



«Jaunas optiskās datu pārraides tehnoloģijas izstrādāšana»

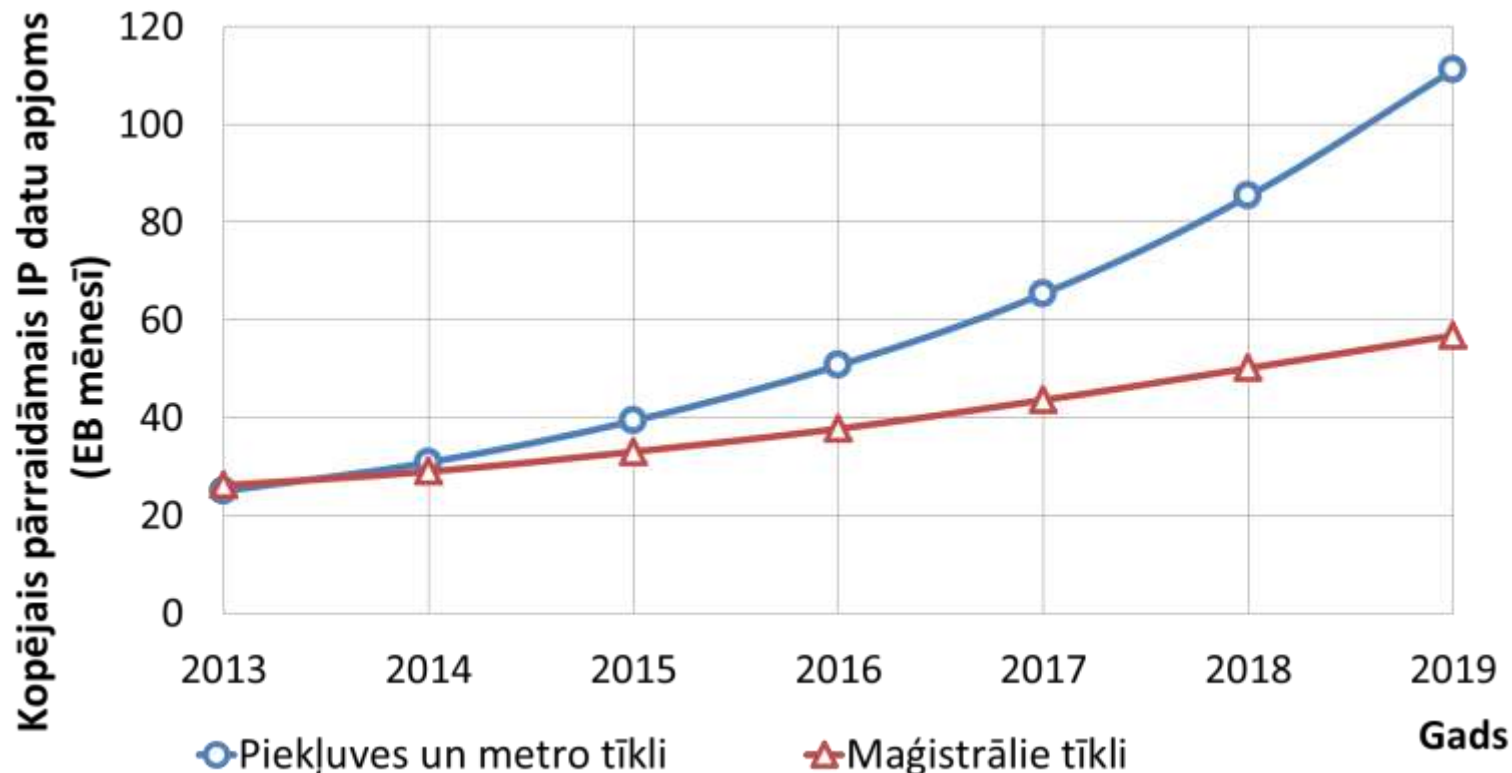
Jurģis Poriņš
Prof. Dr.sc.ing.

VPP Projekts – Tehnoloģijas drošai un uzticamai gudrajai pilsētai



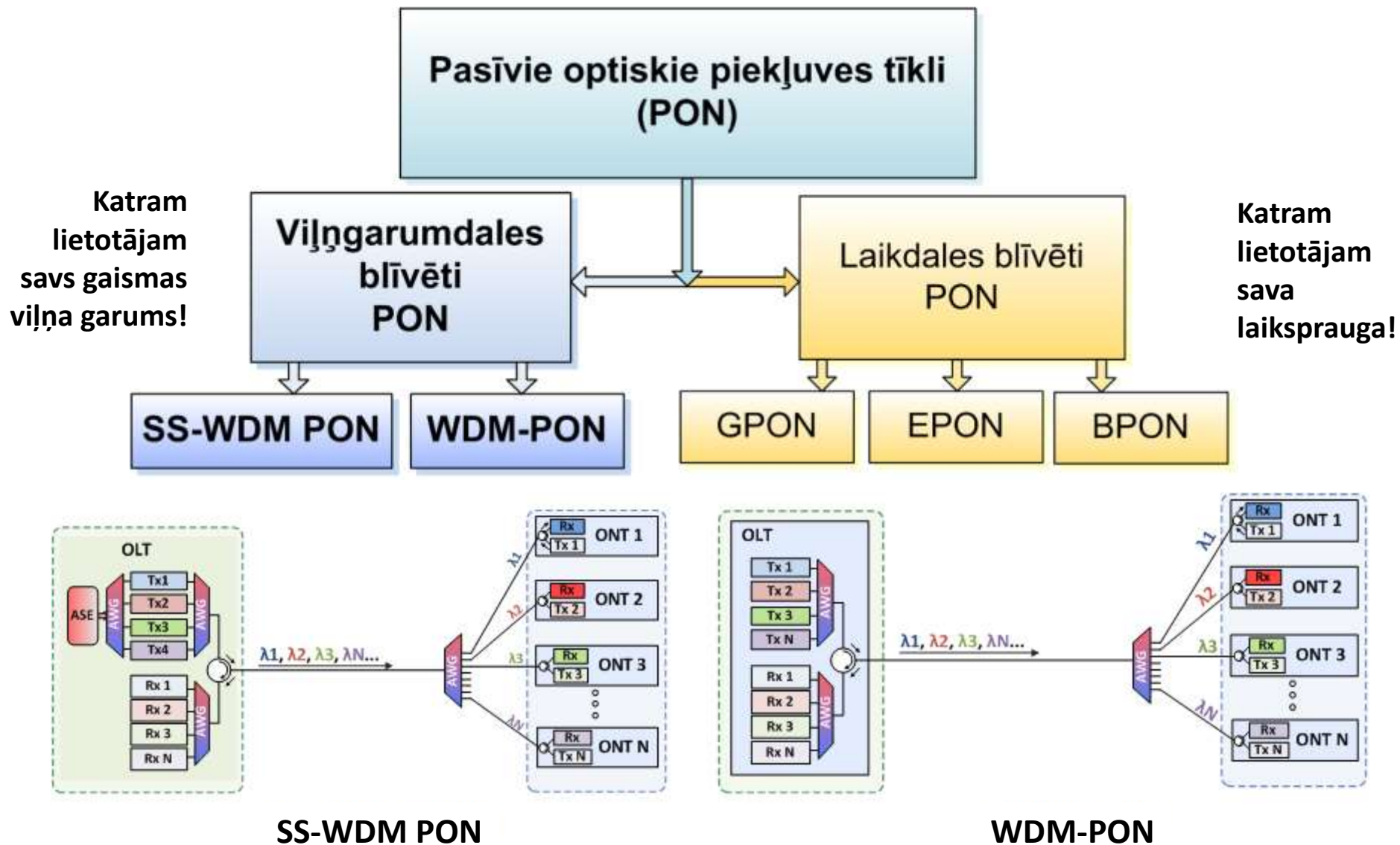
Aktualitāte (1/2)

2015. gadā piekļuves un metro tīklos pārraidāmais datu apjoms sastāda 54% no kopējā pārraidāmā datu apjoma!



Kompānijas Cisco prognozes kopējam pārraidām datu apjomam laika posmā no 2013. līdz 2019. gadam

Aktualitāte (2/2)



Mērķis un uzdevumi

Mērķis:

Skaitliski, ar simulācijas programmas, un praktiski, ar eksperimentu palīdzību izpētīt ātrdarbīgu viļņgarumdales blīvētu (WDM-PON) optisko piekļuves sakaru sistēmu veidus un izstrādāt jaunu ŠOPS tehnoloģiju ātrai datu pārraidei.

Darba uzdevumi:

1. **Novērtēt** laikdales (TDM) un viļņgarumdales blīvētu (WDM) optisko piekļuves sakaru sistēmu tehnoloģiskos risinājumus un to galvenos elementus.
2. **Novērtēt** hromatiskās dispersijas kompensācijas metožu pielietojumu datu pārraides kvalitātes uzlabošanai un maksimālā pārraides attāluma palielināšanai, izveidojot līdz 16 kanālu WDM-PON un SS-WDM PON sakaru sistēmu simulācijas modeļus ar pārraides ātrumu līdz 10 Gbit/s kanālā.

Uzdevumi (turpinājums)

3. **Izstrādāt** jaudīga platjoslas ASE gaismas avota modeli ar līdzenu izejas optiskā signāla frekvenču raksturlīkni, ko var izmantot līdz 16 kanālu SS-WDM PON sistēmas realizācijai C joslā (1530–1565 nm).
4. **Izveidot** WDM-PON un SS-WDM PON sakaru sistēmu eksperimentālo maketu ar dispersijas kompensāciju un veikt praktiski iegūto rezultātu iespējamo salīdzinošo analīzi ar simulācijas datiem.
5. **Izstrādāt** elektro-optiska spektrāli sagriezta raiduztvērēja prototipu ātrdarbīgu optisko signālu pārraidei un uztveršanai, kā arī novērtēt tā darbību, realizējot 1 Gbit/s NRZ elektriskā signāla sagriešanu, pārraidi caur 25 km garu standarta vienmodas optiskās šķiedras posmu, un atjaunošanu, izmantojot ierobežotu līdz 500 MHz elektrisko komponentu frekvenču caurlaides joslu.
6. **Novērtēt** pārraidāmā signāla latentuma cēloņus ātrdarbīgās optiskajās piekļuves sakaru sistēmās un izveidot modeli šo sistēmu iespējami zemākās laika aiztures iegūšanai.

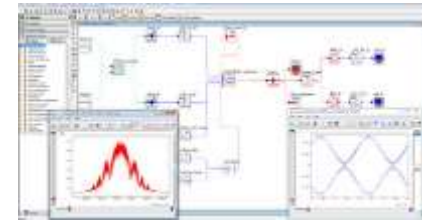
Pētījuma metodika

Literatūras analīze:



Literatūra iegūta no **IEEE Xplore**, **Optics Infobase**, **SPIE Digital Library**, **Science Direct** un citām datu bāzēm, kā arī no citiem zinātniskās literatūras avotiem.

Matemātiskā modelēšana:



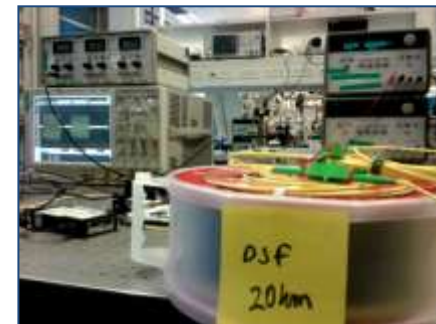
Optisko sakaru sistēmas matemātisko modeļu realizācija veikta **OptSim** programmā, savukārt spektrāli sagriezta raiduztvērēja realizācijai nepieciešamā ciparu signālu apstrāde (DSP) tika realizēta **Matlab** datorprogrammā.



Eksperiments:

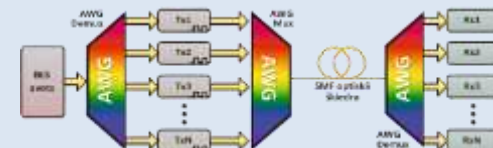
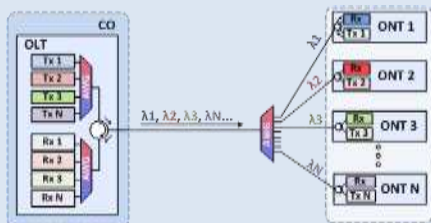


Zinātniskie pētījumi tiks veikti gan RTU Telekomunikāciju institūta **ŠOPS** laboratorijā, gan DTU Fotonikas institūta laboratorijā.

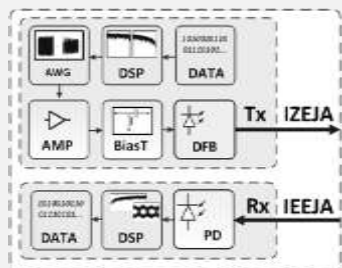


Pētījuma struktūra

1. WDM-PON UN SS-WDM PON PIEKĻUVES SISTĒMAS

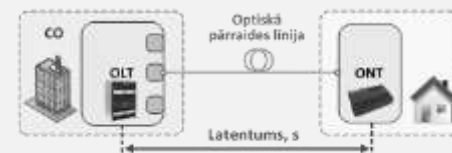


2. SPEKTRĀLI SAGRIEZTA RAIDUZTVĒRĒJA IZVEIDE



ĀTRDARBĪGĀKI UN EFEKTĪVĀKI WDM OPTISKIE PIEKĻUVES TĪKLI

3. SIGNĀLA LATENTUMS OPTISKAJOS PIEKĻUVES TĪKLOS



ĀTRDARBĪGAS LĪDZ 10 GBIT/S KANĀLĀ VIĻŅGARUMDALES BLĪVĒTAS PASĪVĀS OPTISKĀS SISTĒMAS (WDM-PON) **SIMULĀCIJAS SHĒMA**

Sistēmas pamatparametri:

✓ 16 WDM kanāli

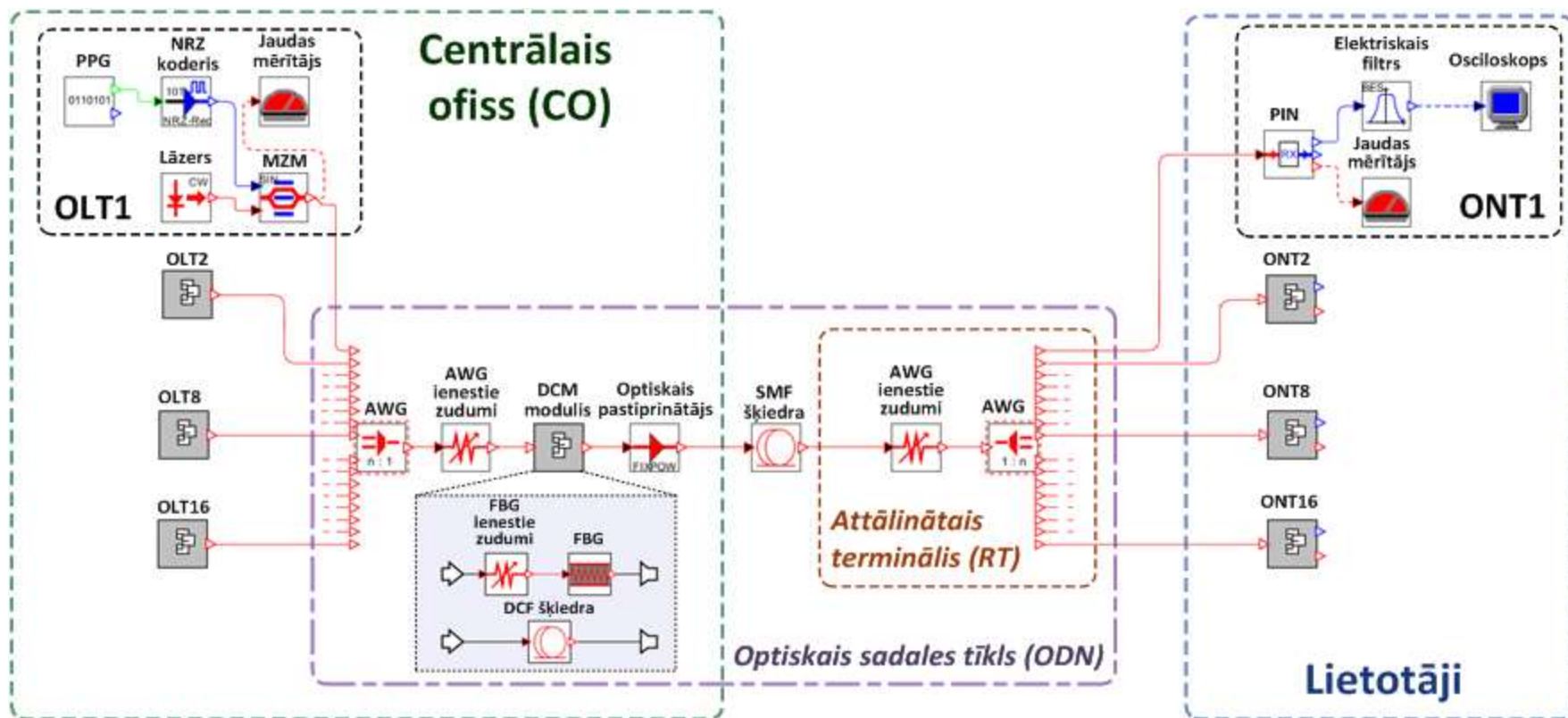
✓ Intensitātes modulācija

✓ NRZ kodēšana

✓ 100 GHz starpkanālu attālums

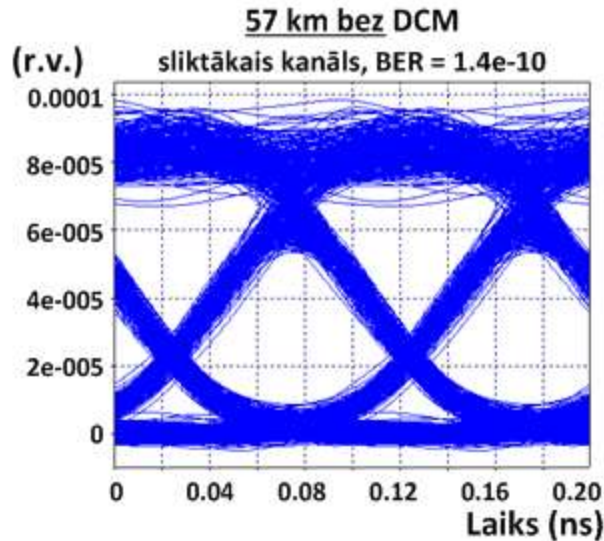
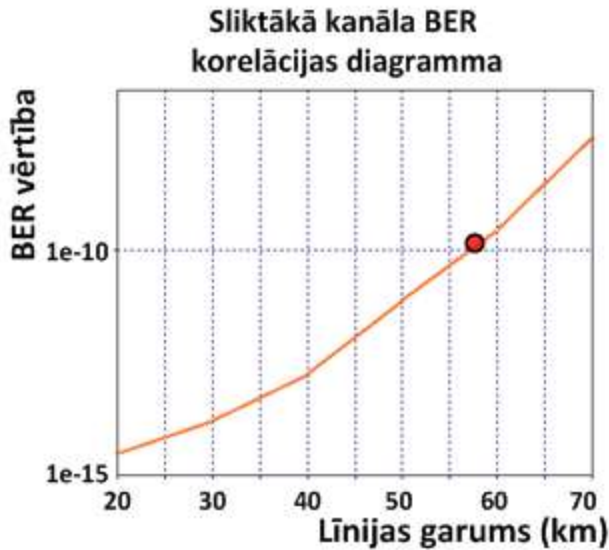
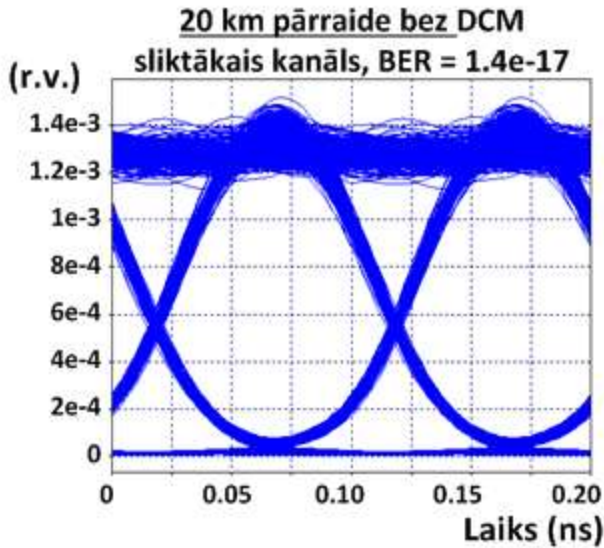
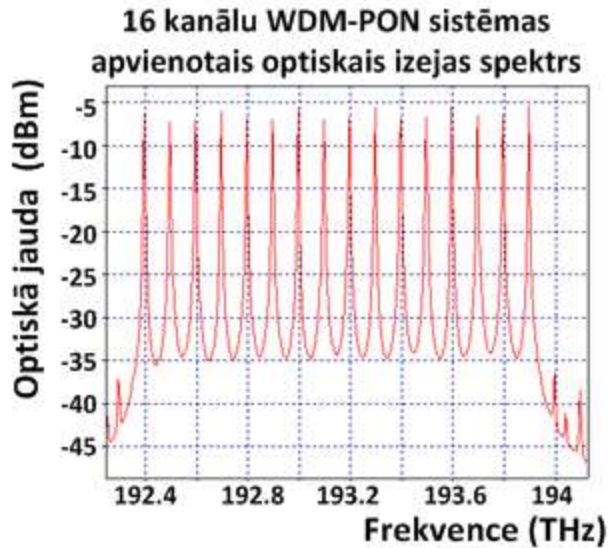
✓ 10 Gbit/s datu pārraides ātrums kanālā

✓ 20 km sākotnējais līnijas garums



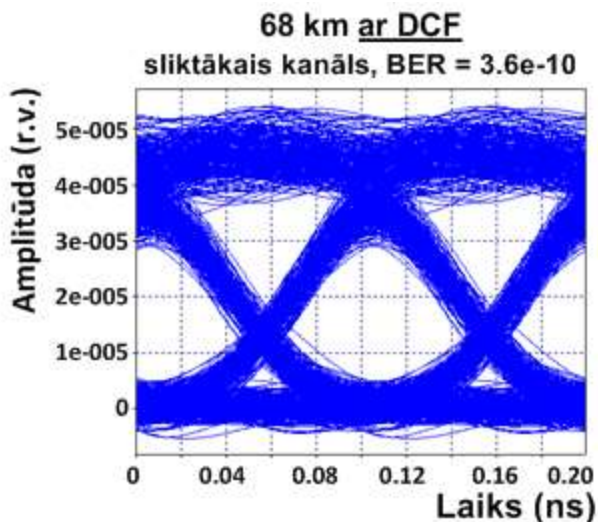
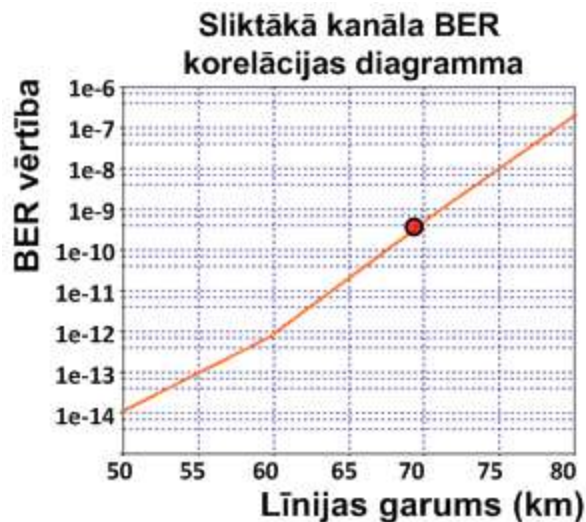
Augsta blīvuma 16 kanālu WDM-PON sistēmas simulācijas shēma ar NRZ kodēšanu, 10 Gbit/s pārraides ātrumu kanālā un DCM moduli līnijas daļā

WDM-PON SISTĒMAS PĀRRAIDES ATTĀLUMA ATRAŠANA: BEZ HROMATISKĀS DISPERSIJAS KOMPENSĀCIJAS



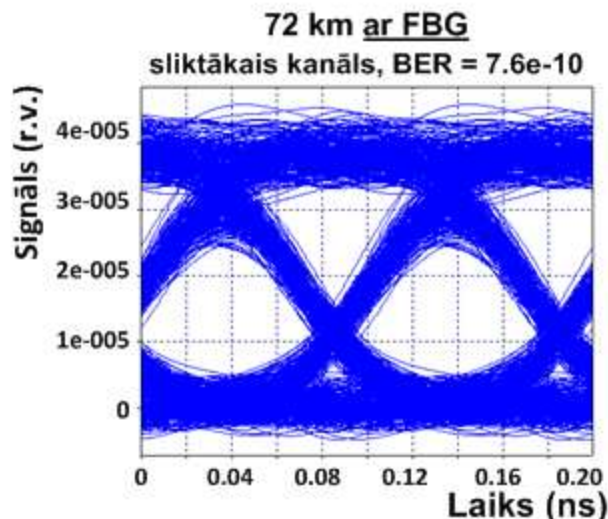
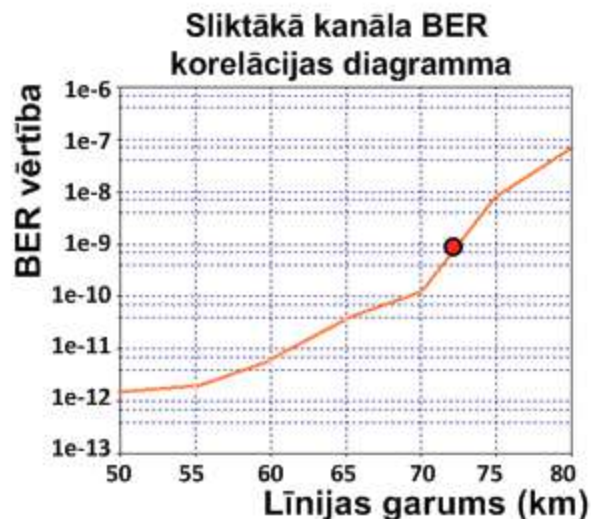
Bez CD kompensācijas
izmantošanas maksimālais
16 kanālu WDM-PON
sistēmas ar pārraides
ātrumu 10 Gbit/s kanālā
nodrošināmais pārraides
attālums pie $\text{BER} < 10^{-9}$
sliekšņa ir **57 km!**

WDM-PON SISTĒMAS NODROŠINĀMĀ PĀRRAIDES ATTĀLUMA ATRAŠANA: REALIZĒJOT HROMATISKĀS DISPERSIJAS KOMPENSĀCIJU AR DCF UN FBG DCM



Pielietojot 7 km garu **DCF** šķiedru ($IL=4.2$ dB) CD kompensācijai, tiek sasniegts **68 km** pārraides attālums!

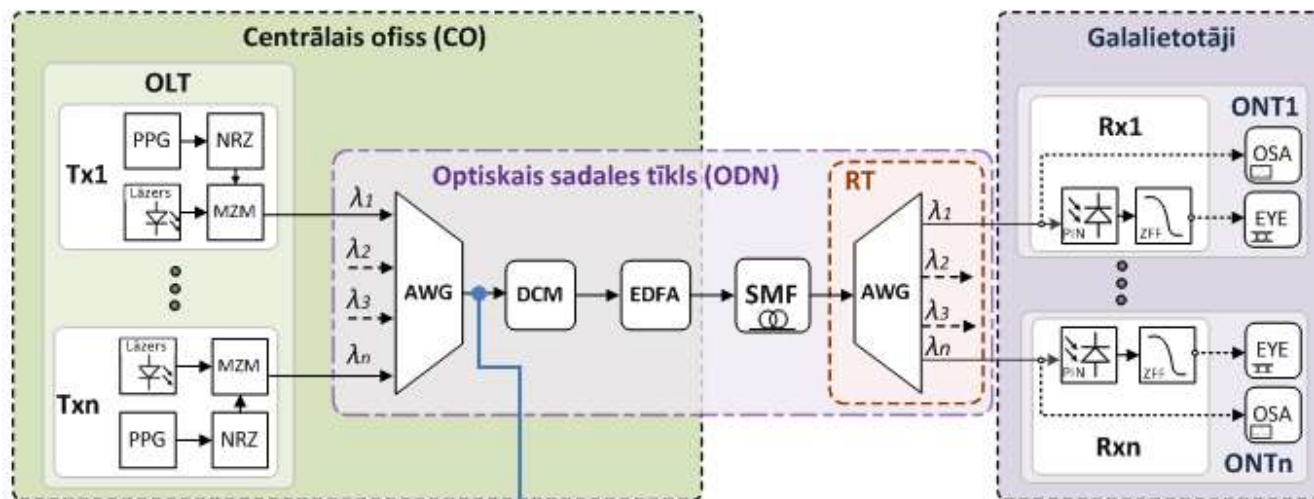
+19%



Pielietojot **FBG** DCM moduli ($IL=3.5$ dB) CD kompensācijai, tiek sasniegts **72 km** pārraides attālums!

+26%

EKSPERIMENTĀLAS DAUDZKANĀLU WDM-PON SISTĒMAS MAKETA IZVEIDE TI ŠOPS LABORATORIJĀ



AWG – optisko signālu sadalītājs pēc viļņa garuma
DCM – dispersijas kompensācijas modulis
EYE – acu diagrammu analizators
MZM – optiskā signāla modulators
NRZ – kodu formētājs

OLT – optiskās līnijas terminālis
ONT – optiskā tīkla galiekārta
OSA – optiskais spektra analizators
PIN – PIN fotodiode
PPG – elektriskā signāla ģenerators

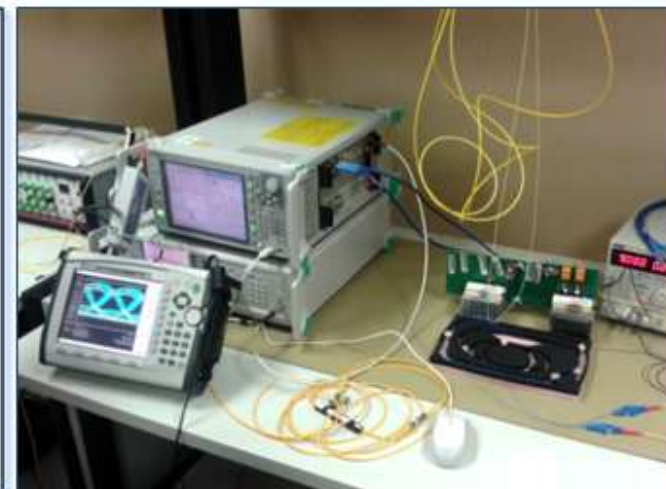
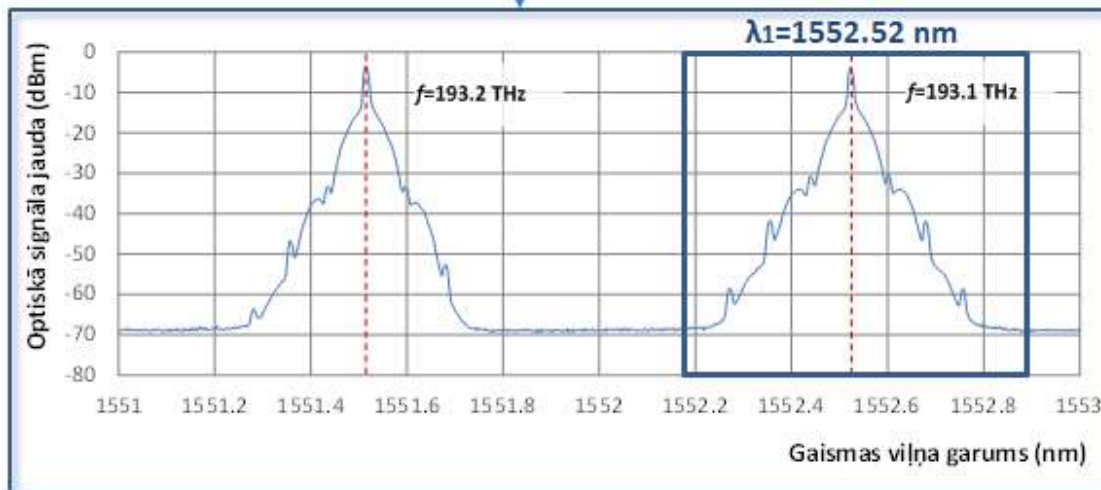
RT – attālinātais terminālis
Rx – optiskais uztvērējs
SMF – standarta vienmodas optiskā šķiedra
Tx – optiskais raidītājs
ZFF – elektriskais zemo frekvenču filtrs

$R = 10 \text{ Gbit/s}$

$f_1 = 193.1 \text{ THz}$

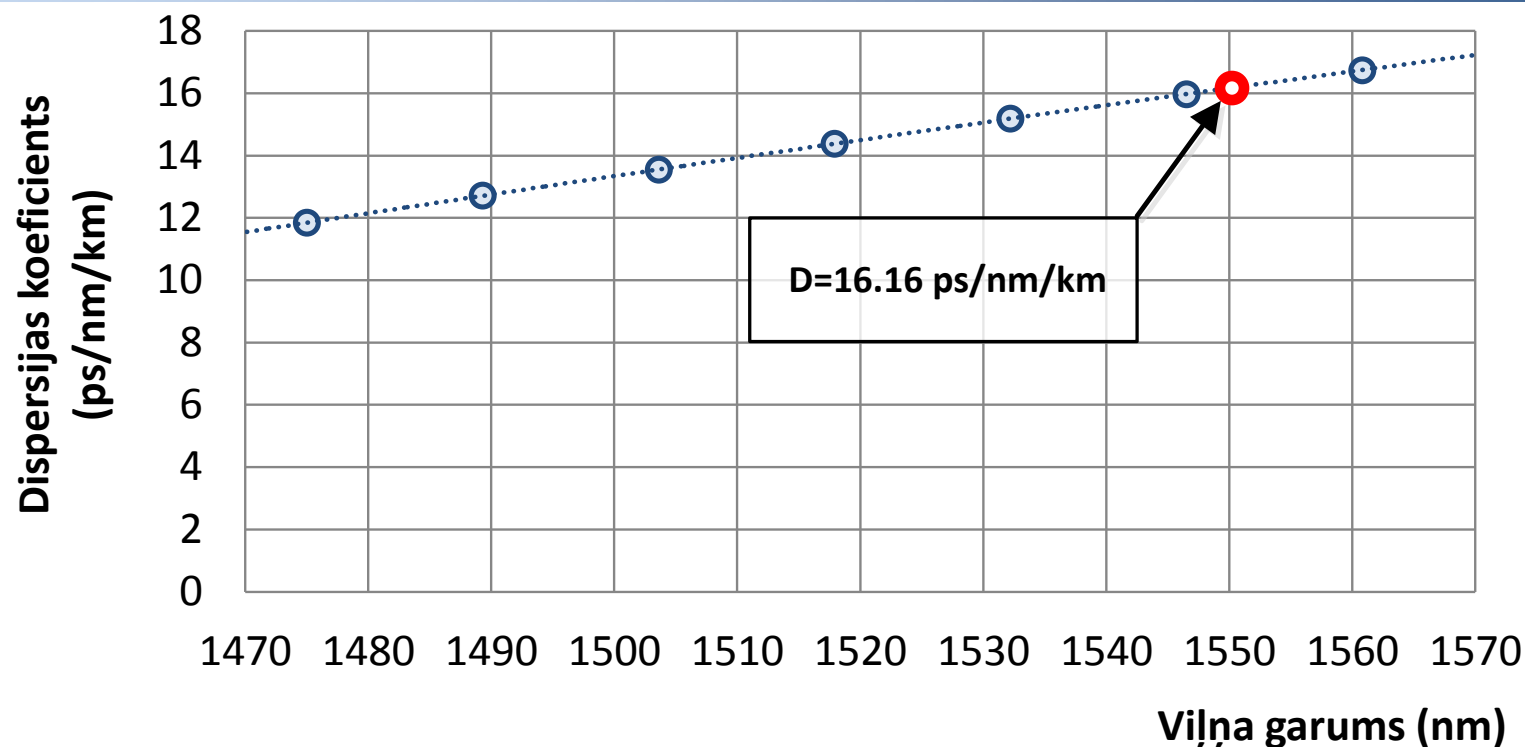
$\lambda_1 = 1552.52 \text{ nm}$

$\text{LSMF} = 20 \text{ km}$



HROMATISKĀS DISPERSIJAS MĒRĪJUMI AR EXFO FTB-5700 CD

HROMATISKĀS DISPERSIJAS MĒRĪTĀJU

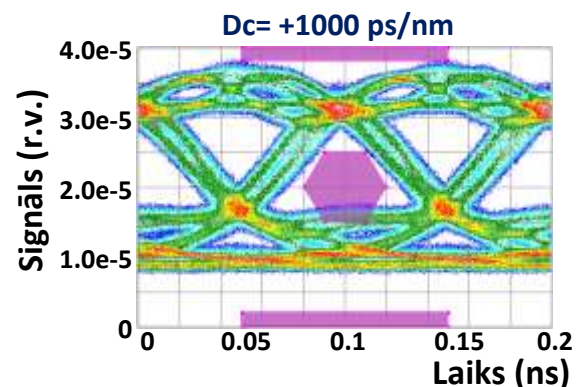
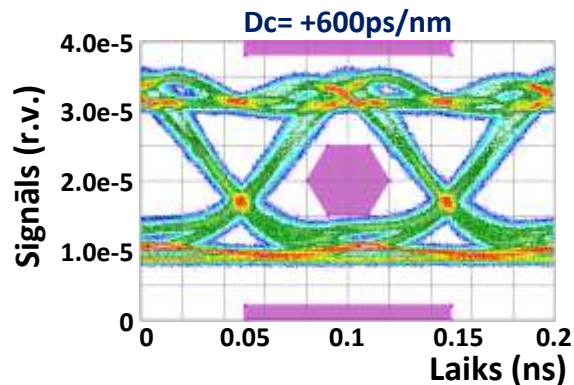
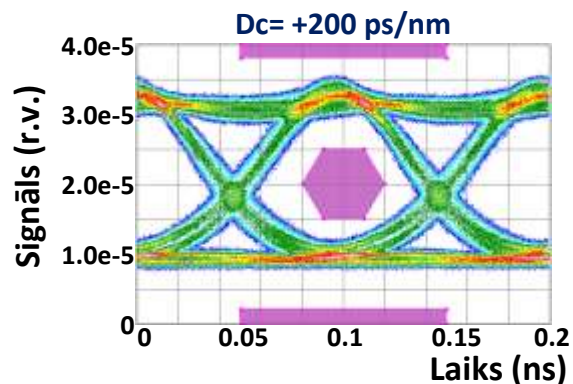
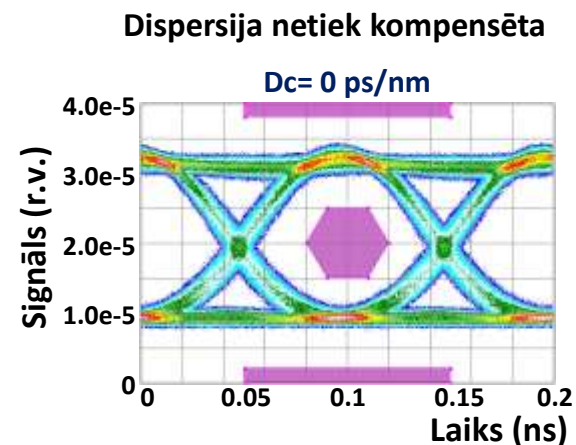
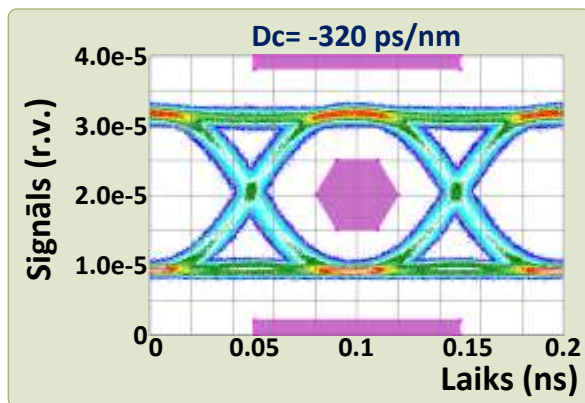
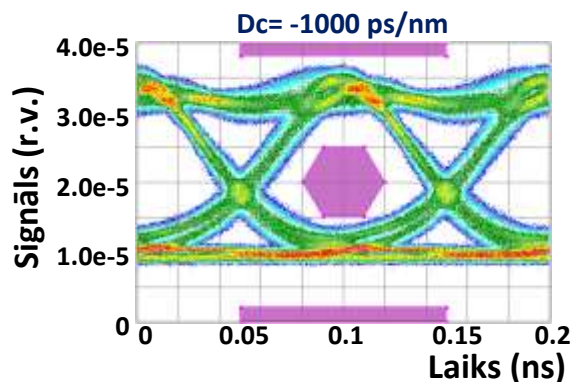


CD koeficienta mērījums 20 km SMF līnijai (1550 nm):
✓ $D=16.16 \text{ ps/nm/km}$

Kopējais līnija garums: $19.96 \pm 0.21 \text{ km!}$
Kopējā līnijas uzkrātā dispersija
(1550 nm): $322.6 \pm 10 \text{ ps/nm!}$



OPTISKĀ SIGNĀLA UZKRĀTĀS HROMATISKĀS DISPERSIJAS KOMPENSĀCIJA WDM-PON SISTĒMAI PĒC 20 KM SMF PĀRRAIDES AR FBG DCM MODULI



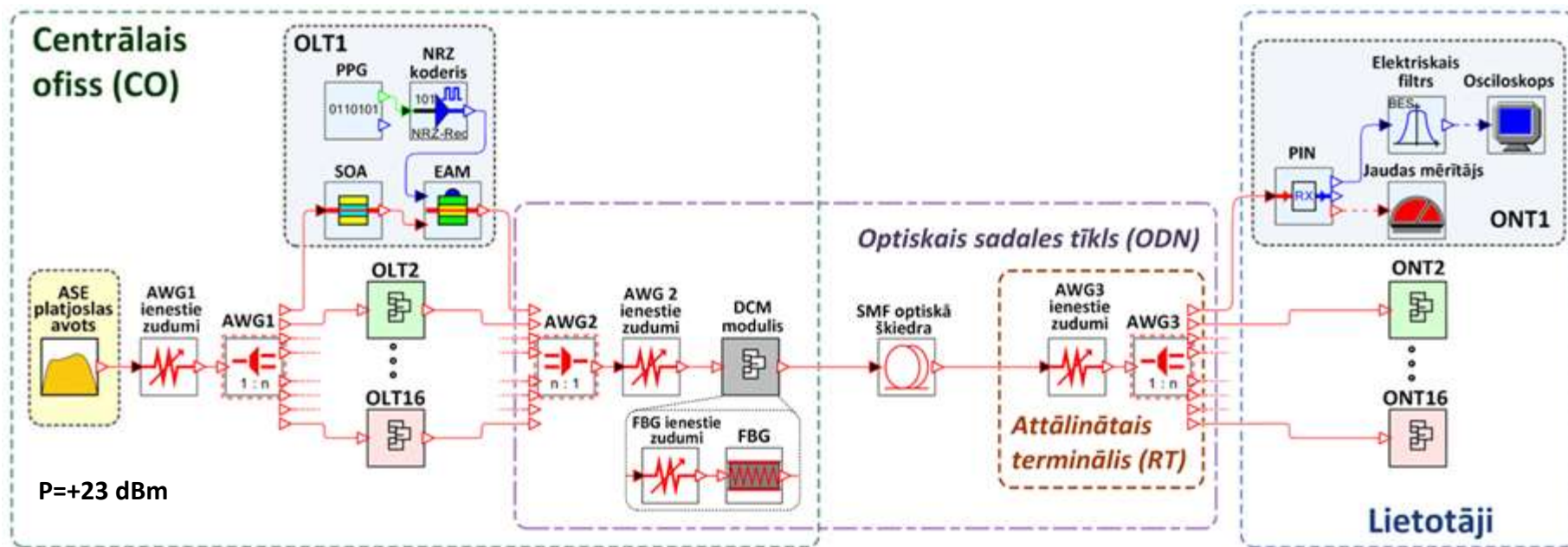
D_c - ar FBG DCM kompensējamās dispersijas apjoms (ps/nm)

ĀTRDARBĪGAS LĪDZ 10 GBIT/S KANĀLĀ SPEKTRĀLI SAGRIEZTAS VIĻŅGARUMDALES BLĪVĒTAS (SS-WDM PON) SISTĒMAS **SIMULĀCIJAS SHĒMA**

SS-WDM PON sistēma

Sistēmas pamatparametri:

- ✓ līdz 16 WDM kanāli
- ✓ Intensitātes modulācija
- ✓ NRZ kodēšana
- ✓ 100 GHz starpkanālu attālums
- ✓ līdz 10 Gbit/s datu pārraides ātrums kanālā
- ✓ realizētā platjoslas gaismas avota izejas jauda 200 mW



Daudzkanālu SS-DWDM PON sistēmas simulācijas shēma ar spektrāli sagrieztu platjoslas ASE gaismas avotu un dispersijas kompensācijas moduli

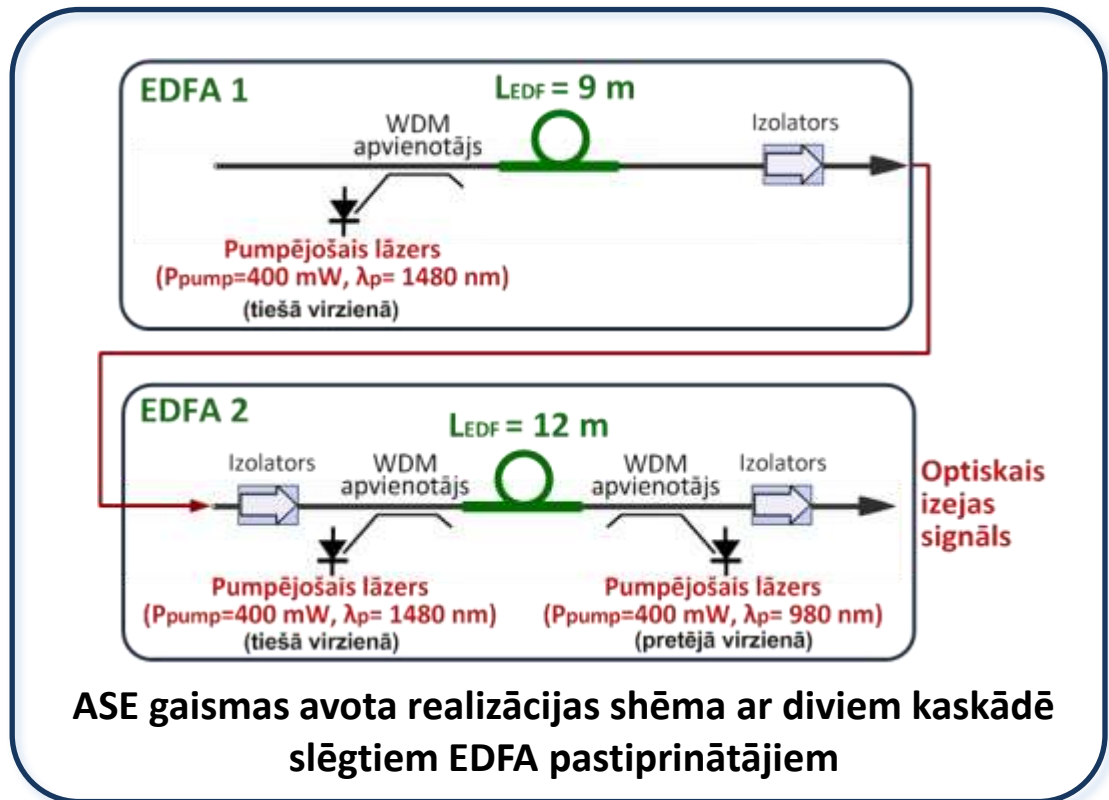
DAUDZKANĀLU SS-WDM PON SISTĒMAI NEPIECIEŠAMĀ PLATJOSLAS ASE GAISMAS AVOTA MODEĻA IZVEIDE SIMULĀCIJAS VIDĒ (1/2)

Pirmā EDFA parametri:

- Pumpējošā lāzera centrālais gaismas viļņa garums $\lambda_p = 1480$ nm
- $L_{EDF} = 9$ m gara EDF šķiedra
- Pumpējošā lāzera izejas jauda $P_{pump} = 400$ mW (+26 dBm)

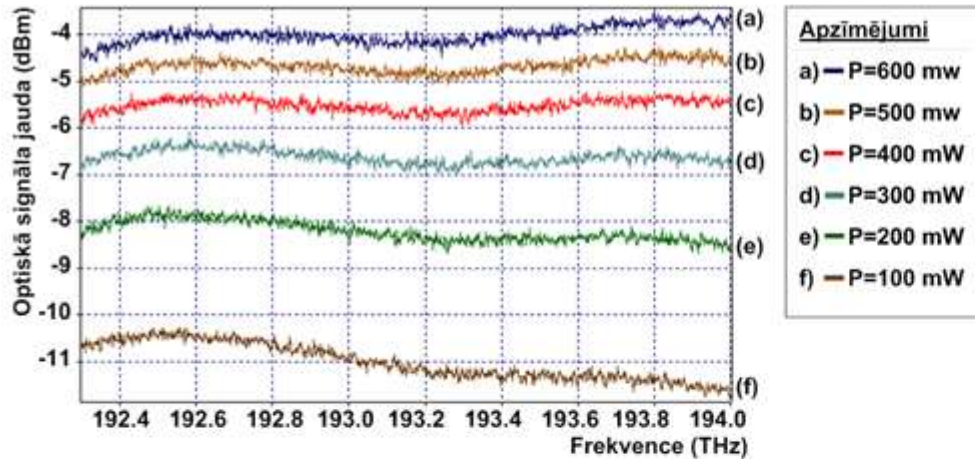
Otrā EDFA parametri:

- Pumpējošo lāzeru centrālie gaismas viļņa garumi $\lambda_p = 980$ nm un $\lambda_p = 1480$ nm
- $L_{EDF} = 12$ m gara EDF šķiedra
- Abu pumpējošo lāzera izejas jaudas $P_{pump} = 400$ mW (+26 dBm)

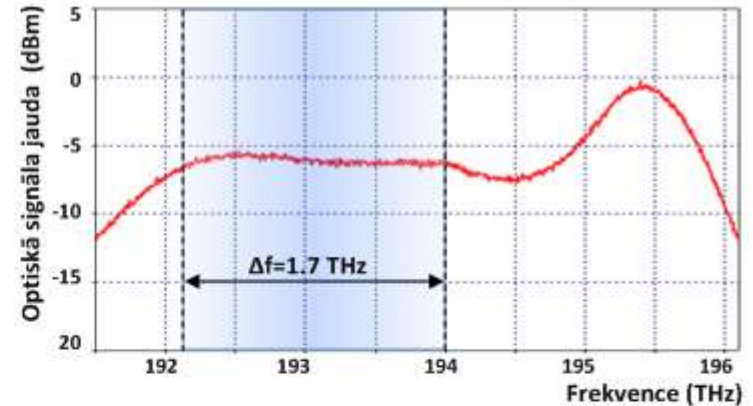


Šādā veidā var tikt izveidots jaudīga platjoslas ASE gaismas avota modelis, kurš nodrošina **+23 dBm (200 mW)** vidējo izejas jaudu ar praktiski līdzenu frekvenču pārvades raksturlīkni (± 0.42 dBm) frekvenču diapazonā **no 192.3 THz līdz 194.0 THz** (no 1545.32 nm līdz 1558.98 nm pēc viļņa garuma, kas ir C josla).

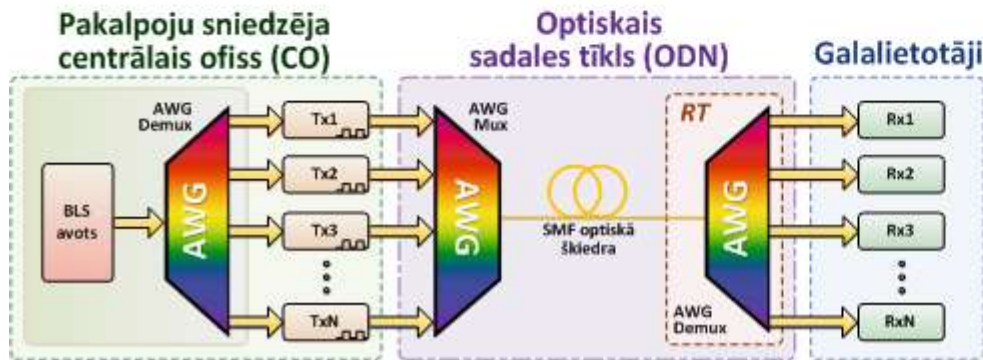
DAUDZKANĀLU SS-WDM PON SISTĒMAI NEPIECIEŠAMĀ PLATJOSLAS ASE GAISMAS AVOTA MODEĻA IZVEIDE SIMULĀCIJAS VIDĒ (2/2)



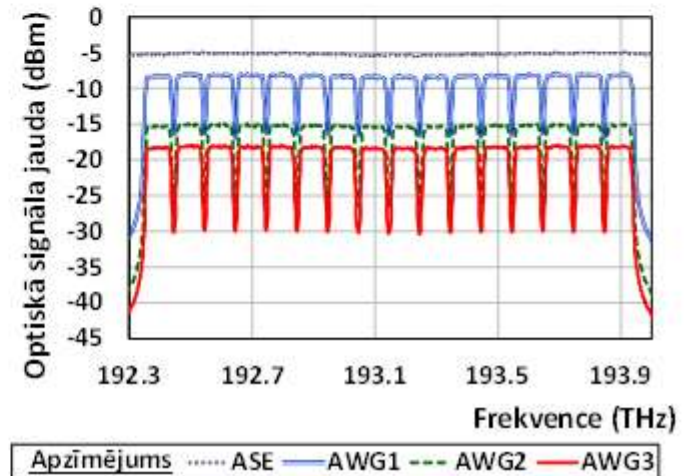
ASE avota izejas spektrs EDFA kaskādes slēguma izejā,
SS-WDM PON sistēmas darbības diapazonā,
pie dažādām pumpējošo gaismas avotu jaudām



Izveidotā nekoherentā platjoslas ASE gaismas
avota izstarotais spektrs

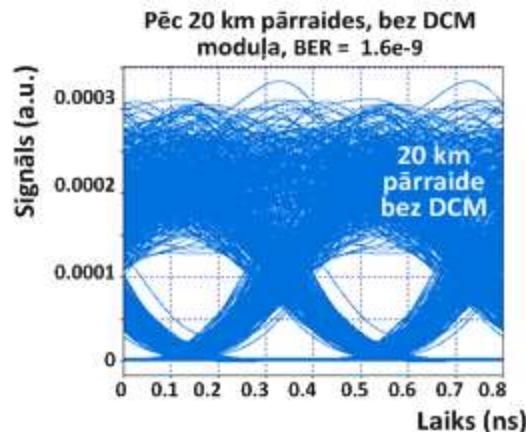
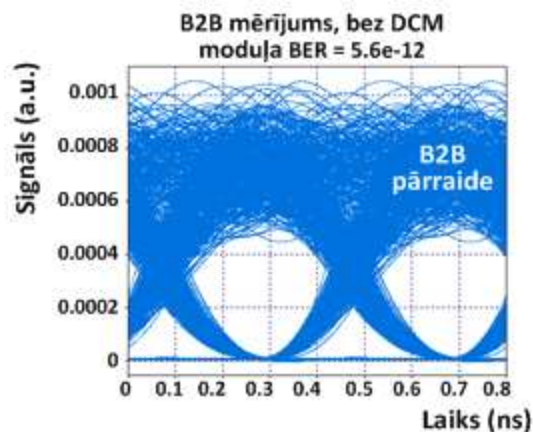


Platjoslas gaismas avota spektrālās sagriešanas darbības
princips izmantojot AWG demultipleksoru

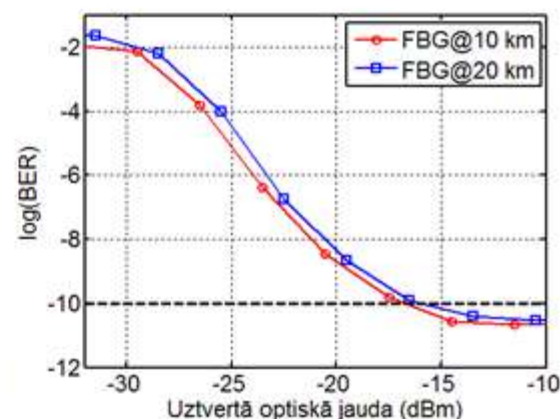
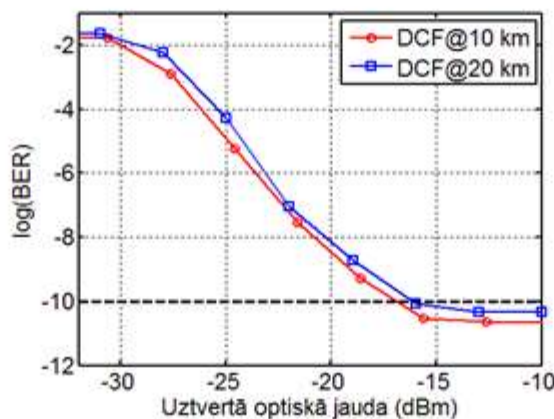
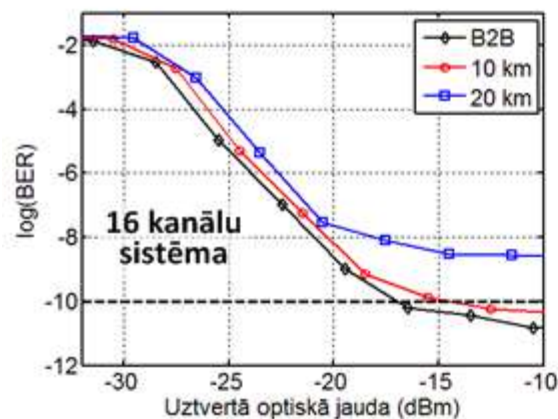


Izlīdzināta ASE avota un 16 kanālu SS-WDM
PON sistēmas optiskie izejas spektri

SS-WDM PON SISTĒMAS MAKSIMĀLĀ NODROŠINĀMĀ PĀRRAIDES ATTĀLUMA NOVĒRTĒJUMS

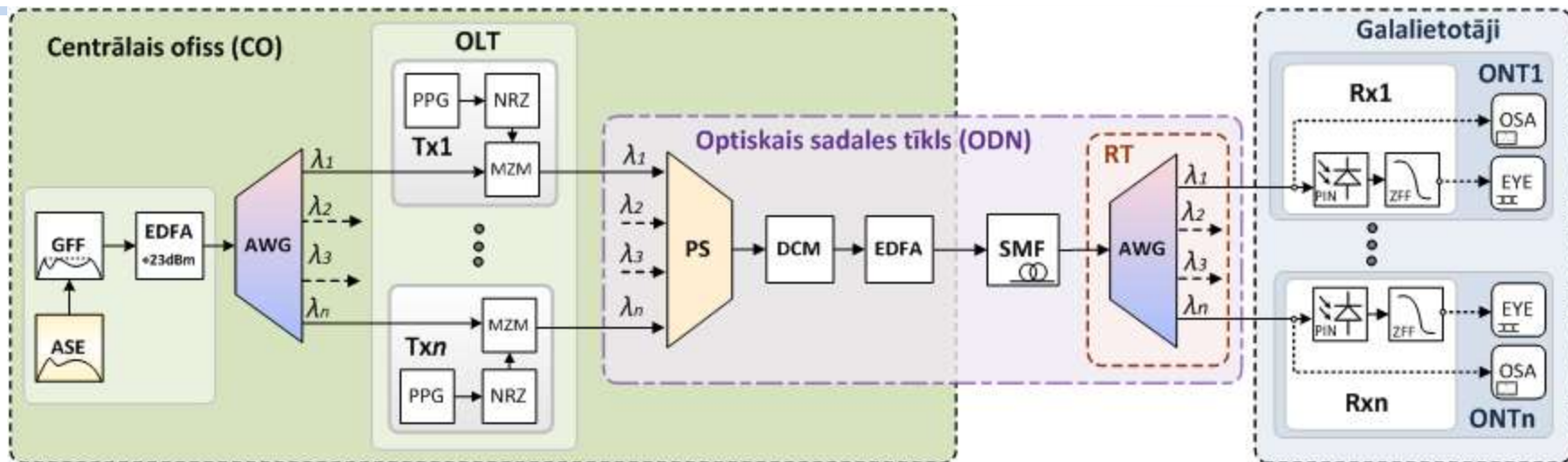


Uztvertā signāla acu diagrammas un BER vērtības 16 kanālu SS-WDM PON sistēmā bez DCM moduļa.



- Visaugstāko līdz SS-WDM PON sistēmas veikspēju nodrošina FBG pielietojums DCM!
- FBG un arī DCF pielietojums sniedz iespēju palielināt SS-WDM PON pārraides sistēmas garumu no 10 līdz 20 km **(+100%)**!

EKSPERIMENTĀLAS DAUDZKANĀLU SS-WDM PON SISTĒMAS MAKETA IZVEIDE TI ŠOPS LABORATORIJĀ



OLT – optiskās līnijas terminālis

ONT – optiskā tīkla galiekārta

DCM – dispersijas kompensācijas modulis

ASE – pastiprinātas spontānās emisijas avots

EDFA – erbija leģētās šķiedras pastiprinātājs

AWG – optisko signālu sadalītājs pēc viļņa garuma

PS – optiskā signāla sadalītājs pēc jaudas

ASE – pastiprinātas spontānās emisijas avots

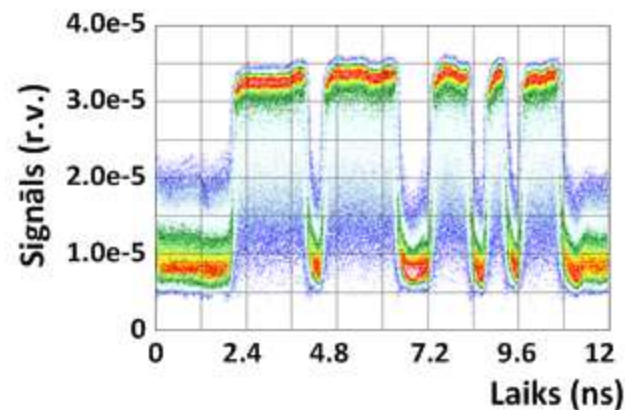
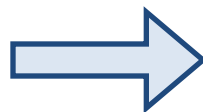
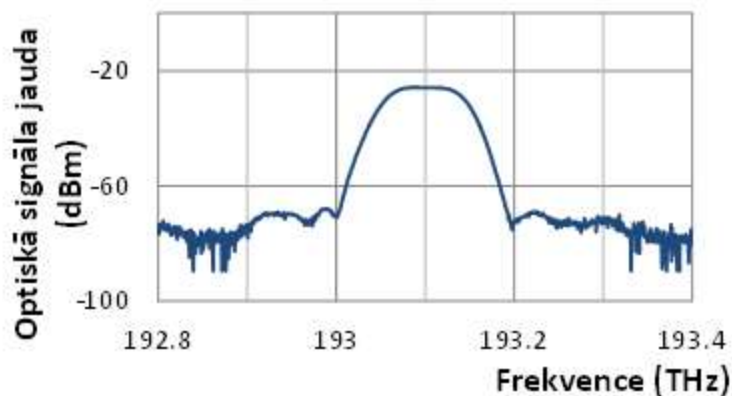
SMF – standarta vienmodas optiskās šķiedras posms

PPG – elektriskā signāla ģenerators

GFF – ASE avota spektru izlīdzinošs filtrs

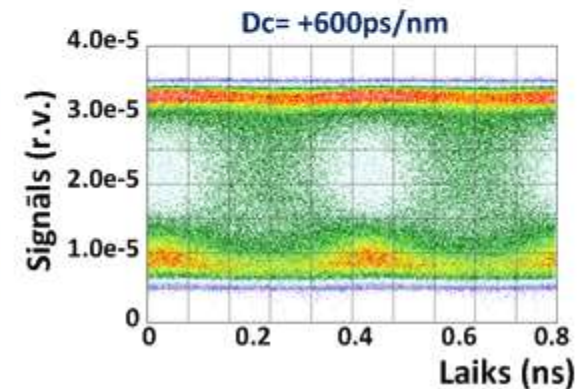
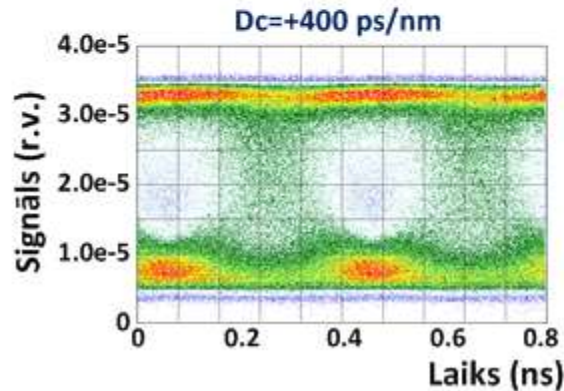
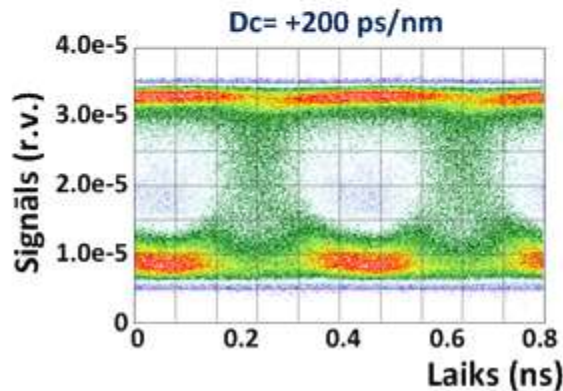
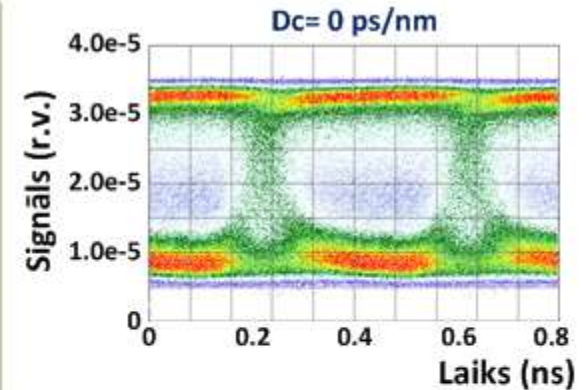
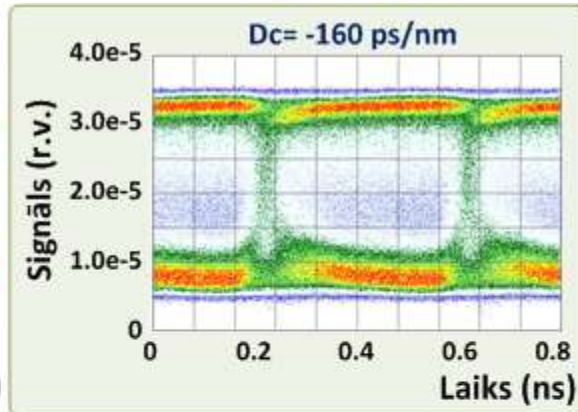
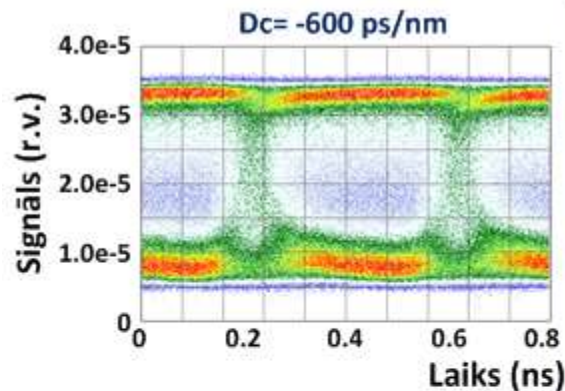
MZM – optiskā signāla modulators

NRZ – NRZ kodu formētājs



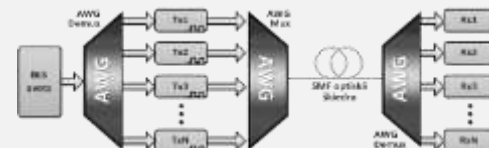
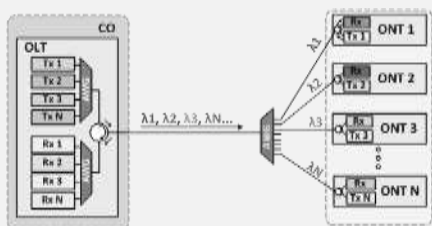
OPTISKĀ SIGNĀLA UZKRĀTĀS HROMATISKĀS DISPERSIJAS KOMPENSĀCIJA SS-WDM PON SISTĒMAI PĒC 10 KM SMF PĀRRAIDES AR FBG DCM MODULI

Dispersija netiek kompensēta

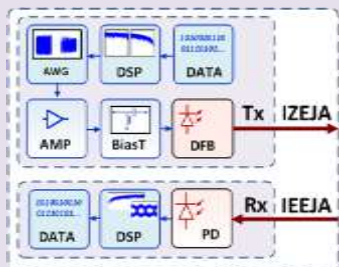


D_c - ar FBG DCM kompensējamās dispersijas apjoms (ps/nm)

1. WDM-PON UN SS-WDM PON PIEKĻUVES SISTĒMAS

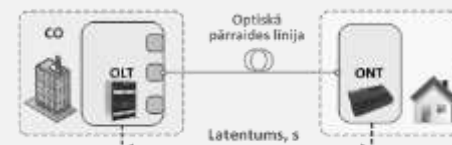


2. SPEKTRĀLI SAGRIEZTA RAIDUZTVĒRĒJA IZVEIDE



ĀTRDARBĪGĀKI
UN EFEKTĪVĀKI
WDM OPTISKIE
PIEKĻUVES TĪKLI

3. SIGNĀLA LATENTUMS OPTISKAJOS PIEKĻUVES TĪKLOS



Paldies par uzmanību!

Valsts pētījumu programma
“Kiberfizikālās sistēmas, ontoloģijas un
biofotonika drošai&viedai pilsētai un sabiedrībai”
(VPP SOPHIS)



Dr.sc.ing. Jurgis Poriņš
Rīgas Tehniskās Universitātes
Telekomunikāciju institūta
Profesors
E-pasts: jurgis.porins@rtu.lv
WEB: www.ti.rtu.lv