



## Projekta zinātnisko rezultātu pārskats

Atskaites periods Nr. 6.  
(16.08.2020. - 15.11.2020.)

**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**

Projekta eksperimentu vajadzībām no optiskajām šķiedrām tika izgatavoti un testēti jauni lodes formas ČGM rezonatori ar dažādu diametru. Sadarbības ietvaros ar Jeļenu Anaškinu (*Elena A. Anashkina*) no Krievijas zinātņu akadēmijas Lietišķās fizikas institūta Nižnijnovgorodā tika saņemti un testēti vairāki viņu izgatavotie optiskie rezonatori.

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

Tika optimizēta un testēta WCOMB sistēma, kur lāzera starojums izplatās vidē (*free space*) un rezonatorā tiek ievadīts caur prizmu. Tika variēts ienākošā starojuma viļņa garums un jauda, kā arī tika testēti dažādi rezonatori.

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

Tika optimizēta un testēta WCOMB sistēma, kur lāzera starojums izplatās optiskajā šķiedrā un rezonatorā tiek ievadīts caur trapecveida šķiedras posmu. Ar skenējošu ierosmes lāzeru tika iegūta optiskā frekvenču ķemme, taču vairumā gadījuma tā bija nestabila laikā. Tika atrasti eksperimentālie nosacījumi, pie kuriem fiksēta ierosmes lāzera viļņa garuma gadījumā tiek iegūta stabila optiskā frekvenču ķemme. Attālums starp rezonansēm bija ap 400 GHz. Tika testēta frekvenču ķemmes veidošanās pie dažādiem ierosmes lāzera viļņa garumiem. Optimālākā optiskā frekvenču ķemme, kas tiek iegūta Kerra efekta dēļ, tika novērota pie

ierosmes tuvu 1550 nm. Tika atrasti eksperimentālie nosacījumi, pie kuriem veidojas Ramana spektrs. Tika testēta frekvenču ķemmes ģenerēšana dažāda izmēra rezonatoros.

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

Veikta analītiskās teorijas analīze un izstrāde, no Maksvela vienādojumiem izvedot *Lugiato-Lefever* (LL) vienādojumus. Izmantojot NIST (*National Institute for Standards and Technology*) izstrādāto *Python* bāzēto programmu *pyLLE*, tika modelēti LL vienādojumi, iegūstot optiskās frekvenču ķemmes. Tika variēta ierosmes starojuma jauda, frekvence, sistēmas Q-faktors, izskaņošanās lielums no rezonanses, analizējamo rezonanšu reģions. Tika ģenerēti sfēriska rezonatora rezonanšu pozīciju dati, kuri izmantojami *pyLLE* programmā, un analizēta gaismas dispersija šajos rezonatoros.

#### **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**

Tika noteikts, ka šķiedru optisko sakaru sistēmās testēšanai ir izmantojama WCOMB sistēma, kurā ierosmes lāzera fiksētais monohromatiskais starojums tiek ievadīts rezonatorā caur trapecveida šķiedru. Šī WCOMB nodrošina stabilas frekvenču ķemmes ģenerēšanu. Tika optimizēta WCOMB sistēma, lai tā būtu kompakta un mobila. Tika izstrādāts kompakts trapecveida šķiedras turēšanas modulis. Tika testēti vairāki WCOMB sistēmas nosacījumi (rezonatoru izmērs, rezonatoru pozīcija pie trapecveida šķiedras, ierosmes lāzera viļņa garums, intensitāte), lai izvēlētos optimālākos nosacījumus WCOMB sistēmai, kas testējama šķiedru optisko sakaru sistēmās.

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

Ir izstrādāts 4 kanālu ar datu pārraides ātrumu 10 Gbit/s šķiedru optiskās pārraides sistēmas (NRZ-OOK nesējsignāla modulācijas formātu) matemātiskais modelis ar integrētu WCOMB avotu simulācijas programmā *VPIphotonics*.

**Darbība 2.4. Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā**  
Laboratorijas vidē veikta šķiedru optiskās pārraides sistēmas, ar NRZ-OOK nesējsignāla modulācijas formātu, slēguma shēmas modeļa izstrāde, 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**

Atbilstoši projekta laika grafikam un plānotajai darbībai 4.1, ir veikta projekta ietvaros radīto rezultātu izplatīšana (sagatavota un apstiprināts zinātniskais raksts) augstas ietekmes žurnālā ar citēšanas indeksu vismaz 50% no nozares vidējā rādītāja - *Quantum Electronics*.

*Braunfelds, J., Murnieks, R., Salgals, T., Brice, I., Sharashidze, T., Lyashuk, I., Ostrovskis, A., Spolitis, S., Alnis, J., Porins, J., Bobrovs, V. Frequency comb generation in WGM microsphere based generators for telecommunication applications (2020) Quantum Electronics, 50 (11), p. 1043. DOI: 10.1070/QEL17409 (indeksēta SCOPUS datubāzē).*

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

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