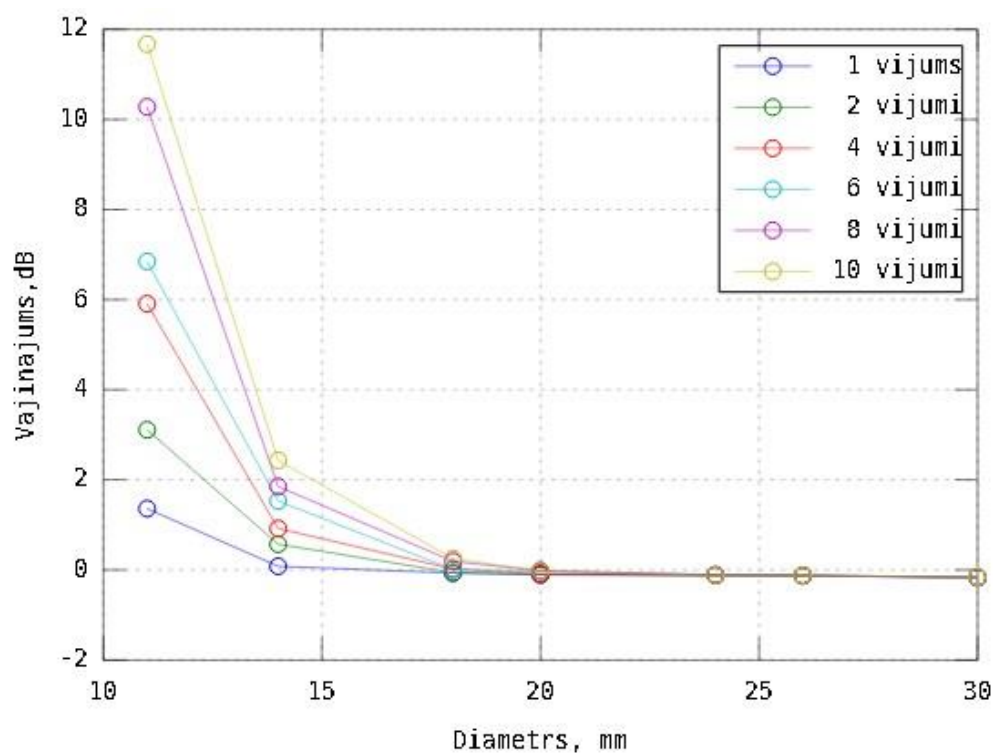
4.1.att. G.652.A tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocējuma diametra pie 1310 nm.



4.2.att. G.652.A tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocījuma diametra pie 1550 nm.



4.3. att. G.655.D tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocījuma diametra pie 1310 nm.



4.4.att. G.655.D tipa šķiedras vājinājuma atkarība no makrolocījuma diametra pie 1550 nm

Tabulās 4.1.5, 4.1.6, 4.1.7, 4.1.8 ir aprēķināts vājinājums G.652.A un G.655.D tipa šķiedrām, pie dažādiem veidiem, kā autors uztina šķiedru uz paneļa.

4.1.5. Tabula

G.652.A tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz paneļa pie 1310 nm.

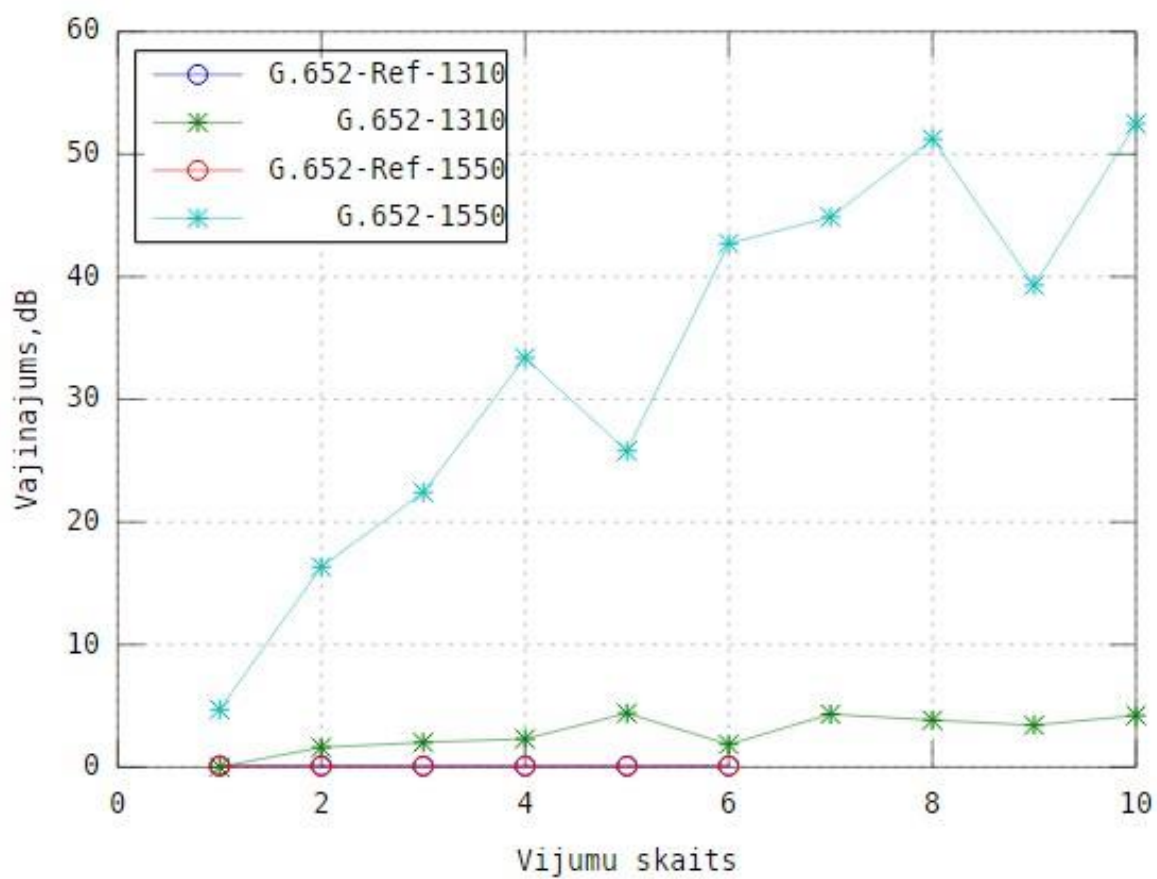
Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	-	-	-	-
4 x 3,8	-0,03	0,02	-0,03	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02
4 x 4,5	0,06	0,01	1,43	0,40	0,62	0,59	1,05	1,16	0,49	0,55

6,5 x 2,7	0,86	2,23	7,34	6,06	2,60	3,22	5,05	4,42	8,62	6,98
3 x 2,7	0,12	0,78	0,91	1,74	2,12	1,45	2,14	2,34	2,01	2,54
5 x 2,7	1,16	3,77	5,06	4,66	5,86	6,31	6,56	6,92	7,67	8,10
3,5 x 3	0,02	1,61	2,02	2,31	4,39	1,85	4,33	3,84	3,42	4,21
10,3 x 3,5	0,11	0,83	1,67	0,65	1,79	1,91	2,43	2,97	-	-

#### 4.1.6. Tabula

G.652.A tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz paneļa pie 1550 nm.

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	-	-	-	-
4 x 3,8	0,08	0,16	0,23	0,32	0,13	0,65	0,57	0,70	0,72	0,82
4 x 4,5	0,56	4,03	6,67	8,76	9,72	10,57	10,69	11,05	12,41	13,29
6,5 x 2,7	1,57	3,03	11,92	12,94	13,85	24,59	27,25	24,13	25,29	31,26
3 x 2,7	7,94	11,69	16,48	20,23	21,73	23,25	24,81	28,55	31,95	33,14
5 x 2,7	9,19	25,12	37,27	34,74	40,70	42,70	46,04	49,02	48,52	50,66
3,5 x 3	4,71	16,33	22,42	33,39	25,79	42,71	44,87	51,23	49,31	52,49
10,3 x 3,5	2,77	7,23	7,63	9,02	11,75	18,12	22,45	28,80	-	-



4.5. att. Vājinājuma salīdzinājums G.652.A tipa šķiedrai pie dažādi uztītiem veidiem uz paneļa .

#### 4.1.7. Tabula

G.655.D tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz paneļa pie 1310 nm.

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	-0,18	-0,15	-0,15	-0,20	-0,19	-0,15	-	-	-	-
4 x 3,8	-0,15	-0,14	-0,15	-0,11	-0,11	-0,11	-0,12	-0,03	-0,03	-0,15

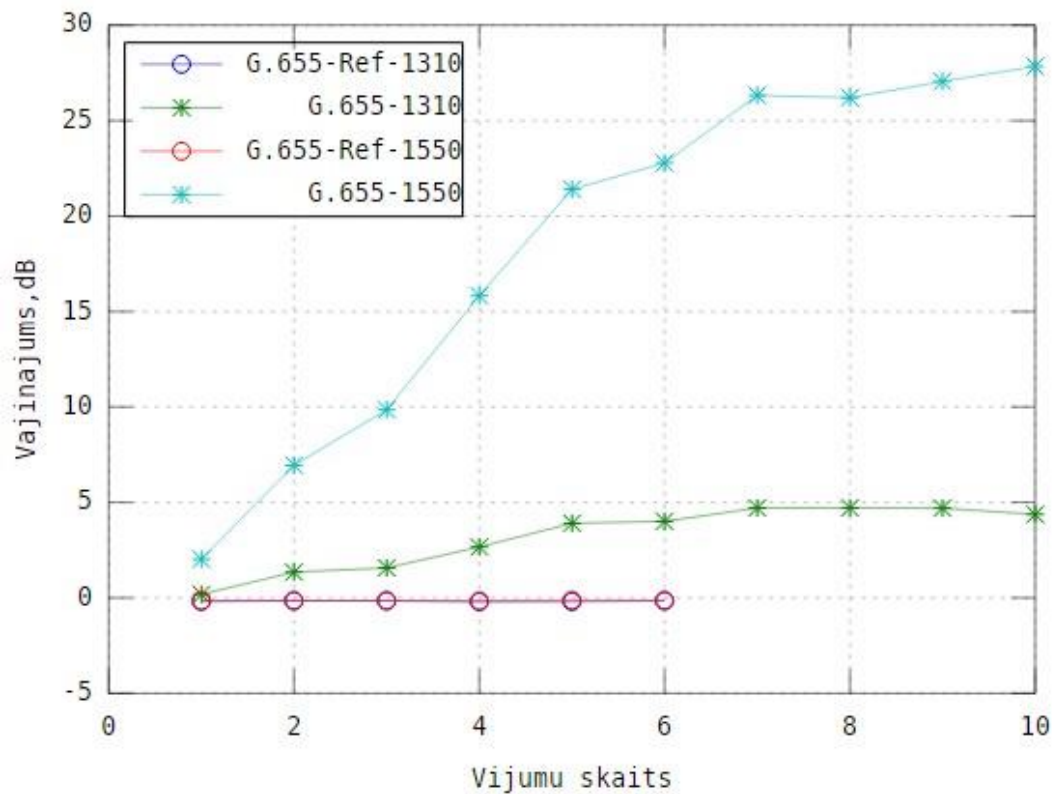
4 x 4,5	-0,09	0,03	0,08	0,08	3,14	4,29	6,00	4,90	5,01	5,67
6,5 x 2,7	-0,03	0,70	1,11	1,21	1,03	2,71	2,99	2,87	2,90	3,98
3 x 2,7	-0,14	0,04	1,22	0,87	1,31	0,83	2,23	1,58	2,89	1,97
5 x 2,7	-0,06	1,03	2,48	2,36	3,6	3,7	3,1	3,33	2,69	2,68
3,5 x 3	0,18	1,35	1,57	2,66	3,91	4,01	4,71	4,71	4,70	4,38
10,3 x 3,5	0,15	1,17	1,70	1,12	2,36	2,15	2,78	2,53	-	-

#### 4.1.8. Tabula

G.652.D tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz paneļa pie 1550 nm.

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 x 9	-0,15	-0,15	-0,15	-0,16	-0,13	-0,14	-	-	-	-
4 x 3,8	-0,16	-0,16	-0,14	0,11	0,02	0,16	0,04	0,26	0,13	0,17
4 x 4,5	0,78	1,94	2,84	3,11	18,46	24,9	32,23	29,36	30,41	33,4
6,5 x 2,7	1,38	6,12	8,24	10,02	9,28	18,44	20,9	21,11	22,27	27,18
3 x 2,7	0,16	2,04	8,37	7,95	10,68	9,03	15,95	14,7	20,47	17,43
5 x 2,7	1,07	6,57	8,85	14,1	18,94	21,11	19,4	20,63	19,35	20,24

3,5 x 3	2,03	6,95	9,85	15,83	21,4	22,78	26,32	26,2	27,05	27,84
10,3 x 3,5	2,3	8,17	10,88	9,16	15,46	16,01	19,35	17,1	-	-



4.6. att. Vājinajuma salīdzinājums G.655.D šķiedrai pie dažādi uztītiem veidiem uz paneļa.

4.1.9. Tabula

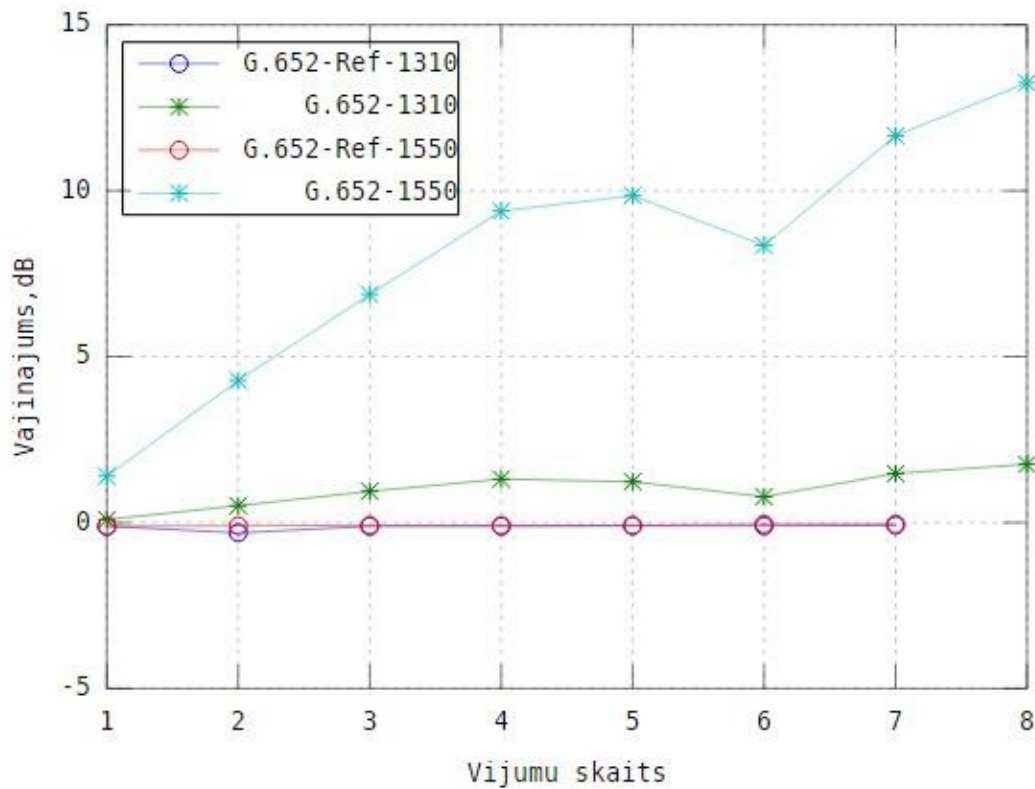
G.652.A tipa šķiedras vājinajuma pie dažāda tinuma veidiem uz uzmavas pie 1310 nm.

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-0,11	-0,31	-0,11	-0,11	-0,1	-0,1	-0,08	-	-	-
12x6	-0,08	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-	-	-	-
5x3	0,09	0,51	0,94	1,31	1,23	0,78	1,48	1,76	-	-

4.2.0. Tabula

G.652.A tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz uzmavas pie 1550 nm

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-0,11	-0,1	-0,08	-0,09	-0,08	-0,05	-0,05	-	-	-
12x6	-0,07	-0,08	-0,09	-0,1	-0,09	-0,1	-	-	-	-
5x3	1,4	4,28	6,88	9,39	9,85	8,35	11,66	13,25	-	-



4.6. att. Vājinājuma salīdzinājums G.652.A šķiedrai pie dažādi uztītiem veidiem uz uzmavas.

#### 4.2.1. Tabula

G.655.D tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz uzmavas pie 1310 nm.

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-0,09	-0,09	-0,14	-0,15	-0,07	-0,06	-	-	-	-

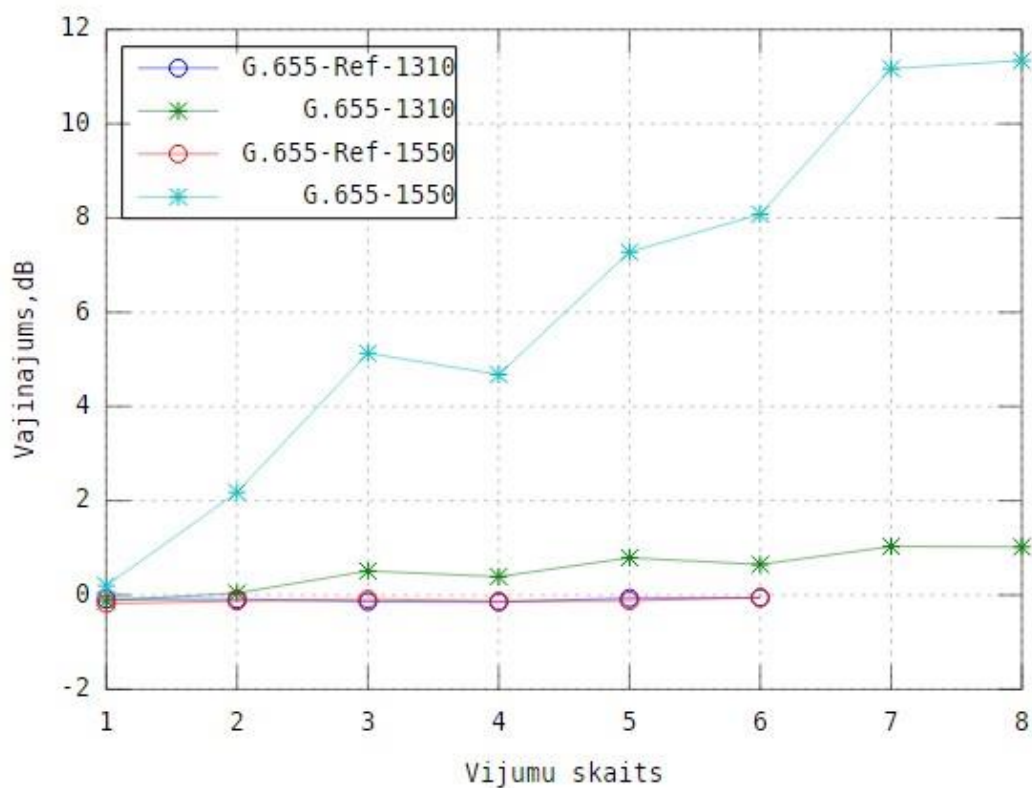
12x6	-0,16	-0,17	-0,14	-0,14	-0,14	-	-	-	-	-
5x3	-0,12	0,04	0,51	0,39	0,79	0,65	1,03	1,02	-	-

#### 4.2.2. Tabula

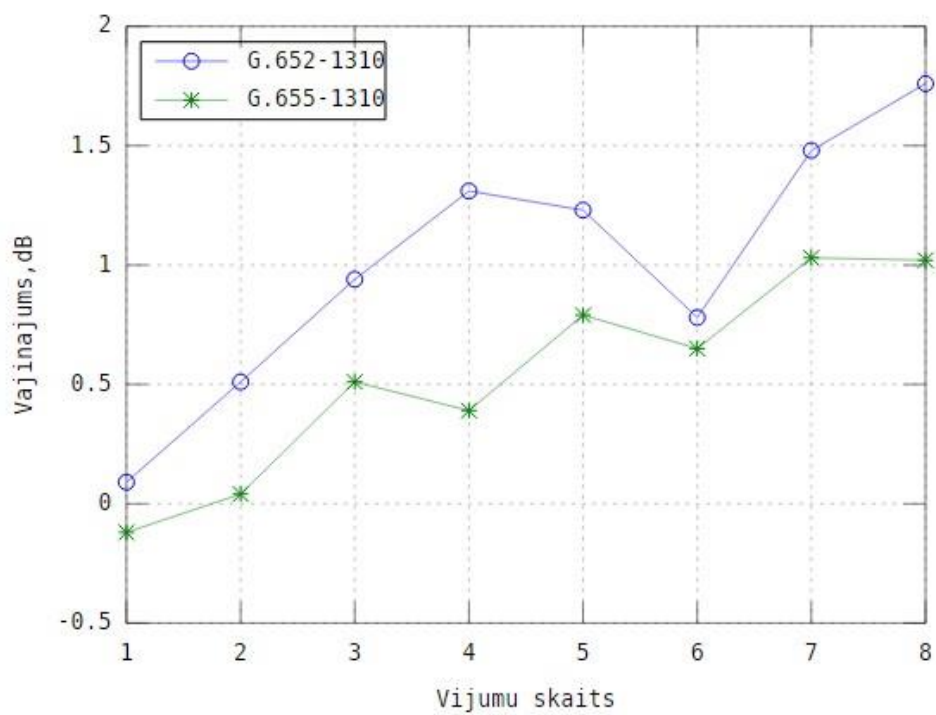
G.655.D tipa šķiedras vājinājuma pie dažāda tinuma veidiem uz uzmavas pie 1550 nm.

Diametrs, mm	Vijumu skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12x6	-0,18	-0,13	-0,09	-0,13	-0,12	-0,05	-	-	-	-
12x6	-0,13	-0,13	-0,13	-0,17	-0,11	-	-	-	-	-
5x3	0,2	2,18	5,13	4,68	7,28	8,08	11,17	11,34	-	-

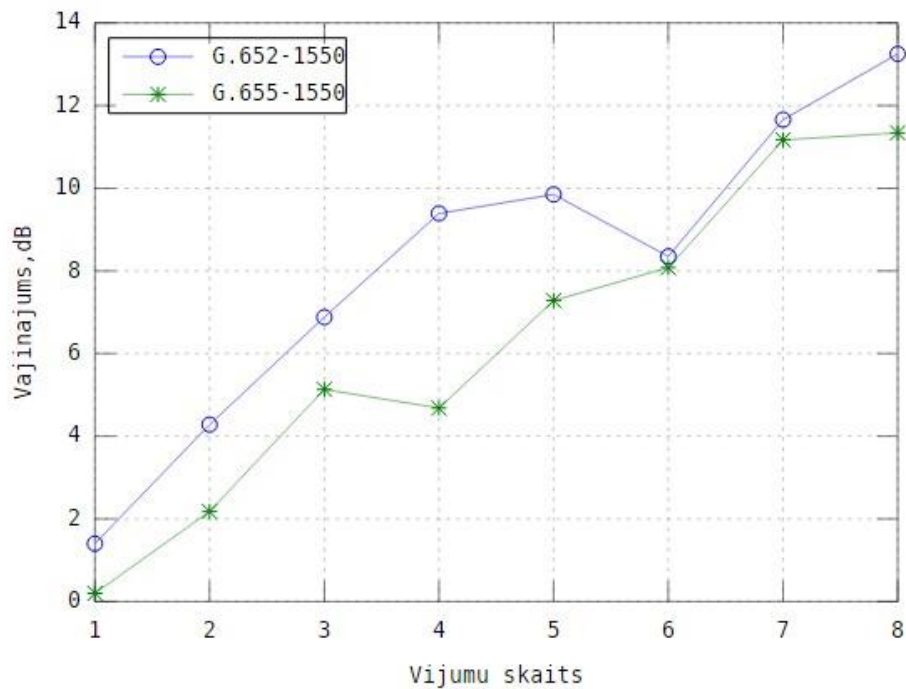
Tabulās 4.1.9, 4.2.0, 4.2.1, 4.2.2 ir aprēķināts vājinājums G.652.A un G.655.D tipa šķiedrām, pie dažādiem veidiem, kā autors uztina šķiedru uz uzmavas.



4.7. att. Vājinājuma salīdzinājums G.655.D šķiedrai pie dažādi uztītiem veidiem uz uzmavas.



4.8.att. Vājinājuma salīdzinājums šķiedrām G.655.A un G.655.D pie 1330 nm viļņa garuma.



4.9.att. Vājinājuma salīdzinājums šķiedrām G.652.A un G.655.D pie 1550 nm viļņa garuma.

## Secinājumi.

Izpētot vājinājuma atkarību no izliekuma rādiusu, vijuma skaita, veida kā tiek uztīta OŠ, kā arī signāla viļņa garuma, autors konstatēja faktu, kad bija gadījumi, kad pie mazāka vijuma skaita ir lielāks vājinājums nekā pie lielāka tinuma skaita. Tas var rasties tādos gadījumos, kad tinot papildus vijumus OŠ tiek palaista vaļīgāk un līdz ar to izmainot makro locījuma rādiusu mazliet. Dati tika attēloti tabulās un no tiem tika veidoti atbilstošās raksturlīknes, lai varētu vieglāk salīdzināt iegūtos rezultātus.

Pēc iegūtajiem rezultātiem pirmajā uzdevumā, autors secina, kad palielinot vijumu skaitu, sāk parādīties lielāki zudumi OŠ pārraides sistēmā. Pētot makrolocījumu ietekmi uz zudumiem atkarībā no liekuma rādiusa, var redzēt, kad samazinot liekuma rādiusu, vājinājums palielinās, kas sakrīt pēc teorijas. Līdzīgi, kā tika novērots pie jaudas līmeņa atkarības no izliekuma diametra, tad arī uz vājinājumu ietekmēja viļņa garums, un jau pie lielāka izliekuma diametra uz vājinājumu atstāja lielāku iespaidu. Autors novēroja, kad vairākus gadījumos vājinājums ir radies negatīvs, kas teorētiski nav iespējams OŠ līnijā, ja vien starp gaismas avotu un jaudas mērītāju ir kāds pastiprinātājs, kura šajā gadījumā nebija. Līdz ar to var secināt, kad veicot references mērījumus ir bijis, kāds makrolocījums, kas ietekmēja uz mērījumu. Ir iespējams arī, ka šķiedrā ir bijuši kādi mikro locījumi, kas ietekmēja uz mērījumu rezultātiem, un nomainot OŠ, gadījumā, kad šķiedra pārtrūka, tai nebija radušies nekādi mikrolocījumi. Ir daudz faktoru, kas varēja radīt šādus rezultātus.

Veicot otro uzdevumu, autors secina, kad uztinot uzmavu, vai paneli ir jāuztin korekti, jo uztinot divus vijumus, lai nepaliktu šķiedra pāri, var radīt līdz pat 4 dB lielu vājinājumu, kas nozīmē, ka tiks pazaudēta 60% jauda no signāla. Tādēļ inženierim ir jāzina veidi, kā pareizāk uztīt šķiedru, lai sistēma varētu strādāt optimālāk. Šo izpētot autors guva ļoti noderīgu pieredzi darbā ar OŠ tīšanu uz uzmavas un paneļa.

## PĒTĪJUMU REZULTĀTU KOPSAVILKUMS UN SECINĀJUMI

Bakalaura darba sākumā tika izvirzīts darba mērķis “*Izpētīt makroizliekumu ietekmi uz vienmodas optisko šķiedru pie 1310 nm un 1550 nm viļņa garumiem.*”, lai šo varētu sasniegt, tika izvirzīti vairāki darba uzdevumi, no kuriem arī tika izdarīti secinājumi, kas ir apkopoti zemāk :

1. Izanalizējot iegūto informāciju par optisko šķiedru, autors secina, ka optiskajai šķiedrai ir trīs galvenās sastāvdaļas: serdenis, optiskais apvalks un aizsargapvalks. Katrai no tām ir sava funkcija, pārraidot gaismas impulsus pa optisko šķiedru. Serdeņa-optiskā apvalka funkcija ir nodrošināt pilnīgu iekšējo atstarošanos, lai nerastos signāla vājinājums, bet aizsargapvalka funkcija ir nodrošināt aizsardzību no ārējiem apstākļu iedarbības uz to. Optisko šķiedru var iedalīt vienmodu un daudzmodu šķiedrās. Vienmodu šķiedru pielieto tālsakaru sistēmām, bet daudzmodu – vairāk iekštelpās. Izmēru ziņā vienmodu šķiedras serdenis ir mazāks nekā daudzmodu serdenis, un tā diametrs ir 5 līdz 10  $\mu\text{m}$ , bet daudzmodu serdeņa – 50  $\mu\text{m}$  vai 62.5  $\mu\text{m}$ . Abus serdeņus apvij optiskais apvalks ar 125  $\mu\text{m}$  diametru.
2. Iepazīstoties ar vājinājuma cēloņiem, autors apkopoja iekšējos un ārējos faktorus, kas atstāj ietekmi uz to. Iekšējos faktorus nav iespējams novērst, bet ārējos ir. Optiskajai šķiedrai attīstoties, iekšējie faktori (izkliedes un absorbcijas) ietekme uz vājinājumu ir samazināta. Ārējie faktori ir makrolocījumi un mikrolocījumi. Iekšējo un ārējo vājinājumu summējot, iegūst kopējo vājinājumu OŠ līnijā.
3. Gaismas staram sastopoties ar makrolocījumu OŠ, rodas zudumi, jo tiek izmainīts krišanas leņķis attiecībā pret optisko apvalku. Gadījumā, ja krišanas leņķis ir mazāks par kritisko leņķi, tad daļa no enerģijas nonāk optiskajā apvalkā un vēlāk pārvēršas siltumā. ITU rekomendācijā ir minēti ieteicamie liekuma rādiusi, lai pēc iespējas mazāk rastos zudumu liekuma vietā.
4. Eksperimentālajā daļā tika nomērīts, kā liekuma diametrs ietekmē abu šķiedru jaudas līmeni. Apskatot jaudas līmeņus pie 10 tinumiem, autors secina, ka jaudas līmenis tiek mazāk ietekmēts G.655.D tipa šķiedrai nekā G.652.A tipa, kad tika liekuma diametrs mainīts no 30 mm līdz 11 mm. Pie viļņa garuma 1310 nm G.652.A šķiedrai jaudas līmenis samazinājās no -14,47 dBm līdz -32,32 dBm, bet G.655.D tipa šķiedrai no -14,43 dBm līdz -26,16 dBm. Tas nozīmē, ka G.655.D tipa šķiedra spēja pārraidīt lielāku

daļu signāla jaudas. Pie viļņa garuma 1550 nm arī G.655.D šķiedra pārraidīja lielāku daļu signāla jaudas nekā G.655A šķiedra. Tas notiek tādēļ, ka G.652.A šķiedrai ir lielāka hromatiskā dispersija nekā G.655.D šķiedrai.

5. Izpētot vājinājumu abām šķiedrām, pie viena vijuma mainot liekuma diametru no 30 mm līdz 11 mm, tika secināts, ka G.655.D šķiedrā signāls tiek vājināts mazāk nekā G.652.A šķiedrā, un to pierāda arī iegūtie dati. Pie 1310 nm viļņa garuma G.652.A šķiedrai vājinājums mainījās no -0,06 dB līdz 2,47 dB, bet G.655.D no -0,17 dB līdz 1,36 dB.
6. Apskatot iegūtos vājinājuma datus, tika secināts tas, ka atkarībā no tā, kā šķiedra ir uztīta uz uznavas, ir novērojama atšķirība vājinājumā starp G.655.D un G.652.A šķiedrām. Autors, apskatot datus pie 8 vijumiem, ievēroja, ka G.655.A šķiedrai vājinājums ir par 1,91 dB lielāks nekā G.652.A šķiedrai.
7. Izvērtējot iegūtos rezultātus, autors secina, ka mērījumos visi rezultāti nesakrīt ar teoriju, piemēram, vājinājuma vērtība 4.3. tabulā pie 30 mm liekuma diametra ar 10 tinumiem ir norādīta -0,16 dB, bet teorētiski tai vajadzētu būt pozitīvai. Tas nozīmē to, ka pārraidot signālu OŠ, signāls tika pastiprināts, bet šī pastiprināšana nav iespējama vājinājuma dēļ. Līdz ar to ir jāizvērtē iespējamie kļūdu cēloņi. Veicot references mērījumus, iespējams, ka SC-APC savienotāju kabeļu gali nebija pilnībā notīrīti, kas palielināja references mērījumu vērtību. Veicot mērījumus pie makrolocījumiem, pastāv iespēja, ka savienotāja kabeļa gals tika notīrīts pilnībā, līdz ar to tika samazināta jaudas līmeņa vērtība. Jāpievērš uzmanība arī metinājumu vietu ietekmei uz darba rezultātiem, jo eksperimentālā darba laikā OŠ vairākas reizes pārtrūka un tika atkārtoti pārmetināta.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Basic Principles of Fiber Optics - <http://nikportal.cickany.hu/view/BMF/2008-2009-1/Halozatok/PDF/basicprinciplesoffiberoptics.pdf>
2. Introduction to Fiber Optics – <http://www.markertek.com/attachments/IntroductiontoFiberOptics-1.pdf>
3. Basic of Fiber Optics – <http://www.fibersystems.com/pdf/whitepapers/Basics-of-Fiber-Optics.pdf>
4. Total Internal Reflection and Fiber Optics – <https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/geometric-optics-24/reflection-refraction-and-dispersion-169/total-internal-reflection-and-fiber-optics-609-6258/>
5. TSB communications, Optical Fibers, cables and systems, 318. lpp.
6. What is difference between OM1,OM2 – <http://www.cablek.com/technical-reference/fiber-optic-cable-types>
7. Syedur Rahman, Optical Fiber, 13. lpp.
8. Graded Index or Step Index Multimode Fiber – <http://opticalfiberalsa.over-blog.com/2016/07/graded-index-or-step-index-multimode-fiber.html>
9. What determines the bandwidth of optical fiber – <https://www.quora.com/What-determines-the-bandwidth-of-optical-fiber-versus-copper-wire>
10. Optical Fiber Loss and Attenuation – <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95048006-optical-fiber-loss-and-attenuation>
11. Attenuation in optical fiber – [http://www.invocom.et.put.poznan.pl/~invocom/C/P1-9/swiatlowody\\_en/p1-1\\_2\\_2.htm](http://www.invocom.et.put.poznan.pl/~invocom/C/P1-9/swiatlowody_en/p1-1_2_2.htm)
12. Absorption in optical fiber – [http://www.electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical\\_1/Unit\\_1.4.pdf](http://www.electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_1/Unit_1.4.pdf)
13. Bending Loss and Reliability in Optical Fibers – [http://www.electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical\\_1/Unit\\_1.8.pdf](http://www.electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_1/Unit_1.8.pdf)
14. Losses and Dispersion in Waveguides – [http://depts.washington.edu/mictech/optics/taian\\_2004/waveguide\\_week3.pdf](http://depts.washington.edu/mictech/optics/taian_2004/waveguide_week3.pdf)

15. Corning Incorporated, An Overview of Macrobending and Microbending of Optical Fibers, 21.lpp.
16. Fiber Optic Cabling Solutions - <http://www.cables-solutions.com/whats-the-difference-between-upc-and-apc-connectors.html>
17. SC connector - <http://www.timbercon.com/SC-Connector.html>
18. FC connector - <http://www.timbercon.com/FC-Connector.html>
19. ITU-T G.652 Fiber -  
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5YN7T5vS0dwJ:https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp%3Flang%3De%26id%3DT-REC-G.652-200911-S!!PDF-E%26type%3Ditems+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=lv](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5YN7T5vS0dwJ:https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp%3Flang%3De%26id%3DT-REC-G.652-200911-S!!PDF-E%26type%3Ditems+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=lv)
20. ITU-T G.655 Fiber –  
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:\\_qo0zLKhtjYJ:https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp%3Flang%3De%26id%3DT-REC-G.655-200911-I!!PDF-E%26type%3Ditems+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=lv](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_qo0zLKhtjYJ:https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp%3Flang%3De%26id%3DT-REC-G.655-200911-I!!PDF-E%26type%3Ditems+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=lv)
21. What kind of Single-mode Fiber Should You Choose? -  
<http://www.fs.com/blog/what-kind-of-single-mode-fiber-should-you-choose.html>
22. EXFO FLS-110 - <http://www.surplustechmart.com/exfo-fls-110-23bl-89-single-fiberoptic-source.html>
23. V.Bobrovs, 4. Labaratorijas\_Darbs\_ŠOPS, Mācību līdzeklis, - Rīga, 2016.
24. Power level dBm meaning - <https://www.kingfisherfiber.com/Application-Notes/01-dB-dBm-Definition-Calculator.aspx>