

PERFORMANCA E SISTEMIT TË TRANSMETIMIT TË TEKNOLOGJISË WDM & EDFA, RASTI I LINJËS PRISHTINË-SHKUP

Besim Limani

Dorëzuar
Universitetit Evropian të Tiranës
Shkollës Doktorale

Në përmbushje të detyrimeve të programit të Doktoratës në
Menaxhim i Sistemeve të Informacionit, për marrjen e gradës shkencore
“Doktor”

Udhëheqës shkencor: Prof.Dr. Adriana Gjonaj

Numri i fjalëve: 53776

Tiranë, muaji viti i dorëzimit
05/2016

DEKLARATA E AUTORËSISË

Ky studim bazohet në hulumtimin, përpunimin dhe analizimin e të dhënave dhe është punë origjinale e autorit, duke respektuar standardet e njohura për hulumtime dhe duke iu përmbajtur detyrimeve të përdorimit të literaturës, referencave dhe citateve.

Autori

ABSTRAKTI

Trendi i përdorimit të fibrave optike në sistemet e komunikimit është duke u rritur shumë shpejtë, ky zhvillim është prezent edhe në Kosovë. Teknologjia në sistemet transmetuese në linja backbone në Kosovë është e bazuar në fibra optike. Zhvillimi i teknologjive të avansuara, të tilla si teknologjia transmetuese WDM/DWDM dhe e teknologjisë përforcuese ka ndikuar në rritjen e performancës transmetuese në sistemet e komunikimit me fibra optike. Studimi i rastit tim në linjën transmetuese Prishtinë - Shkup synon t'u përgjigjet pyetjeve të parashtruara kërkimore mbi gjendjen e fibrave optike në Kosovë, me fokus në linjën backbone Prishtinë – Shkup, ndikimin e përforcuesve optik EDFA në performancën e sistemit, realizimin e një analize kostoeftive si alternativ e përdorimit të përforcuesve EDFA në këtë linjë, dhe hipotezave rreth faktorëve që ndikojnë në humbjen dhe dobësimin e sinjaleve të transmetuara, siç është BER, atenuimi, përdorimi i metodikave dhe teknologjive përforcuese, dhe ndikimin e tyre në përmirësimin e performancës së transmetimit në linjën backbone transmetuese Prishtinë – Shkup, pa pasur nevojë shtrirjen shtesë të kabllave optike.

Punimi im përmban tri raste studimi në linjën transmetuese me fibra optike Prishtinë- Shkup; në rastin e parë jam bazuar në një linjë ideale transmetuese kryesore (*backbone*) të simuluar, pa pasur ndërprerje dhe vazhdime, ndërsa në rastin e dytë dhe të tretë të studimit jam bazuar në matjet reale në terren të dy operatorëve të ndryshëm. Analizat, llogaritjet matematikore, paraqitjet grafike dhe rezultatet e nxjerrura nga këto raste të studimit argumentojnë rëndësin e përdorimit dhe ndikimin e përforcuesve EDFA, dhe vërtetojnë përmirësimin e performancës së sinjaleve në të njëjtën linjë, duke e mbajtur të ulët koston e sistemit të transmetimit në linjën transmetuese me fibra optike Prishtinë- Shkup.

ABSTRACT

The trend of using fiber optic communication systems is growing quickly, this development is presented in Kosovo too. The transmission system technology in backbone lines in Kosovo is based on optical fibers. Development of advanced technologies, such as WDM / DWDM transmission technology and amplification technology has increased the performance of transmission systems with fiber optic communications.

My case study on transmission backbone line Pristina - Skopje with optical fibers, intends to answer research questions posed on the state of optical fibers in Kosovo, with a focus on transmission backbone line Pristina - Skopje, impact of EDFA optical amplifiers on performance system, the realization of a cost-effective analysis as an alternative to the use of EDFA amplifiers in this line, and hypotheses about factors that affect the loss and the weakening of the transmitted signals, such as BER, attenuation, the use of methodologies and amplifier technologies, and their impact on improving performance in transmission optical backbone line Pristina - Skopje, without needing additional extension of optical cables.

My study contains on three case studies in backbone transmission line with fiber optic Pristina to Skopje. In the first case I am based on an ideal key transmission backbone line to simulate without interruption and extensions, while in the second and third case study I'm based on real measurements of two different operators. Analysis, mathematical calculations, graphical presentations and results derived from these case studies argue the importance of the use and impact of EDFA amplifiers, and verify improvement of signals performance in the same optical line, by keeping low the cost on the transmission system with optical fiber on transmission backbone line Pristina – Skopje.

FALËNDERIME

Mirënjohjet dhe falënderimet u takojnë Prof. Dr. Adriana Gjonajt dhe PhD. Mimoza Durrësit, të cilat më drejtuan me korrektësi dhe përgjegjësi, dhe me këshillat, udhëzimet dhe sugjerimet e tyre rreth punës dhe literaturës, kanë bërë që unë me profesionalizëm të vijë deri në finalizimin e këtij studimi. Gjithashtu i jam mirënjohës edhe stafit të Universitetit European të Tiranës për ndihmën, këshillat dhe sjelljen shembullore në aspektet logjistike dhe administrative. Falënderimi i takon edhe Biblotekës të Universitetit Teknikë të Vjenës për mundësin e dhënë për të pas qasje në literaturën më bashkohore si dhe profesorëve dhe kolegëve nga Universiteti Teknik i Vjenës .

Mirënjohje dhe falënderim u takon edhe shokëve, Arbenit, Kastriotit e Laurikut, për këshillat dhe ndihmën e dhënë gjatë konsultimeve rreth materialit dhe literaturës së punimit. Gjithashtu i jam mirënjohës edhe Postës dhe Telekomunikacionit të Kosovës (PTK) për ndihmën dhe materialet e ofruara në lidhje me gjendjen e rrjetave me kablllo optike në Kosovë.

Mirënjohje e veçantë i takon edhe familjes time, nënës Nafije dhe bashkëshortes Burbuqe, e fëmijëve, Adnitës, Qerkinit, Elmedinës, Riadit dhe Aminës, për kohën dhe mirëkuptimin që kanë treguar, përkundër mungesës së përkushtimit ndaj tyre gjatë kohës së studimit.

Natyrisht falënderimi i takon Zotit për mundësit, arritjet dhe shëndetin.

DEDIKIMI

*Ky punim i dedikohet prindërve dhe familjes sime,
në veçanti ardhmërisë së fëmijëve të mi dhe edukimit të tyre profesional.*

Përmbajtja

I.	HYRJE	xix
1.	Përshkrimi i punimit	xx
II.	Literature review	1
2.	Mediumet transmetuese.....	1
2.1.	Kabllo me fibra optike	1
2.1.1.	Krahasimi mes kabllos optike dhe kabllove tjera	3
2.1.2.	Zhvillimi i fibrave optike	5
2.2.	Llojet e kabllos optike dhe standardet e tyre	11
2.2.1.	Llojet e kabllos optike	11
2.2.2.	Kabllo optike të prodhuara me qelq aktiv të siliciumit.....	14
2.2.3.	Kabllo optike të plastikës	14
2.2.4.	Kabllo optike të mbushura me xhel (Gel)	16
2.3.	Standardet e fibrave optike sipas ITU-së	17
2.3.1.	Standardet Internacionale.....	18
2.3.2.	Fibrat single-mode	20
2.3.3.	Standardet e ITU-së për fibrat optikë single-mode.....	21
2.3.4.	Fibrat multi-mode	23
2.3.5.	Standardet e ITU-së për fibrat optikë multi-mode	25
2.4.	Sinjali optik (drita)	26
2.4.1.	Burimet e dritës (sinjalet optike).....	27
2.4.2.	Diodat LED	30
2.4.3.	Diodat lazer.....	31
2.4.4.	Marrësit - detektorët e dritës.....	35
2.4.5.	Fotodiodat pin.....	37
2.4.6.	Fotodiodat ortek (Avalanche photodiodes).....	38
2.4.7.	Zhurma e fotodetektorëve.....	39
2.4.8.	Spektri i dritës dhe gjatësitë valore.....	40
2.5.	Dispersioni.....	43
2.5.1.	Humbjet nga Dispersioni	45
2.5.2.	Dispersioni (shpërndarja) kromatike	46
2.5.3.	Llojet e fibrave optike kompensuese single-mode	51

2.6.	Polarizimi	54
2.6.1.	<i>Polarizimi i dritës</i>	55
2.6.2.	<i>Thyerja dhe reflektimi i dritës</i>	56
2.7.	Humbjet e sinjalit optik	57
2.7.1.	<i>Atenuimi</i>	58
2.7.2.	<i>Scatering (shpërndarja)</i>	60
2.7.3.	<i>Banding losses (humbjet e lakimeve)</i>	64
2.7.4.	<i>Humbjet në bërthamë dhe mbështjellës (Core and cladding loss)</i>	66
2.7.5.	<i>Hapja numerike (Numerical Aperture)</i>	68
2.7.6.	<i>Absorbimi</i>	70
2.7.7.	<i>BER (Bit Error Rate) dhe zhurma</i>	72
2.7.8.	<i>OSNR</i>	73
2.8.	Rrjetat dhe teknologjitë transmetuese të sinjalit optik	76
2.8.1.	<i>Sonet/SDH</i>	76
2.8.2.	<i>Teknologjia WDM</i>	79
2.8.3.	<i>Topologjitë e transmetimit WDM</i>	89
2.8.4.	<i>Multiplekserët optikë Add-Drop (Optical Add-Drop Multiplexers)</i>	90
2.9.	Brezat (Bandat) e transmetimit.....	92
2.10.	Rrjetat optike	94
2.10.1.	<i>Llojet e rrjetave optike</i>	95
2.10.2.	<i>Interface (ndërfaqja) e rrjetit optik</i>	99
2.11.	Teknologjitë e përforcimit të sinjalit optik.....	100
2.11.1.	<i>Teknologjitë e përforcuesit optik</i>	100
2.11.2.	<i>Përforcuesit optik</i>	100
2.11.3.	<i>Humbjet në përforcuesit optik</i>	104
2.11.4.	<i>Përforcuesit SOA optik gjysmëpërçues</i>	106
2.11.5.	<i>Përforcuesi EDFA</i>	108
2.11.6.	<i>Karakteristikat e përforcuesit EDFA</i>	110
2.11.7.	<i>Amplifikimi në sistemin me tri nivele</i>	112
2.11.8.	<i>Përforcuesi optik RAMAN</i>	114
2.11.9.	<i>Përforcuesit e fibrës me Neodymium dhe Ytterbium</i>	118
2.11.10.	<i>Përforcuesit e fibrës me Thulium</i>	118
2.11.11.	<i>Përforcuesit e fibrës me Praseodymium</i>	119

2.11.12. <i>Përforcuesit parametrikë optik</i>	119
III. Gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë, e sotmja dhe e ardhmja	121
3.1. Aplikimi i rrjetave optike në Kosovë dhe rajon	121
3.2. Gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë.....	122
3.2.1. <i>Përparësitë e përdorimit të fibrave optike në Kosovë</i>	129
3.2.2. <i>Infrastruktura</i>	130
IV. Case study (Studimet e rasteve 1, 2, 3)	131
4. Studimi i Rastit 1	132
4.1.1. <i>Të dhënat teknike të kabllos optike dhe pajisjeve aktive të përdorura në simulator</i>	133
4.1.2. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps në simulator</i>	136
4.1.3. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps në simulator ideal duke përdorur përforcuesit EDFA</i>	141
4.1.4. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps në simulator</i>	145
4.1.5. <i>Transmetimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps duke përdorur përforcuesit EDFA</i>	150
4.2. Studim rasti 2 (Operatori 1).....	154
4.2.1. <i>Të dhënat teknike të kabllos optike dhe të pajisjeve aktive të përdorura në simulator</i>	155
4.2.2. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps te operatori parë</i>	161
4.2.3. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps tek operatori i parë duke përdorur përforcuesit EDFA</i>	166
4.2.4. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps te operatori i parë</i>	170
4.2.5. <i>Transmetimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps duke përdorur përforcuesit EDFA</i>	175
4.3. Studim rasti 3 (operatori 2).....	179
4.3.1. <i>Të dhënat teknike të kabllos optike dhe pajisjeve aktive të përdorura tek operatori i dytë</i>	180
4.3.2. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps te operatori dytë</i>	185
4.3.3. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps te operatori i dytë duke përdorur përforcuesin EDFA</i>	190
4.3.4. <i>Transferimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps te operatori i dytë</i>	194
4.3.5. <i>Transmetimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps te operatori i dytë duke përdorur përforcuesit EDFA</i>	199
4.4. Krahësimet e rezultateve të rasteve të studimit	204

4.4.1.	Krahasimi i BER-it në tri rastet e studimit në linjën transmetuese Prishtinë – Shkup.....	204
V.	Databaza e rastit të studimit të linjës optike Prishtinë - Shkup.....	217
5.1.	Databaza në rastin tim	217
5.1.1.	Krijimi i Tabelave	217
5.1.2.	Futja e të dhënave në databazë.....	223
5.1.3.	Relacioni dhe ER-Diagrami i databazës	224
5.1.4.	QUERY	226
5.2.	Analiza krahasuese e kostos efektive në rastin tim të studimit	229
5.2.1.	Rasti i parë: shtimi i kapaciteteve (rritja e bandwidth-it) duke shtuar një kabllo optike të re	229
5.2.2.	Rasti i dytë: Avancimi i stacionit bazë (upgrade Server Room) në teknologjinë DWDM me përforcues EDFA	230
VI.	Konkluzioni.....	232
	Bibliografia (Referencat)	235
	Burime parësore	235
	SHTOJCA	244
	Kablloja koaksiale	244
	Kabllo me çift të gërshetuara (<i>Twisted pair</i>).....	245
	Mediumet pa tela (<i>unguided</i>)	246
	Antenat	247
	Llogaritjet e rendimentit të gjatësisë valore.....	248
	Krahasimi dBm dhe dBW	250
	Kerr efekti	251
	Gain.....	252
	ASE.....	253
	Topologjitë e rrjetit optik.....	253
	Programi: Krijimi i tabelave	256
	Programi: Futja e të dhënave në databazë	262

LISTA E FIGURAVE

Figura 1. Kablli optik	2
Figura 2. Rrezet e dritës në një fibër optike	2
Figura 3. Fibra optike single mode & multi mode	3
Figura 4. Pamja tërthore e diametrit të fibrave optike <i>single-mode</i> dhe <i>multi-mode</i>	3
Figura 5. Fija optike me mbështjellës të qelqit	9
Figura 6. Diametri i fibrave optike multi mode dhe single mode	10
Figura 7. Pamja e shtresave të kabllit optik.	12
Figura 8. Krahësim i fibrave optik single-mode dhe multi-mode	12
Figura 9. Kabllot optik të bazuara në qelq aktiv të silicium.	14
Figura 10. Kabllot optike të plastikës	15
Figura 11. Kablloja optike për transmetime nënujore.....	16
Figura 12. Kabllot optike të mbushura me xhel.....	21
Figura 13. Kabllot optike nënujore të mbushura me xhel (gel)	17
Figure 14. Fibrat single-mode dhe multi-mode.....	24
Figura 15. Sinjalet e dritës në një fibër	29
Figura 16. Simboli i diodës LED	30
Figura 17. Skema e një diode lazer p-i-n	32
Figura 18. Struktura e diodës lazer	33
Figure 19. Skema e emetimit të një diode lazer	33
Figura 20. Skema e lidhjes të fotodiodës pin	37
Figura 21. Paraqitja grafike e funksionimit të procesit të ndryshimit të ngarkesave elektrike në një fotodiodë.....	38
Figura 22. Fotodioda pin	38
Figura 23. Fotodioda ortek.....	39
Figura 24. Krahësimi i gjatësive valore të Si dhe Ge.....	39
Figura 25. Spektri i gjatësisë valore të dritës LED dhe lazer.....	40
Figura 26. Shtrirja e spektrit të gjatësisë valore të dritës LED , FP lazer dhe DFB lazer	
Figura 27. Spektri i rrezatimit elektromagnetik	42
Figura 28. Spektri i dukshëm (vizual) i dritës që shihet nga syri.....	43
Figura 29. Kompensimi i dispersionit.....	44
Figura 30. Koficienti i dispersionit kromatik në një NZDSF.....	45
Figura 31. Paraqitja e dispersionit.....	46
Figura 32. Shpërndarja kromatike dhe kompensimi i shpërndarjes kromatike.	47
Figura 33. Dispersioni i impulseve	48
Figura 34. Dispersioni në raport me kohën	48
Figura 35. Koficienti i Dispersionit si funksion i gjatësive valore për lloje të ndryshme të fibrave optike.	50
Figura 36. Modeli i syrit	52
Figura 37. Forma e paraqitjes së modelit të syrit të sinjaleve në një rastë konkret të simulimit	53
Figura 38. Skema e kompensimit të dispersionit me DCF në distancë të gjatë	53
Figura 39. Paraqitja e skemës së sinjalit të përforcuar në një linjë të DCF-së.....	54

Figura 40. Rastet e disa formave të deformimeve të fibrave optike	54
Figura 41. Polarizimi, krahasimi i fibrës optike.....	55
Figura 42. Polarizimi i dritës.....	56
Figura 43. Ndikimi i medimeve në reflektimin dhe thyerjen e rrezeve të dritës	56
Figura 44. Reflektimi dhe thyerja e rrezeve të dritës në medime të ndryshme.	57
Figura 45. Humbjet e sinjalit optik	58
Figura 46. Paraqitja e skateringut nga luhajtjet e densitetit në materialin e fibrave optike ..	61
Figura 47. Paraqitja e faktorëve të skateringut në një fibër optike	61
Figura 48. Atenuimi i fibrave optike në funksion të gjatësive valore	63
Figura 49. Paraqitja e mikrobendeve dhe makrobendeve	64
Figura 50. Mikroskopik banding.....	65
Figura 51. Bending losses - Makroskopik bending.....	65
Figura 52. Dëmtimet e fibrave optike nga ndikimet e jashtme	66
Figura 53. Grafiku i treguesit të nivelit të thyrjes së rrezeve të dritës në bërthamë dhe mbështjellës të bërthamës	67
Figura 54. Reflektimi në ajër	68
Figura 55. Hapja numerike.....	69
Figura 56. Skema e absorbimit.....	70
Figura 57. Krahasimi në mes absorbimit dhe skateringut.....	70
Figura 58. Atenuimi	71
Figura 59. Krahasimi i ovulimit të humbjeve në kabllon optike në vite.....	72
Figura 60. Paraqitja e raportit S/N në dB e nivelit të sinjalit Ps dhe niveli i zhurmave Pn .	75
Figura 61. Paraqitja e skemës funksionuese të një WDM-i.....	81
Figura 62. Paraqitja e një sistemi WDM.....	81
Figura 63. Skema e funksionimit të multiplekserit/demultiplekserit të gjatësive valore	83
Figura 64. DWDM-Dence Wavelength Division Multiplexing.....	84
Figura 65. CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing.....	85
Figura 66. Një krahasim në mes DWDM dhe CWDM me gjatësi valore në nm.....	85
Figura 67. Teknologjia e sistemit DWDM.....	87
Figura 68. Sistemi WDM	88
Figura 69. Sistem i transmetimit DWDM me katër kanale dhe një përforcues EDFA.....	88
Figura 70. Transmetimi point-to-point i N kanaleve WDM	89
Figura 71. Transmetimi point-to-point dhe ring i N kanaleve DWDM/CWDM	90
Figura 72. Mux. OADM duke përdorur një FBG dhe dy cirkulatorë.....	95
Figura 73. Paraqitja e një multiplekseri OADM dhe roli i reflektorit FBG në ndarjen e spektrit të sinjalit.....	96
Figura 74. Skema e një sistemi me përdorimin e multiplekserëve OADM.....	96
Figura 75. Brezat WDM në spektrin e komunikimit optik	94
Figura 76. Modeli i shtresave të rrjetit optik na tregon raportin mes shtresës optike dhe shtresave të larta të rrjetit.....	99
Figura 77. Arkitektura e rrjetit metropolitan optik.....	100
Figura 78. Paraqitja e një sistemi të rrjetit optik.....	103
Figura 79. Rrjeti aktual optik në Kosovë implementohet nga PTK-ja.....	107
Figura 80. Konfigurimi skematik i një përforcuesi të thjeshtë të fibrës me erbium të dopuar.....	103

Figura 81. Skema e sinjalit të përforcuar në një medium aktiv.....	105
Figura 82. Përforcuesi SOA me fibër tapered	107
Figura 83. Diagrami skematik i një përforcuesi me fibër të dopuar.....	123
Figura 84. Teknologjitë e përforcimit të spektrit optik të komunikimit	111
Figura 85. Skema e një transmetuesi me fibra optik me WDM; filtër, izolator optik dhe përforcues EDFA	111
Figura 86. Diagrami me tri nivele energjie	113
Figura 87. Skema e një përforcuesi Raman	115
Figura 88. Karakteristikat e përforcimit Raman	116
Figura 89. Skema e përforcuesit parametrik optik (OPA).	120
Figura 90. Skema e rastit ideal.....	133
Figura 91. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit	136
Figura 92. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit	137
Figura 93. Vlera e matur e BER-it nga pajisja BER Analyzer.....	138
Figura 94. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave	140
Figura 95. Skema ideale me përforcues EDFA	141
Figura 96. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit duke përdorur EDFA	143
Figura 97. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të spektrit	143
Figura 98. Vlera e matur e BER nga pajisja BER Analyzer	144
Figura 99. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave	145
Figura 100. Skema ideale e transmetimit të sinjalit optik me kapacitet 40 Gbps WDM... ..	146
Figura 101. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit në transmetim të sinjalit me kapacitet 40 Gbps.	147
Figura 102. Vlerat e matura me Analizues të spektrit optik	148
Figura 103. Vlerat e sinjalit optik të matura me BER Analyzer	148
Figura 104. Matjet e bëra me analizues të spektrit të radiofrekuencave	150
Figura 105. Skema me transferim 40 Gbps me EDFA	150
Figura 106. Optical Power Meter.....	152
Figura 107. Matjet e bëra me optical spectrum analyzer në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit	152
Figura 108. BER Analyzer me EDFA.....	153
Figura 109. Matjet në simulator me RF Spectrum Analyzer	154
Figura 110. Skema e transmetimit 10 Gbps.....	155
Figura 111. Matja e kablllos optike Prishtinë-Shkup te operatorit 1	159
Figura 112. Humbjet totale të paraqitura për çdo pikë vazhduese.....	160
Figura 113. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit.	161
Figura 114. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me analizues të spektrit	162
Figura 115. Vlera e matur e BER 10 Gbps nga pajisja BER Analyzer te operatori i parë .	163
Figura 116. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave të operatorit të parë	165
Figura 117. Skema e operatorit të parë 10 Gbps me përforcues EDFA.....	166

Figura 118. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit duke përdorur EDFA.	168
Figura 119. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të spektrit	168
Figura 120. Vlera e matur e BER 10 Gbps, me EDFA nga pajisja BER Analyzer	169
Figura 121. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave	170
Figura 122. Skema e operatorit të parë të transmetimit të sinjalit optik me kapacitet 40 Gbps WDM	171
Figura 123. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit në transmetim sinjali me kapacitet 40 Gbps	172
Figura 124. Vlerat e matura me Analizues të spektrit optik	172
Figura 125. Vlerat e sinjalit optik të matura me BER analizues në 40 Gbps.....	173
Figura 126. Matjet e bëra me Analizues të spektrit të radiofrekuencave.....	175
Figura 127. Skema me transferim 40 Gbps me EDFA	175
Figura 128. Optical Power Meter.....	177
Figura 129. Matjet e bëra me optical spectrum analyzer në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit.	177
Figura 130. BER Analyzer me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i parë	178
Figura 131. Matjet në simulator me RF Spectrum Analyzer	179
Figura 132. Skema e rastit të tretë (operatori dytë).....	180
Figura 133. Matja e kabllor optike Prishtinë-Shkup te operatorit i dytë	184
Figura 134. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit	185
Figura 135. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të spektrit.....	186
Figura 136. Vlera e matur e BER-it nga pajisja BER Analyzer te operatori i dytë.	187
Figura 137. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave të operatorit të dytë	189
Figura 138. Skema ideale 10 Gbps me përforsues EDFA te operatori i dytë.....	190
Figura 139. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit duke përdorur EDFA.	192
Figura 140. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të spektrit.....	192
Figura 141. Vlera e matur e BER nga pajisja BER Analyzer, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te operatori i dytë ch_1	193
Figura 142. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave	194
Figura 143. Skema ideale e transmetimit të sinjalit optik me kapacitet 40 Gbps WDM... ..	195
Figura 144. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit në transmetim të sinjalit me kapacitet 40 Gbps	196
Figura 145. Vlerat e matura me Analizues të spektrit optik.	196
Figura 146. Vlerat e sinjalit optik të matura me BER analizues	197
Figura 147. Matjet e bëra me analizues të spektrit të radiofrekuencave	199
Figura 148. Skema me transferim 40 Gbps me EDFA (operatori i dytë)	199
Figura 149. Optical Power Meter.....	201
Figura 150. Matjet e bëra me optical spectrum analyzer në dalje të multiplexerit dhe në hyrje të demultiplexerit.	201
Figura 151. BER Analyzer në 40 Gbps me EDFA	202
Figura 152. Matjet në simulator me RF Spectrum Analyzer.	203

Figura 153. Vlera minimale e BER-it në kapacitet 10 Gbps, në kanal in e parë	205
Figura 154. Vlera e Q faktorit të matur në tri rastet e studimit në kapacitet 10 Gbps në kanal in e parë.	206
Figura 155. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë me kapacitet të transferit të të dhënave 10 Gbps.	206
Figura 156. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e dyzetë, me kapacitet të transferit të të dhënave 10 Gbps.....	207
Figura 157. Vlera minimale e BER-it në kapacitet 10 Gbps në kanal in e parë me EDFA.....	207
Figura 158. Vlera e Q faktorit të matur në tri rastet e studimit në kapacitet 10 Gbps, me EDFA në kanal in e parë.....	208
Figura 159. Sinjali optik i matur me Analizues të spektrit në kanal in e parë me kapacitet të transferit të të dhënave 10 Gbps me EDFA.....	209
Figura 160. Vlera minimale e BER-it në kapacitet 40 Gbps në kanal in e parë	209
Figura 161. Vlera e Q faktorit të matur në tri rastet e studimit në kapacitet 40 Gbps në kanal in e parë.	210
Figura 162. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë me kapacitet të transferit të të dhënave 40 Gbps.	211
Figura 163. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e dyzetë me kapacitet të transferit të të dhënave 40 Gbps me përforcues EDFA.....	211
Figura 164. Vlera e Q faktorit të matur në rastin e parë në kanal in e 11-të (ch_11), në rastin e studimit me kapacitet 40 Gbps, me EDFA dhe pa EDFA.....	212
Figura 165. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë, në rastin e parë, me kapacitet të transferit të të dhënave 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA.....	212
Figura 166. Vlera e Q faktorit të matur në rastin e dytë në kanal in e 11-të (ch_11), në rastin e studimit me kapacitet 40 Gbps, me EDFA dhe pa EDFA.....	213
Figura 167. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë, në rastin e dytë (operatori i parë), me kapacitet të transferimit të të dhënave 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA	214
Figura 168. Vlera e Q faktorit të matur në rastin e tretë në kanal in e 11-të (ch_11), në rastin e studimit me kapacitet 40 Gbps, me EDFA dhe pa EDFA.....	214
Figura 169. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë, në rastin e tretë, me kapacitet të transferit të të dhënave 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA.....	215
Figura 170. ER Diagrami i databazës së projekteve të linjave optike	224
Figura 171. Lidhja e entitetit Skema me entitetet tjera në relacionin një me shumë.....	226

LISTA E TABELAVE

Tabela 1. Krahasimi i kabllit të fibrave optik single-mode dhe multi-mod.....	12
Tabela 2. Llojet e fibrave dhe specifikat e tyre	13
Tabela 3. Standardet për fibrat single-mode.	22
Tabela 4. Standardet e fibrave multi-mode sipas ITU-së.....	25
Tabela 5. Materialet tipike gjysmëpërçuese dhe gjatësitë valore të diodave LED.....	35
Tabela 6. Emetimi në disa gjatësi valore për disa lloje të përbashkëta të diodave lazer.	34
Tabela 7. Brezi spektral i përdorur në komunikimin e fibrave optik	43
Tabela 8. Tipet SDH	77
Tabela 9. Tipet SONET.....	78
Tabela 10. Shpejtësia e transmetimit të dhënave (Gbit/s) në kabllon optike sipas ITU-T...	86
Tabela 11. Ndarja e brezave të transmetimit.....	92
Tabela 12. Konsumatorë të Internetit në vitin 2014.....	108
Tabela 13. Agjencioni i Statistikave të Kosovës, bazuar në shtëpit me qasje në internet....	108
Tabela 14. Ndarja e tregut të internetit sipas përdoruesve.....	108
Tabela 15. Të dhënat e kabllit optik të kategorisë G.652.....	133
Tabela 16. Të dhënat e transmetuesit WDM.....	134
Tabela 17. Të dhënat e multiplexerit WDM/DWDM	134
Tabela 18. Të dhënat e demultiplexerit WDM/DWDM.	135
Tabela 19. Ndarja e brezit C në 40 kanale	136
Tabela 20. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_1 në 10 Gbps, në simulator	138
Tabela 21. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_11 në 10 Gbps, në simulator	138
Tabela 22. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_22 në 10 Gbps, në simulator	139
Tabela 23. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_40 në 10 Gbps, në simulator	139
Tabela 24. Vlerat e përforcuesit EDFA Booster	142
Tabela 25. Vlerat e përforcuesit EDFA Preamplifier.....	142
Tabela 26. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_1	144
Tabela 27. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_11	144
Tabela 28. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_22	144
Tabela 29. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_40	145
Tabela 30. Parametrat e Transmetuesit WDM 40 Gbps.....	149
Tabela 31. Parametrat e multiplexerit WDM.....	146
Tabela 32. Të dhënat e demultiplexerit WDM	147
Tabela 33. Vlerat e BER 40 Gbps ch_1	149
Tabela 34. Vlerat e BER 40 Gbps ch_11	149
Tabela 35. Vlerat e BER 40 Gbps ch_22	149
Tabela 36. Vlerat e BER 40 Gbps ch_40	149
Tabela 37. Përforcuesi EDFA Booster.....	151
Tabela 38. Përforcuesi EDFA Preamplifier	151
Tabela 39. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te operatori i parë ch_1.....	153
Tabela 40. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te operatori i parë ch_11...	153
Tabela 41. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te operatori i parë ch_22...	153
Tabela 42. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te operatori i parë ch_40...	154
Tabela 43. Parametrat e kabllit optike (rasti 1).....	156

Tabela 44. Ndarja e 40 kanaleve të brezit C	160
Tabela 45. Parametrat e transmetuesit WDM (rasti 1).....	158
Tabela 46. Parametrat e multiplekserit WDM (rasti 1).....	158
Tabela 47. Parametrat e demultiplekserit WDM	161
Tabela 48. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i parë ch_1.....	163
Tabela 49. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i parë ch_11.....	163
Tabela 50. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i parë ch_22.....	164
Tabela 51. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i parë ch_40.....	164
Tabela 52. Përforcuesi EDFA Booster.....	167
Tabela 53. Përforcuesi EDFA Preamplifier	167
Tabela 54. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_1 ...	169
Tabela 55. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_11 .	169
Tabela 56. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_22 .	169
Tabela 57. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_40 .	170
Tabela 58. Parametrat e Transmetuesit WDM 40 Gbps	171
Tabela 59. Parametrat e Multiplexerit WDM	171
Tabela 60. Parametrat e Demultiplexerit WDM	172
Tabela 61. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i parë ch_1.....	174
Tabela 62. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i parë ch_11.....	174
Tabela 63. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i parë ch_22.....	174
Tabela 64. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i parë ch_40.....	174
Tabela 65. Përforcuesi EDFA Booster.....	176
Tabela 66. Përforcuesi EDFA Preamplifier	176
Tabela 67. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_1 ...	178
Tabela 68. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_11 .	178
Tabela 69. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_22 .	178
Tabela 70. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i parë ch_40 .	179
Tabela 71. Parametrat e multiplexerit WDM.	184
Tabela 72. Parametrat e demultiplexerit WDM	185
Tabela 73. Parametrat e kabllos optike në rastin e tretë te operatori i dytë	185
Tabela 74. Ndarja e brezit C me 40 kanale	186
Tabela 75. Parametrat e transmetuesit WDM 10 Gbps.....	187
Tabela 76. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i dytë ch_1.....	187
Tabela 77. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i dytë ch_11.....	188
Tabela 78. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i dytë ch_22.....	188
Tabela 79. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, te Operatori i dytë ch_40.....	188
Tabela 80. Përforcuesi EDFA Booster.....	191
Tabela 81. Përforcuesi EDFA Preamplifier	191
Tabela 82. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_1 ...	193
Tabela 83. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_11 .	193
Tabela 84. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_22 .	193
Tabela 85. Vlerat e BER-it-me kapacitet 10 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_40 .	194
Tabela 86. Parametrat e transmetuesit WDM në 40 Gbps	195
Tabela 87. Parametrat e multiplexerit WDM.....	195
Tabela 88. Parametrat e demultiplexerit WDM	196

Tabela 89. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps te Operatori i dytë ch_1.....	198
Tabela 90. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i dytë ch_11.....	198
Tabela 91. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i dytë ch_22.....	198
Tabela 92. Vlerat e BER-it-me kapacitet 40 Gbps, te Operatori i dytë ch_40.....	198
Tabela 93. Përforcuesi EDFA Booster.....	200
Tabela 94. Përforcuesi EDFA Preamplifier	200
Tabela 95. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_1....	202
Tabela 96. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_11..	202
Tabela 97. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_22..	202
Tabela 98. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA te Operatori i dytë ch_40..	203
Tabela 99. Kostoja për shtrirjen e një kabllaje te re në infrastrukturën ekzistuese	234
Tabela 100. Kostoja e implementimit të teknologjisë DWDM me përforcues EDFA.....	235

SHKURTESAT

ADM	- Add-drop multiplexing
ASE	- Amplifier spontaneous Emission
ANSI	- American National Standards Institute
APD	- Avalanche photodiode
BER	- Bit Error Rate
CWDM	- Conventional/Coarse Wavelength-Division Multiplexing
DCF	- Dispersion compensated fiber
DFB	- Distributed feedback laser
DWDM	- Dense Wavelength Division Multiplexing
EDFA	- Erbium-doped fiber amplifier
FP	- Fabry Perot
ITU	- International Telecommunication Union
IEC	- International Electrotechnical Commission
ISO	- International Organisation for Standardisation
IEEE	- Institute for Electrical and Electronic Engineers
LED	- Light-emitting diode
Laser	- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MASER	- Microwave amplification by stimulated amplification of radiation
NA	- Numerical aperture
NZDSF	- Non-Zero Dispersion shifted Fiber optic
ODC	- Optical Dispersion Compensation
OSNR	- Optical Signal to Noise Ratio
OSA	- Optical Spectrum Analyzer
OTDR	- Optical Time-Domain Reflectometer
PIN	- Positive, Intrinsic, Negative
PMD	- Polarization-Mode Dispersion
TIA	- Telecommunication Industry Association
SOA	- Semiconductor Optical Amplifier
SONET	- Synchronous Optical Network
SDH	- Synchronous Digital Hierarchy
STS	- Synchronous Transport Signal
SRS	- Stimulated Raman scattering
SBS	- Stimulated Brillouin scattering
WDM	- Wavelength Division Multiplexing

I. HYRJE

Duke u nisur nga kërkesat gjithnjë e në rritje të sistemeve të komunikimit për të bartur gjithnjë e më shumë informacione me kapacitete e shpejtësi gjithnjë e më të lartë, dhe, njëkohësisht, për të ulur humbjet në rrjetin e transmetimeve, hulumtuesit e shumtë arritën në fillim të viteve 1970 që të zhvillojnë kabllo të reja, të cilat quhen fibra (fije) optike, e që arritën t'i plotësojnë nevojat për një transmetim më të avancuar në bazë të kërkesave që paraqiten. Në ditët tona, përdorimi dhe kërkesat për kabllo me fibra optike janë rritur shumë, duke u bërë linja shumë të rëndësishme për mediumet transmetuese.

Mediumet e transmetimit luajnë rolin kyç në rrjetat telekomunikuese nacionale dhe internacionale. Rrjetat optike janë bërë linja kryesore (*backbone*) për përdorim në transmetime në fushën e telekomunikacionit, pra, janë bërë një ndër mediumet transmetuese më të rëndësishme për komunikim, pra edhe në Kosovë. Duke u bazuar në interesimin në rritje e sipër të kërkesave për shfrytëzimin sa më të madh të kapaciteteve të internetit në Kosovë, sot është bërë e nevojshme që shumë kompani kosovare të telekomunikacionit t'u kushtojnë rëndësi të veçantë linjave kryesore të transmetimit (*backbone*), të cilat janë kryesisht të përqendruara në përdorimin e kanaleve kabllore në linjat e transmetimit të kabllos optike, me mundësinë e ofrimit të kapaciteteve të larta të transmetimit të të dhënave.

Linjat *backbone* kanë për qëllim lidhjen ndërkombëtare në mes qyteteve, shteteve apo kontinenteve. Këto linja transmetuese përdorin teknologji të avancuara të sistemeve transmetuese WDM (Wavelength Division Multiplexing) dhe DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), në mënyrë që të bëhet i mundur shfrytëzimi sa më i mirë i hapësirës në fije optike, e kështu të bëhet bartja e sa më shumë të dhënave në këto kanale transmetuese.

Aktualisht, kapacitetet që arrihen sot në linjat *backbone* janë 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps, dhe ka sisteme më të avancuara, me 400 Gbps e 640 Gbps, që janë në zhvillim e sipër. Për të pasur një rritje të tillë, dhe për të arritur një kapacitet të tillë, duhet që të minimizohen humbjet apo dobësimet e sinjalit optik në kabllon optike e cila përdoret si medium për këtë lloj lidhje. Në këtë kontekst, në mënyrë që të minimizohen humbjet apo dobësimet e sinjalit optik në kablloptike në Kosovë, është e nevojshme që të përdorim teknologji që na shërbejnë për përforcimin e sinjaleve optike, siç janë përforcuesit EDFA, SOA, Raman, etj.

1. Përshkrimi i punimit

I. Në këtë kapitull do të trajtojë fibrat optike, duke u nisur nga historiku i zhvillimit të tyre.

Fibrat optike zënë një vend shumë të rëndësishëm në sistemin e transmetimeve të telekomunikacionit, pasi ato zotërojnë gjerësi brezi shumë të madhe për t'i përballuar kërkesat gjithnjë e në rritje në fushën e telekomunikacionit.

Do të trajtojë karakteristikat kryesore të fibrave optike, si dhe disa standarde e specifika të tyre, pastaj do të trajtojë edhe sinjalin e dritës dhe faktorët që ndikojnë në cilësinë e transmetimit, siç janë: absorbimi, BER-i, dispersioni, atenuimi skatering, e kështu me radhë.

II. Në këtë kapitull do të sqaroj teknologjitë transmetuese të sinjalit optik. Do të sqaroj rolin dhe rëndësinë e teknologjive të ndryshme që përdoren në sistemet e transmetimeve me fibra optike, do të shtjelloj disa lloje komponentësh që përdoren në teknologjitë transmetuese për menaxhimin dhe transmetimin e sinjaleve të cilat përdorin standarde dhe rregulla të përcaktuara nga Unioni Ndërkombëtar i Telekomunikacionit, ITU, si dhe do të trajtoj ndarjen e brezave të gjatësive valore.

Do të shtjelloj përdorimin dhe rëndësinë e rrjetave optike në sistemin e telekomunikacionit, topologjitë e rrjetave, dhe do të trajtoj vështirësitë, sfidat regjionale dhe domosdoshmërinë e

realizimit të lidhjeve komunikuese të rrjetave optike dhe aplikimin e tyre në Kosovë dhe rajon. Do të filloj me një paraqitje të zhvillimit të historikut të përforcuesve, pastaj do të trajtoj njohuritë bazë rreth përforcuesve optikë. Do të shpjegoj rëndësinë dhe arsyen e përdorimit të përforcuesve në sistemet e transmetimit në fushën e telekomunikacionit. Do të përmend disa nga llojet e përforcuesve që sot janë në përdorim, dhe arsyen e përdorimit të tyre në raste dhe specifika të veçanta, duke u bazuar në karakteristikat e tyre. Do të trajtoj karakteristikat dhe specifikat e disa prej llojeve të përforcuesve që përdoren në sistemet e transmetimeve me fibra optike, si përforcuesin SOA, përforcuesin Raman, përforcuesin EDFA, etj. Do të trajtoj edhe një fenomen shumë me rëndësi, që ndikon në kualitetin e transmetimit, e që janë humbjet në përforcuesit optikë.

III. Në këtë kapitull do të trajtoj gjendjen e përdorimit të fibrave optike në Kosovë, disa të dhëna për gjendjen e rrjetave të shtrira me fibra optike në Kosovë dhe në rajon. Përdorimi i sistemeve të transmetimit me fibra optike në Kosovë në ditët tona është gjithnjë e në rritje. Prandaj do të trajtoj ndikimin dhe gjendjen që ka patur përdorimi dhe zgjerimi i internetit, rrjeti i kompjuterave, e-comerc, multimedia, të dhënat audio/video edhe në Kosovë.

IV. Studimi im përmban tri raste studimi në linjën transmetuese me fibra optike Prishtinë-Shkup. Këto raste janë skicuar në simulator OptiSystem 13.0; në këtë skicë kam paraqitur linjën e rrjetit optik në mes dy kryeqendrave, Prishtinë-Shkup. Në rastin e parë jam bazuar në një linjë transmetuese kryesore (*backbone*) ideale të simuluar, pa pasur ndërprerje dhe vazhdimë, ndërsa në rastin e dytë dhe të tretë të studimit jam bazuar në matjet reale në terren të dy operatorëve të ndryshëm. Kam bërë analiza, llogaritje matematikore, paraqitjet grafike dhe rezultatet e nxjerrura nga këto raste të studimit duke përdorë edhe përforcues EDFA. Kam vërtetuar përmirësimin e performancës së sinjaleve në të njëjtën linjë pa pasur nevojë

për shtrimin shtesë të kablllove të fibrave optike, duke e mbajtur të ulët edhe koston e sistemit të transmetimit në linjën transmetuese me fibra optike Prishtinë- Shkup.

V. Në këtë kapitull do të ndërtojë databazën në rastin e studimit tim. Databaza për rastet e studimit që kam bërë është shumë e nevojshme për të mbajtur evidencën e projekteve të ndërtuara për linjat optike. Për rastet e studimit kam krijuar një databazë, që i grumbullon të dhënat për secilin projekt të bërë në veçanti. Kjo databazë është e ndërtuar nga njëmbëdhjetë tabela. Si dhe do të bëjë llogaritje për të nxjerrë një rezultat të kostos efektive të realizimit të këtij projekti në linjën transmetuese me fibra optike Prishtinë- Shkup me përforcues EDFA.

VI. Konkluzioni

Pyetjet kërkimore

Pyetjet kryesore që shtron studimi janë:

1. Cila është gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë?
2. Cila është gjendja në linjen backbone me fibra optike Prishtinë-Shkup?
3. Pse teknologjia e përforcuesve optik EDFA duhet të përdoret edhe në Kosovë, me theks të veçantë në rastin e linjës *backbone* Prishtinë-Shkup?
4. Si mund të realizohet një analizë kostoeftive e alternativave të mundëshme për përdorimin e fibrës optike në Kosovë, me theks të veçantë në rastin e linjës Prishtinë-Shkup?

Hipoteza

Argumenti ose hipoteza/t e punimit.

1. Fibrat optike janë shumë efektive në transmetimin e kapaciteteve të larta të të dhënave dhe përbëjnë pjesën kryesore në sistemet e mediumeve të linjave transmetuese me kablllo në Kosovë.

2. Humbjet e sinjalit optik në linjën Prishtinë-Shkup, ndikojnë në cilësinë e shërbimeve transmetuese. Teknologjia amplifikuese e sinjalit EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) do të ishte teknologjia e cila do të ndikonte në uljen e humbjeve, rritjen e performancës së sistemit, dhe do të ishte më efektive për përforcimin e sinjaleve optike në linja të gjata mbi 80 km, pra edhe në linjën Prishtinë-Shkup.
3. Përdorimi i alternativave të mundëshme të përforcuesve optik në linjën Prishtinë-Shkup, konkretisht përforcuesit optik EDFA bëjnë të mundur uljen e kostos investuese, duke e bërë më efektive përdorimin e kësaj linje me kablllo optike në distanc me kapacitet e shpejtësi të lartë pa pasur nevojë shtrirjen e kablllove shtesë optike.

Metodologjia

Ky studim bazohet në analizë dhe në tre raste studimi. Do të bazohem në metodën e hulumtimit me simulime të programit softuerik, në metodën e matjeve në linjën transmetuese *backbone* në mes qyteteve Prishtinë – Shkup, në metodën e përpunimit grafik, tabelar, dhe të llogaritjes matematikore të rezultateve për përcaktimin e vlerave të fuqisë transmetuese të sinjalit në fibrat optike, si dhe metodën e krahasimit të rezultateve në bazë të teknologjive transmetuese të përdorura. Theks të veçantë do ti kushtojë krahasimit të rezultateve të rasteve të studimit në linjën transmetuese *backbone* në mes qyteteve Prishtinë – Shkup kur përdorim teknologjinë përforcuese EDFA dhe rasteve kur nuk do të përdorim teknologjinë përforcuese EDFA, nga do të argumentojë rendësin e përdorimit të përforcuesve në linjat optike në distanca të gjata dhe ndikimin e tyre në performancën e sistemit të transmetimeve me fibra optike. Rezultatet e punimit janë të paraqitura në formë analitike, grafike dhe tabelare.

Qëllimi i studimit

Ky studim ka për qëllim kryesorë nxjerrjen në pah të rëndësisë së komponentëve të sistemeve

transmetuese, dhe të japë një analizë mbi rolin dhe funksionimin e transmetimeve me fibra optike, si dhe të analizojë problemet që paraqiten në këtë lloj të mediumit transmetues në linjën Prishtinë-Shkup.

Pastaj do të bazohem në matjet e humbjeve në kabllon optike *backbone* në linjën Prishtinë-Shkup, në mënyrë që të marrim të dhëna rreth humbjeve që paraqiten në linjën e transmetimit. Gjithashtu do të bëjë analiza dhe llogaritje rreth përforsimit të sinjalit në linjat e transmetimit *backbone* Prishtinë-Shkup duke patur për bazë edhe ndikimin e faktorëve ekonomikë, me fokusim të veçantë në nevojën dhe rëndësinë e përdorimit të teknologjisë të përforsuesve optikë EDFA në përmirësimin e sinjaleve të transmetuara, pa pasur nevojë për shtrirjen e kabllave optike shtesë, duke e ruajtur në këtë mënyrë koston e investimeve të ulëta dhe, njëkohësisht, duke e rritur kapacitetin e transmetimit në të njëjtën fibër optike, bazuar në linjën transmetuese Prishtinë - Shkup.

Kufizimet

Mungesa e studimeve të tjera të thelluara hulumtuese dhe shkencore lidhur me këtë temë në Kosovë.

Kufizimet për të patur qasje direkte e të shpejtë në të dhënat dhe matjet nga operatorët e shfrytëzimit të rrjetave me fibra optike në Kosovë.

Vështirësitë për sigurimin e programit softuerik dhe pajisjeve të nevojshme e cilësore teknologjike.

Vështirësitë për shtrirjen e kabllave optike në terren dhe dëmtimi i tyre fizik gjatë kryerjes së punimeve nga persona të papërgjegjshëm shkaktojnë probleme dhe dëme të konsiderueshme në rrjetin me kablllo optike. Nevoja e posedimit të pajisjeve të teknologjisë

së avancuar, adekuate dhe personelit teknik të trajnuar për shtrirjen e kablllove optike në terren për shkakë të ndjeshmërisë fizike të fibrave optike është evidente.

Literatura

Jam bazuar në literaturën më bashkohore të përshkruar më poshtë nga ku kam marrë njohuri të përgjithëshme të bazuar në teori dhe teknologjitë moderne dhe aplikimet e tyre në praktikë në fushën e sistemeve të teknologjisë me fibra optik dhe përforcues EDFA.

Gerd Keiser (2011, *Optical Fiber Komunikim. New York: USA*).

Autori Gerd Keiser (2011) ka bërë një prezantim të plotë në lidhje me komunikimet me fibra optike, hartimin e strukturës, sistemeve, njohurive bazë mbi fabrikimin e komponentëve si: detektorë, fotodetektorë, linja dixhitale dhe analoge, konceptet e teknologjisë WDM, rrjeteve optike me fibra optike. Ai ka adresuar dobësimin dhe shpërndarjen si dukuri që dobësojnë sinjalin me shembuj dhe formula matematikore.

Dieter Eberlein & drei Mitautoren (2013, *Lichtwellenleiter-Technik. Dresden: Germany*).

Dieter Eberlein dhe tre bashkautorët (2013) në librin e tyre kanë bërë një prezantim të thellë teorike të konkretizuar me shembuj praktik rreth llojeve të fibrave optike, fiber-to-the-Home, standardet dhe teknikat e konektorëve dhe konektimin e tyre, duke theksuar rëndësinë që humbjet të jenë më të ulëta. Kanë specifikuar rëndësinë e zbulimit dhe zhvillimin e metodave të reja të konektorëve në mënyrë që të ketë sa më pak humbje të sinjaleve optike në pikat e lidhjes.

Shiva Kumar & M. Jamal Deen (2014. *Fiber optik communcation, John Wiley & Sohn: UK*)

Shiva Kumar & M. Jamal Deen (2014) kanë trajtuar në mënyrë profesionale shumë aspekte themelore dhe aplikime në fushën e komunikimit me fibra optike. Ata kanë trajtuar ligjet e intensitetit të fushës elektrike dhe magnetike matematikisht me shumë shembuj, përhapjen e

rrezatimit në fibrat optike, përhapjen e impulseve në fibrat optike, skemat e modulimeve, projektimin e sistemit të transmetimit, analizën e performancës së sistemit, teknikat e multipleksimit/demultipleksimit, përforcuesit optik, paraqitjen e efekteve jolineare dhe sistemet e përpunimit të sinjalit dixhital në komunikimet me fibra optike.

David R. Goff (1999, *Fiber Optic Reference Guide*. Focal Press Woburn: USA)

David R. Goff (1999) në librin e tijë shqyrton rolin e ndërlidhjes së pajisjeve. Autori në këtë libër paraqet konceptet themelore të industrisë së fibrave optike dhe jepë udhëzime se si me të vërtetë punon kjo teknologji në një mënyrë më të qartë dhe më të shkurtër, se si kjo teknologji të bëhet më e lehtë për të parashikuar trendet e zhvillimit të zgjerimit të rrjetit në të ardhmën, uljen e kostos, standardizimin e rrjeteve, si dhe zhvillimin e materialeve dhe teknologjive të reja.

P.C. Becker, Olson, dhe Simpson (1999, *Erbium-doped Fiber Amplifiers*. London: UK)

Becker, Olson, dhe Simpson (1999), kanë bërë prezantimin e hulumtimeve dhe zhvillimeve në lidhje me elementet e rralla të tokës që përdoren për përforcimin e sinjaleve optike, me fokus të veçantë në atë të përforcuesve të fibrave optike me Erbium të dopuar. Përshkruajnë karakteristikat fizike të materialeve të përdorura gjatë prodhimit të fibrave optike dhe pajisjeve si dhe metodat e ndërveprimit sinjal - pompë. Pastaj autorët shpjegojnë llogaritjet e BER-it, efektet e jolinearitetit, rëndësinë e densitetit të joneve dhe elementeve të rralla të tokës si dhe teknikat themelore të matjes së përforcuesve. Ky libër tregon avantazhet e përdorimit të përforcuesve EDFA krahasuar me përforcuesit e tjerë dhe është i përshtatshëm për të gjithë ata që dëshirojnë të zhvillojnë sisteme me pajisje dhe komponente amplifikuese.

II. Literature review

2. Mediumet transmetuese

Sistemet e telekomunikacionit nuk do të kishin rëndësin funksionale që kanë sot pa karakteristikat e specifikave të veta në fushën e mediumeve të transmetimit. Varësisht se në cilin medium përdorim sistemet e transmetimit, ato klasifikohen në grupe të ndryshme.

Mediumet transmetuese klasifikohen në dy grupe kryesore (Keiser, 2011):

1. Mediumet me tela (kabllo)
2. Mediumet pa tela (valët elektromagnetike)

Përndryshe, mediumet e transmetimit ndahen apo klasifikohen edhe në mediume sipas mënyrës së përhapjes, siç janë: mediume të trasuara (*guided*) - bëjnë orientimin e sinjalit nëpër një shteg të caktuar (siç janë mediumet me kabllo) - dhe mediume (*unguided*) të hapura (në ajër apo në ujë), ku sinjalet (valët elektromagnetike) janë të shpërndara në të gjitha drejtimet, edhe pse ato mund të orientohen në një drejtim të caktuar.

Disa lloje të kabllove që përdoren në mediumet transmetuese të trasuara (*guided*) janë:

- a) Kabllot optike
- b) Kabllot koaksiale
- c) Kabllot e gërshetuara (twisted pair)

2.1. Kabllot me fibra optike

Po filloj me kabllot me fibra optike, e pastaj do të bëj një sqarim krahasues në raport me kabllot e tjera.

Fibrat optike përbëhen nga disa pjesë kryesore (shih fig.1.) siç janë (Keiser, 2011):

- Bërthama (nëpër të cilën kalon drita)

- Mbështjellësi i brendshëm (*cladding* – e rrethon bërthamën me një material optik dhe bën që drita të reflektohet prej skajeve kah bërthama)
- Mbështjellësi i jashtëm (*buffer coating* – është mbështjellës plastik që e mbron fijen optike nga dëmtimet dhe lagështia.)

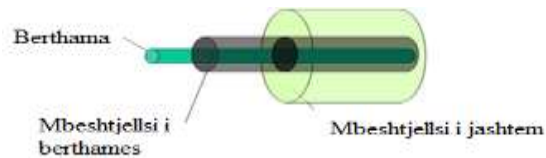


Figura 1. Fibra optike (<http://1.bp.blogspot.com>)

Nga karakteristikat kryesore të fibrave optike është se ato prodhohen duke përdorur material qelqi apo plastik, si dhe kombinimin e të dyve, dhe janë të përshtatura në mënyrë që të bëjnë të mundur transmetimin e sinjaleve të dritës nëpërmjet fibrës optike. Gjatë kalimit të sinjaleve të dritës nëpër një fibër optike, rrezet e dritës i godasin skajet (muret) e bërthamës të fibrave optike dhe kthehen përsëri në bërthamë (shih figurën 2) duke iu përmbajtur këndit të thyerjes, pra, sinjalet vazhdojnë rrugëtimin duke bërë lakime në bërthamën e fibrës optike.

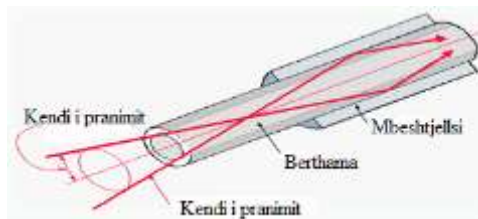


Figura 2. Rrezet e dritës në një fibër optike (<https://ddp13fiberoptics.files.wordpress.com>)

Në një kabllo optike mundë të bashkohen në tufë me mijëra fije optike, të cilat si mburojë përdorin shtresën e mbështjellësit të jashtëm.

Një tjetër ndarje të fibrave optike në bazë të mënyrës së bartjes së sinjaleve është:

- Fibrat single-mode
- Fibrat multi-mode

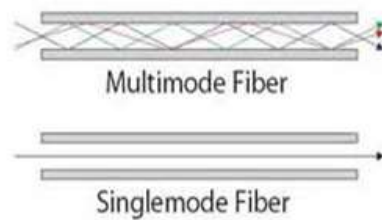


Figura 3. Fibra optike single-mode & multi-mode (prosoundweb.com)

Fibrat *single-mode* kanë bërthamë të vogël, me diametër 9 mikron, dhe transmetojnë dritë lazerike infrared me gjatësi valore nga 1.300 deri në 1.550 nanometra (Agrawal, 2010). Rrezja e bërthamës të fibrat *single-mode* është shumë e vogël; si rezultat, do të ketë më pak kënde të reflektuara përgjatë rrugëtimit të rrezes së dritës nëpër fibrën optike.

Ndërsa fibrat *multi-mode* kanë bërthamë më të madhe, me diametër rreth 62.5 mikron e më lart, dhe transmetojnë dritë infrared me gjatësi nga 850 deri në 1.300 nm (Agrawal, 2010). Gjatë hyrjes së dritës nga një burim në bërthamën e fibrës optike, disa prej rrezeve të dritës reflektohen, kurse disa të tjera absorbohen nga materiali i mbështjellësit. Forma e tillë e përhapjes së rrezeve të dritës quhet *multi-mode* me *step-index*, për shkak të thyerjeve të rrezeve të dritës në kënde të ndryshme.

Nga çka sqarova më sipër, duket qartë se fibrat *multi-mode* janë të përshtatëshme për transmetime në distanca të shkurtra, ndërsa fibrat *single-mode* janë më të mira se ato *multi-mode*, dhe përdoren në distanca të gjata transmetuese.

Fibrat *single-mode* dhe *multi-mode* do të trajtohen më gjerësisht më vonë.

2.1.1. Krahësimi mes kabllor optike dhe kabllorve tjera

Dallimi mes kabllor optike dhe kabllorve që i përmenda më sipër është më se i dukshëm. Kabllorja me çift të gërshetuara është pra vetëm për përdorim në distanca të shkurtra, për

mbartës (carrier) 1 MHz, dhe arrin një kapacitet të informacionit prej 1 Mbps (i cili as që mund të krahasohet me kabllon optike).

Tani po bëj një krahasim mes kablllos optike dhe asaj koaksiale.

Bazuar në specifikat e kualitetit të transmetimit, kablloja optike është shumë më e mirë dhe më efikase sesa ajo koaksiale. Kabllot optike zakonisht përdoren në distanca të mëdha në sistemet e komunikimit.

Disa dallime kryesore mes kablllos optike dhe asaj koaksiale. Kablloja optike (N. Massa Springfield Technical Community College Springfield, Massachusetts) (A.Oliviero & B.Woodward, 2014) ka këto veti:

- Kapacitet dhe gjerësi brezi shumë më të madhe
- Ka madhësi më të vogël
- Është më i lehtë në peshë,
- Ka dobësim më të vogël të sinjalit
- Ka izolim më të mirë dhe ndikim më të vogël nga efektet elektromagnetike
- Është i aplikueshëm në distanca me mijëra kilometra, dhe ofron kapacitet me mijëra e qindra mijëra të kanaleve telefonike në 1550 nm, me shpejtësi transmetimi nga 2.5 Gbps e disa Tbit/s në teknologjinë DWDM.
- Kapaciteti teorik i mbartjes të kablllos koaksiale është 1 GHz, ndërsa i atij të fibra optike është 50 THz, që i bie një faktor dallimi 50.000.

Pra duke u bazuar në të dhënat e lartë cekura dallimi në mes kablllove optikë në krahasim me kabllot tjera është me se i dukshëm.

2.1.2. Zhvillimi i fibrave optike

Në mënyrë që të komunikojmë, ne duhet të përdorim një medium të caktuar transmetimi, si ajrin, kabllon koaksiale, fibrat optike, etj. Pra, na duhet një sistem transmetimi që të bëjmë të mundur komunikimin dhe dërgimin e informacionit në distancë nëpër një medium të caktuar transmetimi.

Janë bërë shumë eksperimente të ndryshme për të arritur tek një medium transmetues që i plotëson nevojat e transmetimit pa pasur humbje të ndjeshme të informacionit. Por për shkak të problemeve dhe kostove të larta që shfaqeshin në hulumtimet e transmetimeve mikrovalore, duke marrë parasysh edhe kufizimet e faktorëve atmosferikë, si të shiut, borës, mjegullës, etj., u rekomandua që të gjenden alternativa për transmetime që i plotësojnë nevojat në fushën e telekomunikacionit. Si rezultat i këtyre hulumtimeve u arrit në konkluzionin që fibrat optike mund të jenë shumë më rentabile, për shkak se nuk janë të kufizuara nga kushtet atmosferike dhe ofrojnë mundësi për transmetime me kapacitete të larta. Megjithatë, edhe fibrat optike deri në vitet 1960 kishin humbje të mëdha në bartjen e sinjaleve (G. Keiser , 2011: f.1-2). Në fillim kishte humbje 1000 dB/km, që i bënte fibrat optike jofunksionale. Mirëpo, me zbulimin e lazerit në vitet 1960, u shtua optimizmi për të arritur transmetime cilësore. Në vitin 1966, Kao dhe Hockman erdhën në përfundimin se humbjet e shkaktuara në fibrat optike vijnë nga papastërtia e materialit të fijeve optike (R. Olshansky, 1979: f. 341-367). Kjo bëri që në vitet '70 të zhvillohet teknologjia serike e prodhimit të fibrave optikë dhe të fillojë gjerësisht përdorimi i tyre në fushën e transmetimit dhe të bartjes së sinjaleve në sistemin e komunikimit me valët e dritës. Ky sistem operoi në regjionin e valëve infrared të spektrit elektromagnetik (nominalisht 770 deri në 1675 nm), dhe përdori si medium transmetues fibrat optike (G. Keiser, 2011: f.1-2). Në 1990-ën,

hulumtuesi i Bell Labs-it, Linn Mollenauer, arriti të realizojë transmetimin në 2.5 Gb/s në një distancë 7.5 km pa pasur nevojë për rigjenerimin e sinjalit (David R. Goff, 1999: f.5). Në sistemin e tij ai përdori një *soliton laser*¹ dhe një *Erbium-doped fiber amplifier (EDFA)*² që lejon ruajtjen e densitetit dhe të formës së valëve të dritës. Më 1998, Bell Labs, me Linn Mollenauer, arriti të ketë sukses duke realizuar transmetimin e 100 sinjaleve optike njëkohësisht, ku secili sinjal kishte një *data rate* 10 Gb/s në një distancë 400 km (David R. Goff, 1999: f.5). Në këtë eksperiment ai përdori teknologjinë *Dense - Wavelength- Division Multiplexing (DWDM)*³ për të arritë në fibër data rate-in në Terabit/s (10^{12} b/s); kjo vlerë në Terabit bëri edhe përmbylljen e limiteve teorike në fushën e transmetimeve me fibra optike. Natyrisht që në këto arritje ka ndikuar edhe zhvillimi i teknologjisë në fushën e zhvillimit të prodhimit të pastërtisë së materialit të qelqit, si dhe teknologjia gjithnjë e në rritje e përpunimit të sinjaleve transmetuese.

Fibrat optike ofrojnë shpejtësi, kapacitet, e kualitet transmetimi në distancë më të lartë krahasuar me mediumet e tjera transmetuese. Përkundër humbjeve që paraqiten në fibrat optike, ato kanë mundësinë që të transmetojnë në distancë 100 km pa pasur nevojën e përforsimit të sinjalit (Dieter Eberlein und 4 Mitautoren, 2006: f.3)), ndërsa me ndihmën e përforsuesve (që do t'i trajtojë hollësisht më vonë) ka mundësi që të arrihet edhe transmetimi me fije optike në disa mijëra kilometra pa ndihmën e përsëritësve (Repeaters) të sinjalit.

Pra, transmetimet me fibra optike janë shumë më efikase sesa transmetimet me kabllon e

¹**Soliton-Laser** – Në matematikë dhe fizikë, soliton është valë e vetme e rihorcuar nga vetja (puls) e cila e mban formën gjatë udhëtimit të tij në medium me shpejtësi konstante

²**EDFA** – është një xhel (lëng i mpiksuar) me një element të rrallë të tokës, erbium, i cili mund të përforsojë dritën në gjatësinë valore 1550nm kur ajo dritë rrjedhë nga një burim i jashtëm i saj.

³**DWDM** – është transmetimi i disa gjatësive valore në një fije të vetme optikë me hapsirë të ngushtë në mes tyre në brezin 1550nm. Hapsirat e gjatësive valore zakonisht janë 100 ose 200 GHz, të cilat korrespondojnë në 0.8 ose 1.6 nm. Brezat DWDM përfshijnë C-brezin, S-brezin dhe L-brezin (C-band, S-band, L-band).

bakrit apo transmetimet mikrovalore. Pastaj, përparësi të tjera janë: fibrat optike janë më të lehta se kabloja e bakrit, kanë gjerësi të brezit më të gjerë (bandwidth), kanë kualitet të sinjalit më të mirë, kanë kosto më të ulët, kanë imunitet nga rrezatimet elektromagnetike, për shkak se fibrat optike janë të ndërtuara nga materialet dialektrike që nuk janë përçues. Megjithatë, unë do t'i trajtoj hollësisht disa nga problemet që shkaktojnë humbjet në sistemet e transmetimit me fibra optike.

Edhe në ditët tona vazhdojnë hulumtimet në zhvillimin e kualiteteve më të mira transmetuese të fibrave optike. Si shpërblim për arritjet në uljen e humbjeve në fibrat optike, Charles K.C. Kao mori në 2009-ën çmimin Nobel në lëmin e Fizikës (G.Keiser, 2011: f.1-2).

Në këtë sistem të transmetimit, për të arritë sinjali nga transmetuesi në marrës, do të jetë e nevojshme të përfshihen një sërë pajisjesh fizike dhe komponentë softuerike për të bërë të mundshëm bartjen e informacionit në një distancë të kërkuar, pa pasur deformim të informacionit. Janë zhvilluar teknika të ndryshme teknologjike për të bërë bartjen e sinjalit nga transmetuesi tek marrësi.

Me zhvillimin e teknologjisë së aplikimeve në fushën e valëve të dritës po evoluon përditë e më shumë në ditët tona edhe avancimi i teknologjisë së pajisjeve shoqëruese në fushën e telekomunikacionit. Mediumet jolineare dhe procesimi i sinjaleve në këto medime po zënë vend gjithnjë e më shumë në hulumtime. Siç është rasti edhe me përdorimin e materialit në mediumin jolinear për të gjitha procesimet e sinjaleve të Hydrogenated Amorphous Silicon-it (a-Si:H) (S.Wabnitz & B. J. Eggleton, 2015: f.13); një material që po zë vend për shkak të specifikave fleksibile të përdorimit në mediumet jolineare. Një tjetër veçori me rëndësi është se ky lloj materiali është i lirë dhe mund të depozitohet në temperatura të ulëta (poshtë 400°C). Pra, ky lloj materiali mund të përdoret në komponentët për procesim-chip elektronik,

në pajisjet fotonike që kanë të bëjnë me sistemin e mekanizmave të transmetimeve në fushën e telekomunikacionit me ndjeshmëri të lartë dhe kanë humbje më të vogla jolineare sesa kristali i Silicit. Ky material gjen zbatim sidomos në fushën e përforcuesve SOA (Semiconductor optical amplifiers), pasi aty kemi të bëjmë me paraqitje shumë të theksuar të efekteve jolineare (S.Wabnitz & B. J. Eggleton, 2015: f.18-26). Ky lloj përforcimi nuk do të trajtohet gjerësisht në rastin tim.

Në rastin tim do të fokusohem kryekëput në mediumin e transmetimit me fibra optike dhe në përforcuesit e sinjalit, me theks të veçantë në përforcuesit EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifer).

Pra, fibrat optike janë fije të holla që përbëhen nga materiali i një cilësie shumë të mirë i plastikës ose i qelqit, në të cilin futet përzierja e dioksidit të siliciumit të pastrukturuar (amorphous silicon dioxide, SiO_2). Një material që është dominant në fibrat optike të përdorura në fushën e telekomunikacionit, pasi ka disa veti shumë cilësore, siç janë: rang të gjerë të gjatësisë valore rreth $1.5 \mu\text{m}$, absorbim dhe humbje skatering rreth 0.2 dB/km (W. A. Gambling, 2000:1084). Fibrat optike janë fije fleksibile, të lehta, transparente, dhe me diametër shumë të vogël, në mikron, që variojnë nga 8-10 mikron (zakonisht 8.3 mikron), që ndryshe i quajmë fibra *singel-mode*, dhe mbi 10 mikronë (më saktë, rreth 50 mikronë), që i quajmë *multi-mode* (G.Keiser, 2011: f.71); për të pasur një ide rreth diametrit të fijeve optike, ato mund t'i krahasojmë me trashësinë e fijes së flokut. Fibra optike, siç duket edhe në fig. 4, përbëhet nga bërthama, e cila është e mbështjellë nga një mbështjellës (cllading - që zakonisht ka një diametër 125 deri 140 mikronë), që përmban gjithashtu material qelqi dhe plastik, e një shtresë (coating ose buffer) e cila është një material tipik nga plastika, që shërben si mburojë nga dëmtimet fizike dhe mjedisore, e zakonisht përdoret në diametra 250

mikronë, 500 mikronë dhe 900 mikronë. Përparësi e fibrave optike është se materiali i tyre nga përbërja e qelqit të siliciumit mund të dopohen lehtë nga materialet e ndryshme (W. A. Gambling, 2000: 1084).



Figura 4. Pamja tërthore e diametrit të fibrave optike *single-mode* dhe *multi-mode* (<http://networkengineering.stackexchange.com>)

Si bërthama, ashtu edhe mbështjellësi (*cladding*), janë të dopuar nga materiali i qelqit. Ka edhe lloje të tjera të fibrave optike që përbëhen nga materiali i kuarcit ose nga silici i pastër dhe nga plastika, por që nuk përdoren në aplikime me performancë të lartë transmetimi.

Më vonë do t'i shtjellojmë më gjerësisht diametrin dhe llojet e fibrave.

Në figurën 5 kam paraqitur rolin që luan një mbështjellës në drejtimin e bartjeve të rrezeve të dritës. Pra, për të bërë të mundur që një rreze drite të transportohet deri te një marrës, ajo duhet të kalojë nëpër një bërthamë të një fibre optike me mbështjellës reflektues (John V. Racca, 2007). Nëse nuk do të kishim mbështjellës reflektues përreth bërthamës, rrezet e dritës do të rridhnin jashtë bërthamës së fibrës optike.

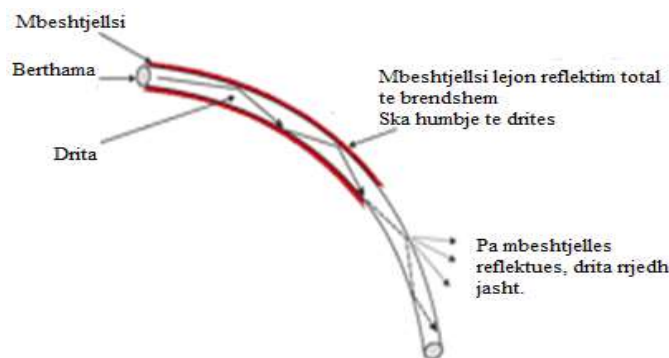


Figura 5. Fija optike me mbështjellës të qelqit (<http://www.olson-technology.com>)

Në figurën e mëposhtme kam paraqitur një pamje të diametrit të bërthamës dhe të mbështjellësit të fibrave optike.

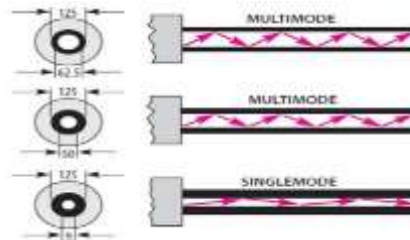


Figura 6. Diametri i fibrave optike *multi-mode* dhe *single-mode* (<http://www.ira.inaf.it>)

Më poshtë po përshkruaj formën e përhapjes së dritës në një fibër optike dhe faktorët që ndërlidhen me përhapjen e dritës.

Pjesa e brendshme e bërthamës është mediumi që bën të mundur transmetimin dhe bartjen e sinjalit, dhe kualiteti i tij varet nga pastërtia e materialit të qelqit apo plastikës. Principi i bartjes së sinjalit në fibrat optike bazohet në veprimin e reflektimit total të brendshëm të dritës (Principles and Practice, 3/E John Senior, 2009: f. 1128). Bërthama e fibrës optike e ka indeksin e thyerjes më të lartë sesa mbështjellësi (cladding) i tij. Indeksi i thyerjes (refraktimi) është vetëm njëri nga faktorët e rëndësishëm që ndikon në kohën e përhapjes të sinjaleve në fibrat optike. Duke u bazua në kohën e përhapjes në formulën (D. R. Goff, 1999: f.20)

$$t = L n / C (1),$$

shohim se faktorët që ndikojnë janë:

t = Koha e përhapjes në sekonda

L = Gjatësia e fibrës optike

n = Indeksi i thyerjes në bërthamë (përafërsisht 1.47)

c = Shpejtësia e dritës (2.998×10^8 m/s)

2.2. Llojet e kablllos optike dhe standardet e tyre

Për të bërë të mundur transmetimin e sinjaleve nëpër kabllot optike, duhet të bazohemi në standarde që e mundësojnë kompatibilitetin e komunikimeve në rrjeta të ndryshme dhe nga prodhues të ndryshëm të kablllove optike.

2.2.1. Llojet e kablllos optike

Duke u nisur nga nevoja që të arrijmë vlera me humbje sa më të vogla, distancë transmetimi sa më të lartë dhe kualitet më të mirë të sinjalit, atëherë këto nevoja mund të plotësohen nëse marrim parasysh edhe faktorët dhe efektet që shkaktohen në dobësimin e sinjaleve, siç është rasti me efektin e dispersionit, i cili bën që të zgjerohet impulsi i sinjalit të dritës dhe, si rrjedhojë, do të ngarkonte gjerësinë e brezit të valëve të dritës. Si rezultat i paraqitjes së dispersionit do të kemi pastaj zhvendosjen e gjatësive valore, e, si pasojë, do të mund të kishim edhe fshirjen (anulimin) e valëve të dritës (D. Eberlein und 4 Mitautoren, 2006:f.8). Nga ajo që thashë më lart, patjetër duhet të kemi një ndryshim të definuar në fazë në mes valëve të dritës, përndryshe do të rezultonte fshirja apo humbja e këtyre valëve të dritës, dhe do të kishim edhe dëmtim apo humbje të informacionit. Pra, si rezultat i këtyre problemeve, dhe në mënyrë që të kemi një kualitet më të mirë të sinjalit me fibrat optike, ato ndahen në dy lloje kryesore, sipas mënyrës së veprimit, në fibra *single-mode* (single path), pra, drita udhëton nëpër fije optike me vetëm një rreze, dhe *multi-mode* (multi path), teksa në këtë rast drita udhëton nëpër fibrën optike me disa rreze të dritës. Për të bërë transmetimin dhe bartjen e informacioneve, të dy llojet e fibrave përdorin burime të ndryshme të dritës për të realizuar emetimin e dritës në bërthamën e fibrës optike. Fibrat *single-mode* përdorin burimin e dritës të diodave lazer, ndërsa fibrat *multi-mode* përdorin burimin e dritës LED.

Shumica e kablllove të fibrave optike e kanë diametrin e jashtëm 125 μ (mikronë). Në figurën e mëposhtme është paraqitur se si duket forma e kablllos optike, ndërsa në tabelë është paraqitur dallimi mes kablllos optike *single-mode* dhe *multi-mode* në disa pika.

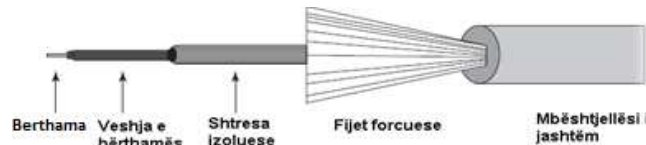


Figura 7. Pamja e shtresave të kablllos optike (John V. Racca, 2007).

Pra, ashtu siç edhe e sqarova më herët, këto dy lloje të fibrave dallojnë sa u përket disa karakteristikave të transmetimit, megjithëse të dy llojet e fibrave kanë bërthamë dhe mbështjellës, por me diametër të ndryshëm.

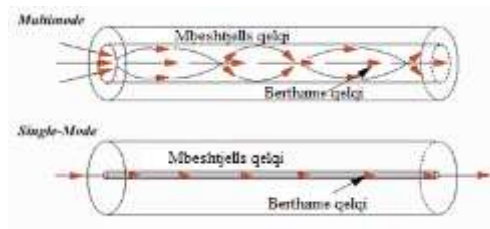


Figura 8. Krahasim i fibrave optike *single-mode* dhe *multi-mode* (www.overclock3d.net)

Multi Mode	Single Mode
Fibra multimode përdorë burimin e dritës të diodës LED (Light Emitting Diode)	Fibra single mode përdorë burimin e dritës laser
Drita LED përdorë shumë rrugë (rreze drite) në bërthamë	Drita përdorë një rrugë (një rreze drite) të vetme në bërthamë
Diametri i brendshme i bërthamës është 50 μm, 100 μm, 150 μm, por zakonisht është 62.5 μm	Diametri i brendshme i bërthamës arrijn deri 10 μm, por zakonisht është 8.3 μm .
Përdoret për distanca të shkurtra < 8000 m	Përdoret për distanca të gjata >8000 m
Fuqia e dritës shpërndahet në bërthamë dhe mbështjellës të bërthamës-cladding)	Fuqia e dritës shpërndahet vetëm në bërthamë (core)

Tabela 1. Krahasimi i kablllos së fibrave optike *single-mode* dhe *multi-mode*

Në tabelën 2 duken specifikat e fibrave optike, të detajuar me vlera specifike në lidhje me diametrin e bërthamës, atenuimin, gjerësinë e brezit dhe fushën e aplikimeve.

Llojet e fibrave optikë me specifika: (OM/OS i referohet tipit TIA, B i referohet tipit IEC, G i referohet tipit ITU)			
Bërthama/Mbështjellësi	Atenuimi	Gjerësia e brezit	Aplikimet/Shënimet
Multimode Graded-Index			
	@850/1300 nm	@850/1300 nm	
50/125 microns (OM2)	3/1 dB/km	500/500 MHz-km	Laser-rated for GbE LANs
50/125 microns (OM3)	3/1 dB/km	2000/500 MHz-km	Optimized for 850 nm VCSELs
50/125 microns (OM4)	3/1 dB/km	3600/500 MHz-km	Optimized for 850 nm VCSELs, higher speed
62.5/125 microns (OM1)	3/1 dB/km	160-200/500 MHz-km	LAN fiber
100/140 microns	3/1 dB/km	150/300 MHz-km	Obsolete
Single-mode			
	@1310/1550 nm*		
9/125 microns (<u>OS1</u> B1.1 or G.652)	0.4/0.25 dB/km	HIGH! ~100 Terahertz	Single-mode fiber, most common for Telco/CATV/high speed LANs. OS1 is a designation of TIA-568 for SM fiber cabled for premises use that has higher attenuation - 1dB/km. All SM fiber appears to be low water peak fiber.
9/125 microns (OS2, B1.2 or G.652)	0.4/0.25 dB/km	HIGH! ~100 Terahertz	Low water peak fiber. OS2 is a designation of TIA-568 for SM fiber cabled for outdoor use.
9/125 microns (<u>B2</u> or G.653)	0.4/0.25 dB/km	HIGH! ~100 Terahertz	Dispersion shifted fiber
9/125 microns (<u>B1.2</u> or G.654)	0.4/0.25 dB/km	HIGH! ~100 Terahertz	Cutoff shifted fiber
9/125 microns (<u>B4</u> or G.654)	0.4/0.25 dB/km	HIGH!~100 Terahertz	Non-zero dispersion shifted fiber
Multimode Step-Index			
	@850 nm	@850 nm	
200/240 microns	4-6 dB/km	50 MHz-km	Slow LANs & links
POF (plastic optical fiber)			
	@ 650 nm	@ 650 nm	
1 mm	~ 1 dB/m	~5 MHz-km	Short Links & Cars

Tabela 2. Llojet e fibrave dhe specifikat e tyre (www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html)

Kabllot optike ndahen edhe sipas karakteristikave të materialit që përdoret për prodhimin e tyre. Gjatë selektimit të materialit të fibrave optike duhet të kihet parasysh disa specifika, si:

materiali duhet të jetë patjetër transparent, në mënyrë që të lejojë kalimin sa më të lehtë të dritës, duhet të ketë indeks të ulët të thyrjes në mes të bërthamës (core) dhe mbështjellësit (cladding), dhe materiali duhet të jetë i hollë dhe i gjatë, në mënyrë që të jetë e mundur të arrihen fibra fleksibile. Unë do t'i përmend vetëm disa prej tyre, si fibra optike prej plastike, fibra optike të mbushura me xhel (gel), fibra optike të prodhuara nga qelqi i siliciumit, fibra me xham aktiv, etj.

2.2.2. Kabllot optike të prodhuara me qelq aktiv të siliciumit

Siç e kam cekur më lart, kabllot optike të prodhuara nga qelqi i siliciumit kanë përdorim shumë të gjerë në teknologjinë e komunikimit.



Figura 9. Kabllot optike të bazuara në qelq aktiv të siliciumit (www.networkhost.blogspot.com).

- *Fibrat optike* me xham (qelqi) aktiv përmbajnë elemente që janë të rralla në tokë; këto materiale, kur përzihen me xham pasiv, rezultojnë me veti të reja optike dhe magnetike (G. Keiser, 2011: fq.71). Këto lloje të fibrave aktive përdoren për të arritur standarde më të mira amplifikuese, shuarje më të vogla, dhe cilësi më të mirë të transmetimit të sinjaleve. Ndërsa dy materialet kryesore që përdoren për prodhimin e fibrave lazerikë janë erbiumi dhe neodymiumi.

2.2.3. Kabllot optike të plastikës

Këto lloje të kabllot optike përdoren për distanca të shkurta transmetuese, ku si bërthama edhe mbështjellësi janë nga materiali i plastikës dhe kanë diametër më të madh se fibrat me

material të silicit, e janë më të lira se llojet e tjera të kablllove optike. Por mangësia qëndron në kualitetin e transmetimit. Po t'i krahasojmë me kabllot me fije optike të qelqit, atëherë kabllot me fije optike të plastikës posedojnë dispersion më të madh, prandaj kualiteti i transmetimit është më i ulët, në limitin e 100 Mbps (H. Venghaus, N. Grote, 20012 : f.70) për çka, nëse i përdorim në distanca të vogla, nuk do të ishte problem (për shkak të kostos së ulët), por për transmetime në distanca të mëdha nuk janë të përshtatshme. Megjithatë kohët e fundit është arritur që edhe këto lloje të fibrave të kenë një humbje më të vogël se 20 dB/km në rangun 800-1300 nm (H. Venghaus, N. Grote, 20012 : f.70), në një diametër të fibrës së bërthamës prej 50 mikrometra. Këto lloje të kablllove optike të plastikës, pra, janë një kompozim i plastikës së tejdukshme - bërthama përbëhet nga materiali Acryl i qelqit (PMMA)⁴, ndërsa mbështjellësi përbëhet nga materiali plastik fluoropolymer (D. Gustedt/W. Wiesner, 1998 : f.70), që mundëson bartjen e dritës me humbje minimale - dhe përdoren si fibra *multi-mode*. Këto fije optike janë në përdorim mjaft të gjerë, për arsye se kanë një kosto të ulët të prodhimit, dhe gjithashtu implementimi i tyre është më pak kompleks, sepse është më fleksibil.



Figura 10. Kabllot optikë të plastikës

Ndërsa fibrat optike që përdoren për transmetime në mediumet me ujë duken si në figurën e mëposhtme, nga ku duket qartë se përbërja e strukturës së një fibre optike nënujore ndryshon sa i përket sigurisë në aspektin e mbështjellësit, pasi i nënshtrohet një ambienti shumë më të

⁴ PMMA - Poly(methyl methacrylate)

ndikueshëm, si atij të qëndrueshmërisë por edhe atij fizik. Këto lloje fibrash përdoren për transmetime nënujore dhe transoceanike, që lidhin shtete e kontinente.

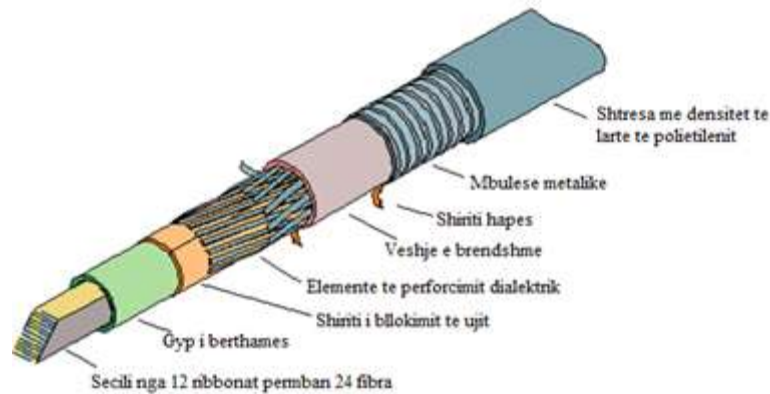


Figura 11. Kablloja optike për transmetime nënujore (<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Fiber-optic+cable>)

Kablloptike që përdoren në sistemet e transmetimit nënujore kanë diametër 69 mm dhe peshojnë 10 kg/m (<http://www.aurora-optics.com/technologies.html>).

Ja vlen të përmendet se kablloptike nënujore kanë arritur në vitin 2010 të realizojnë lidhjen e të gjithë kontinenteve të globit tokësor, dhe kështu është bërë i mundur komunikimi me shpejtësi dhe kapacitete edhe më të mëdha në mes shteteve dhe kontinenteve, pavarësisht distancës dhe kapacitetit të transmetimit.

2.2.4. Kabllot optike të mbushura me xhel (Gel)

Kablloptike me xhel janë të zhvilluar relativisht më vonë, pra, janë më të reja. Kjo lloj kablloje ndikon pozitivisht në performancën e transmetimit të sinjaleve të dritës. Por, nuk ka ndikim në përforcimin e sinjaleve, prandaj kjo lloj kablloje përmban një rrjetë me vrima, të cilat mbështillen në bërthamën solide (www.ntcdistributing.com). Në vrima vendoset një sasi e vogël e lëngut, e cila shërben për mbylljen e fundeve. Në këtë lëng (fluid) përcaktues është ngrohja e tij, e cila ndikon në përzgjedhjen se cila valë duhet të udhëtojë në bërthamë dhe

cila duhet të anulohet, pra, në këtë mënyrë akordohen fibrat optike, duke arritur përmirësimin e sinjaleve, ku disa nxirren jashtë bilancit; shiko figurën 12 (J. V. Racca, 2007).



Figura 12. Kabllot optike të mbushura me xhel (<http://www.aurora-optics.com/technologies.html#other>)

Disa nga fibrat e tubit mbushen në brendësi të secilit bufer të lirë me xhel. Xheli përdoret për pengimin (mbrojtjen) nga uji, dhe ato janë të dizajnuar që t'i rezistojnë temperaturës dhe lagështisë. Gjithashtu, këto lloje të fibrave mund të shtrihen (vendosen) edhe në tokë.

Në figurën 13 kam paraqitur një prerje tërthore të një kablloje optike nënujore (të mbushur me xhel), e pamjen se si duken në brendësi të një kablloje fibrat e organizuara.

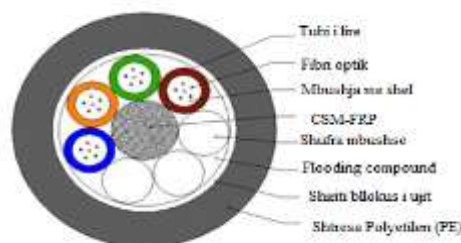


Figura 13. Kabllot optike nënujore të mbushura me xhel (gel) (www.asia.ru)⁵

2.3. Standardet e fibrave optike sipas ITU-së

Tani do të trajtoj njërin nga faktorët kyç të komunikimit në mes sistemeve të rrjetave të ndryshme, e që janë standardet e fibrave optike sipas Unionit Ndërkombëtar të

⁵ CSM - Chopped Strand Fiberglass Mat ; FRP - Fibre reinforcement plastic

Telekomunikacionit, ITU (International Telecommunication Union), pa të cilin nuk do të kishim mundësi komunikimi në nivelin qoftë regjional apo ndërkombëtar.

2.3.1. Standardet Internacionale

Ndër faktorët shumë të rëndësishëm janë edhe standardet. Sot në botë ekzistojnë standarde të ndryshme të sistemit të interfejsit (ndërfaqësimit); secili prej tyre përdor komponentë dhe pajisje të ndryshme për komunikim me fibra optike. Prandaj janë zhvilluar një numër i madh standardesh, që sistemet e ndryshme të përdorin standarde të njëjta internacionale, dhe të mos kenë probleme gjatë komunikimit. Standardizimi ka filluar që të zhvillohet qysh në hapat e parë të fillimit të zbulimit të fibrave optike. Ku vlen të theksohet se sektorët e parë të standardizimeve internacionale në fushën e telekomunikacionit ishin ITU-T (International Telecommunication Union), IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organisation for Standardisation), si dhe TIA (Telecommunication Industry Association). Vlen të theksohet edhe publikimi i parë që u bë nga ITU-ja për fibrat multimodë në vitin 1984 (G.651) (ITU.com), pra, si rekomandim i standardizuar në fushën e fibrave optik.

Tre sistemet e klasave bazë për fibrat optike janë: standardet primare, standardet për testimin e komponentëve, dhe standardet e sistemit (G. Keiser, 2011). Pra, duke përdorur standarde të njëjta për sistemet e komunikimit mund të përdorim pajisje nga prodhues të ndryshëm që patjetër duhet t'u përmbahen standardeve që i përmendëm më sipër. Në vazhdim do t'i shtjelloj më gjerësisht disa nga organizatat kryesore, duke iu referua burimit të mësipërm.

Standardet primare përfaqësohen në përgjithësi nga organizatat nacionale të shteteve (G. Keiser, 2011), si, për shembull, organizatat kryesore të standardeve primare:

- *NIST (National Institute of Standards and Technology) është në USA.*

- *NPL (National Physical Laboratory) është organizatë nga Britania e madhe*
- *PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) në Gjermani*

Standardet primare i trajtojnë kryesisht karakteristikat operationale të fibrave optike; u referohen matjeve, parametrave fundamentale fizike, si gjerësia e brezit, atenuimi, nivelit të fuqisë optike dhe gjerësisë spektrale.

- ***Standardet për testimin e komponentëve*** kanë të bëjnë me testimin e performancës së fibrave optike, si dhe me procedurat e kalibrimit të pajisjeve. Edhe te ky standard kemi disa organizata, si:
- *ITU-T (International Telecommunication Union , TIA (Telecommunication Industry Association), EIA (Electronics Industries Alliance). Në standardin TIA kemi mbi 120 specifikime të standardeve të testimit të fibrave optike (Gerd Keiser, „ Optical Fiber Communication”, 2011- New York/USA).*

Standardet e sistemit kanë të bëjnë me metodat e matjes për linja dhe rrjeta të sistemit me fibra optike. Edhe këtu janë disa prej organizatave më të njohura: *ANSI (American National Standards Institute), IEEE (Instiute for Electrical and Electronic Engineers), ITU-T dhe Telecordia Technologies.*

Këto organizata, gjithnjë duke iu referuar shënimit të mësipërm, në përgjithësi japin rekomandime dhe standardizojnë sistemet e fibrave optike, përforcuesit optikë, multipleksimin e gjatësive valore, rrjetin e transportit optik, gjendjen e sistemit, menaxhimin dhe kontrollin për rrjetin pasiv optik.

Vlen të theksohet se për fibrat multimodë përdoret klasifikimi i standardizuar nga ISO/IEC, i cili i ndan fibrat multimodë në katër klasa: OM1, OM2, OM3 dhe OM4 (*ISO/IEC Recommendation 11801 (2002)*). Nga ku specifikohet se klasat OM1 dhe OM2 kanë të bëjnë

me specifikat në 50 μm dhe 65 μm për fibrat multimodë, ndërsa klasat OM3 dhe OM4 merren vetëm me definimin e specifikave në 50 μm (Mike Gilmore, Los Cabos, Mexico, Mars, 2009, Paper) (G.Keiser, 2011).

Pasi punimi im nuk ka për qëllim detajimin e standardeve, për një vështrim edhe më thellë mund të ketë një referim te rekomandimet e *ISO/IEC-së*.

2.3.2. Fibrat single-mode

Duke u nisur nga kërkesat gjithnjë e më të larta për kapacitete të transmetimit, është e domosdoshme që të përdoren lloje të tilla të fibrave të transmetimit që i plotësojnë kërkesat e tilla, sikurse janë fibrat *single-mode*. Për dallim nga fibrat *multi-mode*, tek fibrat *single-mode* nuk kemi sinjale të dritës që arrijnë në kohë të ndryshme, pasi kemi të bëjmë vetëm me një sinjal drite; e që të arrihet kjo, duhet që diametri i bërthamës të fibrës *single-mode* të jetë më i vogël se 10 mikron (D.Eberlein und 4 Mitautoren, 2006 : fq.30). Nga kjo rezulton që kapaciteti i bartjes së sinjalit do të jetë dukshëm më i madh. Por kjo nuk do të thotë se nuk do të kemi paraqitje të dispersionit, por do të kemi një dispersion me nivel shumë më të ulët, për shkak të vetive të materialit të fibrës optike. Pra, këtu nuk mund të bëhet fjalë për dispersion intermodal, pasi kemi të bëjmë vetëm me një valë të vetme (ndryshe nga fibrat multimode, ku paraqitet ky efekt i dispersionit intermodal), dhe pikërisht kjo është përparësia kryesore për përdorimin në komunikimet me fibra optike *single-mode*. Një përshkrim i saktë i shpërndarjes së dritës *single-mode* mund të bëhet vetëm me ndihmën e modeleve të valëve. Si burim të dritës ky lloj i fibrës optike përdor dritën e lazerit që kalon nëpër bërthamën e fibrës, e cila pastaj e përshkon fibrën optike në distanca të mëdha, dhe në këtë mënyrë realizon mbartjen e sinjalit me informacion të dobishëm.

Fibrat optike si karakteristikë të tyre e kanë bërthamën me diametër shumë të vogël (Racca (2007) më të vogël se 10 mikron; zakonisht ka diametër 8.3 mikron), dhe kjo ua mundëson atyre ta bartin dritën monokromatike të lëshuar nga lazeri pothuajse pa thyerje, apo me thyerje shumë të pakta, pasi në linjat e transmetimit thuajse është e pamundur të mos kemi lakime, prandaj na paraqiten edhe thyerjet e dritës edhe në këto raste, por që janë në nivel të ulët. Megjithatë, këto thyerje sado të vogla ndikojnë që sinjali i dritës të dobësohet në mënyrë graduale, ku një pjesë të energjisë e absorbon materiali i qelqit, dhe shfaqen efekte që ndryshe njihen edhe si shtrembërime kromatike (J.V. Racca, 2007).

Në esencë kemi dy lloje të efektit të dispersionit: dispersioni që shkaktohet nga materiali i fibrës optike, dhe dispersioni që shkaktohet nga dobësimi i sinjalit të dritës që paraqitet si shkak i lakimit të fibrës.

2.3.3. Standardet e ITU-së për fibrat optikë single-mode

ITU (The International Telecommunications Union) ka zhvilluar disa standarde për lloje të ndryshme të fibrave që përdoren në komunikimet me fibra optike. Disa standarde më kryesore për fibrat *single-mode* i kam paraqitur në tabelën 3 (Standards of the International Telecommunication Union (ITU), <http://www.itu.int/>).

Emri	Titulli
G.650.1 (06/04)	Definicionet dhe metodat e testit për përcaktimin e cilësive të fibrave single-mode dhe kablllove
G.652 (06/05)	Karakteristikat e fibrave optike single-mode dhe kablllove
G.653 (12/06)	Karakteristikat e zhvendosjes së dispersionit të fibrave optike single-mode dhe kablllove.
G.654 (12/06)	Karakteristikat e zhvendosjes cut-off të fibrave optike single-mode dhe kablllove
G.655 (03/06)	Karakteristikat e zhvendosjes non-zero të dispersionit të fibrave optike single-mode dhe kablllove.
G.656 (12/06)	Karakteristikat e fibrave optike single-mode dhe kablllove me non-zero dispersion për transportin me brezë të gjerë optikë.
G.657 (12/06)	Karakteristikat e humbjeve insensitive të lakimeve të fibrave optike single-mode dhe kablllove për qasje në rrjetë

Tabela 3: Standardet për fibrat single-mode.

Pra, siç e përmenda edhe më sipër, fibrat *single-mode* përdoren posaçërisht për distanca të gjata e me kapacitete të larta. Momentalisht, sistemet komerciale të telekomunikacionit transmetojnë të dhëna për kanale në distanca të gjata me dhjetëra e qindra kilometra në 10 Gbit/s ose 40 Gbit/s, por që nga viti 2013 është arritur të zhvillohet edhe sistemi që transmeton 100 Gbit/s. Tani kemi edhe sisteme të së ardhmes, që realizojnë transmetimin e të dhënave me një shkallë akoma më të lartë të të dhënave për çdo kanal transmetues në 160 Gbit/s, 400 Gbit/s (www.rp-photonics.com), e bëhen eksperimente edhe për sisteme transmetuese 640 Gbit/s.

Teknologjia e cila e mundëson transmetimin e kapaciteteve të larta me shumë kanale dhe me një ndarje shumë të vogël të gjatësive të ndryshme valore përgjatë një fibre optike quhet multipleksimi me ndarje të gjatësive valore, *wavelength division multiplexing* (WDM), për të cilën do të flas më gjerësisht më poshtë. Shkalla e të dhënave të transmetuara arrin të transmetojë njëkohësisht në një kanal me miliona thirrje telefonike, që i bie disa terabit për sekondë (Tbit/s), dhe si rezultat kemi edhe kosto më të ulët të transmetimit për bit. E për

kapacitete më të larta sipas nevojës, dhe për shkak të kufizimeve fizike të fibrave optike, mund të përdorim kablllo me shumë fibra të integruara. Të cilat kanë përparësi nga kabllot elektrike, sepse janë më pak të ndikueshme nga faktorët e ambientit dhe valët elektromagnetike, dhe gjithashtu janë më të lehtë.

Gjithashtu, humbjet në transmetimet me fibra optike *single-mode* për kilometër janë të vogla, dhe arrijnë përafërsisht 0.2 dB/km. E në këtë mënyrë nuk kanë nevojë për përforsim në transmetime disa dhjetëra kilometra, ndërsa për distanca shumë të gjata (mbi 80 km) përdoren pastaj edhe përforsuesit optikë sipas nevojës.

Komunikimet e fibrave optike *single-mode* përdorin si standard regjionin e gjatësive valore 1.3 μm ose 1.5 μm SMF-28, apo në versionin e zgjeruar SMF-29e, dhe kanë një diametër të bërthamës 8.2 μm e hapje numerike (numerical aperture) 0.14. Diametri i fushës modale është përafërsisht 9.2 μm në gjatësinë valore 1310 nm, ose 10.4 μm në gjatësinë valore 1550 nm. Ndërsa single-mode cut-off është përafërsisht 1260 nm. (R. Paschotta, tutorial on "Passive Fiber Optics", Part 3: Single-mode Fibers).

Nuk duhet harruar fakti se në vitet e fundit kapaciteti i transmetimit me fibra optike është rritur shumë; më shumë sesa shpejtësia dhe kapaciteti i ruajtjes (storage) të pajisjeve apo sistemeve kompjuterike. Pra, fibrat optike ofrojnë mundësi të kapacitetit dhe shpejtësisë së transmetimit shumë më të lartë sesa pajisjet komutuese dhe ruajtëse të rrjetit të sistemeve të shfrytëzimit.

2.3.4. Fibrat multi-mode

Fibrat *multi-mode* kanë gjithashtu një përdorim të madh. Fibrat optike *multi-mode* mbështesin transmetimin e disa valëve të drejtuara në një frekuencë dhe polarizim të caktuar optik. Këto valë të drejtuara janë të përcaktuara nga profili i gjatësive valore dhe indeksi i thyerjes.

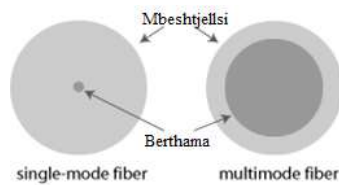


Figura 14: Fibrat single-mode dhe multi-mode

Një fibër optike *single-mode* ka një bërthamë shumë më të vogël sesa mbështjellësi, ndërsa fibra *multi-mode* ka një bërthamë më të madhe.

Edhe ky lloj i fibrës përbëhet zakonisht nga bërthama me diametër 50 μm , 62.5 μm deri 100 μm , dhe nga mbështjellësi e tij me diametër 125 μm , por edhe në diametër më të madh nëse paraqitet nevoja (sidomos gjatë aplikimit të burimit të dritës nga lazerët me fuqi të lartë në stacionet e procesimit dhe montimit të materialeve në industri nga robotët, 200, 400, 600, 800 μm) (R. Paschotta, tutorial on "Passive Fiber Optics", Part 4: Multimode Fibers). Në këtë rast përdoret një burim i dritës nga diodat LED, nga ku valët e dritës shpërndahen në shumë rrugë dhe që kanë mundësi të bartin shumë sinjale të dritës në frekuenca të ndryshme dhe në kohë të njëjtë. Lansimi i dritës në fibrat *multi-mode* është më i lehtë sesa tek fibrat *single-mode*, sepse ka tolerancë dhe hapësirë më të madhe për shkak të diametrit më të madh të bërthamës. Transmetimi i rrezeve të dritës në fibrat *multi-mode* është më kritik sesa te fibrat *single-mode*, ngaqë te fibrat *multi-mode* kemi thyerje më të mëdha dhe më të shpeshta të rrezeve të dritës; prandaj këto rreze të dritës kalojnë secila në një rrugë të veçantë, dhe, si rezultat, kur arrijnë në marrës kanë dallim edhe në aspektin kohor. Duke u nisur nga ajo që përmenda më parë, rrezet e dritës në raste të tilla gjatë goditjes së mbështjellësit e kanë këndin e thyerjes më të madhe sesa ai i lejuar, e ato edhe mund të humbin. Fibrat *multi-mode* e kanë hapjen numerike më të lartë, p.sh., 0.2 – 0.3 (R. Paschotta, tutorial on "Passive Fiber Optics", Part 4: Multimode Fibers), por që më vonë, gjatë transmetimit, shkakton humbje më të mëdha

të përhapjes së rrezeve të dritës. Profili i indeksit të thyerjes është drejtkëndësh (fibrat me step index), por nganjëherë edhe parabolik. Këto lloje fibrash mbështesin transmetimin e qindra modeleve të valëve të orientuara (që do t'i sqaroj më gjerësisht gjatë trajtimit të efekteve të humbjes dhe të dobësimit të sinjaleve në fibrat optike). Në përgjithësi, fibrat *multi-mode* përdoren për distanca të shkurta transmetuese në komunikimet me fibra optike, sepse ato pranojnë dritën e LED diodave dhe të pajisjeve tjera konektuese, e që janë me pak komplekse e më të lira. Mirëpo transmetimi në distanca të gjata është i kufizuar nga paraqitja e efekteve intermodale, siç është dispersioni intermodal; pastaj përhapja e valëve bëhet me shpejtësi të ndryshme, nga ku impulset ultra të shkurtra mund të ndahen në disa, kështu që ato nuk mund të arrijnë tek marrësi në të njëjtën kohë, pra, shkaktohen vonesa në kohë.

Por ekzistojnë standarde nga ISO-ja, siç janë OM1, OM2 dhe OM3, të cilat përcaktojnë sasinë e mbetur (të tepërt) të dispersionit intermodal, kufizimin e gjatësisë valore të transmetimit (apo prodhimin distancë * gjatësi valore). Performanca më e lartë është arritur në standardin e përcaktuar OM3 50/125 µm, me fibrat me lazer të optimizuar, ku u arrit një precizitet i kontrolluar i indeksit të thyerjes. Transmetuesi i të dhënave në këtë rast përmban një lazer emetues me sipërfaqe të zgavrës vertikale VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) prej 850 nm (Standards of the International Telecommunication Union (ITU), <http://www.itu.int/>)

2.3.5. Standardet e ITU-së për fibrat optikë multi-mode

ITU (The International Telecommunications Union) ka zhvilluar disa standarde për lloje të ndryshme të fibrave që përdoren në komunikimet me fibra optike. Disa standarde më kryesore për fibrat *multi-mode* i kam paraqitur në tabelën 5 më poshtë:

Emri	Titulli
G.651 (02/98)	Karakteristikat e kabllit të fibrit optikë multi-mode graded index 50/125 µm.
G.651.1 (07/07)	Karakteristikat e kabllit të fibrit optikë multi-mode graded index 50/125 µm për qasje në rrjetin optikë.

Tabela 4. Standardet e fibrave multi-mode sipas ITU-së

2.4. Sinjali optik (drita)

Dihet që njerëzit qysh nga kohët e lashta kanë bërë përpjekje për t'i përdorur burimet e dritës si bartëse të informacionit.

Në fushën e optikës, Ibn Sahl-i (940-1000), një matematikan dhe fizikan i lidhur me oborrin e Bagdadit.

Ai shkroi traktatin “*Mbi Pasqyrat dhe Thjerrëzat që Djegin*” në vitin 984, në të cilin paraqiti të kuptuarit e tij se si pasqyrat dhe thjerrëzat e lakuara përkulin dhe fokusojnë dritën. Ibn Sahl-i tani konsiderohet si zbuluesi i parë i ligjit të përrhyerjes, zakonisht i quajtur ligji i Snellit, sipas fizikanit holandez Willebrord Snellius (1580-1626) (K. B. Wolf, "Geometry and dynamics in refracting systems", *European Journal of Physics* **16**, fq. 14-20, 1995) (R. Rashed, "A pioneer in anaclastics: Ibn Sahl on burning mirrors and lenses", f. 464–491, 1990).

Ibn al-Haytham [Alhacen] (965-1039), babai i optikës dhe pionieri i metodës shkencore; në librin e tij, *Libri i Optikës*, zhvilloi një teori të gjerë të dritës dhe optikës.

Ai e kuptoi se drita udhëtonte me një shpejtësi të madhe, por të kufizuar, dhe se përrhyerja shkaktohej nga shpejtësia e ndryshme në substanca të ndryshme. Kjo teori është e kundërt nga ajo e Platonit mbi pamjen e objekteve, se objektet shihen nga rrezet që emetohen nga syri. Alhacen-i pohoi se rrezet e dritës janë rrjedhë të pjesës së minutës, që kanë udhëtuar me shpejtësinë e fundme (Sabra, A. I.; Hogendijk, J. P. *The Enterprise of Science in Islam: New Perspectives*. MIT Press. f. 85–118) (H. Salih, M. Al-Amri, M. El Gomati, 2005). "The Miracle of Light", *A World of Science* **3** (3). UNESCO).

Ai i përmirësoi përshkrimet e atëhershme të përrhyerjes së dritës dhe zbuloi ligjet e përrhyerjes. Ai gjithashtu realizoi eksperimentet e para mbi shpërndarjen e dritës në ngjyrat e saj përbërëse.

Robert S. Elliot shkroi mbi Ibn al-Haytham-in (Alhacen):

"Alhazen-i ishte njëri nga studentët më të aftë të optikës në të gjitha kohërat dhe botoi shtatë volume traktatesh mbi këtë temë, që kishin famë të madhe në Mesjetë dhe patën ndikim të madh në mendimin perëndimor; ato dukshëm patën ndikim mbi fizikantët Roger Bacon dhe Johannes Kepler (R. S. Elliott, 1966, *Electromagnetism*, Chapter 1. McGraw-Hill)

Ibn Sina-i (980-1037) u pajtua se shpejtësia e dritës është e kufizuar.

Ai pohoi se " nëse perceptimi i dritës është shkak i emetimit të disa pjesëve të caktuara të burimit të shëndritshëm, shpejtësia e dritës duhet të jetë e kufizuar".
Ebū Rayhān el-Bīrūnī (973-1048) gjithashtu u pajtua se drita ka shpejtësi të caktuar, dhe ai ishte

i pari që zbuloi se shpejtësia e dritës është shumë më e madhe se shpejtësia e zërit (George Sarton, Introduction to the History of Science, Vol. 1, f. 710).

Më vonë, përpjekja e parë për përdorimin e telegrafit optik u realizua nga francezi Claude Chape më 1794 (W. Scheel, 2002). Gjithashtu, në vitin 1832 u realizua telegrafi optik në një linjë ajrore 600 km në trasenë Berlin-Magdeburg-Köln-Koblenz (W. Scheel, 2002); që në kushte të mira atmosferike kishte mundësi të transmetonte informacione në linjën me gjatësi 600 kilometra në një kohë prej 30 minutash. Natyrisht që në atë kohë shpejtësia e përpunimit dhe e bartjes së informacionit ishte shumë e ngadaltë. Deri në vitin 1960 nuk kishte ndonjë zhvillim të dukshëm në fushën e transmetimeve optike, por me zbulimin dhe zhvillimin e lazerit lindi përsëri ideja që të zhvillohet fusha e transmetimit e bazuar në teknikën e optikës. Ashtu siç edhe e kam cekur më sipër, teknologjia e prodhimit të fibrave optike, e transmetuesve optikë si lazeri, diodat LED, marrësit optikë me përbërje nga materialet gjysmëpërçuese, si fotodiodat dhe transistorët me kualitet gjithnjë e më të mirë transmetimi, u zhvilluan me të madhe nga vitet 1970. Kjo ndikoi edhe në përmirësimin e sistemeve të transmetuesve optikë, që u bënë gjithnjë e më atraktive dhe më kualitative për shkak të kapaciteteve dhe shpejtësisë në bartjen e sinjaleve.

2.4.1. Burimet e dritës (sinjalet optike)

Ndër elementet kryesore të çdo sistemi të fibrave optike janë burimet e dritës, me ndihmën e të cilëve bëhet e mundur që sinjali korrespondues i transmetimit të injektohet në fibrën optike. Ekzistojnë dy lloje të emetuesve të dritës që kanë gjetur zbatim të gjerë në sistemin e fibrave optike: ato janë diodat lazer dhe diodat LED. Këto janë shumë të rëndësishme sa i përket kualitetit dhe shpejtësisë së bartjes së sinjalit, si dhe kostos, pasi këto komponentë (sidomos lazerët) shpeshherë ndikojnë në rritjen e kostos së sistemit me fibra optike. Të gjithë

emetuesit e dritës janë nga materialet gjysmëpërçuese komplekse, të cilat e bëjnë konvertimin e sinjalit nga ai elektrik në atë optik. Të dy llojet e diodave transmetuese në parim bazohen në principin e njëjtë të funksionimit. Pra, duke u bazuar në principet e funksionimit të diodës dhe transistorit, ku shtresa që i karakterizon këto pajisje përbëhet nga shtresat gjysmëpërçuese p dhe n, domethënë, nga shtresat me ngarkesa pozitive dhe negative. Materialet që përdoren për këto komponentë të grupit të IV në sistemin periodik janë silici (Si) dhe germaniumi (Ge), mirëpo që do të dopohen me elementet e grupit të III (Al, Ga, In) dhe grupit të V (P, As) në sistemin periodik (D. R. Goff, 1999: f. 55-56). Elemente që në strukturën e tyre atomike kanë efekte gjysmëpërçuese, ngase në shtresën e tyre të jashtme kanë elektrone që me një ngacmim jo shumë të madh kanë mundësi të shkëputen nga atomi amë (Nexhat Orana, 1994).

Nga elektronika e dimë se kur bashkojmë dy shtresa me ngarkesa të ndryshme, ato formojnë një regjion bashkimi, dhe ngarkesat pozitive (protonet) e ato negative (elektronet) lëvizin në drejtime të kundërta, derisa ta plotësojnë njëra-tjetrën, pra, derisa të arrihet një baraspeshim në mes dy shtresave. Ky pozicionim i ngarkesave ka një potencial të grumbulluar, dhe nëse bëjmë ngacmimin me një energji të jashtme, do të vijë përsëri deri te vënia në lëvizje e këtyre ngarkesave të grumbulluara, të cilat kanë një potencial të brendshëm, që është i mjaftueshëm për të lejuar kalimin e rrymës në kalimin p-n. Pra, do të shkaktohet humbja e baraspeshës së ngarkesave, dhe përsëri do të kemi lëvizje të ngarkesave nga njëra shtresë në tjetrën. Gjatë kësaj procedure të shkëmbimit të ngarkesave, elektronet e humbin një pjesë të energjisë, një humbje që varet nga vetitë e materialeve të ndryshme gjysmëpërçuese. Kjo energji quhet *bandgap energy*; energji që realizohet në formë të dritës (photone), e cila ka një gjatësi valore që varet nga formula e mëposhtme e *bandgap energy* (D. R. Goff, 1999: f. 55-56):

$$E_g = hc/\lambda \quad (2)$$

λ = gjatësia valore e fotoneve (nm)

E_g = Energy gap (eV)

h = konstantja e plankut = 6.6256×10^{-34} J s

c = Shpejtësia e dritës në vakum = 2.99793×10^8 m/s $\sim (3 \times 10^8$ m/s)

Ia vlen të kujtoj disa nga karakteristikat që kanë të bëjnë me performancën e dritës së emetuar nga burimet e dritës, si dioda LED dhe ajo lazer, siç janë: piku i gjatësisë valore me të cilën ka të bëjë fuqia e burimit të dritës së emetuar me humbje sa më të vogla përgjatë transmetimit në fibrat optike, dhe e cila në përgjithësi arrin pikun e gjatësisë valore në 780 nm, 850 nm, 1310 nm, 1550 nm, dhe 1625 nm (D.R. Goff, 1999: f.56). Pastaj injektimi i dritës së emetuar në fibrën optike duhet të jetë sa më i plotë, pra pajisja emetuese duhet të ketë diametrin e njëjtë me atë të fibrës optike, në mënyrë që të mos kemi humbje të dritës nga burimet e dritës së injektuar në fibrat optike. Me rëndësi është edhe gjerësia spektrale, e cila në praktikë është e vështirë që të realizohet, për shkak se jo çdo herë drita e emetuar nga burimet e dritës do të arrijë pikun e gjatësisë valore. Pra, fuqia e burimit të dritës duhet të jetë sa më e madhe që të jetë e mundur (brenda standardeve të lejuara), në mënyrë që sinjali të ketë fuqinë e nevojshme për t'u detektuar nga marrësi. Ndër faktorët me rëndësi është edhe shpejtësia me të cilën arrin sinjali nga transmetuesi tek marrësi. Këtu duhet të theksojmë se burimet e dritës me lazer janë më të shpejta se burimi i dritës me LED.

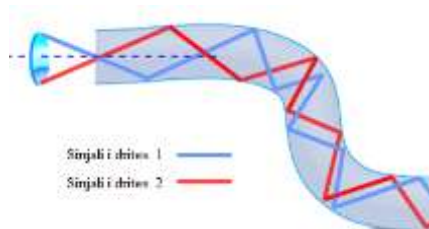


Figura 15. Sinjalet e dritës në një fibër

2.4.2. Diodat LED

Dioda LED (Light-emitting diode) është një pajisje gjysmëpërçuese optoelektronike, e cila gjeneron dritë nga elektroluminesenca,⁶ dhe përbëhet nga një bashkim i dy shtresave $p - n$ që kanë ngarkesa të kundërta, e nëpër të cilat shtresa kalon rrymë. Aplikimi i potencialit pozitiv do të bëjë “presion” në elektronet e materialit të tipit n dhe në vrimat e tipit p që të rikombinohen me jonet afër kufirit dhe të zvogëlojnë gjerësinë e regjionit të varfërimit. Në zonën e bashkimit, në mes të dy ngarkesave negative (n) dhe pozitive (p) kryhet një proces që është fundamental për procesin e gjenerimit të dritës; rryma gjeneron vrima dhe elektrone të cilat e lirojnë një pjesë të energjisë tyre si fotone kur ato rikombinohen në mes vedit. Pra, kështu funksionon procesi i gjenerimit të një diode LED.

Figura dhe simboli i diodës paraqitet si në figurën e mëposhtme.

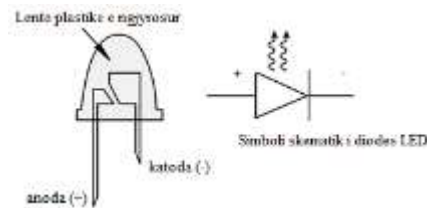


Figura 16. Simboli i diodës LED

Dioda është elementi më i thjeshtë gjysmëpërcjellës, por luan një rol shumë të rëndësishëm në sistemet elektronike dhe optike. Shumica e diodave LED prodhohen nga materialet inorganike gjysmëpërçuese. Ndër materialet gjysmëpërçuese bazë të prodhimit të diodave janë Ge (Germaniumi) dhe Si (Silici). Por ka edhe materiale të tjera dhe kombinime të ndryshme që realizojnë fuqi, ngjyra dhe efekte të ndryshme me gjatësi të ndryshme valore,

⁶ Luminescenca prodhon elektricitet, veçanërisht në një lëndë fosfori nga zbatimi i një tension.

si në tabelën 5 më poshtë (E. Kioupakis *et al.*, Appl. Phys. Lett. 98 (16) :2011).

Si qendra e gjatësisë valore, ashtu edhe ngjyra e emetimit të një LED-i determinohen nga energjia bandgap (boshllëqet e brezit) e materialeve gjysmëpërçuese të përdorura.

<i>Materiali</i>	<i>Gjatësitë valore tipike të emetimeve</i>
<i>InGaN / GaN, ZnS</i>	450–530 nm
<i>GaP,N</i>	565 nm
<i>AlInGaP</i>	590–620 nm
<i>GaAsP, GaAsP,N</i>	610–650 nm
<i>InGaP</i>	660–680 nm
<i>AlGaAs, GaAs</i>	680–860 nm
<i>InGaAsP</i>	1000–1700 nm

Tabela 5: Materialet tipike gjysmëpërçuese dhe gjatësitë valore të diodave LED.

Jetëgjatësia e diodave LED shkon në dhjetëra mijëra orë qëndrueshmëri, mirëpo ajo varet edhe nga disa faktorë, siç është tensioni, rryma, temperatura, ambienti i ndryshëm i përdorimit, etj (N. Zheludev, “The life and times of the LED – a 100-year history”, Nature Photon. 1 (4), 189 :2007).

Diodat LED janë më të lira. Fuqia e prodhimit të një diode LED mund të modulohet shumë shpejt; është i mundur modulimi i frekuencave prej qindra MHz qëkurse jetëgjatësia e mbartëses është vetëm disa nanosekonda. Kjo veti është shumë e përdorshme në transmetimet e komunikimeve me fibra optike (fibrat multi-mode).

Diodat LED kanë një përdorim mjaft të gjerë gjithandej, operojnë në një rrymë nga 5 deri 20 mA dhe përdorin ngjyra të ndryshme.

2.4.3. Diodat lazer

“Laser” është shkurtesa (akronimi) për “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, i shpikur nga Gordon Gould më 1957, i cili e demonstroi stimulimin e

rrezatimeve nga atomet dhe jonet e eksituara (R. E. Slusher, “Laser technology”, Rev. Mod. Phys. 71, S471 :1999).

Pajisja e parë lazer u demonstrua nga hulumtuesi Theodore Maiman në vitin 1960. Në të njëjtin vit u realizua edhe lazeri me gaz (helium–neon laser) dhe dioda e parë lazer. Para kësaj, disa publikime teorike rreth operimit dhe principeve të funksionimit të lazerave dhe përforcimit të mikrovalëve u bënë publike nga hulumtuesit Arthur Schawlow, Charles Hard Townes, Nikolay Basov dhe Alexander Prokhorov më 1953, të njohur si maser “optical maser” (MASER = microwave amplification by stimulated amplification of radiation), por më vonë u përdor emërtimi vetëm si “lazer” (F. Träger (ed.), 2007).

Diodat lazer janë lazer gjysmëpërçues të pompuar në mënyrë elektrike, me ç’rast gjenerohet *gain* (një masë e fuqisë së përforcimit optik) nga rrjedhja e rrymës nëpër një bashkim të materialeve me dy struktura të shtresës aktive p – n, por më shpesh përdoret struktura me shtresa p – i – n.

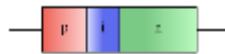


Figura 17. Skema e një diode lazer p-i-n

Në këto struktura heterogjene, elektronet dhe vrimat rikombinohen duke liruar pjesë të energjisë si fotone. Ky proces mund të jetë spontan, por edhe i stimuluar nga fotonet incidente, që na çojnë në një efekt të përforcimit optik dhe bëjnë të shkaktohet një reagim optik në një rezonator lazerik në lëkundje (oscilim) lazerike (R. E. Slusher, “Laser technology”, Rev. Mod. Phys. 1999:f.471). Regjioni aktiv i lazerit është regjioni i (instruct), dhe mbartësit e ngarkesave pozitive dhe negative pompohen nga regjionet p dhe n. Qëllimi i diodës lazer është që të bëjë kombinimin e të gjithë mbartësve që gjenden në regjionin i dhe të prodhojë dritë nga ky kombinim.

Struktura e ndërtimit të një diode lazer, sikurse shihet në figurën 18, përbëhet nga një strukturë epitaksiale (epitaxial), e cila rritet duke përdorur teknika të rritjes (zmadhimit) të kristaleve duke filluar nga një nënshtresë N e dopuar (stimuluar), rritja e shtresës së dopuar

aktive I, nga veshja e dopuar P dhe një shtresë kontakti (nga metali). Shtresa aktive përbëhet nga burimet kuantike, të cilat e kanë nivelin e pragut të rrymës të ulët dhe efikasitetin e lartë (J. V. Moloney *et al.*, “Quantum design of semiconductor active materials: laser and amplifier applications”, *Laser & Photon. Rev.* 1 (1), 24 :2007).

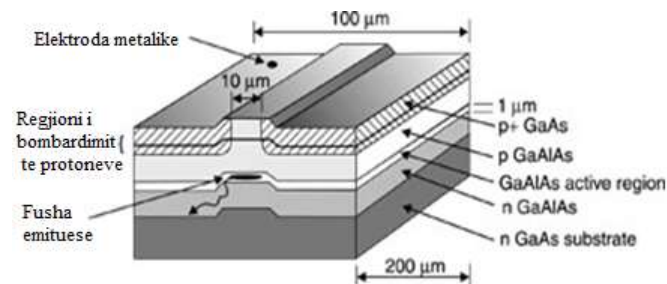


Fig.18. Struktura e diodës lazer (www.pe2bz.philpem.me.uk)

Dioda e parë lazer nga materiali i elementeve GaAs (Gallium Arsenid) është realizuar nga shkencëtari Nick Holonyak në vitin 1962 (*After Glow. Illinois Alumni Magazine. May–June 2007*).



Figure 19. Skema e emetimit të një diode lazer

Ekzistojnë shumë lloje të ndryshme të diodave lazer, varësisht nga nevoja e përdorimit dhe fuqisë. Diodat lazer operojnë në regjime të ndryshme në prodhimin e fuqisë optike, gjatësive të valëve, gjerësisë së brezit dhe vetive të tjera. Diodat lazer gjenerojnë një fuqi që shkon nga disa miliwat (mW) deri në 0.5 Wat, në një rreze me kualitet të lartë mund të përdoren si në hapësirën e hapur ashtu edhe në ambiente të integruara, siç është rasti me fibrat *single-mode*. Përdoren edhe si burime të pompimit për fibrat me lazer dhe përforcuesit e fibrave optike.

Gjatësitë valore të një diode lazer janë të përcaktuara nga *bandgap*-i (hapësirë - boshllëk i brezit) i materialit aktiv gjysmëpërçues të lazerit, ku energjia e fotoneve është e afërt me energjinë bandgap; në disa lazer është e rëndësishme edhe trashësia e burimit të kuantëve të regjioni aktiv.

Duke përdorur materiale të ndryshme gjysmëpërçuese dhe kombinimin në mes tyre për prodhimin e diodave lazer është e mundur që të mbulohet një regjion i gjerë spektral, si në tabelën 6 (J. V. Moloney *et al.*, “Quantum design of semiconductor active materials: laser and amplifier applications”, Laser & Photon. Rev. 1 (1), 24 :2007). Në këtë tabelë pasqyrohet diapazoni i gjerë i përdorimit të sistemit të materialeve të diodave lazer në fushat e ndryshme, varësisht nga lloji dhe nevoja e përdorimit.

Materiali i Laser diodës (regjioni aktivë/nënshtresa)	Gjatësitë valore tipike të emetimit	Aplikimet tipike
InGaN / GaN, SiC	380, 405, 450, 470 nm	Ruajtja e të dhënave
AlGaInP / GaAs	635, 650, 670 nm	laser pointers, DVD players
AlGaAs / GaAs	720–850 nm	CD players, laser printer, pumping solid-state lasers
InGaAs / GaAs	900–1100 nm	Pompimi i EDFAs dhe tipet e tjera të përforcuesve; high-power VECSELS
InGaAsP / InP	1000–1650 nm	Komunikimet me fibra optike

Tabela 6: Emetimi në disa gjatësi valore për disa lloje të përbashkëta të diodave lazer.

Shumica e diodave lazer emetojnë rreze në një gjerësi brezi prej disa nanometra. Emetojnë rreze afër regjionit të spektrit infrared, por disa mund të emetojnë edhe në regjionin e spektrit të dukshëm (në mënyrë të veçantë në atë të kaltër dhe të kuq). Diapazoni i përdorimit të diodave lazer, siç edhe shihet nga tabela e mësipërme, është shumë i gjerë, duke filluar nga ruajtja e të dhënave e deri tek komunikimet me fibra optike, matjet në distancë, etj.

Temperatura është një faktor që ndikon në shpërndarjen e popullimit termal të valencës dhe në brezin e përçueshmërisë. Emetimi në gjatësitë valore të diodave lazer *multi-mode* është më i ndjeshëm nga temperatura (me një rritje prej ≈ 0.3 nm për 1 K), dhe kjo rezulton në një varësi për arritjen e *gain*-it maksimal. Ndërsa diodat *single-mode* kanë një ndikim më të ulët të koeficientit të temperaturës nga emetimi i gjatësive valore, për shkak të veprimit më të ulët të reagimit të frekuencave rezonuese të ndryshimit të temperaturës nga reagimi i frekuencave rezonuese që ndodhin me *gain*-in optik. Si pasojë, rrjedhin edhe veti të tjera, siç është rasti që diodat lazer janë të ndikuara edhe nga zhurmat, si:

intensity noise (zhurma e intensitetit), *shot noise* (me amplitudë të shtypur), *phase noise* (veti e korrelimit) (W. W. Chow and S. W. Koch, 1999) (L. A. Coldren and S. W. Corzine, 1995)

Jetëgjatësia e diodave lazer shkon në dhjetëra mijëra orë qëndrueshmëri, mirëpo ajo varet edhe nga disa faktorë, siç janë, tensioni, rryma, temperatura, ambienti i ndryshëm i përdorimit.

2.4.4. Marrësit - detektorët e dritës

Marrësit, apo siç do t'i hasim shpesh në literaturë edhe si detektorë, kanë funksion të kundërt me emetuesit e dritës që i shtjellova më sipër. Detektorët luajnë një funksion shumë të rëndësishëm dhe të ndjeshëm në sistemin e komunikimit me fibra optike; arsyeja kryesore është se jo vetëm që është e rëndësishme të marrim një sinjal, por ai duhet edhe të jetë i kuptueshëm nga detektorët, në mënyrë që të jetë i mundur kuptimi i përmbajtjes së tij. Për funksionimin e emetuesve, e përmenda se ato bëjnë konvertimin e sinjalit elektrik në sinjal optik; nga kjo nënkuptojmë se detektorët i konvertojnë sinjalet optike në ato elektrike. Pra, me sinjal kuptojmë përmbajtjen e informacionit i cili transmetohet nga dërguesi tek marrësi.

Me të drejtë mund të pyesim se cilat janë ato elemente që po e bëjnë të mundur detektimin e sinjalit, apo si quhen ato? Shumica e detektorëve janë të prodhuar nga materialet gjysmëpërçuese, e këto lloje detektorësh i quajmë fotodioda; zakonisht përdoren fotodiodat PIN (Positive, Intrinsic, Negative) dhe fotodiodat APD (avalanche photodiode), që quhen fotodetektorë, pasi përdoren në sistemin e fibrave optike. Tek emetuesit e sqarova funksionimin e tyre, ku energjia e emetuar në formën e dritës emetohej duke u bazuar në rikombinimin e çifteve elektron-vrimë. Tek fotodioda ndodh pikërisht fenomeni i kundërt (D. R. Goff, 1999 : fq.75-78), pra, tani fotonet e dritës absorbohen në fotodiodë, dhe si rezultat shkaktohet eksitimi (ngacmimi) i elektroneve në principin e veprimit në mes shtresave p-n, dhe nga kjo arrihet të formohen çiftet elektron-vrimë. Pra, fotodioda na ka krijuar në këtë rast rrymën.

Për të plotësuar kushtin e marrjes së sinjalit kualitativ, fotodetektorët cilësohen në bazë të veçorive apo parametrave, dhe ndër më kryesorët janë (D. R. Goff, 1999 : f.75-78):

- *Responsivity*, që ka të bëjë me sensitivitetin e fotodetektorit. Sa më sensitiv (i ndjeshëm) të jetë një fotodetektor, aq më i lartë do të jetë kualiteti i sinjalit në marrës.

- *Quantum Efficiency* (efikasiteti kuantik) ka të bëjë me raportin e çiftit elektron-vrimë të krijuar nga eksitimi i fotoneve në materialin e diodës; për shembull, një efikasitet kuantik 100% do të nënkuptonte se çdo foton i absorbuar do të realizonte një çift elektron-vrimë pa asnjë humbje. Mirëpo, në realitet, në 100 fotone do të realizohen 30 deri 95 çifte elektron-vrimë (G. Keiser, 2011: (f.152-194), nga ku mund të themi se efikasiteti kuantik arrin në rangun nga 30 % deri 95%. Varësisht nga shtresa e barrierës (*depletion layer*) do të kishim mundësi të rritet efikasiteti kuantik duke e marrë një shtresë më të trashë, por pastaj do të kishim një sensitivitet më të ulët (G. Keiser, 2011: (f.152-194), pra, nga sa thamë më sipër,

duhet që çdoherë të gjejmë një kompromis mes shpejtësisë së ndjeshmërisë dhe efikasiteti kuantik.

2.4.5. Fotodiodat *pin*

Pra, siç e përmenda edhe më parë, fotodiodat *pin* përbëjnë numrin më të madh të fotodetektorëve gjysmëpërçues, dhe përbëhen nga shtresat p-i-n. Në mënyrë skematike do t'i paraqesim si në figurën e mëposhtme. Duke iu referuar shtresave të përmendura më lart, shihet se këto pajisje përbëhen nga shtresat p dhe n, të cilat janë të ndara nga një regjion gjysmëpërçues shumë i pastër I - intrinsic (i brendshëm). Siç shihet edhe në figurë, shtresat e jashtme n dhe p janë aq të vogla, pothuajse neglizhuese në krahasim me shtresën e regjionit të bashkimit, ku është koncentruar papastërtia e gjysmëpërçuesit në shtresën I. Diodat *pin* operojnë në tensionin prej 5 V, dhe janë prej fotodiodave shumë të shpejta në mikrometra (μm) në reagim; ato arrijnë deri në shkallën e reagimit në pikosekonda (V. Brückner, 2011). Fotodioda *pin* është e lidhur në të kundërt, pra shtresa p lidhet me polarizimin negativ (-) të burimit, ndërsa shtresa n lidhet me polarizimin pozitiv (+) të burimit, si në figurën e mëposhtme.

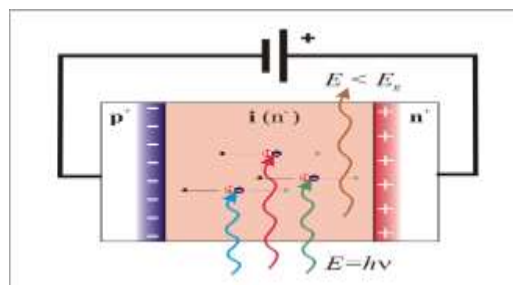


Figura 20. Skema e lidhjes të fotodiodës *pin* (www.iapp.de)

Funksionimi i fotodiodave *pin* bazohet në fluksin e fotoneve të absorbuara që do të bien në shtresën gjysmëpërçuese.

Ndërsa në figurën e mëposhtme kam paraqitur zonën e absorbimit dhe të shumëfishimit të ngarkesave të shtresave *pin*.

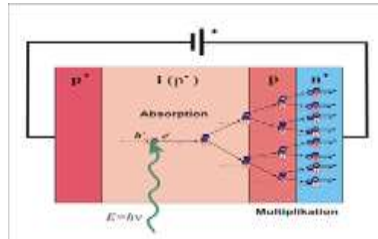


Figura 21. Paraqitja e funksionimit të procesit të ndryshimit të ngarkesave elektrike në një fotodiodë (<https://upload.wikimedia.org/>)

Nëse fotonet e dritës bien në shtresën *intrinsic*, elektronet do të shkëputen nga shtresa e tyre, dhe pas tyre do të lënë një vrimë. Elektronet do të lëvizin tani në drejtim të shtresës pozitive (anodës), ndërsa vrimat do të lëvizin në drejtim të shtresës negative (katodës), dhe kjo lëvizje apo rrjedhje e ngarkesave do të rritet varësisht nga fluksi i fotoneve që do të bien në shtresën *i*. Sa më i madh të jetë ky fluks i fotoneve (të dritës), aq më e madhe do të jetë edhe rrjedhja e rrymës.

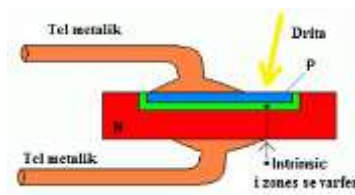


Figura 22. Fotodioda *pin* (www.reviseomatic-internet)

2.4.6. Fotodiodat ortek (*Avalanche photodiodes*)

Edhe këto lloje diodash janë shumë të rëndësishme në përdorimin e tyre si fotodetektorë. Edhe fotodetektorët ortek shfrytëzojnë efektin fotoelektrik për të bërë shndërrimin e dritës në energji elektrike, dhe operojnë në një tension të lartë të kundërt dhjetëra e qindra volt (deri në 300 V në kalimin *pn* nga materiali i Si) (V. Brückner, 2011). Edhe në këtë rast, penetrimi i fotoneve të dritës në shtresën e brendshme bën eksitimin e mbartësve, pra, ngarkesave

negative (elektroneve) dhe atyre pozitive (protoneve); në këtë shtresë (të brendshme) bëhet përshpejtimi i tyre në një fushë të lartë elektrike, kështu që do të gjenerohen mbartës sekondarë, sikurse ndodh tek shumëzuesit fotonikë. Pra, këto pajisje në fazën e parë bëjnë shumëzimin e sinjalit fotonik (photocurrent) (G. Keiser, 2011:f.249-275). Nga ky shumëzim i sinjalit në hyrje, para se sinjali të futet në qarkun e brendshëm me amplifikues, do të rritet ndjeshmëria e marrësit dhe do të shmanget takimi me zhurmën termale, e cila ndeshet në qarqet e brendshme të marrësve.

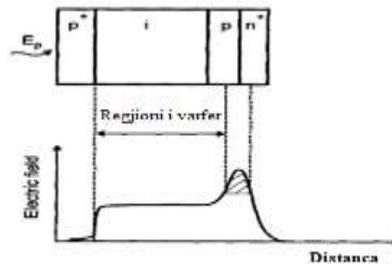


Figura 23. Fotodioda ortek ([wwwhttp://www.ni.com](http://www.ni.com))

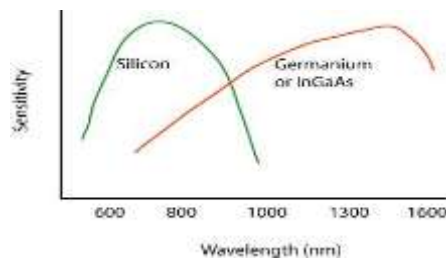


Figura 24. Krahassimi i gjatësive valore të Si dhe Ge (<http://www.thefoa.org/tech/ref/OSP/test.html>)

2.4.7. Zhurma e fotodetektorëve

Është një faktor tjetër me rëndësi që duhet të merret parasysh në sistemin e komunikimit me fibra optike. Dimë në përgjithësi (nga sa e kam sqaruar edhe më lart) se fotodiodat janë në gjendje të përdoren për të detektuar sinjale shumë të dobëta optike. Nga kjo kuptojmë që një fotodetektor dhe pajisjet e tjera amplifikuese duhet të jenë në gjendje të marrin sinjalin efektiv dhe të jenë në gjendje që këtë sinjal ta optimizojnë, e ta mirëmbajnë shkallën e raportit

sinjal/zhurme, pasi në sistemin e fibrave optike do të paraqitet edhe zhurma termale në qarqet amplifikuese. Që të kemi një sinjal efektiv të mbrojtur nga zhurmat, duhet që efikasiteti kuantik duhet të jetë i lartë, në mënyrë që të gjenerohet një sinjal me fuqi të lartë, si dhe zhurma e fotodetektorëve dhe e amplifikatorëve duhet të jetë sa më e vogël (G. Keiser, 2011: f.249-275).

2.4.8. Spektri i dritës dhe gjatësitë valore

Me spektër nënkuptojmë varësinë e intensitetit të dritës nga gjatësia valore λ , apo nga frekuenca f , të cilat janë të ndërlidhura me formulën:

$$f \lambda = c_0 \quad (3)$$

- c_0 është shpejtësia e dritës në vakum përafërsisht e barabartë me $c_0 = 3 \times 10^8$ m/s

Dihet që drita ngjason dhe karakterizohet sikurse radiovalët apo rrezatimi elektromagnetik, e si përbërës ka spektrin e dritës dhe energjinë apo impulset e dritës (V. Brückner, 2011). Spektri i dritës është karakteristikë shumë e rëndësishme për diodat lazer dhe LED. Unë do t'i paraqes disa informacione themelore të spektrit optik të diodave LED dhe lazer. Pra, siç po shohim në fig. 25, kemi një dallim thelbësor mes spektrit të dritës LED dhe atij lazer, ku spektri i diodave lazer është i përbërë nga HeNe (Helium, Neon), i cili emeton një linjë të vetme të sinjalit në 633nm (D. R. Goff, , 1999 : f.57), ka një spektër shumë më të ngushtë sesa diodat LED dhe ka një paraqitje në formë diskrete.

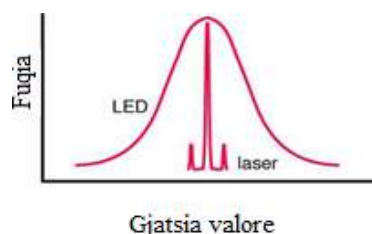


Figura 25. Spektri i gjatësisë valore të dritës LED dhe lazer (www.thefoa.org)

Në figurën e mëposhtme janë të paraqitura spektri i LED-it, FP lazer-it dhe DFB lazer-it në gjatësinë valore 1300 nm. Spektri i diodës lazer FP (Fabry Perot) përbëhet nga një numër i caktuar i linjave diskrete, të cilin e quajmë lazer multimodë, që nuk ka të bëjë aspak me fibrat multimodë, por lazeri emeton dritë në numër diskret të frekuencave në krahasim me DFB-në (Distributed feedback laser), që emeton vetëm një linjë diskrete. Lazerët multimodë janë të përshtatshëm të përdoren në fibrat multimodë, pasi janë më pak koherentë dhe prodhojnë kontrast më të ulët spektral (D. R. Goff, 1999 :f.57). Sikurse shihet edhe në figurë, lazerët DFB janë koherentë dhe emetojnë një frekuencë të vetme, si lazerët HeNe.

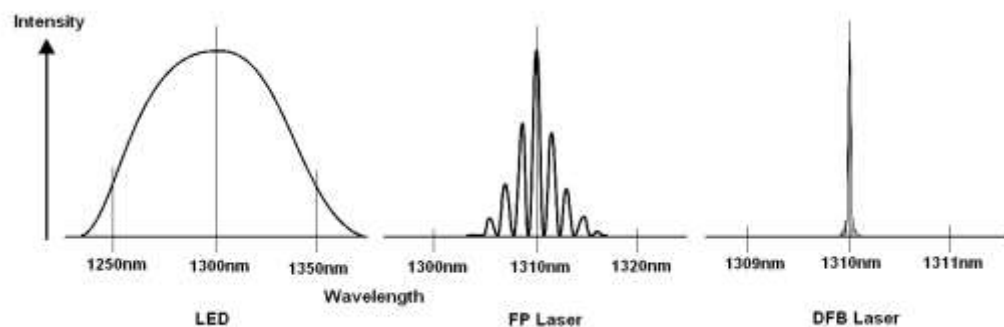


Figura 26. Shtrirja e spektrit të gjatësisë valore të dritës LED , FP lazer dhe DFB lazer (<http://osd.com.au>)

- *Spektri i rrezatimit elektromagnetik* është shumë i rëndësishëm në sistemet e telekomunikacionit të cilat përdorin energjinë magnetike për transmetimin e sinjaleve, siç paraqitet në figurën e mëposhtme. Nga vetë emri kuptojmë se kemi të bëjmë me një kombinim të dy fushave, pra, asaj magnetike dhe elektrike, që në vetvete përfshijnë: dritën e dukshme (vizuale), valët mikrovalore, fuqinë, dritën infra të kuqe (infrared), dritën ultraviolett, rrezet X, rrezet gama, ku secila ka apo ka zënë një brez të caktuar në spektrin elektromagnetik, si në figurën e mëposhtme.

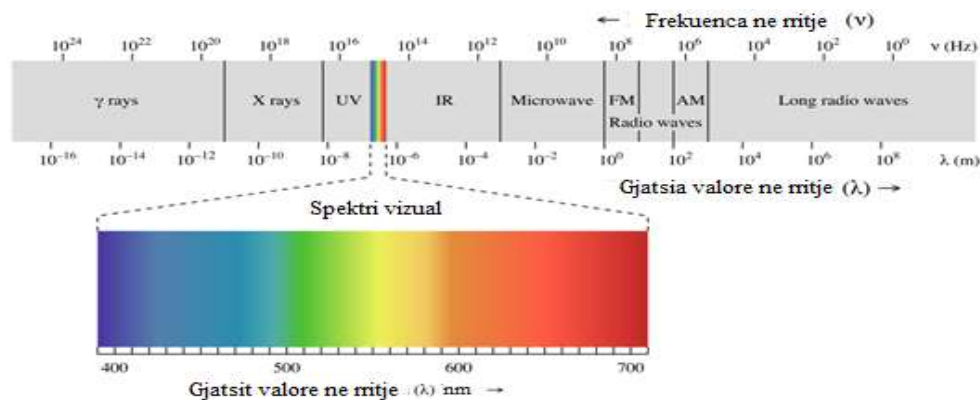


Figura 27. Spektri i rrezatimit elektromagnetik (<https://cipolla2481.files.wordpress.com>)

Me rëndësi është të vihet në dukje se këto spektre të rrezatimeve të valëve elektromagnetike të lartparaqitura kanë shpejtësinë e dritës (c), e cila është përafërsisht $c = 3 \times 10^8$ m/s. Ku transmetimet e sinjaleve elektrike përdorin frekuencën për të paraqitur brezin e operimit të sinjaleve, ndërsa komunikimet optike në përgjithësi përdorin gjatësinë valore për të paraqitur regjionin e veprimit spektral dhe energjinë e fotoneve, ose fuqinë optike kur kemi të bëjmë me fuqinë e sinjalit.

Ndërsa në figurën e mëposhtme (fig. 28) shihet qartë raporti mes gjatësisë valore, valëve të gjata dhe atyre të shkurtra, nga ku duket qartë që në pjesën e valëve të shkurtra kemi të bëjmë me frekuenca të larta, ndërsa në anën e djathtë kemi valët e gjata, që përkon me frekuenca më të ulëta. Nga kjo shohim se me rritjen e gjatësisë valore kemi zvogëlim të frekuencës, dhe anasjelltas, me rritjen e frekuencës kemi zvogëlim (shkurtim) të gjatësisë valore. Kjo do të na shërbejë për të kuptuar më lehtë raportin e këtyre dy parametrave të rëndësishëm që kanë të bëjnë me transmetimin e sinjaleve që kanë specifika të ndryshme valore dhe frekuencore në sistemet e fibrave optike.

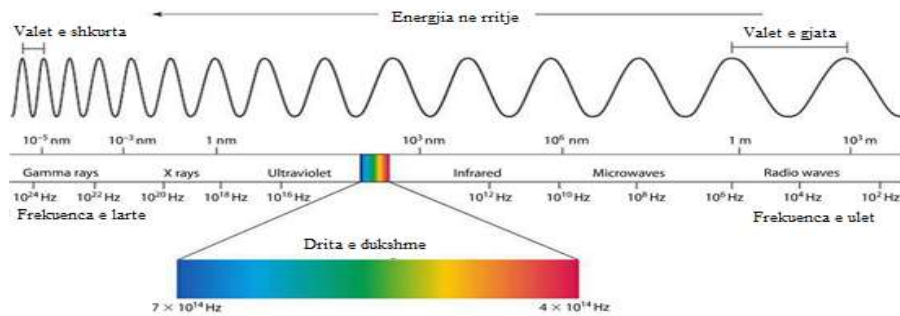


Figura 28. Spektri i dukshëm (vizual) i dritës që shihet nga syri (<http://9-4fordham.wikispaces.com>)

Brezi spektral i përdorur në komunikimin e fibrave optike ka të bëjë me përcaktimin e ndarjes së brezave të përdorur në sistemin e telekomunikacionit. Tabela e mëposhtme tregon se si ndahen regjionet e brezave frekuencore me shkronjat O, E, S, C, L dhe U. Më vonë do t'i përdorim shpesh këto breza, duke bërë përshkrimin operacional dhe performancat e aplikimet e fibrave optike dhe të komponentëve të tjerë përbërës.

Brezi	Përshkrimi	Rangu i gjatësisë valore
Brezi O	Original	1260–1360 nm
Brezi E	I zgjeruar	1360–1460 nm
Brezi S	Gjatësit valore te shkurta	1460–1530 nm
Brezi C	Konvencional (“erbium window”)	1530–1565 nm
Brezi L	Gjatësit valore të gjata	1565–1625 nm
Brezi U	Gjatësit valore ultra të gjata	1625–1675 nm

Tabela 7. Brezi spektral i përdorur në komunikimin e fibrave optike (G.Keiser, 2011: f.6-9)

2.5. Dispersioni

Gjatë transmetimit, duke përdorur një fuqi transmetuese (deri në 100 mW), dhe gjatë përdorimit të multipleksimit të kanaleve në WDM, ndodhin fenomene që shkaktojnë probleme. Si rezultat i multipleksimit të valëve, kemi një frekuencë të re të dritës, e cila ka mundësi të jetë pengesë për frekuencat e sinjaleve origjinale, p.sh., ai i paraqitjes së dispersionit, pra, paraqiten efekte jolineare të sinjaleve, që është vështirë të sqarohen me ligjet e sinjaleve optike jolineare.(D. Eberlein und 4 Mitautoren, 2006).

Duke u nisur nga ajo që sqarova më sipër, dhe duke u bazuar në standardet e ITU-së, ky efekt jolinear do të jetë i madh atëherë kur koeficienti i dispersionit kromatik është zero. Për këtë arsye, është gjetur një kompromis:

Në njërën anë duhet që koeficienti i dispersionit kromatik tek 1550 nm nuk duhet të jetë shumë i madh (sikurse përcaktohet tek standardi G.652), ndërsa, në anën tjetër, koeficienti i dispersionit kromatik nuk duhet të jetë as zero, (sikurse përcaktohet tek standardi G.653). Dhe ky kompromis është arritur duke përdorur NZDSF-në (Non-Zero Dispersion shifted Fiber optic) (D. Eberlein und 4 Mitautoren, 2006).

Nga figuën 29 shohim se dispersioni i fibrave standarde *single-mode* në gjatësinë valore 1.3 μm është zero, ndërsa në gjatësinë valore 1.5 μm është më i lartë. Për këtë arsye, përdorim dispersionin e zhvendosur non-zero (NZDSF) për të pasur edhe në gjatësinë valore 1.5 μm një dispersion zero.

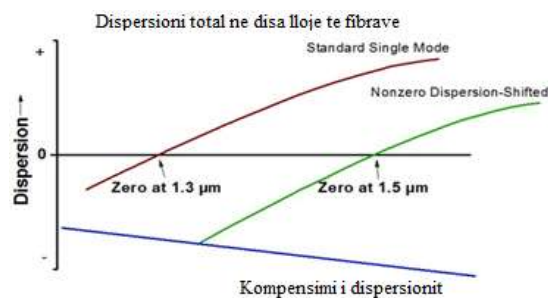


Figura 29. Kompensimi i dispersionit (<http://www.thorlabs.com>)

Pra, NZDSF-ja realizon kompromisin që e cekëm më sipër (shih fig. 30), pra, bën zhvendosjen e lakores së dispersionit në mënyrë rritëse apo zvogëluese, por nuk lejon që të bëhet sinjali zero, e as të arrijë vlerën maksimale jashtë gjatësisë valore të brezit C (C-Band), që është e specifikuar në normën e ITU-T G-655 për brezin e gjatësisë valore C nga 1530 nm - 1565 nm, që do të shkaktonte probleme jolineare të sinjalit të transmetuar.

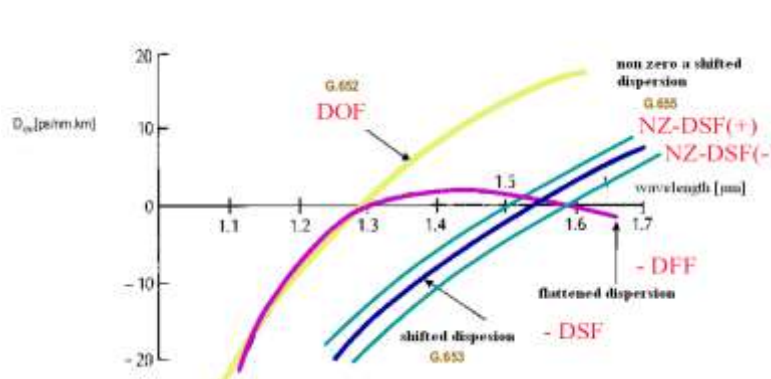


Figura 30. Koeficienti i dispersionit kromatik në një NZDSF (<http://www.fs.com/blog/wp-content/uploads/2015/12/G.6552.jpg>)

2.5.1. Humbjet nga Dispersioni

Humbjet që shkaktohen nga dispersioni kanë të bëjnë me përhapjen e pulsit të dritës përgjatë udhëtimit në fibrën optike, dhe si rezultat kemi kufizimin e gjerësisë së brezit, çka na e redukton pastaj shumën e informacionit që duhet të transmetohet. Dispersioni i fibrës bazohet në parametrat e gjatësisë valore, dhe mund ta ndajmë në dy pjesë kryesore: në dispersionin e materialit dhe në dispersionin e bartësit të gjatësisë valore (Sh. Kumar & M.Jamal Deen, 2014 : f.75).

1. Në dispersionin e materialit, komponentë të niveleve të frekuencës do të udhëtojnë me shpejtësi të ndryshme, gjë që na çon në zgjerim të pulsit të dritës.
2. Në dispersionin e bartësve të gjatësisë valore, të cilët janë të varur nga frekuenca konstante, por që mund të ndryshojë nga profili i indeksit të thyerjes së rrezeve të dritës.

Siç vërehet nga figura e mëposhtme (fig. 31), gjatë udhëtimit të një impulsi nëpër një fibrë, dispersioni bën që ky impuls të zgjerohet, pra, e humb formën e vetë origjinale, dhe kështu që kemi mbivendosje në mes dy impulseve. Tek marrësi pastaj është e pamundur të deshifrohen

si dy impulse me informacionin e tyre bazë, pasi kemi mbivendosje mes tyre, dhe, si rezultat, paraqitet gabimi në interpretimin e informacionit.

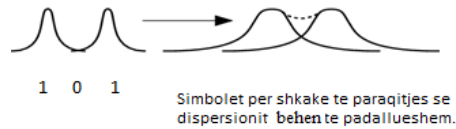


Figura 31. Paraqitja e dispersionit

Përpos këtyre që i përmenda më sipër, janë edhe disa lloje dispersionesh, si dispersioni kromatik, dispersioni i profilit, dispersioni i mënyrës së polarizimit, dhe unë do t'i trajtoj disa prej tyre.

Humbjet nga dispersioni llogariten edhe matematikisht në bazë të formulës:

$$P_{in} = P_{out} - \alpha \quad (4)$$

P_{out} – fuqia transmetuese në dalje (dBm)

P_{in} - fuqia hyrëse

α - humbjet totale përgjatë kabllos optike (dBm)

2.5.2. *Dispersioni (shpërndarja) kromatike*

Edhe pse duket si monokromatik, sinjali optik në fakt nuk është monokromatik, por posedon një grumbull të gjatësive valore, prandaj është me rëndësi të menaxhohet, për çka do t'i trajtoj disa mundësi të ndryshme në vazhdim. Duke u nisur nga specifikat, siç është konstantja e dielektrikut, apo edhe indeksi i thyerjes, që janë në funksion të frekuencave optike, mund të themi se gjatësitë valore të grumbulluara në një tufë nuk përhapen me shpejtësi të njëjtë. Kjo tufë e grumbulluar e frekuencave që shpërndahet nëpër një fibër optike do të zgjerohet deri në fund të fijes optike, pasi çdo gjatësi valore e këtij grumbulli të tufës do të arrijë në një kohë të ndryshme tek marrësi (M. Maier, 2008). Një fenomen i tillë i përhapjes së gjatësive

valore të tufës së grumbulluar në një sinjal quhet **shpërndarje kromatike** (Chromatic Dispersion).

Pasi shpërndarja kromatike ka të bëjë me një fenomen të zhvillimit që evoluon, atëherë koeficienti i shpërndarjes kromatike definohet si (D), dhe matet me pikosekonda për nanometër-kilometër (ps/(nm*km)) - kohë vonesë për gjatësi të ndryshme valore dhe për gjatësi të fijes optikë (S. V. Kartalopoulos, 2008):

$$\Delta\tau = |D|L\Delta\lambda$$

Koeficienti i shpërndarjes kromatike (F. Mitschke, 2009) mund të llogaritet me formulën:

$$D = D_m + D_w + D_p \quad (4')$$

D_m – Dispersion i materialit;

D_w – Dispersion i guidës së valës (valësjellësit);

D_p – Dispersion i profilit.

Në figurën 32 kam paraqitur grafikun me rastin e kompensimit të dispersionit. Në këtë rast përdorim një fibër kompensuese DCF, dhe si rezultat marrim lakoren e dispersionit resultant, që e redukton dispersionin kromatik.

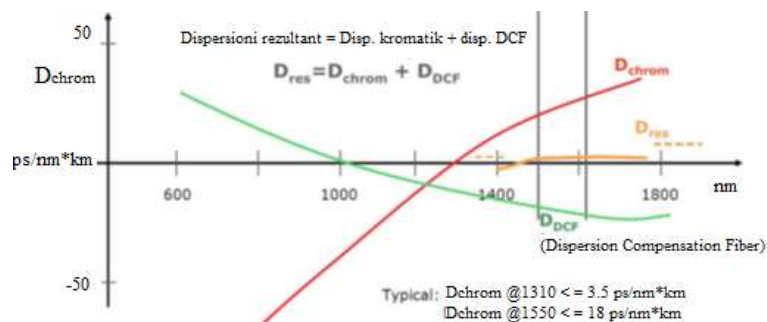


Figura 32. Shpërndarja kromatike dhe kompensimi i shpërndarjes kromatike (Telecom Slovenia Group, Joze Zaren, (2012) The Ballkan DWDM Training Course, Prishtina, RKS).

Në figurën e mëposhtme kam paraqitur rastin e efektit të dispersionit që shkakton zgjerimin e impulsit të një sinjali të transmetuar gjatë rrugës së transmetimit. Dispersioni mund të jetë aq kritik (shih fig. 33), saqë mund të shkaktojë edhe korrelinimin (mbivendosjen) e simboleve, dhe në një rast të tillë informacioni i transmetuar do të bëhej i padallueshëm.

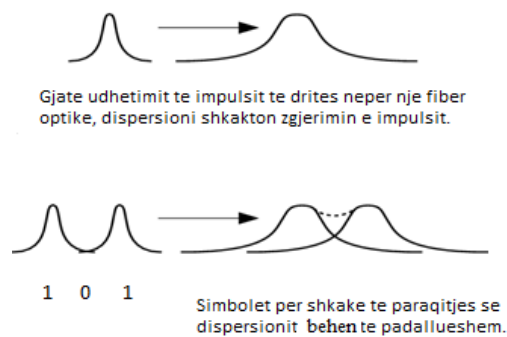


Figura 33. Dispersioni i impulseve (<http://www.newport.com/>)

Pra, fenomeni i dispersionit shkaktohet në mënyrë të tillë që kalon nëpër disa hapa, si në fig. 38 më poshtë, ku vërehet se, me kalimin e kohës dhe distancës, një sinjal apo simbolet e transmetuara vazhdojnë të zgjerohen deri në një gjendje kritike ku simbolet mbivendosen me njëri-tjetrin, dhe si rezultat informacioni do të jetë i padobishëm, pasi impulset e transmetuara pothuajse nuk do të mund të dallohen më.

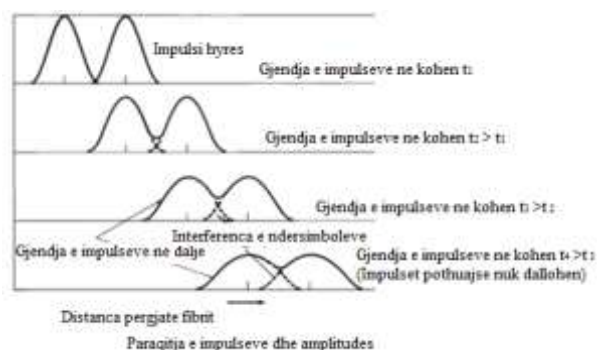


Figura 34. Dispersioni në raport me kohën ([http://nptel.ac.in/courses/117101054/Mod5/Slide\(mod5\)/4.html](http://nptel.ac.in/courses/117101054/Mod5/Slide(mod5)/4.html))

Matja e kapacitetit në një fibër optike për transmetime digjitale zakonisht është e specifikuar si prodhim i distancës (L) në km dhe gjerësisë së brezit (BW- bandwidth) në GHz:

$$\text{pra, } BW \times L \quad (5)$$

Për shembull, disa informacione rreth specifikave të kapacitetit, duke u bazuar në atë që kam cekur më lart, do të ishin: për fibrat multimodë me step indeks do të kishim kapacitet të transmetimit rreth 20 MHz/km, për fibrat multimode graded indeks do të kishim rreth 2.5 GHz/km, dhe për fibrat *single-mode* do të kishim vlera më të larta se 10 GHz/km (S.V. Kartalopoulos, 2008). Pra, duket qartë nga specifikat që i përmendëm se fibrat *single-mode* kanë një kapacitet më të lartë transmetimi.

Fibrat *single-mode* janë dizajnuar në mënyrë që të reduktojnë dispersionin (shpërndarjen) kromatike.

Kemi tri klasa bazë të fibrave *single-mode* që përdoren në sistemet e sotme të telekomunikacionit.

Tipi më i vjetër (në vitet '90) ishte fibra me shpërndarje jo të zhvendosur NDSF (Non-Dispersion-Shifted Fiber), që ishte fibra e parë më e suksesshme *single-mode*. Ajo ishte e dizajnuar që të operonte në modelet e hershme në gjatësinë valore të asaj kohe 1310 nm. Mirëpo kishte dispersion të lartë në 1550 nm, kishte kufizime sa i përket maksimumit të shkallës së transmetimit në distancë. Në mënyrë që të përmirësohen këto mangësi, u zhvillua DSF-ja (www.olson-technology.com).

Pra, pasi shpërndarja është një fenomen jolinear dhe është e varur nga frekuencat optike, atëherë ekzistojnë disa frekuenca të caktuara, apo gjatësi valore, në të cilat shpërndarja (dispersioni) bëhet zero, e që njihen si *zero-dispersion wavelength* (gjatësi valore me dispersion zero). Vlerat që dalin mbi këto gjatësi valore tregojnë se dispersioni është pozitiv, dhe vlerat që dalin poshtë këtyre gjatësive valore tregojnë se dispersioni është negativ.

Një fibër e zakonshme *single-mode* me bërthamë rreth 8.3 μm , e cila e ka indeksin e thyerjes që varion rreth 0.37%, posedon dispersion zero përrreth gjatësisë valore 1.3 μm . Fibrën optike me gjatësi valore me zero dispersion të shpërndarjes së zhvendosur në gjatësinë valore 1550 nm e

quajmë dispersion-shifted fiber (DSF). Ky lloj i kabllos optike është kompatibel me përforcuesit optikë të cilët arrijnë të kenë përforcim të mirë në gjatësinë valore 1550 nm (www.pcmag.com/).

Mirëpo ky lloj nuk prodhohet më, pasi shkakton interferenca kur sinjalet multipleksohen në transmetimin WDM, për shkak të efekteve jolineare. Prandaj u zhvilluan fibra të tjera, si NZ-DSF (Nonzero-Dispersion Shifted Fiber), të cilat janë të dizajnuara për sistemin e transmetimit WDM/DWDM. Ky sistem ka një dispersion zero në mes 1500 dhe 1600 nm, që prodhon dispersion të vogël në rangun 1500 nm (S. V. Kartalopoulos, 2008 : f.68). Për t'i plotësuar kërkesat gjithnjë e në rritje për transmetimet specifike në rrjetin me fibra optike, janë prodhuar disa lloje të tjera të fibrave speciale, siç janë dispersion-compensated fiber (DCF) e të tjera.

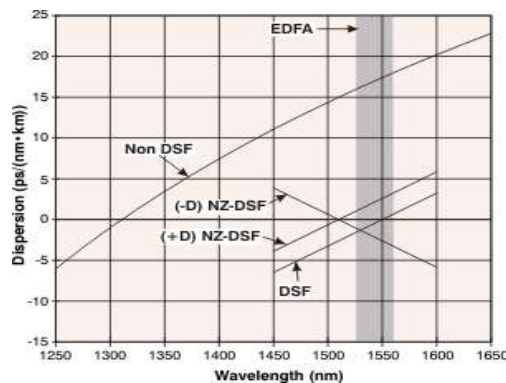


Figura 35 – Koeficienti i dispersionit si funksion i gjatësisë valore për lloje të ndryshme të fibrave optike *single-mode* (C. Lam, 2007: f.24)

Tani do t'i bëj disa sqarime shitesë në lidhje me fig. 35:

Non-DSF: Nondispersion shifted fiber, që quhet edhe standard i fibrës *single-mode*, apo fibra ITU-T G.652

(-D) NZ-DSF: negative nonzero dispersion shifted fiber

(+D) NZ-DSF: positive nonzero dispersion shifted fiber

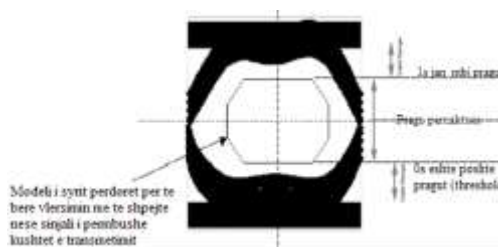
DSF: dispersion shifted fiber, me pothuajse zero dispersion në brezin C

Tanimë e dimë se koeficienti i dispersionit është funksion i gjatësive valore optike (G.P.Agrawal, 1997). Nga figura 35 shohim se koeficienti i dispersionit është funksion i gjatësive valore për lloje të ndryshme të fibrave optike (Cedric Lam, 2007 : fq.24). Nga ku duket qartë se fibrat standarde *single-mode* kanë përafërsisht zero (0) dispersion përreth regjionit të gjatësive valore 1.3 μm , dhe një dispersion 17 ps/nm/km përreth regjionit të gjatësive valore 1.55 μm (www.olson-technology.com). Në këtë regjion përforcuesi EDFA punon më së miri si përforcues, por kemi shfaqje të dispersionit me 17 ps/nm/km (shiko fig. 35), dhe për këtë arsye duhet patjetër të përdorim kompensues të dispersionit (DCF) në rastin e përdorimit të përforcimit EDFA, pasi në këtë pjesë të gjatësive valore (1.55 μm) kemi edhe nivelin më të lartë të paraqitjes së dispersionit te fibrat optike.

2.5.3. Llojet e fibrave optike kompensuese *single-mode*

Dispersioni (shpërndarja) kromatike (siç e cekam më lart), është një faktor që merret parasysh shumë seriozisht në fushën e bartjes së informacionit në komunikimet me fibra optike. Në linjat e fibrave optike, dispersioni na çon deri te zgjerimi i padëshirueshëm i sinjaleve. Ky efekt mund të kompensohet me ndihmën e përdorimit të DCF-së. Pra, DCF-ja përdoret për të bërë kompensimin e dispersionit në fibrat optike. Nëse përdorim fibra në brezin e gjatësisë valore 1550 nm për linja të gjata, duhet që të kompensohet dispersioni i shkaktuar pozitiv. Fibra e DCF-së është pra një fibër që bën kompensimin e dispersionit, dhe ka një dispersion negativ prej -16 ps/nm/km, e me këtë vlerë ka mundësi që të arrijë ta kompensojë një dispersion pozitiv të një fibre të zakonshme (konvensional) me 100 ps/nm/km në një raport gjatësie 1:6 deri 1:7 (www.comlab.hut.fi/). Fibrat DCF përdoren edhe në linja të gjata transmetuese (shih fig. 35). Fibra DCF lidhet me një fibër normale, ku vlera e dispersionit negativ kompenson dispersionin e fibrës normale. Një disavantazh është se fibrat DCF kanë

Shpërndarja kromatike paraqitet apo vlerësohet si në mënyrë analitike ashtu edhe figurative për të paraqitur formën vizuale të secilës nga gjatësitë valore në një ekran, që do të na bëjë te mundur (pra, në formë vizuale) ta kryejmë shpejt verifikimin e performancës së një sinjali, siç mund të jetë rasti i shpërndarjes kromatike të një sinjali 10 Gbps në gjatësinë valore 1550 nm, të cilin po e paraqes në figurën e mëposhtme. Nga figura 36, e paraqitur më poshtë, vërehet se shpërndarja kromatike merr një formë të pamjes së syrit mes hapësirave të saj, prandaj këtë hapësirë e quajmë model i syrit (eye pattern).



Në këtë figurë vërehet se sinjalet me vlerë 1 gjenden lart, mbi pikën qendrore (Decision Threshold), dhe sinjalet me vlerë zero janë nën pikën qendrore. Një model i tillë i syrit të hapur korrespondon me shtrembërimet minimale të sinjalit optik (Telecom Slovenia Group, Joze Zaren, (2012) The Ballkan DWDM Training Course, Prishtina, RKS).

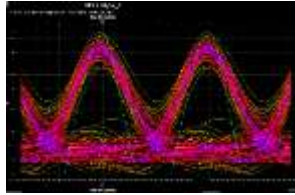


Figura 37. Forma e paraqitjes së modelit të syrit të sinjaleve në një rastë konkret simulimi.

Ndërsa nga figura e mëposhtme duket qartë se si ndikon dispersioni në zgjerimin e impulseve të transmetuara dhe në distanca të caktuara (rreth 80 km), pas përdorimit të fibrave kompensuese DCF të dispersionit arrijmë të kemi përsëri një sinjal të rigjeneruar dhe të kompensuar; kështu, pra, ruajmë kualitetin e sinjalit dhe rrisim distancën e transmetimit duke përdorur fibra shtesë që i lidhim në linjën transmetuese për të bërë kompensimin e dispersionit.

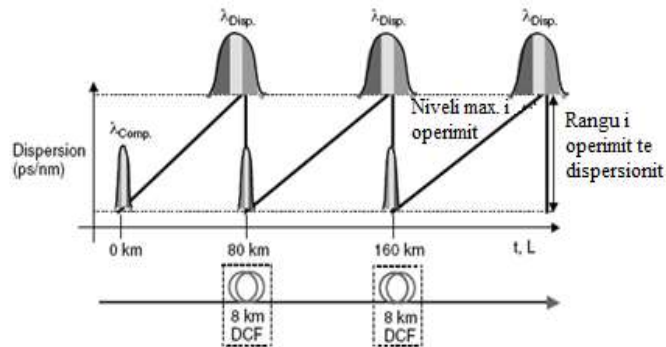


Fig.38. Skema e kompensimit të dispersionit me DCF në distancë të gjatë
(www.globalspec.com)

Pra, fibrat DCF kompensuese të dispersionit përdoren bashkarisht me pajisjet e tjera të sistemit të transmetimit, siç janë edhe përforcuesit EDFA, që duken në fig. 39 më poshtë. Nga kjo figurë duket qartë se pas përdorimit të pajisjeve në fjalë kemi edhe përmirësimin e dukshëm të sinjalit. Në rastin e përdorimit të DCF-së, kemi arritur të ngushtojmë impulsin e zgjeruar, ndërsa pas përdorimit të përforcuesit EDFA është arritur të përforcohet sinjali.

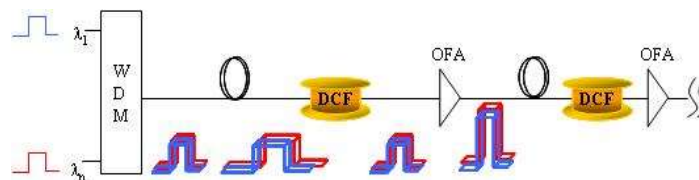


Figura 39. Paraqitja e skemës së sinjalit të përforcuar në një linjë të DCF-së (<http://www.ktword.co.kr>)

2.6. Polarizimi

Polarizimi i dritës ka të bëjë me devijimet e zgjerimit të gjatësive valore që paraqiten në sisteme me shpejtësi të lartë transmetimi. Këto devijime mund të shkaktohen për arsye të deformimeve gjeometrike të fibrave optike, apo edhe për shkak të faktorëve të brendshëm, siç është tërheqja ose shtrëngimi i fibrave. Pra, siç shihet në figurën e mëposhtme, kemi të bëjmë me disa faktorë që ndikojnë në devijimin e sinjalit të transmetuar. Gjithashtu, këto lloje devijimesh mund të bëhen edhe nga faktorët e jashtëm, siç janë, përdredhjet, vazhdimet apo lidhjet e ndryshme të fibrave optike.

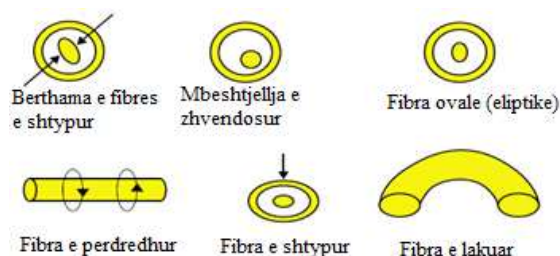


Figura 40. Rastet e disa formave të deformimeve të fibrave optike (www.fiberoptic.com/)

Polarizimi i referohet orientimit të fushës elektrike të sinjalit të dritës (G. Keiser, 2011: f. 28-38). Siç duket edhe në fig. 41, në fillim gjatësia valore e energjisë së sinjalit është e përbërë nga dy përbërës të polarizuar në mënyrë ortogonale njëri me tjetrin, mirëpo gjatë rrugëtimit nëpër gjatësinë e fibrës ato do të kenë shpejtësi jo të njëjtë, e do të shkaktohen diferenca (shih fig. 41) mes dy sinjaleve të polarizimit ortogonal. Kjo zhvendosje e sinjalit quhet *polarization-mode dispersion* (PMD) (G. Keiser, 2011: f. 28-38).

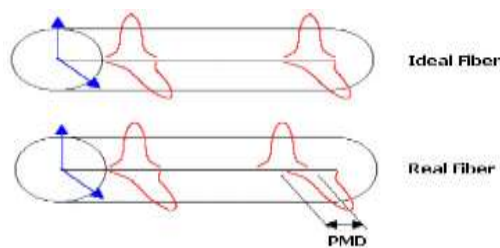


Figura 41. Polarizimi, krahasimi i fibrës optike (<http://www.posterus.sk>).

Pra, në fig. 41 duket që polarizimi ndodh në një fibër reale, dhe duket qartë zhvendosja që ndodh gjatë polarizimi të dispersionit në mes rastit të impulsit optik të sinjalit real dhe atij ideal, që kalon nëpër një fibër optike me zhvendosje të ndryshme përgjatë gjatësisë së saj.

2.6.1. Polarizimi i dritës

Një faktor tjetër që ndikon në kualitetin e sinjalit të transmetuar në mediumin e transmetimit me fibra optike është edhe polarizimi. Polarizimi varet shumë nga forma dhe pastërtia e materialit të kabllos optike; çdo pengesë sado e vogël që paraqitet në fibrat optike që nuk kanë formë simetrike, cilindrike, të përsosur do të shkaktojë devijim të pulsit të dritës nga ai bazë për shkak të komponentëve polarizues që shfaqen (G. P. Agrawal, 2010 : f.44), sidomos tek fibrat *single-mode*. Si rezultat i komponentëve dispersivë që paraqiten, dhe si rezultat i rrugëtimit me shpejtësi të ndryshme, në këtë rast nuk do të kemi ndryshim të amplitudës, por do të kemi një ndryshim në fazën e impulsit, pra, një zhvendosje në fazë. Efekti optik ku dy polarizime të impulseve të sinjalit perpendikular që udhëtojnë nëpër një fibër me shpejtësi të ndryshme arrijnë në fund të fibrës në kohë të ndryshme quhet polarizim, apo Polarization-Mode Dispersion (PMD). Trajtimi i problemit të polarizimit është shumë kompleks, dhe varet shumë edhe nga komponentët me spektër të ndryshëm impulsesh.

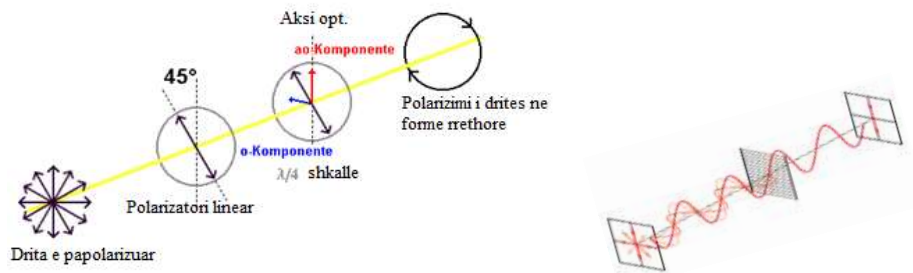


Figura 42. Polarizimi i dritës (<http://www.chemgapedia.de>)

2.6.2. Thyerja dhe reflektimi i dritës

Thyerja dhe reflektimi i dritës është një fenomen që paraqitet gjatë rrugëtimit të dritës nëpër një ambient të caktuar, dhe në rastin tim ka të bëjë me sinjalet që do të kalojnë në sistemet e transmetimit optik, ku përgjatë rrugës transmetuese sinjalet do të përballohen me efektin e reflektimit dhe të thyerjes së dritës. Shkaktar kryesor i paraqitjes së këtyre efekteve është johomogjeniteti mikroskopik i materialit të fibrave, që do të ndikojë në gjatësinë valore të dritës, e cila nuk do të jetë e njëjtë (V. Brückner, 2011). Pra, do të kemi johomogjenitet në përhapjen e dritës. Në figurën e mëposhtme duket qartë efekti i thyerjes dhe i reflektimit të dritës kur kemi të bëjmë me një sipërfaqe reflektuese, apo edhe në rastin kur sinjali i dritës kalon nga një medium në tjetrin, me çka bëhet thyerja (refraction) e dritës, pasi mediumet e ndryshme kanë indeks të thyerjes të ndryshëm, për shkak të specifikave të ndryshme të densitetit të materialeve.

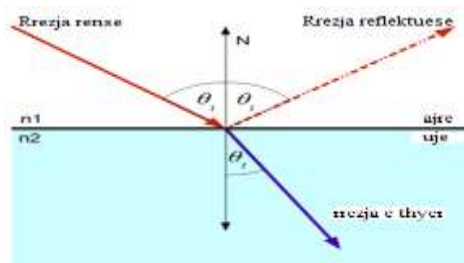


Figura 43. Ndikimi i medimeve në reflektimin dhe thyerjen e rrezeve të dritës (<http://scienceaid.co.uk/physics/waves/ref.html>)

Në figurën e mëposhtme kam paraqitur reflektimin dhe thyerjet e rrezeve të dritës në dy medime të ndryshme; njëri medium është më i rrallë, dhe tjetri më i dendur. Nga figura duket qartë se rrezet e dritës reflektohen dhe thyhen me kënde të ndryshme në raport me njëra-tjetrën, dhe disa të tjera arrijnë të kenë reflektim total brenda mediumit të brendshëm. Pra, për shkak të specifikave të rrezeve të dritës dhe johomogjinitetit të mediumit transmetues ndodhin reflektime dhe thyerje të ndryshme të rrezeve të dritës.

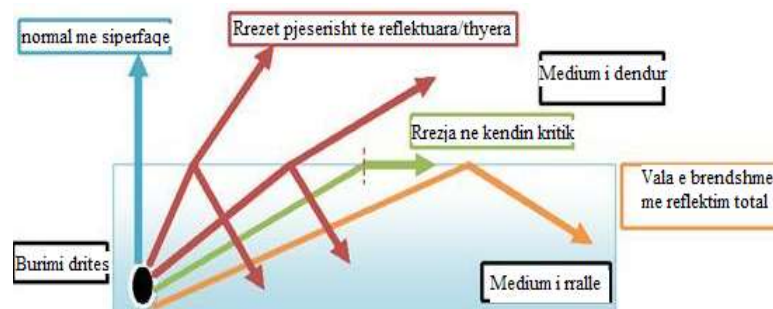


Figura 44. Reflektimi dhe thyerja e rrezeve të dritës në medime të ndryshme.
(<http://www.engineersgarage.com/articles/fbgs-fiber-bragg-grating-sensors>)

2.7. Humbjet e sinjalit optik

Ndër faktorët kryesorë që ndikojnë në humbjet e sinjalit optik janë atenuimi dhe dispersioni. Siç vërehet edhe në figurën e dhënë, atenuimi shkakton dobësimin e sinjalit, ndërsa dispersioni shkakton zgjerimin e impulseve, si rezultat shkakton edhe humbjen e informacionit të dobishëm të sinjalit. Në figurën e mëposhtme kam paraqitur rastin se si duken këto faktorë që i hasim gjatë transmetimeve të sinjaleve; më gjerësisht do t'i shtjelloj më vonë.

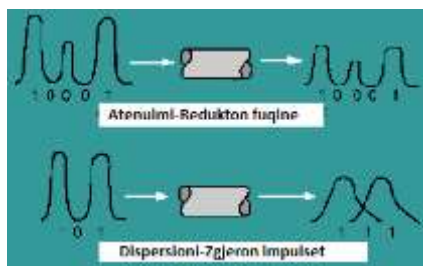


Figura 45. Humbjet e sinjalit optik (<http://www.tpub.com/neets/tm/106-13.htm>)

2.7.1. Atenuimi

Kur një valë elektromagnetike përhapet në një mjedis dialektrik ndodhë një interaksion (bashkëveprim) në material mes fushës së valëve dhe fushës së shpërndarjes. Për shkak të këtij interaksioni, një pjesë e energjisë ndërron vend, gjë e cila ndikon në përhapjen e valëve. Në përgjithësi, materiali i përdorur për prodhimin e fibrave nuk është perfekt, por ka qendra johomogjene, dhe për këtë arsye fotonet i absorbojnë ose i shpërndajnë (scatering) valët. Metalet e ndryshme, elementet e rralla të tokës dhe lidhjet bashkuese, absorbojnë frekuenca të caktuara specifike. P.sh., atomet e erbiut absorbojnë në brezin e gjatësive valore 980 nm dhe 1480 nm.

Kur drita përhapet në një dialektrik, siç është rasti me fibrën optike, kemi humbje të fuqisë për arsye të atenuimit (pakësimit-reduktimit). Pasi raporti i atenuimit është në proporcion të drejtë me distancën, sa më e madhe të jetë distanca e transmetimit, aq më të mëdha do të jenë humbjet e atenuimit, dhe këto vlera i shprehim në dB/km.

Institucioni ndërkombëtar i standardeve ITU-T G.652 rekomandon që humbjet në një fibër optike duhet të jenë më të vogla se 0.5 dB/km në regjionin 1310 nm, dhe më pak se 0.4dB/km në regjionin 1500 nm. Por humbjet në fibrën optike shpeshherë vuajnë nga fuqia e atenuimit. Humbjet e sinjalit optik karakterizohen nga disa faktorë. Do të filloj sqarimin e një pjese të tyre dhe të efekteve nga to; do t'ia nis me atenuimin (i njohur, pra, si humbje apo dobësim i

sinjalit). Atenuimi, si faktor i dobësimit të sinjalit në një sistem fibrash optike, ka të bëjë me humbjen apo dobësimin e intensitetit të fuqisë së sinjalit të dritës që shkaktohet nga përhapja e valëve dhe impulseve të sinjaleve të dritës gradualisht përgjatë gjatësisë së fibrës.

Atenuimi është njëri nga faktorët më të rëndësishëm në sistemet transmetuese me fibra optike, pasi në bazë të vlerësimit të shkallës së atenuimit ne mund të përcaktojmë edhe distancën maksimale të mundshme në mes transmetuesit dhe marrësit të një sistemi transmetues; dhe kjo ndikon edhe në analizën e kostos, pasi në bazë të llogarive mund të nxjerrim edhe nevojën e përdorimit të përforcuesve, varësisht nga distanca e transmetimit dhe shkalla e vlerësimit të atenuimit të një sistemi transmetues. Meqë atenuimi rritet në mënyrë eksponenciale në raport me distancën e përshkruar nëpër një fibër optike, mund të paraqitet me raport eksponencial dhe logaritmik.

Atenuimi shpreh raportin logaritmik të fuqisë optike dalëse dhe fuqisë optike hyrëse (D.R. Goff, 1999 : f.26), dhe shprehet me formulën:

$$P(L) = P_0 e^{-\alpha' L} \quad (6)$$

Ku:

$P(L)$ - Fuqia optike në distancën L nga hyrja

P_0 - Fuqia optike në hyrjen e fibrës

α' - koeficienti i atenuimit të fibrës (1/km)

Duke iu referuar formulës së dhënë më sipër, dhe meqenëse atenuimi shprehet zakonisht në decibel, ekuacioni në fjalë mund të shkruhet duke e marrë që:

$\alpha = 0,4343 \alpha'$, duke bërë konvertimin e bazës e në bazë 10 kemi:

$$\log_{10} P(L) = - \alpha L + \log_{10} P_0 \quad (7)$$

$$\alpha = \alpha_{\text{scattering}} + \alpha_{\text{absorption}} + \alpha_{\text{bending}} \quad (8)$$

α = humbjet e fibrës (db/km)

Duke u nisur nga ajo që sqarova më sipër, na intereson të kuptojmë më mirë se si shkaktohet atenuimi, prandaj duhet të analizohen shkaqet dhe faktorët që ndikojnë në këtë efekt mjaft të rëndësishëm për sa u përket humbjeve në fibrat optike.

Janë disa faktorë të brendshëm dhe të jashtëm që është e rëndësishme të merren parasysh dhe të diskutohen. Dy faktorët më të rëndësishëm të efektit të atenuimit janë shpërndarja (scatering) dhe thithja - absorbimi (absorption) (David R. Goff, 1999: f.26), si dhe efektet rrezatuese të energjisë optike, që do t'i trajtoj më poshtë. Duke iu referuar shënimit të mësipërm, defektet e strukturave atomike të materialeve të fibrave optike janë faktorë që shkaktojnë atenuimin nëpërmjet efektit të absorbimit, por që janë të neglizhueshme në krahasim me dy efektet e sipërpërmendura.

Ndërsa efekti i *scatering*-ut ka të bëjë me përbërësit e materialit të fibrës optike, si dhe me rrugëtimin jouniform të rrezeve të dritës përgjatë udhëtimit në fibrën optike, nga ana tjetër, absorbimi ka të bëjë kryekëput me materialin e fibrave optike. Kurse atenuimi i shkaktuar nga efekti rrezatues i energjisë optike ka të bëjë me efektet që shfaqen në gjeometrinë e fibrës, që ka ndikim në të dy efektet, në atë të skateringut dhe të absorbimit.

2.7.2. Scatering (shpërndarja)

Skatering, siç e përmenda edhe më lart, shkaktohet nga rrezet jouniforme të dritës për arsye të ndryshimeve mikroskopike në densitetin e materialit të fibrës, strukturave johomogjene dhe luhatjeve të përbërësve në materialet, që ndodhin gjatë prodhimit të fibrave optike (Bohren, C. F.; Hufmann, D. R. 2010 : f.166-174)) (shiko fig. 46). Pra, në përgjithësi, është

një proces fizik që ka të bëjë me deformimet e rrezatimeve të ndryshme (në rastin tim të studimit, me deformimin e rrezeve të dritës në fibrën optike); si rezultat i kolodimit apo ndeshjeve në mes fotoneve, atomeve, molekulave apo elektroneve, do të kemi paraqitjen e ndërrimit të trajektores së rrezeve të dritës nga një shteg i drejtë i orientuar në një trajektore tjetër jashtë llogaritjeve në bazë të ligjeve të llogaritura, dhe është shkaktari kryesor që sjell atenuimin.

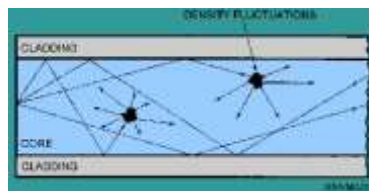


Figura 46. Paraqitja e skaterit nga luhajtjet e densitetit në materialin e fibrave optike (<http://www.tpub.com>)

Nga figura 47 duket qartë se në një fibër optike ndodhin shumë fenomene që ndikojnë në kualitetin e transmetimit, dhe faktorët që i shkaktojnë këto fenomene, siç janë, lakimet e fibrës, fluskat (bubble), absorbimi, skateringu, etj., duhet të merren parasysh në mënyrë që të kemi një transmetim sa më të mirë të sinjalit.

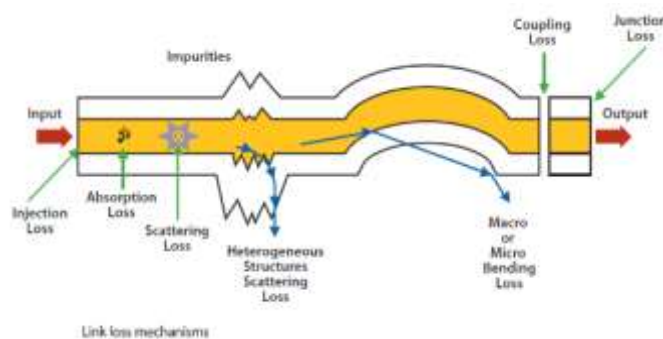


Figura 47. Paraqitja e faktorëve të skaterit në një fibër optike (<http://www.fiber-optic-tutorial.com/>)

Materialet që bëjnë pjesë në prodhimin e fibrave optike prej qelqi janë disa okside: SiO_2 , GeO_2 dhe P_2O_5 . Për shkak të përbërësve të këtyre oksideve dhe për shkak se lidhja e rrjeteve

të tyre molekulare është e rastësishme, në vetvete shkaktojnë efekte që ndikojnë në dobësimin e sinjaleve, siç e sqarova më sipër. Gjithashtu molekulat e defekteve të oksigjenit dhe përhapja e molekulave të hidrogjenit në fibrën e qelqit janë shkaktare të johomogjeniteteve që ndodhin në strukturën atomike të materialeve të fibrave optike.

Përpos kësaj, kemi edhe lloje të tjera të paraqitjes të skateringut, siç janë skateringu jolinear dhe skateringu linear (www.geo.mtu.edu). Duke iu referuar kësaj ndarjeje, do të sqaroj më gjerësisht se çka kuptojmë me skatering linear dhe jolinear

Skateringu jolinear (M. Maier, 2008 : f.39-40) ka të bëjë me:

Stimulated Raman scattering (SRS) dhe Stimulated Brillouin scattering (SBS)

- Stimulated Brillouin scattering (SBS) - mund të konsiderohet si modulim i dritës nëpërmjet vibrimeve të molekulave termale në brendësi të fibrës optike.
- Stimulated Raman scattering (SRS) - është e njëjtë me SBS-në, veçse frekuenca e lartë e fononeve⁷ optike, në vendë të fononeve akustike, gjenerohet në procesin e skateringut.

Te **skateringu linear** (Bohren, C. F.; Huffmann, D. R. 2010:f. 166-174) kemi këto lloje:

- Humbjet Rayleigh Scattering – këto humbje paraqiten për shkak të vibrimeve mikroskopike në materialin e fibrës optike. Dimë se qelqi përbëhet nga disa acide, si SiO₂, P₂O₅, e kështu me radhë, prandaj, për shkak të këtyre oksideve, mund të ndodhinë kompozime, luhatje, të cilat shkaktojnë humbjet Rayleigh scattering (e shpërndarjes)

⁷ eksitimi kolektiv i atomeve ose molekulave në një aranzhman (rregullim) periodik në gjendje solide (të ngurtë)

- Humbjet Mie Scattering – ky lloj i humbjeve paraqitet nga luhatjet e përbërësve të materialit, nga strukturat johomogjene dhe prej defekteve gjatë fabrikimit të fibrës, të cilat bëjnë që drita të shpërndahet jashtë fibrës optike.
- Humbjet waveguid Scattering, apo humbjet e shpërndarjes në shtegun e valëve (valësjellësit) - shkaktohen si rezultat i ndryshimeve në diametrin e bërthamës nga ndërfaqja e mbështjellësit të bërthamës, me një fjalë, ato shkaktohen për arsye të joperfeksionimit të bërthamës dhe mbështjellësit të fibrës optike

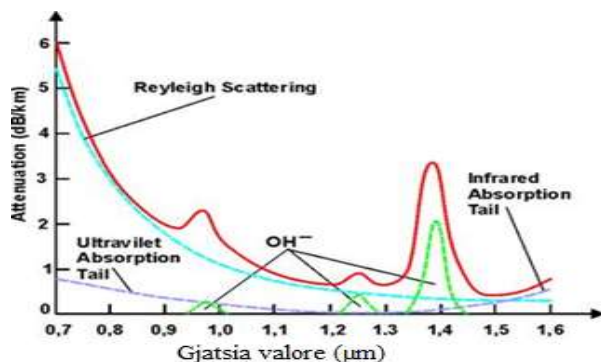


Figura 48. Atenuimi i fibrave optike në funksion të gjatësisë valore (www.invocom.et)

Në figurën 48 kam paraqitur atenuimin në funksion të gjatësisë valore, ku duket që rangi i gjatësisë valore në një fibër xhami prej silici shkon nga 700 nm deri afër 1700 nm. Nga figura duket se në gjatësitë valore 950 nm (apo 0.95 μm), 1250 nm dhe 1385 nm, shfaqet harmonika e pikut të absorbimit nga jonet hidroksil (OH⁻) të ujit, të cilat janë futur si papastërti gjatë prodhimit të fibrës, dhe këto jone formojnë një lidhje silic-hidroksil (Si-OH) dhe rrisin nivelin e absorbimit, ndërsa në pjesën tjetër të brezit të gjatësisë valore absorbimi është në nivele stabile.

Në përqindje, totali i atenuimit arrin deri në 90% të totalit të efektit të dobësimit të sinjalit (D. R. Goff, 1999 : fq.26), pra, duke u bazuar te ajo që përshkruajta më sipër, atenuimi në fibrat optike shkaktohet më shumë nga skateringi sesa nga efekti i absorbimit.

2.7.3. *Banding losses (humbjet e lakimeve)*

Faktor tjetër me rëndësi që e prek pothuajse çdo fibër gjatë transmetimit të sinjaleve optike është edhe humbja që shkaktohet nga lakimet e fibrave. Humbjet e lakimeve (banding losses) janë efekte që kanë të bëjnë kryesisht me formën fizike të fibrave optike, por edhe të faktorëve të tjerë, si ndikimet e efekteve të ambientit, si dhe ndikimet e tjera apo defektet që paraqiten gjatë prodhimit të fibrave optike (shih fig. 49). Dy shkaktarët kryesore (G. Keiser, 2011:f.111) janë:

(a) lakesat e rastësishme mikroskopike

(b) lakesat makroskopike

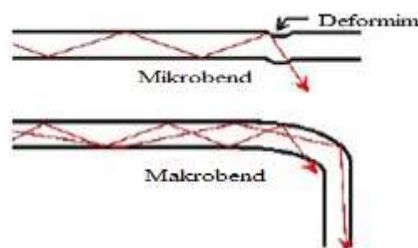


Figura 49. Paraqitja e mikrobendeve dhe makrobendeve (www.fiber-optic-tutorial.com)

Duke iu referuar figurës së mësipërme, duke qartë se lakesat makrobend (makroskopike) kanë të bëjnë me rritjen e rrezes së lakesës; sa më i madh të jetë këndi i lakimit të fibrës optike, aq më shumë në mënyrë eksponencionale do të rriten edhe humbjet, dhe anasjelltas, sa më i vogël të jetë këndi i lakesës, aq më të vogla do të jenë humbjet në fibrën optike. Ndërsa lakesat mikrobend (mikroskopike) kanë të bëjnë me deformimet që ndodhin në strukturën e fibrës optike.

Në fig. 50 kam paraqitur rastin kur kemi të bëjmë me deformime mikroskopike të cilat shkaktohen nga ndryshimi i strukturës së fibrës për arsye të ndryshme, siç mund të jetë rasti i deformimeve që mund të ndodhin gjatë prodhimit të fibrave optike, apo edhe deformimeve gjatë transportit dhe gjatë montimit të fibrave optike, ku lakesat mikroskopike mund të krijohen edhe në rast se fibrat optike inkorporohen (përfshihen) në ndonjë kabllo; ato pastaj shkaktjnë lëkundje të vogla, që përsëriten dhe ndikojnë që në fibrat optike të kenë humbje, si në figurën e mëposhtme.



Figura 50. Mikroskopik banding (www.electronics.dit.ie)

Në figurën 51 kam paraqitur rastin e humbjeve të sinjaleve kur kemi lakime të fibrave që ndodhin gjatë shtrirjes së fibrave optike në linjat transmetuese. Këndi i rrezes së dritës nuk është uniform (A. Oliviero & B. Woodward, 2014 : f.585-587), dhe ndryshon te lakesat e fibrës (shih figurën e mëposhtme). Si rezultat do të kemi edhe vonesa të rrezeve gjatë përhapjes dhe vonesa në marrës.

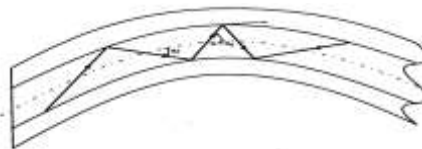


Figura 51. Banding losses - Makroskopik bending (www.electronics.dit.ie)

Pra, edhe defektet e paraqitura gjatë prodhimit të fibrave dhe ndikimet e ambientit ndikojnë që fibrat optike të mos kenë një gjeometri me diametër të rregullt, me standarde të paracaktuara mes bërthamës dhe mbështjellësit të fibrave, dhe që pastaj ndikojnë në kualitetin e fibrave optike.

Në figurën e mëposhtme shihet qartë se nëse një fibër optike vihet në njëfarë forme nën ndikimin e një force të jashtme, atëherë do të kemi një deformim fizik të fibrës, dhe si rezultat i humbjeve të rrezeve reflektuese të dritës do të kemi edhe humbje të fuqisë së rrezeve të dritës.

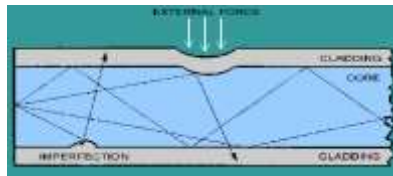


Figura 52. Dëmtimet e fibrave optike nga ndikimet e jashtme (www.tpub.com)

Humbjet e lakimit janë sidomos evidente në regionin 1550 nm (G. Keiser, 2011:f.135), ku atenuimi rritet në mënyrë rapide në rastin kur kemi devijim nga diametri standard i rrezes së fibrës optike.

2.7.4. Humbjet në bërthamë dhe mbështjellës (Core and cladding loss)

Bërthama dhe mbështjellësi kanë nivele thyerje të ndryshme të rrezeve të dritës dhe veprimi i fibrave optikë është i bazuar në principin e reflektimit total internë (shkaktohet si rezultat i udhëtimit të dritës me shpejtësi të ndryshme në materiale të ndryshme), si rrjedhojë, si bërthama ashtu edhe mbështjellësi kanë përbërje të ndryshme si dhe koeficient të ndryshëm të shprehur me α_1 dhe α_2 në formulën (G.Keiser, 2011 : f.113):

$$\alpha_{vm} = \alpha_1 (P_{core}/P) + \alpha_2 (P_{clad}/P) \quad (9)$$

Pra, siç shihet edhe nga figura e mëposhtme, kemi nivel të ndryshëm të thyerjes të rrezeve të dritës për shkak se ato udhëtojnë nëpër medime të ndryshme, e kanë vlera të ndryshme, si në fig. 53: në anën e majtë kemi vlerat e nivelit të thyerjes të mbështjellësit, ndërsa në anën e djathtë kemi vlerat e nivelit të thyerjes së bërthamës.

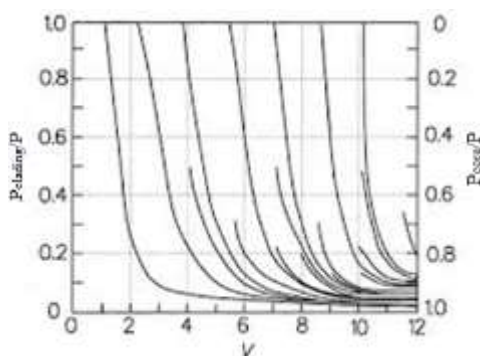


Figura 53. Grafiku i treguesit të nivelit të thyerjes së rrezeve të dritës në bërthamë dhe në mbështjellës të bërthamës (<http://fiberopticsprofessionals.blogspot.co.at>)

Nëse drita kalon nëpër një medium me indeks të lartë thyerje, atëherë do të kemi një reflektim normal të dritës, por nëse drita kalon nëpër një medium me indeks më të ulët thyerje, do të kemi një devijim nga reflektimi normal. Në bazë të ligjit të Snell-it, kemi (D. R. Goff, 1999: f.18):

$$n = c/v \quad (10)$$

Ku: n – *indeksi i thyerjes së dritës nëpër medime të ndryshme*

c – *shpejtësia e dritës në vakum*

v – *shpejtësia e një mediumi specifik*

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (11)$$

Duke iu referuar ligjit të mësipërm të Snell-it, pra, duke u nisur nga rritja e këndit të dritës së shkaktuar në një fibër optike derisa drita arrin në gjendjen e reflektimit total intern, atëherë, në këtë rast, arrihet që këndi i dritës së shkaktuar do të jetë i barabartë me këndin e reflektimit; dhe pikërisht kjo gjendje e korrespondencës së barazimit në mes të këndeve të dritës së shkaktuar dhe dritës së reflektuar në mediumin e fibrës është baza e operimit të një fibre optike. Siç e përmenda edhe më lart, kushti që të arrihet në këtë gjendje është që bërthama dhe mbështjellësi i fibrës optike duhet të kenë indeks thyerje të ndryshme, pra $n_1 > n_2$, që

nënkupton se, që të kemi kualitet të mirë të reflektimit në një fibër optike, indeksi i thyerjes në bërthamë duhet të jetë më i madh sesa indeksi i thyerjes së një mbështjellësi. Përndryshe, nëse nuk arrihet një kusht i tillë, do të kemi humbje të reflektimit të dritës në një fibër optike. Këndi kritik, duke u bazuar në ekuacionin e mësipërm (11) llogaritet:

$$\theta_c = \sin^{-1} (n_2/n_1)$$

ku: n_1 – indeksi i thyerjes në bërthamë

n_2 – indeksi i thyerjes në mbështjellës

2.7.5. Hapja numerike (Numerical Aperture)

Hapja numerike (numerical aperture - NA) si definicion përcaktohet nga këndi sinusoidal i pranueshëm i rrezeve të rëna nga një linjë valore apo fibër duke respektuar këndin e aksit të fibrës (microscopy.fsu.edu), në mënyrë që rrezet e transmetuara të orientohen në bërthamë. Pra, hapja numerike (numerical aperture) na jep një vlerësim të aftësisë së pranimi të dritës nga fibra optike.

Hapja numerike përcaktohet më saktë nga diferenca e indeksit të thyerjes mes bërthamës dhe mbështjellësit, që varen dhe ndryshojnë nga kërkesa dhe përhapja e rrezeve në ndërfaqen e bërthamës dhe mbështjellësit në raport me këndin e reflektimit total (Sh. Kumar & M.Jamal Deen, 2014:f.37-38) (në këtë rast do të kemi një indeks reflektimi të mediumit që e rrethon n_0 , që është përafërsisht 1[një] për ajër).

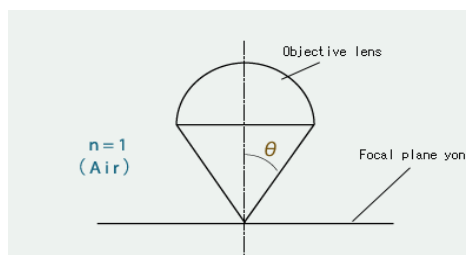


Figura 54. Reflektimi në ajër (www.olympus-ims.com)

Nga figura e mëposhtme duket qartë pamja e përhapjes së një rrezeje në një fibër optike, ku këndi kritik është përcaktues për akceptimin apo pranimin e sinjalit brenda fibrës në mënyrë që të arrihet një rendiment sa më i mirë. Pra, këndi sinusoidal i rrezes së rënë duhet të ketë një kënd reflektues të njëjtë sinusoidal që të kemi përhapje të sinjalit optimal brenda fibrës. Pra, sa më e lartë të jetë hapja numerike, aq më i madh do të jetë rezolucioni i rrezeve të sinjalit në fibrën optike.

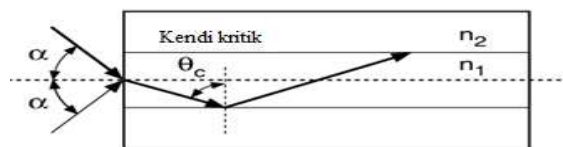


Figura 55. Hapja numerike (www.newport.com/)

Pra, hapja numerike na jep një vlerësim të aftësisë së pranimin të dritës nga fibra.

Ajo përcaktohet nga formula (Andrew Oliviero & Bill Woodward 2014: f.588):

$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (12)$$

Këndi i plotë i pranimin = 2α

Ku : këndi α = këndin θ_c

$$\alpha = \sin^{-1}$$

Hapja numerike ka vlera të ndryshme për fibrat *single-mode* dhe *multi-mode*. Fibrat *single-mode* kanë hapje më të vogël numerike, që është zakonisht e rendit 0.1, ndërsa fibrat *multi-mode* kanë zakonisht hapje numerike më të lartë, që shkon në 0.3 (microscopy.fsu.edu).

Një hapje numerike zakonisht i referohet një divergjence të lartë të rrezeve në dalje të fibrave optike, por që është e varur edhe nga diametri i bërthamës së fibrave optike.

2.7.6. Absorbimi

Absorbimi është faktori tjetër i atenuimit që ndikon në dobësimin e sinjalit në fibrat optike, dhe paraqitet si rezultat i papastërtive në fibrat optike të shkaktuara nga disa efekte, si p.sh., nga jonet metalike, jonet e ujit OH^- , nga struktura metalike të metaleve, si dhe nga defektet atomike të paraqitura si elemente oksiduese, që gjenden në përbërësit e materialit të qelqit. Këto efekte ndikojnë në humbjen e energjisë dhe shkaktojnë lirim të energjisë në formë ngrohjeje, e si rezultat kanë absorbimin e energjisë optike dhe, si rrjedhojë, humbjen e një pjese të sinjalit, si në figurën e mëposhtme.

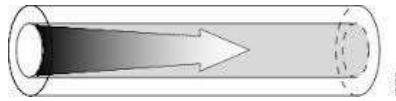


Figura 56. Skema e absorbimit (www.cisco.com/)

Në figurën e mëposhtme shihet qartë krahasimi mes efektit të absorbimit dhe atij të skateringut; na shfaq dobësimin e sinjalit gjatë paraqitjes së këtyre efekteve, duke u bazuar në sqarimet e faktorëve që i bëra më sipër.

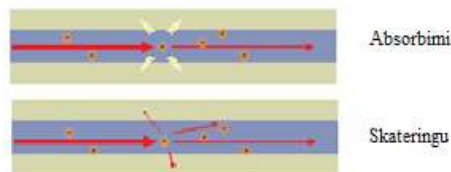


Figura 57. Krahasimi në mes absorbimit dhe skateringut (www.fiber-optic-cable-sale.com)

Grafiku i mëposhtëm na jep një pasqyrë të efekteve të atenuimit, pra, të skateringut dhe absorbimit, që paraqiten në fibrat optike, duke u bazuar në gjatësitë valore. Ku shihet qartë se atenuimi është i varur nga gjatësia e tij valore e dritës (e shprehur në mikron/metër) që udhëton nëpër një fibër, si dhe nga gjatësia e fibrës optike e shprehur në dB/km.

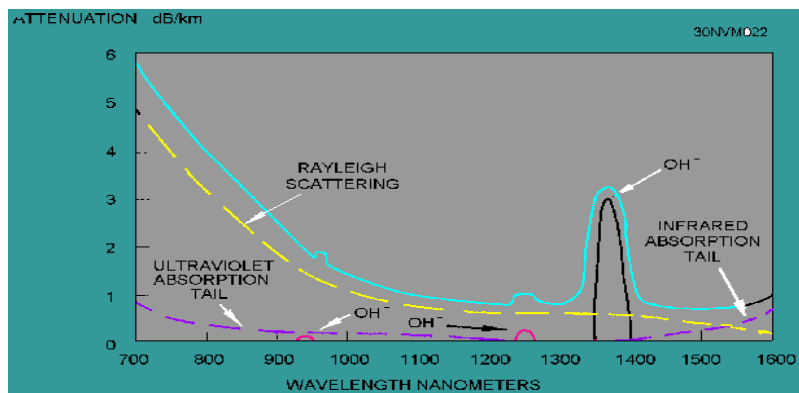


Figura 58. Atenuimi (www.tpub.com/)

Fig. 58 na paraqet atenuimin e sinjaleve, që është një marrëdhënie e ndërthurur nga faktorë si absorbimi, skateringu dhe humbjet bending, dhe shprehet në njësinë decibel/kilometër (db/km).

Fibrat optike, në bazë të kualitetit të transmetimit, janë të ndara në pesë regjione të gjatësisë valore: në 780 nm, 850 nm, 1310 nm, 1550 nm dhe 1625 nm, për shkak se në këto gjatësi valore paraqiten humbje më të vogla gjatë transmetimit në fibrat optike (D. R. Goff, 1999: f.27).

Në figurën e mëposhtme janë të paraqitura ndarjet e regjioneve, karakteristikat e transmetimit për secilën dritare të regjioneve, si dhe një historik i zhvillimit në vite i karakteristikave kualitative të transmetimit me fibra optike, ku duket qartë përmirësimi i performancave transmetuese duke u bazuar në kualitetin e fibrave optike dhe në zhvillimin çdo ditë e më shumë të teknologjisë transmetuese.

Duke u bazuar në atë çka iu referova më lart si regjione të gjatësisë valore, kemi që dritarja e parë 850 nm ishte regjioni i përdorur në teknologjinë LED dhe në atë të detektorëve.

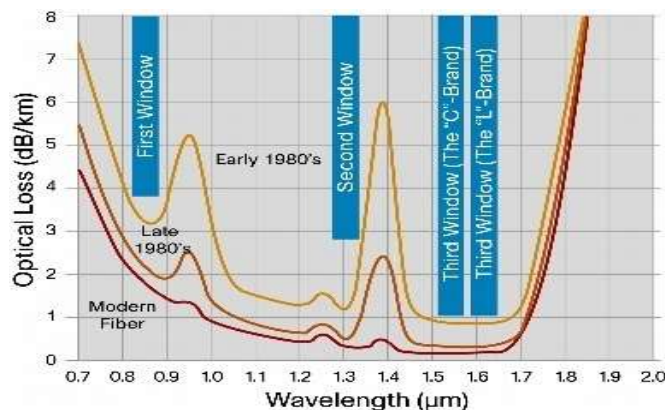


Figura 59. Krahassimi i ovulimit të humbjeve në kabllon optike në vite (www.cisco.com/)

Dritarja e dytë; në këtë regjion 1310 nm paraqiten humbje të vogla. Dritarja e tretë në regjionin 1550, ku humbjet në fibër janë të vogla, dhe është e përshtatshme për përdorim nëse kemi nevojë për përforcues apo përsëritës. Dritarja e katërt, në regjionin 1625 nm, përdoret për kapacitete me performanca të larta transmetuese.

2.7.7. BER (Bit Error Rate) dhe zhurma

Faktor me rëndësi që ndikon në dobësimin e sinjaleve të transmetuara është edhe BER-i (Bit Error Rate). Me BER kuptojmë numrin e bitëve të pranuar me gabime që vijnë në një marrës nga numri i bitëve të transmetuara pasi sinjali të ketë kaluar nëpër një kanal të komunikimit digjital e që është ndikuar nga humbjet e ndryshme, si interferenca, zhurma, humbjet, apo nga faktorë të tjerë, që ndikojnë në dobësimin e sinjaleve të transmetuara për një kohë të caktuar.

Për shembull, nëse marrim që kemi transmetuar një sekuençë të 10 bitëve

1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 - nëse tek marrësi i sistemit do të merrnim vlerat e bitëve

0 1 0 1 1 0 0 0 1 0 - shohim se kemi 4 bite që ndryshojnë tek marrësi në raport me bitët

hyrëse në sekuençën e sistemit të dhënë, pra themi se kemi 4 bite gabim, pra $BER = 4$.

Varësisht nga vlerësimi i gabimeve të BER bëjmë edhe leximin e tij. BER e lexojmë:

në bazë të raportit të bitëve të transmetuara me gabime në një interval kohor me totalin e bitëve të transmetuara, dhe e bëjmë vlerësimin në bazë të këtij raporti; mënyra tjetër e leximit ka të bëjë me BERatio-n, i cili shpreh numrin e bitëve me gabime të pranuar në marrës nga numri total i bitëve të transmetuara gjithashtu brenda një kohe të caktuar (Stamatios V. Kartalopoulos, 2008).

Për shembull, nëse bëjmë një vlerësim si në rastin e parë të humbjeve të bitëve në bazë të raportit të bitëve të transmetuara me gabime në një kohë të caktuar, për 10 gabime brenda një sekonde për një vlerë prej 10 Mbps do të kishim $10/10.000.000 = 0.000001$, apo, ndryshe, nëse këtë vlerë e konvertojmë në fuqi, na del që të kemi një rezultat në fuqi 10^{-6} . Pra, nga kjo edhe mund të konkludojmë se BER-i është një faktor që e mat kualitetin (që ndryshe njihet si Q-factor), dhe sa më e vogël të jetë vlera e bitëve me gabime (BER-i), aq më i mirë është faktori i kualitetit Q, dhe anasjelltas, sa më i lartë të jetë numri i bitëve me gabime, aq më i ulët do të jetë faktori i kualitetit, domethënë, do të kemi humbje më të larta në një linjë transmetimi.

Ne mund të aplikojmë skema koduese apo modeluese të ndryshme të kanaleve transmetuese në mënyrë që të reduktohen humbjat e BER-it.

2.7.8. OSNR

Zhurmat janë faktor tjetër që janë pjesë e rëndësishme e sistemeve transmetuese, e që kanë të bëjnë në lidhje me raportin e fuqisë së sinjalit të dobishëm (me informacion të dëshiruar) me fuqinë e sinjalit të zhurmshëm (G. Keiser, 2011: f.257-262), që paraqitet për shkak të humbjeve në kanalet e sistemeve transmetuese.

$$SNR = S/N \quad \dots \quad (13)$$

ku : S = fuqia e sinjalit (P_s)

N = fuqia e zhurmës në fotodektorë dhe amplifikatorë (P_n)

Gjithnjë duke iu referua formulës së mësipërme (13), do të bëjë sqarimet dhe llogaritje edhe në vazhdim. Për shkak se shumë sinjale kanë një shkallë të gjerë dinamike, ato i paraqesim në shkallë logaritmike në decibel (dB). Një përshkrim më të hollësishëm për rolin dhe kuptimin e njësisë së decibelit e gjeni në shtojcën e këtij punimi.

$$P_s(\text{dB}) = 10\log_{10}(P_s) \quad (14) \quad \text{dhe}$$

$$P_n(\text{dB}) = 10\log_{10}(P_n) \quad (15)$$

$$P_{\text{signal}}(\text{dB}) = P_s \quad \text{dhe} \quad P_{\text{noise}}(\text{dB}) = P_n$$

Pra, mundë të shkruajmë edhe

$$\text{SNR}(\text{dB}) = 10\log_{10}(\text{SNR}) \quad (16)$$

Dhe nëse zëvendësojmë ekuacionet e mësipërme do të marrim:

$$\text{SNR}(\text{dB}) = 10\log_{10}(P_s/P_n) \quad (17)$$

Nga ku nxjerrim në bazë të rregullave të veprimeve matematikore:

$$10\log_{10}(P_s/P_n) = 10\log_{10}(P_s) - 10\log_{10}(P_n) \quad (18)$$

Nëse përsëri zëvendësojmë nga ekuacionet e mësipërme marrim:

$$\text{SNR}(\text{dB}) = P_s(\text{dB}) - P_n(\text{dB}) \quad (19)$$

Nga ku na del qartë se raporti sinjale / zhurmë ka të bëjë me diferencën mes fuqisë së sinjalit të dobishëm dhe fuqisë së sinjalit me zhurmë.

Pra, faktorët si BER-i, SNR-ja, dhe faktorë të tjerë, ndikojnë shumë në kualitetin e sinjalit të transmetuar nëpër fibrat optike, që ndikohen edhe nga pajisjet e sistemit gjatë transmetimit; këto faktorë ia vlen të analizohen dhe të shqyrtohen më në detaje.

Më poshtë do të trajtoj hollësisht problemin se si llogaritet OSNR-ja (Optical Signal to Noise Ratio), që shpreh raportin e fuqisë së sinjalit dhe fuqisë së zhurmës në një brez te caktuar, dhe ka ndikim direkt në paraqitjen e kualitetit të faktorit, e që e përmenda më lart; se sa më

të vogla të jenë gabimet në BER (në këtë raste, zhurmat), aq më të vogla do të jenë humbjet në fibrat optike, siç shihet edhe në fig. 60 (B. Mukherjee, 2006). Dhe e shprehur me formula, si më poshtë, gjithnjë duke iu referuar referencës së mësipërme, do të kemi:

$$OSNR = 10\log_{10}(P_{s(W)}/P_{n(W)}) \quad (20)$$

Ku :

$P_{s(W)}$ – shpreh nivelin e fuqisë së sinjalit (W)

$P_{n(W)}$ – shpreh nivelin e fuqisë së zhurmave (W)

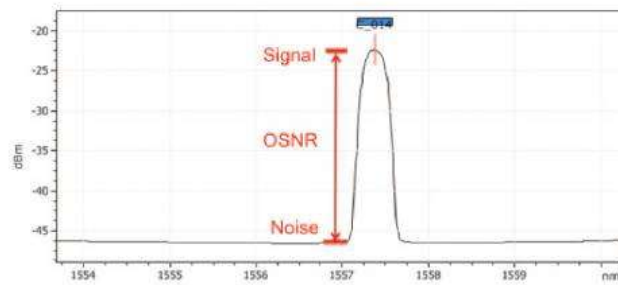


Figura 60. Paraqitja e raportit S/N në dB të nivelit të sinjalit P_s dhe nivelit të zhurmave P_n

Nëse tani i paraqesim nivelet e sinjalit dhe të zhurmës në dBm do të kemi:

$$OSNR = P_n \text{ (dBm)} - P_s \text{ (dBm)} \quad (21)$$

Ku: $P_s \text{ (dBm)}$ – shprehë nivelin e fuqisë të sinjalit në dBm dhe $P_n \text{ (dBm)}$ – shprehë nivelin e fuqisë të zhurmave në dBm.

OSNR-ja është vlera e zhurmave të cilat ndikojnë në sinjalin optik; zakonisht, për të llogaritur më saktë vlerën e këtyre zhurmave, matjet llogariten me Q-factor. Q-faktori është vlera absolute e kualitetit të sinjalit, dhe shprehet me formulën (S. V. Kartalopoulos, 2008):

$$Q = \sqrt{\frac{B_0}{B_e}} \times \frac{2OSNR}{\sqrt{4OSNR + 1} + 1} \quad (22)$$

B_0 – Brezi (Bandwidth) optik;

B_e – Brezi (Bandwidth) elektrik

Sikurse OSNR-ja, ashtu edhe Q-factor varet drejtpërdrejt nga humbjet në kablllo; nëse humbjet rriten, atëherë Q-factor zvogëlohet, d.m.th., sa më të mëdha janë humbjet, aq më i dobët është Q-factor (M. S. Ab-Rahman, Mastang and K. Jumari, *The Influences of Connectors and Adaptors to Fiber-To-The-Home Network Performance*, *American Journal of Applied Sciences* 9 (2), No. 186-195:2012). Pra, sa më e lartë të jetë vlera e BER-it, aq më e ulët do të jetë vlera e kualitetit të sinjalit, apo Q-faktorit. Performanca e sistemit është e kufizuar nga OSNR-ja, nga raporti sinjal-zhurmë. Kështu që, për të bërë vlerësimin e BER-it, së pari duhet të bëhet demultipleksimi i kanaleve të trafikuara nga DWDM-i, dhe pastaj bëhet vlerësimi i BER-it me ndihmën e analizatorit të spektrit të dritës OSA (Optical Spectrum Analyzer) (G. Keiser, 2011:f.605-608). OSA-ja nuk na tregon informacione direkte, e as në detaje, për bitët me gabime apo BER-in, e as për faktorët e tjerë që ndikojnë në performancën e sinjalit, por na tregon raportin mes fuqisë së sinjalit dhe zhurmave, çka ndikon që ne të kemi informacion të tërthortë edhe për vlerësimin e BER-it.

2.8. Rrjetat dhe teknologjitë transmetuese të sinjalit optik

Do të bazohem në rolin dhe rëndësinë e teknologjive të ndryshme që përdoren në sistemet e transmetimeve me fibra optike, do të shtjelloj teknologjitë transmetuese për menaxhimin dhe transmetimin e sinjaleve të cilat përdorin standarde dhe rregulla të përcaktuara nga Unioni Ndërkombëtar i Telekomunikacionit, ITU, si dhe ndarjen e brezave të gjatësive valore.

Do të shtjelloj përdorimin dhe rëndësinë e rrjetave optike në sistemin e telekomunikacionit.

2.8.1. Sonet/SDH

Duke u nisur nga ajo që përmenda më lart, se kemi standarde të ndryshme të multipleksimit, unë do të shtjelloj dhe do të fokusohem në standardet që kanë të bëjnë me transmetimet optike. Një nga këto standarde është edhe teknologjia e transmetimit të protokolleve të

standardizuara, SONET/SDH. SONET (Synchronous Optical Network) përdoret si protokoll standard i formatit të sinjaleve në Amerikën Veriore, ndërsa SDH (Synchronous Digital Hierarchy) përdoret në pjesën tjetër të botës (G.Keiser, 2011: f. 507). Edhe ky standard i teknologjisë transmetuese ka të bëjë me teknologjinë transmetuese të sinjaleve që bën të mundur transferimin e informacionit në mënyrë të sinkronizuar nëpërmjet fibrave optike duke përdorur dritën koherente nga diodat lazer apo LED, në mënyrë që të kemi një shfrytëzim sa më racional të kanaleve të transmetimit.

Teknologjia e transmetimit SONET/SDH arriti që të bëhet një standard unik, duke e bërë të mundur sinkronizimin e qarqeve të ndryshme të rrjetit për komunikim, dhe nuk është protokoll i komunikimeve, por është një protokoll i transportit (G. Keiser, 2011:f.507-5015). Në tabelat e mëposhtme janë të paraqitura disa nga standardet kryesorë të multiplekserave më të rëndësishëm, që janë të standardizuara në formatet e të dhënave të strukturuar nga organizatat e ndryshme ndërkombëtare që kanë të bëjnë me specifikat e operimit dhe raportet e metodologjive të kyçjeve.

Data Rate	DSO	ANSI	ETSI
64 Kbps	1	-	-
1.544 Mbit/s	24	T-1	-
2.048 Mbit/s	32	-	E-1
6.312 Mbit/s	96	T-2	-
7.786 Mbit/s	120	-	-
8.448 Mbit/s	128	-	E-2
32.064 Mbit/s	480	-	-
34.368 Mbit/s	512	-	E-3
44.736 Mbit/s	672	T-3	-
97.728 Mbit/s	1440	-	-
139.264 Mbit/s	2016	DS4NA	-
139.264 Mbit/s	2048	-	E4
274.176 Mbit/s	4032	T-4	-
400.352 Mbit/s	5760	T-5	-
565.148 Mbit/s	8192	-	E-5

Tabela 8. Tipet SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

Nga tabela e mëposhtme do të bëj disa krahasime. Njësia bazë e formatimin në SDH është një STM-1 (Sinkron Transport Module, niveli 1), që operon në 155.520 (Mbit/s). Pra, SONET i referohet SDH-së në këtë njësi themelore si STS-3C (Synchronous Transport Signal 3, concatenated). Kur STS-3 bën mbartje mbi OC-3, shpesh referohet si OC-3, por ky nuk është një përcaktim zyrtar në standardin SONET, pasi nuk ka diferenca në shtresat fizike (d.m.th., optik) në mes të STS-3 dhe STS-1; bartja kryhet brenda në OC-3 ("SONET/SDH Technical Summary". TechFest. TechFest.com. 2002. Retrieved November 2010).

SONET ofron një njësi bazë shtesë të transmetimit, STS-1 (Synchronous Transport Signal 1) ose OC-1, operon në 51.84 Mbit/s, që bart saktë një të tretën e një STM-1/STS-3/OC-3 (Horak, Ray, 2007 : fq. 476).

Optical Carrier	Data Rate	Payload-SONET (SPE)	User Data Rate	SONET	SDH
OC-1	51.84 Mbit/s	50.112 Mbit/s	49.536	STS-1	--
OC-3	155.52 Mbit/s	150.336 Mbit/s	148.608	STS-3	STM-1
OC-9	466.56 Mbit/s	451.044 Mbit/s	445.824	STS-9	STM-3
OC-12	622.08 Mbit/s	601.344 Mbit/s	594.824	STS-12	STM-4
OC-18	933.12 Mbit/s	902.088 Mbit/s	891.648	STS-18	STM-6
OC-24	1244.16 Mbit/s	1202.784 Mbit/s	1188.864	STS-24	STM-8
OC-36	1866.24 Mbit/s	1804.176 Mbit/s	1783.296	STS-36	STM-12
OC-48	2488.32 Mbit/s	2.4 Gbps	2377.728	STS-48	STM-16
OC-192	9953.28 Mbit/s	9.6 Gbps	9510.912	STS-192	STM-64
OC-768	40Gbit/s	-	-	STS-768	STM-256
OC-3072	160Gbit/s	-	-	STS-3072	STM-1024

Tabela 9. Tipet SONET (Synchronous Optical Network)

Vlera më e lartë që zakonisht vendoset është në qarkun OC-768 ose STM-256, që operon me vlerën prej 38,5 Gbit/s, dhe në qarkun OC-3072 ose STS 3072, dhe STM 1024, që operon në vlerën 160 Gbit/s ("Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Graphical Overview". Cisco. San Jose, California: Cisco India Systems. October 2006. Retrieved November 2010). Pra, sinjale të shumta SONET/SDH mund të transportohen në gjatësi të shumta valore nëpër fibra optike duke përdorur teknologjinë multipleksive DWDM ose CWDM. Nga kjo arrijmë në konkluzionin se teknologjia multipleksive DWDM është bazë për të gjitha komunikimet e qarqeve në distanca të largëta dhe komunikimet me kabllo optike nënujore e transoqeanike. Standardi SDH fillimisht është përcaktuar nga Instituti i Standardeve të Telekomunikacionit Evropian (ETSI), dhe është formalizuar si standard i Unionit Ndërkombëtar të Telekomunikacionit (ITU), ndërsa standardi SONET është përcaktuar nga Telcordia dhe Instituti Amerikan Kombëtar i Standardeve (ANSI).

2.8.2. Teknologjia WDM

WDM (Wavelength-Division Multiplexing) është një teknologji që ka të bëjë me multipleksimin e një numri të caktuar të sinjaleve mbartëse të informacionit në një fibër optike. Kjo teknikë mundëson komunikim në të dy drejtimet dhe bazohet në përdorimin e gjatësive valore (apo ngjyrave) të ndryshme të cilat dalin nga një burim drite (diodat LED apo Lazer), duke e multipleksuar edhe kapacitetin e informacionit pa shkaktuar humbje në transmetimin e informacionit mbartës. Si koncept, teknologjia WDM u trajtua në vitin 1978, ndërsa u realizua në mënyrë laboratorike në vitin 1980 duke përdorur në fillim vetëm dy sinjale të kombinuara. Ndërsa sistemet WDM të kohës së fundit mund të kombinojnë sinjale të shumta dhe, në këtë mënyrë, mundësojnë zgjerimin e kapacitetit të sistemit pa pasur nevojë për shtrirjen e fibrave të tjera optike, në po të njëjtin fibër optik rrisin kapacitetin e

transmetimit. Si për shembull, një sistem me 160 sinjale mund të bëjë zgjerimin e një sistemi bazë 10 Gbit/s nëpër një fibër *single-mode* (një fije të vetme) edhe në mbi 1.6 Tbit/s (G.Keiser, 2011: f.376-481), pra, kapaciteti i një linje transmetuese mund të zgjerohet duke bërë aktualizimin (upgrade) e multipleksereve dhe demultipleksereve në hyrje - daljet e sistemeve transmetuese. Gjithashtu, duke përdorur teknologjinë WDM dhe përforcuesit optikë (amplifikatorët), mund të rrisim kapacitetin dhe kualitetin e transmetimit për një kohë të gjatë pa pasur nevojë që të ndryshohet infrastruktura e kablllos, pra, pa pasur nevojë të shtrihet kablllo tjetër shtesë edhe në linjat transmetuese backbone, që lidhin shtetet apo kontinentet.

Teknologjia WDM zakonisht përdoret te linjat e fibrave optike *single-mode* (9μm), por disa lloje të caktuara WDM përdoren edhe tek fibrat *multi-mode* (S. V. Kartalopoulos, 2008).

Zakonisht teknologjia WDM përdoret në transmetimet me fibra optike, për shkak se kjo teknologji (WDM - wavelength-division multiplexing), që kuptohet edhe nga emri, merret në mënyrë tipike me përshkrimin e gjatësive valore krahasuar me teknologjitë e tjera, si, p.sh., FDM-ja (frequency-division multiplexing), që merret me mbartësit e radiofrekuencave. Mirëpo, si gjatësia valore, ashtu edhe frekuenca, shpeshherë hasen në marrëdhënie të ndërthurur me njëra-tjetrën, siç është rasti i përhapjes së shpejtësisë së dritës (c), ku në këtë rast kemi prodhimin (produktin) në mes gjatësisë valore (λ) dhe frekuencës (f) (G. Keiser, 2011: f.378), pra, kemi përshkrimin e dy termave që përshkruajnë konceptin e njëjtë. Pra, $c = \lambda f$.

Principi i funksionimit të sistemit WDM (wavelength-division multiplexing)

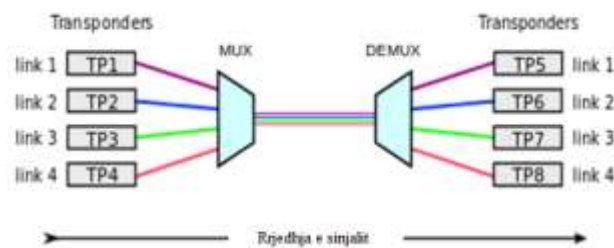


Figura 61. Paraqitja e skemës funksionuese të një WDM-i
(<https://precisionopticaltransceivers.wordpress.com/>)

Ndërsa në figurën e mëposhtme kam paraqitur një sistem të WDM-së nga kompania Nortel's (www.nortel.com).



Figura 62. Paraqitja e një sistemi WDM

Duke iu referuar figurës së mësipërme do të përshkruaj sistemin e WDM-së. Ky sistem përdor një multiplekser në transmitter në mënyrë që t'i bashkojë disa sinjale në një sinjal të vetëm transmetues, e një demultiplekser në marrës që bën ndarjen e sinjaleve të bashkuara më parë. Një sistem WDM përmban disa komponentë bazë, siç janë:

- Një terminal të multiplekserit WDM, i cili përmban një transponder për konvertimin e gjatësive valore për çdo sinjal me të dhëna, një multiplekser optik, dhe, sipas nevojës, edhe një përforcues EDFA. Ndërsa demultiplekseri përmban po ashtu një transponder që merr dhe bën konvertimin e gjatësive valore dhe ndarjen e multisinjaleve optike të ardhura në marrës në sinjale optike me të dhëna individuale, që pastaj kalojnë në përpunimin e radhës në sistemin e shtresës të klientit, siç është, p.sh., SONET/SDH. Pajisjet marrëse, në kontrast me burimet lazerike, tentojnë të bëhen pajisje me brez të gjerë. Prandaj demultiplekserët duhet të sigurojnë seleksionim të gjatësive valore të marrësit në sistemet WDM.

Sistemet WDM (Wavelength-Division Multiplexing) janë të ndara në bazë të modeleve me gjatësi valore të ndryshme, siç janë DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing), CWDM (Conventional/Coarse Wavelength-Division Multiplexing).

Sistemi DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) përdor transmetimin në brezin C të fibrave optike, që është 1,550 nm, dhe zakonisht përdor një densitet të hapësirës prej 40 kanalesh (channel spacing) në 100 GHz, por kemi raste të përdorimit të 80 kanaleve në hapësirën e kanaleve në 50 GHz (G. Keiser, 2011: f.376-381) (<http://www.infinera.com/>), me ç'rast dyfishohet numri i kanaleve të transmetuara, ndërsa disa teknologji kanë aftësi të transmetimit të më shumë kanaleve në hapësirën frekuencore të kanaleve 25 GHz dhe 12.5 GHz, që quhet Ultra Dense Wavelength-Division Multiplexing (www.telecomengineering.com).

DWDM-ja, siç e përmenda edhe me parë, i referohet direkt multipleksimit të sinjaleve optike në brezin 1550 nm, dhe është e përshtatshme për përdorimin e përforcuesit EDFA, i cili operon në brezin e gjatësive valore C 1530 - 1565 nm, si dhe në brezin L 1570 - 1610 nm. Për përforcuesit EDFA do të flas më vonë, por ia vlen të thuhet se përforcuesi EDFA është zbuluar pikërisht për të zëvendësuar SONET/SDH dhe rigjeneratorët e konvertimit optik-elektrik-optik (OEO), që në njëfarë forme ia ka dalë që teknologjitë të cilat i përmenda t'i nxjerrë si të tejkaluara, por jo jashtë përdorimit.

Në bazë të prezantimit në vitin 2002 të standardit të frekuencës së rrjetit të ITU-T G.694.1 (ITU-T G.694.1, "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid" ITU-T website), u arrit që WDM-ja të ketë qasje më të lehtë integruese me standardet e sistemeve që ishin më të përhapura më herët, siç ishte SONET/SDH.

Në fig. 63, më poshtë, kam paraqitur një rast në mënyrë skematike se si funksionon bashkimi i gjatësive valore në multiplekser dhe ndarja e këtyre gjatësive valore në demultiplekser. Siç edhe shihet në figurë, këto funksione të ndarjes dhe bashkimit të gjatësive valore bëhen me ndihmën e disa pasqyrave.

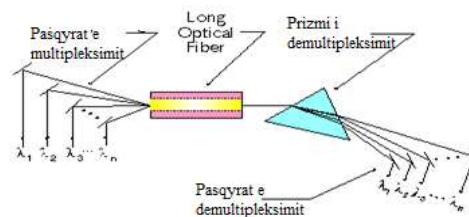


Figura 63. Skema e funksionimit të një multiplekseri dhe demultiplekseri të gjatësive valore (<http://www.atis.org/glossary/definition.aspx?id=536>)

Sistemi CWDM (Conventional Dense Wavelength-Division Multiplexing) përdor deri në 8 kanale në brezin transmetues C në 1,550 nm (ITU-T- (International Telecommunication Union- Telecommunication Standardization Sector)). Pra, i njëjtë me DWDM-në për kah brezi, por ndryshon për kah numri i kanaleve të transmetuara. CWDM-ja është e përshtatshme në distanca të shkurtra, p.sh., për transmetime në rrjetin metropolitan - *fiber to the home*.

Por që nga viti 2002, CWDM-ja është standardizuar nga ITU-ja (ITU-T G.694.2) për përdorimin e gjatësive valore nga 1270 nm deri 1610 nm, me një hapësirë të kanaleve 20 nm (ITU-T G.694.2, "WDM applications: CWDM wavelength grid" ITU-T website). Mirëpo, për arsye të vlerave të larta të atenuimit në gjatësitë valore nga 1270 nm – 1470 nm, duke iu referua standardeve ITU dhe duke u bazuar në specifikat e fibrës G.652, kjo pjesë e brezit të gjatësive valore konsiderohet si e papërdorshme. Pra, duke u nisur nga ajo që sapo përmenda më lart, WDM-ja, DWDM-ja dhe CWDM-ja bazohen në parime të koncepteve të njëjta të përdorimit të gjatësisë valore të dritës në një fibër, por ndryshojnë në numrin e kanaleve të

transmetuara, në aftësinë e amplifikimit të sinjaleve (nuk kanë kondita të njëjta amplifikuese); CWDM-ja është më e kufizuar në transmetime në distancë (si rrjedhojë, nuk është e përshtatshme për përdorimin e përforcuesit EDFA në distancë mbi 60 km), dhe ndryshojnë edhe në hapësirën e gjatësive valore.

Pra, teknologjia multipleksive DWDM është definuar që të aplikohet në vendet ku nevojitet performancë e lartë, trafik i madh i të dhënave dhe distanca të gjata, siç janë *backbone*, etj. Në fig. 64 është paraqitur DWDM-ja. Pika e frekuencës referuese është 196.10 THz, apo 1528.77 nm, në të cilën kemi $n \times 50$ GHz ($n = 1, 2, 3, \dots$), ku janë shtuar apo hequr për të gjeneruar rrjetin (I. P. Chochliouros, G. A. Heliotis, 2010). Në këtë rast të përdorimit, në brezin C dhe L përdoren gjithsej 320 kanale optike. Një krahasim më i dukshëm duket në fig. 64 më poshtë.

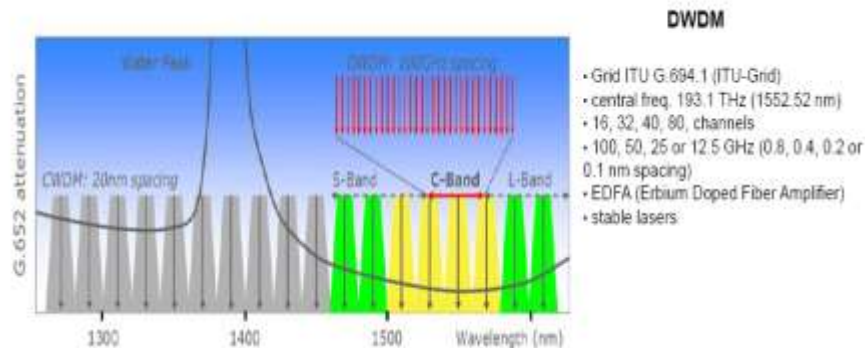


Figura 64. DWDM-Dence Wavelength Division Multiplexing (Telecom Slovenia Group, Joze Zaren, 2012, The Balkan DWDM Training Course, Prishtina, RKS)

CWDM-ja, Coarse Wavelength Division Multiplexing, është përcaktuar në 18 frekuenca të rrjetës optike prej 1280 nm deri 1640 nm, me hapësirë (ndarje) 20 nm (fig. 64). Teknologjia multipleksuese CWDM është përcaktuar për vendet ku nevojitet kosto e ulët apo distancë e

shkurtër, siç është LAN-i⁸; në fig. 65 është paraqitur më në detaje CWDM-ja (S. V. Kartalopoulos, 2008).

Në figurën e mëposhtme kam paraqitur skemën e multiplekserit CWDM-it, me ndarje frekuencore prej 20 nm mes kanaleve nga 1270 nm deri 1610 nm.

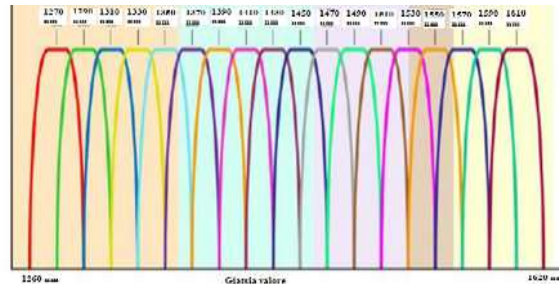


Figura 65. CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing (ITU.G.694.2)

Për shkak të këtyre dallimeve dhe kufizimeve të sistemit CWDM që i përmenda më sipër, DWDM-ja, edhe pse është sistem më i shtrenjtë, ka performanca më të mira të kapacitetit dhe distancës së transmetimit, dhe për këto arsye është shumë më e përdorshme.

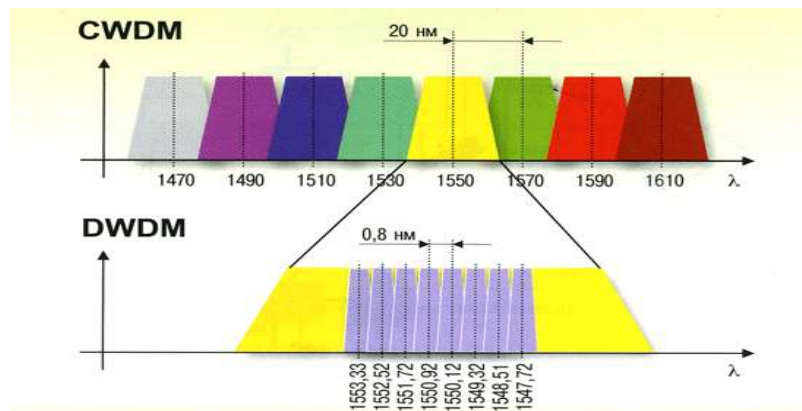


Figura 66. Një krahasim mes DWDM-së dhe CWDM-së (<http://www.fs.com/>)

Vlen të theksohet se kanalet transmetuese të secilit sistem të transmetimit janë të përcaktuara nga standardi internacional ITU (International Telecommunication Union).

⁸LAN-Local Area Network (Rrjeti lokal kompjuterik)

Tani na është e qartë se DWDM-ja është teknologji që bën transmetimin e disa gjatësive valore në një fije të vetme optike në një hapësirë të ngushtë në brezin 1550 nm. Këto hapësira të ngushta të gjatësive valore zakonisht janë 25 GHz, 50 GHz, 100 GHz ose 200 GHz, të cilat i korrespondojnë një vlere 0.8 ose 1.6 nm. Teknologjia e sistemit DWDM përfshin disa breza transmetimi, siç janë brezi C, brezi S dhe brezi L (G. Keiser, 2011: f.507).

Disa të dhëna për kapacitetet bartëse të fibrave optike sipas ITU-T⁹ janë të paraqitura në tabelën 10. Në tabelën e treguar më poshtë shihet se janë të paraqitura kapacitetet dhe teknologjitë përkatëse për bartjen e të dhënave duke përdorur fibrat optike. Pra, teknologjitë WDM/DWDM njihen sot si ndër më të avancuarat, dhe gjejnë zbatim të gjerë në linjat e gjata transmetuese, e që ndryshe njihen si linjat backbone, të cilat janë linja kryesore që lidhin qytetet, shtetet e kontinentet në mes tyre.

Sinjal	Shpejtësia e transmetimit	Kanalet optik	Protokollet
ODU	1.24416	OC-24	Ethernet, MPLS,
ODU	2.498775126	OC-48	Ethernet, MPLS,
ODU	10.03727392	OC-192	Ethernet, MPLS,
ODU	40.31921898	OC-768	Ethernet, MPLS,
ODU	104.7944458	40 x ODU1 ose 80 x	Ethernet, MPLS,

Tabela 10. Shpejtësia e transmetimit të të dhënave (Gbit/s) në kabllon optike sipas ITU-T

Pra, sistemet e teknologjive multipleksuese na bëjnë të mundur grumbullimin (multipleksimin) e një apo më shumë bartësve të sinjalit optik (optical carrier) në një sinjal të vetëm optik duke shfrytëzuar gjatësi të ndryshme valore (ngjyra të ndryshme) të dritës së lazerit (S. R. Murthy C., Guruswamy M., 2002), me specifika individuale të gjatësive valore, dhe, në fund, ndarjen e tyre në bazë të këtyre specifikave individuale të këtyre gjatësive

⁹ITU-T- (International Telecommunication Union- Telecommunication Standardization Sector)

valore, e kalimin në kanale të veçanta në bazë të adresimeve dhe standardeve të ITU-së, si në figurën e mëposhtme.

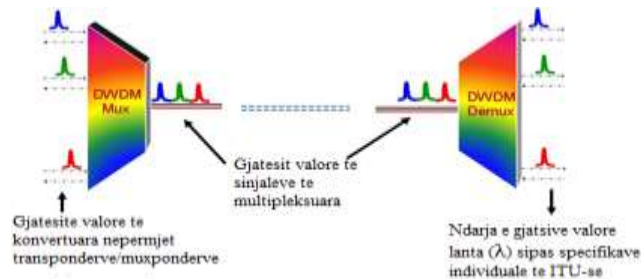


Figura 67. Teknologjia e sistemit DWDM (www.mytechcollecs.blogspot.co.at/)

Një kanal WDM mund të përmbajë në vetvete disa kanale optike (Optimal Channel), ku secili kanal optik mund të bartë 51.84 Mbps, ndërsa më lart e përmenda se disa kanale të tilla në teknologjinë e WDM-së mund të bashkohen në një multiplekser, i cili i bashkon kanalet në fjalë dhe i transporton me ndihmën e një rrezeje lazer, duke e bërë ndarjen e secilit kanal në një gjatësi valore përkatëse, e që është e ndryshme nga të tjerat.

Për shembull, nëse marrim sa për krahasim një sistem që transmeton 10 Gbit/s atëherë:

nëse kemi një kablo optike me 96 fije, secila fije mund të bartë maksimumi 160 kanale me nga 10 Gbps, kur dimë se një kanal i WDM-së, i cili bart 10 Gbps, përbëhet nga 192 kanale optike (OC) me nga 51.84 Mbps; nëse llogarisim në tërësi 96 fije x 160 kanale x 10 Gbps, rezultati total na del të jetë 150 Tbps, pra, kapaciteti maksimal që mund të gjenerojë trafik kjo kablo është 150 Tbps (Christopher C. Davis, Igor I. Smolyaninov & Stuart D. Milner, , Flexible Optical Wireless Links and Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 3, f. 51–57:2003).

Pra, sistemet WDM janë shumë popullore për operatorët e telekomunikacionit, sepse e bëjnë të mundur zgjerimin e kapacitetit të rrjetit pa pasur nevojë për shtrirjen shtesë të fibrave të tjera optike dhe të përforcuesve optikë (përfundim bëjnë transmetimet në distanca të gjata, ku përdoren edhe përforcuesit optikë, duke i bërë ato linja më efektive).

Në fig. 68 kam paraqitur një rast se si duken sinjalet e multipleksuara në një transmetim me sistemin e multipleksimit WDM, ku sinjalet janë paraqitur me ngjyra të ndryshme (ashtu siç

transferohen në bazë të karakteristikave valore të dritës). Ku secili sinjal me ngjyrë përfaqëson një kanal më vete, si në hyrje ashtu edhe në dalje.

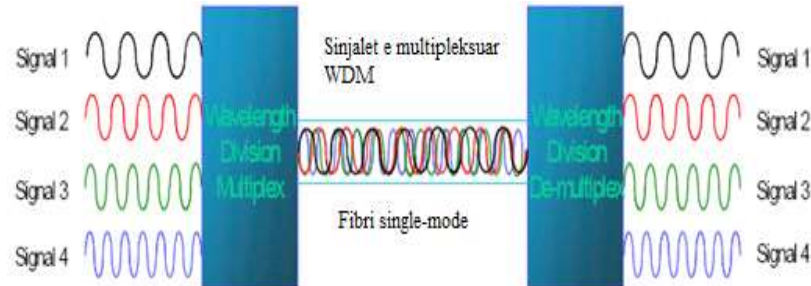


Figura 68. Sistemi WDM (www.fiberoptic101.blogspot.ca/2010/11/signal-multiplexing.html)

Më poshtë, në fig.69, kam paraqitur një figurë të sistemit të transmetimit DWDM me katër gjatësi valore dhe një përforcues EDFA. Në hyrje futen të dhënat e informacionit nga katër kanalet veç e veç, pastaj bëhet transferimi i tyre, dhe kalojnë nëpër një multiplekser DWDM, ku këto katër kanale multipleksohen, pastaj me ndihmën e një përforcuesi EDFA sinjalet përforcohen, dhe në fund ato demultipleksohen (ndahen) në katër kanale dhe kalojnë tek marrësit në dalje si sinjale të ndara në bazë të specifikave të gjatësive valore.

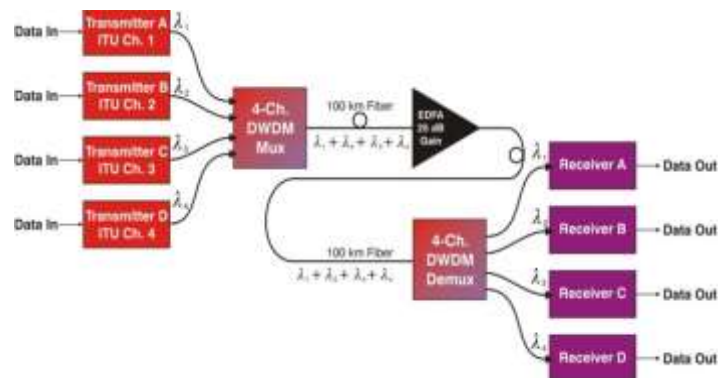


Figura 69. Sistemi i transmetimit DWDM me katër kanale dhe një përforcues EDFA (<http://www.olson-technology.com/>)

Zakonisht transmetuesit e sistemit WDM mund të transmetojnë vetëm në një kanal të vetëm, por ato mund të transmetojnë edhe në shumë kanale nëse multipleksohen. Pra, arsyeja që një

sistem WDM përdor rangun e transmetimit në gjatësitë valore në 1550 nm është se në këto gjatësi valore kemi humbje të vogla të sinjalit në kabllon optike (Ch. Roychoudhuri, N. Massa, 2000).

Duke u bazuar në atë që e përmenda më sipër, na del që brezat më të përdorur nga sistemi i teknologjisë WDM janë C dhe L.

2.8.3. Topologjitë e transmetimit WDM

Pra, e thashë edhe më lart se teknologjia e multipleksimit WDM është një teknologji që bën të mundur bartjen e informacionit të të dhënave duke përdorur disa gjatësi valore të ndryshme të dritës, të cilat pastaj multipleksohen në një rreze të vetme të dritës, dhe kjo rreze e dritës mund të transportohet në një fije të vetme të kabllove me fibra optike, siç duket edhe më poshtë, në fig.70 (M.Maier, 2008). Ekzistojnë tipe të ndryshme të transmetimit, siç janë transmetimi CWDM/DWDM point to point dhe transmetimi Ring.

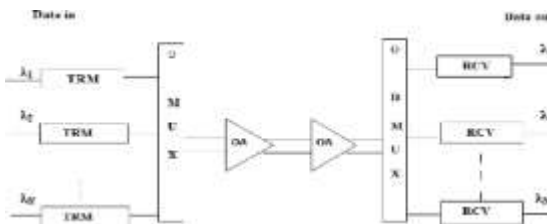


Figura 70. Transmetimi point-to-point i N kanaleve WDM (S. R. Murthy C.; Guruswamy M., 2002)

Qëllimi i përdorimit të kësaj teknologjie është shfrytëzimi maksimal i një fijeje optike për bartjen e të dhënave me kapacitete të larta, p.sh.:

duke shfrytëzuar 48 kanale OC-48 të gjatësive valore mund të barten të dhëna me kapacitet deri në 2.5 Gbit/s; në OC-192 kapaciteti do të jetë 10 Gbit/s. Në OC-768 mund të barten të dhëna me kapacitet deri në 40 Gbit/s, d.m.th., për çdo kanal mund të bartet 51.84 Mbit, ndërsa në OC-3072 mund të barten të dhëna me kapacitet 160 Gbit/s (B. Mukherjee, 2006) (Christopher C. Davis, Igor I. Smolyaninov & Stuart D. Milner, Flexible Optical Wireless Links and Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 3, f. 51–57:2003).

Më poshtë po paraqes një krahasim figurativ se si duket një transmetim CWDM/DWDM point to point dhe si duket një transmetim Ring, që përdoren varësisht nga kërkesat e përdorimit në sistemet e transmetimit.

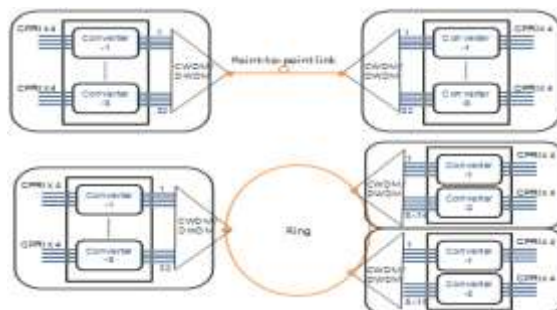


Figura 71. Transmetimi point-to-point dhe ring i N kanaleve DWDM/CWDM
(<http://www.netvisiontel.co.kr/korea/linkmux.php>)

Sa u përket teknologjive të sistemeve multipleksuese, ka shumë për t'u thënë e shkruar, por nuk do të vazhdoj më shumë, pasi tema në rastin tim nuk e ka për qëllim të thellohet më tepër në këtë fushë.

2.8.4. Multiplekserët optikë Add-Drop (Optical Add-Drop Multiplexers)

Sistemi i multipleksimit add-drop (Add-drop multiplexing - ADM) është një funksion i njohur në sistemin e transmetimit konvencional me metodat elektronike. Në komunikimet e sistemeve optike, OADM-ja (*optical add-drop multiplexer*) është e përshtatshme për përdorim në të gjithë multiplekserët, demultiplekserët, përforcuesit optikë, e kështu me radhë.

Termet “add” dhe “drop” i referohen në këtë rast aftësisë apo mundësisë që një pajisje të ketë mundësinë të mbledhë (add) një gjatësi valore të kanaleve në një sinjal ekzistues të disa gjatësive valore WDM, apo t'i largojë a t'i fshijë (drop) një ose më shumë kanale, që t'i kalojë pastaj këto sinjale në një shteg tjetër të rrjetit ("Electrical Engineering Glossary Definition for ADM").

Në sistemin e rrjetit DWDM, funksioni kryesor i multiplekserëve optikë OADM është që në mënyrë selektive t'i largojë një ose më shumë kanale nga një fibër optik, t'i mbartë (t'i kalojë) kanalet e mbetura nëpër OADM, dhe t'i kthejë (apo t'i mbledhë përsëri) të njëjtat kanale, si

në fig. 72. OADM-ja mund të ketë gjatësi valore fikse ose gjatësi valore dinamike të selektuara (B. Mukherjee, K. XI: Optical Communication Networks, McGraw-Hill, New York, 1997.) (<http://ftp.utcluj.ro>), por që nuk është pjesë për trajtim më të gjerë në rastin e studimit tim.

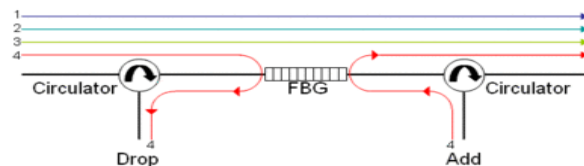


Figura 72. Mux. OADM duke përdorur një FBG dhe dy cirkulatorë (www.optiwave.com/)

Ndërsa më poshtë kam paraqitur një figurë të përdorimit të një multiplekseri OADM me një reflektor FBG¹⁰ (fiber Bragg grating), ku duket qartë ndarja e spektrit të sinjalit hyrës në spektrin e sinjalit të reflektuar dhe në spektrin e sinjalit të transmetuar.

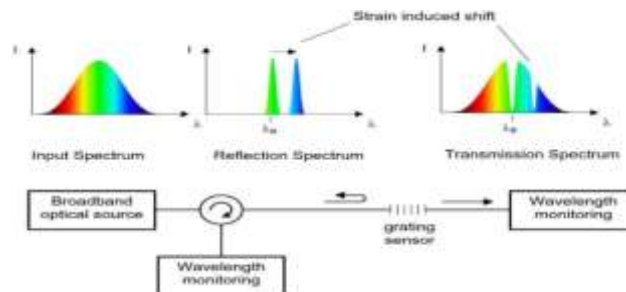


Figura 73. Paraqitja e një multiplekseri OADM dhe roli i reflektorit FBG në ndarjen e spektrit të sinjalit.(<http://www.mdpi.com/>)

Më poshtë, në fig. 74, kam paraqitur një sistem të transmetimit me multiplekserët OADM, i cili bën selektimin e kanaleve në një sistem komunikimi me fibra optike.

¹⁰ FBG- është një lloj reflektori shpërndarës Bragg i ndërtuar në një segment të shkurtër të fibrës optike që reflekton gjatësit valore të veçanta të dritës dhe i transmeton të gjitha të tjerat.

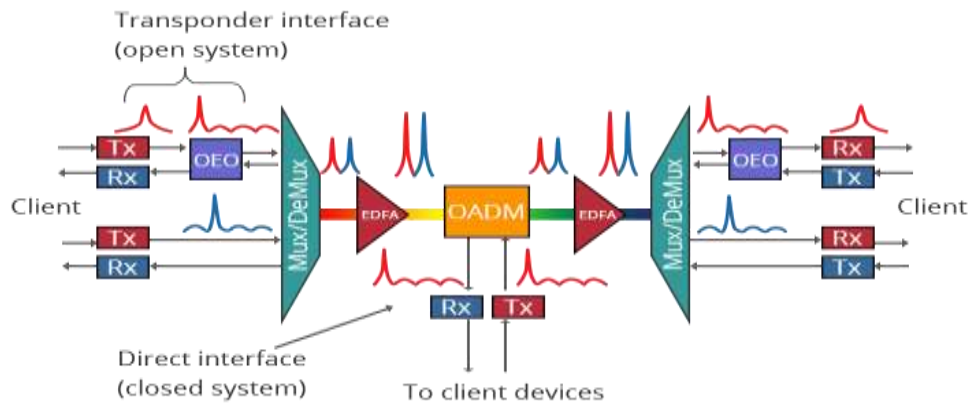


Figura 74. Skema e një sistemi me përdorimin e multiplekserëve OADM.
(<http://fernxu.over-blog.com/>)

2.9. Brezat (Bandat) e transmetimit

Brezat (apo bandat) e transmetimit janë elemente shumë të rëndësishme, dhe janë të përcaktuara në mënyrë strikte nga Unioni Ndërkombëtar i Telekomunikacionit, ITU. Aty janë të përcaktuara saktë dhe në mënyrë strikte përdorimi i kanaleve të transmetuara në brezin e lejuar dhe të akorduar nga ITU-ja.

Dritarja e dytë dhe e tretë janë të nënndara në këto gjatësi valore të brezave:

Brezi	Përshkrimi	Rangu i gjatësisë valore
Brezi O	Original	1260–1360 nm
Brezi E	I zgjeruar	1360–1460 nm
Brezi S	Gjatësit valore te shkurta	1460–1530 nm
Brezi C	Konvencional (“erbium window”)	1530–1565 nm
Brezi L	Gjatësit valore të gjata	1565–1625 nm
Brezi U	Gjatësit valore ultra të gjata	1625–1675 nm

Tabela 11. Ndarja e brezave të transmetimit (G. P. Agrawal, 2002)

Duke iu referuar tabelës së mësipërme, më poshtë po sqaroj ndarjen e brezit të transmetimit në gjatësitë valore.

Dritarja e parë e brezit përdor gjatësi valore nga 800–900 nm, ku diodat lazer bazë, të përbëra nga GaAs/AlGaAs dhe LED (light emitting diodes), shërbenin si transmetuese, ndërsa fotodiodat e silikonit përdoreshin për marrësit (N. A. Olsson, 1989: f.1071). Mirëpo në këtë regjion humbjet janë relativisht të larta dhe përforcuesit e fibrave optike nuk ishin të zhvilluar për të operuar në këtë regjion spektral. Prandaj kjo dritare e parë e brezit 800-900 nm është e përshtatshme vetëm për transmetime në distanca të shkurta.

Dritarja e dytë e brezit përdor gjatësi të valore 1.3 μm (1300 nm), ku humbjet e fibrave optike nga siliciumi janë shumë më të ulëta dhe dispersioni kromatik është shumë më i dobët, dhe kështu që zgjerimi i shpërndarjes është më i minimizuar (N. A. Olsson, 1989: f.1071). Kjo dritare e brezit 1300 nm (e bazuar në qelqin e dopuar me praseodymium), edhe pse ka një dispersion më të ulët (ka rritje të efekteve të jolineariteteve optike), është përdorur për transmetime të gjata, por është më e dobët sesa transmetimi në gjatësi valore 1500 nm, i bazuar në qelqin e dopuar me erbium.

Dritarja e brezit të tretë përdor gjatësi të valore 1.5 μm (1500 nm) dhe shfrytëzohet shumë; humbjet e fibrave optike janë shumë të ulëta dhe përforcuesi i fibrës optike me erbium të dopuar (EDFA) është i përshtatshëm e ofron performancë shumë të lartë, megjithëse ka paraqitje të dispersionit të çrregullt, por brenda tolerancës së transmetimit, dhe mund të tolerohet me përdorimin e fibrës me dispersion të zhvendosur DSF (dispersion-shifted fibers) (N. A. Olsson, 1989: f.1071).

Dritaret e brezit të dytë dhe të tretë janë të nënndara në këto breza të gjatësive valore si në fig.75.

Më poshtë po paraqes një fig. që shfaq ndarjen e brezave transmetuese WDM, aplikimet dhe paraqitjen e fenomenit të nivelit të atenuimit në bazë të rangut të përcaktuar në nanometra.

Duket qartë nga figura e mëposhtme se niveli i atenuimit është më i lartë në brezin E të gjatësive valore; në këtë nivel të brezit, atenuimi është i lartë si për transmetimin me fibra

optike *multi-mode*, ashtu edhe për ato *single-mode*. Ndërsa niveli më i ulët i atenuimit është në brezin e gjatësive valore S, C dhe L (S. V. Kartalopoulos, (2008).

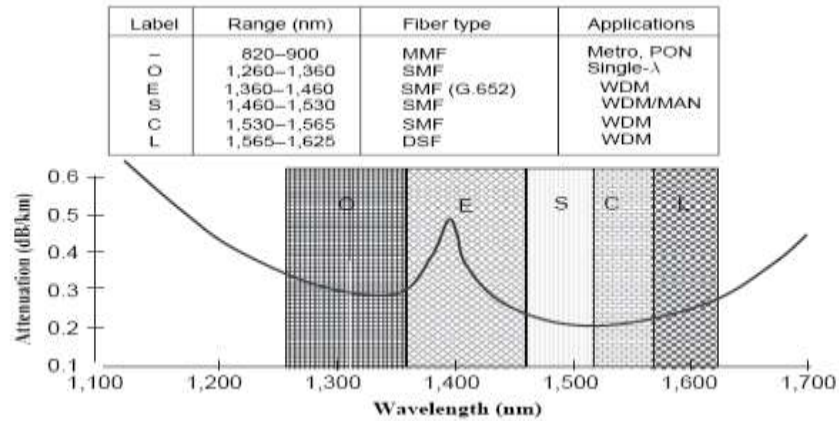


Figura 75. Brezat WDM në spektrin e komunikimit optik

2.10. Rrjetat optike

Rrjetat optike kanë të bëjnë me komunikimet të cilat përdorin sinjalet e dritës në mënyrë që të transmetojnë informacionin me të dhëna në pika (nyje) të ndryshme, të lidhura njëra me tjetrën në një rrjetë të sistemit të telekomunikacionit.

Për të rritur kapacitetin e transmetimit në një linjë të fibrave optike, hulumtues të shumtë bëjnë kërkime të vazhdueshme për t'i bërë gjithnjë e më të sofistikuarat metodat e transmetimit për vlera të larta transmetuese. Deri tani është arritur që të zhvillohen metoda me vlera operuese 10, 40, 100, 160 Gbit/s (G. Keiser, 2011: f. 483), si dhe metoda më të avancuara 400 e 640 Gbit/s në sistemin e transmetimit me fibra optike, e që janë në fazën e eksperimentimit.

Në fig. 76, më poshtë, kam paraqitur një rrjetë optike. Pra, edhe rrjetat optike janë të organizuara në shtresa (layers). Katër shtresat e paraqitura në figurën 76 janë shtresa e

transmisionit optik, shtresa e transportit optik, shtresa e protokollit të transportit SDH/ATM, dhe shtresa e shërbimeve dhe aplikacioneve.

Shtresa e transportit optik ka të bëjë kryesisht me lidhjen e njësive qendrore/kryesore, siç janë OADM (Optical Add-Drop Multiplexer), OXC (Optical Cross-Connect), BSHR (Bidirectional Self Healing Ring – SDH/SONET), USHR (Unidirectional Self Healing Ring - SDH/SONET). Shtresa e protokollit të transportit SDH/ATM është shtresa e cila lidh njësitë qendrore të rrjetit optik me nyjet e standardeve të protokolleve SDH/ATM nëpërmjet STM-së (Synchronous Transport Module) me ATM-në (Asynchronous Transfer Mode), e që quhet edhe shtresa elektrike e swiche/multiplexer-it. Ndërsa shtresa e tretë bën lidhjen e shtresës së protokolleve me serverët e shërbimeve të sesionit, prezantimit dhe aplikimit (G. Keiser, 2011 : f. 493-499)).

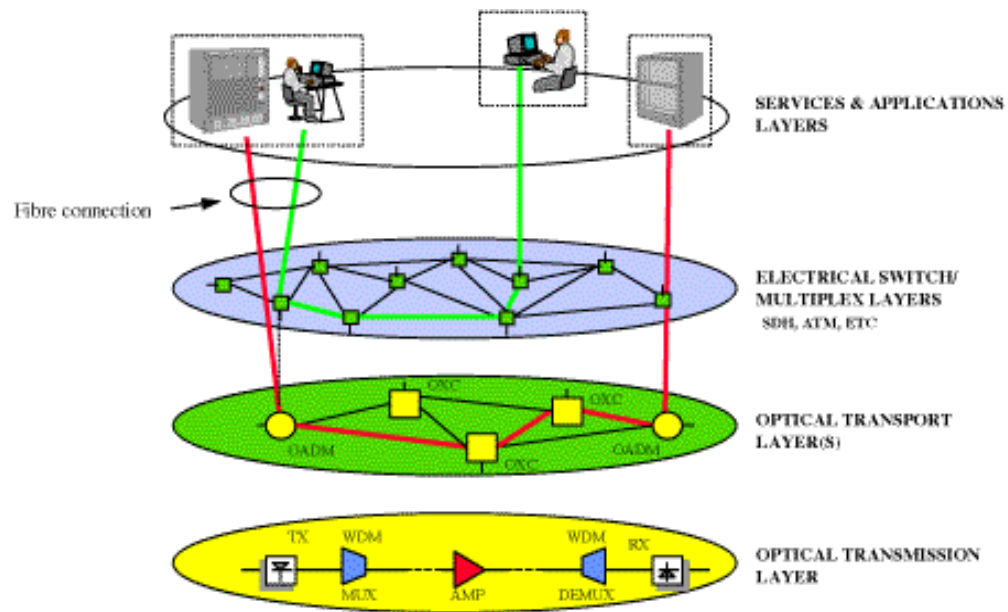


Figura 76. Modeli i shtresave të rrjetit optik na tregon raportin mes shtresës optike dhe shtresave të larta të rrjetit (<http://cordis.europa.eu/infowin/acts/analysys/general/acts97/guide/chap5.htm>)

2.10.1. Llojet e rrjetave optike

Rrjetat optike ndahen në bazë të distancës së operimit si rrjetat LAN (Local-Area Network), të cilat operojnë në distanca të shkurtra (në qytete), apo në rrjetat WAN (Wide-Area network), që operojnë në distanca metropolitane, regjionale, dhe në distanca të gjata nacionale e ndërkombëtare.

Në fig. 81, më poshtë, kam paraqitur një rrjet optik metropolitan, që lidh një qendër metropolitane me shërbimet e tjera të sistemeve të komunikimit.

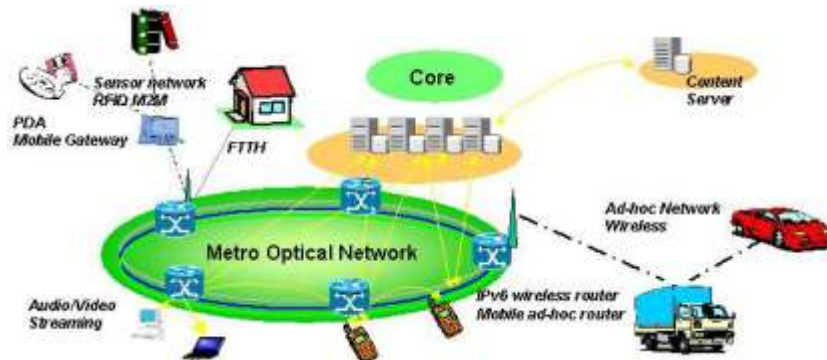


Figura 77. Arkitektura e rrjetit metropolitan optik (www.pnrl.stanford.edu/mona)

Rrjetat optike sot janë ndër komunikimet më të përdorshme për arsye se kanë gjerësi brezi dhe kapacitet të madh në bartjen e informacionit në teknologjinë e internetit dhe të komunikimeve të tjera të rrjetit. Në përbërjen e tyre, këto rrjeta të komunikimeve përmbajnë transmetues, multiplekserë, amplifikues optikë, burime të dritës, si dioda LED e lazer, si dhe teknologji të tjera që kanë të bëjnë me sistemin e transmetimit me kabllo të fibrës optike, e pastaj switcha optike (që e dërgojnë dritën direkt në mes dy porteve, pa pasur nevojë të konvertohet sinjali optikë-elektronik-optikë).

Si komponentë kryesore të transmetimit të rrjetave optike përdoren fibrat *single-mode* dhe fibrat *multi-mode*.

Ia vlen të përmendet se zbulimet që ndikuan në rritjen e performancës së sistemeve të komunikimit me rrjetin e fibrave optike kanë bërë të mundur ndarjen e valëve të dritës në frekuenca me diferencë më të vogla se 50 GHz.

Pra, baza e zhvillimit të teknologjisë së rrjetave optike qëndron në aftësinë e gjerësisë së brezit të transmetimit në mënyrë që të bëhet e mundur bartja e të dhënave dhe informacioneve në një sistem të transmetimit i cili rritet në mënyrë shumë të shpejtë (Winzer, P.J. "Optical

Networking Beyond WDM,” IEEE Photonics Journal, Vol. 4, No. 2, April 2012, f. 647-651).

Këto sisteme gjenerojnë trafik shumë të lartë, që në vetvete përmbajnë rrjete sociale, portale me informacione të ndryshme, shërbime audio/video, telemedicinë, shkencë, cloud-computing, aplikacione të Web-it me transaksione financiare (Zhou, X., et al., “64-Tb/s (640×107-Gb/s) PDM-36QAM transmission over 320 km using both pre- and post-transmission digital equalization,” Conference on Optical Fiber Communication/National Optical Fiber Engineers Conference, March 2010, San Diego, CA), e shumë e shumë shërbime të tjera, të cilat kalojnë apo drejtohen nëpërmjet trafikut protokollar të internetit (Internet Protocol-IP).

Disa kompani të njohura botërore bëjnë parashikime edhe në nivel global të zhvillimit të trafikut, siç është rasti me Cisco Visual Network, që parashikon se në vitin 2016 do të arrijë trafiku në vlerën zettabyte (10^{21} byts) (http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html), ndërsa kjo tendencë e përdorimit të transmetimit me rrjeta optike do të rritet vazhdimisht pikërisht për shkak se ofron një gjerësi të brezit të përdorimit shumë të gjerë, dhe si rrjedhojë ofron mundësi të transmetimit me një kapacitet të lartë.

- Rrjetat e teknologjisë optike janë të definuara në bazë të standardeve të përdorimit.

Ka rekomandime të specifikuara qartë nga Unioni Ndërkombëtar i Telekomunikacionit, ITU (International Telecommunication Union), i cili e ka definuar standardin e operimit në rrjetë të njohur si Recommendation G.709, dhe që zakonisht quhet rrjeti i transportit optik, Optical Transport Network (<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/en>).

Teknologjia e rrjetave optike përdor standarde të protokolleve të ndryshme sa i përket qasjes në rrjeta, siç janë:

- Synchronous Optical Networking (SONET)
- Synchronous Digital Hierarchy (SDH)
- Asynchronous Transfer Mode (ATM)
- Gigabit Ethernet

Ekzistojnë edhe disa lloje të tjera të rrjetit të fibrave optike, siç janë:

- Rrjeti optik në hapësirë të hapur (free-space optical networks)
- Rrjeti optik pasiv (passive optical network)
- Rrjeti optik në free-space – përdor shumë parime të njëjta sikur rrjeti i fibrës optike, por dallimi qëndron në atë se në rrjetin optik free-space sinjalet transmetohen në hapësirë të hapur, pra, pa përdorimin e fibrave optike. Në këtë rast përdoren për lidhjen e rrjetave të përkohshme LAN në një qendër tregtare ose shkollore, apo në komunikimin mes satelitëve.
- Rrjeti optik pasiv (passive optical network) – siç duket edhe nga emri, është një rrjet pasiv optik që përdor ndarës (splitters) optik pa fuqi, në mënyrë që ta lidhë një fibër me disa fibra të tjera lokale.

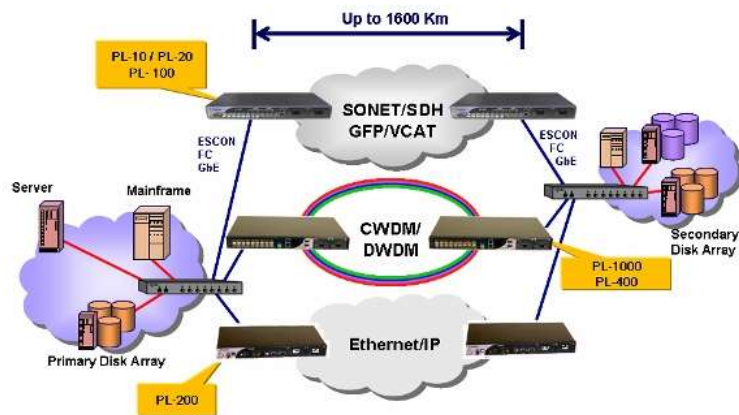


Figura 78. Paraqitja e një sistemi të rrjetit optik (www.sx-de-tx.wikispace.com)

2.10.2. Interface (ndërfaqja) e rrjetit optik

Në mënyrë që të jetë i mundur komunikimi në mes rrjeteve të ndryshme internacionale, është i domosdoshëm definimi i interfejsit, standardeve dhe entiteteve të tyre, me qëllim ndërveprimin midis tyre, pasi dihet se këto lloje produktesh harduerike dhe softuerike prodhohen nga prodhues të ndryshëm. Prandaj është e domosdoshme që këto pajisje të jenë kompatible dhe të punojnë së bashku në një rrjetë të standardizuar. Paramendoni sikur në këtë rrjetë komplekse milionëshe ndërkombëtare të mos ketë standarde të implementimit, dhe të mos ishin kompatibël me njëri-tjetrin, a do të mund të kuptoheshim dhe të komunikonim? Prandaj ekzistojnë standardet dhe protokollet e komunikimit, për të pasur mundësi komunikimi me sistemet e rrjetave të ndryshme.

Një interfejs në mes dy pikave të një rrjeti definon ndërlidhjen fizike, protokollin dhe përgjegjësit. Ekzistojnë disa lloje të interfejsave, protokolleve dhe topologjive të lidhjes, siç janë protokollet SDH/SONET, ATM, IP, etj. Pastaj topologjitë fizike: topologjia ring, line, mesh, star, tree, bus (S. V. Kartalopoulos, 2008 : f.186) (G. Keiser, 2011 : f.499).

Ekzistojnë dy lloje bazë të topologjisë së rrjetave (<http://sunlight.sunesys.com/2013/03/12/fiber-optic-network-topologies/>), e ato janë:

1. Topologjia fizike
2. Topologjia logjike

Topologjia fizike - ka të bëjë me aspektet e shtrirjes së kabllos, me pajisjet e rrjetave të shpërndara në lokacione dhe që karakterizohen nga kërkesat e rrjetit, gjendja e tyre, etj.

Topologjia logjike - ka të bëjë me atë se si do t'i qasemi rrjetës dhe pajisjeve të saj, çfarë kërkesash kemi, duke marrë në konsideratë edhe specifikat e rrjetës aktuale.

2.11. Teknologjitë e përforcimit të sinjalit optik

2.11.1. Teknologjitë e përforcuesit optik

Duke u nisur nga nevoja gjithnjë në rritje e rrjetave të komunikimeve në fushën e telekomunikacionit, më herët ishte shumë e vështirë të arrihej mbulimi dhe mbështetja e kapaciteteve të kërkesave në komunikimin e transmetimeve të gjeneratës së parë të sistemit me fibra optike të viteve 70. Me zhvillimin e teknologjisë në fushën fotonike, zbulimin e diodave lazer, detektorëve të shpejtë, modulatorëve të burimeve të dritës, duke përmirësuar kapacitet e transmetimit dhe duke i ulur kostot, sidomos me zhvillimin e amplifikuesve të fibrave me erbiut të dopuar (EDFA, erbium – doped fiber amplification), u arrit një lloj revolucion duke ulur koston në rrjetin e transmetimeve në distanca të largëta dhe duke mënjeluar përdorimin e përsëritësve (repetitors) të shtrenjtë. Kjo u arrit në vitin 1989 nga zhvilluesit e transmetimeve të sistemeve nënujore (Becker, Olsson, Simpson, 1999). Ky sistem përdori komponentin e teknologjisë së multipleksërve WDM (Wavelength Division Multiplexing), dhe kishte mundësi në atë kohë të bënte bartjen e më shumë se 16 kanaleve në një fibër *single-mode*, me tendencë rritjeje në 100 kanale në sistemin e transportit.

2.11.2. Përforcuesit optik

Shtrohet pyetja, çka kuptojmë me përforcues optik? Para se t'i përgjigjem pyetjes së parashtruar, do të ishte me interes të njohim historikun e zhvillimit të përforcimit të valëve optike.

Përforcimi i valëve optike si koncept u paraqit qysh në vitin 1962 nga dy hulumtues, Geusic dhe Scovil, ndërsa u zbulua në vitin 1964 nga E. Snitzer, prej një kompanie amerikane të angazhuar në fushën e optikës. Ai demonstroi një përforcues të fibrës të dopuar me elementin neodimium (Nd) në 1060 nm (1,06 µm); fibra kishte një gjatësi 1m, me bërthamë 10 µm, dhe një mbështjellës nga 0,75 deri 1,5 mm, dhe mbështjellësi përreth një llambe flash (blic), e cila i eksitonte jonet e neodimium-it (Becker, Olsson, Simpson, 1999 : fq.5)).

Mirëpo këto zbulime ishin akoma hulumtime laboratorike e në fazën eksperimentale, dhe nuk kishin gjetur vendin e tyre, derisa u zbulua fibra optike prej xhamit silica (SiO_2) për përdorim në fushën e telekomunikacionit në fillim të viteve '70. U bënë shumë hulumtime të tjera, gjersa u arrit që fibra optike të ketë një diametër më të vogël. Dhe në fund të viteve '70, hulumtuesit Stone dhe Burrus, nga Laboratori i Bell Telephone (J.Stone C.A. Burrus, A. Dentai, and B.I. Miller, Application Physic.Lett.29, USA, 1976 : f.37), arritën të bëjnë zbulimin e pajisjes potenciale të një lazeri të dopuar nga elementet e rralla në diametër të vogël të fibrës me kristal, me bërthamë me diametër 15 μm , e cila ishte e dopuar me elementin e neodymium-it (Nd), me një mbështjellës nga silica e rangut 25 μm dhe 75 μm ; një pajisje që arriti të jetë e përshtatshme për një lazer me gjatësi valore 1060 nm për përdorim në sistemet e transmetimit me fibra optike. Mirëpo këto zbulime, siç e thashë edhe më lart, ishin eksperimentale, dhe nuk arritën që të gjejnë aplikim në përdorim të gjerë. Në vitin 1983 u vijua me demonstrimin e dopimit të elementeve të rralla në fibrën *single-mode* nga hulumtuesit Broer dhe Simpson në Laboratorin e Bell Telephone (Becker, Olsson, Simpson, 1999 : f.6), ku tani fibra optike e prodhuar nga silica (SiO_2) dhe e dopuar me elementin e neodymium-it megjithëse kishte përformanca më të mira transmetuese, akoma kishte një humbje të lartë, prej 8 dB/km në 1380 nm. Kështu u vazhdua me hulumtime të njëpasnjëshme për shkak të nevojës gjithnjë e më të madhe të rritjes së kapacitetit në linjat e transmetimit, si lokale (linja të shkurtra), ashtu edhe ndërkombëtarë (në linja të gjata).

Në vitin 1987 u bënë hulumtime nga laboratorit AT&T Bell dhe Universiteti i Sauthemptonit (UK) (R. J. Mears, L. Reekie, I. M. Jauncie and D. N. Payne, “ *High-gain rare-earth doped fiber amplifier at 1.54 μm* ”, in Optical Fiber Communication Conference, vol.3, 1987. OSA Technical Digest Series, (Optical Society of Amerika, Washington, DC, 1987 : f 167), dhe u

arrit që të zhvillohen edhe përforcuesit e fibrave *single-mode* me erbium të dopuar për përforcimin e valëve të sinjaleve prej 1,5 μm . Ato iu referuan hulumtimeve dhe eksperimenteve që ishin bërë deri atëherë, dhe arritën që të konkludojnë se elementi i erbiumit (Er^{3+}) ishte ndër elementet e rralla në tokë që i përshtatej më së miri përforcuesit të sinjalit në sistemin e transmetimit me fibrat optike *single-mode* në 1,5 μm . Për këtë zbulim pati një interesim të madh në opinionin e gjerë ndërkombëtar, dhe ai i parapriu bumit të përdorimit të fibrave optike *single-mode* në sistemin e transmetimit, që edhe në ditët tona janë shumë aktuale si rezultat i mundësisë së transmetimit në shpejtësi dhe kapacitete shumë të larta. Por ia vlen të theksohet kontributi i hulumtuesit Nakazawa, i cili në vitin 1989 arriti të demonstrojë një përforcim shumë të efektshëm të fibrave *single-mode* me erbium të dopuar, të pompuar nga një diodë lazer (M. Nakazawa, Y. Kimura, and K. Suzuki, Appl. Physic.Lett.54, 1989 : f. 295). Ai shfrytëzoi një pompë lazerike që ishte në gjendje të përdorte fuqi të lartë prej 1.48 μm , që ishte e përshtatshme për pompimin e gjatësive valore të përforcuesve me erbium në rangun 1.53 μm deri 1.55 μm , duke iu referuar hulumtimeve të bëra nga Nakazawa dhe Snitzer, që i përmenda më sipër. Pra, nga kjo që e veçova më lart, lirisht mund të konkludojmë se përforcuesit optikë filluan të kenë impakt shumë të madh që prej zbulimit të përforcuesve EDFA nga viti 1989, duke arritur t'u përshtaten gjeneratave të reja të sistemeve të transmetimit në shpejtësi dhe kapacitete të larta pa pasur nevojë të shtrirjeve të kabllave optike shtesë, ndërsa këto zhvillime kanë ndikuar edhe në uljen e kostove të sistemeve të transmetimit. Vitet '90 njihen si faza ku përdorimi i përforcuesve EDFA ndikoi shumë në zhvillimin më të madh në sistemet e transmetimit me fibra optike edhe në distanca tejoqeanike dhe nënujore. Në këtë periudhë u zhvilluan me të madhe edhe pajisjet e tjera optike në fushën e teknologjisë së transmetimit me fibra optike, siç janë edhe

pajisjet për procesimin e sinjaleve, të kualitetit të fibrës optike, pajisjet marrëse dhe transmetuese të sinjalit, e pajisjet e tjera shoqëruese, që do t'i përmend gjatë trajtimit të temës në fjalë.

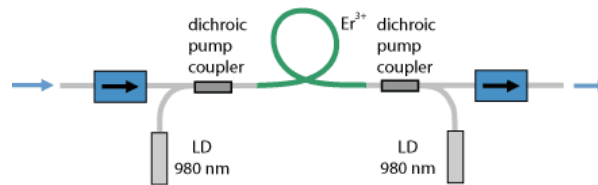


Figura 80. Konfigurimi skematik i një përforcuesi të thjeshtë të fibrës me erbiun të dopuar (stimuluar) (E. Desurvire, 1990).

Nga figura 80 shohim skemën e paraqitur të një përforcuesi të thjeshtë EDFA, ku vërejmë se dy dioda lazer (LD) sigurojnë fuqinë e pompës për fibrën me erbiun të dopuar, duke e lejuar atë që ta përforcojë dritën me gjatësi valore rreth 1550 nm. Ndërsa dy izolatorë Faradei janë përdorur që të reduktojnë fuqishëm ndjeshmërinë e pajisjes nga reflektimet kthyesë.

Si funksionojnë përforcuesit optikë?

Absorbimi i fotoneve mund të përdoret si avantazh për të tejkaluar dobësimin e sinjalit përgjatë amplifikimit fotonik direkt.

Po konsiderojmë se kemi një burim të dendur me gjatësi valore të shkurtër (burimi A), dhe një burim të dobët me gjatësi valore të gjatë (me rreth 80 nm - burimi B), me përhapje brenda të njëjtit medium. Burimi A, me energji të lartë (~500 mW) e gjatësi valore të shkurtër (i njohur si pompë), eksiton atome në nivelin e lartë të energjisë. Pastaj, kur fotonet me sinjal të dobët lëvizin (udhëtojnë), ato i stimulojnë atomet e eksituara, të cilat më pas emetojnë fotone që kanë gjatësi të njëjtë valore. Kështu, pra, zhvillohet (kryhet) procesi i amplifikimit (https://www.rp-photonics.com/lamp_pumped_lasers.html) (D. W. Hughes, "Laser diode pumped solid-state lasers", J. Phys. D: Appl. Phys. 25, 563 : 1992).

Megjithatë, ky përshkrim i thjeshtë, për shkak të specifikave të ndryshme që ka secili tip i përforcuesve, nuk është i njëjtë për të gjitha materialet, edhe nëse janë të njëjtat kushte. Unë do të përshkruaj disa lloje amplifikatorësh si: amplifikuesit Raman, amplifikatorët e fibrave të dopuara me erbiun (EDFA), dhe amplifikatorët e gjysmëpërçuesve optikë (SOA).

2.11.3. Humbjet në përforcuesit optik

E kam shtruar edhe më parë problemin e humbjeve të sinjalit optik në kabllot optike. Tani, në këtë pjesë, do të diskutoj nga prizmi i përforcuesve optikë. Humbjet e sinjalit optik na paraqiten përpos të tjerash edhe për shkak të paraqitjes së efekteve që ndodhin në materialin e bërthamës së fibrës optike, siç është absorbimi i fotoneve nga shtresat e brendshme izoluese të fibrës optike, dhe për këtë arsye, në disa raste të tilla përdoren përforcues fotonikë (photonic amplification). Përforcuesit fotonikë nuk mund të jenë të njëjtë për të gjitha materialet në kushte të njëjta. Ekzistojnë disa lloje përforcuesish fotonikë, si përforcuesi EDFA, Raman, SOA, përforcuesit parametrikë, etj.

Për shkak të karakteristikave mekanike të kuantëve tek përforcuesit optikë dhe të emetimit spontan të përhapjeve së fotoneve, si dhe emetimeve të stimuluar, përforcuesit optikë prodhojnë zhurmë optike. Kjo zhurmë njihet si përforcim i emetimeve spontane (amplifier spontaneous emission - ASE), dhe varet nga faktorët që ndikojnë në zhurma, si materiali dialektrik, papastërtia e materialit, distanca e udhëtimit të dritës në fibër optike, gjatësia valore, fuqia optike, gjendja e polarizimit të pompës dhe sinjalit, etj (Ivan P. Kaminow, Tingye Li, Alan E. Willner, 2008).

Përforcuesit optikë kanë disa veti kryesore të përbashkëta, pa marrë parasysh llojin e tyre, siç janë: gain-i, gain efficiency, bandwidth, gain bandwidth, gain saturation, noise, polarizimi, fuqia dalëse e saturimit. Këto veti do t'i sqaroj më poshtë (Ivan P. Kaminow, Tingye Li, Alan E. Willner, 2008).

- Gain (përforcimi) shpreh raportin mes fuqisë dalëse dhe asaj hyrëse (dB)
- Gain efficiency (efikasiteti i përforcimit) ka të bëjë me gain-in si funksion i fuqisë hyrëse (dB/mW)

- Bandwidth (gjerësia e brezit) është në funksion të frekuencës
- Gain Bandwidth është gjerësia e brezit të frekuencave në të cilat përforcuesi është efektiv
- Gain Saturation është fuqia maksimale dalëse e përforcuesit, e cila nuk mund të rritet më tej, përkundër rritjes së mëtejshme të fuqisë hyrëse
- Noise (ASE) - është zhurma karakteristike inherente e përforcuesve optikë, e shkaktuar nga përforcimi i emetimeve spontane
- Polarization sensitivity - është gain që varet nga përforcuesit optikë në polarizimin e sinjalit
- Output saturation power - është e definuar si niveli i fuqisë dalëse për të cilën gain-i i përforcuesve ka një rënie prej 3dB.

Përpos efekteve pozitive të përforcimit të sinjaleve optike, përforcuesit optikë, për shkak të efekteve negative që paraqiten, siç janë emetimet spontane të fotoneve dhe emetimet e simuluar, prodhojnë zhurma optike si rezultat i papastërtive të materialit, gjatësisë valore të rrezeve të dritës, distancës në mes transmetuesit dhe marrësit, fuqisë së sinjalit të dritës, fuqisë së pompës, e të cilat shkaktojnë efekte që njihen si Amplifier spontaneous Emission - ASE (përforcues të emetimeve spontane). Në fig. 81, më poshtë, kam paraqitur rastin se si duket një sinjal i përforcuar në një fibër me medium aktiv.

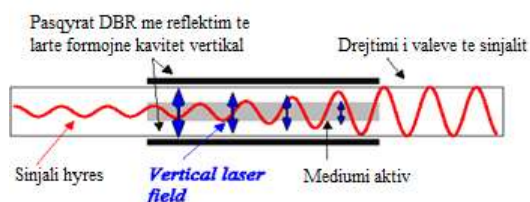


Figura 81. Skema e sinjalit të përforcuar në një medium aktiv (<http://www.lce.hut.fi/>)

Nga figura duket se sinjali hyrës është i dobët; ky sinjal futet në hyrje nëpër një medium aktiv, që përmban pasqyra DBR¹¹ si elemente reflektuese në një fushë lazerike vertikale, nga ku në dalje fitohet një sinjal i përforcuar.

2.11.4. Përforcuesit SOA optik gjysmëpërçues

Tani do të shohim se çka janë dhe si ndikojnë përforcuesit e sinjalit optik SOA (Semiconductore Optical Amplifiers – përforcuesi optik gjysmëpërçues) në një sistem të transmetimit optik të të dhënave. Tashmë e dimë se përforcuesit optikë luajnë një rol të madh në karakteristikat e performancës së kërkesave për transmetimin sa më të mirë dhe në distanca sa më të gjata, duke mbartur kapacitete shumë të mëdha të informacionit.

Përforcuesit SOA janë të bazuar në principin e operimit të punës si të diodave lazer. Në fakt, një SOA në mënyrë esenciale është një lazer i përbërë nga elementet InGaAsP (Indium-Gallium-Arsenic-Phosphorous), por me një shtresë antirefleksive në fund (shih fig. 82) (M.J. Connelly, 2002) (A.Yariv and P.Yeh, 2006) (B.L. Anderson and R. L. Anderson, 2005).

Pra, sinjali optik kalon vetëm njëherë nëpër pajisje; ky është edhe ndryshimi kryesor nga pajisjet e diodave lazer. Parimi i punës bazohet në principin e eksitimit të joneve në zonën e regjionit aktiv p-n (shih fig. 82); kur aplikojmë një tension, atëherë në këtë regjion krijohen çifte elektron-primë (S.Kartalopoulos ,2008 : f.73). Pra, kur fotonet e dritës me një gjatësi të caktuar valore bien në regjionin aktiv p-n, stimulojnë kombinimin e çifteve elektron-primë, dhe si rezultat gjenerojnë fotone me gjatësi të njëjtë valore sikurse të sinjalit optik.

¹¹ distributed Bragg reflector (DBR) – është një reflektorë që përdoret për drejtimin e valëve në fibrat optike

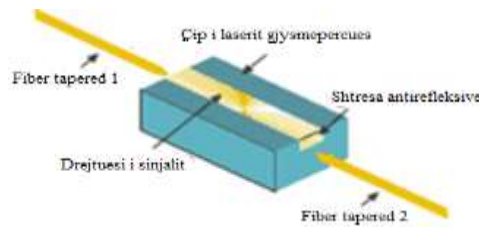


Figura 82. Përforcuesi SOA me fibër tapered¹² (<http://www.fiber-optics.info/>)

Përforcuesi SOA mundë të punojë në sistemet 1310 nm ose 1550 nm (David R. Goff, 1999 : f.81).

Disa karakteristika të pajisjeve të përforcuesit SOA (S. Kartalopoulos, 2008 : f.73), që do ti prezantoj më poshtë, janë:

- arrijnë gain (një masë e fuqisë së përforcimit optik) (25–30 dB në gjatësi valore 1530 nm)
- rangi i fuqisë së saturimit në dalje është nga 5 deri në +13 dBm
- kanë shtrembërime jolineare (nonlinear distortions)
- kanë gjerësi brezi të gjerë (wide bandwidth)
- kanë *spectral response* në regjionin e gjatësive valore 0.8, 1.3, dhe 1.5 μm
- kanë madhësi të vogël dhe integrohen lehtë me gjysmëpërçuesit e tjerë.

Në krahasim me përforcuesit EDFA, kanë disa disavantazhe, siç janë:

- kanë noise figurë më të lartë sesa EDFA (më lart se 6 dB mbi 50 nm)
- kanë nivel më të lartë të Cross-talk-ut sesa EDFA, që shkaktohet nga fenomenet jolineare (four-wave mixing).

Ndërsa avantazhet e përforcuesit SOA janë këto: janë pajisje kompakte me gjendje solide, çka bën të mundur që të përdoren edhe për konvertimin e gjatësive valore, rigjenerim, multipleksim në kohë, clock recovery, dhe për aplikime të procesimit të sinjaleve optike.

¹² Një fibër Tapered është një fibër qelqi që ka një diametër jashtëzakonisht i vogël 0,5 deri 5 μm .

2.11.5. Përforcuesi EDFA

Një nga përforcuesit më të përdorshëm në fushën e sistemeve të transmetimeve me fibra optike silica (SiO_2) në distanca të largëta (pa pasur nevojë për përdorim të përsëritësve) është përforcuesi EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier- përforcuesi i fibrave të dopuara me erbium), i cili është i konstruktuar në atë mënyrë që të ketë mundësi lidhjeje (konektimit) me komponentët e sistemit të transmetimit dhe fibrën optike.

Elementet e dopuara që gjenden rrallë në natyrë janë disa, e që kanë veti shumë të mira përforcuese në përdorimin e sistemeve transmetuese me fibra optike. Disa nga ato janë, Er (erbiumi), Tm (thulium), Yb (ytterbium), Pr (praseodymium) (G. Keiser, 2011: f.437), apo kombinimi në mes tyre (p.sh., Er/Yb), ku secili operon në breza të ndryshëm spektralë. Këto elemente të rralla kanë veti të absorbimit të energjisë optike (të dritës) në një rang të caktuar spektral, dhe pastaj e emetojnë energjinë optike në një spektër tjetër. Secili nga elementet që i përmenda më lart ka veti të veçanta të absorbimit për shkak të specifikave të veçanta kimike, e si rrjedhojë, mund të përdoren në spektër të ndryshëm transmetues.

Për shembull, elementi Er^{3+} (Erbiumi me numër atomik 68) është i përshtatshëm për përforcim në rastin e përdorimit të DWDM-së në rangun spektral 1,3 dhe 1,5 μm (ndërsa elementet e tjera të lartpërmendura kanë rangje të tjera spektrale). Dy gjatësitë valore më të përshtatshme për eksitimin e frekuencave optike të EDFA-s janë 980 nm dhe 1480 nm, dhe prodhojnë emisione të stimuluar në rangun 1530 – 1565 nm, që i takojnë brezit C (S.Kartalopoulos , 2008 : f.71-72).

Ndërsa për të përshtatur një përforcues EDFA në një brez tjetër bëjmë kombinimin e elementeve të ndryshme. Siç do të ishte e mundshme në rastin e përdorimit në rangun e gjatësive valore 1060 nm, që do mundësohej duke përdorur elementet Er^3 dhe Yb^3

(ytterbiumit) (P.C. Becker, Olson, & Simpson, 1999 : f.282). Nga këto të dhëna rreth elementeve të rralla, na del se elementi i erbiomit është ndër elementet me të përshtatshme sa i përket përdorimit në teknologjitë transmetuese me DWDM. Për shkak të korrespondencës dhe përshtatshmërisë së rangut spektral në brezin C, përforcuesi EDFA aplikohet në sistemet e transmetimit në distanca të largëta në teknologjinë DWDM. Ndërsa për të pasur përforcues në breza të tjerë, atëherë, siç dhe e thashë më lart, duhet të përdorim elementet e tjera, ose i kombinojmë ato në mes tyre në mënyrë që të jenë të përshtatshme për përforcimin e sinjaleve në frekuenca dhe gjatësi të caktuara valore.

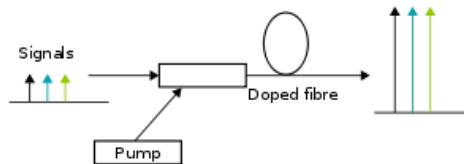


Figura 83. Diagrami skematik i një përforcuesi me fibër të dopuar (www.alfaphonet.gr/)

Disa parametra me rëndësi në procesin e gainit të EDFA-se janë:

niveli i koncentrimin të dopimit, fusha efektive e fibrës së EDFA-s, gjatësia e fibrës së EDFA-s, koeficienti i absorbimit, koeficienti i emisioneve, fuqia e pompës, fuqia e sinjalit, gjendja e popullimit të joneve në nivelin e lartë, jetëgjatësia e qëndrimit të joneve në nivelin e lart, drejtimi i sinjalit të përhapur duke e respektuar drejtimin kah pompa (Internet: Paschotta, Rüdiger. "Tutorial on Fiber Amplifiers". *Tutorial on Fiber Amplifiers*. RP Photonics. Retrieved 10 October 2013).

Dimë që EDFA-ja përdoret në sisteme për transmetime të gjata me fibrat optike *single-mode*, dhe një ndër rolet kryesore që ka është të përforcojë sinjalin optik, i cili gjatë transmetimit dobësohet për shkak të efekteve të atenuimit, dispersionit e faktorëve të tjerë, të cituar më sipër gjatë shtjellimit të temës. E kemi të qartë tanimë gjithashtu që në total gain-i i EDFA-së është i ndarë në numrin e kanaleve optike në brezin C; kjo nënkupton që sa më i madh të jetë numri i kanaleve optike, aq më i vogël do të jetë gain-i për çdo kanal.

Gjithashtu duhet të kemi kujdes edhe për numrin e konektimit dhe të përdorimit të përforcuesve në një linjë transmetuese me EDFA, pasi që ai është i kufizuar për shkak se na paraqiten efekte të përforcimeve jouniforme dhe akumulohen emisione spontane të përforcuesve (ASE-Amplified Spontaneous Emission), që nuk janë të dobishme në sistemin e linjës transmetuese me fibra optike.

Për të pasur një sistem sa më të mirë transmetimi me fibra optike dhe përforcues EDFA, duhet të merren parasysh disa faktorë me rëndësi, siç janë lloji i fibrës, polarizimi, dispersioni, jolineariteti, gjerësia dhe hapësira e kanalit, numri i kanaleve transmetuese, parametrat e përforcuesit, si zhurma, gain-i, humbjet për shkak të konektorëve dhe pajisjeve të tjera, metoda e modulimit të sinjalit, gjerësia e brezit, si dhe faktorët si koeficienti i atenuimit, gjatësia e fibrës optike në mes përforcuesve, numri i përforcuesve në linjën e transmetimit, specifikat e transmetuesit dhe marrësit, e kështu me radhë. Synimi është transmetimi me kualitet sa më të mirë në sistemin e linjave me fibra optike.

2.11.6. Karakteristikat e përforcuesit EDFA

Elementet e rralla në tokë janë ndër elementet kryesore që përdoren për përforcuesit optikë. Duke i mbushur përforcuesit optikë me këto elemente të rralla të tokës, ato absorbojnë (thithin) energjinë optike të një spektri të caktuar dhe pastaj e emetojnë atë në një spektër tjetër. E përmenda më lart se në natyrë ekzistojnë disa elemente të rralla të përshtatshme për përforcimin e sinjaleve; secili operon në breza të ndryshëm të spektrit, si në fig. 84, e secili nga elementet posedon karakteristikat e veta të absorbimit dhe emetimit. Disa nga elementet e rralla të tokës për përforcim të sinjalit optik në teknologjinë DWDM janë ato në të cilat përforcimi spektral (spectral gain) përputhet me spektrin e humbjeve minimale të fibrës, siç janë Nd_{3+} dhe Er_{3+} , që emetojnë në rangun 1310 nm dhe 1550 nm.

Përforcuesi optik EDFA është në gjendje që të përforcojë çdo sinjal optik në rangun e gjatësive valore të veta në brezin C 1530 nm – 1565 nm, dhe në brezin L 1570 – 1610 nm, mirëpo, siç e thashë edhe më sipër, varet nga teknologjia multipleksive, pra, është i përshtatshëm për sistemin DWDM, por jo për atë CWDM.

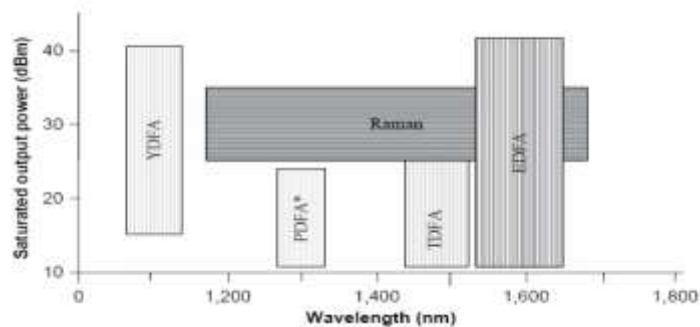


Figura 84. Teknologjitë e përforcimit të spektrit optik të komunikimit (S. V. Kartalopoulos, 2008).

Në fig. 85 kam paraqitur një skemë të një sistemi të transmetimit që përmban një përforcues EDFA. Sinjali me gjatësi valore 1550 nm hyn në linjën e transmetimit, pastaj multipleksohet, përforcohet në përforcuesin EDFA, demultipleksohet, dhe në dalje kalon nëpër një izolator dhe filtër, e si një sinjal i përforcuar kalon në dalje të sistemit tek marrësi.

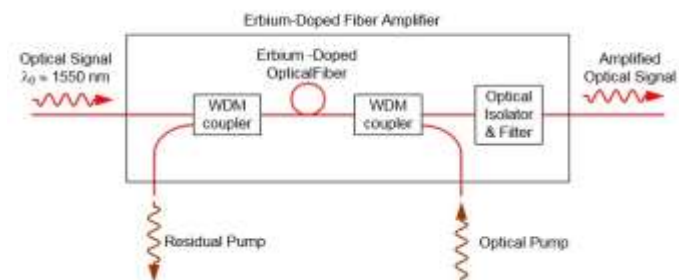


Figura 85. Skema e një transmetuesi me fibra optik me WDM; filtër, izolator optik dhe përforcues EDFA (www.cables-solutions.com)

Përforcuesi më i popullarizuar optik është përforcuesi EDFA (Erbium-doped fiber amplifier). Një karakteristikë me rëndësi e përforcuesit EDFA është se lejon që sinjali optik të rigjenerohet, duke mos pasur nevojë të konvertohet në një sinjal elektrik; gjithashtu, këto

lloje sistemesh janë më të shpejta dhe më të sigurta. Në rastin e përdorimit të përforcuesve EDFA me sistemet e teknologjisë WDM apo DWDM, sistemet optike mund të transmetojnë kapacitete të larta të informatave në distanca të largëta dhe me një siguri shumë të lartë (Ch. Roychoudhuri, N.Massa, 2000, Fundamentals of Photonics: Fiber Optice Telecommunication, modul 1.8).

2.11.7. Amplifikimi në sistemin me tri nivele

Tani do të sqaroj disa karakteristika të veçanta se si përforcuesi i fibrës së dopuar me erbium funksionon duke u bazuar në nivelin e sistemit të tij atomik, që me siguri do e bëjë më të lehtë të kuptohen karakteristikat kryesore të një përforcuesi me elemente të rralla në tokë; në rastin tim, është elementi i erbiumit.

Amplifikimi në sistemin me tre nivele e ka principin e punës të tillë që gjatësitë valore më të shkurtra i eksitojnë jonet e erbiumit në nivel të lartë të energjisë, dhe pastaj atomet e eksituara bien në njërin nga tre nivelet mesatare të qëndrueshme (metastable) (S. V. Kartalopoulos, 2008).

Duke u bazuar në fig. 86, që gjendet më poshtë, do të sqaroj se si duket rrjedhoja e zhvillimit të procesit të përforcimit EDFA. Ku gjatësitë valore arrijnë të eksitojnë jonet e erbiumit në një nivel të lartë të energjisë, nga ku atomet e eksituara (apo fotonet e rrezatuara) bien në njërin nga nivelet e tjera të energjisë. Pra, nga një nivel i ulët i energjisë, ato në dalje do të gjenerojnë një gjatësi valore prej 1550 nm. Si në fig.86 sistemi me tri nivele përbëhet:

nga niveli i parë (N1), që ndryshe quhet niveli bazë, pastaj nga niveli i dytë (N2), që njihet ndryshe edhe si niveli *metastable*, (ku, në rast se kemi përforcim të mirë, jonet kanë jetëgjatësi më të madhe në këtë nivel), dhe niveli i tretë (N3), që është niveli në të cilin bëhet pompimi i energjisë. Gjendja E2 është niveli i lartë i tranzicionit të përforcimit, dhe gjendja E1 është niveli i ulët tranzitor i përforcimit. Për të arritur përforcimin është e nevojshme të kemi një inversion (përmbysje) të popullimit të joneve të erbiumit në mes niveleve N1 dhe N2, ku gjysma e joneve të erbiumit duhet që të eksitohet në nivelin e dytë N2 në mënyrë që të arrihet inversioni i popullimit (P.C. Becker, Olson, & Simpson, 1999 : f.132).

Siç duket në figurë, së pari bëhet pompimi në mënyrë optike me pompën primare në gjatësi valore 1.48 μm (1480 nm) dhe 0.98 μm (980 nm); atomet e pompuara në nivelin e tretë N3, në brezin 980 nm, bien në brezin primar kalimtar (të tranzicionit). Pra, siç shihet, pompimi me dritë në gjatësinë valore 1.48 μm bëhet direkt në nivelin e lartë të brezit kalimtar (tranzitor).

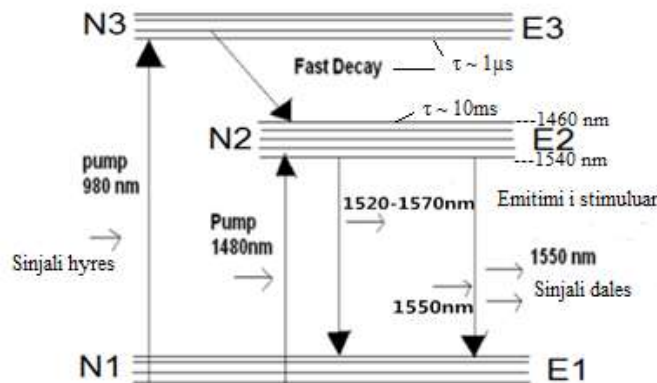


Figura 86. Diagrami me tri nivele energjie (www.cable-solutions.com)

Lazerët gjysmëpërçues të përdorur në këtë rast janë të përshtatshëm për përdorim në të dy gjatësitë valore të pompës (në 980 nm dhe 1480 nm).

Një vlerë prej 10-20 mW e fuqisë së absorbuar nga pompa në këto gjatësi valore mund të prodhojë nga 30 dB deri 40 dB gain të përforsimit (amplifier gain). Efikasiteti i pompës prej 11 dB/mW arrihet në gjatësinë valore prej 980 nm. Varësisht nga përdorimi i llojeve të diodave lazer mund të përshtatet edhe performanca e pompimit, “p.sh., në gjatësitë valore 670 nm dhe 820 nm mund të përdorim një diodë lazer të përbërë nga GaAlAs” (P.C. Becker, Olson, & Simpson, 1999 : f.132).

Efikasiteti i pompës në raste të tilla, në këto gjatësi valore, është i vogël, por këto lloje lazerash mund të prodhohen sipas nevojës me fuqi më të larta.

Një faktor tjetër me rëndësi është edhe gjatësia e fibrës së dopuar, e cila varion shkon deri në 50 m (P.C. Becker, Olson, & Simpson, 1999 : f.163), varësisht prej rastit të përdorimit. Ia vlen të sqarojmë, duke iu referuar referencës së mësipërme, se nëse përdorim gjatësi më të

madhe të fibrës së dopuar me erbium, atëherë duhet ta rrisim fuqinë e pompimit; p.sh., nëse përdorim një fibër të dopuar me erbium me gjatësi 14 m, e me fuqi pompimi 20 mW, atëherë për një fibër të dopuar me erbium me gjatësi 50 m do të na nevojitet një fuqi pompimi prej 40 mW (Keiser,2011).

P.sh., një fibër e dopuar me gjatësi 14 m, në gjatësi valore 980 nm ka prag të fuqisë së pompimit më të lartë se në gjatësinë valore 1480 nm. Arsyeja qëndron në faktin se pompimi në gjatësinë valore 1480 nm ka efikasitet kuantik më të mirë sesa pompimi në 980 nm. Por ndodh e kundërta në rastin ASE (Amplified Spontaneous Emission); në këtë rast, me rritjen e fuqisë së pompimit në gjatësinë valore 980 nm, pompimi krijon inversion (përmbysje) më të lartë sesa në gjatësinë valore 1480 nm (P.C. Becker, Olson, & Simpson, 1999 : f.169).

Janë zhvilluar disa breza të ndryshëm të gjatësive valore për t'i përshtatur dhe për t'i përdorur në teknologjinë e multipleksimit WDM dhe të përforcuesve EDFA, siç janë brezat S-Band 1480-1520 nm, C-Band 1521-1560 nm, dhe brezi L-Band 1561-1620 nm. Në këto breza mund të përdoren teknologjitë e lartpërmendura.

2.11.8. Përforcuesi optik RAMAN

Shpërndarja e stimuluar Raman (stimulated Raman scattering - SRS) si efekt dhe hulumtim eksperimental daton qysh nga viti 1928, dhe është publikuar nga C. V. Raman (C.V.Raman and K.S.Krishnan, "A new type of secondary radiation, Nature 121:3048, 1928).

Megjithëse përforcimi Raman u zbulua në vitin 1962, për përforcimin Raman kanë filluar të bëhen hulumtime më aktive në vitet 1970 -1980. Pavarësisht disa avantazheve të përforcuesve Raman në krahasim me përforcuesit e tjerë, ato nuk gjetën zbatim deri nga fundi i viteve 1990. Problem ishte efikasiteti i ulët i përforcuesve Raman në sinjalet me fuqi të ulët (M. N. Islam, 2004 : f.7). Duke u nisur nga referenca e përmendur më parë M.N.Islam (2004), "përderisa për përforcuesit EDFA ishte e mjaftueshme një fuqi nga 1 mW deri në 10mW, përforcuesve Raman u nevojitej fuqia më e madhe, nga 1 deri 5 W". Ndërsa ato kanë njohur një zhvillim më të hovshëm gjatë viteve 1997- 2002.

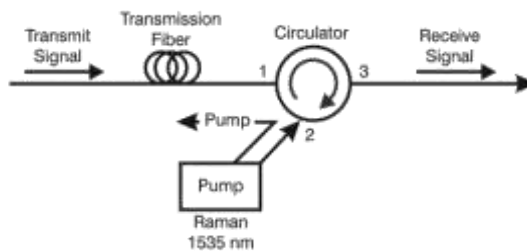


Figura 87. Skema e një përforcuesi Raman

Pra, përforcuesit Raman nuk janë bazuar në një proces të përforcimit lazerik, por në shpërndarjen (scattering) Raman në një fibër optike, dhe ndryshojnë në disa aspekte nga përforcuesit e dopuar me elemente të rralla.

Por çka është në fakt Shpërndarja e Stimuluar Raman?

Për t’iu përgjigjur kësaj pyetje, konsiderojmë se kemi një burim lazerik me fuqi të dritës të valëve të vazhduara CW (continuous wave), si dhe pompat të cilat janë të lidhura bashkë në një fibër *single-mode*. Pasi mediumi i fibrës nuk është plotësisht linear, atëherë atomet do të eksitohen. Prandaj, nëse këto atome nuk janë të stimuluar (ngacmuara), ato pas një kohe në mënyrë spontane do të bien në një nivel mesatar të energjisë, dhe si rezultat do të çlirojnë energji të dritës në një gjatësi valore më të gjatë sesa burimi i pompës. Kështu që të gjitha atomet e shtresës (nivelit) së mesme do të bien në nivelin e vet të ulët të energjisë, duke e liruar energjinë e mbetur në formën e fononeve. Kjo dukuri është e njohur si, “Shpërndarje e simuluar Raman - *stimulated Raman scattering* (SRS)”. Shpërndarja Raman shfaqet në të dy drejtimet e fibrës optike (para dhe mbrapa), mirëpo gjithnjë duke e respektuar drejtimin e pompës (M. N. Islam, 2004 : f.7-15).

Tani do të shohim se çka kuptojmë me përforcimin Raman duke u bazuar në referencën e mësipërme. Nëse atomet janë të eksituara nga fotonet e një sinjali të dobët, dhe kjo do të ishte një ofset (zhvendosje) në gjatësitë valore prej 70 – 100 nm nga gjatësia valore e pompës,

atëherë atomet e eksituara tani janë të stimuluar dhe emetojnë fotone me gjatësi valore të njëjte me burimin e stimulimit. Pra, kështu arrihet të përforcohet sinjali, dhe këtë efekt e quajmë “Përforcuesi Raman – Raman Amplification”.

Siç duket edhe në figurën më poshtë, linjat Raman, të njohura si Stoke lines, janë gjeneruar duke u bazua në raportin $f - n \Delta f$, ku f është frekuenca e pompës, dhe për fibrat *single-mode* ka vlerën $\Delta f = 70$ nm në 1.310 nm dhe 102 nm në 1.550 nm, ku n është një numër integer (S. V. Kartalopoulos, 2008).

Në fig. 88 duket qartë se kemi një ofset të gjatësive valore jashtë linjës së përdorimit prej përafërsisht 80 nm, dhe që përfshin gjatësitë valore 0, 40, 80, 130 dhe 160 nm, pra, që nuk bëjnë pjesë në spektrin e gain-it të përdorimit, ndërsa spektri i gain-it të përdorshëm arrin të jetë 45-50 nm, e që shtrihet në gjatësinë valore nga 80 deri 125 nm apo 130 nm.

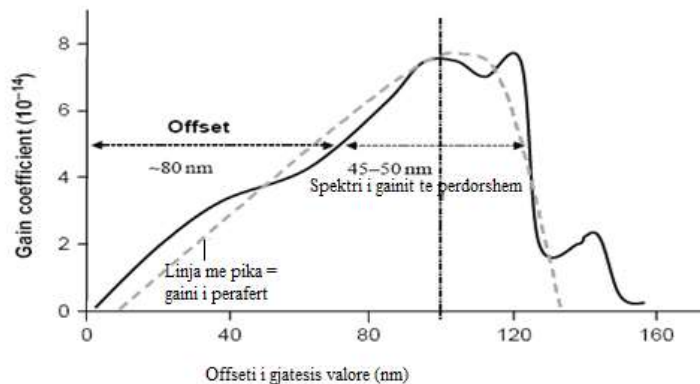


Figura 88. Karakteristikat e përforcimit Raman.

Përforcuesit Raman përdoren edhe në kaskada hibride, me përforcuesit EDFA në një linjë transmetuese të fibrave optike (M. N. Islam, 2004 : f.413), ku si rezultat i këtij kombinimi hibrid do të kemi transmetim me zhurmë më të vogël (më të ulët) sesa po të përdornim vetëm përforcuesin EDFA në brezin frekuencor C dhe L.

Përforcuesit Raman përdorin fibrat e përbashkëta *single-mode* (të padopuara), dhe përdorin përparësinë e jolinearitetit të fibrës në prezencën e fuqisë së lartë të pompës. Për shkak të këtyre specifikave, përforcuesi Raman është i përdorshëm në komplet spektrin $1.3\ \mu\text{m} - 1.6\ \mu\text{m}$, dhe kjo veti njihet si *Raman super-continuum* (M. N. Islam, 2004 : f.413-416). Në brendinë e brezit të sistemit të DWDM-së janë shumë gjatësi valore të cilat mund të përforcohen. Një rrjedhojë (implikim) e përforcimit Raman është se gain-i nuk është uniform në të gjitha kanalet optike, por është një funksion i diferencës mes gjatësisë valore, pompës dhe sinjalit, prandaj kanalet nuk janë të përforcuara me të njëjtin gain, si në figurën e mësipërme (fig. 88).

Një faktor tjetër që ndikon që gain-i të jetë i ndryshëm në kanalet e ndryshme është edhe distanca e pompës; sa më afër pompës, kemi eksitim me nivel më të lartë të atomeve, dhe kjo natyrisht ndikon në fuqinë e gain-it, e cila bie në mënyrë eksponenciale në raport me distancën.

Ekzistojnë tre metoda për përdorimin e përforcuesve Raman (M. N. Islam, 2004):

- Pompa Raman vendoset në marrës (receiver) në drejtim të kundërt me sinjalin e burimit optik, dhe kjo quhet *counter-propagating* Raman
- Pompa Raman vendoset tek burimi (transmetuesi) në drejtim të njëjtë me sinjalin e burimit optik, dhe kjo quhet *co-propagating* Raman
- Vendosen dy pompat Raman, njëra pompë vendoset në marrës (receiver) në drejtim të kundërt me sinjalin e burimit optik, ndërsa tjetra vendoset në burim në drejtim të njëjtë me sinjalin e burimit optik, dhe ky rast quhet *bidirectional* Raman.

Disa lloje përforcuesish të dopuar me elemente të rralla, si Neodymium, Ytterbium, Thulium, Praseodymium, po i sqaroj shkurtimisht më poshtë.

2.11.9. Përforcuesit e fibrës me Neodymium dhe Ytterbium

Përforcuesit e fibrës optike të bazuar në elementet e rralla të ytterbium-it apo të neodymium-it, doped double-clad fibers, mund të përdoren për përforcimin e fuqisë dalëse të një burimi lazerik prej 1- μm deri në nivele të larta prej disa kilovatësh (high-power fiber lasers and amplifiers) (M. L. Dakss and W. J. Miniscalco, “*Fundamental limits on Nd^{3+} -doped fiber amplifier performance at 1.3 μm* ”, IEEE Photon. Technol. Lett. 2, 650 :1990) (T. Rasmussen *et al.*, “*Optimum design of Nd-doped fiber optical amplifiers*”, IEEE Photon. Technol. Lett. 4, 49 : 1992) (R. Paschotta *et al.*, “*Ytterbium-doped fiber amplifiers*”, IEEE J. Quantum Electron. 33 (7), 1049: 1997).

Gjerësia e gain-it të gjatësisë valore që e posedon është i përshtatshëm për përforcimet e impulseve ultra të shkurta (ultrashort pulses), apo që ndryshe njihen si përforcues ultra të shpejtë.

Bazuar në referencën e mësipërme, amplifikatorët e bazuar në neodymium mund të përdoren edhe në regjionin spektral të gjatësive valore 1.3- μm , por me një performancë më të vogël, ndërsa kufizimet vijnë nga shfaqja e jolineariteteve të fibrës, siç janë efekti i Kerr-it dhe efekti Raman.

2.11.10. Përforcuesit e fibrës me Thulium

Përforcuesit e dopuar të fibrës optike Thulium-it *TDFA* (Thulium-doped fluoride fibers= *thulium-doped amplifier*) pompojnë në brezin spektral të gjatësive valore “1047 ose 1400 nm, dhe mund të përdoren për përforcim në fushën e telekomunikacionit në brezin S nga 1460–1530 nm, apo edhe në 1.65 μm ”(G. D. Goodno *et al.*, “*Low-phase-noise, single-frequency, single-mode 608 W thulium fiber amplifier*”, Opt. Lett. 34 (8), 1204 :2009). Duke

bërë kombinimin e përforcuesve të thulium–erbium-it mund të arrihet përforcim optik në një rang shumë të gjerë të gjatësive valore.

Gjithashtu ekzistojnë edhe përforcuesit e dopuar të thulium-it për dritaren e parë të telekomit, përafërsisht në $\approx 800\text{--}850\text{ nm}$.

2.11.11. Përforcuesit e fibrës me Praseodymium

Përforcuesi i dopuar i fibrave optike me praseodymium përdoret në dritaren e dytë të spektrit të gjatësive valore prej $1.3\text{ }\mu\text{m}$, por ka performancë më të ulët sesa përforcuesit e dopuar të erbiumit. Këto lloje përforcuesish të dopur të fibrave optike janë të bazuar në “praseodymium-doped fluoride fibers (*PDFA = praseodymium-doped amplifier*), të cilët pompohen në 1020 nm (në një gjatësi valore të pompimit relativisht të papërshtatshme), apo në 1047 nm (me një lazer YLF laser)” (T. Whitely, “*A review of recent system demonstrations incorporating 1.3- μm praseodymium-doped fluoride fiber amplifiers*”, IEEE J. Lightwave Technol. 13 (5), 744 : 1995) (T. Rasmussen *et al.*, “*Optimum design of Nd-doped fiber optical amplifiers*”, IEEE Photon. Technol. Lett. 4, 49 : 1992).

2.11.12. Përforcuesit parametrikë optik

Ky lloj i përforcuesve parametrikë optikë (OPA-Optical Parametrik Amplifier) ka të bëjë me përzierjen e katër valëve, pra, bazohet në interaksionin (ndërveprimin) e katër valëve përgjatë intensitetit të indeksit të thyerjes, i cili njihet si Kerr efekt (H. Venghaus, N. Grote, 2012 : f .498), dhe ka një burim të dritës lazer e emeton dritë në gjatësi të ndryshme valore në një proces të përforcimit, e bazohet në interaksione parametrike jolineare. Këto lloje përforcuesish përdoren për frekuenca të ulëta, si p.sh., në qarqet AC, radiovale dhe

mikrovale. Pra, këto lloje përforcuesish janë të përshtatshëm kur kemi efekte të larta jolineare (apo degjeneruese) në fibrat optike.

Në rastin e përforcuesit parametrik të degjeneruar (në këtë rast të degjenerimit procesi involvon vetëm tri valë) (H. Venghaus, N. Grote, 2012 : fq.498), atëherë gain-i do të merret (përfitohet) nga transferimi i tre valëve të përhapura, siç janë: një sinjal, pompa dhe i ashtuquajti idler (një mekanizëm në regjim pune pa ngarkesë), si në fig. 89. Pra, energjia do të shkojë nga pompa te sinjali dhe pastaj tek idler-i, dhe në rastin kur fibra optike është shumë e gjatë, energjia do të kthehet (shkojë) përsëri tek pompa.



Figura 89. Skema e përforcuesit parametrik optik (OPA). (www.dariopolli.wordpress.com)

III. Gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë, e sotmja dhe e ardhmja

3.1. Aplikimi i rrjetave optike në Kosovë dhe rajon

Përdorimi i sistemeve të transmetimit me fibra optike në Kosovë në ditët tona është gjithnjë e në rritje. Bumi që ka patur përdorimi dhe zgjerimi i internetit, rrjeti i kompjuterave, e-comerc, multimedia, të dhënat audio/video, kërkojnë që të kenë një medium shfrytëzimi me gjerësi brezi që e përballon bartjen dhe transmetimin e këtij informacioni të madh. Në këtë rast mediumi i transmetimit me kabllo optike ofron zgjidhje shumë optimale për realizimin e këtij volumi të të dhënave të transmetuara, duke ofruar diapazon të palimituar të gjerësisë së brezit të shfrytëzimit, dhe po tregon se është në gjendje të ofrojë zgjidhje për transmetimin e informacioneve me volumen që i kërkohet. Fibrat optike, pra, janë bërë infrastruktura më e rëndësishme e sistemeve të telekomunikacionit. Ku aftësia e transmetimit të informacioneve me kapacitet të lartë, në Giga e Terabit/s, dhe humbje të vogla e ka bërë një zgjidhje ideale për të tashmen dhe të ardhmen e sistemeve transmetuese të telekomunikacionit.

Tanimë përdorimi i fibrave është i përhapur si në rrjetat lokale (në shkolla, universitete, fabrika, banka etj.), ashtu edhe në ato në distanca të largëta, në lidhjet e qyteteve, shteteve e kontinenteve, si dhe në linjat nënujore transoqeanike. Edhe në Kosovë e rajon trendi i zhvillimit të përdorimit të rrjetave me fibra optike është pothuajse i njëjtë dhe në zhvillim e sipër. Shumë kompani që operojnë në fushën e telekomunikacionit në Kosovë kanë filluar implementimin e shtrirjes së kablllove me fibra optike në rrjetet e tyre qysh nga fundi i viteve '90; tanimë shumë operatorë i kanë të shtrira dhe funksionale rrjetat e tyre në sistemet e komunikimit të telekomunikacionit.

Disa të dhëna për gjendjen e rrjetave të shtrira me fibra optike në Kosovë dhe në rajon i kam nxjerrë si më poshtë:

Nga Telekom i Kosovës (www.ptkonline.com) që nga viti 2000 në zonat e zgjedhura të Prishtinës, në Pejë, Prizren, Mitrovicë, Ferizaj, Gjilan, dhe në qytete të tjera. Më shumë se 1000 km lidhin 50 lokacione në topologjinë Mash.

Rrjeti optik i PTK-së përbëhet prej 868.05 km në rrjetin bërthamë ("core"), me kapacitet prej 10 Gbps dhe 99.08 km në rrjetin e Qasjes (Access) me kapacitet prej 100 Mbps. Gjithashtu, PTK-ja ka tre dalje ndërkombëtare, dy pika me fibër me Rep.e Serbisë në pikën kufitare Merdare, dhe me Rep. e Maqedonisë në pikën kufitare Hani i Elezit, si dhe me Rep. e Shqipërisë një lidhje me kapacitet prej 10Gbps.

3.2. Gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë

Nga ana e departamentit përkatës i PTK-së që i menaxhon/operon dhe mirëmban resurset e Backbone-it (Telekomi i Kosovës sh.a. gjendja e fundit: 22.04.2016,) kemi këto të dhëna:

Gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë:

- Telekom i Kosovës, brenda infrastrukturës së vet ka një rrjet mjaft të avancuar të fibrave optike. Në rrjetin backbone ka mbi 1000 km rrjetë optik me kapacitete të ndryshme të kabllave, nga ato me 48 fije deri në ato me 144 fije optike në një kabllo optike. Mbi këtë infrastrukturë të rrjetit optik kanë të ndërtuar rrjetin IP/MPLS dhe rrjetin SDH. Në nivelin e rrjetit IP/MPLS ka backbone të nivelit 3x10Gbps me mundësi të zgjerimit. Në nivelin SDH në rrjetin backbone ka nivelin 3xSTM16. Të gjitha rrjetet e qasjes si nga pjesa fikse (DSLAM, ISAM, LiteSpan, OLT etj.) po ashtu edhe nga pjesa mobile (BTS, NodeB, eNodeB etj.) janë të konektuara me rrjetin backbone në nivelin 1Gbps në rrjetin IP, ndërsa në rrjetin SDH në

nivelin STM1. Topologjia e rrjetit në shfrytëzim është Mesh Topologji, (unazë dhe linka Point to Point). Mbi këtë rrjetë janë realizuar edhe linjat e interkonjeksionit dhe atë me Shqipërinë, Maqedonin dhe Serbin. Interkonjeksioni është i realizuar me dy teknologji, atë IP dhe SDH përkatësisht ne IP me interfejsa 10Gbps dhe 1Gbps, ndërsa ne atë SDH me interfejsa STM16 dhe STM1.

Gjendja e linjës backbone me fibra optike Shkup-Prishtine:

- Ne drejtimin e Maqedonisë janë dy linja të interkonjeksionit të rrjetit optik dhe atë fizikisht në dy drejtime të ndryshme. Një drejtim është në segmentin Ferizaj – Hani i Elezit dhe drejtimi tjetër në segmentin Ferizaj – Gllloboqice. Hani i Elezit dhe Gllloboqica janë pikat e demarkacionit të interkonjeksionit me Maqedoni. Mbi këtë rrjetë të kabllave optike kemi të realizuara interkonekcione në teknologjinë IP (Interfejsa 10Gbps dhe Interfejsa 1Gbps) si dhe ne teknologjinë SDH (Interfejsa STM16 dhe STM1). Përmes këtyre pikave të interkonjeksionit ka të realizuar interkonjeksione me operator të telekomunikacionit si: Maktel, Bulgartel, Neotel etj.

Përdorimi i perforcusve të sinjalit me fibra optike në Kosovë:

- Ne rrjetin e Telekomit të Kosovës nuk përdoret ndonjë përforcues i sinjalit. Kjo, ndoshta, është edhe si rezultat i segmenteve jo të gjata për shkak të shtrirjes gjeografike të Kosovës. Segmenti më i gjatë të cilin e ka është i rangut 120km për të cilin segment nuk përdoret ndonjë përforcues.

Gjendja e shtrirjes së rrjetit aktual me linjat backbone me fibra optike në Kosovë në raporte me kabllot koaksiale të implementuar nga PTK-ja:

- Telekom i Kosovës nuk posedon rrjetë të linjave backbone me kabllo koaksiale. Aktualisht i gjithë rrjeti transmetues në Kosovë është i bazuar në fibër optike dhe teknologjinë mikrovalë, ndërsa qasja e rrjetit është e bazuar në kabllot e bakrit.

Nga fig 79. duket se Kosova ka një shtrirje mjaft të mirë të rrjetit të fibrave optike (N. Caka, A.Hulaj: international journal of communications issue 4, volume 5, 2011), por për të arritur qëllimet afatgjata dhe nevojat e konsumatorëve si dhe që të jetë në hap me teknologjinë moderne, duhet të vazhdohet me shtimin e rrjetave me fibra optike. Kërkesat e tanishme nga konsumatorët në Kosovë mund të realizohen nëpërmjet rrjeteve të aksesit prej bakrit por është duke u punuar edhe në zbatimin dhe zgjerimin e rrjetit FTTH.

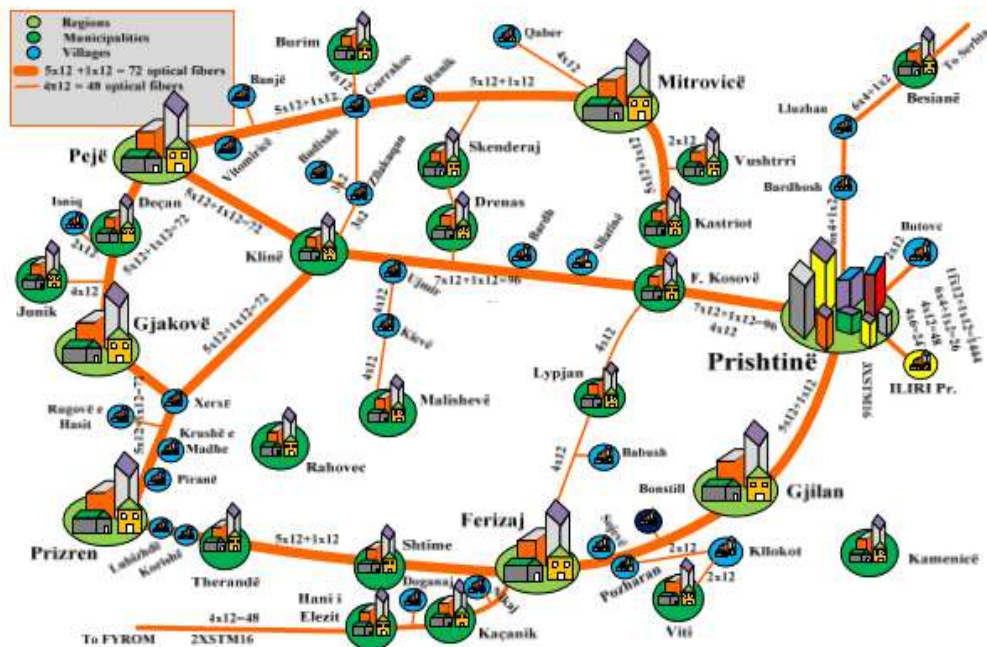


Figura. 79. Rrjeti aktual optik në Kosovë implementohet nga PTK-ja. (Posta dhe Telekomunikacioni i Kosovës).

Në përgjithësi gjendja e përdorimit të fibrave optike në Kosovë është i knaqshëm. Por akoma ka hapësirë për shtrirje të kabllave optike, duke zavendsuar linjat e vjetra prej bakri.

Kosova në bashkëpunim me operatorët PTK dhe IPKO ka përfunduar punimet për realizimin e sistemit me fibra optike që lidhë Shqipërinë me Kosovën, gjithashtu nga ana tjetër edhe ALBtelecom ka përfunduar punimet për realizimin e sistemit me fibra optike. Kjo lidhje konjeksioni, mjaft e nevojshme për rritjen e kapaciteteve mes dy vendeve. Në këtë mënyrë zgjerohen mundësitë e bashkëpunimit në fushën e telekomunikacionit. Kjo është lidhja e dytë e interkonjeksionit me fibra optike e realizuar e me Kosovën, ndërkohë që lidhja e parë është realizuar para dy vjetësh nga kufiri i Bajram Currit me Qafë-Morinën dhe Gjakovën/noa.al/ - See more at: <http://www.noa.al/artikull/realizohet-lidhja-e-dyte-me-fibra-optike-mes-shqiperise-dhe-kosoves/383286.html#sthash.jcWOdqXr.dpuf>.

Telefonia fikse: Operatorë të licencuar: 3 Penetrimi telefonisë fikse për përdorues sipas TM2

2014 të ARKEP ka rënë në pak mbi 4%. Teknologjia është TDM dhe VOIP.

Gjendja e tanishme e tregut të TiK

Tabela 12. Konsumatorë të Internetit në vitin 2014

PTK – TiK	IPKO	KUJTESA	TJERA	Gjithsej:
33,726 mijë	85,308 mijë	42,564 mijë	18,937 mijë	180,355 mijë

Tabela 13. Agjencioni i Statistikave të Kosovës 2011, bazuar në shtëpit me qasje në internet:

Urban	69.84%	89311 shtëpi me internet	nga 127886
Rural	47.44%	89311 shtëpi me internet	nga 168649
Total	57.10%	89311 shtëpi me internet	nga 296535

Tabela 14. Ndarja e tregut të internetit sipas përdoruesve (www.mzhe-ks.net/npmnp/repository/docs/)

TIK = 19%	IPKO = 47%	KUJTESA = 24%	Tjerë = 11%
-----------	------------	---------------	-------------

Investimet përqendrohen në zhvillimin e infrastrukturës në rritjen e numrit të konsumatorëve.

Me anë të investimeve synohet optimalizimi dhe segmentimi i rrjetave ekzistuese të bakrit, ndërtimin e rrjetave të reja optike, për të plotësuar kështu parakushtet për shfrytëzim efikas të teknologjive brez-gjëra në funksion të plotësimit të kërkesave vazhdimisht në rritje të konsumatorëve për shërbimet multimediale (zë, internet dhe video)
Në anën tjetër, Telekom po ashtu ka në strategji fokusin në ofrimin e shërbimeve brezgjera përmes VDSL e cila teknologji i mundëson ofrimin e shpejtësisë së internetit deri në 20 Mbp/s. (<http://www.mzhe-ks.net/npmnp/repository/docs/>).

Investim në rrjetat me fije optike të cilat gradualisht do të mundësojnë ofrimin e shërbimeve brezgjera me shpejtësi shumë të lartë.

Zgjerimi i rrjetit të qasjes i cili do të mundësojë përfitimin e linjave të reja për ofrimin e shërbimeve konkurrense. Qëllimi është që të investohet në teknologjinë e rrjetit të plotë optik (fibër deri në shtëpi) si dhe shfrytëzim të rrjetit ekzistues të bakrit përmes implementimit të teknologjisë VDSL2 6.

Zgjerimi i rrjetit qendror duke mundësuar rritjen e kapaciteteve dhe funksioneve të platformës për shërbimet: TV, Data, Voice 7. Finalizimi i projektit të lidhjes së 350 BTS-ve me fije optike. Deri në fund të vitit 2014 synimi të përmbillen 240 BTS, ndërsa në vitin 2015 edhe 100 tjerë. (http://www.mzhe-ks.net/npmnp/repository/docs/Plani_i_Biznesit_2015__PTK_sha.pdf. Shikimi i fundit 13.04.2016)

Banka Botërore dhe Ministria e Zhvillimit Ekonomik të Kosovës zyrtarisht kanë filluar fazën e parë të projektit të mbështetjes teknike të financuar përmes grantit, me titull “Innovative and Green Growth for Rural Areas of Kosovo”, që synon sigurimin e një platforme analitike për shtrirjen e infrastrukturës për internet brezgjërë nëpër komunat rurale që aktualisht janë më pak të mbuluara të Kosovës, duke krijuar një platformë të qëndrueshme për rritje inovative dhe të gjelbër.

Në këtë drejtim aktiviteti i ndërmarrë është në harmoni të plotë me strategjinë e sektorit të Teknologjisë Informative dhe Komunikuese në Kosovë, që analizon kërkesën dhe koston aktuale, “Politikat e Sektorit të Komunikimeve Elektronike – Agjenda Digjitale për Kosovën 2013-2020”, të cilat vendosin caqe dhe qëllime të qarta që duhet arritur në aspektin e mbulimit dhe të shpejtësisë së internetit brezgjërë për kokë banori dhe në nivel të ekonomive familjare.

Edhe kur bëhet shtrirja e tillë, kostoja e shërbimit brezgjërë zakonisht nuk është e përballueshme për popullsinë rurale, që shpesh është relativisht e varfër. Pa intervenime të

duhura të qeverisë në zonat rurale, ku përfshihet shfrytëzimi i mjeteve publike, nuk mund të jetësohet një shërbim brezgjërë universal.

Ky aktivitet financohet nga Fondi i Mirëbesimit për Zhvillim të Gjellbër i Koresë dhe do të zgjasë deri në fund të dhjetorit 2015, dhe është mbështetja e dytë teknike e Bankës Botërore në sektorin e telekomunikacionit. Mbështetja e parë teknike, "Lehtësimi i Ndarjes Efikase të Infrastrukturës", i filluar më 5 janar 2015, ka për qëllim komercializimin e fibrave optike, mjete në pronësi të ndërmarrjes elektro- energjetike KOSTT Sh.A, ku përfitues të mundshëm mund të jenë Ofruesit e Shërbimeve të Internetit (ISP) pa infrastrukturë të tyre brezgjërë, si dhe popullata që aktualisht është më pak e mbuluar me qasje në rrjet me shpejtësi të lartë (<http://www.worldbank.org/sq/news/press-release/2015/02/25/world-bank-supports-kosovo-in-extending-internet-in-rural-areas>).

Telefonia fikse ka 120 mijë parapagues të telefoneve fikse. Rrjeti i telefoneve fikse, pjesërisht aplikon teknikën digjitale, fibrave optik dhe sistemin SDH.

Objektivi strategjik i Politikave është përmirësimi i cilësisë së jetës për banorët e Kosovës si dhe mjedisit afarist për kompanitë përmes shfrytëzimit të mundësive të krijuara nga TIK-u dhe rritja e përqindjes së përdoruesve të internetit në Kosovë deri në së paku 85 % deri në vitin 2020. (www.kryeministri-ks.net/repository/docs/Politikat_e_Sektorit_te_Komunikimeve_Elektronike-Axhenda_Dixhitale_perKosoven_2013-2020).

Shqipëria (ITU Albania.al)

Rrjeti i hartës së shtrirjes të fibrës optike në Shqipëri

Rrjeti i hartës tregon rrugën fibër optike dhe Points of Presence (Pika të Prezencës) (POPs), të instaluar në të gjitha qytetet kryesore të Shqipërisë. Çdo PoP do të shërbejë si një miniqendër e të dhënave, në mënyrë që ATU-së, klientëve dhe pajisjeve të IT-së t'u bëjë të mundur kështoj që çdo klienti t'i krijohet një PoP kryesor për kryerjen e shërbimit për secilin qytet.

Statistikat e rrjetit

- 750 km fibër; PoP-s në 12 qytetet me pajisje aktive:

Tiranë (Kashar), Durrës, Elbasan, Pogradec, Korçë, Shkodër, Reps, Kukës, Fier, Vlorë, Tepelenë, Gjirokastrë

- 20 qytete me aftësinë e lidhjes direkt në rrjetin e ATU-së.

Konkretisht: Tiranë, Durrës, Kavajë, Rrogozhinë, Peqin, Elbasan, Librazhd, Pogradec, Korçë, Krujë, Laç, Lezhë, Shkodër, Mirditë, Kukës, Lushnjë, Fier, Vlorë, Tepelenë dhe Gjirokastrë

- 4 shtetet fqinje: Mali i Zi, Kosovë, Maqedoni/FYROM dhe Greqi

Maqedonia

Në Maqedoni, Makedonski Telekom është kompania më e madhe në mesin e ofruesve të ndryshëm FTTH në vend. Shërbimet me fibër optike janë aktualisht në dispozicion në qytetet më të mëdha në vend, si dhe në disa zona rurale. Shërbimet ofrojnë shpejtësi simetrike 40/50/60/1000 Mbit /s në triple play dhe në double play packages.

Greqia

Në Greqi planifikimet kanë qenë nga 2013-a për të siguruar FTTH në dy milionë shtëpi në Athinë, në Selanik, dhe në 50 qytete të tjera, me një kosto 2,1 miliardë euro, dhe me shpejtësi të "të paktën" 100 Mbit /s.

SHBA

Në disa shtete, si për shembull në SHBA, fibrat optike kanë filluar të përdoren qysh në vitet '80, ku në atë kohë sistemet operonin në një shkallë të të dhënave prej 90Mb/s. Çka i binte që një fije optike bartte 1300 kanale zëri në të njëjtën kohë, ndërsa sot sistemet operojnë në dhjetëra e qindra Gb/s, dhe arrihet që të barten mijëra e miliona thirrje në një kanal të vetëm transmetues me fibra optike. Pra, këto arritje janë si rezultat i zhvillimit të teknologjive të sistemeve transmetuese, si *dense wavelength-division multiplexing* (DWDM), dhe

përforcuesit optik *erbium-doped fiber amplifiers* (EDFA), me kapacitete transmetimi në Tbit/s, të sqaruara më sipër.

Tani, në kohën tonë, kemi edhe implementime të transmetimeve me kapacitete terabit, siç është rasti i kompanisë Infinera:

Në nëntor të vitit 2015 ka realizuar linkun me kapacitet prej 1.5 Tbit/s, me super kanal të DWDM-it, për të mbështetur një konferencë shkencore ndërkombëtare në Austin/Texas; një linjë terabitëshe që demonstroi shërbimin 100 Gigabit Ethernet nga konferenca tek linku qendror CenturyLink dhe në gjashtë qytetet më të mëdha të Amerikës (http://www.infinera.com/centurylink_infinera-delivering_1-5_tbs_of_super-channel_dwdm/).

Ky trend i zhvillimit të sistemeve të komunikacionit me fibra optike sipas të gjitha gjasave do të evoluojë në bazë të zhvillimit të kërkesës dhe nevojës së transmetimit të informacionit gjithnjë e në rritje.

3.2.1. Përparësitë e përdorimit të fibrave optike në Kosovë

Nga sa u tha më sipër duket qartë gjendja dhe përparsia e përdorimit të fibrave optike në sistemet e rrjetave transmetuese në Kosovë. Sistemet e fibrave optike kanë shumë avantazhe në krahasim me sistemet e tjera të komunikimit të bazuara në kabllo prej bakri: transmetimet në distanca të gjata, performanca më të mira të sinjalit, humbje shumë më të vogla në transmetim, gjerësi brezi e madhe, më të lehta, nuk ndikohen nga interferencat elektromagnetike e as nga radiofrekuencat, më të sigurt gjatë transmetimit, nuk mund të detektohen lehtë, vetëm duke u vëzhguar, janë më të lira, dhe me zhvillimin e teknologjisë kanë mundësi ta rrisin kapacitetin e transmetimit duke u bazuar në gjerësinë e brezit që posedojnë, etj (Ref. Nick Massa Springfield Technical Community College Springfield, Massachusetts), prandaj edhe pjesët e mbetura në akseset e qasjes në shtëpi e banesa nga kabllo e bakrit në Kosovë duhet të zëvendsohen sa më shpejt me kabllo optike.

3.2.2. Infrastruktura

Infrastruktura e operatorëve të cilët ofrojnë shërbime telekomunikuese dallon për nga lloji i teknologjisë së përdorur për ofrimin e qasjes tek përdoruesit fundorë. Natyra më komplekse e teknologjisë është ajo fikse, të cilën e ofrojnë në mënyra të ndryshme operatorët aktualë telekomunikues, që ofrojnë linja me qira. Ndërsa ofrimin e linjave me qira përmes teknologjisë së telefonisë mobile, operatorët e bëjnë në trajtë më uniforme, prandaj nuk dallon shumë, dhe është lehtësisht e krahasueshme.

Në totalin e hyrjeve janë dhënë hyrjet nga shërbimet për: telefoni fikse, telefoni mobile, linja me qira dhe të qasjes në internet, të cilat janë marrë nga raportet e ndërmarrjeve/operatorëve. Në hyrje të linjave me qira janë konsideruar nga operatorët e telekomunikacionit në Kosovë, si operatori PTK sh.a., edhe ato nga marrëveshja me IPKO Telecommunications për “Leased dark fiber”; hyrje këto që nuk kategorizohen në grupin e linjave me qera që janë subjekt i kësaj analize: analiza e tregjeve të linjave me qira dhe përcaktimi i operatorit me fuqi të ndjeshme në treg (OFNT).

IV. Case study (Studimet e rasteve 1, 2, 3)

Tani do të fokusohem në studimet e rastit për t'i analizuar transferimet e të dhënave në simulator OptiSystem 13.0. Unë do të bazohem në tri raste studimi, ku secili rastë studimi do ti ketë specifikat e veta. Secili raste studimi ka një gjatësi të caktuar të kablllos optike. Rasti i parë i studimit është i trajtuar si rastë ideal, ky rast nuk do të ketë ndërprerje të kabllit në linjën transmetuese Prishtinë -Shkup, dhe do të jetë me gjatësi ~ 107.56 km. Ndërsa në rastin e dytë dhe në rastin e tretë të studimit do të bazohem në linjat reale që lidhin qytetet e Prishtinës dhe Shkupit. Rastet e studimit dy dhe tre janë simuluar në atë mënyrë që kablloja optike të ketë humbje reale, dhe elementet aktive, siç janë transmetuesi WDM, multiplekseri WDM, demultiplekseri WDM, etj., gjithashtu të kenë humbjen e tyre reale, këto humbje janë dhënë për arsye të paraqitjes sa më reale të sinjalit optik në një rrjetë me gjatësi të tillë.

Rasti i dytë në linjën e rrjetit optik në mes dy kryeqendrave Prishtinë-Shkup, do të jetë me gjatësi ~ 113.00 km dhe si pika vazhduese (coupling points) të kablllos janë gjithsej 22 pika (vende). Ndërsa rasti i tretë në linjën e rrjetit optik në mes dy kryeqendrave, Prishtinë-Shkup, do të ketë gjatësi ~ 109 km dhe si pika vazhduese të kablllos janë gjithsej 8 pika (vende).

Rezultatet e marra nga matjet e bëra nga të tri rastet me dhe pa teknologjinë përforcuese EDFA me kapacitete reale 10 Gbps dhe 40 Gbps që përdoren në linjën transmetuese Prishtinë – Shkup, do ti paraqesë në tabela , figura dhe grafe, si dhe do bëjë llogaritje matematikore të humbjeve në rastet kur në linjë do të përdorë teknologjinë përforcuese EDFA dhe kur nuk do të përdorë teknologjinë përforcuese EDFA.

Për arsye të vlersimit dhe paraqitjes sa më të mirë të cilësisë së kualitetit të sinjalit dhe humbjeve që shkaktohen në sistemin e transmetimeve në linjat transmetuese me fibra optike,

do ti diskutojë disa parametra më të rëndësishëm siq janë: fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit; matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer). Në dalje të demultiplekserit lidhet marrësi (receiver) i sinjalit optik, dhe në këtë marrës mund të bëjmë matjen e nivelit të humbjes së sinjalit në vlerë bitësh (Bit error rate - BER), që është një parametër kyç tregues për të vlerësuar se sa arrin vlerën sinjali transmetues; ndërsa vlerën e sinjalit si dhe arritjen ideale të humbjeve mund ta shohim nga matjet me Analizuesin e Spektrit të Radiofrekuencave (RF Spectrum Analyzer) .

4. Studimi i Rastit 1

Në rastin e parë të studimit do të paraqes rastin ideal, të bazuar në teori dhe në simulator. Ky rast i paraqitur në figurën 94 është skicuar në simulator OptiSystem 13.0; në këtë skicë kam paraqitur linjën e rrjetit optik në mes dy kryeqendrave, Prishtinë-Shkup, me gjatësi ~ 107.56 km. Rasti është simuluar në atë mënyrë që kablloja optike të mos ketë humbje, sikur të ishte vetëm një kabllo e plotë, pa vazhdime, me këtë gjatësi prej 107.56 km, dhe elementet aktive, siç janë transmetuesi WDM, multiplekseri WDM, demultiplekseri WDM, etj. të kenë humbjen minimale të tyre; këto humbje janë eliminuar për arsye të paraqitjes sa më ideale të sinjalit optik në një rrjet me gjatësi të tillë. Dizajni i rrjetit në simulator është skicuar në bazë të rrjetit real të implementuar në linjat backbone Prishtinë-Shkup.

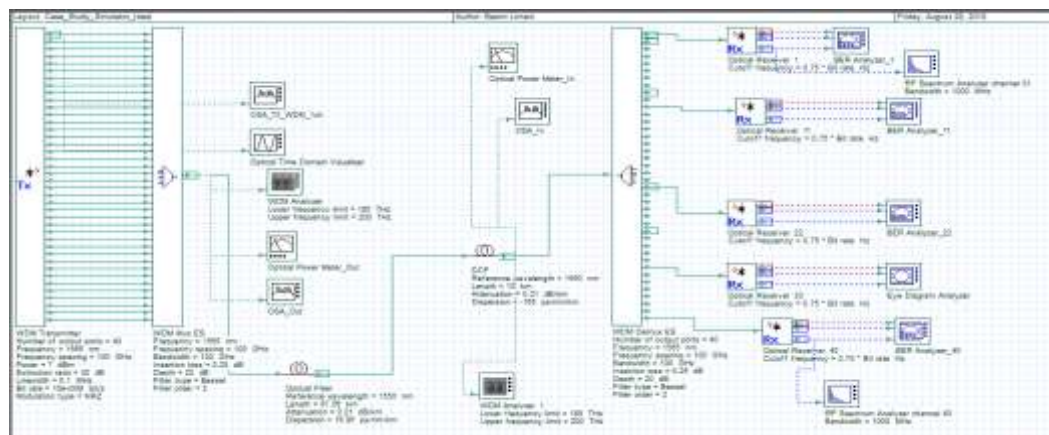


Figura 90. Skema e rastit ideal (simulimi laboratorik)

4.1.1. Të dhënat teknike të kablllos optike dhe pajisjeve aktive të përdorura në simulator

Kablloja optike e cila është paraqitur në simulator i përket kategorisë G.652, dhe të dhënat teknike të kësaj kablloje janë paraqitur në tabelën 15.

Tabela 15. Të dhënat e kablllos optike të kategorisë G.652

Parametrat e KablllosOptike\Emërtimet	Fibër 1 (97.56 km)	DCF (10km)
Reference wavelength (nm)	1550	1550
Length (km)	97.56	10
Attenuation	0.21	0.21
Dispersion	16.85	-165
Dispersion slope	0.075	-0.075
Beta 2	-20	-20
Beta 3	0	0
Differential group delay	0.2	0.2
PMD coefficient	0.5	0.5
Mean scattering section length	500	500
Scattering section dispersion	100	100
Self-phase modulation	NO	NO
Effective area	80	80
Max. nonlinear phase shift	3	3
Boundary conditions	Periodic	Periodic
Filter steepness	0.05	0.05
Lower calculation limit	1200	1200
Upper calculation limit	1700	1700
Calculate graphs	NO	NO
Number of distance steps	200	200
Number of wavelength/time steps	200	200
Linear scale	YES	YES
Minimum value	-100	-100
Convert noise bins	NO	NO

Ndarja e brezit C në 40 kanale dhe vlerat e transmetuesit, multiplekserit dhe demultiplekserit

WDM/DWDM janë paraqitur si ideale; të dhënat teknike janë shfaqur në tabelën në vijim:

Tabela 16. Të dhënat e Transmetuesit WDM.

Parametrat e WDM Transmetuesit	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Power	7	dBm
Extinction ratio	30	dB
Linewidth	0.1	MHz
Initial phase	0	deg
Bit rate	10.00E+9	bits/s
Modulation type	NRZ	
Duty cycle	0.5	bit
Position	0	bit
Rise time	1/(Bit rate) *0.05	s
Fall time	1/(Bit rate) *0.06	s
Transmitter type	EML	
Noise bandwidth	6.40E+11	Hz
Noise bins spacing	6.40E+11	Hz

Të dhënat e multiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 17. Të dhënat e Multiplexerit WDM/DWDM

Parametrat e Multiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	20	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Të dhënat e demultiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 18. Të dhënat e Demultiplexerit WDM/DWDM

Parametrat e Demultiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	20	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Ndarja e brezit C në 40 kanale është paraqitur në tabelën në vijim.

Tabela 19. Ndarja e brezit C në 40 kanale

Numri i kanalit në Bandën C	Vlera e gjatësisë valore λ	Njësia matëse
1	1565	nm
2	1564.1835	nm
3	1563.3678	nm
4	1562.5529	nm
5	1561.7389	nm
6	1560.9258	nm
7	1560.1135	nm
8	1559.302	nm
9	1558.4914	nm
10	1557.6816	nm
11	1556.8727	nm
12	1556.0646	nm
13	1555.2573	nm
14	1554.4509	nm
15	1553.6454	nm
16	1552.8406	nm
17	1552.0367	nm
18	1551.2336	nm
19	1550.4314	nm
20	1549.6300	nm
21	1548.8294	nm
22	1547.0296	nm
23	1547.2307	nm
24	1546.4325	nm
25	1545.6353	nm
26	1544.8388	nm
27	1544.0431	nm
28	1543.2483	nm
29	1542.4543	nm
30	1541.6611	nm
31	1540.8687	nm
32	1540.0771	nm
33	1539.2864	nm
34	1538.4964	nm
35	1537.7073	nm
36	1536.919	nm
37	1536.1315	nm
38	1535.3448	nm
39	1534.5589	nm
40	1533.7738	nm

4.1.2. Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps në simulator

Sa për ilustrim, në rrjetin optik të simuluar do të gjeneroj trafik 10 Gbps, për të përfituar vlera referuese të cilat do të përdoren si vlera krahasuese në rastet e tjera të studimit. Brezi i gjatësisë valore në të cilin do të operoj me simulime do të jetë brezi C, nga 1530 nm deri në 1565 nm, të referuar në kapitullin I-rë. Humbja totale në kabllon optike do të jetë 22.587 dBm, vlera e fuqisë transmetuese të pajisjes lazerike do të jetë 7 dB, bazuar në vlera reale të transmetuesit optik të prodhuesit Cisco SFP-10G-ZR-S, të dedikuar të transmetojnë në distancë 80 km, me kapacitet 10 Gbps në kabllon optike të llojit G.652, të referuar në kapitullin e dytë. Gjithashtu është përdorur edhe kablloja DCF (Dispersion Compansated Fibre) për kompensimin e dispersionit kromatik që shkaktohet përgjatë rrugëtimit të sinjalit optik, të referuar në kapitullin e parë.

Në rast se në transmetuesin WDM transmetojmë me një fuqi 7 dB, në dalje të multiplekserit WDM do të kemi fuqinë transmetuese 19.698 dBm, ndërsa në hyrje të demultiplekserit do të jetë -2.889 dBm, si në figurën 91.

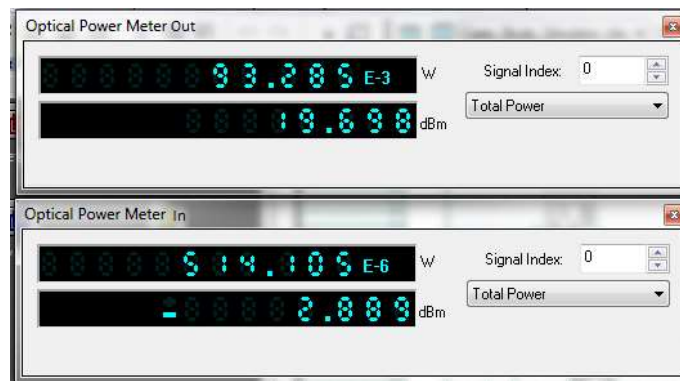


Figura 91. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

Kjo humbje apo ky dobësim i sinjalit kalkulohet sipas formulës (4) të kap. 1, si vijon: fuqia transmetuese $P_{out} = 19.562$ dBm, humbjet totale përgjatë kabllos optike $\alpha = 22.587$ dBm, dhe

nga kjo rrjedh se fuqia hyrëse është:

$$P_{in} = P_{out} - \alpha = 19.698 \text{ dBm} - 22.587 \text{ dBm} = -2.889 \text{ dBm}.$$

Forma dhe niveli i fuqisë së sinjalit matet edhe me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer), ku mund të shihet grafikisht niveli i fuqisë dhe i formës së sinjalit për çdo gjatësi valore λ . Këtë mund ta shohim në figurën 92, në të cilën janë paraqitur matjet e sinjalit në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.



Figura 92. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer).

Nëse e analizojmë këtë figurë vërejmë se niveli i sinjalit në dalje është në një nivel më të lartë sesa niveli i sinjalit në hyrje të demultiplekserit, por gjatë gjithë kohës duke e ruajtur formën e tij ideale, prandaj quhet sinjal ideal, i cili vetëm ulet në një nivel më të ulët, por nuk ndikohet nga faktorë të tjerë, të cilët mund të deformojnë sinjalin, p.sh., ndikimi i zhurmave, etj.

Në dalje të demultiplekserit lidhet marrësi (receiver) i sinjalit optik, dhe në këtë marrës ne mund të bëjmë matjen e nivelit të humbjes së sinjalit në vlerë bitësh (Bit error rate - BER), që është një parametër kyç tregues për të vlerësuar se sa arrin vlerën sinjali transmetues prej 10 Gbps pasi të kalojë përgjatë këtij rrjeti optik. Për të ditur saktë vlerën e BER-it për çdo

gjatësi valore λ duhet të lidhet pajisja analizuese e BER-it (BER Analyzer) në dalje të çdo pranuesi optik (Optical receiver), siç është paraqitur në figurën 93. Vlerat e BER-it për kanalet 01, 11, 22, dhe 40 janë paraqitur në figurën 93.

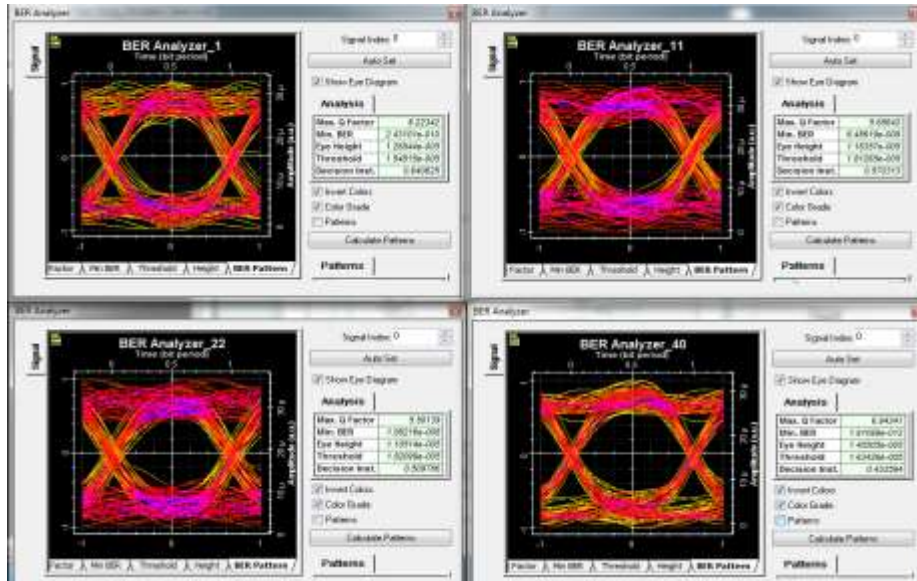


Figura 93. Vlera e matur e BER nga pajisja BER Analyzer.

Ndërsa vlerat në formë tabelare janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 20. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_1 në 10 Gbps në simulator

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.22	
Vlera Minimale e BER-it	$2.43 \cdot 10^{-10}$	bps
Forma e syrit	$1.27 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$1.55 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.64	bit period

Tabela 21. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_11 në 10 Gbps në simulator

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	5.68	
Vlera Minimale e BER-it	$6.48 \cdot 10^{-9}$	bps
Forma e syrit	$1.18 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$1.81 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.57	bit period

Tabela 22. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_22 në 10 Gbps në simulator

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	5.50	
Vlera Minimale e BER-it	$1.88 \cdot 10^{-8}$	bps
Forma e syrit	$1.10 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$1.82 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.51	bit period

Tabela 23. Vlerat e matura nga BER Analyzer të ch_40 në 10 Gbps në simulator

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.94	
Vlera Minimale e BER-it	$1.91 \cdot 10^{-12}$	bps
Forma e syrit	$1.40 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$1.63 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.43	bit period

Nëse i krahasojmë vlerat e këtyre tabelave të paraqitura më sipër, atëherë vërejmë se në kanalin e parë, me gjatësi valore $\lambda = 1565$ nm, BER është $2.43 \cdot 10^{-10}$ apo $2.43 \cdot 10^{-10}$, ndërsa vlera e faktorit të kualitetit (Q-factor)¹³ është 6.22. Sa më e lartë të jetë vlera e BER-it, kualiteti bie, ndërsa vlera e faktorit Q zvogëlohet. Këtë më së miri e vërejmë duke krahasuar tabelat në vijim për kanalin 11, me gjatësi valore $\lambda=1556.87$ nm, dhe për kanalin 22, me gjatësi valore $\lambda=1548.03$ nm, ku vlera e BER-it është rritur në krahasim me kanalin e parë, ndërsa vlera e faktorit Q është zvogëluar; në kanalin e fundit, në atë 40, me gjatësi valore $\lambda = 1533.77$ nm, vlera e BER-it është zvogëluar dukshëm, ndërsa vlera e Q-faktorit është rritur. Kjo tregon se transferimi i të dhënave në kanalin 40 është shumë më i mirë sesa në kanalet e tjera, sepse ka humbje shumë më të vogla.

Vlerën e sinjalit si dhe arritjen ideale të humbjeve mund ta shohim edhe nga matjet me Analizuesin e Spektrit të Radiofrekuencave (RF Spectrum Analyzer); këto vlera janë paraqitur grafikisht në figurën 94 në vijim:

¹³ Q-factor – faktori i kualitetit për të cilin kemi dhënë shpjegime në kapitullin e parë.

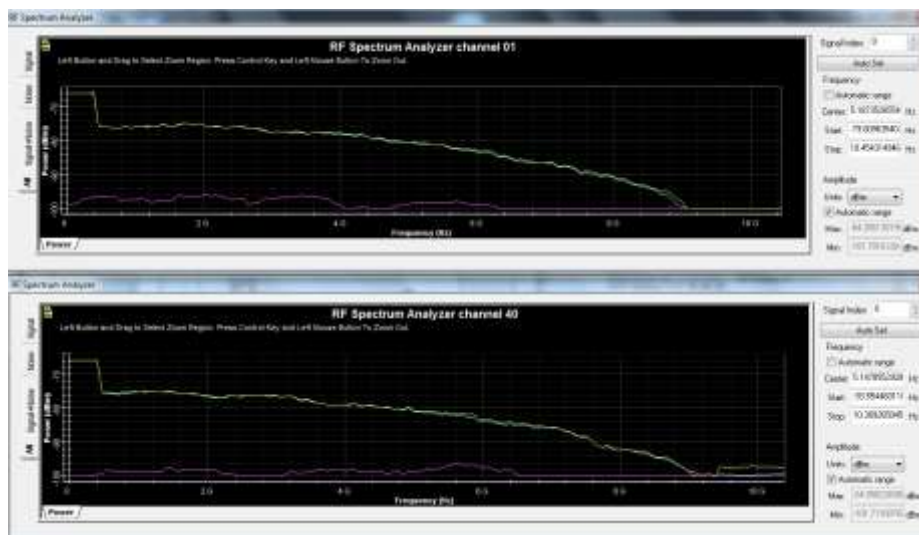


Figura 94. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave

Në këtë figurë vërejmë se sinjali u afrohet zhurmave përafërsisht në vlerën ~ 9.2 GHz, e kjo paraqitet në kanalin 40, me gjatësi valore $\lambda = 1533.77$ nm, mirëpo nuk humbet, por vazhdon më tutje, duke kaluar vlerën 10 GHz. Ndërsa në kanalin e parë, në pikën me vlerë përafërsisht ~ 9.2 GHz, sinjali degradohet apo humbet.

Në teknologjinë WDM, duke përdorur brezin C të gjatësisë valore nga 1530 nm deri në 1565 nm, dhe hapësirën frekuencore 100 GHz për kanal (referuar në kapitullin 1), përafërsisht mund të përdorim 44 kanale. Sipas matjeve që kemi nga rasti ynë në skemën e përpiluar në laborator, mund të transferojmë nga ~ 9.2 Gbps në secilin kanal, që rezulton se në një fije optike mund të transferojmë të dhëna me vlerë reale me kapacitet maksimal deri në 404.8 Gbps, ndërsa ideale deri në 440 Gbps. Nëse llogarisim kabllon optike me 96 fije, atëherë në këtë kabllo optike mund të transferojmë realisht 38860 Gbps, apo 38.86 Tbps, ndërsa teorikisht mund të transferohet deri në 42.24 Tbps. Në teknologjinë DWDM, i njëjti brez, duke përdorur hapësirën frekuencore nga ajo 100 GHz, sa ishte në WDM, në 50 GHz, sa është në DWDM, mundëson që ky kapacitet i transferimit të të dhënave të arrijë dyfishin e

tij; në baza reale krijohen 80 kanale nga 9.2 Gbps, e në rastin tonë, në total arrin në 736 Gbps në një fije optike, apo 70.65 Tbps në një kablo me 96 fije, ndërsa, duke u bazuar në vlerën teorike, transferimi i të dhënave duhet të arrijë vlerën 880 Gbps për fije optike, kurse në kabllo optike me 96 fije arrin vlerën maksimale në 84.48 Tbps. Për të arritur sa më afër vlerës teorike, do të provoj që sinjalin optik ta përforcoj me përforcues optikë. Në rrjetën e simulatorit ideal do të vendos përforcuesit EDFA për të arritur rezultatet më të mira.

4.1.3. Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps në simulator ideal duke përdorur përforcuesit EDFA

Në skemën e rrjetit ideal të përpiluar në simulator do të vendosim përforcues EDFA për të përforcuar sinjalin optik që të arrijmë rezultate më të mira në transferimin e të dhënave. Në figurën 95 është paraqitur skema ideale me përforcues EDFA.

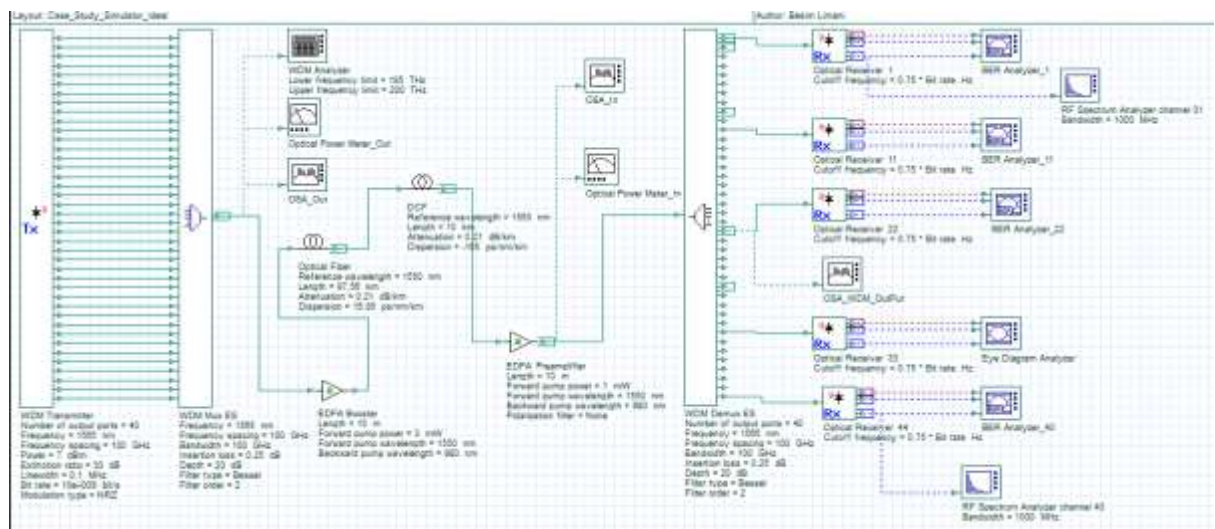


Figura 95. Skema ideale me përforcues EDFA

Të gjitha vlerat e parametrave të pajisjeve të përdorura në këtë skemë janë të njëjta me vlerat e paraqitura në tabelat 15,16, 17, 18, 19, ndërsa vlerat e përforcuesve optikë janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 24. Vlerat e përforcuesit EDFA Booster

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e } + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	3	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 25. Vlerat e përforcuesit EDFA Preamplifier

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e } + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	1	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Dallimi mes EDFA Booster-it dhe Preamplifier-it është vetëm në vlerën e fuqisë së pompimit në drejtimin para, që në EDFA Booster është 3 mW, ndërsa tek EDFA Preamplifier është më e ulët, gjegjësisht 1 mW, pasi në këto vlera kam arritur rezultate më të mira të sinjalit të përforcuar. Pas vendosjes së përforcuesve kemi këto vlera të sinjalit optik, siç janë paraqitur në figurat 96, 97, 98 dhe 99, si dhe në tabelat 26, 27, 28, 29.



Figura 96. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit duke përdorur EDFA.

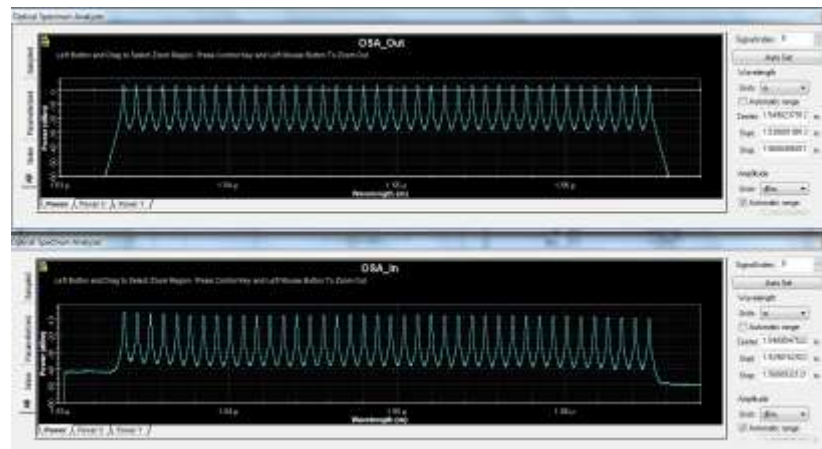


Figura 97. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer).

Në fig.96 dhe 97 vërejmë kanalet në gjatësi të caktuara valore të ndara nga transmetuesi WDM dhe të cilat bashkohen në një sinjal të vetëm nga multiplexeri, vërejmë se si vlera e fuqisë së sinjalit optik bie për 11.202 dB në secilin kanal nga dalja e multiplexerit deri në hyrje të demultiplexerit duke përkthyer rrugën përgjatë kabllos optike.

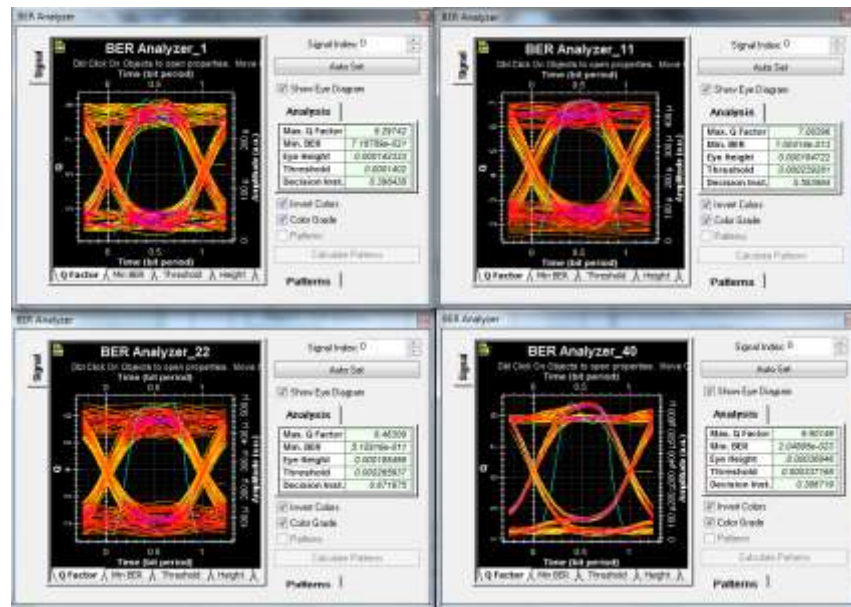


Figura 98. Vlera e matur e BER nga pajisja BER Analyzer

Tabela 26. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	9.29	
Vlera Minimale e BER-it	$7.18 \cdot 10^{-21}$	bps
Forma e syrit	0.00014	
Pragu i sinjalit	0.00014	
Decision Instant	0.39	bit period

Tabela 27. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1(ideal) me EDFA ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	7.08	
Vlera Minimale e BER-it	$7.004 \cdot 10^{-13}$	bps
Forma e syrit	0.00019	
Pragu i sinjalit	0.0002	
Decision Instant	0.56	bit period

Tabela 28. Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.46	
Vlera Minimale e BER-it	$5.12 \cdot 10^{-11}$	bps
Forma e syrit	0.00018	
Pragu i sinjalit	0.00026	
Decision Instant	0.67	bit period

Tabela 29 . Vlerat e BER 10 Gbps rasti 1 (ideal) me EDFA ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	9.90	
Vlera Minimale e BER-it	$2.047 \cdot 10^{-23}$	bps
Forma e syrit	0.00036	
Pragu i sinjalit	0.00033	
Decision Instant	0.38	bit period

Nga figura 99 shohim se transmetimi i sinjaleve me përforcues EDFA e ka përmirësuar sinjalin dukshëm dhe tani caku i transmetimit 10 Gbps është tejkaluar.

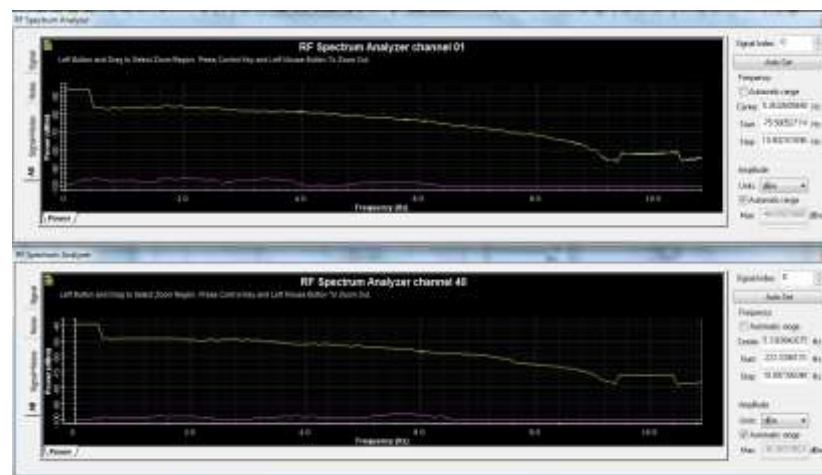


Figura 99. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave

4.1.4. Transferimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps në simulator

Në skemën e përpiluar në simulator të rastit ideal, të paraqitur në figurën 100, do të provojmë të transmetojmë të dhëna me kapacitet 40 Gbps, për të nxjerrë vlera referuese. Në këtë skemë duhet të ndërrohen vlera e transmetuesit WDM nga 10 Gbps në 40 Gbps, vlera e thellësisë (depth) e sinjalit në WDM multiplexer dhe WDM demultiplexer, nga 20 dB në 100 dB, për arsye të performancës më të mirë të sinjalit ideal, siç janë paraqitur në tabelat 30, 31,32.

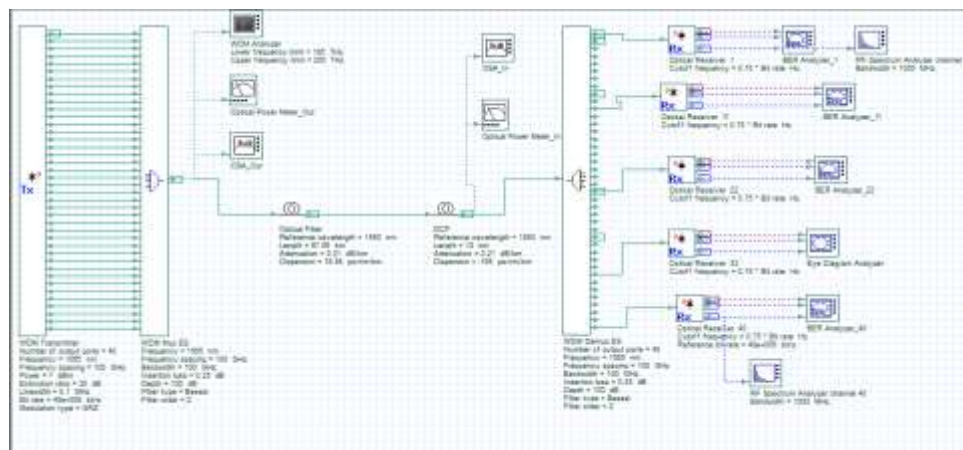


Figura 100. Skema ideale e transmetimit të sinjalit optik me kapacitet 40 Gbps WDM.

Tabela 30. Parametrat e Transmetuesit WDM 40 Gbps.

Parametrat e WDM Transmetuesit	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Power	7	dBm
Extinction ratio	30	dB
Linewidth	0.1	MHz
Initial phase	0	deg
Bit rate	40 E+9	bits/s
Modulation type	NRZ	
Duty cycle	0.5	bit
Position	0	bit
Rise time	1/(Bit rate) *0.05	s
Fall time	1/(Bit rate) *0.06	s
Transmitter type	EML	
Noise bandwidth	6.40E+11	Hz
Noise bins spacing	6.40E+11	Hz

Të dhënat e multiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 31. Parametrat e multiplexerit WDM

Parametrat e Multiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Të dhënat e demultiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 32. Të dhënat e demultiplexerit WDM

Parametrat e Demultiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Ndërsa vlerat e sinjalit optik pas matjeve janë paraqitur në fig. 101, 102, 103, 104.



Figura 101. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit në transmetim të sinjalit me kapacitet 40 Gbps.

Nga kjo matje vërejmë se humbjet totale të sinjalit optik janë në vlerë prej 22.588 dB.

Në fig.102 vërejmë kanalet në gjatësi të caktuara valore të ndara nga transmetuesi WDM dhe që bashkohen në një sinjal të vetëm nga multiplekseri, dhe shohim se si bie vlera e fuqisë së sinjalit optik për 22.588 dB në secilin kanal nga dalja e multiplekserit deri në hyrje të demultiplekserit, duke përshkuar rrugën përgjatë kablllos optike.

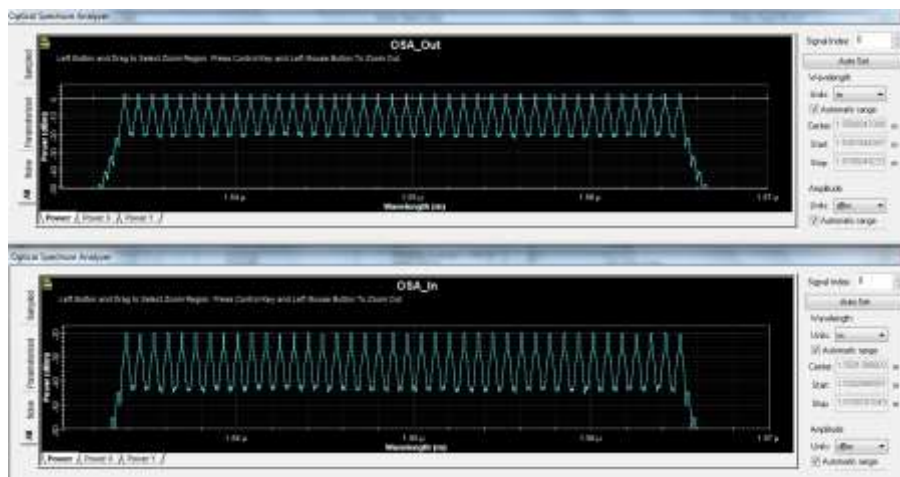


Figura 102. Vlerat e matura me Analizues të spektrit optik.

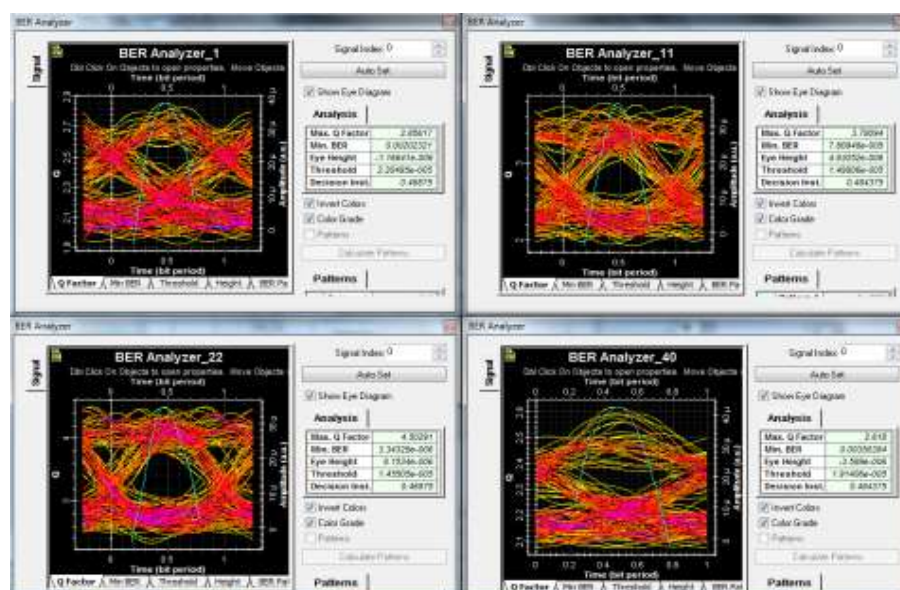


Figura 103. Vlerat e sinjalit optik të matura me BER analizues

Në figurën 103 janë paraqitur vlerat e sinjalit optik të kanaleve 01, 11, 22 dhe 40, të matura me BER analizues në simulator; këto vlera mund t'i shohim në tabelat 33, 34, 35 dhe 36. Nga këto matje vërejmë se vlera e sinjalit, sidomos në kanalin e parë dhe të fundit, është tejet e ulët duke u bazuar në vlerat e BER-it dhe faktorit Q, dhe se kjo vlerë e ulët e sinjalit optik vërteton se nuk mund të bartet kapaciteti i plotë prej 40 Gbps. Këtë dukuri mund ta vërejmë më mirë në matjet që kam bërë me analizues të spektrit të radiofrekuencave, si në fig. 104.

Si faktorë që ndikojnë në këto rezultate janë dispersioni, atenuimi dhe humbjet e tjera; skema është përpiluar mbështetur në vlera reale, e të cilat nuk i kam ndryshuar që ajo të jetë sa më e njëmendte.

Tabela 33. Vlerat e BER 40 Gbps ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.85	
Vlera Minimale e BER-it	0.002	bps
Forma e syrit	$-1.16 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$2.20 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 34. Vlerat e BER 40 Gbps ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.78	
Vlera Minimale e BER-it	$7.80 \cdot 10^{-5}$	bps
Forma e syrit	$4.93 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.49 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 35. Vlerat e BER 40 Gbps ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	4.50	
Vlera Minimale e BER-it	$3.34 \cdot 10^{-6}$	bps
Forma e syrit	$8.15 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.45 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 36. Vlerat e BER 40 Gbps ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.61	
Vlera Minimale e BER-it	0.003	bps
Forma e syrit	$-3.58 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.91 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.48	bit period

Në figurën në vijim po paraqes matjen e bërë me analizuesin e spektrit të frekuencave, nga duket qartë që sinjali degradohet përafërsisht në 24 Gbps dhe nuk ka mundësi të bartë sinjalet optike në cakun 40 Gbps.

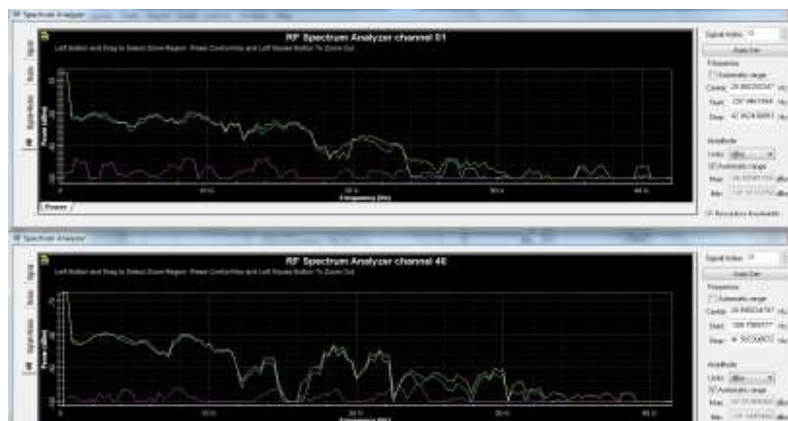


Figura 104. Matjet e bëra me analizues të spektrit të radiofrekuencave.

4.1.5. Transmetimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps duke përdorur përforcuesit EDFA

Duke parë se në topologjinë e njëjtë, me vlera përafërsisht të njëjta, siç është paraqitur në figurat 90 dhe 100, kemi arritur të transferojmë 10 Gbps me kapacitet të plotë, por nuk kemi arritur të transferojmë 40 Gbps me kapacitet të plotë, atëherë kam për të përdorur përforcuesit optikë EDFA për të përmirësuar vlerat e sinjalit optik. Vlerat e përforcuesve optikë i kam paraqitur në tabelat 37 dhe 38, ndërsa skema apo topologjia me përforcues është paraqitur në figurën 105.

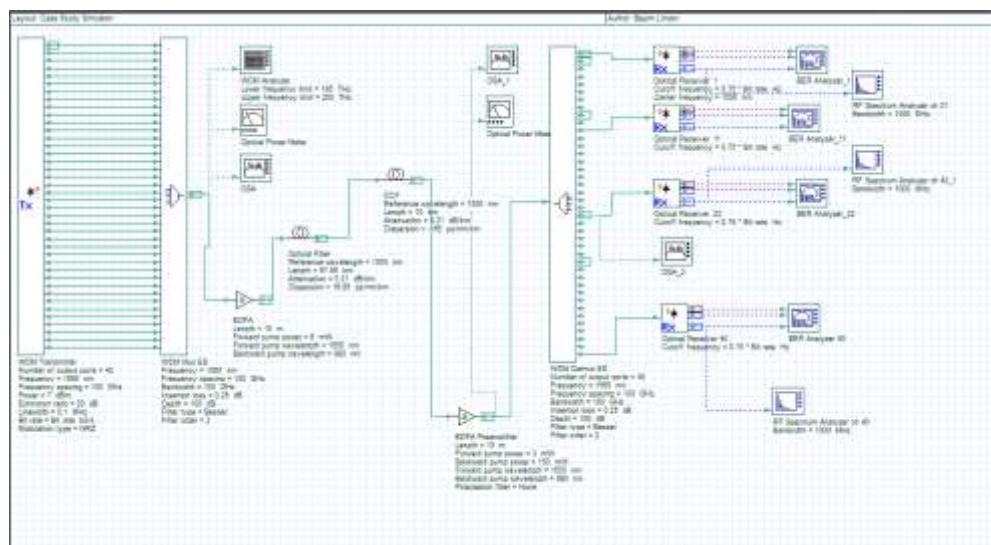


Figura 105. Skema me transferim 40 Gbps me EDFA

Tabela 37. Përforcuesi EDFA Booster

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e} + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	6	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 38. Përforcuesi EDFA Preamplifier

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e} + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	3	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Nëse analizojmë vlerat e përforcuesve në tabelat e mësipërme, vërejmë se vlera e përforcimit të sinjalit në përforcuesin e parë (booster) është 6 mW, gjegjësisht 7.78 dB, ndërsa në përforcuesin e dytë kemi vlerën e sinjalit përforcues 3m W, gjegjësisht 4.77 dB. Përmirësimi i vlerës totale të sinjalit optik është dukshëm më i mirë, ashtu siç e kam paraqitur në figurën 106 nga matjet me Optical Power Meter.



Figura 106. Optical Power Meter

Diferenca e sinjalit dalës nga multiplekseri dhe vlerës hyrëse në demultiplekser është 12.31 dB. Nga kjo kuptojmë se sinjali optik gjatë rrugëtimit të tij përgjatë kablllos optike me gjatësi ~107 km ka pësuar humbje vetëm 12.31 dB. Ky ndryshim i humbjeve ndikon në përmirësimin e kualitetit të sinjalit optik, të cilin e vërejmë me matjet e bëra në simulator, ashtu siç janë paraqitur në figurat 107, 108 dhe 109 në vijim.



Figura 107. Matjet e bëra me *optical spectrum analyzer* në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

Në këtë figurë vërejmë qartë se si sinjali optik pëson rënie prej 12.31 dB në tërë brezin e gjatësisë valore të bandës C pa pësuar deformim brenda vetes.

Ndërsa në figurën 108 vërejmë formën e syrit për kanalet 01, 11, 22 dhe 40.

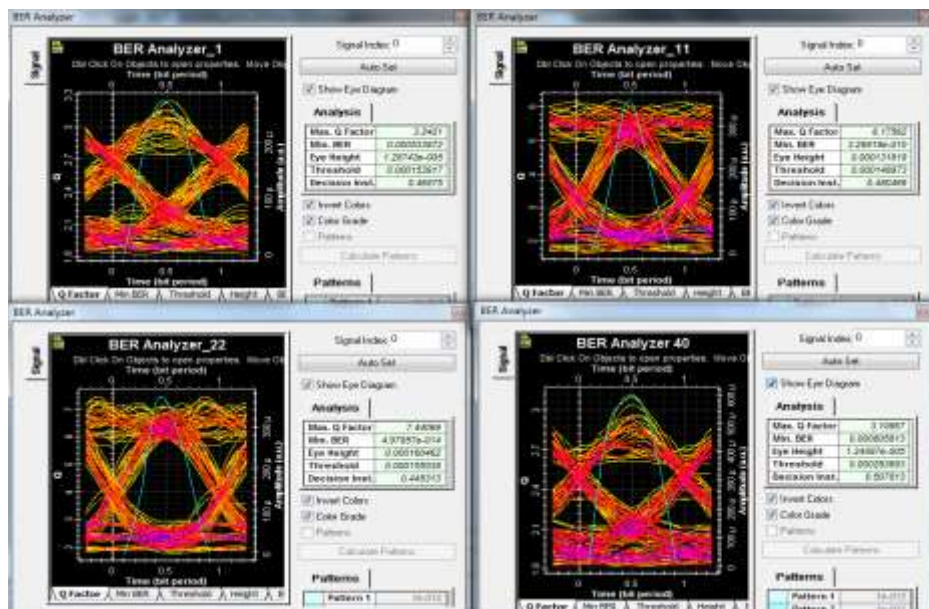


Figura 108. BER Analyzer me EDFA

Vlerat e matura me BER Analyzer janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 39. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.24	
Vlera Minimale e BER-it	0.00053	bps
Forma e syrit	$1.28 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	0.00015	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 40. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.17	
Vlera Minimale e BER-it	$3.26 \cdot 10^{-10}$	bps
Forma e syrit	0.00013	
Pragu i sinjalit	0.00014	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 41. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	7.44	
Vlera Minimale e BER-it	$4.97 \cdot 10^{-14}$	bps
Forma e syrit	0.00016	
Pragu i sinjalit	0.00015	
Decision Instant	0.44	bit period

Tabela 42. Vlerat e BER-it me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.10	
Vlera Minimale e BER-it	0.0008	bps
Forma e syrit	$1.24 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	0.00029	
Decision Instant	0.50	bit period

Këtë përmirësim të sinjalit që vërehet sidomos në kanalet 11 dhe 22 mund ta dallojmë edhe nga matjet e bëra me RF Spectrum Analyzer në figurën 109.

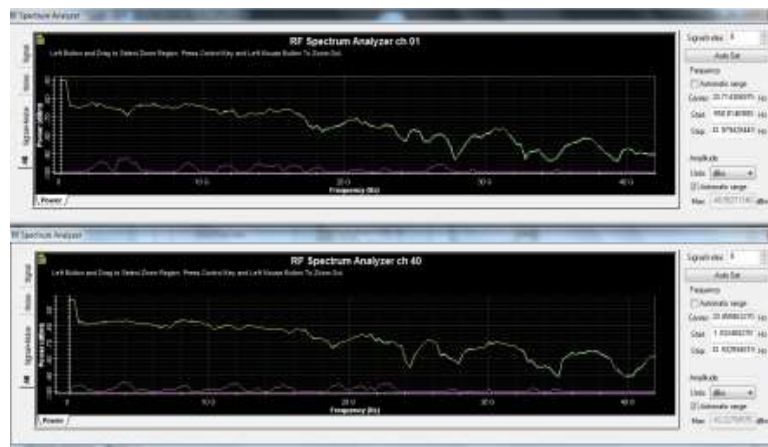


Figura 109. Matjet në simulator me RF Spectrum Analyzer.

4.2.Studim rasti 2 (Operatori 1)

Në rastin e dytë të studimit do të paraqes atë të operatorit të parë të shërbimeve telefonike që operon në territorin e Republikës së Kosovës, duke u bazuar në gjendjen reale, nga e cila kam krijuar rastin e dytë në simulator. Ky rast i paraqitur në figurën 110 është skicuar në simulator OptiSystem 13.0; në këtë skicë kam paraqitur linjën e rrjetit optik në mes dy kryeqendrave Prishtinë-Shkup, me gjatësi ~113.00 km. Rasti është simuluar në atë mënyrë që kablloja optike të ketë humbje reale, dhe elementet aktive, siç janë transmetuesi WDM, multiplekseri WDM, demultiplekseri WDM, etj., po ashtu të kenë humbje reale; këto humbje janë dhënë për arsye të paraqitjes sa më reale të sinjalit optik në një rrjetë me gjatësi të tillë.

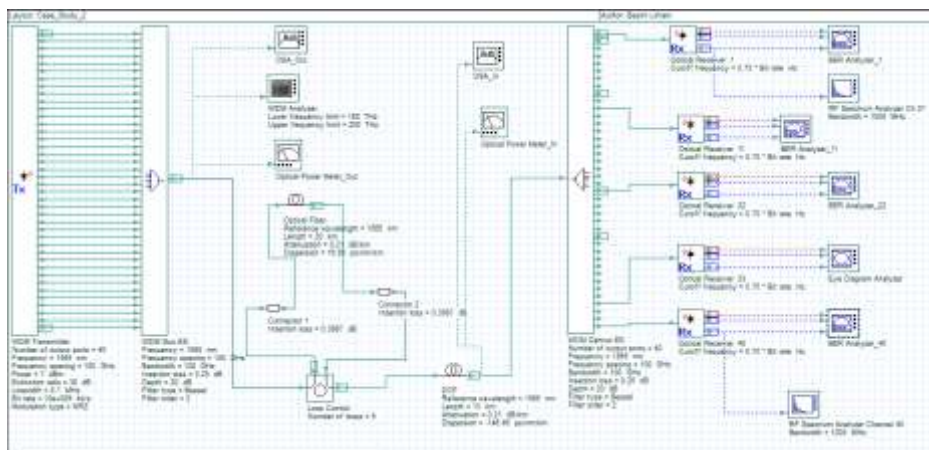


Figura. 110 Skema e transmetimit 10 Gbps

4.2.1. Të dhënat teknike të kablllos optike dhe të pajisjeve aktive të përdorura në simulator

Kablloja optike që është paraqitur në simulator i përket kategorisë G.652. Atenuimi në kabllon optike është real, ashtu siç është dhënë nga prodhuesi, ndërsa në DCF kam rritur vlerën e kompensimit të dispersionit. Kurse humbjet e tjera, të cilat janë si rezultat i konektorëve dhe pikave ku është vazhduar kablloja, i kam paraqitur në konektorët 1 dhe 2. P.sh., si pika vazhduese (coupling points) të kablllos janë gjithsej 22 pika (vende); totali i humbjes së këtyre pikave është 3.987 dB, totali i humbjes në kabllon optike me gjatësi 100 km është 21dB, ndërsa totali i humbjeve në kabllon DCF, me gjatësi 13 km, është 2.73 dB.

Humbjet e përgjithshme janë si vijojnë:

$$H_{fo} + H_v + H_{dcf} = 21\text{dB} + 3.987\text{dB} + 2.73\text{dB} = 27.717\text{dB}$$

H_{fo} - Humbjet totale në kabllon optike me gjatësi 100 km.

H_v - Humbjet totale të pikave vazhduese të kablllos optike

H_{dcf} -Humbjet totale të kablllos DCF me gjatësi 13 km.

Për paraqitje sa më reale të projektit në skicë (skemë), jam detyruar që kabllon optike 100 km ta ndaj në 5 cikle (loop) nga 20 km, si dhe konektorët i kam vendosur në këtë formë, si:

Pajisja Loop Controle me vlerë 5 në skemë do të thotë se sinjali optik rrotullohet 5 herë në

fije optike me gjatësi 20 km, çka është e njëjtë sikur sinjali optik të përshkojë rrugën përgjatë fijos optike prej 100 km.

Humbjet në pikat vazhduese i kam mbledhur si total 3.987 dB, për të mos paraqitur gjithsej 22 pika vazhduese në skemë, e cila do të komplikohet. Prandaj kam bërë këtë zgjidhje: humbjen totale të vazhdimeve e kam pjesëtuar në dy pika, d.m.th., konektorin 1 dhe konektorin 2. Kam llogaritur se sinjali në loop duhet të kalojë në 5 cikle, prandaj humbjen për secilin konektor e kam ndarë në 5 cikle, dhe si rezultat kam gjetur vlerën 0.3987 dB.

Llogaritjet janë bërë në këtë mënyrë:

Konektori 1 (C_1) = 0.3987 dB dhe Konektori 2 (C_2) = 0.3987 dB

$H_1 = C_1 * 5 \text{ cikle} = 0.3987\text{dB} * 5 = 1.9935\text{dB}$

$H_2 = C_2 * 5 \text{ cikle} = 0.3987\text{dB} * 5 = 1.9935\text{dB}$

$H_v = H_1 + H_2 = 1.9935\text{dB} + 1.9935\text{dB} = 3.987\text{dB}$

Të dhënat teknike të kësaj kablloje janë paraqitur në tabelën 43.

Tabela 43. Parametrat e kabllos optike (rasti 1)

Parametrat e Kabllos Optike\ Emertimet	Fibër 1 (100 km)	DCF (13km)
Reference wavelength (nm)	1550	1550
Length (km)	100	13
Attenuation	0.21	0.21
Dispersion	16.85	-146.46
Dispersion slope	0.075	-0.075
Beta 2	-20	-20
Beta 3	0	0
Differential group delay	0.2	0.2
PMD coefficient	0.5	0.5
Mean scattering section length	500	500
Scattering section dispersion	100	100
Self-phase modulation	NO	NO
Effective area	80	80
Max. nonlinear phase shift	3	3
Boundary conditions	Periodic	Periodic
Filter steepness	0.05	0.05
Lower calculation limit	1200	1200
Upper calculation limit	1700	1700
Calculate graphs	NO	NO
Number of distance steps	200	200
Number of wavelength/time steps	200	200
Linear scale	YES	YES
Minimum value	-100	-100

Ndarja e brezit C ne 40 kanale është paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 44. Ndarja e 40 kanaleve të brezit C

Numri i kanalit ne Banden C	Vlera e gjatësis valore λ	Njësia matëse
1	1565	nm
2	1564.1835	nm
3	1563.3678	nm
4	1562.5529	nm
5	1561.7389	nm
6	1560.9258	nm
7	1560.1135	nm
8	1559.302	nm
9	1558.4914	nm
10	1557.6816	nm
11	1556.8727	nm
12	1556.0646	nm
13	1555.2573	nm
14	1554.4509	nm
15	1553.6454	nm
16	1552.8406	nm
17	1552.0367	nm
18	1551.2336	nm
19	1550.4314	nm
20	1549.6300	nm
21	1548.8294	nm
22	1547.0296	nm
23	1547.2307	nm
24	1546.4325	nm
25	1545.6353	nm
26	1544.8388	nm
27	1544.0431	nm
28	1543.2483	nm
29	1542.4543	nm
30	1541.6611	nm
31	1540.8687	nm
32	1540.0771	nm
33	1539.2864	nm
34	1538.4964	nm
35	1537.7073	nm
36	1536.919	nm
37	1536.1315	nm
38	1535.3448	nm
39	1534.5589	nm
40	1533.7738	nm

Transmetuesi WDM/DWDM ideal, të dhënat teknike janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 45. Parametrat e Transmetuesit WDM (rasti 1)

Parametrat e WDM Transmetuesit	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Power	7	dBm
Extinction ratio	30	dB
Linewidth	0.1	MHz
Initial phase	0	deg
Bit rate	10.00E+9	bits/s
Modulation type	NRZ	
Duty cycle	0.5	bit
Position	0	bit
Rise time	1/(Bit rate) *0.05	s
Fall time	1/(Bit rate) *0.06	s
Transmitter type	EML	
Noise bandwidth	6.40E+11	Hz
Noise bins spacing	6.40E+11	Hz

Të dhënat e multiplexerit dhe demultiplexerit WDM/DWDM janë në tabelën në vijim:

Tabela 46. Parametrat e Multiplexerit WDM (rasti 1)

Parametrat e Multiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	20	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 47. Parametrat e Demultiplexerit WDM

Parametrat e Demultiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	20	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Matja e humbjeve të sinjalit optik në rrjetën reale është bërë me pajisjen OTDR¹⁴, dhe është paraqitur në figurën 111 në vijim:

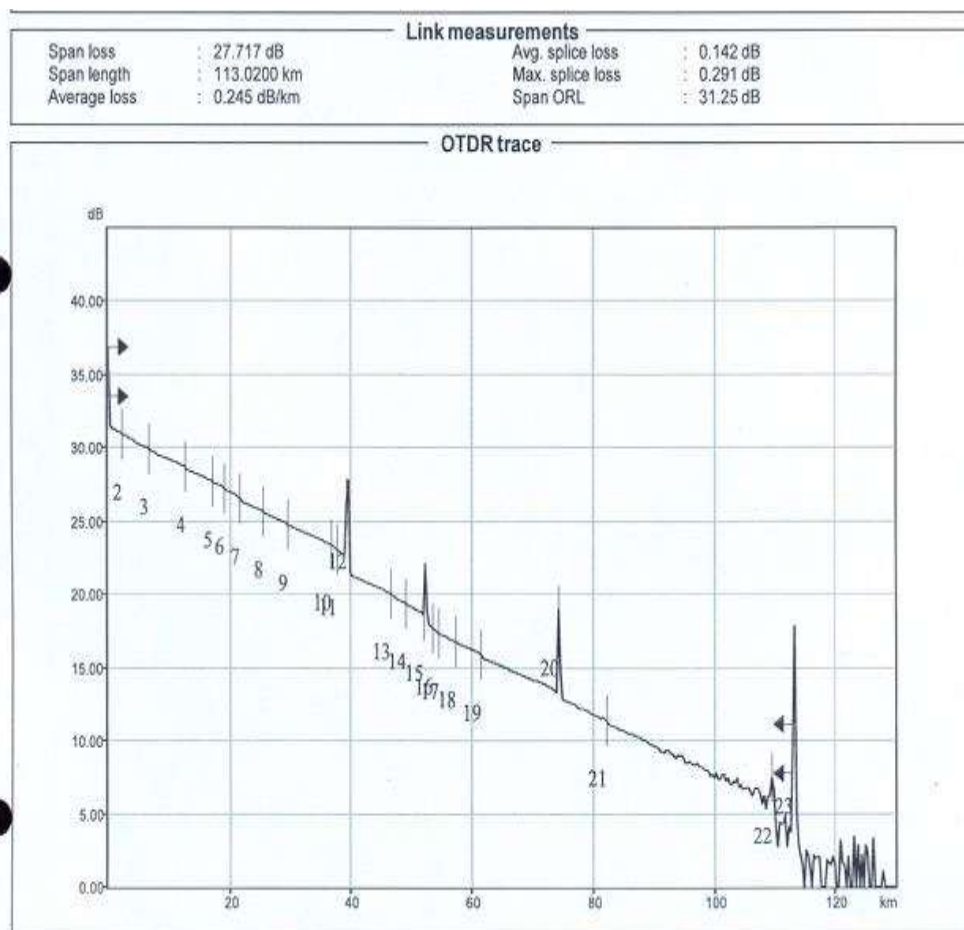


Figura 111. Matja e kablos optikePrishtinë-Shkup të operatorit 1.

Vlerat e humbjeve të sinjalit optik në pikat vazhduese janë paraqitur në figurën 112.

¹⁴ OTDR – Optical Time-Domain Reflectometer

OTDR report

Events table

No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-44.5		0.000
		Fiber Section (2.4399 km)	0.444		0.182	0.444
2	2.4399	Non-Reflective Event	0.071			0.514
		Fiber Section (4.4918 km)	1.050		0.234	1.564
3	6.9317	Non-Reflective Event	0.060			1.625
		Fiber Section (5.8853 km)	1.100		0.187	2.725
4	12.8170	Non-Reflective Event	0.152			2.877
		Fiber Section (4.3438 km)	0.805		0.185	3.682
5	17.1607	Non-Reflective Event	0.084			3.765
		Fiber Section (2.0009 km)	0.367		0.184	4.133
6	19.1616	Non-Reflective Event	0.153			4.286
		Fiber Section (2.4246 km)	0.463		0.191	4.749
7	21.5862	Non-Reflective Event	0.291			5.040
		Fiber Section (3.8282 km)	0.702		0.183	5.742
8	25.4144	Non-Reflective Event	0.103			5.845
		Fiber Section (4.1958 km)	0.767		0.183	6.612
9	29.6102	Non-Reflective Event	0.068			6.680
		Fiber Section (7.3962 km)	1.356		0.183	8.036
10	37.0064	Non-Reflective Event	0.132			8.168
		Fiber Section (0.9647 km)	0.179		0.186	8.347
11	37.9711	Non-Reflective Event	0.167			8.515
		Fiber Section (1.4700 km)	0.296		0.201	8.811
12	39.4411	Reflective Event	1.169	-31.5		9.979
		Fiber Section (7.4472 km)	1.394		0.187	11.373
13	46.8884	Non-Reflective Event	0.201			11.574
		Fiber Section (2.3021 km)	0.425		0.185	11.999
14	49.1904	Non-Reflective Event	0.086			12.085
		Fiber Section (3.1085 km)	0.746		0.240	12.831
15	52.2989	Reflective Event	0.571	-39.9		13.402
		Fiber Section (1.5007 km)	0.296		0.197	13.698
16	53.7996	Non-Reflective Event	0.193			13.891
		Fiber Section (0.7503 km)	0.134		0.178	14.025
17	54.5499	Non-Reflective Event	0.091			14.116
		Fiber Section (2.9758 km)	0.555		0.186	14.670
18	57.5258	Non-Reflective Event	0.078			14.748
		Fiber Section (4.2162 km)	0.757		0.180	15.505
19	61.7419	Non-Reflective Event	0.227			15.732
		Fiber Section (12.4392 km)	2.297		0.185	18.029
20	74.1812	Reflective Event	0.369	-34.4		18.399
		Fiber Section (8.1465 km)	1.607		0.197	20.006
21	82.3277	Non-Reflective Event	0.256			20.262
		Fiber Section (27.1805 km)	5.319		0.196	25.581
22	109.5082	Reflective Event	1.784	-41.6		27.366
		Fiber Section (3.5118 km)	0.351		0.100	27.717
23	113.0200	Reflective Event	---	-16.2		27.717

Test and cable setup

Wavelength	: 1550 nm (SM-9µm)	Acq. time	: 1 min 30 s
Filename	: mbx-blace0018.trc	Pulse width	: 2.5 µs
Hardware	: FTB-7200D-Q23B-EI	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 459944	Splice loss threshold	: 0.020 dB
Software	: N/A	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 130.0000 km	End-of-fiber threshold	: 5.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.67		

Figura 112. Humbjet totale të paraqitura për çdo pike vazhduese

4.2.2. Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps te operatori parë

Sa për ilustrim, në rrjetin optik të simuluar do të gjeneroj trafik 10 Gbps për të përfituar vlera krahasuese të cilat do t'i krahasoj me rastet e tjera të studimit. Brezi i gjatësisë valore në të cilin do të operoj me simulime do të jetë brezi C, nga 1530 nm deri në 1565 nm, duke iu referuar kapitullit 1. Humbja totale në kabllon optike do të jetë 27.717 dBm, vlera e fuqisë transmetuese të pajisjes lazerike do të jetë 7dB, bazuar në vlera reale të transmetuesit optik të prodhuesit Cisco SFP-10G-ZR-S, të dedikuar të transmetojë në distancë 80 km me kapacitet 10G bps në kabllon optike të llojit G.652, referuar ne kapitullin 1. Gjithashtu kam përdorur edhe kabllon DCF (Dispersion Compansated fibre) për kompensimin e dispersionit kromatik që shkaktohet përgjatë rrugëtimit të sinjalit optik, të referuar në kapitullin 1.

Në rast se transmetojmë me fuqi 7 dB në transmetuesin WDM, në dalje të multiplekserit WDM do të kemi fuqinë transmetuese 19.698 dBm, ndërsa në hyrje të demultiplekserit fuqia do të jetë -8.019 dBm, si në figurën 113.



Figura 113. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit

Kjo humbje apo ky dobësim i sinjalit kalkulohet sipas formulës (4) të kapitullit 1, si vijon:

fuqia transmetuese $P_{out} = 19.698\text{dBm}$,

humbja totale përgjatë kablllos optike α është

$$\alpha = 27.717 \text{ dBm}$$

nga kjo rrjedh se fuqia hyrëse është

$$P_{in} = P_{out} - \alpha = 19.698 \text{ dBm} - 27.717 \text{ dBm} = -8.019 \text{ dBm}.$$

Forma dhe niveli i fuqisë së sinjalit matet edhe me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer), ku mund të shihet grafikisht niveli i fuqisë dhe i formës së sinjalit për çdo gjatësi valore λ . Këtë mund ta shohim në figurën 114, në të cilën janë paraqitur matjet e sinjalit në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

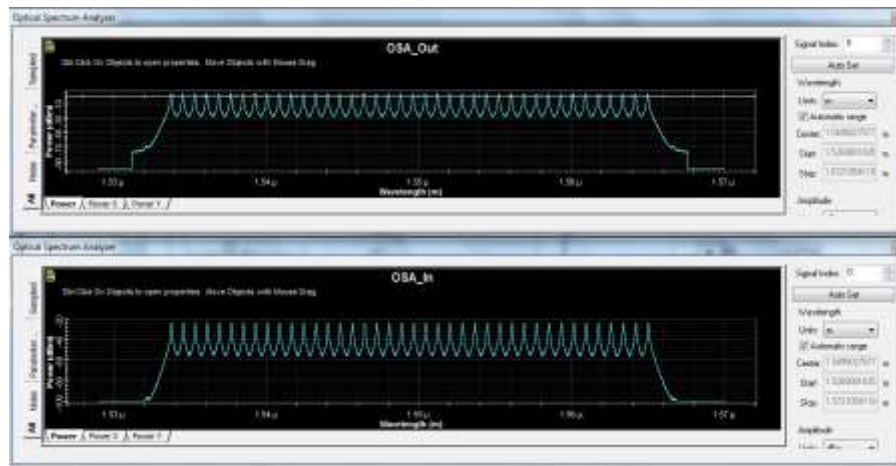


Figura 114. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të spektrit (Spectrum Analyzer).

Nëse e analizojmë këtë figurë, vërejmë se niveli i sinjalit në dalje nga multiplekseri është më lartë sesa niveli i sinjalit në hyrje të demultiplekserit, por gjatë gjithë kohës duke e ruajtur formën e tij ideale, prandaj quhet sinjal ideal, që vetëm bie në një nivel më të ulët, por nuk ndikohet nga faktorë të tjerë që mund ta deformojnë sinjalin, si ndikimi i zhurmave, etj.

Në dalje të demultiplekserit lidhet marrësi i sinjalit optik. Në këtë marrës mund të matet niveli i humbjes së sinjalit në vlerë bitësh (Bit error rate - BER), i cili është një parametër tregues kyç për të vlerësuar se sa arrin vlerën sinjali transmetues prej 10 Gbps pasi të kalojë

përgjatë këtij rrjeti optik. Për të ditur saktë vlerën e BER-it për çdo gjatësi valore λ , duhet të lidhet pajisja analizuese e BER-it (BER Analyzer) në dalje të çdo marrësi optik (Optical receiver), siç është paraqitur në figurën 115. Vlerat e BER-it për kanalet 01, 11, 22, dhe 40 janë paraqitur në figurën 115.

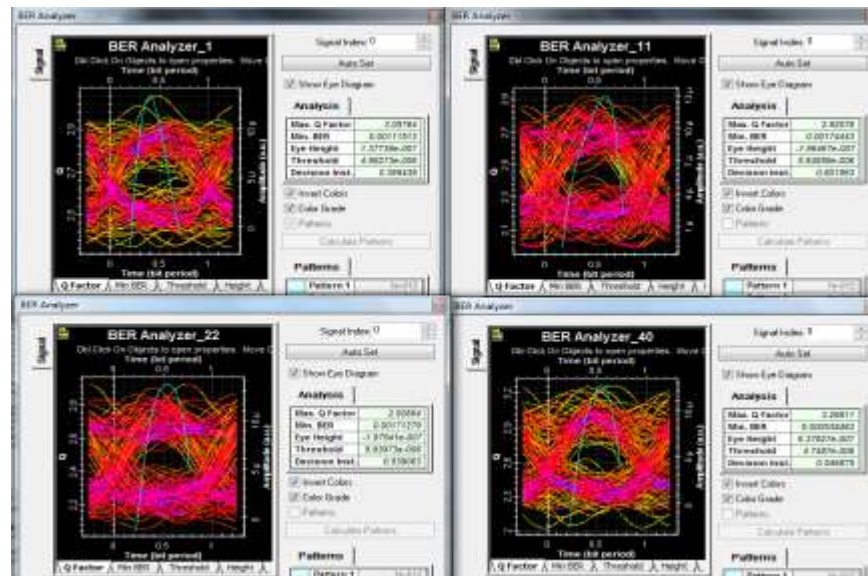


Figura 115. Vlera e matur e BER 10 Gbps nga pajisja BER Analyzer te operatori i parë.

Ndërsa në formë tabelore janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 48. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i parë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.05	
Vlera Minimale e BER-it	0.0011	bps
Forma e syrit	$1.37 \cdot 10^{-7}$	
Pragu i sinjalit	$4.88 \cdot 10^{-6}$	
Decision Instant	0.39	bit period

Tabela 49. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i parë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.92	
Vlera Minimale e BER-it	0.0017	bps
Forma e syrit	$-1.96 \cdot 10^{-7}$	
Pragu i sinjalit	$5.84 \cdot 10^{-6}$	
Decision Instant	0.60	bit period

Tabela 50. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i parë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.92	
Vlera Minimale e BER-it	0.0017	bps
Forma e syrit	$-1.97 \cdot 10^{-7}$	
Pragu i sinjalit	$5.93 \cdot 10^{-6}$	
Decision Instant	0.53	bit period

Tabela 51. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i parë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.26	
Vlera Minimale e BER-it	0.0005	bps
Forma e syrit	$6.37 \cdot 10^{-7}$	
Pragu i sinjalit	$4.74 \cdot 10^{-6}$	
Decision Instant	0.54	bit period

Nëse i krahasojmë vlerat e këtyre tabelave të paraqitura më sipër, atëherë vërejmë se në kanalën e parë, me gjatësi valore $\lambda = 1565$ nm, BER-i është 0.0011, ndërsa vlera e faktorit të kualitetit (Q-Factor)¹⁵ është 3.05. Sa më e lartë të jetë vlera e BER-it, aq më shumë bie kualiteti; gjithashtu, edhe vlera e faktorit Q zvogëlohet. Këtë më së miri e vërejmë duke krahasuar tabelat në vijim për kanalën 11, me gjatësi valore $\lambda = 1556.87$ nm, dhe për kanalën 22, me gjatësi valore $\lambda = 1548.03$ nm, ku vlera e BER-it është rritur në krahasim me kanalën e parë, ndërsa vlera e faktorit Q është zvogëluar, kurse në kanalën e fundit, në kanalën 40, me gjatësi valore $\lambda = 1533.77$ nm, vlera e BER-it është zvogëluar dukshëm, e vlera e Q-faktorit është rritur. Kjo tregon se transferimi i të dhënave në kanalën 40 është shumë më i mirë sesa në kanalet e tjera, sepse ka humbje shumë më të vogla.

Vlerën e sinjalit optik në një kanal mund ta shohim edhe nga matjet me Analizuesin e Spektrit të Radiofrekuencave (RF Spectrum Analyzer); këto vlera janë paraqitur grafikisht në figurën 116 në vijim:

¹⁵ Q Factor – Faktori i kualitetit për të cilin kam dhënë shpjegime në kapitullin e tretë.

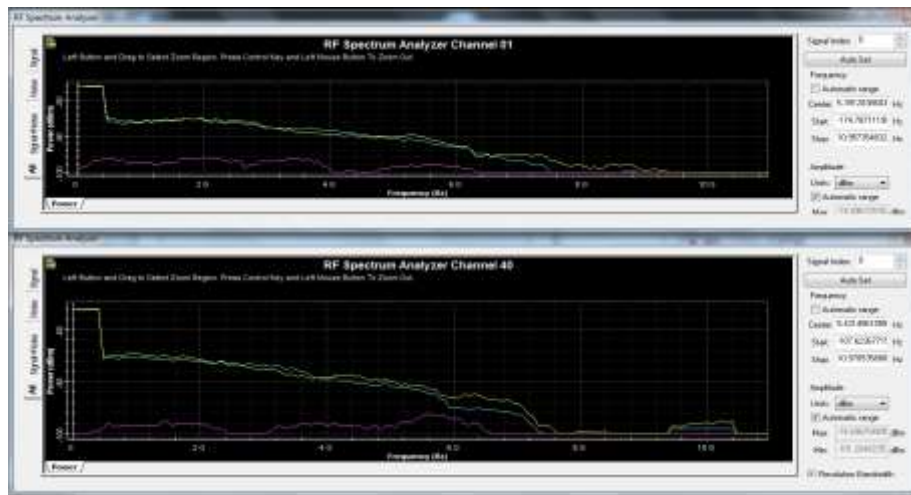


Figura 116. Analizuesi i spektrit të radio frekuencave të operatorit të parë

Në këtë figurë vërejmë se sinjali u afrohet zhurmave përafërsisht në vlerën ~ 7.5 Ghz. Kjo paraqitet në kanalën 40, me gjatësi valore $\lambda = 1533.77$ nm, me ç'rast sinjali degradohet dhe nuk vazhdon më tutje. Ndërsa në kanalën e parë, me gjatësi valore $\lambda = 1565$ nm, në pikën me vlerë përafërsisht ~ 7.6 GHz, sinjali degradohet apo humbet.

Në teknologjinë WDM, duke përdorur brezin C të gjatësisë valore nga 1530 nm deri në 1565 nm dhe hapësirën frekuencore 100 GHz për kanal (referuar në kapitullin 1), përafërsisht mund të përdorim 44 kanale. Sipas matjeve që kemi nga rasti ynë në skemën e përpiluar në laborator, mund të transferojmë nga ~ 7.6 Gbps në secilin kanal, që do të thotë se në një fije optike mund të transferojmë të dhëna me vlerë reale me kapacitet maksimal deri në 334.4 Gbps, ndërsa ideale deri në 440 Gbps. Nëse llogarisim kabllo optike me 96 fije, me kapacitet 334.4 Gbps, atëherë në këtë kabllo optike mund të transferojmë realisht 32102.4 Gbps, apo 32.102 Tbps, ndërsa teorikisht, me 96 fije, me kapacitet 440 Gbps, mund të transferohet deri në 42.24 Tbps. Në teknologjinë DWDM, i njëjti brez, duke përdorur hapësirën frekuencore nga ajo 100 GHz, sa ishte në WDM, në 50 GHz, sa është në DWDM, mundëson që ky kapacitet i transferimit të të dhënave të arrijë dyfishin e tij; në baza reale krijohen 80 kanale

nga 7.6 Gbps. Në rastin tonë, në total arrin në 608 Gbps në një fije optike, apo 58.368 Tbps në një kablo me 96 fije, ndërsa, duke u bazuar te vlera teorike, transferimi i të dhënave duhet të arrijë vlerën 880 Gbps për fije optike, kurse në kabllo optike me 96 fije arrin vlerën maksimale në 84.48 Tbps. Për të arritur sa më afër vlerës teorike, do të provojmë që sinjalin optik ta përforcojmë me përforcuesit optikë. Në rrjetën e simulatorit të rastit të dytë, të operatorit të parë, do të vendosim përforcuesit EDFA për të arritur rezultatet më të mira.

4.2.3. Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps tek operatori i parë duke përdorur përforcuesit EDFA

Në skemën e rrjetit ideal të përpiluar në simulator do të vendosim përforcues EDFA për të përforcuar sinjalin optik që të arrijmë rezultate më të mira në transferimin e të dhënave. Në fig. 117 është paraqitur skema e operatorit të parë me përforcues EDFA.

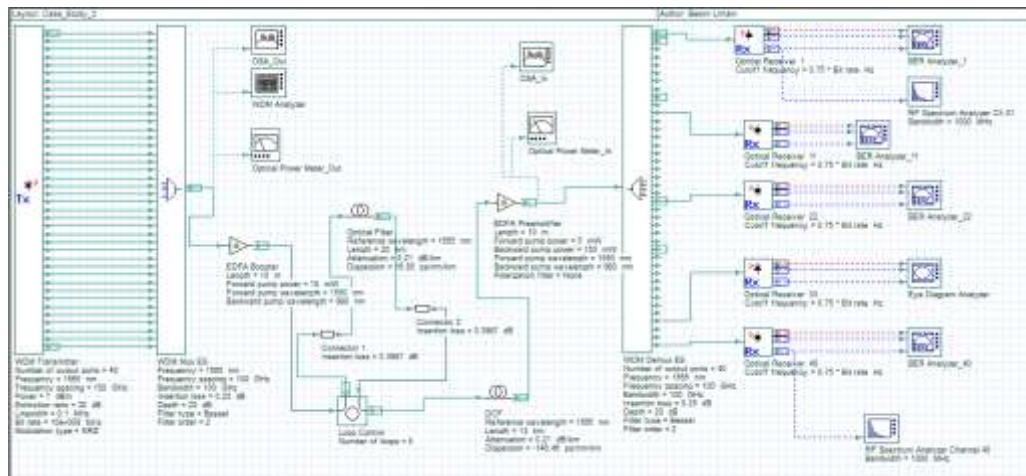


Figura 117. Skema e operatorit të parë 10 Gbps me përforcues EDFA

Të gjitha vlerat e parametrave të pajisjeve të përdorura në këtë skemë janë të njëjta me vlerat e paraqitura në tabelat 15, 16, 17, 18 dhe 19, ndërsa vlerat e përforcuesve optikë janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 52. Përforcuesi EDFA Booster

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e} + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	10	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 53. Përforcuesi EDFA Preamplifier

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e} + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	5	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Dallimi mes EDFA Booster-it dhe Preamplifier-it është vetëm në vlerën e fuqisë së pompimit në drejtimin para (forward); që në EDFA booster e rrit fuqinë në një nivel më të lartë të mundshëm nga ai i burimit, e që në këtë rast është 10 mW, ndërsa EDFA Preamplifier e rrit ndjeshmërinë e fuqisë së pranuar, e që në këtë rast është më e ulët, gjegjësisht 5 mW, dhe në

këto vlera të fuqisë kam arritur të marr rezultate më të mira të sinjalit të përforcuar. Pas vendosjes së përforcuesve kemi këto vlera të sinjalit optik, siç janë paraqitur në figurat 118, 119, 120 dhe 121, si dhe në tabelat 54, 55, 56 dhe 57, të shfaqura në vijim.



Fig. 118. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit duke përdorur EDFA.



Figura 119. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer). Ndërsa në vijim do të paraqes figurën me vlerat e matura me BER, në 10 Gbps, me EDFA, nga pajisja BER Analyzer.

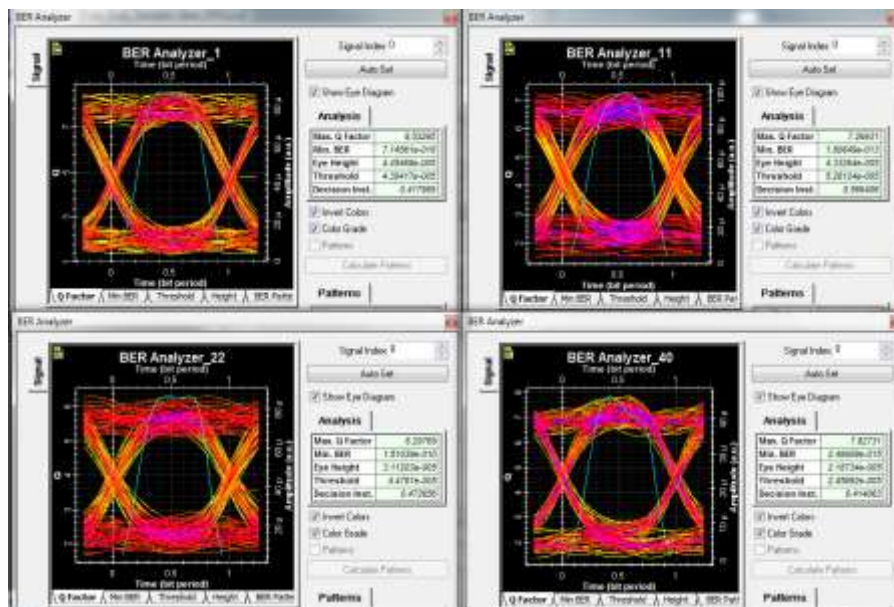


Figura 120. Vlera e matur e BER 10 Gbps, me EDFA, nga pajisja BER Analyzer

Tabela 54. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te Operatori i parë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	8.53	
Vlera Minimale e BER-it	$7.14 \cdot 10^{-18}$	bps
Forma e syrit	$4.45 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$4.30 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.41	bit period

Tabela 55. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	7.26	
Vlera Minimale e BER-it	$1.80 \cdot 10^{-13}$	bps
Forma e syrit	$4.33 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$5.28 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.56	bit period

Tabela 56. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.29	
Vlera Minimale e BER-it	$1.51 \cdot 10^{-10}$	bps
Forma e syrit	$3.11 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$4.47 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.47	bit period

Tabela 57. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i parë ch_40

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	7.82	
Vlera Minimale e BER-it	$2.48 \cdot 10^{-15}$	bps
Forma e syrit	$2.18 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$2.45 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.41	bit period

Në fig. 121, nga matjet e bëra me analizuesin e spektrit të radiofrekuencave, vërejmë se sinjali i transmetuar me ndihmën e përforcuesit EDFA tanimë ka kaluar vlerën e caktuar 10 Gbps, nga ku shihet qartë përmirësimi i performancës së transmetimit.

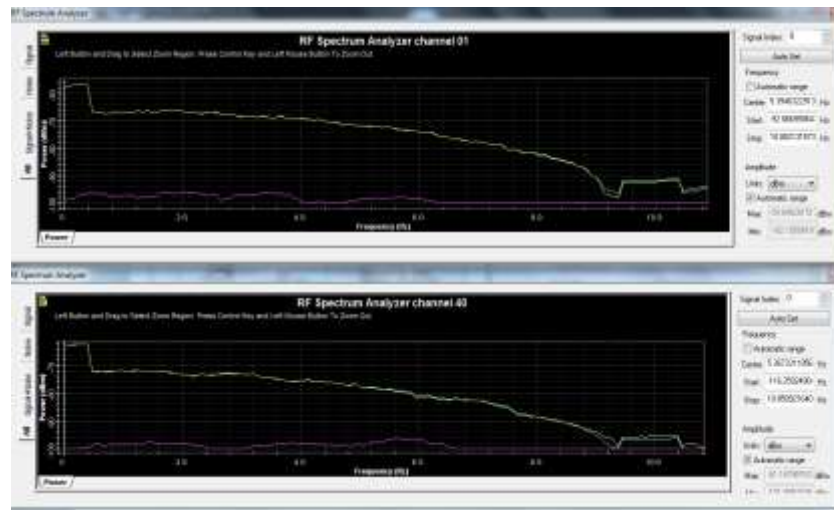


Figura 121. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave

4.2.4. Transferimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps te operatori i parë

Në skemën e përpiluar në simulator të rastit të operatorit të parë, të paraqitur në figurën 122, do të provoj të transmetoj të dhëna me kapacitet 40 Gbps për të nxjerrë vlera referuese. Në këtë skemë duhet të ndërrohen vlera e transmetuesit WDM nga 10 Gbps në 40 Gbps, vlera e thellësisë (depth) e sinjalit në WDM multiplexer dhe WDM demultiplexer nga 20 dB në 100 dB, për arsye të performancës më të mirë të sinjalit, siç është paraqitur në tabelat 58, 59 dhe 60.

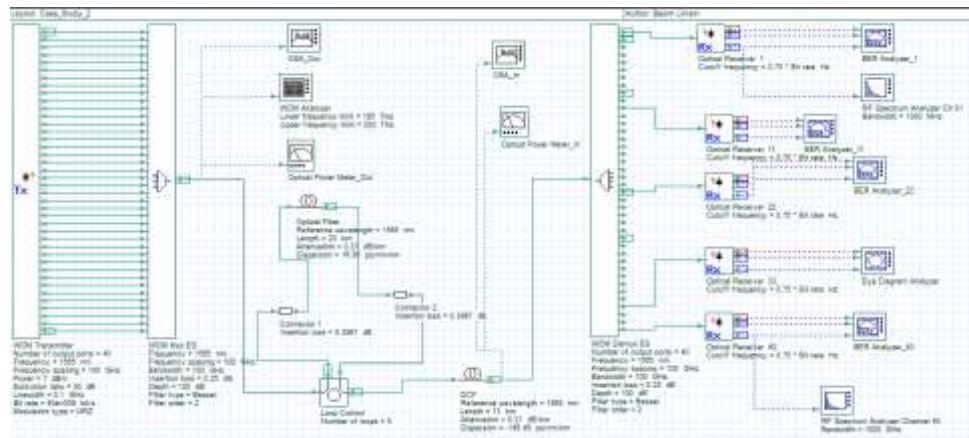


Figura 122. Skema e operatorit të parë të transmetimit të sinjalit optik me kapacitet 40 Gbps

Tabela 58. Parametrat e Transmetuesit WDM 40 Gbps

Parametrat e WDM Transmetuesit	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	Kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Power	7	dBm
Extinction ratio	30	dB
Linewidth	0.1	MHz
Initial phase	0	Deg
Bit rate	40 E+9	bits/s
Modulation type	NRZ	
Duty cycle	0.5	bit
Position	0	bit
Rise time	$1/(\text{Bit rate}) * 0.05$	s
Fall time	$1/(\text{Bit rate}) * 0.06$	s
Transmitter type	EML	
Noise bandwidth	6.40E+11	Hz
Noise bins spacing	6.40E+11	Hz

Të dhënat e multiplexerit/demultiplexerit WDM/DWDM paraqiten në tabelat në vijim:

Tabela 59. Parametrat e Multiplexerit WDM

Parametrat e Multiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 60. Parametrat e demultiplexerit WDM

Parametrat e Demultiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Ndërsa vlerat e sinjalit optik të fituara pas matjeve janë paraqitur në figurat 123, 124, 125, 126.



Figura 123. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit në transmetim sinjali me kapacitet 40 Gbps.

Nga kjo matje vërejmë se humbjet totale të sinjalit optik janë në vlerë prej 22.588 dB.

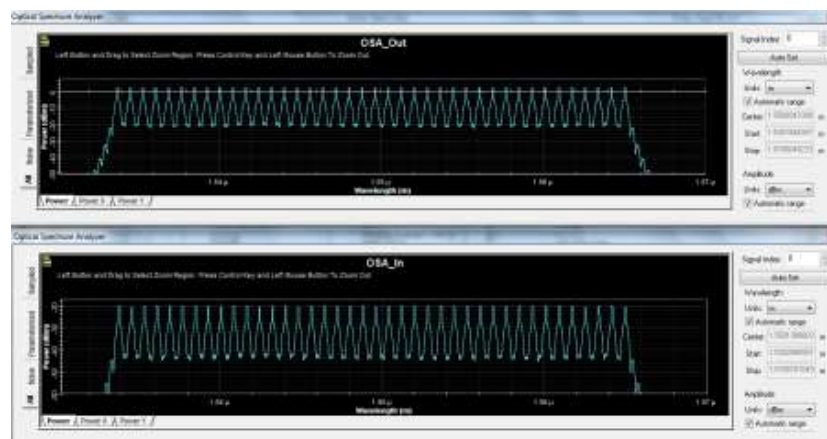


Figura 124. Vlerat e matura me Analizues të spektrit optik.

Në këtë figurë vërejmë kanalet në gjatësi të caktuara valore të ndara nga transmetuesi WDM, e që bashkohen në një sinjal të vetëm nga multipleksori, dhe shohim se si bie vlera e fuqisë së sinjalit optik për 22.588 dB në secilin kanal, nga dalja e multipleksorit deri në hyrje të demultipleksorit, duke përshkruar rrugën përgjatë kabllos optike.

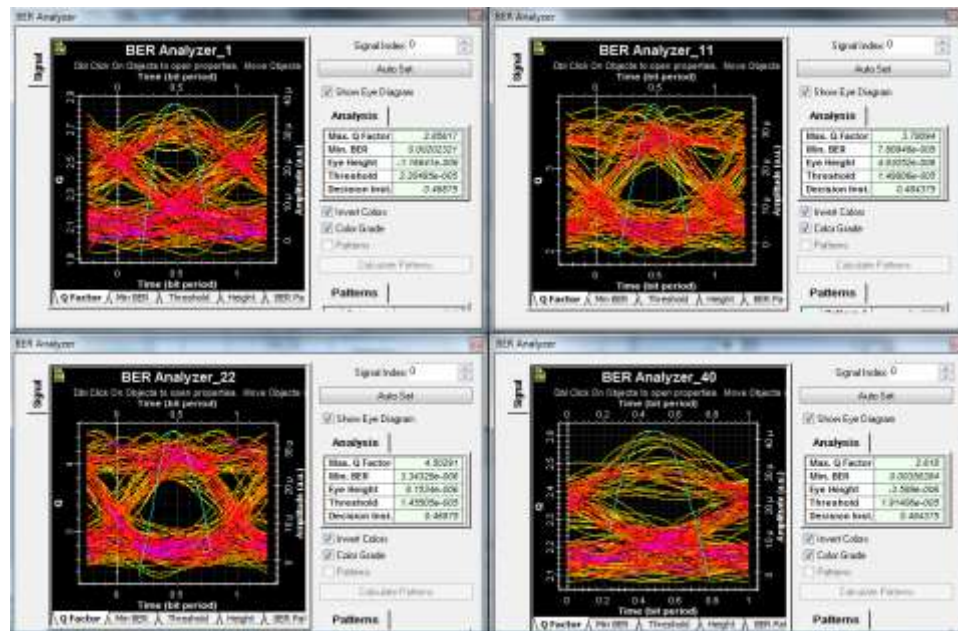


Figura 125. Vlerat e sinjalit optik të matura me BER analizues në 40 Gbps

Në figurën 125 janë paraqitur vlerat e sinjalit optik të kanaleve 01, 11, 22 dhe 40 të matura me BER analizues në simulator. Këto vlera mund t'i shohim në tabelat 61, 62, 63 dhe 64. Nga këto matje vërejmë se vlera e sinjalit, sidomos në kanalën e parë dhe të fundit, është tejet e ulët duke u bazuar në vlerat e BER dhe faktorit Q, dhe se kjo vlerë e ulët e sinjalit optik vërteton se nuk mund të bartet kapaciteti i plotë prej 40 Gbps. Këtë dukuri mund ta vërejmë më mirë në matjet që kemi bërë me analizues të spektrit të radiofrekuencave, si në figurën 126. Si faktorë që ndikojnë në këto rezultate janë dispersioni, atenuimi, e humbjet e tjera. Skema është përpiluar duke u bazuar në vlera reale, e të cilat nuk i kam ndryshuar që ajo të jetë sa më e vërtetë.

Në vijim do ti paraqes vlerat e marra nga matjet e bëra në form tabelare:

Tabela 61. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i parë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.85	
Vlera Minimale e BER-it	0.002	bps
Forma e syrit	$-1.16 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$2.20 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 62. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i parë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.78	
Vlera Minimale e BER-it	$7.80 \cdot 10^{-5}$	bps
Forma e syrit	$4.93 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.49 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 63. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i parë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	4.50	
Vlera Minimale e BER-it	$3.34 \cdot 10^{-6}$	bps
Forma e syrit	$8.15 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.45 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 64. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i parë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.61	
Vlera Minimale e BER-it	0.003	bps
Forma e syrit	$-3.58 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.91 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.48	bit period

Në fig. 126 nga matjet e bëra me analizuesin e spektrit të radiofrekuencave vërejmë se sinjali i transmetuar nuk ka arritur vlerën e caktuar 40 Gbps nga ku shihet qartë se sinjali në kanal 01 degradohet përafërsisht në 22 Gbps, ndërsa në kanal 40 degradohet përafërsisht në 29 Gbps.

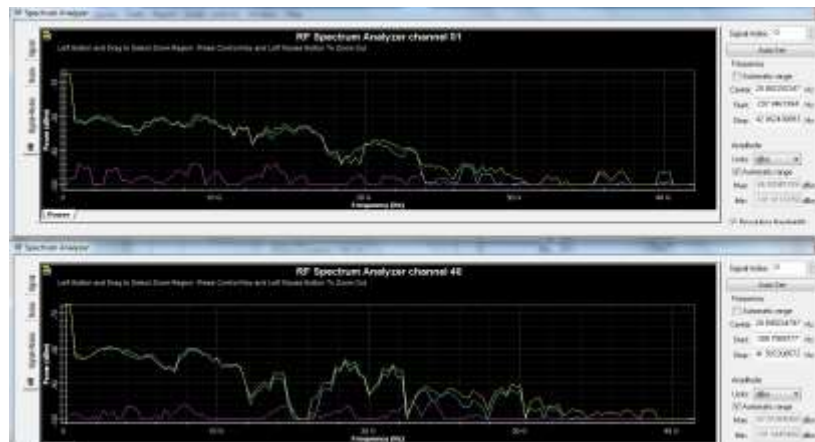


Figura 126. Matjet e bëra me Analizues të spektrit të radio frekuencave.

4.2.5. Transmetimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps duke përdorur përforcuesit EDFA

Duke parë se në topologjinë e njëjtë, me vlera përafërsisht të njëjta, siç është paraqitur në figurat 100 dhe 122, kemi arritur të transferojmë 10 Gbps me kapacitet të plotë, por nuk kemi arritur të transferojmë 40 Gbps me kapacitet të plotë, atëherë do të përdor përforcuesit optikë EDFA për të përmirësuar vlerat e sinjalit optik. Vlerat e përforcuesve optikë i kam paraqitur në tabelat 65 dhe 66, ndërsa skema apo topologjia me përforcues është paraqitur në figurën 127.

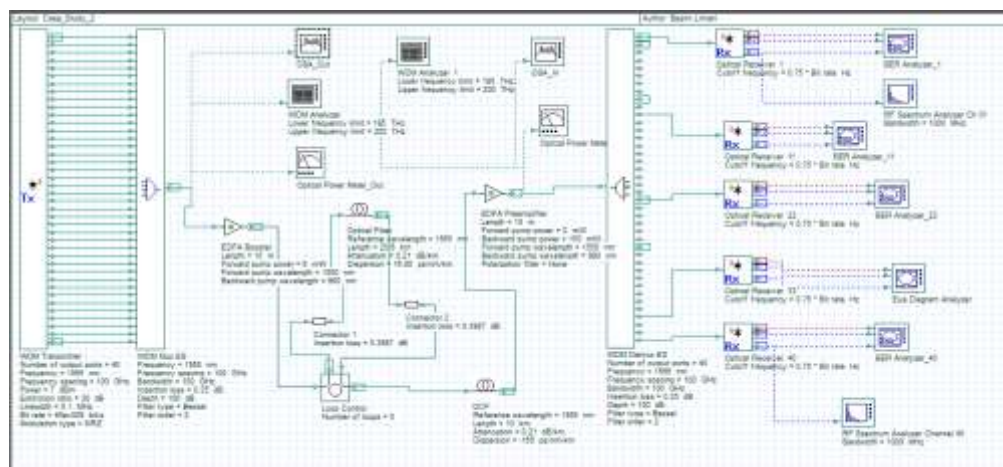


Figura 127. Skema me transferim 40 Gbps me EDFA

Tabela 65. Përforcuesi EDFA Booster

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e } + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	6	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 66. Përforcuesi EDFA Preamplifier

Përshkrimi	vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e } + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	2	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Nëse analizojmë vlerat e përforcuesve në tabelat e mësipërme, vërejmë se vlera e përforcimit të sinjalit në përforcuesin e parë (booster) është 6 mW, gjegjësisht 7.78 dB, ndërsa në përforcuesin e dytë e kemi vlerën e sinjalit përforcues 2 mW, gjegjësisht 3.01 dB. Përmirësimi i vlerës totale të sinjalit optik është dukshëm më i mirë, ashtu siç e kemi paraqitur në figurën 128 nga matjet me optical Power Meter.

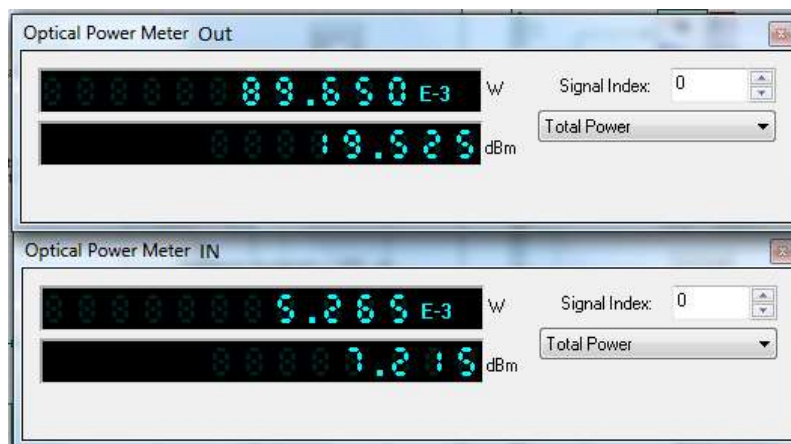


Figura 128. Optical Power Meter

Diferenca e sinjalit dalës nga multiplekseri dhe vlerës hyrëse në demultiplekser është 12.31 dB; nga kjo kuptojmë se sinjali optik gjatë rrugëtimit të tij përgjatë kablllos optike me gjatësi ~113km ka pësuar humbje vetëm 12.31dB. Ky ndryshim i humbjeve ndikon në përmirësimin e kualitetit të sinjalit optik, të cilin e vërejmë me matjet e bëra në simulator, ashtu siç është paraqitur në figurat 129, 130 dhe 131, në vijim.



Figura 129. Matjet e bëra me *optical spectrum analyzer* në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

Në këtë figurë e vërejmë qartë se sinjali optik pëson rënie për 12.31 dB në tërë brezin e gjatësisë valore të bandës C pa pësuar deformim brenda vetes.

Ndërsa në figurën 130 vërejmë formën e syrit për kanalet 01, 11, 22 dhe 40.

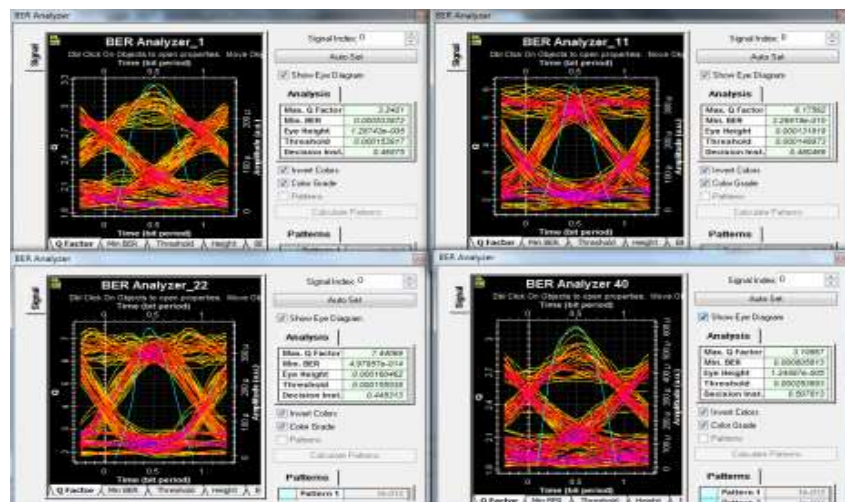


Figura 130. BER Analyzer me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i parë

Vlerat e matura me BER Analyzer janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 67. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps me EDFA, te operatori i parë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.24	
Vlera Minimale e BER-it	0.00053	bps
Forma e syrit	$1.28 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	0.00015	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 68. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps me EDFA, te operatori i parë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.17	
Vlera Minimale e BER-it	$3.26 \cdot 10^{-10}$	bps
Forma e syrit	0.00013	
Pragu i sinjalit	0.00014	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 69. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps me EDFA, te operatori i parë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	7.44	
Vlera Minimale e BER-it	$4.97 \cdot 10^{-14}$	bps
Forma e syrit	0.00016	
Pragu i sinjalit	0.00015	
Decision Instant	0.44	bit period

Tabela 70. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps me EDFA, te operatori i parë ch_40

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.10	
Vlera Minimale e BER-it	0.0008	bps
Forma e syrit	$1.24 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	0.00029	
Decision Instant	0.50	bit period

Këtë përmirësim të sinjalit, që vërehet sidomos në kanalet 11 dhe 22, mund ta dallojmë edhe nga matjet e bëra me RF Spectrum Analyzer, në figurën 131.



Figura 131. Matjet në simulator me RF Spectrum Analyzer.

4.3.Studim rasti 3 (operatori 2)

Në rastin e tretë të studimit do të paraqes atë të operatorit të dytë të shërbimeve telefonike që operon në territorin e Republikës së Kosovës, duke u bazuar në gjendjen reale, nga e cila kam krijuar rastin e tretë në simulator. Ky rast, i paraqitur në figurën 132, është skicuar në simulatorin OptiSystem 13.0; në këtë skicë kam paraqitur linjën e rrjetit optik në mes dy kryeqendrave, Prishtinë-Shkup, tani në gjatësi ~ 109 km. Rasti është simuluar në atë mënyrë që kablloja optike të ketë humbje reale, dhe elementet aktive, siç janë transmetuesi WDM, multiplekseri WDM, demultiplekseri WDM, etj., të kenë humbjen e tyre reale; këto humbje janë dhënë për arsye të paraqitjes sa më reale të sinjalit optik në një rrjetë me gjatësi të tillë.

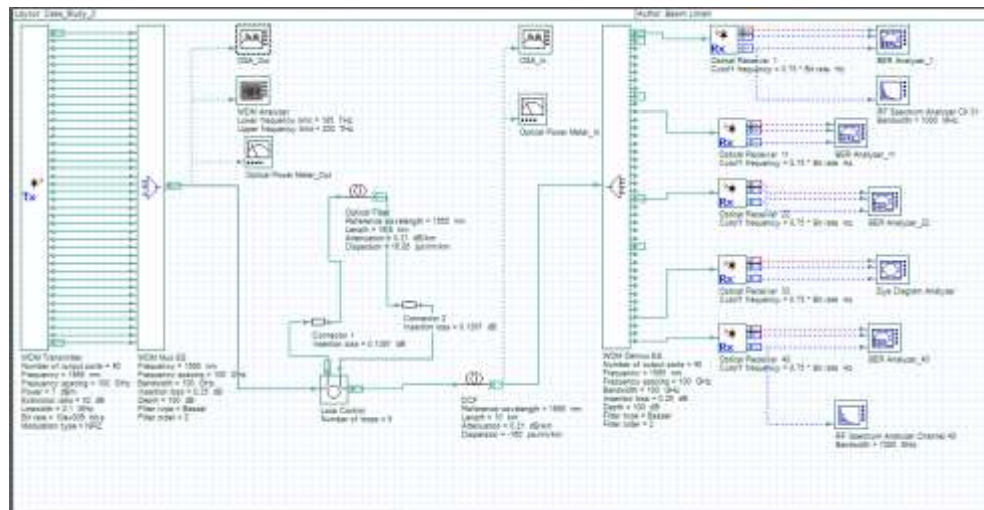


Figura 132. Skema e rastit të tretë (operatori dytë)

4.3.1. Të dhënat teknike të kablllos optike dhe pajisjeve aktive të përdorura tek operatori i dytë

Kablloja optike që është paraqitur në simulator i përket kategorisë G.652 SM fibër, dhe në këtë rast atenuimi në kabllon optike është real, ashtu siç jepet nga prodhuesi, ndërsa në DCF kam rritur vlerën e kompensimit të dispersionit. Ndërsa humbjet e tjera, të cilat janë si rezultat i konektorëve dhe pikave ku është vazhduar kablloja, i kam paraqitur në konektorët 1 dhe 2. P.sh., si pika vazhduese të kablllos janë gjithsej 8 pika (vende); totali i humbjes së këtyre pikave është 1.397 dB, totali i humbjes në kabllon optike me gjatësi 100 km është 21 dB, ndërsa totali i humbjeve në kabllon DCF, me gjatësi 10 km, është 2.1 dB.

Humbjet e përgjithshme janë si vijon:

$$H_{fo} + H_v + H_{dcf} = 21\text{dB} + 1.397\text{ dB} + 2.1\text{ dB} = 24.497\text{dB}$$

- H_{fo} - Humbjet totale në kabllon optike me gjatësi 100 km.
- H_v - Humbjet totale të pikave vazhduese të kablllos optike
- H_{dcf} - Humbjet totale të kablllos DCF me gjatësi 10 km.

Për paraqitje sa më reale të projektit në skicë (skemë), jam detyruar që kabllon optike 99 km ta ndaj në 5 cikle (loop) nga 19.8 km, si dhe konektorët i kam vendosur në këtë formë, si vijon:

Pajisja Loop Controle, me vlerë 5 në skemë, d.m.th., se sinjali optik rrotullohet 5 herë në fije optike me gjatësi 19.8 km, çka është e njëjtë sikur sinjali optik të përshkojë rrugën përgjatë fijes optike prej 99 km.

Humbjet në pikat vazhduese i kam mbledhur si total 1.397 dB, për të mos paraqitur gjithsej 8 pikat vazhduese, gjë e cila do ta komplikonte skemën, dhe kam bërë këtë zgjidhje: humbjet totale të vazhdimeve i kam pjesëtuar në dy pika, d.m.th., në konektorin 1 dhe konektorin 2. Kam llogaritur se sinjali në loop duhet të kalojë në 5 cikle, prandaj humbjen për secilin konektor e kam ndarë në 5 cikle, dhe si rezultat kam gjetur vlerën 0.1397 dB.

Llogaritjet janë bërë në këtë mënyrë:

Konektori 1 (C_1) = 0.1397 dB dhe Konektori 2 (C_2) = 0.1397 dB

$H_1 = C_1 * 5 \text{ cikle} = 0.1397\text{dB} * 5 = 0.6985 \text{ dB}$

$H_2 = C_2 * 5 \text{ cikle} = 0.1397\text{dB} * 5 = 0.6985\text{dB}$

$H_v = H_1 + H_2 = 0.6985 \text{ dB} + 0.6985 \text{ dB} = 1.397 \text{ dB}$

Të dhënat e Multiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 71. Parametrat e Multiplexerit WDM

Parametrat e Multiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	Kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Të dhënat e Demultiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 72. Parametrat e Demultiplexerit WDM

Parametrat e Demultiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	Kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Të dhënat teknike të këtij kablli janë paraqitur në tabelën 73.

Tabela 73. Parametrat e kablllos optike ne rastin e tretë të operatorit të dytë

Parametrat e Kablllos optike\ Emertimet	Fiber 2 (99 km)	DCF (10 km)
Reference wavelength	1550	1550
Length (km)	99	10
Attenuation	0.21	0.21
Dispersion	16.85	- 160
Dispersion slope	0.075	- 0.075
Beta 2	- 20	- 20
Beta 3	0	0
Differential group delay	0.2	0.2
PMD coefficient	0.5	0.5
Mean scattering section length	500	500
Scattering section dispersion	100	100
Self-phase modulation	NO	NO
Effective area	80	80
Max. nonlinear phase shift	3	3
Boundary conditions	Periodic	Periodic
Filter steepness	0.05	0.05
Lower calculation limit	1200	1200
Upper calculation limit	1700	1700
Calculate graphs	NO	NO
Number of distance steps	200	200
Number of wavelength/time steps	200	200
Linear scale	YES	YES
Minimum value	-100	-100
Convert noise bins	NO	NO

Transmetuesi WDM/DWDM është përdorur ideal, të dhënat teknike dhe ndarja e brezit C në 40 kanale janë paraqitur në tabelën në vijim:

Ndarja e brezit C në 40 kanale është paraqitur në tabelën 74:

Tabela 74. Ndarja e brezit C me 40 kanale

Numri i kanalit ne Bandën C	Vlera e gjatësisë valore λ	Njësia matëse
1	1565	nm
2	1564.1835	nm
3	1563.3678	nm
4	1562.5529	nm
5	1561.7389	nm
6	1560.9258	nm
7	1560.1135	nm
8	1559.302	nm
9	1558.4914	nm
10	1557.6816	nm
11	1556.8727	nm
12	1556.0646	nm
13	1555.2573	nm
14	1554.4509	nm
15	1553.6454	nm
16	1552.8406	nm
17	1552.0367	nm
18	1551.2336	nm
19	1550.4314	nm
20	1549.6300	nm
21	1548.8294	nm
22	1547.0296	nm
23	1547.2307	nm
24	1546.4325	nm
25	1545.6353	nm
26	1544.8388	nm
27	1544.0431	nm
28	1543.2483	nm
29	1542.4543	nm
30	1541.6611	nm
31	1540.8687	nm
32	1540.0771	nm
33	1539.2864	nm
34	1538.4964	nm
35	1537.7073	nm
36	1536.919	nm
37	1536.1315	nm
38	1535.3448	nm
39	1534.5589	nm
40	1533.7738	nm

Parametrat e transmetuesit WDM 10 Gbps janë paraqitur në fig. 75 në vijim:

Tabela 75. Parametrat e Transmetuesit WDM 10 Gbps

Parametrat e WDM Transmetuesit	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	Kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Power	7	dBm
Extinction ratio	30	dB
Linewidth	0.1	MHz
Initial phase	0	deg
Bit rate	10.00E+9	bits/s
Modulation type	NRZ	
Duty cycle	0.5	bit
Position	0	bit
Rise time	1/(Bit rate) *0.05	s
Fall time	1/(Bit rate) *0.06	s
Transmitter type	EML	
Noise bandwidth	6.40E+11	Hz
Noise bins spacing	6.40E+11	Hz

Matja e humbjeve të sinjalit optik në rrjetën reale është bërë me pajisjen OTDR¹⁶, dhe është paraqitur në figurën në vijim:

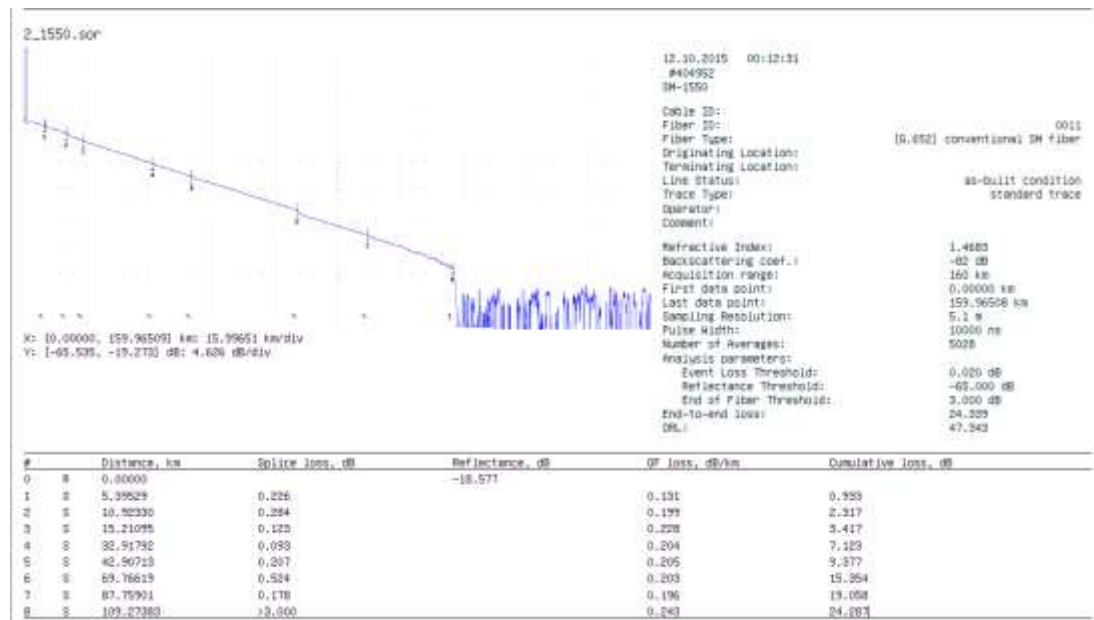


Figura 133. Matja e kablllos optike Prishtinë-Shkup të operatorit 2.

¹⁶ OTDR – Optical Time-Domain Reflectometer

Vlerat e matjeve direkte në linjë të humbjeve të sinjalit optik në pikat vazhduese janë paraqitur më sipër, në figurën 133.

4.3.2. Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps te operatori dytë

Sa për ilustrim, në rrjetin optik të simuluar do të gjeneroj trafik 10 Gbps për të përfituar vlera krahasuese, të cilat do t'i krahasoj me rastet e tjera të studimit. Brezi i gjatësisë valore në të cilin do të operoj me simulime do të jetë Brezi C, apo brezi nga 1530 nm deri në 1565 nm, referuar në kapitullin 3. Humbja totale në kabllon optike do të jetë 24.287 dBm, vlera e fuqisë transmetuese të pajisjes lazerike do të jetë 7 dB, bazuar në vlera reale të transmetuesit optik të prodhuesit Cisco SFP-10G-ZR-S, të dedikuar të transmetojë në distancë 80 km, me kapacitet 10 Gbps, në kabllon optike të llojit G.652, referuar në kapitullin 1. Gjithashtu kam përdorur edhe kabllon DCF (Dispersion Compansated fibre) për kompensimin e dispersionit kromatik që shkaktohet përgjatë rrugëtimit të sinjalit optik, referuar në kapitullin 1. Në rast se transmetojmë me fuqi 7 dB në transmetuesin WDM, në dalje të multiplekserit WDM do të kemi fuqinë transmetuese 19.700 dBm, ndërsa në hyrje të demultiplekserit do të jetë - 4.587 dBm, si në figurën 134.



Figura 134. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

Kjo humbje apo ky dobësim i sinjalit kalkulohet sipas formulës (4) të kapitullit 1, si vijon:

fuqia transmetuese $P_{out} = 19.700 \text{ dBm}$,

humbjet totale përgjatë kablllos optike

$\alpha = 24.287 \text{ dBm}$,

nga kjo rrjedhë se fuqia hyrëse është

$P_{in} = P_{out} - \alpha = 19.700 \text{ dBm} - 24.287 \text{ dBm} = -4.587 \text{ dBm}$.

Forma dhe niveli i fuqisë së sinjalit do të matet me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer), ku mund të shihet grafikisht niveli i fuqisë dhe i formës së sinjalit për çdo gjatësi valore λ . Këtë mund ta shohim në figurën 135, në të cilën janë paraqitur matjet e sinjalit në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

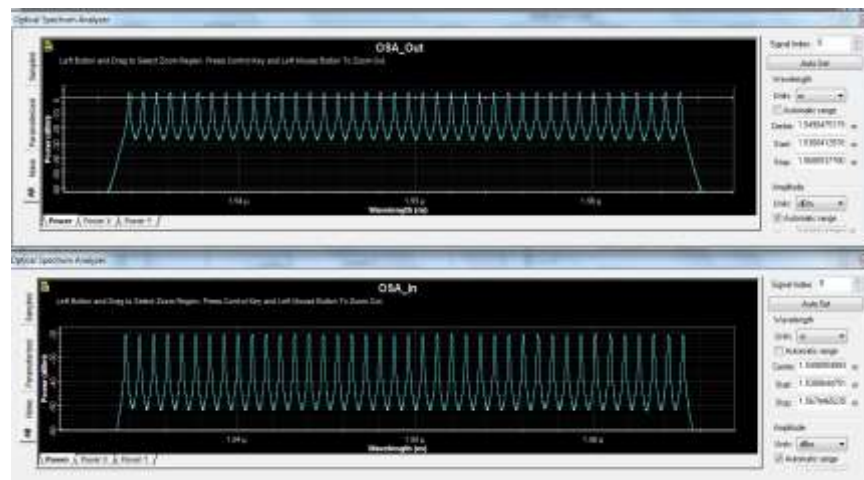


Figura 135. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer)

Nëse e analizojmë këtë figurë, vërejmë se niveli i sinjalit në dalje nga multiplekseri është më i lartë sesa niveli i sinjalit në hyrje të demultiplekserit, por gjatë gjithë kohës duke e ruajtur formën e tij ideale. Prandaj quhet sinjal ideal, që vetëm bie në një nivel më të ulët, por nuk ndikohet nga faktorë të tjerë, të cilët mund ta deformojnë sinjalin, si ndikimi i zhurmave, etj.

Tani, përsëri në dalje të demultiplekserit lidhet marrësi i sinjalit optik, nga ku mund të bëjmë matjen e nivelit të humbjes së sinjalit në vlerë bitësh (Bit error rate BER), që është një parametër tregues kyç për të vlerësuar se sa arrin vlerën sinjali transmetues prej 10 Gbps pasi të kalojë përgjatë këtij rrjeti optik. Për të ditur saktë vlerën e BER-it për çdo gjatësi valore λ , duhet të lidhet pajisja analizuese e BER-it (BER Analyzer) në dalje të çdo marrësi optik (Optical receiver), siç është paraqitur në figurën 136.

Vlerat e BER për kanalet 01, 11, 22, dhe 40 janë paraqitur në figurën 136.

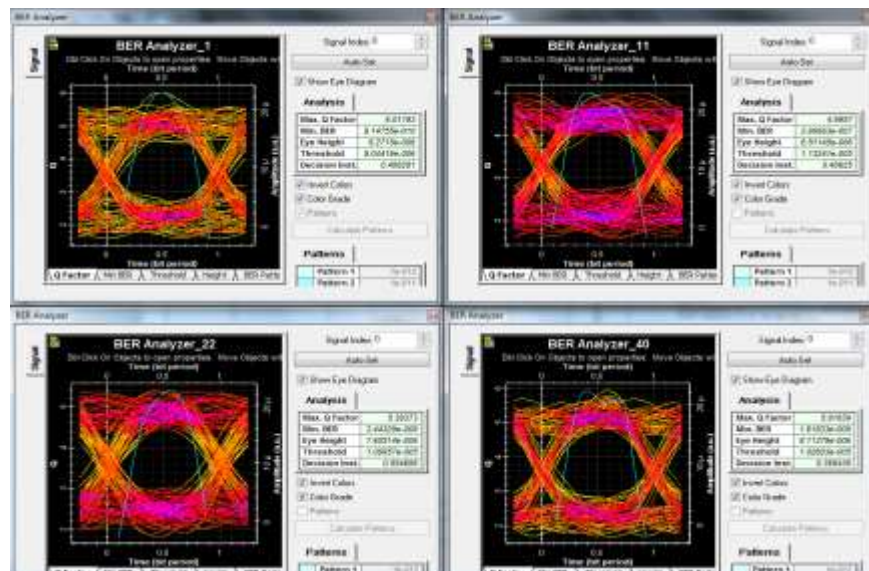


Figura 136. Vlera e matur e BER-it nga pajisja BER Analyzer te operatori i dytë.

Ndërsa në formë të tabelore janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 76. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i dytë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.011	
Vlera Minimale e BER-it	$9.14 \cdot 10^{-10}$	bps
Forma e syrit	$8.27 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$9.044 \cdot 10^{-6}$	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 77. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i dytë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	4.99	
Vlera Minimale e BER-it	$2.90 \cdot 10^{-7}$	bps
Forma e syrit	$6.51 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.132 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.40	bit period

Tabela 78. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i dytë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	5.39	
Vlera Minimale e BER-it	$3.44 \cdot 10^{-8}$	bps
Forma e syrit	$7.60 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.08 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.55	bit period

Tabela 79. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, te operatori i dytë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	5.91	
Vlera Minimale e BER-it	$1.61 \cdot 10^{-9}$	bps
Forma e syrit	$8.11 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.02 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.39	bit period

Nëse i krahasojmë vlerat e këtyre tabelave të paraqitura më sipër, atëherë vërejmë se në kanalën e parë, me gjatësi valore $\lambda = 1565$ nm, BER është $9.14 \cdot 10^{-10}$, ndërsa vlera e faktorit të kualitetit (Q-factor) është 6.011. Sa më e lartë të jetë vlera e BER-it, aq bie dhe kualiteti, e po ashtu zvogëlohet edhe vlera e faktorit Q. Këtë më së miri e vërejmë duke i krahasuar tabelat në vijim për kanalën 11, me gjatësi valore $\lambda = 1556.87$ nm, dhe për kanalën 22, me gjatësi valore $\lambda = 1548.03$ nm. Ku vlera e BER-it është rritur në krahasim me kanalën e parë, ndërsa vlera e faktorit Q është zvogëluar, kurse në kanalën e fundit, në kanalën 40, me gjatësi valore $\lambda = 1533.77$ nm, vlera e BER-it është rritur në $1.61 \cdot 10^{-9}$, ndërsa vlera e Q-faktorit është zvogëluar paksa, në 5.91. Kjo tregon se transferimi i të dhënave në kanalën e parë është më i mirë sesa në kanalet e tjera.

Vlerën e sinjalit optik në një kanal mund ta shohim edhe nga matjet me analizuesin e spektrit të radiofrekuencave (RF Spectrum Analyzer); këto vlera janë paraqitur grafikisht në figurën 137, në vijim:

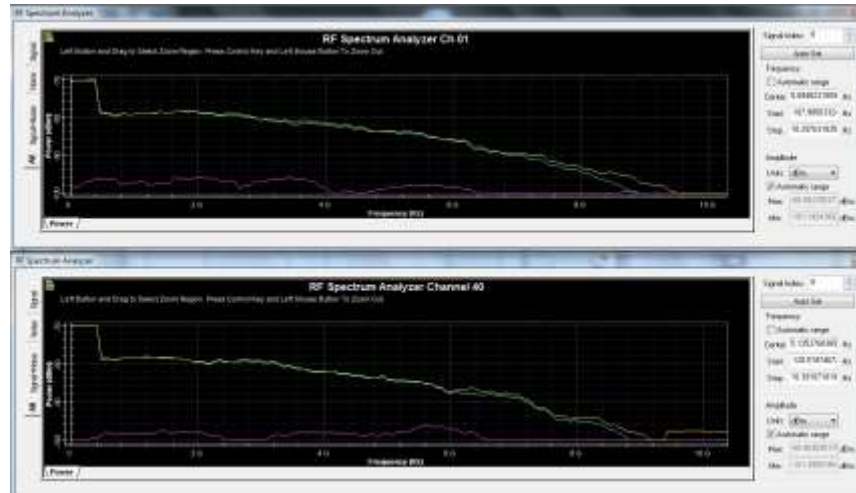


Figura 137. Analizuesi i spektrit të radiofrekuencave të operatorit të dytë

Në këtë figurë vërejmë se sinjali u afrohet zhurmave përafërsisht në vlerën ~ 9 Ghz. Kjo paraqitet në kanalën 40, me gjatësi valore $\lambda = 1533.77$ nm, me ç'rast sinjali degradohet dhe nuk vazhdon më tutje. Ndërsa në kanalën e parë, me gjatësi valore $\lambda=1565$ nm, në pikën me vlerë përafërsisht ~ 9 GHz gjithashtu sinjali do degradohet apo do humbasë.

Në teknologjinë WDM, duke përdorur brezin C të gjatësisë valore nga 1530 nm deri në 1565 nm, dhe hapësirën frekuencore 100 GHz për kanal (referuar në kapitullin 1), përafërsisht mund të përdorim 44 kanale. Sipas matjeve që kemi nga rasti ynë në skemën e përpiluar në laborator, mund të transferojmë nga ~ 9 Gbps në secilin kanal, që do të thotë se në një fije optike mund të transferojmë të dhëna me vlerë reale me kapacitet maksimal deri në 396 Gbps, ndërsa ideale deri në 440 Gbps. Nëse llogarisim kabllo optike me 96 fije, atëherë në këtë kabllo optike mund të transferojmë realisht 38.016 Gbps, apo 38.016 Tbps, ndërsa teorikisht

thuhet se mund të transferohet deri në 42.24 Tbps. Në teknologjinë DWDM, i njëjti brez, duke përdorur hapësirën frekuencore nga ajo 100 GHz, sa ishte në WDM, në 50 GHz, sa është në DWDM, mundëson që ky kapacitet i transferimit të të dhënave të arrijë dyfishin e tij. Në rastin tim, nëse marrim transmetuesin me 40 kanale, në baza reale do të krijohen 80 kanale nga 9 Gbps, që në total arrin në 720 Gbps në një fije optike, apo 65.280 Tbps në një kabllo me 96 fije, ndërsa, duke u bazuar te vlera teorike, transferim i të dhënave duhet të arrijë vlerën 880 Gbps për fije optike, kurse në kabllo optike me 96 fije arrin vlerën maksimale në 84.48 Tbps. Për të arritur sa më afër vlerës teorike, do të provoj që sinjalin optik ta përforcoj me përforcues optik. Në rrjetën e simulatorit të rastit të dytë, të operatorit të parë, do të vendosim përforcuesit EDFA për të arritur rezultatet më të mira.

4.3.3. Transferimi i të dhënave me kapacitet 10 Gbps te operatori i dytë duke përdorur përforcuesin EDFA

Në skemën e rrjetit ideal të përpiluar në simulator do të vendos përforcues EDFA për të përforcuar sinjalin optik, që të arrijë rezultate më të mira në transferimin e të dhënave. Në figurën 138 është paraqitur skema reale e operatorit të dytë me përforcues EDFA.

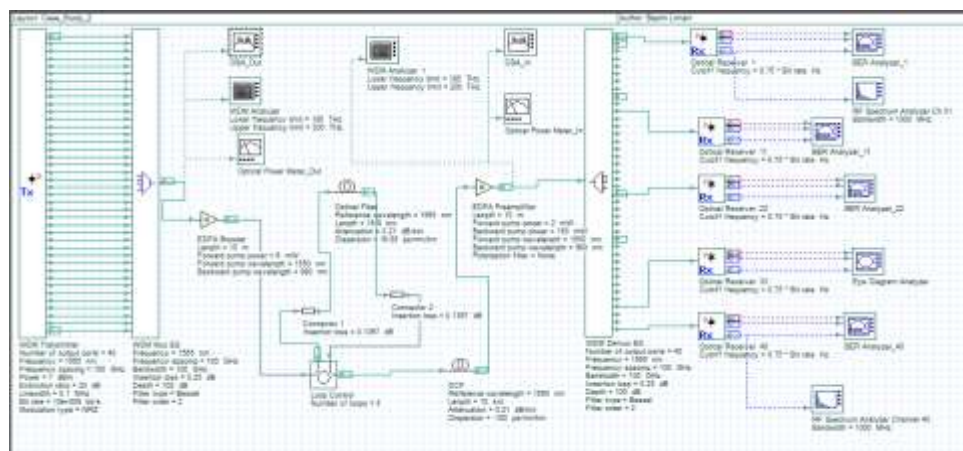


Figura 138. Skema 10 Gbps, me përforcues EDFA, te operatori i dytë

Të gjitha vlerat e parametrave të pajisjeve të përdorura në këtë skemë janë të njëjta me vlerat e paraqitura në tabelat 71, 72, 73, 74 dhe 75, ndërsa vlerat e përforcuesve optikë janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 80. Përforcuesi EDFA Booster

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e } + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	6	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 81. Përforcuesi EDFA Preamplifier

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e } + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	2	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Dallimi mes EDFA Booster-it dhe Preamplifier-it është vetëm në vlerën e fuqisë së pompimit në drejtimin para (forward), që në EDFA booster e rrit fuqinë në një nivel më të lartë të

mundshëm nga ai i burimit, e që në këtë rast është 6 mW, ndërsa EDFA Preamplifier e rrit ndjeshmërinë e fuqisë së pranuar, e që në këtë rast është më e ulët, gjegjësisht 2 mW. Pas vendosjes së përforcuesve kemi këto vlera të sinjalit optik, siç janë paraqitur në figurat 139, 140, 141 dhe 142, si dhe në tabelat 82, 83, 84, 85.



Figura 139. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit duke përdorur EDFA.

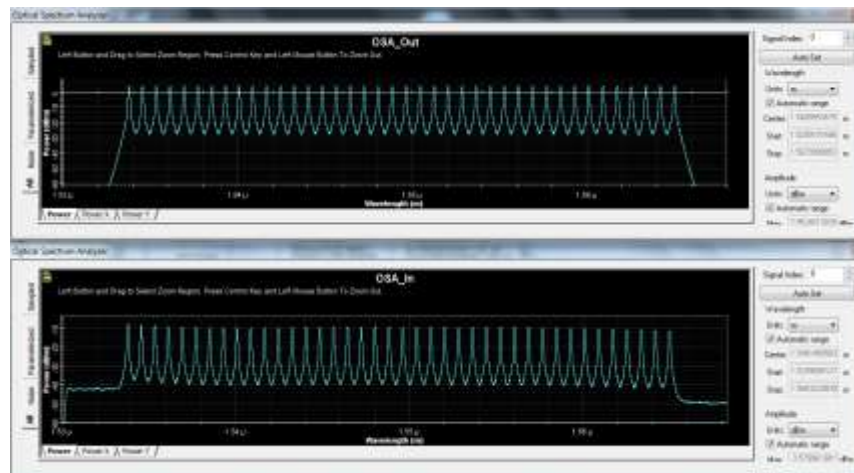


Figura 140. Matjet e fuqisë së sinjalit optik me Analizues të Spektrit (Spectrum Analyzer).

Pra, edhe në këtë rastë nëse e analizojmë këtë figurë vërejmë se niveli i sinjalit në dalje nga multiplekseri është në një nivel më të lartë se sa niveli i sinjalit në hyrje të demultiplekserit, duke e ruajtur formën e tij ideale gjatë gjithë kohës, i cili vetëm ulet në një nivel më të ulët por nuk ndikohet nga faktorë tjerë të cilët mund të deformojnë sinjalin.

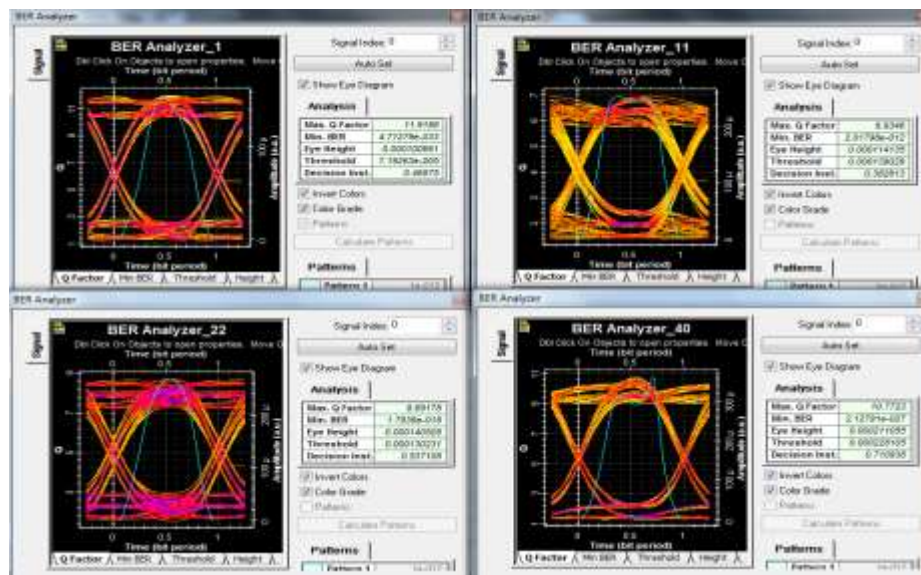


Figura 141. Vlera e matur e BER nga pajisja BER Analyzer, me kapacitet 10 Gbps ,me EDFA, te operatori i dytë

Tabela 82. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	11.91	
Vlera Minimale e BER-it	$4.712 \cdot 10^{-33}$	bps
Forma e syrit	0.0001	
Pragu i sinjalit	$7.19 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.46	bit period

Tabela 83. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.93	
Vlera Minimale e BER-it	$2.01 \cdot 10^{-12}$	bps
Forma e syrit	0.00011	
Pragu i sinjalit	0.00013	
Decision Instant	0.38	bit period

Tabela 84. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	8.69	
Vlera Minimale e BER-it	$1.78 \cdot 10^{-18}$	bps
Forma e syrit	0.00014	
Pragu i sinjalit	0.00013	
Decision Instant	0.53	bit period

Tabela 85. Vlerat e BER-it, me kapacitet 10 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	10.77	
Vlera Minimale e BER-it	$2.12 \cdot 10^{-27}$	bps
Forma e syrit	0.00021	
Pragu i sinjalit	$0.00022 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.71	bit period

Në fig. 142 nga matjet e bëra me analizuesin e spektrit të radio frekuencave vërejmë se sinjali i transmetuar me ndihmën e përforcuesit EDFA tanimë ka kaluar vlerën e caktuar 10 Gbps, nga ku shihet qartë përmirësimi i performancës së transmetimit.

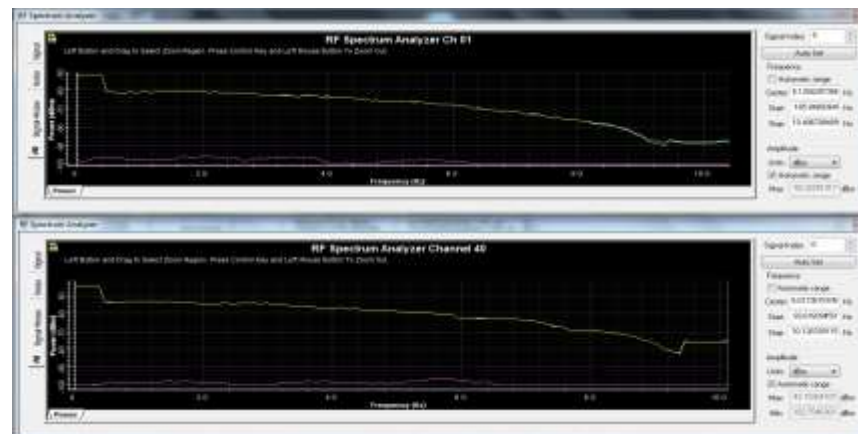


Figura 142. Analizuesi i spektrit të radio frekuencave

4.3.4. Transferimi i të dhënave me kapacitet 40 Gbps te operatori i dytë

Në skemën e përpiluar në simulator të rastit të tretë, të operatorit të dytë, të paraqitur në figurën 143, do të provoj të transmetoj të dhëna me kapacitet 40 Gbps për të nxjerrë vlera referuese. Në këtë skemë duhet të ndërrohen vlera e transmetuesit WDM, nga 10 Gbps në 40 Gbps, vlera e thellësisë (depth) e sinjalit në multiplekser WDM dhe demultiplekser WDM, nga 20 dB në 100 dB, për arsye të performancës më të mirë të sinjalit, siç janë paraqitur në tabelat 86, 87 dhe 88.

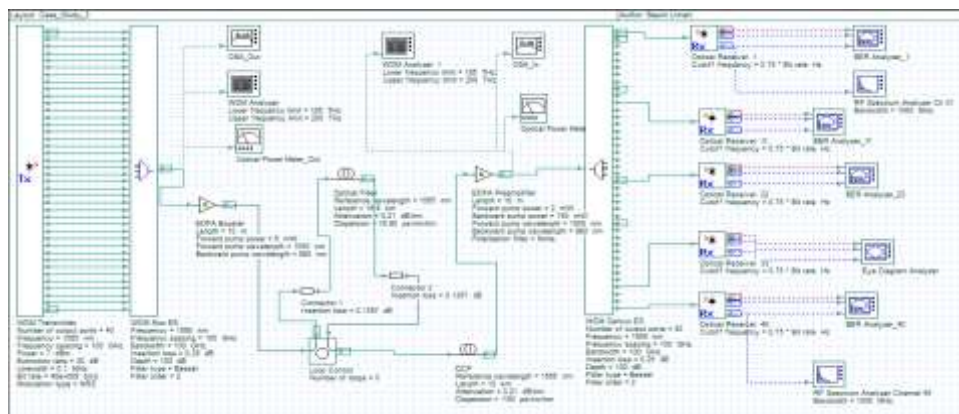


Figura 143. Skema e transmetimit të sinjalit optik me kapacitet 40 Gbps WDM.

Tabela 86. Parametrat e transmetuesit WDM në 40 Gbps

Parametrat e WDM Transmetuesit	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Power	7	dBm
Extinction ratio	30	dB
Linewidth	0.1	MHz
Initial phase	0	deg
Bit rate	40 E+9	bits/s
Modulation type	NRZ	
Duty cycle	0.5	bit
Position	0	bit
Rise time	$1/(\text{Bit rate}) * 0.05$	s
Fall time	$1/(\text{Bit rate}) * 0.06$	s
Transmitter type	EML	
Noise bandwidth	6.40E+11	Hz
Noise bins spacing	6.40E+11	Hz

Të dhënat e multiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 87. Parametrat e Multiplexerit WDM

Parametrat e Multiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Të dhënat e demultiplexerit WDM/DWDM janë paraqitur në tabelën në vijim:

Tabela 88. Parametrat e demultiplexerit WDM

Parametrat e Demultiplexerit WDM	Vlerat	Njësia
Number of output ports	40	kanale
Frequency	1565	nm
Frequency spacing	100	GHz
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0.25	dB
Depth	100	dB
Filter type	Bessel	
Filter order	2	
Sample rate	128	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Ndërsa vlerat e sinjalit optik të fituara pas matjeve janë paraqitur në figurat 144, 145, 146 147.

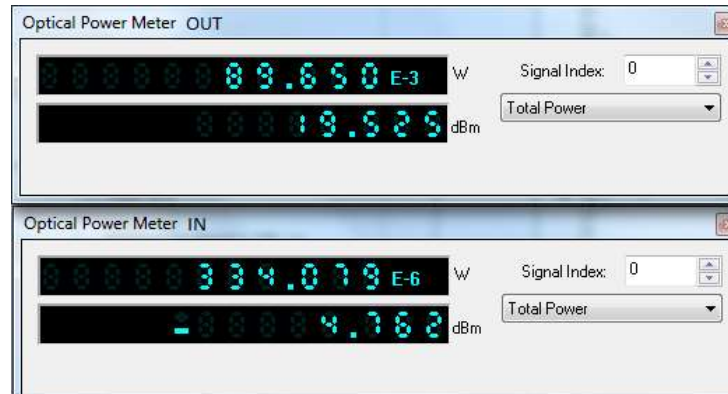


Figura 144. Fuqia e sinjalit transmetues në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit në transmetim të sinjalit me kapacitet 40 Gbps.

Nga kjo matje vërejmë se humbjet totale të sinjalit optik janë në vlerë prej 24.287 dB.



Figura 145. Vlerat e matura me Analizues të spektrit optik.

Në këtë figurë vërejmë kanalet në gjatësi të caktuara valore të ndara nga transmetuesi WDM, dhe të cilat bashkohen në një sinjal të vetëm nga multiplekseri, e se si bie vlera e fuqisë së sinjalit optik për 24.287 dB në secilin kanal nga dalja e multiplekserit deri në hyrje të demultiplekserit, duke përshkuar rrugën përgjatë kabllos optike.

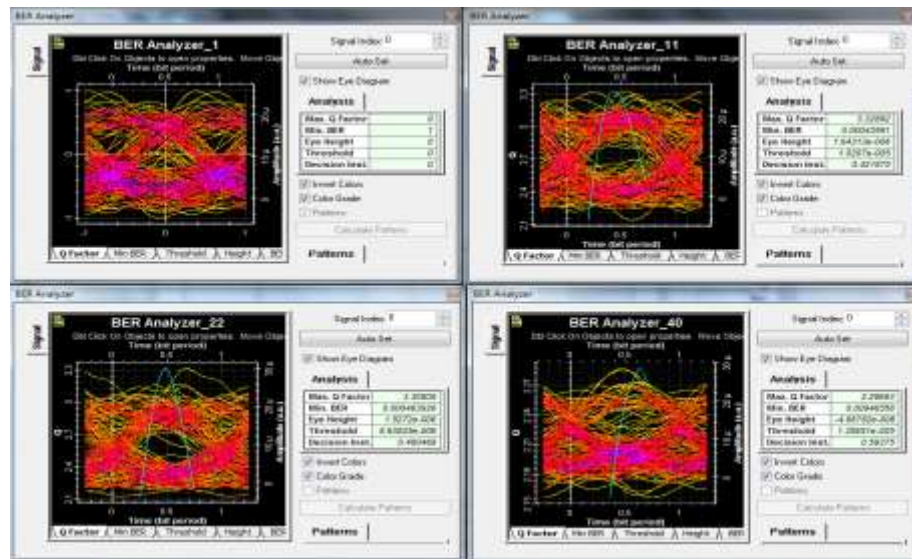


Figura 146. Vlerat e sinjalit optik të matura me BER analizues

Në figurën 146 janë paraqitur vlerat e sinjalit optik të kanaleve 01, 11, 22 dhe 40 të matura me BER analizues në simulator; këto vlera mund t'i shohim në tabelat 89, 90, 91 dhe 92. Nga këto matje vërejmë se vlera e sinjalit, sidomos në kanalin e parë dhe të fundit, është tejet e ulët duke u bazuar në vlerat e BER-it dhe faktorit Q, e se kjo vlerë e ulët e sinjalit optik vërteton se nuk mund të bartet kapaciteti i plotë prej 40 Gbps. Këtë dukuri mund ta vërejmë më mirë në matjet që kemi bërë me analizues të spektrit të radiofrekuencave, si në figurën 147. Si faktorë që ndikojnë në këto rezultate janë dispersioni, atenuimi e humbjet e tjera; skema është përpiluar mbështetur në vlera reale, e të cilat nuk i kam ndryshuar që ajo të jetë sa më e vërtetë.

Tabela 89. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i dytë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	0	
Vlera Minimale e BER-it	1	bps
Forma e syrit	0	
Pragu i sinjalit	0	
Decision Instant	0	bit period

Tabela 90. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i dytë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.32	
Vlera Minimale e BER-it	0.00043	bps
Forma e syrit	$1.64 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.02 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.42	bit period

Tabela 91. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i dytë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	43.30	
Vlera Minimale e BER-it	0.00046	bps
Forma e syrit	$1.52 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$8.93 \cdot 10^{-6}$	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 92. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, te operatori i dytë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	2.28	
Vlera Minimale e BER-it	0.0094	bps
Forma e syrit	$-4.66 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	$1.35 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.59	bit period

Duke vërejtur fig.147, duket qartë se sinjali degradohet në rreth 20 Gbps; kjo na tregon se sinjali nuk ka mundësi të transmetojë në vlerën e caktuar me kapacitet 40 Gbps.

Tabela 93. Përforcuesi EDFA Booster

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e} + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	6	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Tabela 94. Përforcuesi EDFA Preamplifier

Përshkrimi	Vlera	Njësia matëse
Core radius	2.2	μm
Er doping radius	2.2	μm
Er Metastable lifetime	10	ms
Numerical aperture	0.24	
Er ion density	$1 \text{ e} + 024$	m^3
Loss at 1550 nm	0.1	dB/m
Loss at 980 nm	0.15	dB/m
Length	10	m
Forward pump power	2	mW
Backward pump power	150	mW
Forward pump wavelength	1550	nm
Backward pump wavelength	980	nm
Noise center frequency	1550	nm
Noise bandwidth	5	THz
Noise bins spacing	125	GHz
Noise threshold	-100	dB
Noise dynamic	3	dB

Nëse analizojmë vlerat e përforcuesve në tabelat e mësipërme, vërejmë se vlera e përforcimit të sinjalit në përforcuesin e parë (booster) është 6 mW, gjegjësisht 7.78 dB, ndërsa në përforcuesin e dytë kemi vlerën e sinjalit përforcues 2 mW, gjegjësisht 3.01 dB. Përmirësimi i vlerës totale të sinjalit optik është dukshëm më i mirë, ashtu siç e kemi paraqitur në figurën 149 nga matjet e Optical Power Meter.



149. Optical Power Meter

Diferenca e sinjalit dalës nga multiplekseri dhe vlerës hyrëse në demultiplekser është 13.354 dB; nga kjo kuptojmë se sinjali optik gjatë rrugëtimit të tij përgjatë kablllos optike me gjatësi ~ 109 km ka pësuar humbje vetëm 13.354 dB. Ky ndryshim i humbjeve ndikon në përmirësimin e kualitetit të sinjalit optik, të cilin e vërejmë me matjet e bëra në simulator, ashtu siç janë paraqitur në figurat 150, 151 dhe 152, në vijim.

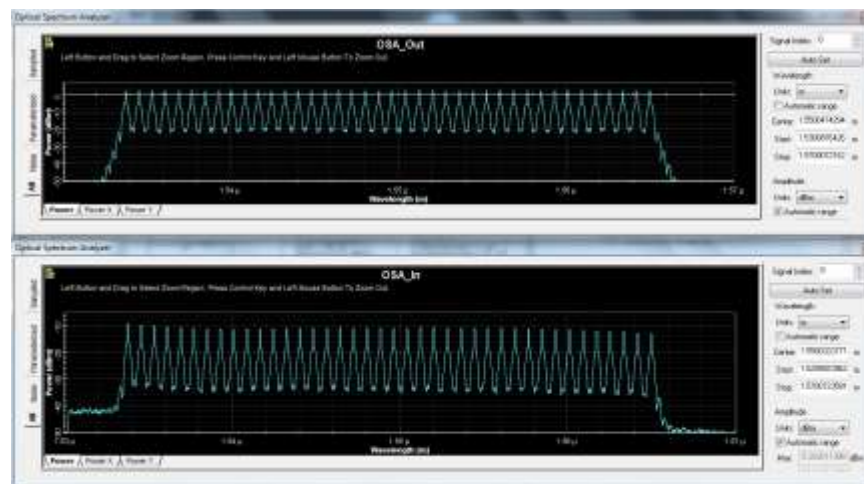


Figura 150. Matjet e bëra me optical spectrum analyzer në dalje të multiplekserit dhe në hyrje të demultiplekserit.

Në këtë figurë vërejmë qartë se sinjali optik pëson rënie për 13.354 dB në tërë brezin e gjatësisë valore të bandës C pa pësuar deformim brenda vetes.

Ndërsa në figurën 151 vërejmë formën e syrit për kanalet 01, 11, 22 dhe 40.

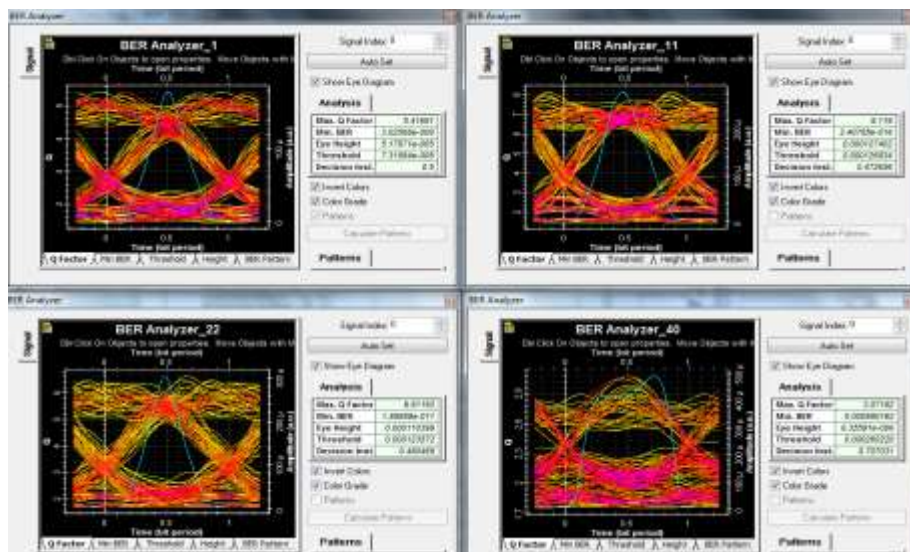


Figura151. BER Analyzer në 40 Gbps me EDFA

Vlerat e matura me BER analyzer janë paraqitur në tabelat në vijim:

Tabela 95. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_1

Të dhënat e kanalit të parë	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1565	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	5.41	
Vlera Minimale e BER-it	$3.02 \cdot 10^{-5}$	bps
Forma e syrit	$5.17 \cdot 10^{-5}$	
Pragu i sinjalit	$7.31 \cdot 10^{-5}$	
Decision Instant	0.5	bit period

Tabela 96. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_11

Të dhënat e kanalit të 11-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1556.87	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	8.11	
Vlera Minimale e BER-it	$2.40 \cdot 10^{-16}$	bps
Forma e syrit	0.00012	
Pragu i sinjalit	0.00012	
Decision Instant	0.47	bit period

Tabela 97. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_22

Të dhënat e kanalit të 22-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1548.03	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	6.61	
Vlera Minimale e BER-it	$1.88 \cdot 10^{-11}$	bps
Forma e syrit	0.00011	
Pragu i sinjalit	0.00012	
Decision Instant	0.48	bit period

Tabela 98. Vlerat e BER-it, me kapacitet 40 Gbps, me EDFA, te operatori i dytë ch_40

Të dhënat e kanalit të 40-të	Vlera	Njësia matëse
Gjatësia valore	1533.77	nm
Vlera maximale e Faktorit Q	3.07	
Vlera Minimale e BER-it	0.00099	bps
Forma e syrit	$6.35 \cdot 10^{-6}$	
Pragu i sinjalit	0.00026	
Decision Instant	0.70	bit period

Këtë përmirësim të sinjalit, që vërehet në kualitet sidomos në kanalet 11 dhe 22, mund ta dallojmë edhe nga matjet e bëra me RF Spectrum Analyzer në figurën 152.



Figura 152. Matjet në simulator me RF Spectrum Analyzer.

Nga figura 152 duket qartë se në këtë rast, duke përdorur përforcuesin EDFA, kam arritur cakun e synuar të kapacitetit të transmetimit prej 40 Gbps, madje duke e kaluar atë. Kjo e vërteton hipotezën se përdorimi i përforcuesve në linjat optike ndikon pozitivisht në përmirësimin e performancës së sinjalit të transmetuar.

4.4. Krahasimet e rezultateve të rasteve të studimit

Për t'i krahasuar dhe analizuar sinjalet, unë do të ilustroj disa figura nga rezultatet e marra nga matjet e bëra më sipër nga të tri rastet me dhe pa teknologjinë përforcuese EDFA.

Përdorimi i kapaciteteve të ndryshme të transferimit të të dhënave në të njëjtën kabllo apo fije optike është sfiduese, e kjo më së miri vërehet në rezultatet që kam nxjerrë nga tre rastet e studimit, të cilët do t'i krahasoj në vijim me njëri-tjetrin. Nga ku duket kjo se në rastet e përdorimit të teknologjisë përforcuese EDFA në linjën transmetuese Prishtinë – Shkup, sinjali arrinë të transmetohet në kapacitet e kërkuara duke arritë cakun e paraparë 10 Gbps apo 40 Gbps ndërsa në rastet kur nuk kam përdorë teknologjinë përforcuese EDFA nuk arrijmë të transmetojmë në kapacitetet e plota të kërkuara, të cilat rezultate i kam paraqitur në figura dhe tabela. Teknologjia përforcuese EDFA në linjën transmetuese Prishtinë – Shkup ndikon në performancën e transmetimit, sidomos ky ndikim pozitiv në ngritjen e performancës duket në kapacitetin transmetues 40 Gbps. Prandaj kompanitë Kosovare që përdorin fibra optike në transmetime në distancë mbi 80 km duhet të përdorin përforcuesit EDFA. Këtë përfundim do ta argumentojë më poshtë edhe me një rezultat të analizës së kostos efektive duke krahasu shtrirjen e kabllove optike shtesë në raport me implementimin e përforcuesve EDFA që e vërteton dhe arsyeton përdorimin e përforcuesve EDFA në linjën transmetuese Prishtinë - Shkup.

4.4.1. Krahasimi i BER-it në tri rastet e studimit në linjën transmetuese Prishtinë – Shkup

Në rastin e studimit të parë, nga matjet kam fituar disa rezultate referuese, që do t'i përdorani për t'i krahasuar vlerat e tjera të matura në rastet e studimit të dytë dhe të tretë. Nga rasti i parë kemi kuptuar se sinjali optik gjatë rrugëtimit të tij nga transmetuesi WDM deri te

pranuesi optik mund të dobësohet në një masë të tillë sa nuk arrin të transferojë kapacitetin e plotë të të dhënave në linjën transmetuese Prishtinë - Shkup. Sa për ilustrim, në vijim do të paraqesë figurat 153, 154, 155, ku vërehet dukshëm se si degradohet sinjali optik në një medium në të cilin humbjet janë më të mëdha; do të thotë, vlera e BER është më e lartë, e kjo ndikon në humbjen e kapacitetit të transferimit të të dhënave në linjën transmetuese Prishtinë - Shkup.

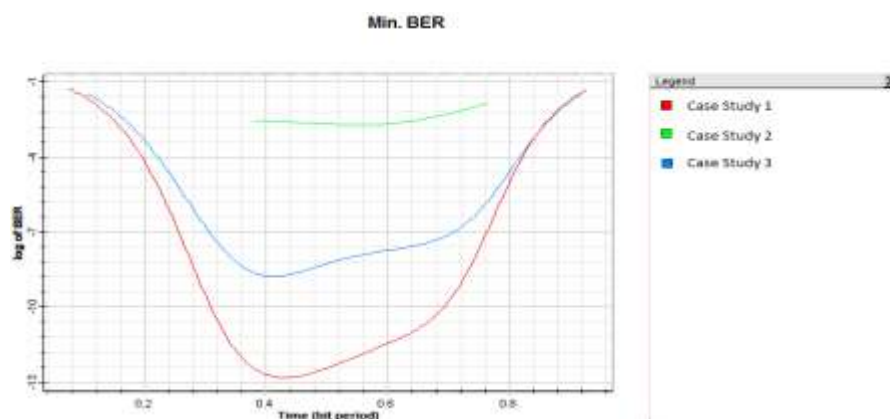


Figura 153. Vlera minimale e BER-it në kapacitet 10 Gbps, në kanalin e parë

Në figurën 153 është paraqitur grafiku i vlerës së BER-it të matur në kanalin e parë, me gjatësi valore $\lambda = 1565$ nm; në tre rastet e studimit dhe në këtë figurë vërejmë dallimet në mes vlerave të tyre për arsyen të specifikave të ndryshme që i kan, e që i kam cekë më sipër. Vlerën më të mirë e posedon rasti i studimit të parë (i simuluar si ideal në laborator), i cili i afrohet vlerës ideale, ndërsa rasti i tretë (operatori i dytë) vërehet se posedon vlera të mira të sinjalit, të cilat mund të afrohen me rastin e parë, ndërsa rasti i dytë (operatori i parë) posedon vlerën e sinjalit më të dobët, i cili nuk arrin të bartë kapacitetin e plotë të sinjalit optik. Kjo dukuri mund të vërehet edhe në vlerën e Q-faktorit, apo faktorit të kualitetit, nga ku operator i parë (rasti i dytë) posedon vlerën e sinjalit më të dobët, të paraqitur në figurën 154.

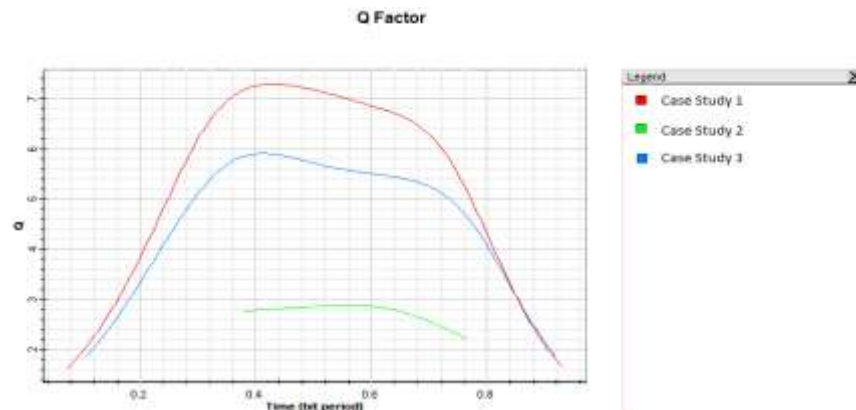


Figura 154. Vlera e Q-Faktorit në tre rastet e studimit në kapacitet 10 Gbps në kanal in e parë. Në kapitullin 2.0. kam përmendur se sa më e lartë të jetë vlera e BER-it, aq më ulët do të jetë vlera e kualitetit të sinjalit apo Q-faktorit. Në bazë të vlerave të sinjalit, të matura në simulator, dhe në rastet e tjera, vërejmë se rasti i tretë posedon vlerën e sinjalit optik shumë afër me atë ideal, dhe se kjo vlerë mund të bartë kapacitet të mjaftueshëm për të realizuar përafërsisht transferimin e të dhënave në 10 Gbps, ndërsa rasti i dytë është tejte i dobët në krahasim me vlerat normale, prandaj edhe ky sinjal do të degradojë. Se sa kapacitet mund të bartin këto sinjale optike, mund ta vërejmë më mirë në figurën 155, të paraqitur në vijim.

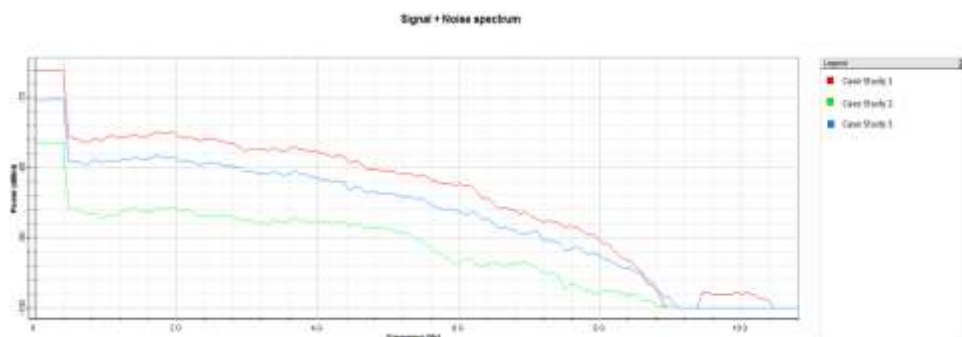


Figura 155. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë, me kapacitet transferimi të të dhënave 10 Gbps.

Duke u bazuar në analizën e spektrit të sinjalit optik të kanalit të parë (ch_1), vërejmë se të gjitha rastet devijojnë apo degradojnë në vlerën e përafërt ~ 9 Gbps.

Nga e njëjta skemë e transmetimit kam nxjerrë për krahasim edhe kanal in e dyzetë (ch_40),

më poshtë, nga ku duket se sinjali është përafërsisht i njëjtë dhe arrin të transmetojë ~ 9 Gbps; pas kësaj vlere sinjali degradohet.

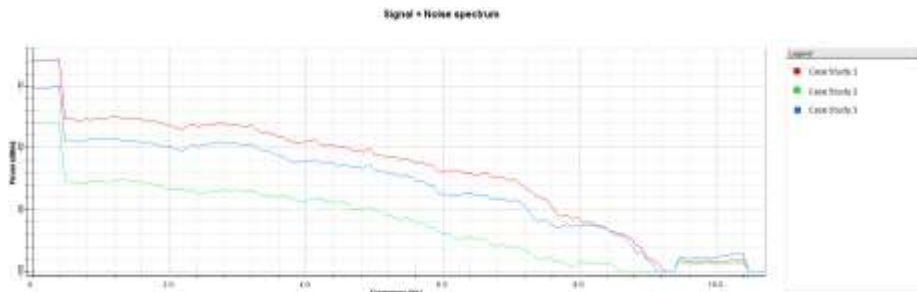


Figura 156. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanalin e dyzetë, me kapacitet të transferimit të të dhënave 10 Gbps.

Tanimë, nga rasti i mësipërm kemi kuptuar se sinjali optik gjatë rrugëtimit të tij nga transmetuesi WDM deri te pranuesi optik mund të dobësohet në një masë të tillë sa nuk arrin të transferojë kapacitetin e plotë të të dhënave. Sa për ilustrim, do të paraqes rastin kur përdorim përforcuesin EDFA në linjën 10 Gbps, siç shfaqet në figurat 157, 158, 159, ku vërehet përmirësimi i dukshëm në krahasim me rastin kur nuk përdorim përforcimin EDFA. Pra, sinjali optik në një medium në të cilin humbjet janë më të vogla do të thotë se vlera e BER-it është më e ulët, ndërsa vlera e Q-faktorit është më e lartë, dhe se tani kemi përforcim dhe përmirësim të performancës së kapacitetit të transferimit të të dhënave, si në fig.157.



Figura 157. Vlera minimale e BER-it, në kapacitet 10 Gbps, në kanalin e parë me EDFA

Në figurën 157 është paraqitur grafiku i vlerës së BER-it të matur në kanalin e parë me përforcuesin EDFA, me gjatësi valore $\lambda = 1565$ nm; në tre rastet e studimit dhe në këtë figurë vërejmë dallimet mes vlerave të tyre. Vlerën më të mirë e posedon rasti i studimit të parë (i simuluar në laborator) i cili i afrohet vlerës ideale, ndërsa rasti i tretë (operatori i dytë) vërehet se posedon vlera të mira të sinjalit, të cilat mund të afrohen me rastin e parë, ndërsa rasti i dytë (operatori i parë) posedon vlerën e sinjalit më të dobët në krahasim me rastet e tjera, i cili bart kapacitetin më të ulët të sinjalit optik. Kjo dukuri mund të vërehet edhe në vlerën e Q-faktorit, apo faktorit të kualitetit, të paraqitur në figurën 158.

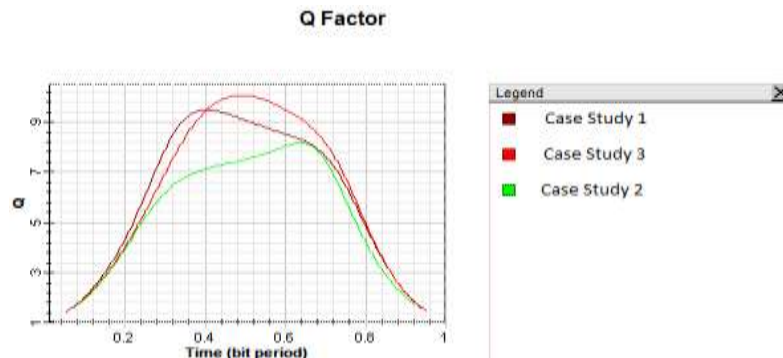


Figura 158. Vlera e Q-faktorit të matur në tre rastet e studimit në kapacitet 10 Gbps, me EDFA në kanalin e parë.

Në kapitullin 2.0. e kam thënë se sa më e lartë të jetë vlera e BER-it, aq më ulët do të jetë vlera e kualitetit të sinjalit apo Q-faktorit. Në bazë të vlerave të sinjalit, të matura në simulator, dhe në rastet e tjera, vërejmë se rasti i tretë posedon vlerën e sinjalit optik shumë afër atij idealit, dhe se kjo vlerë mund të bartë kapacitet të mjaftueshëm për të realizuar transferimin e të dhënave në 10 Gbps kur përdorim përforcues EDFA, ndërsa rasti i dytë është tejte i dobët në krahasim me vlerat normale, prandaj edhe ky sinjal do të jetë më i dobët. Se sa kapacitet mund të bartin këto sinjale optike, mund ta vërejmë më mirë në figurën 159, të paraqitur në vijim.

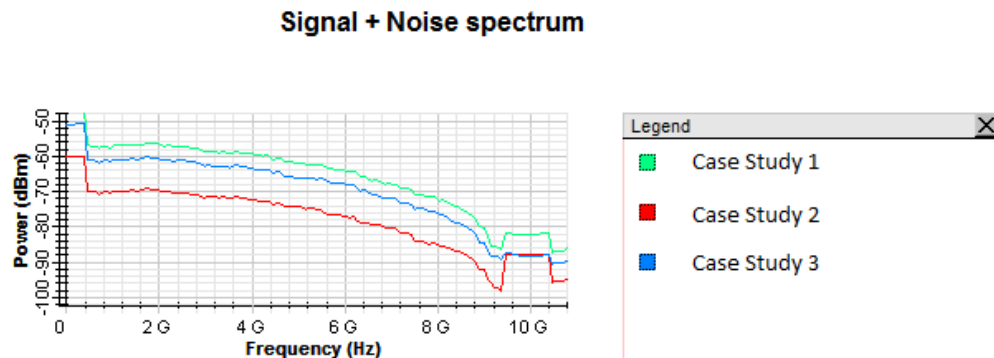


Figura 159. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanalën e parë, me kapacitet të transferimit të të dhënave 10 Gbps me EDFA.

Duke u bazuar në analizën e spektrit të sinjalit optik të kanalit të parë (ch_1) me përforcues EDFA, vërejmë se në të gjitha rastet arrihet të barten sinjalet optike në 10 Gbps, çka nuk ishte e mundur në rastin kur nuk përdornim përforcuesin EDFA; ato sinjale devijonin apo degradonin në vlerën e përafërt ~ 9 Gbps.

Në vijim do të paraqes nëpërmjet figurave 160, 161, 162, transmetimin WDM të sinjalit optik prej 40 Gbps në kanal. Në figurën 160 kam paraqitur kanalën 11 (ch_11).

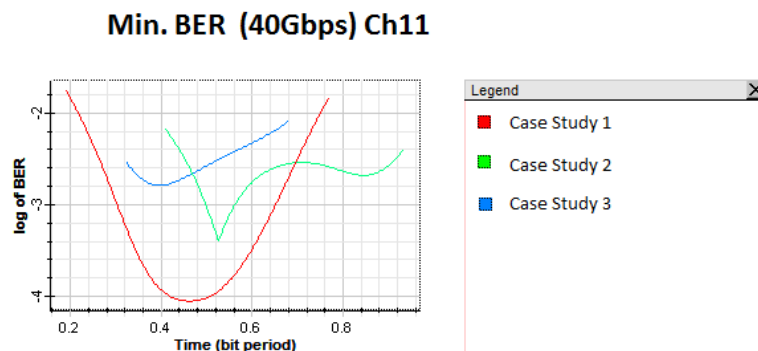


Figura 160. Vlera minimale e BER-it në kapacitet 40 Gbps në kanalën e parë

Në figurën 160 është paraqitur grafiku i vlerës së BER-it të matur në kanalën 11 me gjatësi valore $\lambda = 1530$ nm; në tre rastet e studimit dhe në këtë figurë vërejmë dallimet mes vlerave të tyre. Vlerën më të mirë e posedon rasti i studimit të parë (i simuluar në laborator), i cili i

afrohet vlerës ideale, ndërsa rasti i tretë (operatori i dytë) vërehet se posedon vlera të sinjalit të cilat mund të afrohen me rasti e dytë (operatori i parë), dhe që të dy posedojnë vlera të sinjalit të dobët, i cili nuk arrin të bartë kapacitetin e plotë të sinjalit optik. Nga ku vërehet dukshëm se si degradohet sinjali optik në një medium në të cilin humbjet janë më të mëdha; kjo do të thotë se vlera e BER-it është më e lartë, e se kjo ndikon në humbjen e kapacitetit të transferimit të të dhënave. Kjo dukuri mund të vërehet edhe në vlerën e Q-faktorit, apo faktorit të kualitetit, të paraqitur në figurën 161.

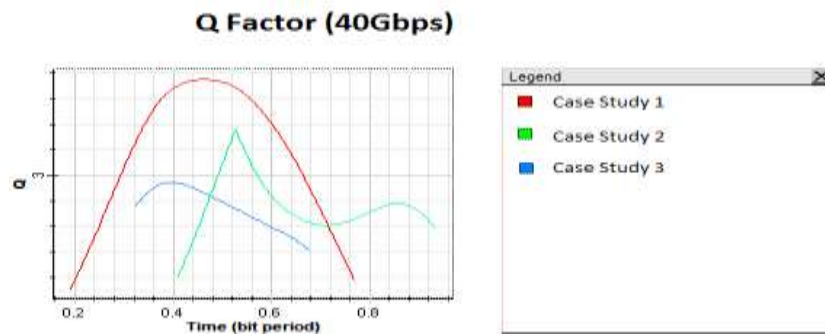


Figura 161. Vlera e Q-faktorit të matur në tre rastet e studimit, në kapacitet 40 Gbps, në kanalin e parë.

Në bazë të vlerave të sinjalit të matura në simulator dhe në rastet 1 dhe 2, vërejmë se rasti i tretë dhe i dytë posedojnë vlera të sinjalit optik shumë të dobëta në krahasim me vlerat normale, prandaj edhe ky sinjal do të degradohet. Ndërsa rasti i parë (case study 1) duket të ketë vlerë përafërsisht të mjaftueshme për të realizuar transferimin e të dhënave, për të bartë kapacitet, por jo në 40 Gbps; realisht grafiku na tregon se ky kanal (ch_11) mund të bartë vetëm kapacitet me rreth ~ 30 Gbps, nga ku pastaj sinjalet optike degradohen. Se sa kapacitet mund të bartin këto sinjale optike e vërejmë më mirë në figurën 162, të paraqitur në vijim.

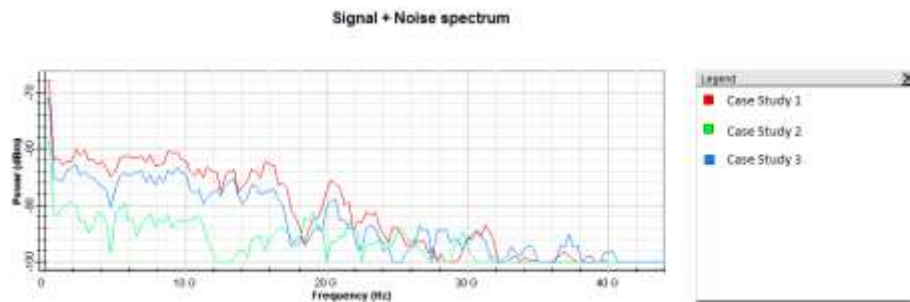


Figura 162. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e parë, me kapacitet të transferimit të të dhënave 40 Gbps.

Tani do të paraqes skemën e sinjalit optik të matur me analizues të spektrit në transmetimin me kapacitet 40 Gbps me përforcues EDFA, nga ku kam nxjerrë një krahasim mes tre rasteve të studimit (case studies) edhe për kanal in e dyzetë (ch_40). Ashtu si më poshtë, nga ku duket se sinjali optik i rastit të dytë (operatorit të parë) është më i dobët (ka më shumë humbje), ndërsa rasti i parë (i simuluar në laborator) dhe i tretë (operatori i dytë) është përafërsisht i njëjtë, e arrijnë të transmetojnë në 40 Gbps.

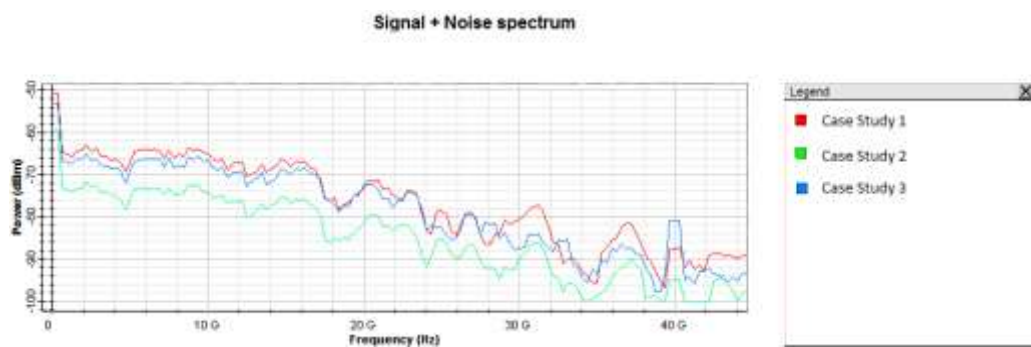


Figura 163. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanal in e dyzetë, me kapacitet të transferimit të të dhënave 40 Gbps me përforcues EDFA.

Në vazhdim do të paraqes rastin e krahasimit të Q-faktorit të kanalit 11 të rastit të parë (case study 1), i simuluar në laborator me dhe pa përforcues EDFA. Duke u bazuar në figurën 164, në vijim shohim se Q-faktori me EDFA është pothuajse dyfish më i lartë sesa ai pa EDFA.

Kjo tregon rolin dhe ndikimin e përforcuesit EDFA në përmirësimin e kualitetit të sinjalit optik të transmetuar.

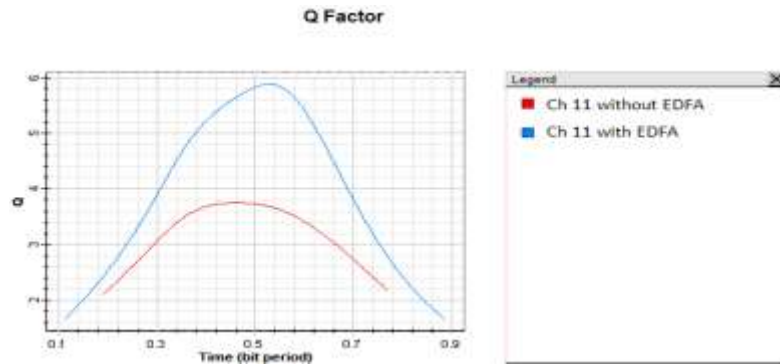


Figura 164. Vlera e Q-faktorit të matur në rastin e parë në kanalin e 11-të (ch_11), në rastin e studimit me kapacitet 40 Gbps me EDFA dhe pa EDFA.

Më poshtë do të paraqes skemën e sinjalit optik të matur me analizues të spektrit në transmetimin me kapacitet 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA, nga ku kam nxjerrë një krahasim mes dy sinjaleve optike. Në rastin e parë të studimit (case study 1), i simuluar në laborator, në kanalin e parë, si më poshtë, duket se sinjali optik pa EDFA është më i dobët (ka më shumë humbje), e arrihet të transmetohet sinjal optik deri afër 30 Gbps, pas së cilës sinjali degradohet. Ndërsa sinjali optik me përforcim EDFA është dukshëm më i mirë, dhe arrihet të transmetohet sinjal optik mbi 40 Gbps.

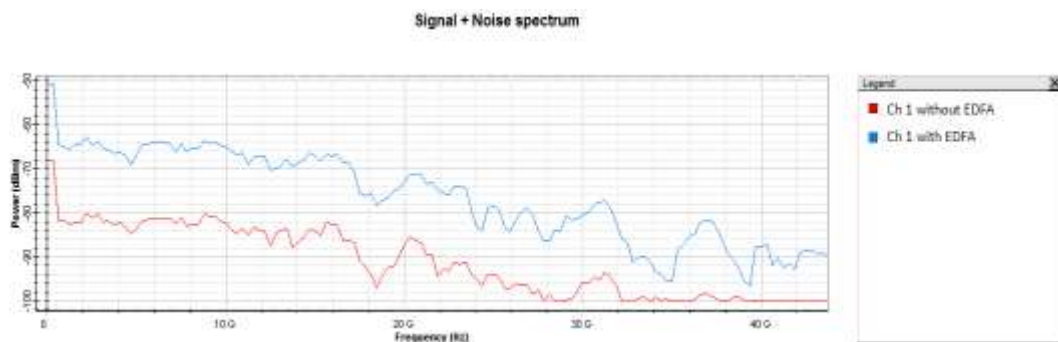


Figura 165. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanalin e parë, në rastin e parë, me kapacitet të transferimit të të dhënave 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA

Në vijim do të paraqes rastin e krahasimit të Q-faktorit të kanalit 11 të rastit të dytë (case study 2), i simuluar në laborator, me dhe pa përforcues EDFA. Duke u bazuar në figurën 166 më poshtë, shohim se Q-faktori me EDFA është shumë më i lartë sesa ai pa EDFA. Kjo tregon edhe në këtë rast rolin dhe ndikimin pozitiv të përforcuesit EDFA në përmirësimin e kualitetit të sinjalit optik të transmetuar.

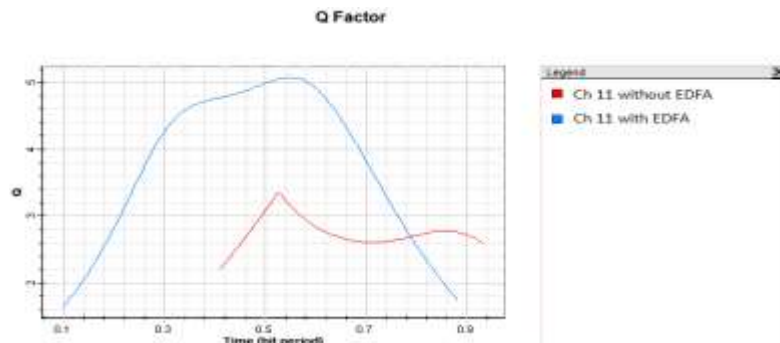


Figura 166. Vlera e Q-faktorit të matur në rastin e dytë në kanal 11 (ch_11), në rastin e studimit me kapacitet 40 Gbps, me EDFA dhe pa EDFA

Më në vazhdim do të paraqes skemën e sinjalit optik të matur me analizues të spektrit në transmetimet me kapacitet 40 Gbps me dhe pa përforcues EDFA, nga ku kam nxjerrë një krahasim mes dy sinjaleve optike. Në rastin e dytë të studimit (case study 2) nga operatori i parë në kanal 1 e parë (ch_1), si më poshtë, nga ku duket qartë se sinjali optik pa EDFA është shumë më i dobët (ka shumë humbje), dhe arrihet të transmetohet sinjal optik relativisht vetëm deri afër 28 Gbps, pas së cilës sinjali optik degradohet. Ndërsa sinjali optik me përforcim EDFA është dukshëm më i mirë sesa ai pa EDFA, por arrihet të transmetohet sinjal optik vetëm deri në 34 Gbps.

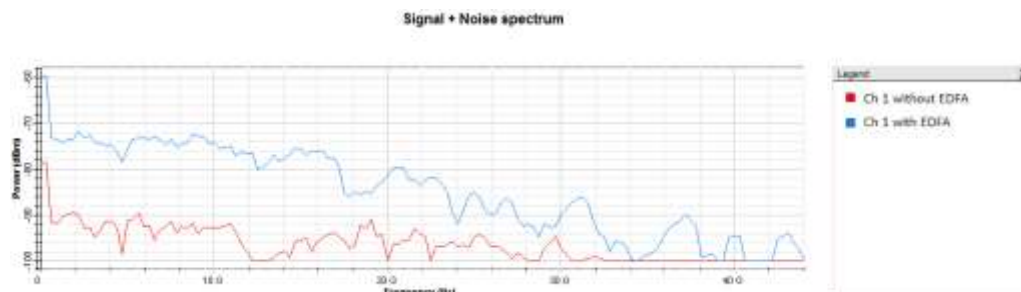


Figura 167. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanalën e parë, në rastin e dytë (operatori i parë), me kapacitet të transferimit të të dhënave 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA

Do të paraqes dhe rastin e krahasimit të Q-faktorit të kanalit 11 të rastit të tretë (case study 3), i simuluar në laborator me dhe pa përforcues EDFA. Duke u bazuar në figurën 168, në vijim shohim se Q-faktori pa përforcues EDFA është shumë më i dobët sesa ai me EDFA. Kjo tregon, edhe në këtë rast, rolin dhe ndikimin e padiskutueshëm pozitiv të përforcuesit EDFA në përmirësimin e kualitetit të sinjalit optik të transmetuar.

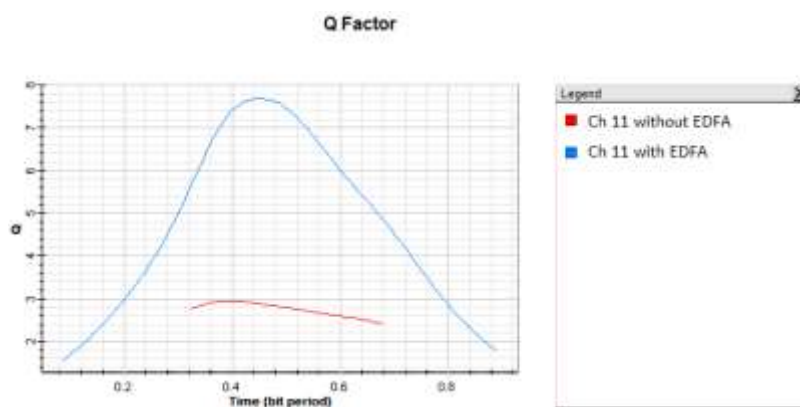


Figura 168. Vlera e Q-faktorit të matur në rastin e tretë, në kanalën e 11-të (ch_11), në rastin e studimit me kapacitet 40 Gbps me EDFA dhe pa EDFA.

Në vazhdim do të paraqes skemën e sinjalit optik të matur me analizues të spektrit në transmetimet me kapacitet 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA, nga ku kam nxjerr një krahasim mes dy sinjaleve optike në rastin e tretë të studimit (case study 3), nga operatori i dytë në kanalën e parë (ch_1), si më poshtë. Nga ku duket se sinjali optik pa përforcues EDFA

është shumë më i dobët (ka shumë humbje), dhe arrihet të transmetohet sinjal optik relativisht vetëm deri afër 25 Gbps, pas të cilës sinjali optik degradohet. Ndërsa sinjali optik me përforcim EDFA është dukshëm më i mirë sesa ai pa EDFA, dhe arrihet të transmetohet sinjal optik mbi 40 Gbps.

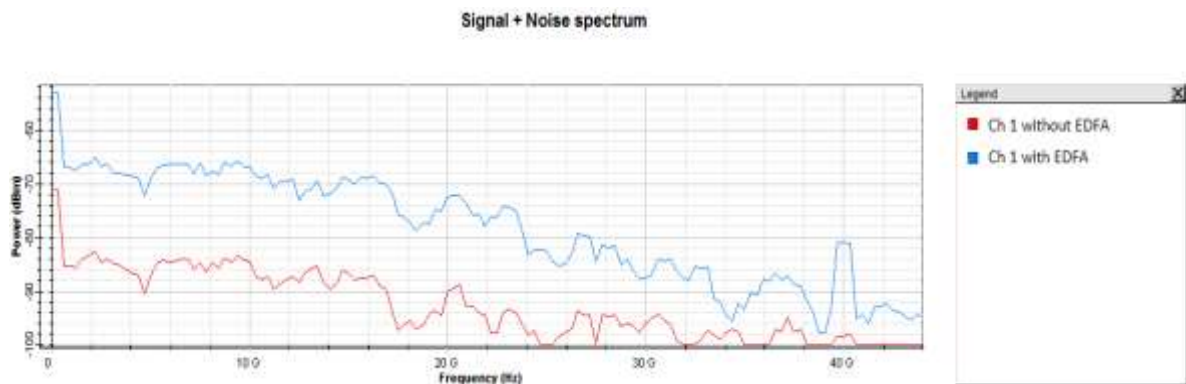


Figura 169. Sinjali optik i matur me analizues të spektrit në kanalin e parë, në rastin e tretë, me kapacitet të transferimit të të dhënave 40 Gbps, me dhe pa përforcues EDFA.

Pra siç edhe duket kjo nga krahasimet e rezultateve të marra nga rastet kur përdorim teknologjinë përforcuese EDFA dhe duke u bazuar në nënkapitullin 2.4 (përkatesisht 2.4.5) gjatë shtjellimit të llojeve të përforcuesve dhe karakteristikave të tyre, është evidente dhe na tregon kjo se pse duhet të përdoret teknologjia përforcuese EDFA, e cila punon në fuqi të ulët nga 1mW deri 5mW dhe është e përshtatshme për transmetime në distanca të gjata mbi 80 km. Gjithashtu është i përshtatshëm për përforcim në rastin e përdorimit të DWDM-së në rangun spektral 1,3 dhe 1,5 μm , e që korrespondonë me dy gjatësitë valore më të përshtatshme për eksitim të frekuencave optike të EDFA-s, që janë 980 nm dhe 1480 nm, dhe prodhojnë emisione të stimuluar në rangun 1530 – 1565 nm, që i takojnë brezit C. Pra teknologjia përforcuese EDFA për arsye të specifikave të lartë cekura arrinë të përforcoi sinjalet, të ulë humbjet e BER-it dhe atenuimit, ndikon në përmirësimin e performancës së

transmetimit dhe ndikonë edhe në uljen e kostos investuese në linjën optike *backbone* Prishtinë – Shkup (shiko nënkapitullin 5.2). Për shkakë të specifikave që i ceka më sipër dhe rezultateve të marra në ngritjen e performancës transmetuese nga rasti i studimit, duket kjo të arsyeshme dhe nevojë e përdorimit të përforcuesve EDFA në linjën optike *backbone* Prishtinë – Shkup.

V. Databaza e rastit të studimit të linjës optike Prishtinë - Shkup

5.1. Databaza në rastin tim

Databaza për rastet e studimit që kam bërë është shumë e nevojshme për të mbajtur evidencën e projekteve të ndërtuara për linjat optike, njëkohësisht edhe për të nxjerrë rezultate krahasuese të ndryshme pas popullimit të saj me të dhënat e mbledhura nga terreni apo nga raporti i pranimit teknik të një projekti. Këto të dhëna futen apo azhurnohen në bazën e të dhënave, pas azhurnimit të këtyre të dhënave ne mund ti përdorim ato të dhëna në të ardhmen për statistika të veçanta si krahasimi i rezultateve të humbjeve në kabllon optike nga projekte të ndryshme, humbjet totale në një kablo, llojet e përforcuesve të përdorur për një projekt të veçantë apo në disa projekte të ndryshme etj.

5.1.1. Krijimi i Tabelave

Tabela Projekti

Për rastet e studimit kam krijuar një databazë, që i grumbullon të dhënat për secilin projekt të bërë në veçanti. Kjo databazë është e ndërtuar nga njëmbëdhjetë tabela; programi se si krijohen tabelat e kësaj databazë, me atributet e tyre, e kam paraqitur në shtojcë.

Kjo databazë është e ndërtuar nga njëmbëdhjetë entitete, të listuara në vijim:

- a) Entiteti Projekti
- b) Entiteti Skema
- c) Entiteti Kanali_Optik
- d) Entiteti Transmetues
- e) Entiteti Multiplexer
- f) Entiteti Fiber

- g) Entiteti DCF
- h) Entiteti Amplifier
- i) Entiteti DeMultiplexer
- j) Entiteti Receiver
- k) Entiteti BER_Analyzer

1. Entiteti Projekti

Entiteti Projekti përfaqëson, projektet e realizuara të ndërtimit të infrastrukturës kabllor optike kombëtare dhe ndërkombëtare. Atributet që e përshkruajnë këtë entitet janë:

ID_Projekti- Numri Identifikues i Projektit, ky atribut është unik prandaj e kam paraqitur si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës e cila është pjesë e projektit, ky atribut është si çelës primar i Entitetit Skema prandaj në Entitetin Projekti e kam paraqitur si çelës Sekondar.

Emri- Emertimi i projektit.

Data- Data e realizimit të projektit.

Lokacioni- Vendi në të cilin është realizuar projekti

2. Entiteti Skema

Entiteti Skema përfaqëson, skemat e planit të krijuara për ndërtimin e një projekti kabllor optik. Atributet të cilat e karakterizojnë apo e përshkruajnë këtë entitet janë:

ID_Skema- Numri Identifikues i entitetit skema i cili është unik dhe është i paraqitur si çelës primar.

ID_Projekti- Numri identifikues i projektit të cilit i përket kjo skemë dhe është paraqitur si çelës sekondar.

Emri- emërtimi i skemës së krijuar për një projekt të caktuar.

Data- Data e krijimit të skemës.

3. Entiteti Kanali Optik

Entiteti Kanali Optik përfaqëson, kanalin optik apo gjatësin e valëve të kanalit optik në të cilin do të operoj struktura e ndërtuar e rrjetit kabllor optik p.sh. lidhja e dy qendrave në mes

veti bëhet përmes fijës optike duke përdorur teknologjinë DWDM në kanalën me gjatësi valore 1550nm. Atributet të cilat e karakterizojnë apo e përshkruajnë këtë entitet janë:

ID_Kanali- Numri Identifikues i kanalit optik, dhe ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky kanal optik, dhe është paraqitur si çelës sekondar

Numri- Ky atribut identifikon numrin e kanalit të teknologjisë DWDM apo WDM, p.sh. DWDM në brezin C në gjatësinë valore 1550nm posedon 44 kanale, dhe kanali i 11 i përket gjatësisë valore 1553nm.

Gjatesia_Valore- Ky atribut paraqet gjatësinë valore të kanalit optik të përdorur në projekt.

Brezi- Ky atribut paraqet brezin e gjatësisë valore të përdorur në projekt p.sh. brezi C është nga 1530nm deri 1565nm.

Teknologjia- Ky atribut paraqet teknologjinë e përdorur në projekt p.sh. DWDM / WDM.

4. Entiteti Transmetuesi

Entiteti Transmetuesi përfaqëson, pajisjet aktive transmetuese të sinjalit optik. Atributet që karakterizojnë këtë entitet janë si në vijim:

ID_TX- Numri Identifikues i transmetuesit optik, dhe ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

No_out_ports- Numri i porteve dalëse të transmetuesit optik.

Frequency- Frekuenca apo gjatësia valore në të cilin transmetuesi, transmeton sinjalin optik

Frequency_Spacing- Hapësira Frekuencore e sinjalit optik p.sh. në teknologjinë DWDM është 50GHz ndërsa në WDM është 100GHz.

Power- Fuqia transmetuese e sinjalit optik.

Extinction_Ratio- Paraqet raportin e fuqisë së transmetuesit optik kur laseri është i ndezur me atë kur laseri është i fikur.

Bit_Rate- Vlera e bitëve të transmetuara në sinjalin optik p.sh. 10Gbps ose 40Gbps etj.

Modulation_Type- Tipi i modulimit p.sh. NRZ ose RZ.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky transmetues optik.

5. Entiteti Multiplexer

Entiteti Multiplexer përfaqëson, pajisjen aktive e cila i grumbullon (multiplexon) të gjitha kanalet optike në një sinjal të vetëm. Atributet të cilat e karakterizojnë janë si në vijim:

ID_Mux_Plex- Numri Identifikues i Multiplexerit optik, dhe ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky Multiplexer, dhe është paraqitur si çelës sekundar

Frequency- Frekuenca apo gjatësia valore në të cilin Multiplexeri, transmeton sinjalin optik

Freq_Spacing- Hapsira Frekuencore e sinjalit optik p.sh. në teknologjin DWDM është 50GHz ndërsa në WDM është 100GHz.

Bandwidth- gjerësia e brezit.

Insertion_Loss- Humbjet e shkaktuara nga pajisja.

Depth- thellësia e sinjalit optik.

Filter_Type- Tipi i filterimit të sinjalit optik.

6. Entiteti Fiber

Entiteti Fiber përfaqëson, kabllon optike e cila është përdorur në projekt. Atributet të cilat e karakterizojnë kabllon optike janë si vijojnë:

ID_Fibri-Numri Identifikues i kabllit optik, dhe ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky kabell optik, dhe është paraqitur si çelës sekundar

Type- Lloji i kabllot optike

Ref_wavelength- Gjatësia valore në të cilën operon ky lloj kablli

Length- Gjatësia e kabllot

Attenuation- Humbjet e sinjalit optik të dhënë sipas prodhuesit

Dispercion- Dispersioni kromatik sipas prodhuesit

Splice_A_loos- humbjet në pikën fillestare ku vazhdohet kablloja optike p.sh. nëse një kabllo është e gjatë 4 km dhe lidhet me një kabllo tjetër e cila është me gjatësi 3 km atëherë humbja A është pika ku lidhen këto dy kabllo në mes vete, ndërsa pika B është vendi në të cilën përfundon kjo kabllo e vazhduar.

Splice_B_loos- humbjet optike në pikën përfundimtare në të cilën vazhdohet kablli optik i cili bën kompenzimin e dispersionit.

7. Entiteti DCF

Entiteti DCF përfaqëson, kabllin optik i cili bën kompenzimin e dispersionit kromatik.

Atributet të cilat e karakterizojnë këtë kabllo janë si në vijim:

ID_DCF- Numri Identifikues i kabllit optik, dhe ky numer është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemes së cilës i përket ky kabell optik, dhe është paraqitur si çelës sekundar

Type- Lloji i kabllit optik

Ref_wavelength- Gjatësia valore në të cilën operon ky lloj kablli

Length- Gjatësia e kabllot

Attenuation- Humbjet e sinjalit optik të dhënë sipas prodhuesit

Dispersion- Dispersioni kromatik sipas prodhuesit

Splice_A_loos- humbjet në pikën fillestare ku vazhdohet kablli optik p.sh. nëse nj kabllo është e gjatë 4 km dhe lidhet me një kabllo tjetër e cila është e gjatë 3 km atëherë humbja A është pika ku lidhen këto dy kablllo në mes vete, ndërsa pika B është vendi në të cilën përfundon kjo kabllo e vazhduar.

Splice_B_loos- humbjet optike në pikën përfundimtare në të cilën vendosen konektorët për kyçje në paisjet aktive.

Ky lloj kablli dallon nga kablli optik vetëm në vlerat e Dispersionit kromatik.

8. Entiteti Amplifier

Entiteti Amplifier (Përforcuesi) përfaqëson, përforcuesin e sinjalit optik. Atributet që e karakterizojnë përforcuesin optik janë si vijojnë:

ID_Amplifier- Numri Identifikues i përforcuesit optik, ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky përforcues, dhe është paraqitur si çelës sekundar.

Type- Lloji i përforcuesit optik p.sh. EDF apo RAMAN etj.

Er_ion_density- Dendësia e joneve të erbijumit.

Loss_at_1550- Humbjet e sinjalit optik në gjatësinë valore 1550nm.

Loos_at_980- Humbjet e sinjalit optik në gjatësinë valore 980nm.

Length- Gjatësia e kabllit optik brenda përforcuesit në këtë rast EDFA.

Forward_pump_power- Fuqia e pompimit të sinjalit tutje përgjatë rrugëtimit të tij.

Backward_pump_power- Fuqia e pompimit të sinjalit optik në kthim.

Forward_pump_wavelength- Gjatësia valore e sinjalit përgjatë rrugëtimit të tij.

Backward_pump_wavelength- Gjatësia valore e sinjalit optik në kthim.

9. Entiteti DeMultiplexer

Entiteti DeMultiplexer përfaqëson, pajisjen aktive Demultiplexues e cila e ndanë (demultiplexon) sinjalin optik në kanalet optike me gjatësi të ndryshme valore. Atributet të cilat e karakterizojnë janë si në vijim:

ID_DeMux_Plex- Numri Identifikues i DeMultiplexerit optik, dhe ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky DeMultiplexer, është paraqitur si çelës sekundar

Frequency- Frekuenca apo gjatësia valore në të cilin DeMultiplexeri, transmeton sinjalin optik

Freq_Spacing- Hapsira Frekuencore e sinjalit optik p.sh. në teknologjin DWDM është 50GHz ndërsa në WDM është 100GHz.

Bandwidth- gjerësia e brezit.

Insertion_Loss- Humbjet e shkaktuara nga pajisja.

Depth- thellësia e sinjalit optik.

Filter_Type- Tipi i filterimit të sinjalit optik.

10. Entiteti Receiver

Entiteti Receiver (Pranuesi) përfaqëson, pajisjen aktive e cila bën pranimin e sinjalit optik.

Atributet të cilat e karakterizojnë këtë pajisje janë si vijojnë:

ID_RX- Numri Identifikues i pranuesit optik, ky numër është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së ciles i përket ky pranues optik, dhe është paraqitur si çelës sekondar.

Photodiode- Fotodioda është pasije e cila e konverton sinjalin e dritës në rrymë dhe vlera e saj përcaktohet nga prodhuesi.

Gain- Kjo vlerë caktohet nga prodhuesi

Insertion_Loss- Humbjet e brendshme të sinjalit optik.

Depth- Thellësia e sinjalit

Reference_bit_rate- Vlera e biteve të pranuar me sinjal optik p.sh. 10Gbps ose 40Gbps etj.

11. Entiteti BER Analyzer

Entiteti BER Analyzer përfaqëson, pasijen aktive e cila analizon sinjalin optik si dhe paraqet rezultatet e humbjes në sinjalin optik. Atributet që karakterizojnë këtë sinjal janë si vijojnë:

ID_BER- Numri Identifikues i BER Analizuesit, dhe ky numer është unik prandaj paraqitet si çelës primar.

ID_Skema- Numri identifikues i skemës së cilës i përket ky Analizues, dhe është paraqitur si çelës sekondar.

Wavelength- Gjatësia valore në të cilën janë realizuar matjet

Max_Q_Factor- Rezultati i vlerës maksimale të Q Faktorit

Min_BER- Rezultati i vlerës minimale të BER-it.

Eye_Height- Rezultati i Formë së syrit.

Threshold- Rezultati i pragut .

Decision_Inst- Rezultati i determinizimit.

Për të krijuar databazën me këto entitete duhet të shkruhet kodi në SQL. Kodi i shkruar në

SQL për të krijuar këto entitete është i paraqitur në shtojcë.

5.1.2. Futja e të dhënave në databazë

Mënyrën se si futen të dhënat në databazë do ta paraqes në vijim përmes skripteve të shkruara në SQL. Skriptet për futjen e shënimeve të rastit të tretë të studimit, për kanalën 11, me gjatësi valore 1556.87 nm të brezit C, duke shfrytëzuar teknologjinë WDM, me transmetim të të dhënave me kapacitet 40 Gbps, të bazuar në skemën e kapitullit 4, e kam paraqitur në shtojcë.

5.1.3. Relacioni dhe ER-Diagrami i databazës

ER-Diagrami i databazës së krijuar është paraqitur në figurën 170.

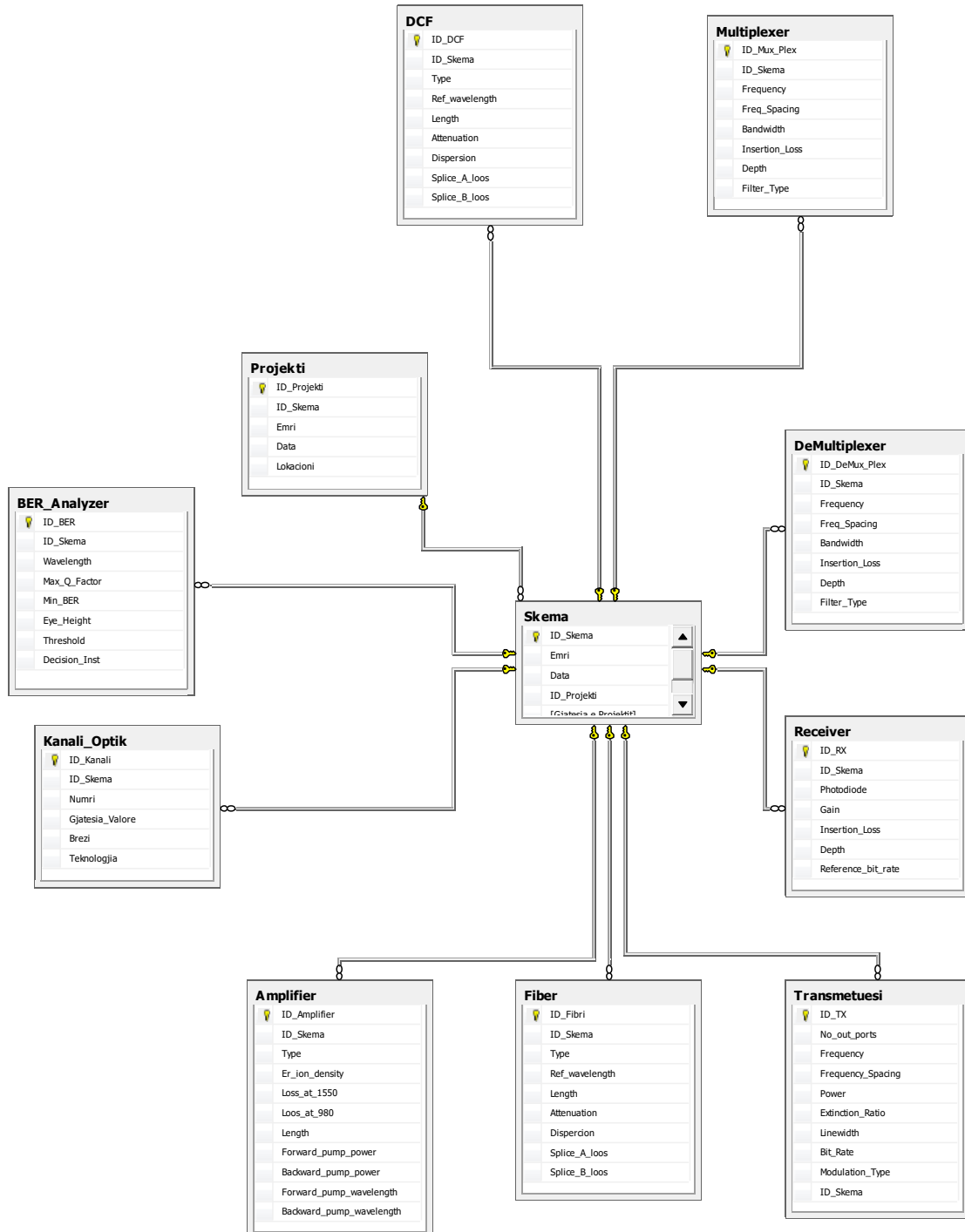


Figura 170. ER Diagrami i databazës së projekteve të linjave optike.

Relacionet e entiteteve janë realizuar në këtë formë, entiteti Projekti është entiteti bazë nga e cila lidhet entiteti Skemat në relacionin një me shumë d.m.th. një projekt mund të ketë shumë skema. Ndërsa entiteti Skema lidhet me të gjitha entitetet tjera në relacionin një me shumë d.m.th. një skemë mund të përmbanë shumë Kabllo optike, përforcues, transmetues optik etj.

Kjo formë e relacionit është paraqitur në figurën në vijim:

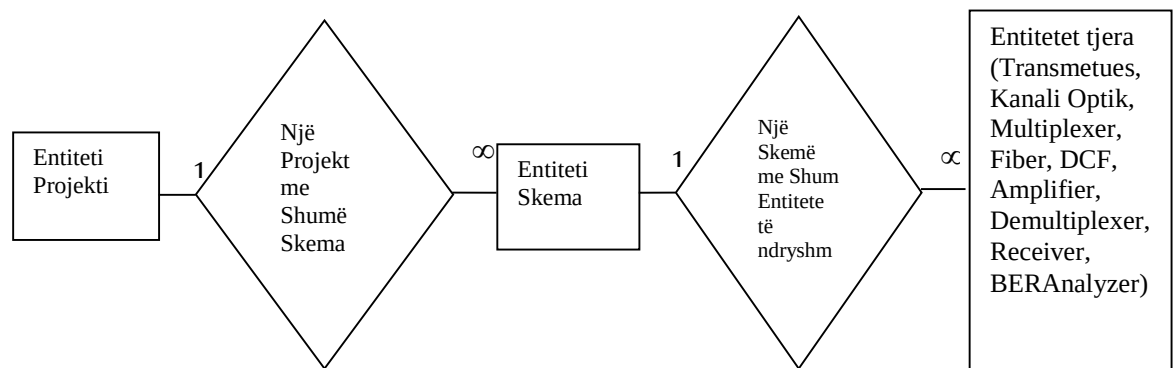


Figura 171. Lidhja e entitetit Skema me të gjitha entitetet tjera në relacionin një me shumë
Relacionet e tabelave janë paraqitur në ER-Diagram. Tabela “Projektet” lidhet në relacion me tabelën “Skema” përmes ID_Projekti-t në një me shumë; d.m.th., një Projekt mund të ketë shumë skema.

Tabela “Skema” është e lidhur me të gjitha tabelat e tjera në relacionin një me shumë përmes atributit ID_Skema; d.m.th., se një Skemë mund të përmbajë shumë elemente të tabelave të tjera.

Si shembull mund të marrim një rast kur ne dëshirojmë të përzgjedhim të dhënat e rezultateve të matura të BER-it në rastin e tretë të studimit. Kjo realizohet në këtë mënyrë:

Së pari përzgjidhet projekti nga tabela “Projekti”, pastaj skema nga tabela “Skema”, e cila në fushën ID_Skema posedon vlerën e njëjtë me fushën ID_Skema të tabelës “Projekti”. Pastaj

përzgjidhen të gjitha fushat e tabelës BER_Analyzer, ku ID_Skema posedon vlerë të njëjtë me ID_Skema të tabelës “Skema”. Kjo procedurë është e njëjtë edhe për përzgjedhjen e të dhënave nga tabelat e tjera.

Kjo formë e përzgjedhjes së të dhënave si dhe krahasimi i tyre bëhet përmes pyetësorëve apo Query.

5.1.4. QUERY

Pyetësorët apo Query shërbejnë për të manipuluar me të dhënat e futura në databazë si radhitjen apo tabelimin e të dhënave të cilat ne duam ti shfaqim, apo veprimet matematikore si shuma, ndryshimi etj. Në databazën e rastit tim të studimit, pyetësorët mund ti përdorim për të grumbulluar të dhënat nga disa tabela të ndryshme në një tabelë të vetme, apo mund ti nxjerrim të dhënat nga dy tabela të ndryshme dhe ti krahasojmë ato etj.

Në vazhdim do të marrë shembull disa pyetësor (Query) si dhe formën e shkruar të tyre në SQL.

- 1) Të selektohen të gjitha kabllot optike të rastit të studimit 3 (Case Study 3) që i përkasin projektit Prishtinë-Shkup.

```
SELECT
[Punimi].[dbo].[Projekti].[Emri]
,[Punimi].[dbo].[Projekti].[Data]
,[Punimi].[dbo].[Projekti].[Lokacioni]
,[Punimi].[dbo].[Skema].[Emri] as 'Skema e Rastit te Studimit'
,[Punimi].[dbo].[Skema].[Gjatesia e Projektit] as 'Gjatesia e Projektit (km)'
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Type]
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Ref_wavelength]
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Length_km]
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Attenuation]
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Dispercion]
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Splice_A_loos]
,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Splice_B_loos]
FROM [Punimi].[dbo].[Projekti],[Punimi].[dbo].[Skema],[Punimi].[dbo].[Fiber]
```

where [Punimi].[dbo].[Projekti].[ID_Skema]= [Punimi].[dbo].[Skema].[ID_Skema]and
[Punimi].[dbo].[Skema].[Emri]='Case Study 3'

2) Të selektohen të dhënat si emri i projektit, data e implementimit të projektit, lokacioni, emri i skemës, tipi i kablllos, gjatësia valore, gjatësia totale e kablllos optike, humbjet për kilometër, dispersioni kromatik i kablllos, humbjet totale në pikat salduese (splice) dhe humbjet totale të sinjalit në kabllon optike Prishtinë - Shkup në rastin Case Study 2 dhe Case Study 3.

```
SELECT
    [Punimi].[dbo].[Projekti].[Emri]as 'Projekti'
    ,[Punimi].[dbo].[Projekti].[Data]
    ,[Punimi].[dbo].[Projekti].[Lokacioni]
    ,[Punimi].[dbo].[Skema].[Emri] as 'Skema e Rastit te Studimit'
    ,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Type] as 'Tipi i kabllit Optik'
    ,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Ref_wavelength] as 'Gjatesia Valore'
    ,SUM(length_km) as 'Gjatesia e kabllit optik (km)'
    ,SUM (CAST ([Punimi].[dbo].[Fiber].[Attenuation] as real)) / Count
    ([Punimi].[dbo].[Fiber].[ID_Skema]) as 'Atenuimi'
    ,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Dispercion] as 'Dispersioni Kromatik'
    ,SUM([Punimi].[dbo].[Fiber].[Splice_A_loos]) / SUM([Punimi].[dbo].[Fiber].[length_km]) as
    'Humbjet totale ne splice dBm'
    ,SUM(length_km) * (Sum (cast ([Punimi].[dbo].[Fiber].[Attenuation] as real)) / Count
    ([Punimi].[dbo].[Fiber].[ID_Skema])) + SUM([Punimi].[dbo].[Fiber].[Splice_A_loos]) as 'Humbjet
    totale te kabllit dBm'

FROM [Punimi].[dbo].[Projekti], [Punimi].[dbo].[Skema], [Punimi].[dbo].[Fiber]
WHERE [Punimi].[dbo].[Projekti].[ID_Skema] = [Punimi].[dbo].[Skema].[ID_Skema] and
[Punimi].[dbo].[Fiber].[ID_Skema] = [Punimi].[dbo].[Skema].[ID_Skema] and
[Punimi].[dbo].[Skema].[Emri]='Case Study 3'
GROUP BY [Punimi].[dbo].[Projekti].[Emri]
    ,[Punimi].[dbo].[Projekti].[Data]
    ,[Punimi].[dbo].[Projekti].[Lokacioni]
    ,[Punimi].[dbo].[Skema].[Emri]
    ,[Punimi].[dbo].[Skema].[Gjatesia e Projektit]
    ,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Type]
    ,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Ref_wavelength]
    ,[Punimi].[dbo].[Fiber].[Dispercion]
```

- 3) Të selektohen përforcuesit EDFA të cilët i përkasin projektit Prishtinë-Shkup në skemën Case Study 2 dhe Case Study 3.

SELECT

```
[Punimi].[dbo].[Skema].[Emri]
,[Punimi].[dbo].[Skema].[Data]
,[Punimi].[dbo].[Skema].[Gjatesia e Projektit]
,[Punimi].[dbo].[Amplifier].[Type] as 'Tipi i Perforcuesit'
,[Er_ion_density]
,[Loss_at_1550]
,[Loos_at_980]
,[Length]
,[Forward_pump_power]
,[Backward_pump_power]
,[Forward_pump_wavelength]
,[Backward_pump_wavelength]
FROM [Punimi].[dbo].[Skema],[Punimi].[dbo].[Amplifier]
WHERE [Punimi].[dbo].[Skema].[ID_Skema]=[Punimi].[dbo].[Amplifier].[ID_Skema]
and [Punimi].[dbo].[Skema].[Emri]='Case Study 3'
```

- 4) Të selektohen të dhënat e rezultateve të matjeve me BER Analyzer për rastin e Case Study 2 dhe 3 në gjetësin valore 1556.87 nm.

SELECT

```
[Punimi].[dbo].[skema].[Emri]
,[Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[Wavelength]
,[Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[Max_Q_Factor]
,[Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[Min_BER]
,[Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[Eye_Height]
,[Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[Threshold]
,[Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[Decision_Inst]
FROM [Punimi].[dbo].[skema], [Punimi].[dbo].[BER_Analyzer]
WHERE [Punimi].[dbo].[BER_Analyzer].[ID_Skema] =
[Punimi].[dbo].[skema].[ID_Skema]
```

5.2. Analiza krahasuese e kostos efektive në rastin tim të studimit

Për të arritur në një analizë financiare të përafërt dhe për të arsyetuar përdorimin e teknologjisë së përforcuesve optik EDFA në linjën transmetuese Prishtinë – Shkup, do të krijojë një shembull për të argumentuar në detaje se si në rastë të kërkesave më të mëdha për kapacitet shtesë do të adaptohej linja transmetuese me fibra optike Prishtinë – Shkup ekuivalente me situatën reale, do të bëje llogari dhe do të argumentojë se cila do të jetë kostoja më e ulët, në rastin e parë kur do të benim një shtrirje të re të një kabllorje optike në infrastrukturën kabllorë ekzistuese, apo rasti i dytë i avancimit të stacioneve bazë (upgrade server Room) në platformën DWDM me përforcues EDFA.

5.2.1. Rasti i parë: shtimi i kapaciteteve (rritja e bandwidth-it) duke shtuar një kablo optike të re

Nëse kemi kërkesa që të bartim të dhëna në një fije optike më shumë se 10 Gbps atëherë me gjendjen ekzistuese të paraqitur në rastet e studimit dhe në kapitullin II (2.1.2), kemi kuptuar se nuk është e mundur, prandaj duhet të shtojmë një fije të re sepse kapaciteti ekzistues nuk mund të bartë më shumë se 10 Gbps. Shtrirja e kabllorës së re optike me 96 fije në infrastrukturën ekzistuese (me kusht që të kemi një gyp të lirë shtesë) do të ketë një parallogari si vijon në tabelën 99.

Tabela 99: Kostoja për shtrirjen e një kablloje të re në infrastrukturën ekzistuese

Emërtimi	Njësia matëse	Sasia	çmimi për njësi	totali
Kabllo optike nëntokësore single-mode me 96 fije (8x12)	m	100000	1.98 €	198,000.00 €
Transporti i kabllos deri në vendin punues	copë	25	50.00 €	1,250.00 €
Shtrirja e kabllos optike në gypin ekzistues PVC Ø50	m	100000	0.35 €	35,000.00 €
Saldimi i fijeve optike në 25 lokacione nga 96 fije (splice)	copë	2400	2.20 €	5,280.00 €
CISCO SFP+ 10G Ethernet/SDH/SONET/Fiber Channel DWDM 80km LC Single-Mode Dual Fiber (RX/TX) Receiver Sensitivity <-24dBm Average Output Power -1~+3dbm	copë	48	446.00 €	21,408.00 €
Fiber clousure (MUF)	copë	25	80.00 €	2,000.00 €
Testimi dhe dokumentimi i kabllit optik	copë	96	2.00 €	192.00 €
			Total	263,130.00 €

Kjo shtrirje e kabllos optike do të rriste kapacitetin edhe për 10 Gbps shtesë për secilën fije, mirëpo nëse kemi kërkesa për rritje nga 10 Gbps në 40 Gbps për secilën fije atëherë kjo kosto do të trefishohej si dhe do të shtohej edhe kostoja e ndërtimit të një infrastrukture të re të kanalit kabllor, sepse nuk do të kishte hapsirë fizike për rritjen e kapacitetit më të madhe, por do duhej të bëhej shtrirja e kabllove shtesë.

5.2.2. Rasti i dytë: Avancimi i stacionit bazë (upgrade Server Room) në teknologjinë DWDM me përforcues EDFA

Avancimi i server room-it në teknologjinë DWDM me përforcues EDFA do të na krijonte mundësin që në një fije të vetme optike të rrisim kapacitetin e transferimit të të dhënave nga 10 Gbps në 40 Gbps duke mos pasur nevojë për një shtrirje të re të kabllos optik.

Mirëpo për te arritur kapacitet më të larte se 10 Gbps në të njëjtën fije pa shtrirje të re të kabllos optike por vetëm duke vënë në përdorim teknologjinë e re DWDM me përforcues EDFA nevojiten pajisjet shtesë për të cilat kostoja do të jetë si në tabelën 100.

Tabela 100: Kostoja e implementimit te teknologjisë DWDM me përforcues EDFA.

Emërtimi	Njësia matëse	Sasia	çmimi për njësi	totali
1) Rack Cabinet				
2) Shasia OptiX OSN 8800				
3) Multiplexer DWDM me 44 module				
4) Demultiplexer DWDM me 44 module				
5) Backbone Link DWDM				
6) Power Modul se bashku me bateri	cope	2	66,800.00 €	133,600.00 €
EDF	cope	4	1,700.00 €	6,800.00 €
			Total	140,400.00 €

Kjo kosto përmban dy pika të Server Room-it njëra pikë (A) në Prishtinë dhe tjetra pikë (B) në Shkup. Rritja e kapacitetit mund të arrijë 40 Gbps deri në 100 Gbps për një gjatësi të vetme valore brenda një fije optike, me këtë nënkuptojmë se brenda një fije mund të përdorim 44 gjatësi valore me nga 40 Gbps.

Pra, duke bërë llogaritjet e dy rasteve të kostove në linjën transmetuese me fibra optike Prishtinë - Shkup, në rastin e parë kur do të benim një shtrirje të re të një kablloje optike në infrastrukturën kabllorë ekzistuese, apo rasti i dytë i avancimit të stacioneve bazë (upgrade server Room) në platformën DWDM me përforcues EDFA si rezultat do të na dilte diferenca e kostos efektive prej 122,733 €.

$$R_t = R_1 - R_2 = 263,130 \text{ €} - 140,400 \text{ €} = 122,733 \text{ €}$$

VI. Konkluzioni

Me këtë studim kam pasur si qëllim që të analizoj performancën e transmetimit në linjën transmetuese backbone me fibra optike Prishtinë - Shkup, duke u bazuar në përdorimin e teknologjisë transmetuese WDM/DWDM dhe teknologjisë përforcuese EDFA, e që ndikojnë në përmirësimin e sinjalit optik.

Bazuar në hipotezat dhe pyetjet e parashtruara mbi gjendjen e përdorimit të fibrave optike në Kosovë, të trajtuar në kapitullin III, në gjendjen e linjës transmetuese *backbone* me fibra optike Prishtinë - Shkup dhe përdorimi i alternativave të mundëshme të teknologjive të përforcuesve optik në linjën Prishtinë-Shkup, kam arritur të arsyetojë ndikimin e përforcuesit optik EDFA në ngritjen e performancës dhe uljen e humbjeve dhe uljen e kostos investuese, duke e bërë më efektive përdorimin e kësaj linje me kablllo optike në distancë me kapacitet e shpejtësi të lartë pa pasur nevojë shtrirjen shtesë të kablllove optike. Që të arrihet një analizë sa më e mirë e hipotezave të parashtruara i kam shtjelluar në mënyrë të detajuar tre raste studimi në linjën Prishtinë-Shkup, faktorët që ndikojnë në humbjet në transmetimet me fibra optike si BER-i, atenuimi, skatering, teknologjitë moderne që përdoren për përmirësimin e sinjalit optik, duke nxjerrë edhe rezultate grafike e tabelore nga dy operatorë të telekomunikacionit, e nga një rast tjetër i simuluar laboratorik për krahasim, i cili, për dallim nga dy operatorët, nuk ka ndërprerje e as vazhdime në linjën transmetuese, me ç'rastë kam vërtetuar hipotezat e parashtruara, me qka kam vërtetuar hipotezën e parë.

Për testimin e hipotezës së dytë kam bërë edhe disa krahasime mes rasteve të analizuara (shiko nënkaptullin 4.4), duke marrë për bazë matjet dhe krahasimet në linjën reale *backbone*

me fibra optike Prishtinë – Shkup, dhe në ato të simuluar në programin softuerik të simulatorit OptiSystem 13.0. Duke u bazuar në rezultatet e marra, vërehet se përdorimi i teknologjisë përforcuese EDFA në linjën *backbone* me fibra optike Prishtinë - Shkup është shumë i dobishëm në ngritjen e performancës në përforsimin e sinjalit në linjën transmetuese në rastin tim të studimit të argumentuara me grafikë, tabela e figura të cilat vërtetojnë pyetjet dhe hipotezat e parashtruara. Nga ku kam argumentuar se rasti ideal me linjat reale mund të jetë përafërsisht ekuivalentë vetëm nëse përdoret teknologjia përforcuese EDFA.

Rezultatet e studimeve të rasteve 1, 2 dhe 3 në linjën *backbone* me fibra optike Prishtinë – Shkup (shiko kapitullin IV), na tregojnë se faktorët që ndikojnë në performancën e transmetimit në një sistem me fibra optike janë të shumtë (shiko kapitullin II). Përpos kësaj, gjatë projektimit dhe implementimit të sistemit të transmetimit me fibra optike në linjën *backbone* Prishtinë - Shkup kam bërë llogaritje matematikore të faktorëve me rëndësi, siç janë gjatësia e fibrës, dispersioni, fuqia e sinjalit lazerik, fuqia e pompimit në përforcuesit EDFA, gjerësia e brezit, hapësira në mes frekuencave, e kështu me radhë, pasi çdo faktor që ndryshon mund të ndikojë direkt në performancën e transmetimit të sinjalit optik, e në rast se nuk korrespondojnë vlerat me njëra tjetrën, atëherë shkohet deri tek degradimi i sinjalit, e që i kam vërtetuar duke i paraqitura edhe me grafe dhe tabela përgjatë punimit tim, me qka kam vërtetuar hipotezën e dytë.

Për një pasqyrë më të qartë të faktorëve të përdorimit të teknologjisë në rritjen e performancës në linjën *backbone* me fibra optike Prishtinë - Shkup, dhe efektit të ndikimit të një përforcuesi në sistemin e transmetimeve me fibra optike, në çdo rast të studimit kam paraqitur informacione me tabela dhe figura të formës së syrit (eye pattern), po ashtu analizatorin e spektrit dhe të radiofrekuencave, si dhe shkallën e fuqisë hyrës e dalëse. Këto faktorë na japin

një pasqyrim të qartë vizual të formës së sinjalit, si dhe vlerat që i përfaqësojnë zhvillimet e sinjaleve, qoftë të atyre sinjaleve me kualitet të mirë apo të degraduar në linjën *backbone* me fibra optike Prishtinë - Shkup.

Një krahasim që kam bërë midis disa faktorëve kyç, në nënkapitullin 4, e ilustron më së miri dallimin mes sistemeve transmetuese me përforcues EDFA dhe pa përforcues EDFA. Në çdo figurë të ekspozuar duket se sinjalet optike në rastet e përdorimit të teknologjisë së përforcuesve EDFA kanë vlera dhe formë që i për afrohen rastit të simuluar laboratorik ideal, kanë bërë që linja të ketë humbje të BER-it, atenuimit dhe faktorëve tjerë të cekur në kapitullin I (nënkapitulli 1.8). Ndërsa në rastet kur nuk përdorim përforcues EDFA sinjali, nuk ka mundësi të transmetohet në vlerat e dhëna, dhe shpesh herë sinjali degradohet para se të arrijë cakun e kapacitetit të synuar prej 10 Gbps apo 40 Gbps, kapitulli IV.

Pra, roli dhe rëndësia e përdorimit të përforcuesve EDFA në sistemet transmetuese me fibra optike në distanca të gjata (në rastin tim të studimit në linjën *backbone* me fibra optike Prishtinë - Shkup) është kyç për sa i përket ngritjes së performancës të sistemeve transmetuese në rritjen e kapacitetit të transmetimit. Gjithashtu argumentë shtesë kam nxjerrë edhe koston efektive në rastin tim të studimit, nënkapitulli 5.2, nga llogaritë e analizuar del se kostoja financiare e investimit në teknologjinë përforcuese EDFA është më efektive se sa shtrirja e kabllave optike shtesë për të përballuar dhe rritë kapacitetin e komunikimit me fibra optike, me qka kam argumentuar dhe vërtetuar hipotezën e tretë.

Pra, me përdorimin e teknologjive të sistemeve multipleksuese WDM/DWDM dhe të përforcuesve EDFA arrijmë transmetime me kapacitete shumë të larta pa pasur nevojë të shtrojmë kablo optike shtesë, duke e ruajtur koston e ulët të sistemit të transmetimit edhe në linjën *backbone* me fibra optike Prishtinë – Shkup.

Bibliografia (Referencat)

Burime parësore

1. Andrew Oliviero & Bill Woodward “Cabling-The complete guide to Cooper and Fiber-Optic Networking” , 5th edition, Indianapolis 2014, USA
2. Agrawal, Manish (2010). Business Data Communications. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0470483369.
3. Bohren, C. F.; Huffmann, D. R. (2010). *Absorption and scattering of light by small particles*. New York: Wiley-Interscience. ISBN 3-527-40664-6.
4. Biswanath Mukherjee, (2006), Optical WDM Networks, Springer Science & BusinessMedia Inc.,New York, USA
5. Biswanath Mukherjee, (2006), Optical WDM Networks, Springer Science & BusinessMedia Inc.,New York, USA, ISBN 978-0387-29055-3.
6. Becker, Olsson, Simpson, “ Erbium-Doped Fiber Amplifiers-Fundamentals and Technology”, 1999 San Diego USA, ISBN 0-12-084590-3.
7. B.L. Anderson and R. L. Anderson, Fundamentals of Semiconductor Devices, McGraw-Hill, New York,2005
8. Chandrasekhar Roychoudhuri, Nick Massa, (2000), Fundamentals of Photonics: Fiber Optic Telecommunication, modul 1.8.
9. Cedric Lam, “Pasive Optical Network”,London,UK, 2007
10. C.V.Raman and K.S.Krishnan,“ A new type of secondary radiation, Nature 121:3048, 1928.
11. Dieter Eberlein und 4 Mitautoren, “Lichtwellenleiter-Technik”, 2006 Deutschland
12. David R. Goff, “Fiber Optic Reference Guide”, Focal Press, ISBN:0-240-80360-4, Woburn-USA, 1999
13. D. Gustedt/W. Wiesner, „Fiber optik Übertragungstechnik“, Franzis Verlag GmbH/Deutschland, 1998, ISBN 3-7723.5634-6
14. E. Desurvire, “Design optimization for efficient erbium-doped fiber amplifiers”, J. Lightwave Technol. LT-8, 1730 (1990)
15. F. Träger (ed.), Handbook of Lasers and Optics, Springer, Berlin (2007)
16. 'Fiber optic communication' , Shiva Kumar & M.Jamal Deen, 2014
17. Fedor Mitschke, (2009), Fiber Optics: Physics and Technology, Springer Heidelberg Dordrecht
18. Gerd Keiser, „ Optical Fiber Communication”, 2011- New York/USA, ISBN 978-0-07-338071-1.
19. G.P.Agrawal, Fiber optic Communication Systems, 2/e, John Wiley & Sohns, 1997
20. G. P. Agrawal, Fiber-Optic Communications Systems, Fourth Edition, 2010, Wiley, Hoboken, NJ, ISBN 978-0-470-50511-3, USA
21. G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, John Wiley & Sons, New York (2002);

22. Herbert Venghaus, Norbert Grote, „Fiber Optic Communication“, 20012 Berlin Germany, ISSN 1556-1534-(fq 70)
23. Herbert Venghaus, Norbert Grote, „Fiber Optic Communication“, 20012 Berlin Germany, ISSN 1556-1534
24. Horak, Ray (2007). Telecommunications and Data Communications Handbook. Wiley-Interscience. (fq. 476). ISBN 978-0-470-04141-3.
25. Ivan P. Kaminow, Tingye Li, Alan E. Willner, (2008), **Optical Fiber Telecommunication V B: Systems and Networks**, Elsevier Inc., UK & USA,
26. Ioannis P. Chochliouros, George A. Heliotis,(2010) , Optical Access Networks and Advanced Photonics: Technologies and Deployment Strategies, IGI Global,Hershey, USA
27. Ivan P. Kaminow, Tingye Li, Alan E. Willner, (2008), Optical Fiber Telecommunication V B: Systems and Networks, Elsevier Inc., UK & USA, ISBN: 978-0-12-374172-1.
28. J.Stone C.A. Burrus, A Dentai, and B.I. Miller, Application Physic.Lett.29, USA, 1976
29. John V. Racca, (2007), **Optical Networking Best Practices Handbook**, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN-13: 978-0-471-46052-7, ISBN-10: 0-471-46052-4
30. L. A. Coldren and S. W. Corzine, *Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits*, John Wiley & Sons, New York (1995)
31. Martin Maier, (2008), Optical Switching Networks, Cambridge University Press, NY, USA,
ISBN: 978-0-511-38801-9 (ebook).
32. M. Nakazawa, Y. Kimura, and K. Suzuki, Appl. Physic.Lett.54, 1989
33. M.J. Connelly, Semiconductor Optical Amplifiers, Springer,New York,2002
34. Mohammed N. Islam, „Raman Amplifiers for Telecommunication“, 2004, New York USA. ISBN 0-387-00751-2.
35. Martin Maier, (2008), Optical Switching Networks, Cambridge University Press, NY, USA,
ISBN: 978-0-511-38801-9 (ebook).
36. N. Zheludev, “The life and times of the LED – a 100-year history”, Nature Photon. 1 (4), 189 (2007)
37. Nexhat Orana. „Bazat e Elektronikës 1“, 1994 Prishtinë/Kosovë
38. N. A. Olsson, “Lightwave systems with optical amplifiers”, J. Lightwave Technol. LT-7, 1071 (1989)
39. P.C. Becker, Olson, & Simpson, “Erbium-Doped Fiber Amplifiers, London UK, 1999
40. R. Paschotta, tutorial on "Passive Fiber Optics", Part 3: Single-mode Fibers
41. R. Paschotta, tutorial on "Passive Fiber Optics", Part 4: Multimode Fibers
42. R. E. Slusher, “Laser technology”, Rev. Mod. Phys. 71, S471 (1999)
43. R. Olshansky „Propagation in glass optical waveguides“, Rev.Mod.Phys., vol 51,pp. 341-367, Apr. 1979
44. R. E. Slusher, “Laser technology”, Rev. Mod. Phys. Fq.471 (1999)

45. Ref. Nick Massa Springfield Technical Community College Springfield, Massachusetts
46. R. H. Stolen and A. Ashkin, "Optical Kerr effect in glass waveguide", Appl. Phys. Lett. 22, 294 (1973)
47. R. Paschotta, tutorial on "Fiber Amplifiers", part 2 on gain and pump absorption
48. Stefan Wabnitz & Benjamin J. Eggleton "All-Optical Signal Processing" ISBN 978-3-319-14991-2, Sydney Australia, 2015
49. Siva Ram Murthy C.; Guruswamy M.,(2002), WDM Optical Networks, Concepts, Design, and Algorithms, Prentice Hall India, ISBN-81-203-2129-4
50. Siva Ram Murthy C.; Guruswamy M.,(2002), WDM Optical Networks, Concepts, Design, and Algorithms, Prentice Hall India, ISBN-81-203-2129-4
51. Stamatios V. Kartalopoulos, (2008), Next Generation Intelligent Optical Networks: From Access to Backbone, Springer Science & BusinessMedia LLC, New York, USA, ISBN: 978-0-387-71755-5
52. Wolfgang Scheel, "Optische Aufbau-und Verbindungstechnik in der Elektronischen Baugruppenfertigung" Templin/Uckermark, Germany 2002, ISBN 3-934142-12-5
53. W. W. Chow and S. W. Koch, *Semiconductor-Laser Fundamentals*, Springer, Berlin (1999)

Papers

1. *After Glow". Illinois Alumni Magazine. May–June 2007.*
2. A. Yariv and P. Yeh, *Photonics: Optical Electronics in Modern Communications*, Oxford University Press USA, New York, 2006
3. Besim Limani & Arben Sylejmani, Analysis of signal loss in optical backbone links Montreux, Switzerland, December 29-31, 2012, ISBN:978-1-61804-146-3
4. Besim Limani, *Transmission system technology WDM in 10 Gbps & 40 Gbps in backbone line Pristina-Skopje*, 35th International Conference on Organizational Science Development, March 16th – 18th 2016, Portorož, Slovenia
5. By Mike Gilmore, Technical Director At their meeting in Los Cabos, Mexico of ISO/IEC JTC1 SC25 WG3 (23 rd -27 th March 2009, Paper
6. Christopher C. Davis, Igor I. Smolyaninov & Stuart D. Milner, (2003), Flexible Optical Wireless Links and Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 3, 51–57.
7. *"Electrical Engineering Glossary Definition for ADM".*
8. Christopher C. Davis, Igor I. Smolyaninov & Stuart D. Milner, (2003), Flexible Optical Wireless Links and Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 3, 51–57.
9. Communication/National Optical Fiber Engineers Conference, March 2010, San Diego, CA
10. D. W. Hughes, "Laser diode pumped solid-state lasers", J. Phys. D: Appl. Phys. 25, 563 (1992)

11. G. D. Goodno *et al.*, "Low-phase-noise, single-frequency, single-mode 608 W thulium fiber amplifier", *Opt. Lett.* 34 (8), 1204 (2009)
12. E. Kioupakis *et al.*, "Indirect Auger recombination as a cause of efficiency droop in nitride light-emitting diodes", *Appl. Phys. Lett.* 98 (16), 161107 (2011)
13. K. B. Wolf, "Geometry and dynamics in refracting systems", *European Journal of Physics* 16, p. 14-20, 1995.
14. Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Mastang and Kasmiran Jumari, (2012), The Influences of Connectors and Adaptors to Fiber-To-The-Home Network Performance, *American Journal of Applied Sciences* 9 (2), No. 186-195
15. M. L. Dakss and W. J. Miniscalco, "Fundamental limits on Nd³⁺-doped fiber amplifier performance at 1.3 μm ", *IEEE Photon. Technol. Lett.* 2, 650 (1990)
16. Optical Fiber Communications: Principles and Practice, 3/E John Senior, University of Hertfordshire ISBN-10: 013032681X • ISBN-13: 9780130326812 ©2009 • Prentice Hall • Paper, 1128 pp Published 03 Dec 2008 • Instock
17. R. J. Mears, L. Reekie, I. M. Jauncie and D. N. Payne, "High-gain rare-earth doped fiber amplifier at 1.54 μm ", in *Optical Fiber Communication Conference*, vol.3, 1987 OSA Technical Digest Series, (Optical Society of America, Washington, DC, 1987, (fq 167)
18. R. Paschotta *et al.*, "Ytterbium-doped fiber amplifiers", *IEEE J. Quantum Electron.* 33 (7), 1049 (1997)
19. "Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Graphical Overview". Cisco. San Jose, California: Cisco India Systems. 1 October 2006. Retrieved 14 November 2010. & "OC 768 Internet Connection". GCG. Global Communications Group. 2009. Retrieved 14 November 2010.
20. T. Whitely, "A review of recent system demonstrations incorporating 1.3- μm praseodymium-doped fluoride fiber amplifiers", *IEEE J. Lightwave Technol.* 13 (5), 744 (1995)
21. T. Rasmussen *et al.*, "Optimum design of Nd-doped fiber optical amplifiers", *IEEE Photon. Technol. Lett.* 4, 49 (1992)
22. Volkmar Brückner, „Elemente Optischer Netze“, 2011 Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Germany, ISBN 978-3-8348-1034-2
23. Winzer, P.J., "Optical Networking Beyond WDM," *IEEE Photonics Journal*, Vol. 4, No. 2, April 2012, pp. 647-651
24. W. A. Gambling, "The rise and rise of optical fibers", *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* 6 (6), 1084 (2000).
25. Zhou, X., et al., "64-Tb/s (640×107-Gb/s) PDM-36QAM transmission over 320km using both pre- and post-transmission digital equalization," 2010 Conference on Optical Fiber

Literaturë shtesë

1. Ardian Shehu, "Bazat e telekomunikacionit", 1997 Tirane-Albania
2. "An overview of optical fibre technology", Zulfiqar Ali Imran, Pakistan
3. Christoph Engel: *Kabelfernsehen*. Nomos, Baden-Baden 1996, ISBN 3-7890-44326.
4. George Sarton, *Introduction to the History of Science*, Vol. 1, p. 710.

5. H. Salih, M. Al-Amri, M. El Gomati (2005). "The Miracle of Light", A World of Science 3 (3). UNESCO.
6. Internet: Paschotta, Rüdiger. "Tutorial on Fiber Amplifiers". *Tutorial on Fiber Amplifiers*. RP Photonics. Retrieved 10 October 2013.
7. ITU-T G.694.1, "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid" ITU-T website
8. ITU-T G.694.2, "WDM applications: CWDM wavelength grid" ITU-T website
9. J. V. Moloney *et al.*, "Quantum design of semiconductor active materials: laser and amplifier applications", *Laser & Photon. Rev.* 1 (1), 24 (2007)
10. "Komunikimet me fibra optike", Rozeta Mitrushi, Tiranë 2001
11. Kapitulli XI: - (B. Mukherjee, Optical Communication Networks, McGraw-Hill, New York, 1997.)
12. Mimoza Durrësi, Material universitar, UET, Arkitekturat e reja të Internetit të orientuara drejt biznesit. (Dr. Mimoza Durrësi, 2014)
13. R. Rashed, "A pioneer in anaclasses: Ibn Sahl on burning mirrors and lenses", p. 464–491, 1990
14. Sabra, A. I.; Hogendijk, J. P. *The Enterprise of Science in Islam: New Perspectives*. MIT Press. pp. 85–118. ISBN 0262194821
15. R. S. Elliott (1966). *Electromagnetics*, Chapter 1. McGraw-Hill
16. "SONET/SDH Technical Summary". TechFest. TechFest.com. 2002. Retrieved 13 November 2010.
17. Telecom Slovenia Group, Joze Zaren, (2012) The Balkan DWDM Training Course, Prishtina, RKS
18. <http://www.noa.al/artikull/realizohet-lidhja-e-dyte-me-fibra-optike-mes-shqiperise-dhe-kosoves/383286.html#sthash.jcWOdqXr.dpuf>.
19. ARKEP
20. PTK
21. IPKO
22. Agjencioni i Statistikave të Kosovës
23. (www.mzhe-ks.net/npmnp/repository/docs/)
24. <http://www.worldbank.org/sq/news/press-release/2015/02/25/world-bank-supports-kosovo-in-extending-internet-in-rural-areas>
25. (www.kryeministri-ks.net/repository/docs/Politikat_e_Sektorit_te_Komunikimeve_Elektronike-Axhenda_Dixhitale_perKosoven_2013-2020).

Hulumtimet në internet

1. http://www.kabelwissen.blog.frank-arnold.de/wp-content/uploads/sites/5/2012/08/koaxialkabel_web_0011.jpg (Parë me 09.09.2015)
2. www.chinaopticcable.com (Parë për herë të fundit me 10.12.2013)
3. www.nortel.com (Parë për herë të fundit me 10.12.2014)
4. <http://www.thefoa.org> (Parë për herë të fundit me 18.12.2015)
5. www.networkhost.blogspot.com (Parë për herë të fundit me 28.08.2015)
6. <http://www.aurora-optics.com/technologies.html#other>
www.ntcdistributing.com (Parë për herë të fundit me 01.02.2015)

7. ITU.com (Parë për herë të fundit me 10.07.2014)
8. www.olson-technology.com (Parë për herë të fundit me 15.09.2014)
9. <http://www.itu.int/> (Parë për herë të fundit me 14.01.2016)
10. www.pcmag.com/ (Parë për herë të fundit me 20.06.2015)
11. www.geo.mtu.edu (Parë për herë të fundit me 19.11.2015)
12. microscopy.fsu.edu (Parë për herë të fundit me 07.5.2015)
13. www.nortel.com (Parë për herë të fundit me 06.1.2016)
14. <http://www.infinera.com/> (Parë për herë të fundit me 28.11.2015)
15. www.telecomengineering.com (Parë për herë të fundit me 18.11.2014)
16. (<http://ftp.utcluj.ro>) (Parë për herë të fundit me 07.12.2015)
17. www.ciena.com/ (Parë për herë të fundit me 18.09.2015)
18. https://www.rp-photonics.com/lamp_pumped_lasers.html (Parë për herë të fundit me 08.09.2015)
19. www.cisco.com (Parë për herë të fundit me 10.11.2015)
20. <http://www.fundinguniverse.com> (Parë për herë të fundit me 03.11.2015)
21. <http://sunlight.sunesys.com> (Parë për herë të fundit me 11.12.2015)
22. http://www.infinera.com/centurylink_infinera-delivering_1-5_tbs_of_super-channel_dwdm/ (Parë për herë të fundit me 08.09.2014)
23. micro.magnet.fsu.edu (Parë për herë të fundit me 08.09.2015)
24. www. microscopy.fsu.edu (Parë për herë të fundit me 10.12.2015)
25. www.rp-photonics.com) (Parë për herë të fundit me 11.10.2015)
26. http://www.asia.ru/images/target/photo/51674343/GYFTY_Optical_Fiber_Cabl e.jpg (Parë për herë të fundit me 28.12.2013)

Figura 1. Kablli optikë (http://1.bp.blogspot.com/-R7sGkKU_9LM/TbGHkUoAt6I/AAAAAAAAAbQ/ns2myEs8Hk8/s1600/optical_fiber.JPG)

Fig.2. Rrezet e dritës në një fibër optikë.

<https://ddp13fiberoptics.files.wordpress.com/2008/10/acceptang.gif?w=433&h=315>

Fig.3. fibrat multimode dhe singlemode -<http://www.prosoundweb.com/images/uploads/fiberopticsgraphic1.jpg>

Fig.5. Kablli me fijet e telave të përdredhura .

<https://rahedy.wordpress.com/2010/05/29/kabel-twisted-pair/>

Fig.8. www.thefoa.com &

<http://networkengineering.stackexchange.com/questions/20143/determine-core-size-of-fiber-run>

Figura 9. Fija Optikë me mbështjellës të qelqit (http://www.olson-technology.com/mr_fiber/images/fiber-with-cladding.gif)

Figura 10. Diametri i fibrave optikë multi mode dhe single mode
http://www.ira.inaf.it/centrocal/tecnica/FIBRE/fiber_files/fiber%2520diag2.jpg

Figura 7. Brezi total i frekuencave (<http://electronics.howstuffworks.com/radio-spectrum.htm>)

Fig. 22. Dioda laser . http://pe2bz.philpem.me.uk/Lights/-%20Laser/Info-902-LaserCourse/c04-06/mod04_06.htm

Fig.25. Fotodioda pin.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/APD3_German.png/250px-APD3_German.png

Figura 27. Fotodioda ortek (<http://www.ni.com/cms/images/devzone/ph/268d7a87964.gif>)

Figura 30. Shtrirja e spektrit të gjatësisë valore të dritës LED , FP laser dhe DFB laser (<http://osd.com.au/wp-content/uploads/2013/04/LED-Spectrum.png>)

Figura 31. Spektri i rrezatimit elektromagnetik (https://cipolla2481.files.wordpress.com/2012/03/electromagnetic-radiation-spectrum_en2.gif)

Figura 32. Spektri i dukshëm (vizual) i dritës që shihet nga syri (http://94fordham.wikispaces.com/file/view/em_spectrum.jpg/244287321/em_spectrum.jpg)

Figura 33. Kompensimi i dispersionit (http://www.thorlabs.com/images/TabImages/1.55_Zero-Dispersion_780.jpg)

Figura 37. Disperioni i impulseve (<http://www.newport.com/Fiber-Optic-Basics/978863/1033/content.aspx>)

Fig. 42. Kompensimi DCF (http://www.globalspec.com/RefArticleImages/157D4FA155A471EB0023715782A949C2_04_04_DWDM-23.jpg)

Figura 43. Paraqitja e skemës së sinjalit të përforcuar në një linjë të DCF-së (http://www.ktword.co.kr/img_data/1741.gif)

Figura 45. Polarizimi, krahasimi i fibrës optike (http://www.posterus.sk/wp-content/uploads/p6830_05_obr5.png)

Figura 46. Polarizimi i dritës (<http://www.chemgapedia.de/vsengine/topics/de/Physik/Optik/index.html>)

Figura 49. Humbjet e sinjalit optikë (<http://www.tpub.com/neets/tm/106-13.htm>)

Figura 50. Paraqitja e Skateringu nga luhatjet e densitetit në materialin e fibrave optike (<http://www.tpub.com/neets/tm/106-14.htm>)

Figura 51. Paraqitja e faktorëve të scateringut në një fibër optike (<http://www.fiber-optic-tutorial.com/understanding-loss-in-fiber-optic.html>)

Figura 52. Atenuimi i fibrave optike në funksion të gjatësive valore (http://www.invocom.et.put.poznan.pl/~invocom/C/P1-9/swiatlowody_en/p1-1_2_2.htm)

Figura 53. Paraqitja e mikrobendeve dhe makrobendeve (<http://www.fiber-optic-tutorial.com/understanding-loss-in-fiber-optic.html>)

Figura 54. Mikroskopik banding (http://electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_1/Unit_1.8.pdf)

Figura 55. Banding losses - Makroskopik bending (http://electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_1/Unit_1.8.pdf)

Figura 56. Dëmtimet e fibrave optike nga ndikimet e jashtme (<http://www.tpub.com/neets/tm/106-14.htm>)

Figura 57. Grafiku i treguesit të nivelit të thyerjes së rrezeve të dritës në bërthamë dhe mbështjellës të bërthamës (<http://fiberopticsprofessionals.blogspot.co.at/2014/05/introduction-to-fiber-optics.html>)

Figura 59. Hapja numerike (<http://www.newport.com/Fiber-Optic-Basics/978863/1033/content.aspx>)

Figura 60. Skema e absorbimit (http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r7_0/dwdm/planning/guide/70epg/d7ovw.html)

Figura 55. Banding losses - Makroskopik bending (http://electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_1/Unit_1.8.pdf)

Figura 56. Dëmtimet e fibrave optike nga ndikimet e jashtme (<http://www.tpub.com/neets/tm/106-14.htm>)

Figura 57. Grafiku i treguesit të nivelit të thyerjes së rrezeve të dritës në bërthamë dhe mbështjellës të bërthamës (<http://fiberopticsprofessionals.blogspot.co.at/2014/05/introduction-to-fiber-optics.html>)

Figura 59. Hapja numerike (<http://www.newport.com/Fiber-Optic-Basics/978863/1033/content.aspx>)

Figura 60. Skema e absorbimit (http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r7_0/dwdm/planning/guide/70epg/d7ovw.html)

Figura 70. Një krahasim në mes DWDM dhe CWDM (<http://www.fs.com/cwdm-vs-dwdm-aid-63.html>)

Figura 70. Një krahasim në mes DWDM dhe CWDM (<http://www.fs.com/cwdm-vs-dwdm-aid-63.html>)

Figura 71. Teknologjia e sistemit DWDM ([www.
http://mytechcollecs.blogspot.co.at/2012/04/dwdm-and-more.html](http://mytechcollecs.blogspot.co.at/2012/04/dwdm-and-more.html))

Figura 73. Sistem i transmetimit DWDM me katër kanale dhe një përforcues EDFA (http://www.olson-technology.com/mr_fiber/FO_Communications.htm)

Figura 75. Transmetimi point-to-point dhe ring i N kanaleve DWDM/CWDM (<http://www.netvisiontel.co.kr/korea/linkmux.php>)

Figura 80. Multiplekseri OADM duke përdorë një FBG dhe dy cirkulatorë (<http://optiwave.com/forums/topic/roadm-in-dwdm-network/>)

Figura 81. Paraqitja e një multiplekseri OADM dhe roli i reflektorit FBG në ndarjen e spektrit të sinjalit. (<http://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1898>)

Figura 65. Paraqitja e skemës funksionuese të një WDM-i (<https://precisionopticaltransceivers.wordpress.com/tag/dwdm-cwdm-wdm-fiber-optics-networks-telecommunications/>)

Figura 82. Skema e një sistemi me përdorimin e multiplekserëve OADM. (<http://fernxu.over-blog.com/2015/08/two-types-of-wdm-connectivity-cwdm-and-dwdm.html>)

Figura 78. Skema e sinjalit të përforcuar në një medium aktiv (<http://www.lce.hut.fi/publications/annual2003/fig36.gif>)

Figura 79. Përforcuesi SOA me fibër tapered (<http://www.fiber-optics.info/images/soa.gif>)

Figura 83. Diagrami skematik i një përforcuesi me fibër të dopuar (<http://www.alfaphonet.gr/en/articles/img/7/fiber-network-products.jpg>)

Figura 85. Skema e një transmetuesi me fibra optikë me WDM; filtër, izolator optikë dhe përforcues EDFA (<http://www.cables-solutions.com/wp-content/uploads/2014/10/EDFA-Amplifer.jpg>)

Figura 86. Diagrami me tri nivele energjie (<http://www.cables-solutions.com/wp-content/uploads/2015/09/2.png>)

SHTOJCA

Kabloja koaksiale

Kabloja koaksiale i takon mediumit transmetues me tela, i cili përbëhet nga dy fije përçuese, që janë, bërthama dhe mbështjellësi metalik, dhe operon në frekuenca të larta.

Kabloja koaksiale nga bakri u realizua si sistem i komunikimit në vitin 1940, dhe operonte në 300 MHz e mund të mbartte 300 kanale telefonike, ose një kanal televiziv. Në vitin 1975 u zhvillua sistemi i avancuar koaksial, me një bit rate 274 Mbit/s, por për transmetime në distanca të gjata duhej të përdoreshin përsëritës (përforcues) për çdo kilometër (Christoph Engel: *Kabelfernsehen*. Nomos, Baden-Baden 1996).

Si përçuese qendrore, kabloja koaksiale përbëhet në mes nga një fije teli e fortë, që zakonisht është prej bakri. Kjo fije teli është e mbështjellur dhe e izoluar me një shtresë dialektrike, që nga ana e saj është e mbështjellur me një rrjetë të hollë metalike, dhe, në fund, shtresa metalike është e mbështjellur me një shtresë plastike, që shërben si mburojë nga dëmtimet dhe lagështia.

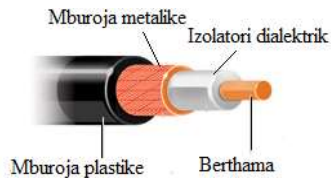


Figura 172. Kabloja koaksiale (<http://www.kabelwissen.blog.frank-arnold.de>)

Kabllo koaksiale janë efikase dhe të qëndrueshme ndaj interferencave dhe zhurmave, por problem dhe dobësi kanë dobësimin e sinjaleve, zhurmat termike dhe intermodulare, ndërsa për transmetime në distancë nevojitet të kenë përforcues të shpeshtë të sinjalit. Kabllo koaksiale gjejnë zbatim tek aparatet televizive, tek sistemet telefonike, si dhe tek rrjetat lokale. Kabloja koaksiale televizive mund të mbartë deri në 100 kanale, si dhe deri 10.000 kanale të zërit (Christoph Engel: *Kabelfernsehen*. Nomos, Baden-Baden 1996).

Pasi kabllot koaksiale kanë probleme me dobësimin e sinjaleve në transmetimin në distanca të mëdha, është e nevojshme që për sinjalet analoge të përdoren përforcuesit në çdo 4.5 kilometra (në disa raste, në çdo 2-3 km) në brezin frekuencor 500 MHz (Andrew Oliviero & Bill Woodward “Cabling-The complete guide to Cooper and Fiber-Optic Networking” , 5th edition, Indianapolis 2014, USA (fq.215-234), kurse për transmetimin e sinjaleve digjitale kërkohen të përdoren përsëritës (repetitor) për çdo kilometër.

Kabllot me çifte të gërshetuara (*Twisted pair*)

Edhe kabllot me çifte të gërshetuara i takojnë mediumit transmetues me tela, dhe përdoren shpesh në distanca të shkurtra, pasi janë shumë të lira. Ato kanë një trashësi që varion nga 0.4 mm deri 0.9 mm, dhe arsyeja e gërshetimit dhe çiftëzimit është evitimi i interferencave në mes të fijeve të përdredhura (Andrew Oliviero & Bill Woodward “Cabling-The complete guide to Cooper and Fiber-Optic Networking” , 5th edition, Indianapolis 2014, USA (fq.9-14).



Figura 173. Kablloja me fijet e telave të përdredhura (<https://rahedy.wordpress.com>)

Por problemi kryesor qëndron në zhurmat dhe interferencat që paraqiten si rezultat i kryqëzimeve të kanaleve telefonike, që njihet si *crosstalk interference*. Si mbrojtje nga këto defekte që i përmenda më sipër, përdoren mbështjellës me rrjetë metalike, si dhe mbështjellës plastikë (shih figurën e mëposhtme).

Këto lloje kabllorsh përdoren në distanca të shkurta në sistemet telefonike dhe në rrjetat lokale, dhe ofrojnë shpejtësi deri në 1 Gbps.

1. Varësisht nga aplikacioni dhe nga numri i dredhave për metër, për të cilin përdoren kabllot me çiftet e gërshetuara, ato ndahen në disa kategori, siç janë (Andrew Oliviero & Bill Woodward , 2014, : f.9-14):
 - Të mbrojtura/me mbështjellje (*Shielded Twisted Pair-STP*)
 - Të pambrojtura/pa mbështjellje (*Unshielded Twisted Pair-UTP*)

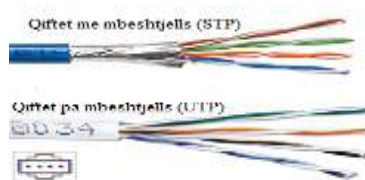


Figura 174. Kabllot me çiftet të gërshetuara (<http://renoxtremez.blogspot.co.at>)

Mediumet pa tela (*unguided*)

Mediumet pa tela janë medime të hapura (në ajër apo në ujë), ku sinjalet janë të shpërndara në të gjitha drejtimet në formën e valëve elektromagnetike. Por, për transmetime me frekuenca të ulëta, sinjalet janë shumëdrejtimëshe (*omni-directional*), ndërsa sinjalet me frekuenca të larta janë më të fokusuara në drejtime apo zona të caktuara.

Për transmetime në mediumet pa tela (ndryshe njihen edhe si transmetime *wireless*) janë të nevojshme antena transmetuese dhe marrëse.

Bazuar në brezin e frekuencave, ekzistojnë tre kategori të medimeve transmetuese të hapura (*wireless*), e ato janë (Agrawal, Manish (2010 : f. 37-54)):

- Radiofrekuencat
- Frekuencat mikrovalore
- Frekuencat infrared

Radiofrekuencat - shtrihen në brezin nga 30 MHz deri 1GHz, që janë transmetime në frekuencë të ulët; sinjalet, pra, janë shumëdrejtimëshe.

Frekuencat mikrovalore – shtrihen në brezin nga 1 GHz deri 40 GHz, dhe kryesisht përdoren për transmetime pikë në pikë, për lidhjen e dy ose më shumë pikave transmetuese-marrëse (satelit – tokë).

Frekuencat infrared - shtrihen në brezin nga 300 GHz deri 200 THz, dhe kanë gjatësi valore rreth 750 nm - 1 mm (transmetuesi dhe marrësi duhet të jenë në vijë të hapur, pa pengesa në mes, pasi frekuenca infrared nuk depërton në pengesa).

Në figurën më poshtë kam paraqitur spektrin e brezit të frekuencave.

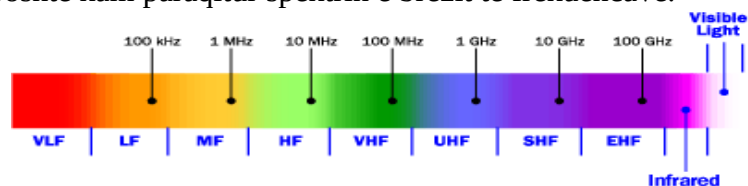


Figura 175. Brezi total i frekuencave (<http://electronics.howstuffworks.com>)

Sfida kryesore me të cilën ballafaqohen transmetimet radio janë interferencat, apo multi – pathi, që shfaqen si rezultat i reflektimeve nga toka, uji, e nga objektet e tjera në mes të antenave, e që shkaktojnë dobësim dhe humbje të sinjalit të transmetuar.

Antenat

Antena është një pajisje për transmetimin dhe pranimin e sinjaleve radio, e funksionon në atë mënyrë që energjia elektrike e transmetuesit kthehet (konvertohet) në energji elektromagnetike dhe pastaj shpërndahet në ambientin përreth, ndërsa gjatë pranimin të sinjalit në marrës ndodh procesi i kundërt, pra, energjia elektromagnetike e pranuar nga ambienti konvertohet në energji elektrike. Zakonisht këto funksione (transmetimin dhe pranimin e sinjaleve) i kryen e njëjta antenë.

Ekzistojnë dy lloje kryesore të antenave, dhe ato janë (Agrawal, Manish (2010 : f. 37-54):

- Antena shumëdrejtimëshe (*omni-directional*, ose antena isotropike)
- Antena njëdrejtimëshe (*directional*; p.sh., antenat satelitore dhe ato për rrjeta mobile)

Llogaritjet e rendimentit të gjatësisë valore

Shuarjet në gjatësitë valore të dritës janë një fenomen që ndodhë në praktikë, prandaj është me rëndësi të dimë se si behet matja dhe llogaritja e vlerave të shuarjeve të gjatësive valore në transmetimin e sinjaleve. Këto vlera të matjes kanë edhe njësitë e veta matëse. Në këtë rast të matjes kemi të bëjmë me humbjet apo përforcimin e sinjalit dhe si njësi matëse do kemi të bëjmë me decibel (dB). Por decibeli është vetëm njësi që bënë krahasimin e intensitetit apo fortësisë - volumit (loudness) në mes të dy sinjaleve dhe nuk është njësi për matje absolute.

Decibel paraqet krahasimin e herësit në mes të dy vlerave elektrike si volt, amper apo wat dhe që kjo pastaj na mundëson krahasimin e dy vlerave hyrje dhe dalje të një paisje. Varesisht nga ky raport i krahasimit të herësi në mes të këtyre niveleve, kemi mundësi pastaj të shohim nëse kemi dobësim (humbje) apo përforcim (fitim) të sinjalit. Nëse kemi nivele më të lartë të fituar në dalje se sa në hyrje themi se kemi fituar përforcim të sinjalit dhe nëse në dalje kemi nivel të fitimit më të vogël se ai i hyrjes, pra themi se sinjali ka pësuar humbje.

Në fushën e telekomunikacionit njësia e decibelit (dB) përdoret për të paraqitur vlerën numerike të humbjeve apo fitimeve në sistemin e rrjetave telekomunikuese.

$$\text{dB} = 10 \log P_2/P_1 \text{ (dB)},$$

ku P_2 është fuqia e sinjalit në dalje.

Formula për decibel mund të shprehet edhe në funksion të tensionit, apo energjisë si në vijim.

$$\text{dB} = 10 \log (P_1/P_2) = 10 \log (U_1 I_1 / U_2 I_2) = 10 \log (R_1 I_1^2 / R_2 I_2^2)$$

Tani do marrë një shembull për të analizua dukurinë e vlerësimit në decibel. Duke u nisur nga fakti se gjatësia valore e dritës bie apo dobësohet në formë eksponenciale në krahasim me distancën e rrugës nëpër të cilën kalon kemi (Dieter Eberlein und 4 Mitautoren, 2006 : f. 9-10):

$$P(L) = P_0 e^{-a(L)} \dots 1$$

Ku **a** ka të bëjë me shuarjen dhe **L** me distancën apo largësinë e gjatësi valore te dritës. Pra për shuarjen **a** të shprehur në dB kemi:

$$a/\text{dB} = 10 \lg P_0 / P(L) \text{ nga del qe } P(L) = P_0 10^{a(L)/10\text{dB}} \dots \dots \dots 1.1$$

duke bërë krahasimin në mes 1 dhe 1.1 marrim

$$a/\text{dB} = 10 \lg e^a = 10 \lg e^a \dots \dots 1.2$$

Nëse koeficienti i shuarjes α do të ishte konstant atëherë do të kishim $\alpha = a/L$.

Duke u bazua në definicionet e mësipërme do të bëjë disa krahasime në mes vlerave lineare dhe atij në dB:

P.sh.:

$$-30\text{dB} = 1000$$

$$-20\text{dB} = 100$$

$$-10 \text{ dB} = 10$$

$$0 \text{ dB} = 1$$

$$10 \text{ dB} = 0,1$$

$$20 \text{ dB} = 0,01$$

$$30 \text{ dB} = 0,001$$

Nga kjo që paraqita më lartë duket qartë se vlerat negative në dB (-dB) paraqesin përforcimin e sinjalit , ndërsa vlerat pozitive paraqesin dobësimin apo shuarjen e sinjalit.

Një paraqitje ndihmëse në këtë drejtim do të ishte një shembull me vlerat e dhëna: $10 \lg 2 = 3,0103$, kjo na len për të kuptuar se $P_0/P(L)$ një rënie e gjysmës së sinjalit (1/2) i përgjigjet

3 dB. Nëse vazhdojmë të përgjysmojmë përsëri sinjalin do të kishim që për 6 dB do marrim vlerën lineare 0.25 e kështu me radhë.

Nga ajo që e cekta më lartë do të kishim:

$$2 \text{ dB} = 0,625$$

$$3 \text{ dB} = 0,5$$

$$6 \text{ dB} = 0,25$$

$$9 \text{ dB} = 0,125$$

$$12 \text{ dB} = 0,0625$$

Dhe anasjelltas, nëse kem të bëjmë me rritje të gjysmës së sinjalit, pra kur fuqia dalëse, apo ne dalje të një pajisje është dy herë më e madhe se ajo ne hyrje, themi se kemi përforcim të sinjalit prej 3 dB.

Nëse fuqia dalëse, apo në dalje të një pajisje do të ishte katër herë më e madhe se sa ajo në hyrje, themi se kemi përforcim të sinjalit prej 6 dB.

Nëse fuqia dalëse, apo në dalje të një pajisje do të ishte tetë herë më e madhe se ajo në hyrje, themi se kemi përforcim të sinjalit prej 9 dB.

Krahasimi dBm dhe dBW

Njëjte sikurse edhe decibel (dB) me lartë, dBm paraqet poashtu një vlerë decibel e cila është e lidhur me vlerën e 1mW.

$$\text{dBm} = 10\log (P_1/1\text{mW})$$

Ndërsa edhe dBW paraqet një vlerë në decibel por në këtë rastë është i lidhur me vlerën e një (1) Wati si në shembujt e mëposhtëm:

$$\text{dBW} = 10\log (P_1/1\text{W})$$

Ndërsa për vlera nga 1mW do të kemi:

$$1\text{mW}=10^0 \text{ mW}= 0 \text{ dBm}$$

$$10\text{mW}=10^1 \text{ mW}= 10 \text{ dBm}$$

$$100\text{mW}=10^2 \text{ mW}= 20 \text{ dBm}$$

$$1000\text{mW}=10^3 \text{ mW}= 30 \text{ dBm}=0 \text{ dBW}$$

$$10\text{W}=10^4 \text{ mW}= 40 \text{ dBm}=10\text{dBW}$$

Ndërsa për vlera më të vogla se 1mW do të kemi:

$$0.1\text{mW}=10^{-1} \text{ mW}= -10 \text{ dBm}$$

$$0.01\text{mW}=10^{-2} \text{ mW}= -20 \text{ dBm}$$

$$0.001\text{mW}=10^{-3} \text{ mW}= -30 \text{ dBm}$$

$$0.0001\text{mW}=10^{-4} \text{ mW}= -40 \text{ dBm}$$

Pra, paraqitja logaritmike e sinjalit bëhet ne decibel (dB) në mënyrë që të kemi një vlerë më reale të rendimentit të sinjalit dhe që të shmangemi nga një paraqitje me shumë zero apo % dhe e cila do të bazohet në vlerën 1mW ((Dieter Eberlein und 4 Mitautoren, 2006 : f. 9-10).

$$P/\text{dBm} = 10\lg P/1\text{mW} \quad \dots \quad 1.3$$

Duke u bazu në definicionin e mësipërm do të kemi nivelin e fuqisë optikë dhe

ekuivalentimin në disa vlera nga dBm në mW (Gert Keiser “Optical Fiber Communication”,

New York 2011 (fq. 10-11) si më poshtë:

$$23 \text{ dBm} = 200 \text{ mW}$$

$$20 \text{ dBm} = 100 \text{ mW}$$

$$10\text{dBm} = 10 \text{ mW}$$

$$0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$$

$$-10\text{dBm} = 100 \mu\text{W}$$

$$-20 \text{ dBm} = 10 \mu\text{W}$$

$$-30 \text{ dBm} = 1\mu\text{W}$$

$$-40 \text{ dBm} = 100 \text{ nW}$$

$$-50 \text{ dBm} = 10 \text{ nW}$$

$$-60 \text{ dBm} = 1\text{nW}$$

$$-70 \text{ dBm} = 100 \text{ pW}$$

Pra të gjitha vlerat më të mëdha se 1mW në dBm kanë vlera pozitive , ndërsa të gjitha vlerat më të vogla se 1mW kanë vlera negative.

Kerr efekti

Efekti i kerr-it është efektë jolinear dhe paraqitet në rastet kur kemi përhapje të intensitetit

të dritës në xhamë dhe kristale por edhe në mediumet e gazit. Pra është efekt dhe shkakton polarizimin jolinear dhe ndikon në mënyrën e përhapjes së dritës në një medium të caktuar (R. H. Stolen and A. Ashkin, "Optical Kerr effect in glass waveguide", Appl. Phys. Lett. 22, 294 (1973)), çka bënë që edhe indeksi i thyerjes të një rreze të dritës ndikohet nga ky efekt.

Gain

Gain-i ka të bëjë me matjen e fuqisë së një përforcuesi optikë. Mirëpo ka edhe kuptime të tjera varësisht se në cilën fushë përdoret.

Me rëndësi është që në përgjithësi me **gain** kuptojmë një faktorë të përforcimit i cili ndodhet si raport i fuqisë dalës me atë hyrëse në raste të ndryshme (R. Paschotta, tutorial on "Fiber Amplifiers", part 2 on gain and pump absorption).

Veçanërisht për gain (përforcime) të vogla, gain specifikohet në përqindje (%). P.sh. 3% i korrespondon një faktori të përforcimit prej 1.03.

Për gain të madhë, kemi të bëjmë me paraqitjen në decibel (dB). P.sh. Faktorin e përforcimit për 10 herë të logaritmit (me bazë 10). P.sh. një përforcues i fibrës mund të ketë një gain të një sinjali të vogël prej 40 dB, i cili i korrespondon një faktori amplifikues $10^4 = 10\,000$. (R. Paschotta, tutorial on "Fiber Amplifiers", part 2 on gain and pump absorption)

Gjithashtu shpesh herë specifikohet gaini (fitimi) për njësi të gjatësisë, apo logaritmi natyral i faktorit të përforcimit për njësi të gjatësisë, apo decibel për njësi të gjatësisë.

Duke e parë nga madhësia e sajë, veti të rëndësishme të gain-i janë gjerësia e brezit spektral dhe karakteristikat e saturimit të tijë.

ASE

ASE (amplified spontaneous emission) - është një proces ku rrezatimi (luminisencia) e emituar është amplifikuar spontanisht.

Për një laser dhe veçanërisht për amplifikuesit me gain të lartë, përforcimi i emetimeve spontane ASE-ja është efekt shumë i padëshirueshëm . ASE – ja tenton të limitojë arritjen e gain-it të vlerave përforcuesve të fibrave prej 40-50 dB.

Problemet e tilla mundë të shmangen duke e optimizuar (përshtatur) modelin e laserit duke marrë në konsideratë gjatësinë e fibrës, nivelin e dopimit dhe nga ku ASE në gjatësitë valore të padëshiruara mundë të shtypet nga disa modele të fibrave (p.sh. Fibrat fotonike kristalore) të cilat i ekspozohen humbjeve të larta jashtë regjionit të dëshiruar spektral.

Topologjitë e rrjetit optik

Tani do t'i sqaroj shkurt topologjitë e rrjetit optik (Cabling, Andrew Oliviero & Bill Woodward, by John Wiley&Sohns, Indianapolis, USA, 2014 (fq.103-130).

Një lidhje direkte point-to-point bën lidhjen mes një burimi të dritës apo transmetuesi me një fotodetektor apo marrës. Mirëpo në këto sisteme transmetimi patjetër që do të ketë edhe pajisje të tjera përcjellëse të sistemit të transmetimit. Karakteristika kryesore të topologjive janë se ato mund të dizajnohen që ta mbështesin njëra-tjetrën në sistemet e transmetimit, dhe konsistojnë në performancë sa më të mire të sistemit, por dallohen edhe për kah kompleksiteti dhe kostoja varësisht nga specifikat e tyre.

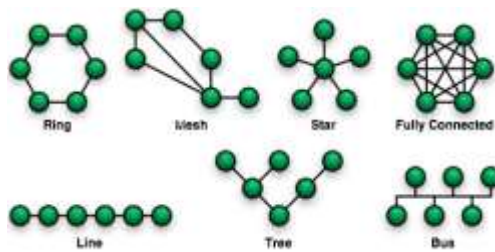


Figura 176. Topologjia e rrjetit (<http://www.interfacebus.com/Glossary-of-Terms-Network-Topologies.html>)

Topologjia linjë point-to-point



– Është lidhja tradicionale më e thjeshtë e përdorur, që lidh dy lokacione me distancë të ndryshme gjeografike, pra, lidh edhe kontinentet (përdoret edhe për linja transoqeanike); në këtë rast kërkohet edhe përdorimi i përforcuesve. Në distanca të shkurtra ajo lidh zyra apo objekte fqinje, dhe nuk ka nevojë për përdorimin e përforcuesve optik.

Topologjia ring (unazë)



– Në këtë topologji secila nyje apo fund është i lidhur tek dy nyje të tjera fizike duke përdorur shtigje kabllorsh të ndryshme, që formojnë një unazë. Është e përshtatshme për sistemin e rrjetave lokale dhe metropolitane; mund të jetë e thjeshtë, duke përdorur vetëm një fije optike apo edhe komplekse, duke përdorur më shumë se një fije, p.sh., 4 fije optike (path protection), që transporton më shumë kanale për të mbuluar një qytet të madh apo një zonë të madhe të qytetit (ndryshe njihet si: large Metro). Në fakt, Protokollet SONET/SDH të rrjetit optik janë dizajnuar duke u bazuar në topologjinë ring.

Topologjia tree (e pemës)



– Mbështet kombinimin e lidhjes së topologjisë linjë dhe yll. Në këtë skemë kemi të bëjmë

me një hub (ndërtesë) kryesor, nga ku akordohet numri i kanaleve apo i lidhjeve me secilin lokacion të lidhur të sistemit të transmetimit. Kjo linjë ndryshe njihet edhe si point-to-multipoint.

Topologjia star (yll)



– Përdoret zakonisht në aplikimet *fiber to the premises* (FTTP). Në këtë rast kemi të bëjmë me një demultiplekser WDM, ku shumë gjatësi valore të transmetuara nëpër një fibër barten dhe pastaj shpërndahen në shumë fibra të tjera, ku secila gjatësi valore kalon në një fije të caktuar optike për transmetim. Është e njëjtë apo ngjason me atë kur përdorim një ndarës të gjatësive valore (power split) tek fibrat *single-mode*, që i ndan gjatësitë valore nga një fibër e vetme në fibra të ndryshme; edhe kjo i ngjason topologjisë yll.

Topologjia mesh (rrjetë)



Është ndër topologjitë më gjithëpërfshirëse, e përshtatshme për evoluim shtesë të sistemit, dhe topologji e cila ofron shumë alternativa për bartjen, balancimin dhe zgjerimin e trafikut. Ofron mundësinë e shtimit apo të largimit të nyjeve në rrjetë (network scalability). Por është edhe më komplekse, pasi kërkon protokolle të zgjeruara dhe menaxhim të trafikut e rrjetit, si dhe standarde të ndërfaqes. Dhe natyrisht përmban shumë pajisje të ndryshme të sistemit të transmetimit.

Rrjetat zhvillohen dhe sipas nevojës e kërkesës; ato arrijnë në nivele që vazhdimisht duhen zhvilluar e përmirësuar, duke u bazuar në zhvillimin dhe zgjerimin e trafikut të komunikimit në sistemin e transmetimeve (Material universitar, UET, Arkitekturat e reja të Internetit të orientuara drejt biznesit. Dr. Mimoza Durrësi).

Programi: Krijimi i tavelave

Tabela Projekti

GO

```
CREATE TABLE [dbo].[Projekti](
    [ID_Projekti] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NULL,
    [Emri] [nvarchar](50) NULL,
    [Data] [date] NULL,
    [Lokacioni] [nvarchar](50) NULL,
    CONSTRAINT [PK_Projekti] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_Projekti] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO
```

Tabela Skema

GO

```
CREATE TABLE [dbo].[Skema](
    [ID_Skema] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Projekti] [int] NULL,
    [Emri] [nvarchar](50) NULL,
    [Data] [date] NULL,
    CONSTRAINT [PK_Skema] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_Skema] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO
```

Tabela Transmetuesi

GO

```
CREATE TABLE [dbo].[Transmetuesi](
    [ID_TX] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [No_out_ports] [nvarchar](50) NULL,
```

```

[Frequency] [nvarchar](50) NULL,
[Frequency_Spacing] [nvarchar](50) NULL,
[Power] [nvarchar](50) NULL,
[Extinction_Ratio] [nvarchar](50) NULL,
[Linewidth] [nvarchar](50) NULL,
[Bit_Rate] [nvarchar](max) NULL,
[Modulation_Type] [nvarchar](50) NULL,
[ID_Skema] [int] NULL,
CONSTRAINT [PK_Transmetuesi] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_TX] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

GO

Tabela Kanali Optik

GO

```

CREATE TABLE [dbo].[Kanali_Optik](
    [ID_Kanali] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NULL,
    [Numri] [nvarchar](50) NULL,
    [Gjatesia_Valore] [nvarchar](50) NULL,
    [Brezi] [nvarchar](50) NULL,
    [Teknologjia] [nvarchar](50) NULL,
CONSTRAINT [PK_Kanali_Optik] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_Kanali] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

GO

Tabela Multiplexer

GO

```

CREATE TABLE [dbo].[Multiplexer](
    [ID_Mux_Plex] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NULL,
    [Frequency] [nchar](10) NULL,

```

```

[Freq_Spacing] [nchar](10) NULL,
[Bandwidth] [nchar](10) NULL,
[Insertion_Loss] [nchar](10) NULL,
[Depth] [nchar](10) NULL,
[Filter_Type] [nchar](10) NULL,
CONSTRAINT [PK_Multiplexer] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_Mux_Plex] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

GO

Tabela Kablloja

GO

```

CREATE TABLE [dbo].[Fiber](
    [ID_Fibri] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NULL,
    [Type] [nvarchar](50) NULL,
    [Ref_wavelength] [nvarchar](50) NULL,
    [Length_km] [real](50) NULL,
    [Attenuation] [nvarchar](50) NULL,
    [Dispercion] [nvarchar](50) NULL,
    [Splice_A_loos] [real] NULL,
    [Splice_B_loos] [real] NULL,

CONSTRAINT [PK_Fiber] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_Fibri] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

GO

Tabela DCF

GO

```

CREATE TABLE [dbo].[DCF](
    [ID_DCF] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NOT NULL,
    [Type] [nvarchar](50) NULL,

```

```

        [Ref_wavelength] [nvarchar](50) NULL,
        [Length] [nvarchar](50) NULL,
        [Attenuation] [nvarchar](50) NULL,
        [Dispersion] [nvarchar](50) NULL,
        [Splice_A_loos] [nvarchar](50) NULL,
        [Splice_B_loos] [nvarchar](50) NULL,
CONSTRAINT [PK_DCF] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_DCF] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO

```

Tabela Amplifier

```

GO
CREATE TABLE [dbo].[Amplifier](
    [ID_Amplifier] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NULL,
    [Type] [nvarchar](50) NULL,
    [Er_ion_density] [nvarchar](50) NULL,
    [Loss_at_1550] [nvarchar](50) NULL,
    [Loos_at_980] [nvarchar](50) NULL,
    [Length] [nvarchar](50) NULL,
    [Forward_pump_power] [nvarchar](50) NULL,
    [Backward_pump_power] [nvarchar](50) NULL,
    [Forward_pump_wavelength] [nvarchar](50) NULL,
    [Backward_pump_wavelength] [nvarchar](50) NULL,
CONSTRAINT [PK_Amplifier] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID_Amplifier] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO

```

Tabela Demultiplexer

```

GO
CREATE TABLE [dbo].[DeMultiplexer](
    [ID_DeMux_Plex] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [ID_Skema] [int] NULL,

```

```

        [Frequency] [nchar](10) NULL,
        [Freq_Spacing] [nchar](10) NULL,
        [Bandwidth] [nchar](10) NULL,
        [Insertion_Loss] [nchar](10) NULL,
        [Depth] [nchar](10) NULL,
        [Filter_Type] [nchar](10) NULL,
CONSTRAINT [PK_DeMultiplexer] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
        [ID_DeMux_Plex] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

GO

Tabela Receiver

```

GO
CREATE TABLE [dbo].[Receiver](
        [ID_RX] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
        [ID_Skema] [int] NULL,
        [Photodiode] [nvarchar](10) NULL,
        [Gain] [nchar](10) NULL,
        [Insertion_Loss] [nvarchar](50) NULL,
        [Depth] [nvarchar](50) NULL,
        [Reference_bit_rate] [nvarchar](50) NULL,
CONSTRAINT [PK_Receiver] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
        [ID_RX] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

GO

Tabela BER_Analyzer

```

GO
CREATE TABLE [dbo].[BER_Analyzer](
        [ID_BER] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
        [ID_Skema] [int] NULL,
        [Wavelength] [nvarchar](50) NULL,
        [Max_Q_Factor] [nvarchar](50) NULL,
        [Min_BER] [nvarchar](50) NULL,
        [Eye_Height] [nvarchar](50) NULL,

```

```

        [Threshold] [nvarchar](50) NULL,
        [Decision_Inst] [nvarchar](50) NULL,
CONSTRAINT [PK_BER_Analyzer] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
        [ID_BER] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF,
IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS
= ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Projekti] ON
INSERT [dbo].[Projekti] ([ID_Projekti], [ID_Skema], [Emri], [Data], [Lokacioni])
VALUES (1, 2, N'Prishtine-Shkup', CAST(0xA83A0B00 AS Date), N'Republika e
Kosoves')
INSERT [dbo].[Projekti] ([ID_Projekti], [ID_Skema], [Emri], [Data], [Lokacioni])
VALUES (2, 6, N'Prishtine-Shkup', CAST(0xB13A0B00 AS Date), N'Republika e
Kosoves')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Projekti] OFF
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Skema] ON
INSERT [dbo].[Skema] ([ID_Skema], [Emri], [Data], [ID_Projekti], [Gjatesia e Projektit])
VALUES (2, N'Case Study 3', CAST(0xA83A0B00 AS Date), 1, 109)
INSERT [dbo].[Skema] ([ID_Skema], [Emri], [Data], [ID_Projekti], [Gjatesia e Projektit])
VALUES (6, N'Case Study 2', CAST(0xB13A0B00 AS Date), 2, 113)
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Skema] OFF

GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Transmetuesi] ON
INSERT [dbo].[Transmetuesi] ([ID_TX], [No_out_ports], [Frequency],
[Frequency_Spacing], [Power], [Extinction_Ratio], [Linewidth], [Bit_Rate],
[Modulation_Type], [ID_Skema]) VALUES (1, N'40', N'1565 nm', N' 100 GHz', N'7 dB',
N'30 dB', N'0.1 MHz', N'40e+009 bit/s', N'NRZ', 2)
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Transmetuesi] OFF

GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Multiplexer] ON
INSERT [dbo].[Multiplexer] ([ID_Mux_Plex], [ID_Skema], [Frequency], [Freq_Spacing],
[Bandwidth], [Insertion_Loss], [Depth], [Filter_Type]) VALUES (1, 2, N'1565 nm ',
N'100 GHz ', N'100 GHz ', N'0.25 dB ', N'100 dB ', N'Bessel ')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Multiplexer] OFF
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Kanali_Optik] ON

```



```

INSERT [dbo].[Kanali_Optik] ([ID_Kanali], [ID_Skema], [Numri], [Gjatesia_Valore],
[Brezi], [Teknologjia]) VALUES (1, 2, N'11', N'1556.87 nm', N'C', N'WDM')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Kanali_Optik] OFF
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Fiber] ON

```

Programi: Futja e të dhënave në databazë

```

INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (1, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 5.39529, N'0.2073 ', N'16.85 ps/nm/km', 0.225, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (2, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 5.52801, N'0.2073', N'16.85 ps/nm/km', 0.284, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (3, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 4.28765, N'0.2073 ', N'16.85 ps/nm/km', 0.123, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (4, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 17.70697, N'0.2073 ', N'16.85 ps/nm/km', 0.093, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (5, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 9.98921, N'0.2073', N'16.85 ps/nm/km', 0.207, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (6, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 26.85906, N'0.2073 ', N'16.85 ps/nm/km', 0.524, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (7, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 17.99282, N'0.2073 ', N'16.85 ps/nm/km', 0.178, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (8, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', 21.51482, N'0.2073 ', N'16.85 ps/nm/km', 0, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (9, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 2.4399, N'0.182', N'16.85 ps/nm/km', 0.071, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (10, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 4.4918, N'0.234', N'16.85 ps/nm/km', 0.06, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (11, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 5.8853, N'0.187', N'16.85 ps/nm/km', 0.152, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (12, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 4.3438, N'0.185', N'16.85 ps/nm/km', 0.084, 0)

```

```

INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (13, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 2.0009, N'0.184', N'16.85 ps/nm/km', 0.153, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (14, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 2.4246, N'0.191', N'16.85 ps/nm/km', 0.291, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (15, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 3.8282, N'0.183', N'16.85 ps/nm/km', 0.103, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (16, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 4.1958, N'0.183', N'16.85 ps/nm/km', 0.068, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (17, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 7.3962, N'0.183', N'16.85 ps/nm/km', 0.132, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (18, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 0.9647, N'0.186', N'16.85 ps/nm/km', 0.167, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (19, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 1.47, N'0.201', N'16.85 ps/nm/km', 1.169, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (20, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 7.4472, N'0.187', N'16.85 ps/nm/km', 0.201, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (21, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 2.3021, N'0.185', N'16.85 ps/nm/km', 0.086, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (22, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 3.1085, N'0.240', N'16.85 ps/nm/km', 0.571, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (23, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 1.5007, N'0.197', N'16.85 ps/nm/km', 0.193, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (24, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 0.7503, N'0.178', N'16.85 ps/nm/km', 0.091, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (25, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 2.9758, N'0.186', N'16.85 ps/nm/km', 0.078, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (26, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 4.2162, N'0.180', N'16.85 ps/nm/km', 0.227, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (27, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 12.4392, N'0.185', N'16.85 ps/nm/km', 0.369, 0)

```

```

INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (28, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 8.1465, N'0.197', N'16.85 ps/nm/km', 0.256, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (29, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 27.1805, N'0.196', N'16.85 ps/nm/km', 1.784, 0)
INSERT [dbo].[Fiber] ([ID_Fibri], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length_km],
[Attenuation], [Dispercion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (30, 6, N'Single
Mode', N'1550 nm', 3.5118, N'0.100', N'16.85 ps/nm/km', 0, 0)
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Fiber] OFF
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[DeMultiplexer] ON
INSERT [dbo].[DeMultiplexer] ([ID_Mux_Plex], [ID_Skema], [Frequency],
[Freq_Spacing], [Bandwidth], [Insertion_Loss], [Depth], [Filter_Type]) VALUES (1, 2,
N'1565 nm ', N'100 GHz ', N'100 GHz ', N'0.25 dB ', N'100 dB ', N'Bessel ')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[DeMultiplexer] OFF
GO
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[DCF] ON
INSERT [dbo].[DCF] ([ID_DCF], [ID_Skema], [Type], [Ref_wavelength], [Length],
[Attenuation], [Dispersion], [Splice_A_loos], [Splice_B_loos]) VALUES (1, 2, N'Single
Mode', N'1550 nm', N'10 km', N'0.21 dB/km', N'-165 ps/nm/km', N'0', N'0')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[DCF] OFF
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[BER_Analyzer] ON
INSERT [dbo].[BER_Analyzer] ([ID_BER], [ID_Skema], [Wavelength], [Max_Q_Factor],
[Min_BER], [Eye_Height], [Threshold], [Decision_Inst]) VALUES (1, 2, N'1556.87 nm',
N'8.11', N'2.40e-016', N'0.00012', N'0.00012', N'0.47')
INSERT [dbo].[BER_Analyzer] ([ID_BER], [ID_Skema], [Wavelength], [Max_Q_Factor],
[Min_BER], [Eye_Height], [Threshold], [Decision_Inst]) VALUES (2, 6, N'1556.87 nm',
N'6.17', N'3.26e-010', N'0.00013', N'0.00014', N'0.48')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[BER_Analyzer] OFF
GO
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Amplifier] ON
INSERT [dbo].[Amplifier] ([ID_Amplifier], [ID_Skema], [Type], [Er_ion_density],
[Loss_at_1550], [Loos_at_980], [Length], [Forward_pump_power],
[Backward_pump_power], [Forward_pump_wavelength], [Backward_pump_wavelength])
VALUES (1, 2, N'EDFA Booster ', N'1e+024 m3', N'0.1 dB/m', N'0.15 dB/m', N'10 m', N'6
mW', N'150 mW', N'1550 nm', N'980 nm')
INSERT [dbo].[Amplifier] ([ID_Amplifier], [ID_Skema], [Type], [Er_ion_density],
[Loss_at_1550], [Loos_at_980], [Length], [Forward_pump_power],
[Backward_pump_power], [Forward_pump_wavelength], [Backward_pump_wavelength])
VALUES (2, 2, N'EDFA PreAmplifier', N'1e+024 m3', N'0.1 dB/m', N'0.15 dB/m', N'10
m', N'2 mW', N'150 mW', N'1550 nm', N'980 nm')
SET IDENTITY_INSERT [dbo].[Amplifier] OFF.

```