



I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

## Projekta zinātnisko rezultātu pārskats

Atskaites periods Nr. 4.  
(16.02.2020. - 15.05.2020.)

**Projekts:** Nr. 1.1.1.1/18/A/155 “Uz čukstošās galerijas modas mikrorezonatora bāzes veidota optisko frekvenču ķemmes ģenerators izstrāde un tā pielietojumi telekomunikācijās”

**Projekta realizētāji:** Latvijas Universitāte (vadošais partneris), Rīgas Tehniskā universitāte, SIA “AFFOC Solutions”

**Projekta vispārējais mērķis:** Veikt pētniecību, kas veicina Latvijas viedās specializācijas stratēģijas mērķu sasniegšanu, cilvēkkapitāla attīstību zinātnē un tehnoloģijās un jaunu zināšanu radīšanu, lai uzlabotu konkurētspēju tautsaimniecībā

**Projekta mērķis ir:** iegūt jaunas zināšanas par čukstošo galeriju modu rezonatoru optiskajām frekvenču ķemmēm (WCOMBs) un izstrādāt, konstruēt un testēt ķemmes ģenerators prototipu telekomunikāciju pielietojumiem.

*Projekta darbības un paveiktais dotajā atskaites periodā*

### **Darbība 1. WCOMB izstrāde, modelēšana, testēšana un optimizēšana**

#### **Darbība 1.1. Dažādu ČGM rezonatoru izstrāde un iegūšana**

Paveiktais: Projekta eksperimentu vajadzībām tika izgatavoti vairāki jauni lodes formas ČGM rezonatori. Veikts darbs pie kristāla rezonatoru slīpēšanas stenda attīstīšanas – pilnveidota pozicionēšanas, dzesēšanas un vizuālās novērošanas sistēma.

#### **Darbība 1.2. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota prizma, izveide, testēšana un optimizēšana**

Paveiktais: Tika optimizēta WCOMB sistēma, kur lāzera starojums izplatās vidē (*free space*) un rezonatorā tiek ievadīts caur prizmu. Testu veikšana ar 1,5 μm viļņa garuma gaismas avotu. Ievades parametru (lāzera jauda, skanēšanas frekvence), kā arī eksperimentālās iekārtas justēšana, lai atrastu nosacījumus stabilas frekvenču ķemmes iegūšanai.

#### **Darbība 1.3. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota izstieptā šķiedra, izveide, testēšana un optimizēšana**

Paveiktais: Tika pilnveidots trapecveida šķiedras stiepšanas stands. Tas iekļāva mehāniskās sistēmas stabilitātes nodrošināšanu, liesmu veidojošās gāzes plūsmas kontroli, šķiedras kausēšanas vietas vizuālo novērošanu ar mikroskopam pievienotu web kameru. Izkausējot un izstiepjot optisko šķiedru, tika iegūta stabila trapecveida šķiedra (*tapered fiber*), kura pielietojama eksperimentos. Šai šķiedrai tika pietuvināts optiskais rezonators – šķiedras galā izkausēta lodīte. Caur optisko šķiedru laižot lāzera starojumu un mērot šķiedrai caurizgājušo starojumu, tika iegūtas mikrorezonatoru optiskās rezonances.

Tika pilnveidots optiskās frekvenču ķemmes (WCOMB) iegūšanas stends, kurā tiek izmantota rezonatora lodīte un trapecveida šķiedra. Tika meklēti eksperimentālie parametri, pie kuriem tiek novērota frekvenču ķemme. Tika mainīta lāzera jauda, lodītes saskares punkts ar trapecveida šķiedru pie dažādiem šķiedras diametriem, signāla pastiprinājums, lāzera skenēšanas frekvence. Bija zināms, ka frekvenču ķemme neveidojas pie mazas lāzera starojuma jaudas ( $< 1$  mW), jo tad optiskā materiāla nelineārie efekti izpaužas vāji. Tika konstatēts, ka frekvenču ķemme neveidojas arī pie pārāk lielas lāzera starojuma jaudas ( $> 300$  mW), jo tad rezonators sakarst un tā rezonanses nobīdās. Tika atrasts, ka iegūtā frekvenču ķemme ir nestabila laikā un tādēļ tā redzama tikai ar augstu lāzera frekvences skenēšanas frekvenci (ap 5 kHz).

#### **Darbība 1.4. ČGM rezonatoru efektu un WCOMB sistēmas matemātiskā modelēšana**

Paveiktais: Optisko frekvenču ķemmju modelēšanai tiek izmantots Lugiato-Lefever (LL) vienādojums. Tiek apgūta NIST (*National Institute for Standards and Technology*) izstrādātā Python bāzētā programma pyLLE, ar kuru var modēt LL vienādojumu. Tika veikta pyLLE Python koda analīze, koda testēšana Spyder un Jupyter vidē. Matlab vidē tiek izstrādāta programma nelineārā Šrēdingera vienādojuma modelēšanai. Dotais kods tiks pielāgots LL vienādojuma risināšanai.

#### **Darbība 1.6. Zinātniskās vizītes**

Paveiktais: Pārskata beigās nav veiktas zinātniskās vizītes, taču nodibināti kontakti ar Nižņijnovgorodas (Krievija) pētniekiem A.V. Andrianov un E.A. Anashkina no Krievijas Zinātņu akadēmijas Lietišķās fizikas institūta. Pētnieki nodarbojas ar čukstošās galerijas modu rezonatoru frekvenču ķemmju eksperimentālo un teorētisko pētniecību. Iespējama nākotnes vizīte pie šīs pētnieku grupas.

#### **Darbība 2. Portatīva WCOMB izstrāde, izveide un testēšana pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās:**

##### **Darbība 2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās**

Paveiktais: Ir veikta uz čukstošās galeriju modu rezonatoru balstīta optiskā frekvenču ķemmes (WCOMB) ģenerators sākotnējās slēguma shēmas modeļa testēšana un mērījumu veikšana laboratorijas vidē. Izstrādāts plāns sākotnējās slēguma shēmas modeļa uzlabošanai, lai iegūtu augstvērtīgāku optiskā signāla frekvenču ķemmi. Šī uzdevuma realizācijai tika veikta vairāk nekā desmit nozarē atzītu žurnālu rakstu un publikāciju analīze par jaunākajiem WCOMB izstrādes risinājumiem, kas balstīti uz ČGM rezonatoriem.

##### **Darbība 2.3. Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana**

Paveiktais: Ir izstrādāts risinājums daudzviļņu gaismas avota spektrālās raksturlīknes integrācijai daudzkanālu šķiedru optiskās pārraides sistēmas matemātiskajā simulācijas modelī. Izstrādātais simulācijas modelis atbildīs tipiskiem metro-piekļuves optiskā tīkla attālumiem (piemēram, 20, 40 km) un datu pārraides ātrumiem (piemēram, 2,5; 10; 25 Gbit/s).

##### **Darbība 2.4. Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā**

Paveiktais: Ir veikta šķiedru optiskajai sakaru sistēmai nepieciešamo komponentu un to optimālo parametru noteikšana. Uzsākts darbs pie sākotnējais optiskās pārraides sistēmas slēguma shēmas modeļa izstrādes, kurā tiks integrēts WCOMB.

#### **Darbība 4. Projekta rezultātu izplatīšana:**

##### **Darbība 4.1. Zinātnisko rakstu un konferenču tēžu publicēšana Web of Science vai SCOPUS (A vai B) datubāzēs iekļautos žurnālos vai rakstu krājumos**

Paveiktais: Atskaites posma laikā ir uzsākta zinātniskās publikācijas sagatavošana (veikta teorētiskā pamatojuma izstrāde un pētījuma rezultātu analīze) publicēšanai Web of Science vai SCOPUS datubāzēs iekļautos žurnālos vai konferenču rakstu krājumos.

##### **Darbība 4.2.2. Tehnoloģiju tiesību - zinātības apraksts**

Paveiktais: Projektā veiktais progress eksperimentālo rezultātu iegūšanā un modelēšanā tiek dokumentēts un tiek iekļauts projekta zinātības aprakstā.