



RIGA TECHNICAL
UNIVERSITY

Riga Technical University Institute of Telecommunications

Faculty of Electronics
and Telecommunications

«Uz čukstošās galerijas modas mikrorezonatora bāzes veidota optisko frekvenču ķemmes ģenerators izstrāde un tā pielietojumi telekomunikācijās» (1.1.1.1/18/A/155)

Prof. Jurgis Poriņš

RTU FET:

Prof. Jurgis Poriņš

Affoc Solutions Ltd:

Mareks Parfjonovs

28.10.2021

Projekta realizācija

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



2.1. Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās (M6);



2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās (M15);



2.3. Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana (M18);



2.4. Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā (M24)



3.1. Pārvietojama WCOMB prototipa pielāgošana testiem komerciālās optiskās šķiedras sakaru sistēmas infrastruktūrā;



3.2. Pārvietojama WCOMB prototipa validācija komerciālā optisko šķiedru sakaru sistēmā;



4.1. Zinātnisko rakstu publicēšana žurnālos un konferenču rakstu krājumos, kas iekļauti Web of Science vai SCOPUS (A vai B) datubāzēs.

2.1. Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās

Paveiktais: Ir veikta starptautisku zinātnisko rakstu, tai skaitā konferenču pilna teksta zinātnisko rakstu, un žurnālu analīze un izpēte (kopumā 22 zinātniskās publikācijas), kas ļāva novērtēt ČGM rezonatoru pielietojumu telekomunikāciju risinājumos un uz ČGM rezonatoru bāzes veidotu optiskās frekvenču ķemmes ģeneratora realizāciju. Izstrādāta detalizēta zinātniskā atskaite (M06) par pieejamajiem dažāda veida WCOMB ģeneratora risinājumiem un to izmantošanu šķiedru optiskajās sakaru sistēmās.

Scopus®

IEEE
Xplore®
Digital Library

2.1.	Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās	<p>Šajā apakšdarbībā tiks pētīti ČGM rezonatoru frekvenču ķemmes ģeneratora realizācijas risinājumi telekomunikāciju pielietojumiem, attiecīgi optisko sakaru sistēmās.</p> <p>Lai to sasniegtu, tiks veiktas sekojošas darbības:</p> <ul style="list-style-type: none">•izpētīti eksistējoši rezonatoru tipi, realizācijas, risinājumi;•novērtēti ČGM rezonatoru pielietojumi telekomunikāciju risinājumos;•izpēta realizācija uz ČGM rezonatoru balstītam frekvenču ķemmes ģeneratoram (turpmāk - WCOMB). <p>Apakšdarbības gala rezultāts: 1 atskaite par pieejamajiem dažāda veida WCOMB ģeneratora risinājumiem un to izmantošana šķiedru optiskajās sakaru sistēmās.</p> <p>Plānotais darbības ilgums ir no Cet1* līdz Cet2 (kopā 2 ceturkšņi). Rezultāti projekta vidusposmā (projekta 24. mēnesis): apakšdarbība ir beigusies un iegūti gala rezultāti.</p>	1 atskaite par pieejamajiem dažāda veida WCOMB ģeneratora risinājumiem un to izmantošana šķiedru optiskajās sakaru sistēmās	1	atskaite
------	---	--	---	---	----------

WCOMB projekta realizācija: Pētījumi par esošajiem WCOMB ģenerātoru veidiem, risinājumiem un to izmantošanu optisko šķiedru sakaru sistēmās(D2.1.)

- ✓ Saskaņā ar projekta grafiku projekta aktivitāte tika īstenota no 1. līdz 2. ceturksnim. Uzdevums T2.1 tika izpildīts un tika sagatavots ziņojums D2.1 par esošajiem čukstošo modu galerijas rezonatoriem, piemēram, pēc to veidiem, risinājumiem un realizācijas dažādiem lietojumiem un īpaši izmantošanai viļņu garumdales blīvēšanas optisko šķiedru sakaru sistēmās.
- ✓ Šī ziņojuma pirmajā sadaļā ir iekļauts vispārējs čukstošo modu galerijas režīma (WGM) rezonatoru novērtējums, klasifikācija un realizācija pēc WGM rezonatora ieviešanas veida uz frekvences ķemmes balstītam ģeneratoram, tostarp galvenie ieviešanas parametri iegūtajā frekvences ķemmes ģeneratorā.
- ✓ Šis pētījums ir publicēts žurnālā Quantum Electronics 2020. Daļa no šī raksta ir veltīta frekvenču ķemmes ģenerēšanas procesam, galvenajiem mikrorezonatora parametriem, piemēram, brīvajam spektrālajam diapazonam (FSR) un Q faktoram, izmantotajiem optiskās frekvences ķemmes (OFC) ģeneratora parametriem un iegūtajām frekvencēm.
- ✓ Otrajā sadaļā aplūkotas Kerr ķemmes izmantošanas grūtības un ierobežojumi datu pārraidei pēc tās veida – gredzena rezonatora un kristāliskās frekvences ķemmes avota, ieviešanai telekomunikāciju sistēmās.
- ✓ Šis pētnieciskās darbības rezultāts ir tālākā tehnoloģiju attīstības ceļa apraksts WCOMB projekta ietvaros.

2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās (1/4)

Paveiktais: Ir veikta uz čukstošās galeriju modu rezonatoru balstīta optiskā frekvenču ķemmes (WCOMB) ģeneratora sākotnējās slēguma shēmas modeļa izstrāde laboratorijas vidē. Šī uzdevuma realizācijai tika veikta vairāku nozarē atzītu žurnālu rakstu un publikāciju analīze par jaunākajiem WCOMB izstrādes risinājumiem.

2.2.	Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās	<p>Šīs apakšdarbības ietvaros eksperimentāli šķiedru optiskajās sakaru sistēmu (ŠOPS) laboratorijā tiks izstrādāts WCOMB, kas pielāgots izmantošanai ŠOPS kā daudzviļņu gaismas avota risinājums. Izveidotais WCOMB atbildīs sekojošām prasībām:</p> <ul style="list-style-type: none">• nodrošinās frekvenču ķemmi optiskajā C – joslā (1530-1565 nm), kanālu skaits atbildīs reālos ŠOPS risinājumos izmantotajiem $2n$ (n – vesels skaitlis), kā piemēram, 8, 16 kanāli;• starpkanāla intervāls starp (ČGM) rezonatora frekvenču ķemmes maksimumiem atbildīs ŠOPS viļņgarumdales (WDM) risinājumos izmantotiem starpkanālu intervāliem starp pārraides datu kanāliem (ITU-T G.694.1), kā piemēram, 100 un 50 GHz. <p>Apakšdarbības gala rezultāts: atskaite par izveidoto portatīvo WCOMB ģeneratoru.</p> <p>Plānotais darbības ilgums ir no Cet1 līdz Cet5 (kopā 5 ceturkšņi). Rezultāti projekta vidusposmā (projekta 24. mēnesis): apakšdarbība ir beigusies un iegūti gala rezultāti.</p>	1 atskaite par izveidoto portatīvo WCOMB
------	--	---	--

2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās (2/4)

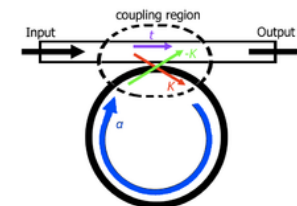
Šīs apakš darbības ietvaros eksperimentāli RTU TI šķiedru optiskajās sakaru sistēmu (ŠOPS) laboratorijā tiek izstrādāts riņķveida rezonators / WCOMB, kas pielāgots izmantošanai ŠOPS kā daudzviļņu gaismas avota risinājums.

Esošajā etapā ŠOPS laboratorijā izveidotais **riņķveida rezonators** (fiber loop resonator)

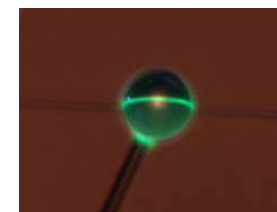
WCOMB atbilst sekojošām prasībām:

- ✓ Nodrošinās frekvenču ķemmi optiskajā C – joslas apgabalā,
- ✓ kanālu skaits atbilstīs reālos ŠOPS risinājumos izmantotajiem $2n$ (n – vesels skaitlis), kopumā vismaz 3 kanāli.

Nākošajā etapā ŠOPS laboratorijā tiks izmantots **Monolītisks sfēras rezonators** (monolithic sphere resonator) WCOMB, kas pielāgots izmantošanai ŠOPS kā daudzviļņu gaismas avota risinājums.



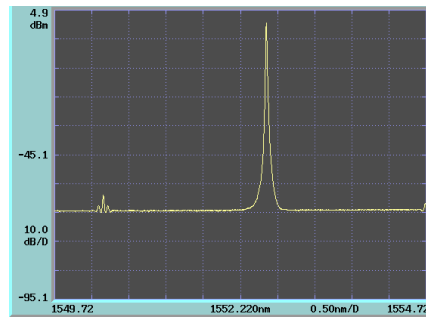
Esošajā etapā



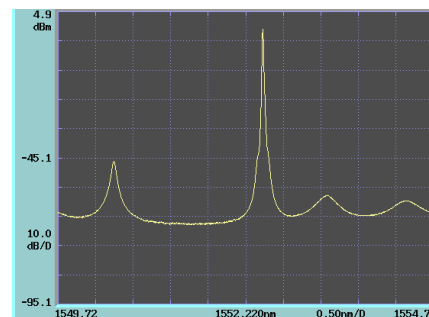
Nākošajā etapā

2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās (3/4)

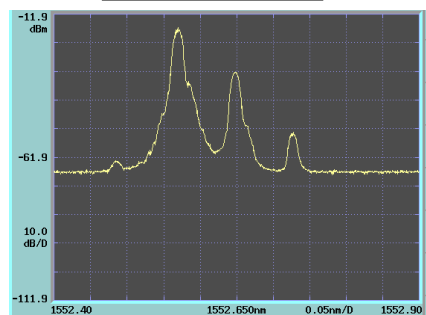
Esošajā etapā ŠOPS laboratorijā izveidotais riņķveida rezonators



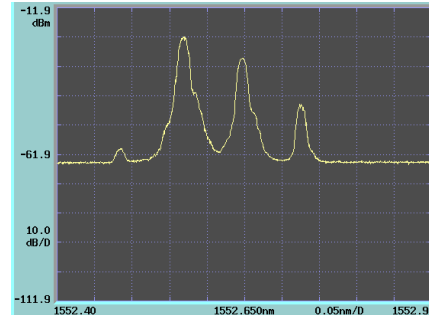
Cobrite DX-4



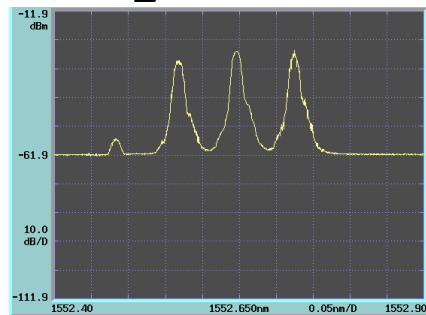
IDIL



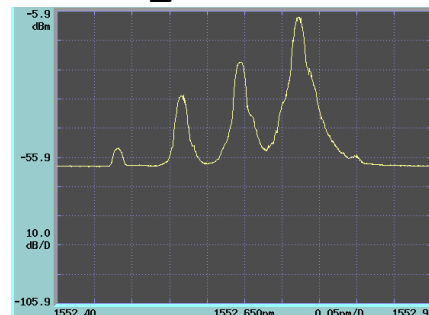
EDFA_out = 10 dBm



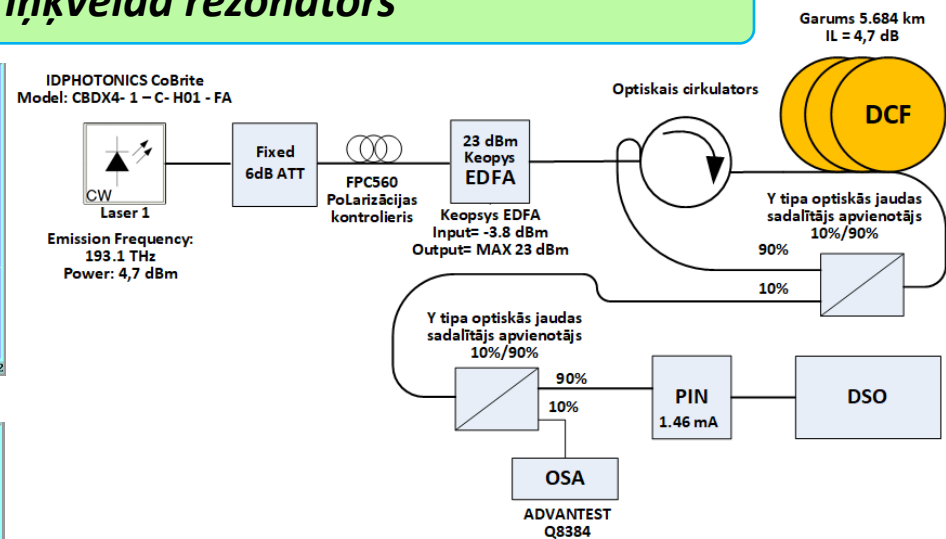
EDFA_out = 13 dBm



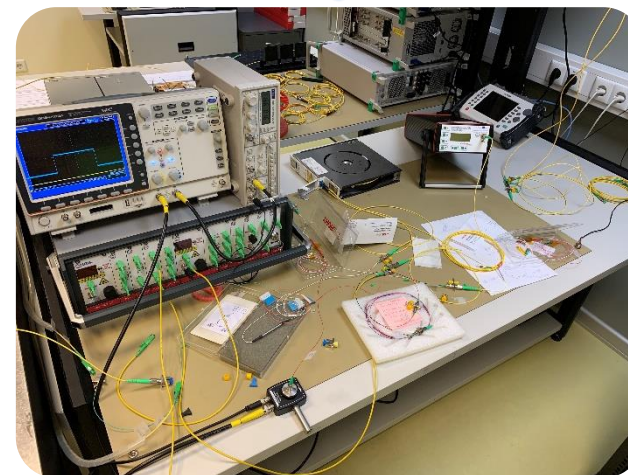
EDFA_out = 16 dBm



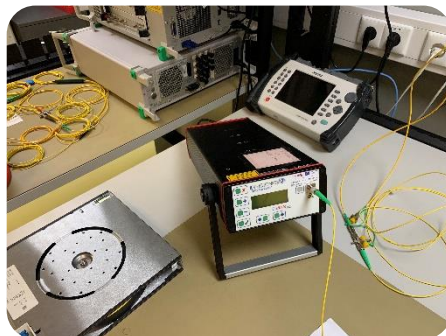
EDFA_out = 19 dBm



RTU TI ŠOPS laboratorijā izveidotā riņķveida rezonatora slēguma shēma.

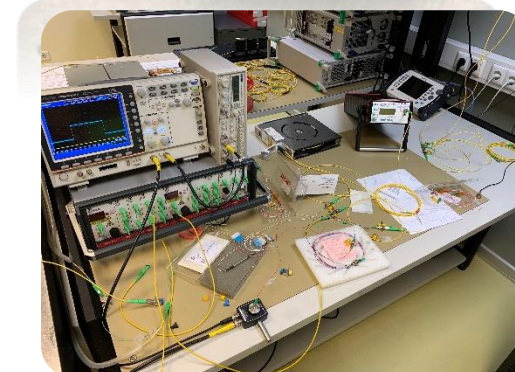


2.2. Portatīva daudzviļņu izstrāde un pielietojumiem sakaru



RIGA TECHNICAL
UNIVERSITY

WCOMB kā gaismas avota izveide šķiedru optisko sistēmās (4/4)



RIGA TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS

WCOMB projekta realizācija: Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās ***(D2.2.)***

- ✓ Šī projekta aktivitāte tika īstenota no 1. līdz 8. ceturksnim. Pamatojoties uz WP3 pirmajā aktivitātē iegūtajām zināšanām, projekta komanda ciešā sadarbībā ar uzņēmuma partneri AFFOC Solutions RTU optisko šķiedru pārraides sistēmu (FOTS) laboratorijā eksperimentāli izstrādāja WCOMB prototipu, kas pielāgots izmantošanai FOTS kā daudzviļņu gaismas avots.
- ✓ Konstruētais prototips nodrošināja optiskās frekvences ķemmes ģenerēto līniju stabilu darbību optiskā C joslas (1530-1565 nm) apgabalā ar kanālu skaitu, kas atbilst $2n$ (n – vesels skaitlis), kur kanālu atstatuma intervāls starp rezonatora līnijām atbilst atstatumam. viļņu garuma dalīšanas multipleksēto (WDM) pārraides sistēmas datu kanālu intervāli, kas noteikti (ITU-T G.694.1) ieteikumā.
- ✓ Izstrādātais prototips testēts un validēts RTU IT šķiedru optiskās pārraides laboratorijā, kur stabila darbība ir divu jaunģenerētu nesēju (no 7 nesēju OFC) ar lielāko maksimālo jaudu pielietojumam optisko šķiedru sakaru sistēmās (pietiekams optiskais signāls). radīto OFC harmoniku - trokšņa attiecība (SNR) 10 stundu laika periodam.
- ✓ Nozīmīgākie rezultāti publicēti žurnālā “ Optics Express” zinātniskajā rakstā (Q1, IF=3,669, CiteScore=4,56, indeksēts SCOPUS, kura citēšanas indekss sasniedz vismaz 50% no vidējā citēšanas indeksa sektorā).
- ✓ Aktivitātes noslēguma zinātniskajā ziņojumā D.2.2. visi mērījumi un iegūtie dati ir aprakstīti sīkāk.

2.3. Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana (1/2).

Paveiktais: Ir veikta daudzkanālu šķiedru optiskās pārraides sistēmas simulācijas modeļa izstrāde matemātiskās simulācijas programmatūrā. Izstrādātais simulācijas modelis ir balstīts uz NRZ-OOK nesējsignālu modulācijas formātu. Šī uzdevuma ietvaros uzsākts darbs pie daudzviļņu gaismas avota spektrālās raksturlīknes integrācijas matemātiskā simulācijas modelī.

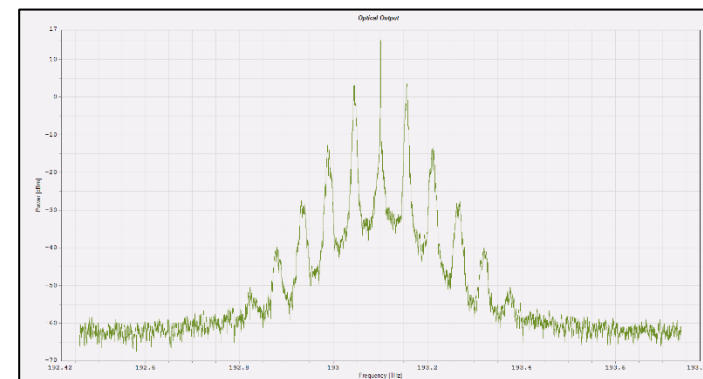
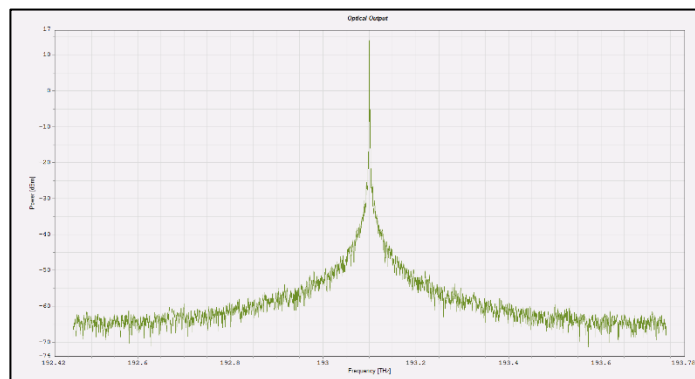
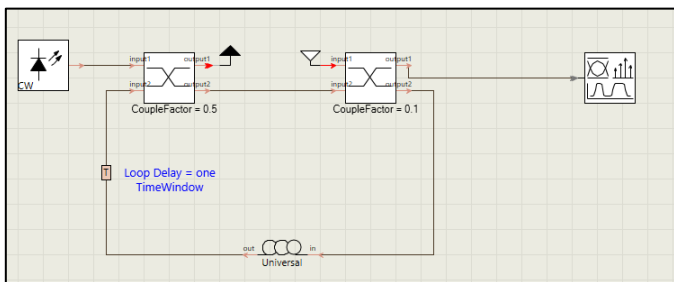
2.3.	Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana	<p>Šīs apakšdarbības mērķis ir optisko pārraides sistēmu simulācijas programmā (OptSim, VPIphotonics, Matlab vai līdzvērtīgā) novērtēt frekvenču ķemmes ģeneratora pielietojumu šķiedru optiskajā sakaru sistēmā kā daudzviļņu gaismas avotu ar dažādiem nesējsignālu modulācijas formātiem, kā piemēram, NRZ-OOK, PAM-4, Duo- binary, u.c.</p> <p>Lai to sasniegtu, tiks veiktas sekojošas darbības:</p> <ul style="list-style-type: none">• izstrādāts šķiedru optiskās sakaru sistēmas matemātiskās simulācijas modelis, kurā iespējams integrēt daudzviļņa gaismas avota elementu ar eksperimentāli nomērītām parametru raksturlīknēm;• laboratorijā nomērīti un matemātiskā simulācijas modelī ielādēti/integrēti WCOMB raksturojošie parametri, to raksturlīknes;• novērtēt sistēmas darbību pie tipiskiem metro-piekluves optiskā tīkla attālumiem un datu pārraides ātrumiem (piemēram, 2,5, 10, 25 Gbit/s; u.c.). <p>Izveidotais matemātiskais simulācijas modelis atbilst tehnoloģiju gatavības līmenim – TRL 3, kas sevī ietver koncepcijas eksperimentālu pārbaudi pielietojot analītiskus pētījumus, lai apstiprinātu prognozes par tehnoloģijas komponentēm.</p> <p>Apakšdarbības gala rezultāts: viens matemātiskais simulācijas modelis</p> <p>Plānotais darbības ilgums ir no Cet2 līdz Cet6 (kopā 5 ceturkšņi). Rezultāti projekta vidusposmā (projekta 24. mēnesis): apakšdarbība ir beigusies un iegūti gala rezultāti.</p>	1 matemātiskais modelis	1	modelis
------	--	---	-------------------------	---	---------

2.3. Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana (2/2).

Plānotais: Izstrādāt sakaru sistēmas modeli VPIphotonics vidē:

- 2.2. aktivitātē iegūtais daudzviļņa avota spektrs tiks ielādēts simulācijas vidē un veiktas atbilstošās simulācijas.

No simulācijas rezultātiem plānots izstrādāt Zinātnisko publikāciju.



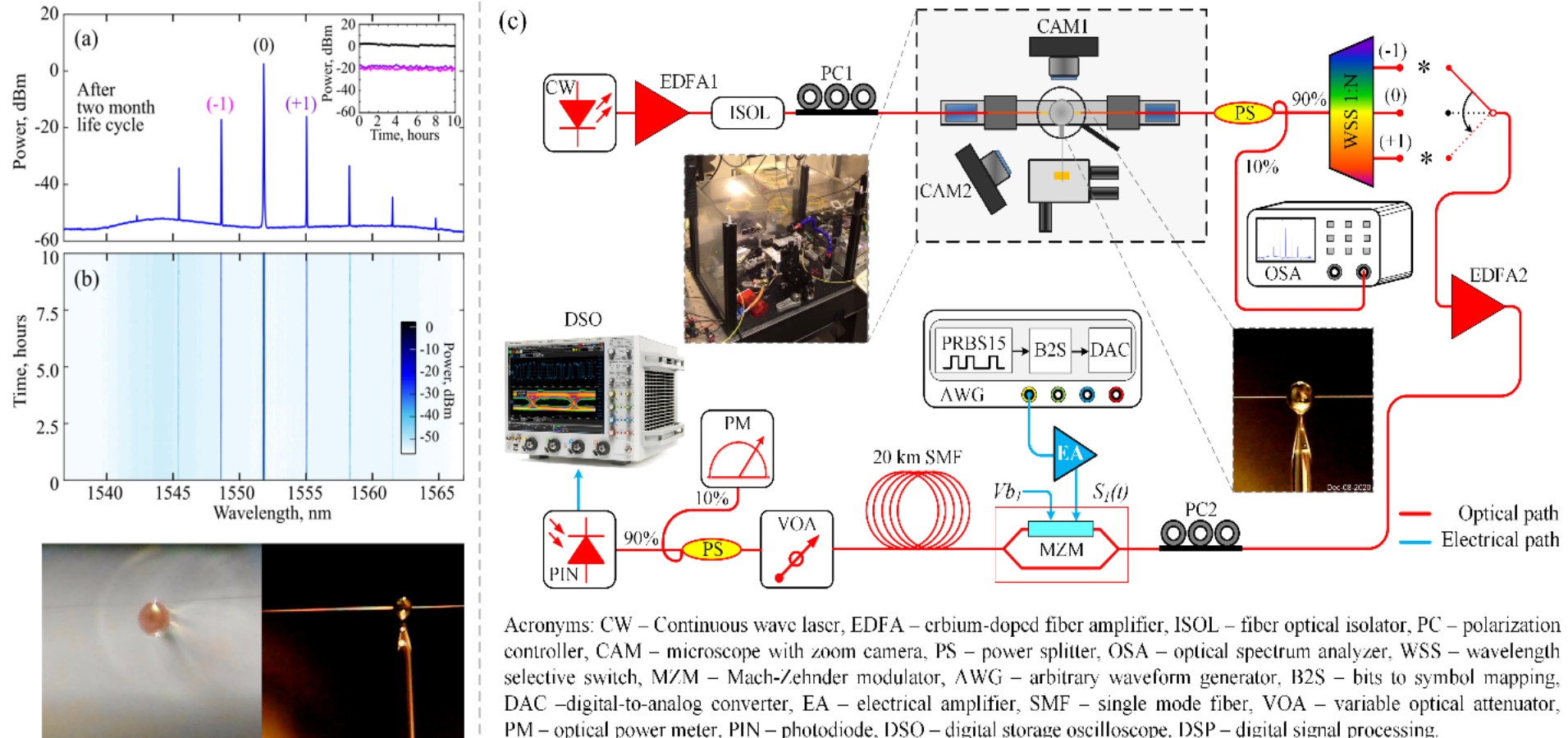
WCOMB projekta realizācija: Uz WCOMB bāzes veidotas optisko sakaru sistēmas matemātiskā modelēšana (D2.3.)

- ✓ Šī projekta aktivitāte tika īstenota no 2 līdz 8.ceturksnim, paralēli 2.2.aktivitātei, tādējādi nodrošinot labu abu darbību saskaņošanu un veiktās analīzes savstarpēju papildināšanu. Šīs aktivitātes laikā tika novērtēta un iegūta eksperimentāli izmērītas optiskās frekvences ķemmes (OFC) integrācija izstrādātā optiskās šķiedru sakaru sistēmas matemātiskās simulācijas modelī, kas balstīta uz čukstošās modas galerijas režīma rezonatora bāzes optiskās frekvences ķemmes ģeneratoru (WGMR-OFC).
- ✓ Pārskata pirmajā sadaļā ir aprakstīts realizētais optiskās šķiedras sakaru sistēmas simulācijas modelis un OFC integrācija šajā modelī. Otrajā sadaļā tiek novērtētas WMGR-OFC iespējas, lai nodrošinātu sistēmas veikspēju dažādās tīklu konfigurācijās, piekļuves tīklos.
- ✓ Izstrādātais simulācijas modelis atbilst tehnoloģiju gatavības līmenim – TRL 3 (kas ietver koncepcijas eksperimentālu testēšanu, izmantojot analītiskos pētījumus, lai apstiprinātu prognozes par tehnoloģiskajiem komponentiem).
- ✓ Nozīmīgākie rezultāti no simulācijām ar VPIphotonics programmatūru tika publicēti žurnāla “IEEE Access” zinātniskajā rakstā (Q1, IF = 3,745, CiteScore = 3,9, indeksēts SCOPUS, kura citēšanas indekss sasniedz vismaz 50% no vidējais citēšanas indekss nozarē).
- ✓ Aktivitātes noslēguma zinātniskajā ziņojumā D.2.3. visi mērījumi un iegūtie dati ir aprakstīti sīkāk.

WCOMB projekta realizācija: Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā ***(D.2.4.) (1/5)***

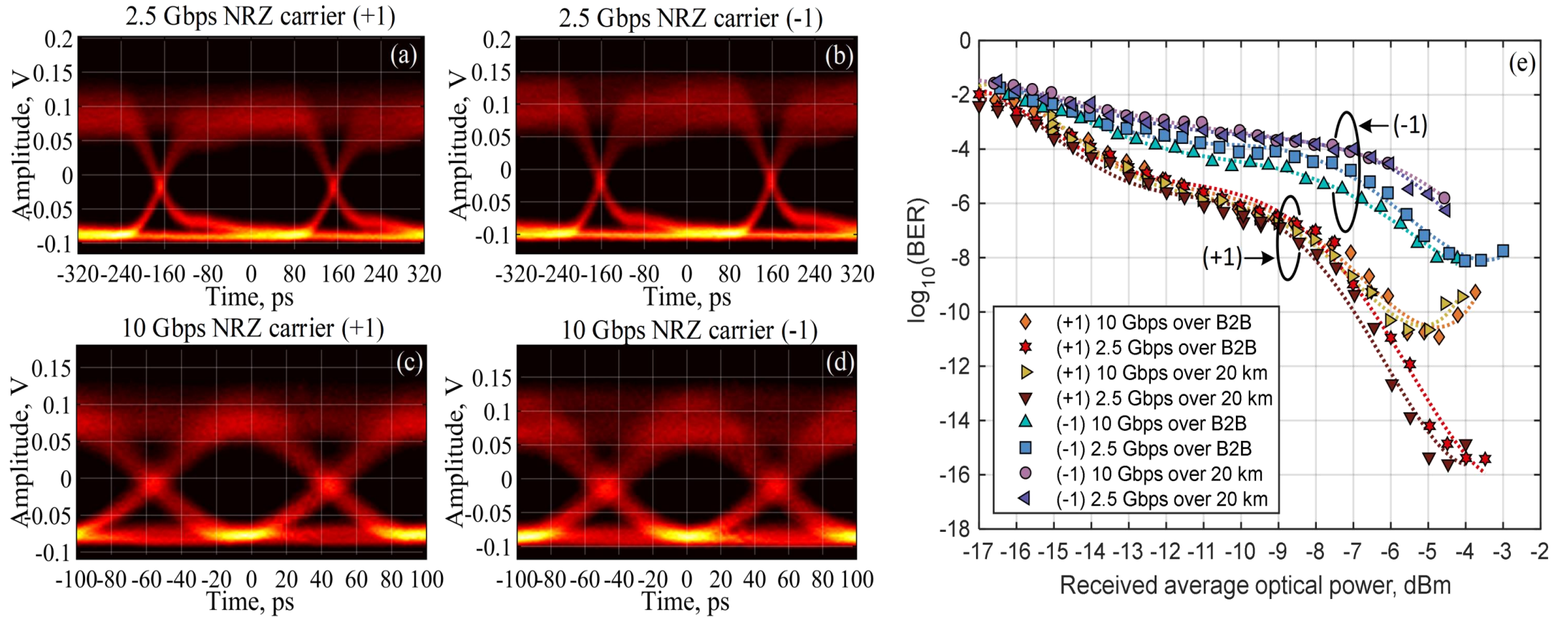
- ✓ Aktivitātes īstenošanas grafiks tika precizēts 2021.gada 26.marta līguma grozījumos – aktivitātes sākums paredzēts projekta 9.ceturksnī.
- ✓ Cik mums ir zināms, pamatojoties uz literatūras analīzi, mēs pirmo reizi eksperimentāli piedāvājam izstrādātu silīcija dioksīda mikrosfēras čukstošās modas galerijas režīma mikrorezonatoru (WGMR) OFC kā C joslas gaismas avotu, kurā 400 GHz attālumi nodrošina datu pārraidi līdz pat 10 Gb/s NRZ-OOK modulēti signāli, izmantojot standarta ITU-T G.652 telekomunikāciju šķiedru 20 km garumā.
- ✓ Daļa no nozīmīgākajiem šīs aktivitātes laikā sasniegtajiem rezultātiem jau publicēta žurnāla “Optics Express” zinātniskajā rakstā (Q1, IF = 3,669, CiteScore = 4,56, indeksēts SCOPUS, kura citēšanas indekss sasniedz vismaz 50 % no vidējā atsauces indeksa nozarē).
- ✓ Kā arī FOTS laboratorijā priekšroka tika dota WCOMB veikspējas novērtēšanai optiskās šķiedras sistēmā (balstīta uz maza darbības attāluma datu centru starpsavienojuma (DCI) arhitektūru, ar 2 km SMF šķiedru laidumu) pie dažādiem datu pārraides ātrumiem un modulācijas formātiem. Sasniegtie augstāka līmeņa datu pārraides ātrumi līdz 50 Gbit/s kanālā, izmantojot WGMR-OFC kā gaismas avotu, tiks publicēti zinātniskajā rakstā – žurnālā “Optics Express”. Šobrīd projekta komandas dalībnieki gatavo zinātnisko rakstu iesniegšanai.

WCOMB projekta realizācija: Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā (D.2.4.) (2/5)



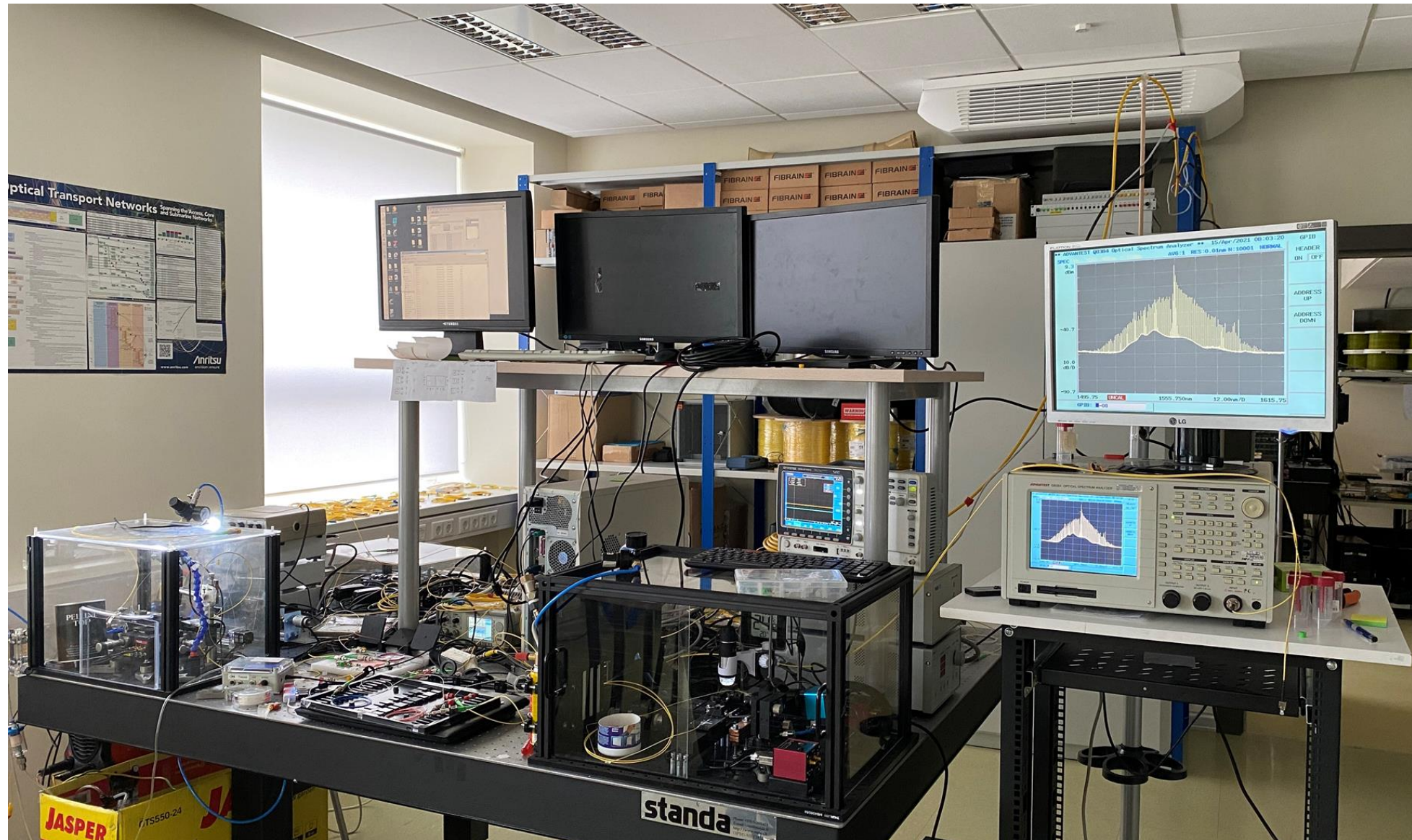
Att. 1. Izmēritā OFC veiktspēja 10 stundu periodā: (a) optiskais spektrs, kas atspoguļo uztvertās jaudas stabilitāti, un (b) jaudas sadalījuma stabilitāte visā viļņa garumā (c). Izstrādātās silīcija dioksīda mikrosfēras WGMR-OFC kā gaismas avota eksperimentālā iestatīšana, kur 400 GHz attālumi nesēji nodrošina NRZ-OOK modulētu 2,5 un 10 Gbps datu pārraidi 20 km SMF šķiedras garumā. Ieliktni parāda konusveida šķiedras un silīcija dioksīda mikrosfēras rezonatora pozīcijas savienojuma apstākļos un WGMR-OFC samazinātu mitrumu un putekļu novēršanu.

WCOMB projekta realizācija: Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā (D.2.4.) (3/5)



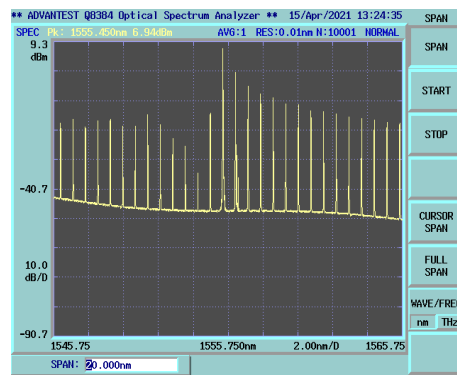
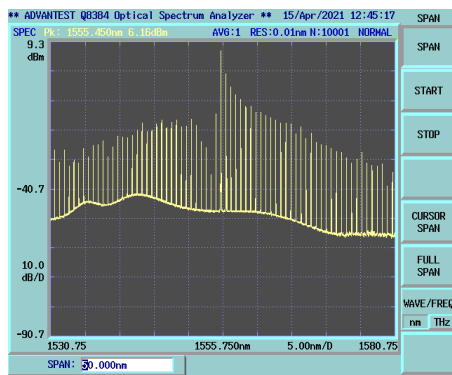
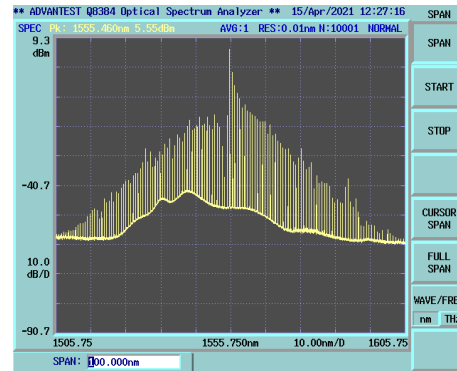
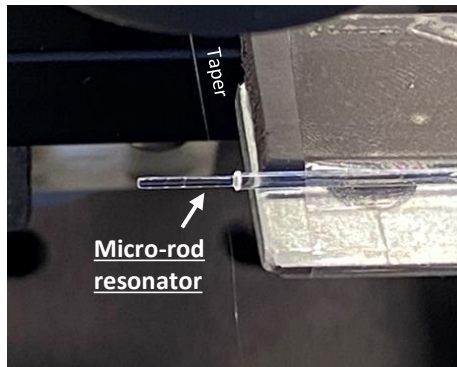
Att.2. Saņemtā signāla acu diagrammas pēc 20 km pārraides pa SMF šķiedru ar datu pārraides ātrumu 2,5 Gb/s (a) nesējam “+1” un (b) nesējam “-1” un ar datu pārraides ātrumu 10 Gb/s (c) nesējs “+1” un (d) nesējs “-1” un (e) diagrammas BER pret vidējo saņemto optisko jaudu B2B un pēc 20 km pārraides NRZ-OOK modulēta signāla ar bitu pārraides ātrumu 2,5 un 10 Gb/s “+1” un “-1” mobilo sakaru operatoriem.

WCOMB projekta realizācija: Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā (D.2.4.) (4/5)

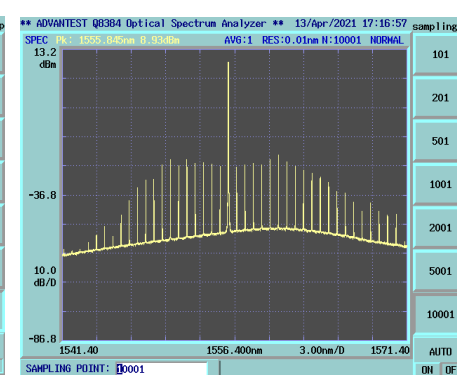
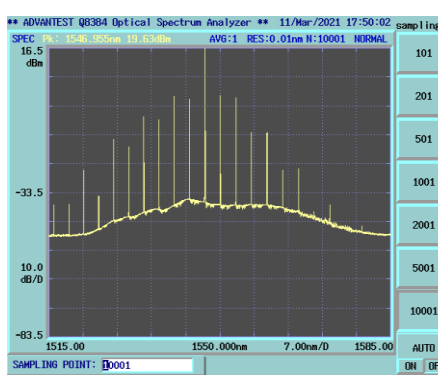
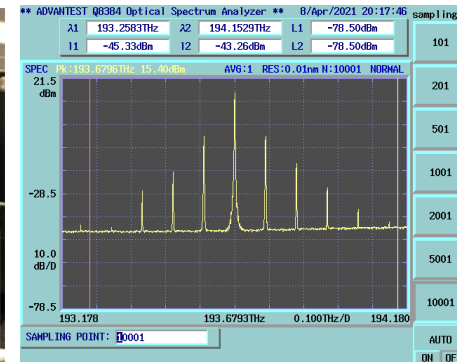
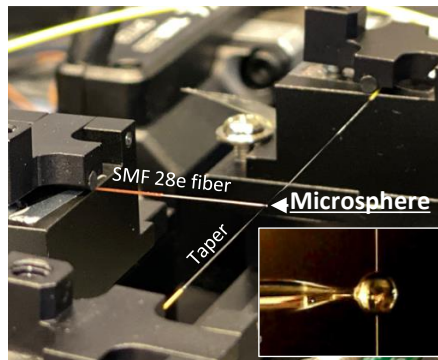


WCOMB projekta realizācija: Šķiedru optiskajā sakaru sistēmā integrēta WCOMB testēšana laboratorijā (D.2.4.) (5/5)

Optiskās frekvences ķemmes, kas iegūtas silīcija dioksīda mikrostieņu rezonatoros



Optiskās frekvences ķemmes, kas iegūtas silīcija dioksīda mikrosfērās



Mikrostieņu rezonatori var nodrošināt labāku ķemmes stabilitāti laika gaitā un nodrošināt potenciālu integrāciju mikroshēmā, savukārt silīcija dioksīda mikrosfēru ražošanas izmaksas un sarežģītība ir nesalīdzināmi zemākas.

WCOMB projekta realizācija: Pārvietojama WCOMB prototipa pielāgošana testiem komerciālās optiskās šķiedras sakaru sistēmas infrastruktūrā ***(D.3.1.)***

- ✓ Šī projekta aktivitāte šobrīd turpinās, sākot no 8. ceturkšņa. Izmantojot WP2 aktivitātē gūtās zināšanas, projekta komanda ciešā sadarbībā ar uzņēmuma partneri AFFOC Solutions veic darbības, kas saistītas ar izstrādāto portatīvās WCOMB ierīces prototipa pielāgošanu lauka testēšanas vajadzībām un validāciju reālā optisko šķiedru sakaru sistēmu infrastruktūrā.
- ✓ Konstruētas konusveida šķiedras sistēmas ir pārnēsājamas, taču tās ir apjomīgas. Ir izpētīti vairāki dažādi risinājumi sistēmas apjoma samazināšanai. Tika konstatēts, ka ir svarīgi spēt pārregulēt rezonatora sakabes pozīciju, tāpēc ir apsvērtas kompaktas XYZ pakāpes, kuru pamatā ir materiāla lieces mehānisms. Tiek veikti testi ar dažādiem filtriem un mitruma kontroli, lai palēninātu WGM rezonatoru degradāciju.

WCOMB projekta realizācija: Pārvietojama WCOMB prototipa validācija komerciālā optisko šķiedru sakaru sistēmā **(D.3.2.)**

- ✓ Projekta komanda ciešā sadarbībā ar AFFOC Solutions ir uzsākusi sarunas ar optiskā tīkla infrastruktūras īpašniekiem, lai vienotos par atbilstošu telekomunikāciju līnijas punktu, kur projekta komanda izveidos un validēs portatīvo WGMR prototipu testēšanai komerciālās optiskās šķiedras pārraides sistēmas infrastruktūrā.
- ✓ Šobrīd divi potenciālie kandidāti (LVRTC un Telia) ir ieinteresēti nodrošināt telekomunikāciju infrastruktūru testiem un prototipu validācijai.



LATVIJAS VALSTS
RADIO UN TELEVĪZIJAS CENTRS



WCOMB projekta realizācija: Zinātnisko rakstu publicēšana žurnālos un konferenču rakstu krājumos, kas iekļauti Web of Science vai SCOPUS (A vai B) datubāzē_(D.4.1.)

Projekta aktivitātes šobrīd turpinās, sākot no 4. ceturkšņa. Publicēti četri pētnieciskie darbi – 2 no tiem žurnālos, kuru citēšanas indekss ir vismaz 50% no nozares vidējā citēšanas indeksa:

- 1) J. Braunfelds et al. (2020)/Frequency comb generation in WGM microsphere based generators for telecommunication applications/**Quantum Electronics (Q2)**
- 2) T. Salgals et al., (2021)/Demonstration of a fiber optical communication system employing a silica microsphere-based OFC source/**Optics Express (Q1)**
- 3) S. Spolitis et al., (2021)/IM/DD WDM-PON Communication System Based on Optical Frequency Comb Generated in Silica Whispering Gallery Mode Resonator/**IEEE Access (Q1)**
- 4) I. Brice et.al., (2021)/**SPIE Proceedings**

Projekta vidusposmā sasniedzamais rezultāts – vismaz viena iesniegta publikācija – ir pilnībā sasniegts.



Paldies!

<https://www.rtu.lv/en>

<https://www.facebook.com/rtutelekomunikaciju.instituts/>

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ