

**ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ “ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ”  
към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ**

## **ДИПЛОМНА РАБОТА**

**ТЕМА: ПРОЕКТИРАНЕ И АНАЛИЗИРАНЕ НА ОПТИЧНА МРЕЖА  
ПО ТЕХНОЛОГИЯ DWDM, МЕЖДУ ПЕТ ГРАДА В ШВЕЙЦАРИЯ**

Дипломант:  
*Калоян Тодоров*

Научен ръководител:  
*маг.инж. Мартин Липовски*

СОФИЯ  
2020

## УВОД

Телекомуникацията е една от най-бързо развиващите се предметни области през последните 20 години. Изградените комуникационни мрежи до деветдесетте години на миналото столетие претърпяха кардинални промени и развитие. Благодарение на това развитие се създаде възможност за високоскоростно предаване на големи обеми от данни на големи разстояния.

Развитието на техниката и свързаните с нея технологии е непрекъснат процес, дължащ се на науки като физика и химия. Комуникацията е важен елемент за човешкото съществуване. Нейната дигитализация постоянно се оптимизира. Със създаването на оптичната телекомуникация се постигат високи скорости за пренос на данни.

Оптичните влакна представяват преносна среда за светлинни лъчи. Тези лъчи са индивидуалните битове във фреймовете на мрежовата свързаност. Влакната предлагат шумоустойчивост и безпогрешен пренос на данни. Характеризират се с гъвкавост и лекота в сравнение с медните проводници. Влакната се групират по двойки за двупосочно предаване на сигнали.

Светлинните лъчи, използвани за пренос на данни могат да бъдат с различни дължини на вълните, стимулирани от оптични източници, които най-често представляват лазери. Загубата на сигнали е малка и преносът на информация може да става на големи разстояния. За това има възможност за скорост на сигнал от 100 Gbps при една дължина на вълната. Съвременните оптични влакна съдържат голям сбор от различни дължини на вълни, позволяващи скорости от над 100 Tbps.

В дипломната работа е проектирана и анализирана оптична мрежа по технология DWDM между пет града.

# **ПЪРВА ГЛАВА**

## **ОПТИЧНИ ЕФЕКТИ И ВИДОВЕ ОПТИЧНИ КАБЕЛИ**

Идеята за използване на стъклени влакна за пренос на оптични комуникационни сигнали била измислена от Александър Бел, но тя трябвало да изчака 80 години, докато не излезли нови открития в сферата и разработката на оптични влакна.

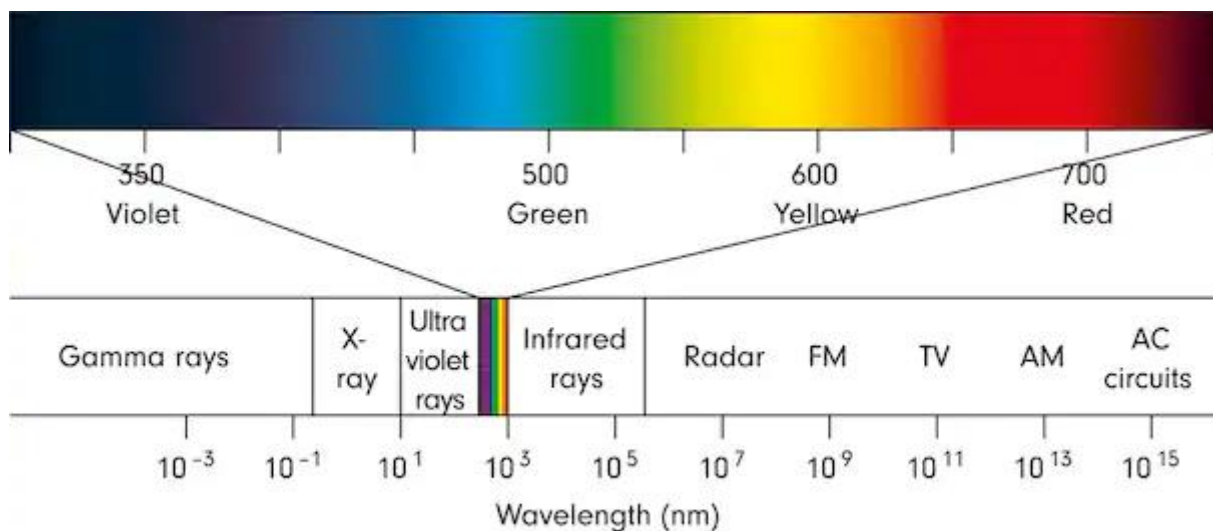
Разработката на влакна и устройства за оптична комуникация започнала през шестдесетте години на двадесети век и още продължава. Но през осемдесетте години имало голямо развитие. Тогава тази технология започнала да става доминантна. Някои от по-съществените открития са:

- Открит е лазер (LASER);
- Разработени оптични влакна с малко затихване разработени;
- Изобретяването на оптичен усилвател (ОА).

### **1.1. Дължина на вълна**

Светлината е част от електромагнитния спектър, който също включва Х-лъчи, ултравиолетова радиация, микровълни и други безжични сигнали. Всички те са електромагнитни радиации от различни дължини на вълните. Диапазонът от дължини на вълните от електромагнитни радиации се нарича спектър от дължини на вълните.

Светлината, която се възприема е тази, която е видима. Нашите очи са чувствителни към светлината, чиято дължина на вълната е между 400 nm (нанометра) и 700 nm (от виолетов цвят до червен цвят – фиг. 1.1).



Фиг. 1.1 Оптичен спектър

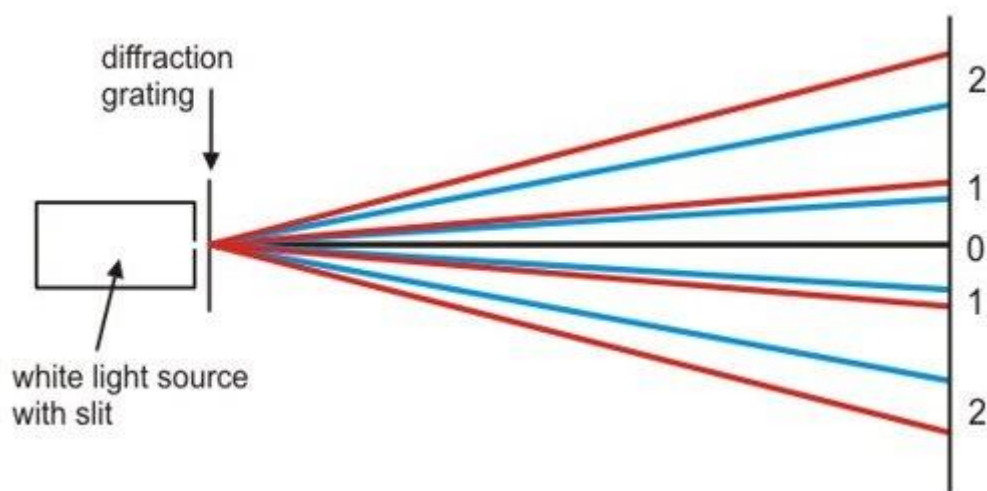
За оптична комуникация се използва светлина в инфрачервената зона, която има дължина на вълна по-голяма от визуалната светлина. Използват се главно дължини около 850 nm, 1300 nm и 1550 nm за пренос на данни. В този спектър затихването на вълните е много по-малко от затихването в другите спектри. Загубата от затихване се дължи на два фактора: усвояване и разсейване на светлината във влакното.

Разсейването се дължи на атоми или молекули, от които светлината отскача, като по-дългите вълни имат по-малко разсейване. Небето е синьо, защото светлината от слънцето е силно разсеяна в синята зона. Други важни параметри при оптиката са дисперсия, която се разделя на хроматична и поляризационна, и дифракция.

## 1.2. Дифракция

Дифракцията е оптично явление, което се наблюдава в среди с резки нехомогенности. Когато светлина премине през отвор, голям колкото дължина на вълната, светлинните лъчи се разпространяват встрани.

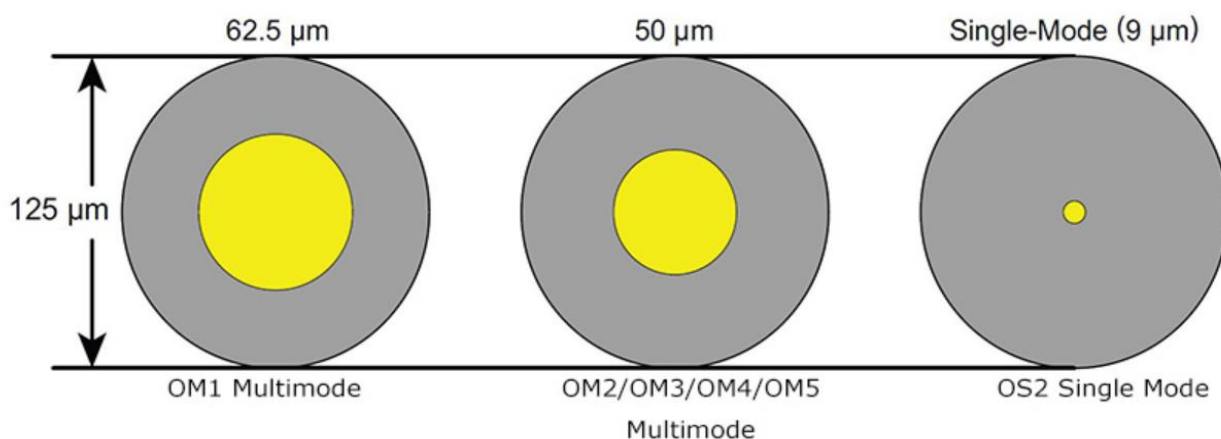
Дифракционната решетка представлява елемент, в който светлината се дифрактира в няколко лъча (фиг. 1.2). В DWDM мрежите се използват дифракционни решетки, за демултиплексиране.



Фиг. 1.2 Дифракционна решетка

### 1.3. Модове

Едномодовите влакна представляват влакна, които пропускат само един мод светлина. Те са с малък диаметър на ядрото от  $9\ \mu\text{m}$  (фиг. 1.3). Многомодовите влакна са с по-голям диаметър -  $50\ \mu\text{m}$ . Поради по-големия им диаметър, в тях се събират повече от един мод светлина. Всеки мод представлява отделен сигнал и с тях могат да се достигнат по-големи скорости. Но многомодовите сигнали не достигат толкова големи разстояния колкото едномодовите.



Фиг. 1.3 Разлика между едномодови и многомодови влакна.

## 1.4. Затихване

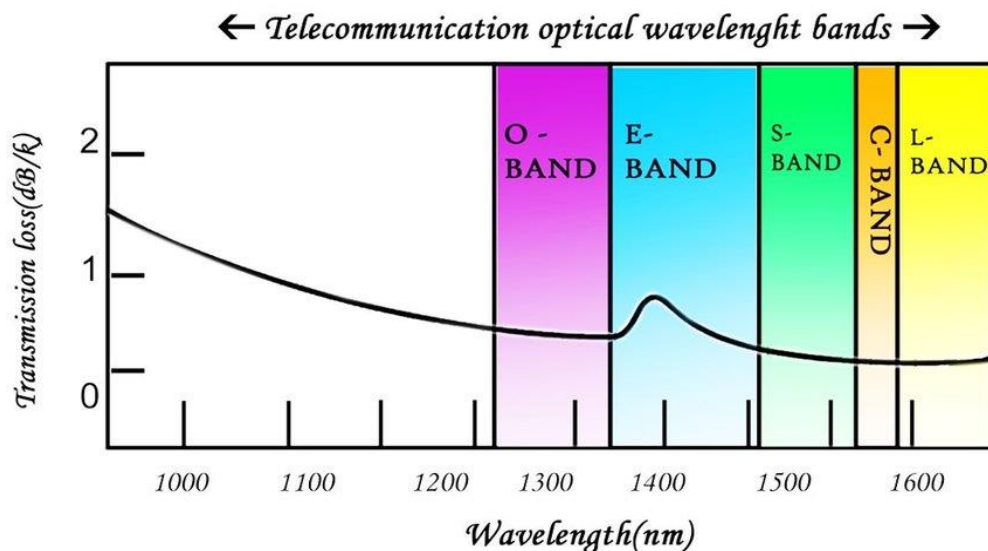
Затихване в оптичното влакно представлява количеството загубена светлина между излъчвателя и приемника. Общото затихване е сума от всички загуби.

Затихването се изразява в децибел на километър (dB/km). С формула 1.1

$$\alpha = -\frac{10}{z[\text{km}]} = \log \left( \frac{P(z)}{P(0)} \right) \quad \text{Формула 1.1}$$

изразяваме коефициент на затихване на влакното, където  $P(z)$  е оптичната сила на определен километър  $z$  от излъчвателя и  $P(0)$  е оптичната сила на излъчвателя.

За различни влакна, тези загуби са напълно зависими от дължината на вълната, което е показано на фиг. 1.4. Съществуват оптични диапазони, при които затихването е значително малко. Те се обозначават с буквите O, E, S, C и L. Големината на затихването зависи от материала, от който е произведено влакното. Типично влакно от силициев двуокис, което е най-използваното в днешно време, има минимално затихване около 1550 nm дължина на вълната - C и L диапазон. В DWDM мрежи се използват дължини на вълната в тези диапазони.



Фиг. 1.4 Затихване в различните дължини на вълни

### 1.4.1. Абсорбция

Абсорбцията е равномерна. При използването на три влакна от един и същ тип стъкло, всяко влакно – с един сантиметър дебелина, всичките влакна ще абсорбират една и съща част от светлината, която минава през тях.

Абсорбцията също така е кумулативна. Това означава, че има голямо значение общия размер на влакното. Ако абсорбцията е 1% на сантиметър, първо абсорбира 1% от светлината, след което 1% от останалата светлина в следващия сантиметър и т.н.

Вътрешно абсорбиране се получава от взаимодействието на светлината с компонентите, изграждащи стъклото. Такъв вид затихване може само да се преодолее със смяна на материала на влакното. Пример за това е абсорбцията на инфрачервеният спектър със силициев двуокис. Но в използваните спектри на дължини на вълните в оптичната телекомуникация, инфрачервената абсорбция допринася много малко.

Външно абсорбиране се причинява от присъствието на метални йони ( $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ) хидроксилен йон от водата, разтворена в стъклото. За да се избегне такова затихване трябва да се използва чисто влакно. Може да се направи стъклената примес с ниво на неперфектност под един номинал на милиард (ppb- *part per billion*). Хидроксилните йони  $OH$  имат достатъчно тесен спектър на абсорбиране, при който свръхчисти влакна достигат загуба на сигнала по-малък от 0.2 dB/km на 1.55  $\mu m$ .

Водородни ефекти - когато влакно от силициев двуокис е изложен на водороден газ, затихването се увеличава. Водородът може да взаимодейства със стъклото и да образува хидроксилни йони, като проникне във влакното и да направи загуби между 1.2  $\mu m$  и 1.6  $\mu m$ .

### 1.4.2. Разсейване

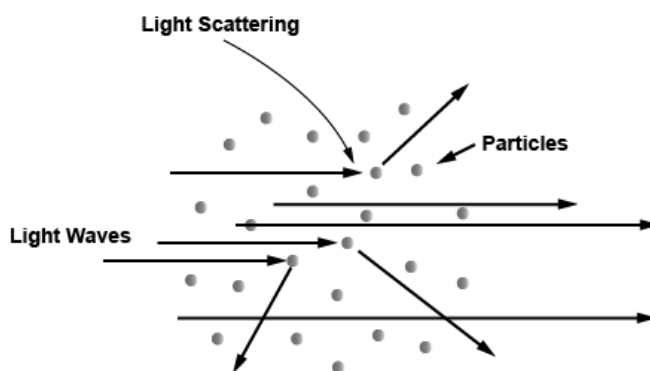
При линейно разсейване, количеството светлинна мощност, която е прехвърлена от вълна е пропорционална на силата на вълната.

Характеризира се без промяна в честотата на разсеяната вълна.

Нелинейно разсейване се характеризира с промяна на честотата от неразсеяната светлина. Причинено е от големи електрически полета във влакното. Светлината се разсейва във всички странични посоки.

Разсейване от тип Рейли е главният тип линейно разсейване. Причинява се от малки нехомогенности, които са изникнали в производственият процес на влакното. Примери за това са миниатюрни промени композицията и плътността на стъклото. 96% от затихването в оптичното влакно е по причина на Рейли разсейване.

Докато светлината пътува тя се сблъсква с молекулите на силициевия двуокис в ядрото. Тези сблъсъци са причината за Рейли разсейването. Ако след сблъсък светлината продължава да поддържа ъгъл на пътуване напред - няма загуба. Ако не поддържа такъв ъгъл - светлината се отклонява от ядрото и се получава затихване на сигнала. В такива сблъсъци, части от светлината продължават напред, други части рефлексират назад към източника на светлина, а трети излизат от самото ядро (фиг. 1.5). Това свойство се използва от Оптичен рефлектометър за времеви домейн (OTDR) за тестване на влакна.



Фиг. 1.5 Разсейване тип Рейли



Интензитетът на разсейаната радиация се изчислява с формула 1.2

$$I = I_0 \left( \frac{1 + \cos^2 \theta}{2R^2} \right) \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \left( \frac{d}{2} \right)^6 \quad \text{Формула 1.2}$$

където  $R$  е разстоянието между частицата и наблюдателя,  $\theta$  е ъгълът на разсейване,  $n$  е показателят на пречупване на частицата и  $d$  е диаметърът на частицата.

Размерът на частицата, която разсейва се характеризира от отношението на нейното измерение  $r$  и дължината на вълната  $\lambda$ . Изчислява се с формула 1.3

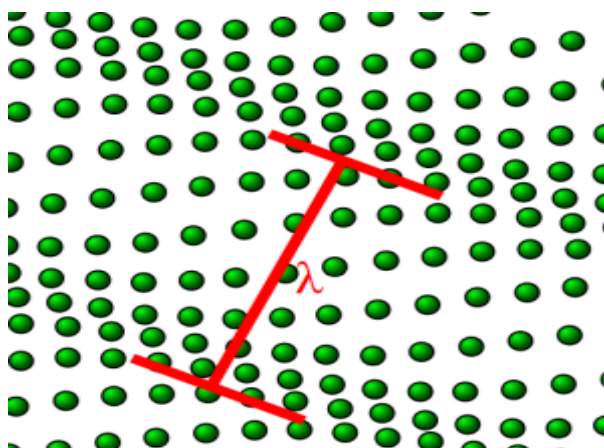
$$x = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad \text{Формула 1.3}$$

От горните уравнения може да се забележи, че Рейли разсейването силно зависи от размера на частицата и дължината на вълната. Интензитетът на радиацията се увеличава с увеличаването на съотношението на размерът на частицата към дължината на вълната. Интензитетът също така е еднакъв в права и в обратна посока. Когато размерът на частицата е по-голям от 10% от самата светлина се чупи модела на Рейли. С такива и по-големи частици се използва модела на Мий (Mie) за изчисляване на интензитета на разсеяната радиация.

Мий разсейване е кръстено на немският физик Густав Мий. Неговата теория описва разсейването на електромагнетична радиация от частици, които се приравняват по размер до светлината на вълната (или по-големи от нея). За стъклоно влакно, Мий разсейването е линейно и се получава от нехомогенност в показателя на пречупване на ядрото и кладинга, балони във влакното или неравномерности на диаметъра. Мий разсейването може да бъде намалено с внимателно премахване на несъвършенства от стъклото, внимателно

контролиране на чистота и качеството на производственият процес. Оптични влакна се произвеждат с много малко дефекти.

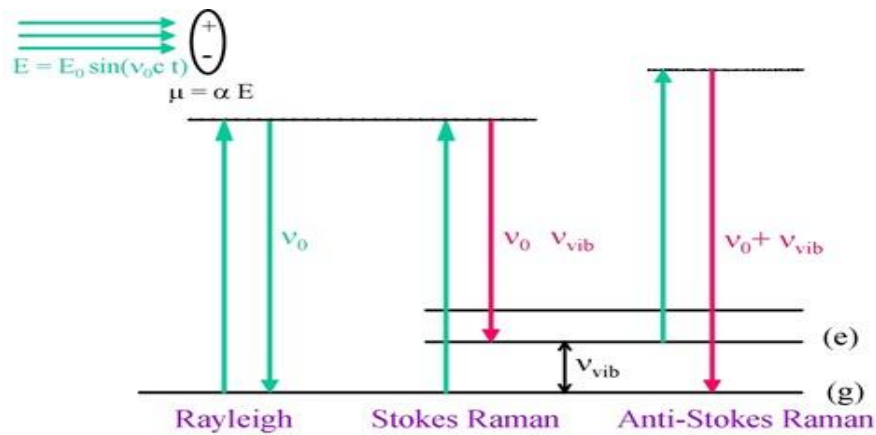
Брилюново разсейване е причинено от нелинейности по преносвателната среда. Случаен фотон може да бъде превърнат в разсеян фотон заради по-малката му енергия, обикновено тръгващ в обратна посока. В оптичните влакна, такъв тип разсейване се характеризира с модулация на светлината от топлинната енергия в материала (фиг. 1.6).



Фиг. 1.6 Брилюново разсейване

Стимулираното Раман разсейване е нелинейна реакция на стъклените влакна, причинена от интензитет на светлината. Причинява се от вибрации от кристалната (или стъклената) решетка. От разсейването произлизат оптични фотони с висока честота. Когато два лазерни лъча с различна честота на вълната се комбинират заедно през Раман активна среда, по-дългата вълна може да се усили за сметка на по-късата. Този феномен се използва при Раман усилвателите и Раман лазерите.

Стимулираното Раман разсейване се получава главно в права посока. За това мощността на сигнала не е загубена към получателя. Също така се изисква оптичната сила да не е под определен праг, за да се получи.



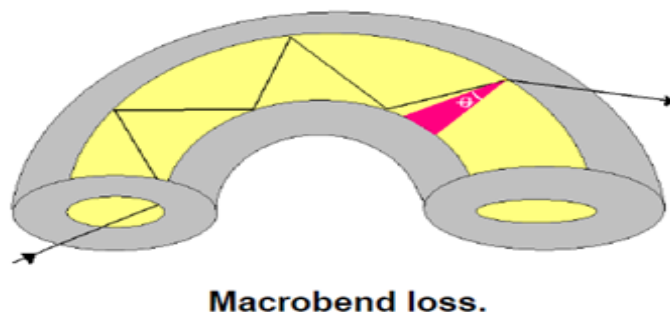
Фиг. 1.7 Раман разсейване

Във формулата за изчисляване на прага (1.4)

$$P_R = (23.6 \times 10^{-2}) a'^2 \lambda' \alpha \quad \text{Формула 1.4}$$

$P_R$  е стимулирано Раман разсейване оптично ниво на прага измерено в ватове (watts),  $a'$  е радиуса на влакното, измерено в  $\mu\text{m}$ ,  $\lambda'$  е дължината на вълната на източника, измерено в  $\mu\text{m}$ , и  $\alpha$  е затихване, измерено в (dB/km).

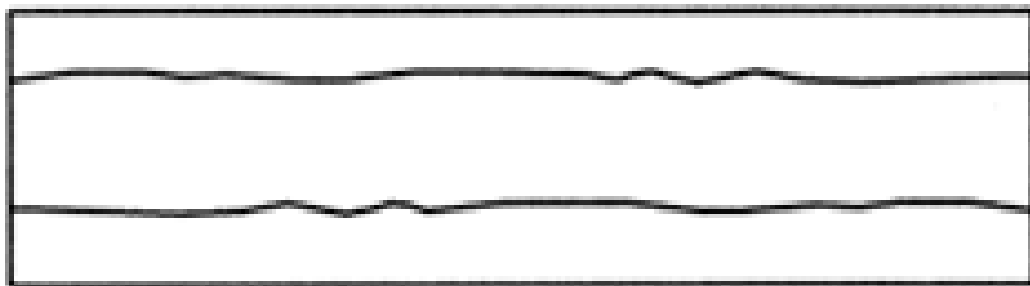
Затихване от макроогъване се получава когато влакното е изкривено в голям радиус за диаметъра на влакното. Такива огъвания се намират когато кабела е бил подвит. Макроогъването не оказва голяма загуба на енергия, ако има достатъчно голям радиус. Но когато е огънат с малък радиус, тогава радиацията оказва голяма загуба на мощност, както е показано на фиг. 1.6.



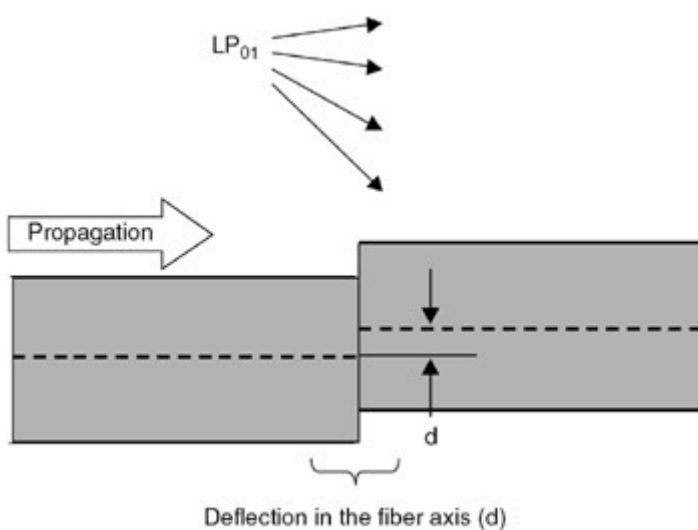
Фиг. 1.6 Макроогъване

Затихвания от тип микроогъване се получават от малки огъвания на повърхността на ядрото и клагинга (фиг. 1.7). Могат да се получат от разгъване на влакното или от механически стрес вложен върху влакното. Такъв стрес може да се получи от окабеляване на влакното или от обвиване на влакното на макара.

Микроогъването може и да се получи по време на производствения процес. Представяват остри, но микроскопични изкривявания и създават аксиално изместване от няколко микрона и пространствено изместване на дължината на вълната с няколко милиметра (фиг 1.8). Микроогъванията могат до причинят до 1-2 dB/km затихване.



Фиг. 1.7 Микроогъване



Фиг. 1.8 Производствен дефект

## 1.5 Дисперсия

Дисперсията представлява физично явление, при което скоростта на вълната зависи от нейната честота. Основните видове оптична дисперсия са хроматична дисперсия (CD) и модова дисперсия (PMD).

### Хроматична Дисперсия

Светлината във влакното се движи по-бавно отколкото във вакуум. Скоростта на светлината е детерминирана от рефракционният индекс на влакното.

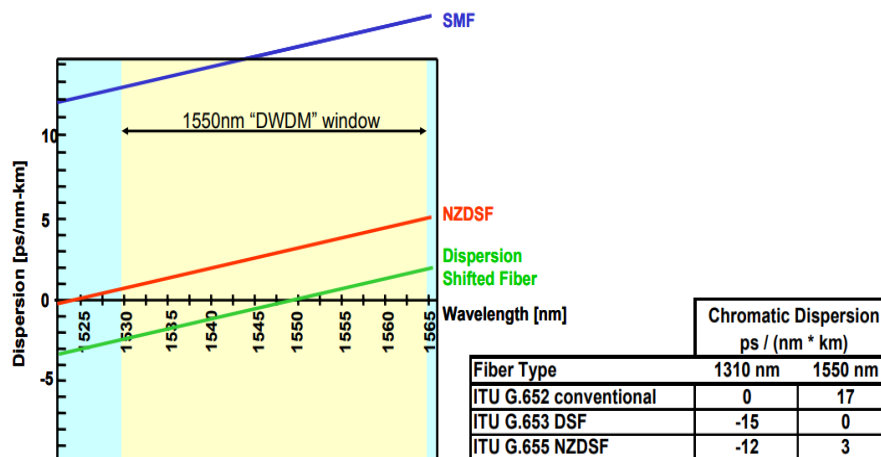
Лазерните източници на светлина не са монохроматични (макар и да са близо). Това означава, че светлината от тях има няколко компонента с различни дължини, пътуващи с различна скорост (фиг. 1.9). Хроматичната дисперсия се измерва в  $\text{ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ , което репрезентира диференциалното забавяне в ps, за светлина с спектрална ширина от 1 nm, която се движи в 1 km във влакното.

За да се намали дисперсията, нови типове влакна са измислени като изместващо дисперсията влакно (ITU G.653) и не-нулево изместващо дисперсията влакно (ITU G.655).

Най-често използваното влакно е ITU G.652, наричано “неизместващо дисперсията” едномодово влакно. То има малка хроматична дисперсия в оптичният прозорец около 1310nm, но има по-големи дисперсии в 1550 nm средата. Тази дисперсия лимитира преноса на данни без компенсиране в DWDM мрежа.

ITU G.653 е изместващо дисперсията влакно, предназначено за минимална хроматична дисперсия в 1550 nm диапазона и нулева дисперсия между 1525 nm и 1575 nm. Но има по-голяма поляризация на модовете от колкото G.652.

ITU G.655 е не-нулево изместващо дисперсията влакно, създадено за да елиминира нелинейните ефекти в изместващи дисперсията влакна. Направени са специално за DWDM приложения в 1550nm диапазон.

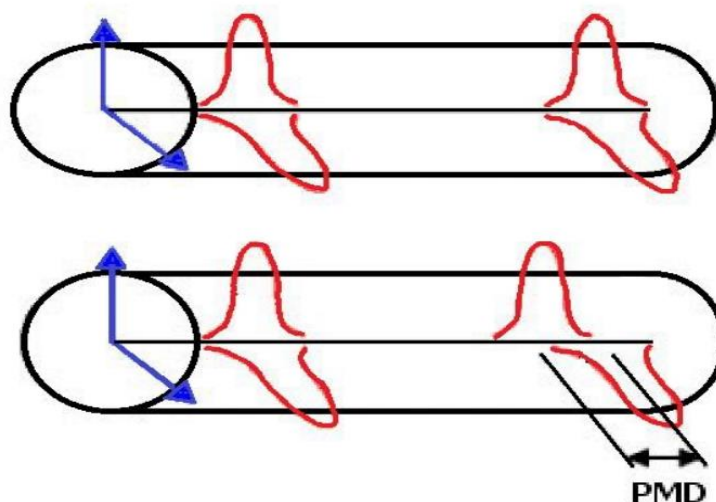


Фиг. 1.9 Хроматична дисперсия в типове влакна

## 1.6 Поляризационна дисперсия (PMD)

Всеки светлинен лъч има два компонента - електрическо поле и магнитно поле. Двете полета са перпендикулярни едно на друго. Ориентацията на компонентите се нарича състояние на поляризация.

В перфектно право влакно, направено с перфектна форма, двете състояния няма да се променят. Но неточности по влакното създават напрежение, което кара компонентите да се движат с различна скорост (фиг. 1.10). В края на влакното двете полета пристигат по различно време. Този ефект се нарича поляризационна дисперсия или PMD и се измерва в ps.



Фиг. 1.10 Изображение на PMD

## **ГЛАВА ВТОРА**

### **ТЕХНОЛОГИИ ЗА МУЛТИПЛЕКСИРАНЕ НА СВЕТЛИНАТА ПО ОПТИЧЕН КАБЕЛ И ОСНОВНИ КОМПОНЕНТИ НА DWDM**

Мултиплексирането е метод за увеличаване на честотната лента с цел по-голям пренос на данни в една споделена преносна среда. Съществуват много видове мултиплексиране като мултиплексиране по времеви домейн, мултиплексиране по честота и мултиплексиране по дължина на вълна.

#### **2.1 Дефиниция за мултиплексиране**

Мултиплексирането е начин за изпращане на няколко сигнала или низове информация в едно и също време във формата на един, комплексен сигнал. Приемникът на този сигнал го разделя на отделните първоначални сигнали. Този процес се нарича демултиплексиране (demultiplexing или demuxing).

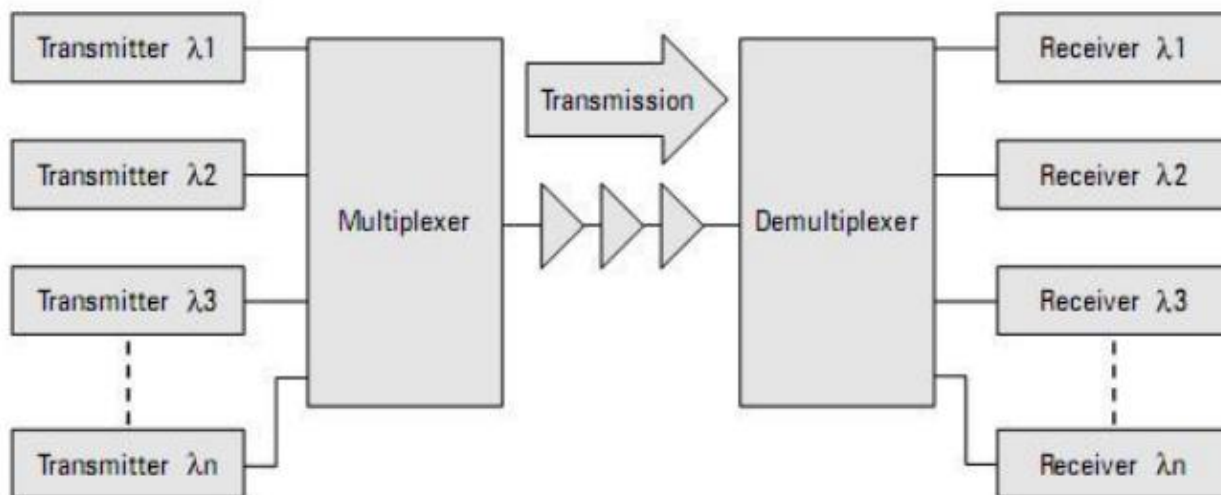
Мултиплексирането позволява на всички мрежови устройства да комуникират помежду си, чрез обща среда. Тази технология намалява нуждата от отделна свързаност между всички крайни устройства.

Съществуват няколко вида мултиплексиране: Time Division Multiplexing, Frequency Division Multiplexing и Wavelength Division Multiplexing.

#### **2.2 Wavelength division multiplexing**

Wavelength division multiplexing (WDM или мултиплексиране по дължина на вълната) представлява предаването на няколко сигнала през общо оптично влакно, но с различни дължини на вълните. В спектрален смисъл WDM е аналогична на електрическото мултиплексиране по честоти (FDM), WDM се различава с това, че се използва при оптиката, а FDM се използва при радио честоти. Но тъй като дължина на вълна и честота са обратно

пропорционални и радио и светлина са форма на електромагнетична радиация, двата термина са еквивалентни. Фиг. 2.1 илюстрира работа на WDM.



Фиг. 2.1 WDM блок схема

WDM може да се имплементира с LED или инжекционни лазерни източници с едномодово и многомодово влакно. Но много по-популярно е използването на едномодово влакно.

WDM използва мултиплексор, за да комбинира дължините на вълните и демултиплексор, за да ги раздели. С правилното влакно това може да стане наведнъж и да се използва като add-drop multiplexer (мултиплексор със сваляне и махане на сигнал).

WDM системите се разделят в различни варианти спрямо изискванията: обикновен, coarse (груб) или dense (гъст) WDM.

### 2.3 Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)

CWDM се отнася до оптично мултиплексиране в спектъра от 1270nm до 1610nm. Разстоянието между всеки канал е 20nm, като се използват до 18 канала в едно влакно-сравнително по-малко от DWDM. Дължината на един



канал е 13nm, останалите 7nm се използват за допълнително разстояние до следващият канал.

Главен недостатък в CWDM технологията е, че не всички канали могат да бъдат усилены от оптични усилватели. Това лимитира тази оптична свързаност до близо 60 км, което е достатъчно близо за мрежи в града.

CWDM и DWDM са ефективни методи за увеличаване на честотна лента. Голямото разстояние между всеки канал в CWDM силно ограничава технологията в сравнение с DWDM, който поддържа до 160 различни канала едновременно.

## **2.4 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)**

В DWDM разстоянието между отделните канали е 100 GHz (до 40 канала) или 50 GHz (до 80 канала). Това позволява до 160 канала да съществуват едновременно в общото оптично влакно.

DWDM технологията използва мултиплексиране в спектъра около 1550 nm заради възможностите на EDFA (erbium doped fiber amplifiers или усилватели с ербий). EDFA са ефективни при дължини между 1525nm и 1565nm или 1570nm до 1610nm. Първоначално са създадени, за да заместят оптични-електрични-оптични (OEO) регенератори. Раман усилвателите работят на принципа на стимулирано Раман разсейване, като могат да усилят всички дължини на вълните и имат по-малко ниво на шум в сравнение с EDFA. Но са по-скъпи.

Самото мултиплексиране става с мултиплексори и след като сигналът е демултиплексиран, той бива превърнат в нужната за клиента дължина на вълната чрез транспондери.

## **2.5 Компоненти в DWDM**

DWDM мрежите използва няколко компонента. Оптични източници и приемници са основни в оптичната телекомуникация. Те произвеждат

първоначалният сигнал и го приемат. С напредването на технологиите, тези компоненти биват заменени с оптични приемо-предавателни устройства. Те представляват устройства, които могат да излъчат и да приемат сигнал, позволявайки комуникация от тип пълен дуплекс в една обща оптична среда.

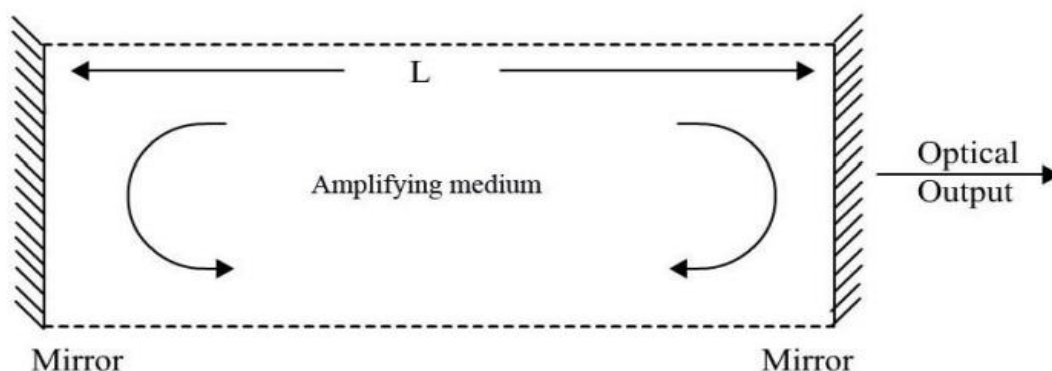
Мултиплексорите и демултиплексорите позволяват комбинирането на всичките различни сигнали в едно общо влакно. OADM (Optical add-drop multiplexer, или мултиплексор с избирателно махане на сигнал) представлява устройство, което има възможността да сваля определена дължина на вълната, за да може да бъде преизползвана от друг източник.

Транспондерите представляват връзката на DWDM системата клиента, като преобразуват DWDM дължина на вълна в желаният сигнал от клиента - определен вид оптичен сигнал, определена дължина на вълната или електрически сигнал.

Оптичните усилватели усилват мощността на сигнала. Използват се, когато предавателното устройство не може да захрани сигнала при дълги разстояния.

### **2.5.1 Оптични източници**

Светлината, която излиза от лазер е резултат от фотон, който се сблъсква с атом във възбудено състояние и предизвиква стимулирана емисия на втори фотон. Продължителността на този ефект предизвиква лавина от мултипликация и когато електромагнитните вълни на фотоните са във фаза, произлиза кохерентна емисия. Нужно е да се поддържат фотоните в лазерната среда и да се поддържа кохерентността. Това се постига със слагане на огледала в двата края на оптичната среда в лазера (фиг. 2.2).



Фиг. 2.2 Структура на лазер

Изходен сигнал се получава, когато оптичното усилване е колкото загубите в усилвателната лазерна среда. Трептения се появяват в лазерната кухина, когато честоти не са колкото загубите в кухината. За това лазерният източник не е монохроматичен, но е близо до монохроматика. Той излъчва в тясна спектрална ширина. Централната честота на спектралната ширина е определена от енергийната разлика в предаването на стимулираните емисии. Други честоти на трептения в спектралната ширина са резултат от промени в честотите от термални движения на атомите в усилвателната среда.

LED (Светодиод) - излъчва спонтанна емисия на радиация във визуалната и инфрачервената зона на спектъра. Предизвиква се от P-N преход в права посока. Излъчените фотони имат разнообразни фази и устройството е некохерентен източник на светлина. Енергията на фотоните е равна на честотната енергия на полупроводниковият материал на светодиода. Енергията е равна на  $1-2 K \cdot T$ , където  $K$  е константата на Болтсман, а  $T$  е абсолютна температура. Това дава дължина на вълната около 30-40 nm в стайна температура. Светодиода поддържа много модове и за това се използва за мултимод източник и се използва само с мултимод степ индекс или степенуван индекс влакно.

Макар и многото проблеми на светодиода, той има няколко предимства като: много по-ниска цена, по-прост механизъм, по-голяма надеждност, по-малка температурна зависимост и линейност.

## 2.5.2 Оптични усилватели

Оптичният усилвател е устройство, което усилюва оптичен сигнал директно, без да го превръща в електрически и после отново в оптичен. Те са много важна част в оптичната комуникация. Има много типове усилватели в оптичната комуникационна система, но най-често използваните са усилватели с ербий (EDFA) и Раман.

В първият тип ербий се използва, за да може стъкленото влакно да абсорбира светлина от една честота и да излъчи от друга. Допълнителен полупроводников лазер инжектира светлина в инфрачервеният спектър от 980 или 1480 nm. Това възбужда ербийните атоми. Допълнителни оптични сигнали между 1530 и 1620 nm влизат във влакното и стимулират възбуждения ербий, за да излъчи фотони в същата дължина на вълната като входящият сигнал.

Оптичните усилватели от тип Раман са на базата на Раманово усилюване, което е резултат от Раманово разсейване. Раман-активната среда най-често е оптично влакно, но може да бъде кристал или клетка с газ или течна среда. Входният сигнал може да бъде усилен или затихнат с допълнителен лъч светлина, която обикновено е няколко десети nm по-къса. За силициево влакно, максимално усилюване се получава с разлика от 10-15 THz между сигнала и допълнителната светлина.

Основните разлики между двата типа усилвателя са:

- Раман може да работи с много различни дължини на вълните, стига да има светлина, отговаряща на изискванията;
- усилюването може да бъде регулирано с по-различна допълнителна светлина;
- Раман усилвателят изисква голяма енергия и светлина, но може да генерира много мощен изходен сигнал;
- Раман усилвателите имат по-малко шум;
- Раман усилвателите могат да имат поляризирана допълнителна светлина, което е нежелано явление.

### 2.5.3 Мултиплексори и Демултиплексори

Главната задача на Мултиплексорите е да комбинират няколко сигнала от различни дължини на вълните в едно влакно. В края на влакното има трансмитери, които работят на  $N$  различни дължини на вълните, и  $N$  дължини се разпределят през определени интервали, които са записани като  $\lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_n$ . Мултиплексорът комбинира тези оптически сигнали в едно едномодово влакно. Чрез мултиплексиране, комуникационната техника избягва използването на няколко линии и пести ресурси.

Главната функция на Демултиплексорите е да раздели различните дължини на вълните от влакното и да отдели всеки сигнал и да го възстанови в началното му състояние. Демултиплексорът извършва обратната работа на Мултиплексора.

Номерът на каналите и разстоянието между всеки канал е много важен. Каналите могат да бъдат между 4 и 160, като по-често срещаният брой канали е 4,8,16,32,40,48 и т.н. Разстоянието между сигналите представлява център до център разлика в честотите между съседните канали.

**OADM** (Optical Add-Drop Multiplexer) – оптичният мултиплексор с локално добавяне и махане на канали представлява мултиплексор, който позволява селективно махане и добавяне на определена дължина на вълната. Той се състои от три части- оптичен Демултиплексор, оптичен Мултиплексор и между тях метод за реконфигуриране на пътищата между тях и портове за добавяне и махане на сигнали.

**ROADM** (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer)- разширява възможностите на обикновените OADM като позволява добавянето и махането на самостоятелен сигнал или група от сигнали през определен порт. Също така от махнатия сигнал, може да се използва същата дължина на вълната за друг сигнал. Устройството използва избирателен комутатор на дължини на вълните (WSS).

## 2.5.4 Транспондери

Оптичните транспондери преобразуват оптичен сигнал в електрически. След това този сигнал отново бива генериран като оптичен в определена дължина на вълната - необходима за целта. Най-често транспондерите се използват за:

- Превръщане от едномодов в многомодов сигнал и обратното ;
- Превръщане от 850 nm, 1310 nm или 1550 nm дължини на вълните в конкретната DWDM дължина на вълната в зависимост от нуждите на DWDM мрежата;
- повторител- повтаря входния сигнал като удължава изискваната дължина която да покрие сигнала.

Освен транспондери съществуват и мукспондери. Те представляват устройства с много входове и един изход. Входовете се мултиплексират в изходен сигнал.

## 2.6 Оптичен служебен канал (OSC)

OSC представлява допълнителен сигнал с определена дължина на вълната, като най-често се използва 1510, 1620 или 1310 nm. През този канал преминава служебна информация за мултиплексираните DWDM канали както и дава възможност за отдалечен достъп до оптическият терминал. Използва се за отдалечена софтуерна промяна и за информация за каналите.

OSC каналът винаги започва в съответният оптичен сайт и приключва в следващият оптичен сайт. Така той получава локалната информация преди тя да бъде препратена. Всички OSC функции (предаване, терминиране и др.) се случват от една карта. Минималната скорост на канала трябва да е поне 2Mbps.

Друга функция на каналът е възстановяването на пропаднал сигнал. При счупване на влакното на произволно място или автоматично изключване на

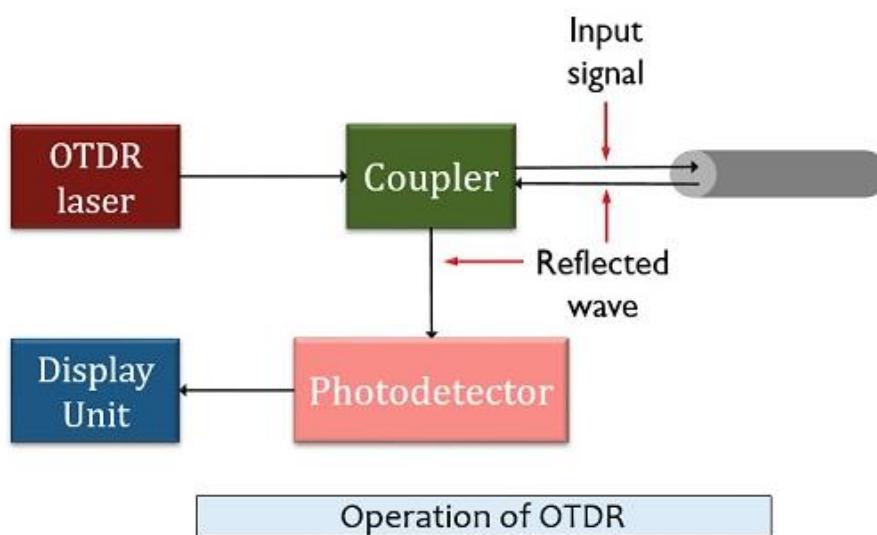
ROADM/усилвателя, OSC каналът се използва, за установяване на проблема. OSC канала трябва да продължи да работи дори след автоматично изключване на усилвателя, към който е свързан.

SFP модулът на картата превръща електрическия сигнал в оптичен и го праща в оптичния усилвател, OADM или ROADM. Сигналът, който идва от тези устройства бива превърнат в електрически сигнал, от който се взема информация и тактова честота.

## 2.7 Оптичен времеви рефлектометър (OTDR)

Представлява инструмент, с който се анализира разсейването или обратно рефлектиране в оптичното влакно. OTDR характеризира влакното, чрез оптичен сигнал, който излъчва с цел анализиране. Измерва загуби при сплайсване, рефлектиране под ъгъл и затихване на сигнала.

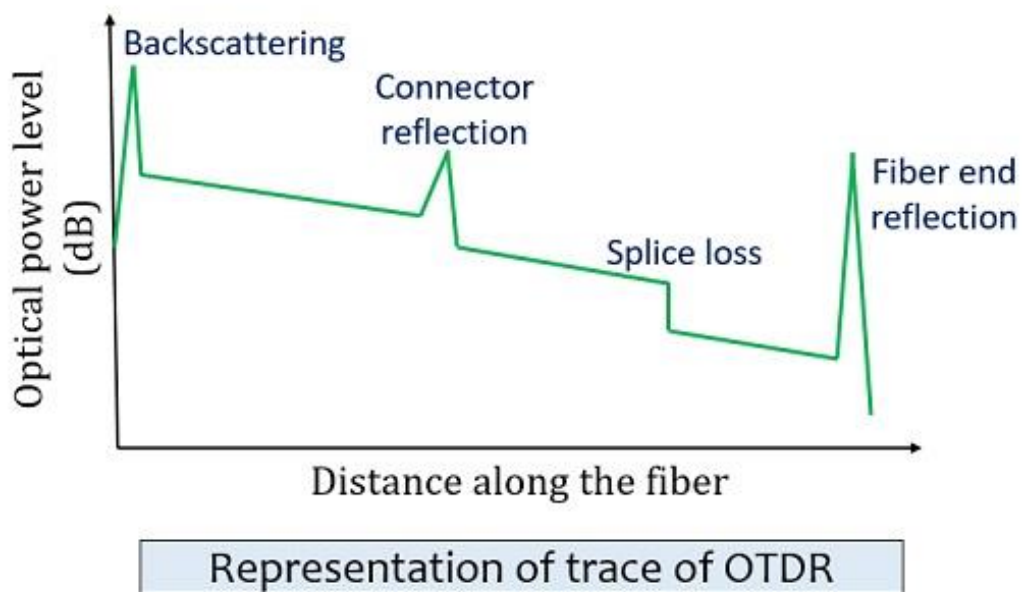
OTDR оборудването се състои от източник на светлина- най-често лазер, и приемник на светлина, заедно с разклонител на светлина и фотодетектор (фиг. 2.3).



Фиг. 2.3 Блок схема на OTDR

Лазерът излъчва къс сигнал. Рефлектирани лъчи от Рейли разсейване и обратно отразяване се използват, за начертаването на характеристиката на сигнала (фиг. 2.4) На графиката е представена силата на сигнала, измерена в dB по ординатата, и дължината на влакното по абсцисата.

Всеки OTDR има мъртва зона. Тя представлява разстояние на влакното, в което обратното рефлектиране не може да се върне до фото детектора на устройството.



Фиг. 2.4 Графика на затихване от измерен сигнал с OTDR



## **ТРЕТА ГЛАВА**

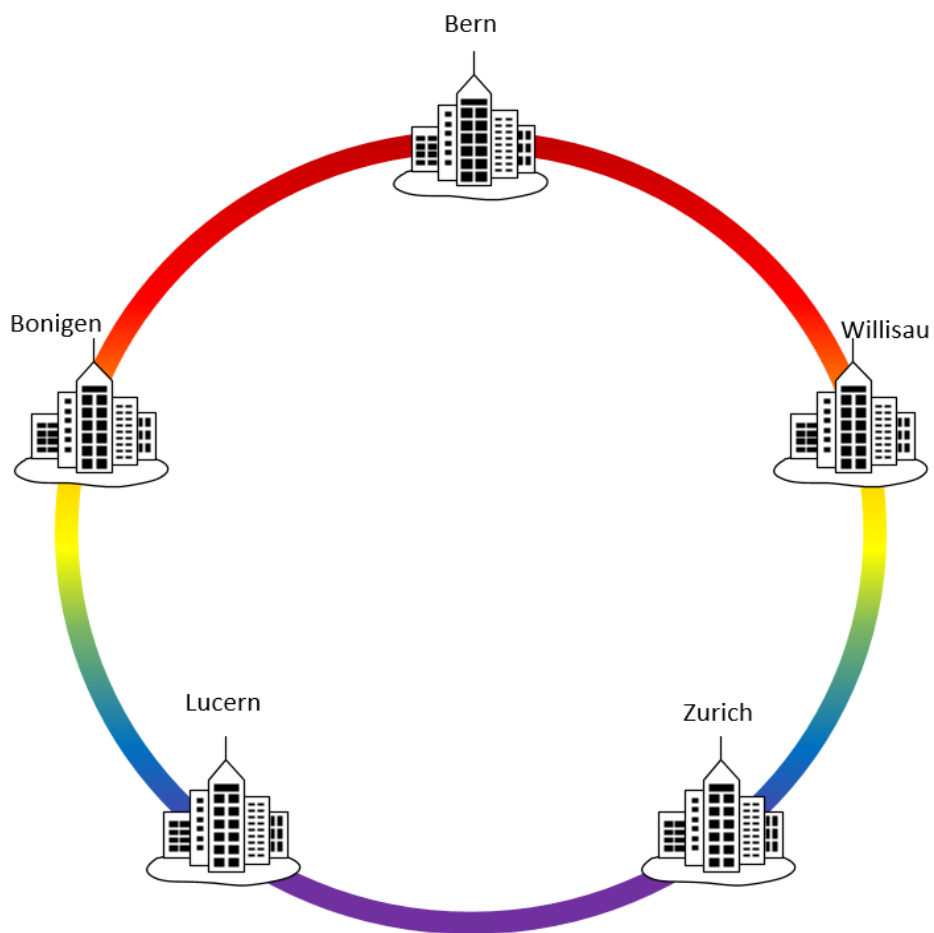
### **ИЗГРАЖДАНЕ НА DWDM МРЕЖА**

#### **3.1 Изисквания към дипломната работа**

- Да се изгради оптична мрежа по технология DWDM, между пет града в Швейцария;
- Да се предвиди резервираност на канално ниво на изградените канали през оптичната мрежа;
- Да се предвидят между съседни точки следните трафични канали :
  - 2x 10GbE;
  - 2x 16GbFC;
  - 2x 40GBE.
- Да се предвиди един канал между всички точки със скорост от 100 GbE;
- Да се използват ROADM мултиплексори във всеки един от обектите;
- Да се използва едномодов оптичен кабел тип G.655;
- Да се проектира мрежата чрез използване на специализиран програмен продукт за оразмеряване на DWDM мрежа - Cisco Transport Planner;
- Да се направи анализ на затихване, хроматична дисперсия и PMD.

#### **3.2 Топология на мрежата**

Според заданието е избрана кръгова топология с 5 сайта (точки)-градове в Швейцария. За целта са избрани Берн, Бьонинген, Цюрих, Уилисау и Люцерн. На фиг. 3.1 е представена опростена топология на мрежата. Използваното влакно за преносвателна среда е G.655, избрано поради минималното ниво на хроматична дисперсия.

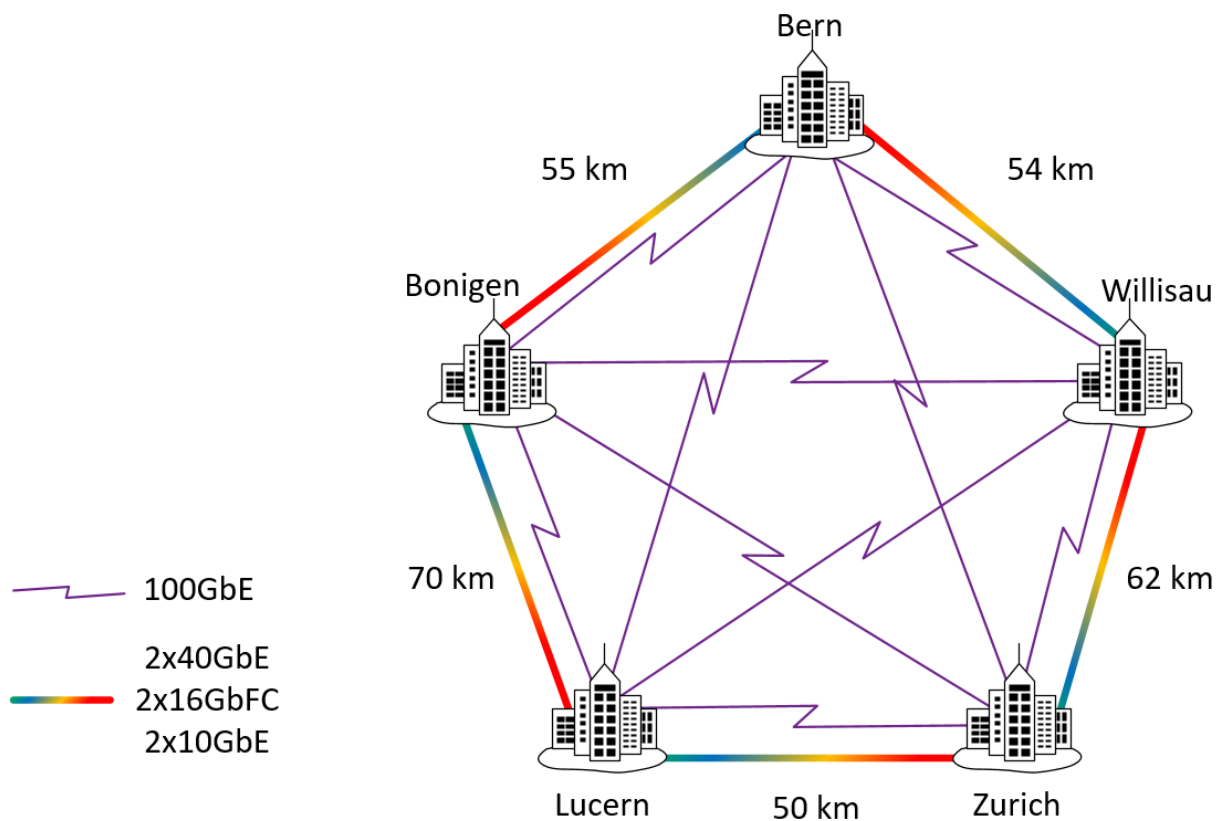


Фиг. 3.1 Опростена топология на оптичната мрежа

Разстоянията между градовете са следните:

- Берн - Уилисау = 54 км.
- Уилисау - Цюрих = 62 км.
- Цюрих - Люцерн = 50 км.
- Люцерн - Бьониген = 70 км.
- Бьониген - Берн = 55 км.

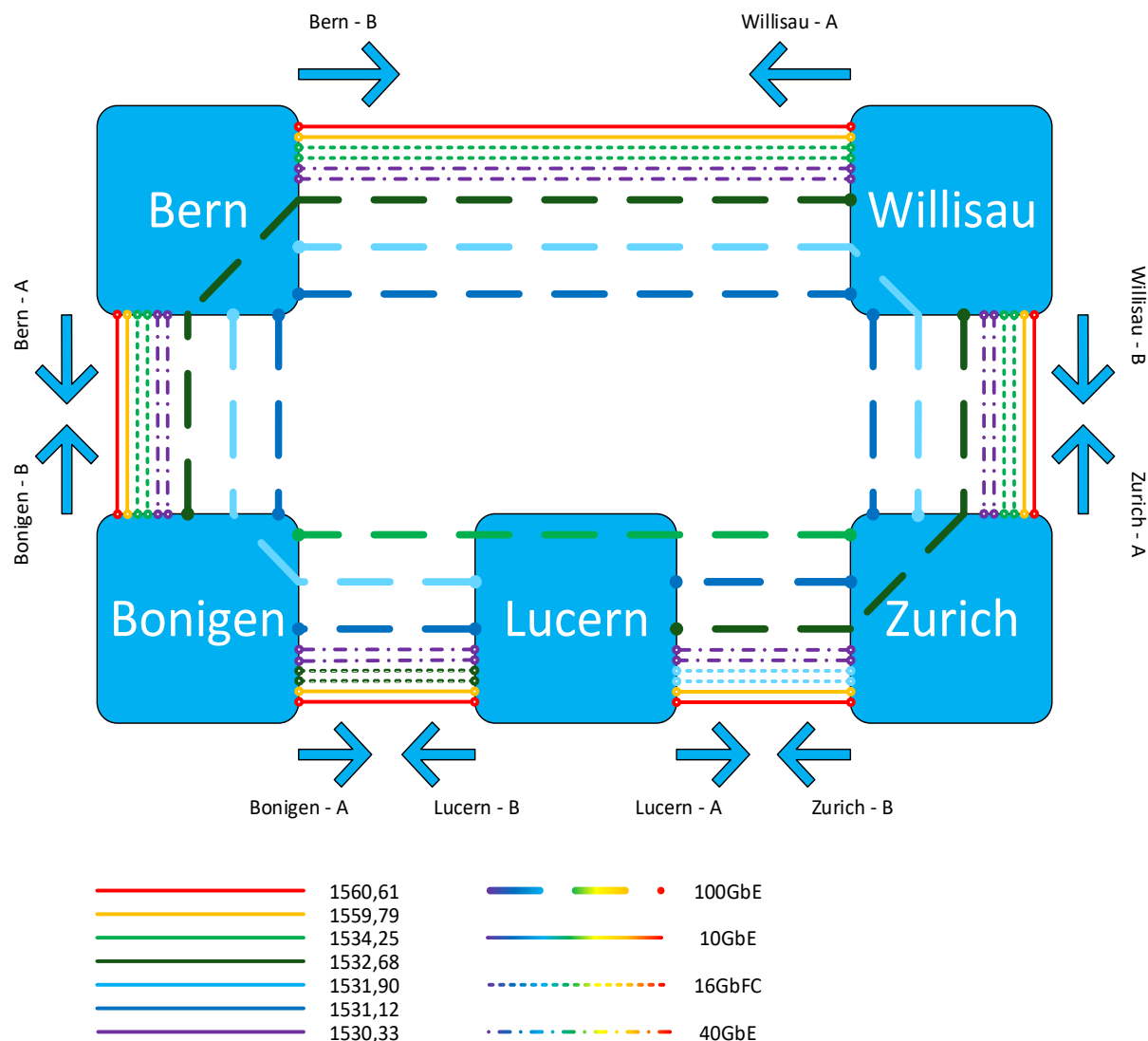
Логическата топология (фиг. 3.2) представлява свързаността между на каналите между на градовете. Всички съседни градове имат по два канала с услуга 40GbE, два канала с услуга 16GbFC и два канала с услуга 10GbE. Освен тези канали, съществува пълна свързаност с 100GbE услуга.



Фиг. 3.2 Логическа топология на каналите в оптичната мрежа

### 3.3 Канали

На фиг. 3.3 е илюстрирано логическото разпределение каналите в избраните градове. Всеки канал е избран с определена дължина на вълната, като използваните дължини на вълните са 1560,61 nm, 1559,79 nm, 1534,25 nm, 1532,68 nm, 1531,90 nm, 1531,12 nm и 1530,33 nm. Каналите, представляващи 40GbE, 16GbFC и 10GbE услуги са илюстрирани с тънка непрекъсната линия, а каналите представляващи 100GbE услуга са илюстрирани с дебела прекъсната линия. Всеки канал е с различен цвят, спрямо това каква дължина на вълната е избран за съответния канал. Пунктира с който е представен е различен за отделните видове услуги.



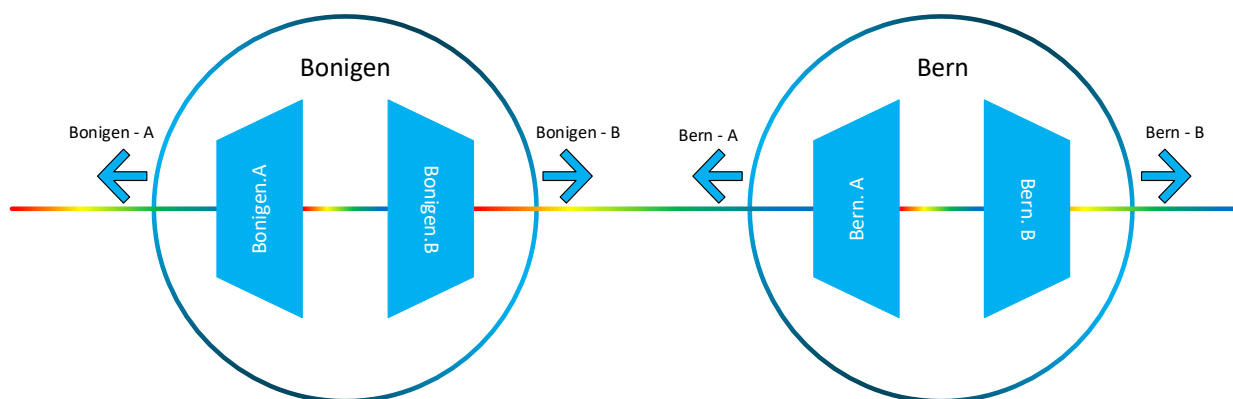
Фиг. 3.3 Логическо разпределение на каналите

DWDM мултиплексорите дават възможността да бъдат преизползвани дължини на вълните. Когато канал стигне до точка, в която бива демултиплексиран като използва дължина на вълната X, същата дължина на вълната може да бъде преизползвана за предаване от съответната точка в друга посока. Така в оптичната мрежа, вместо да се използват 40 различни дължини на вълните, за всеки канал по една, се използват 7 дължини, които биват преизползвани.

### 3.4 Cisco Transport Planner

Cisco Transport Planner е софтуер, използван за симулация на оптичната мрежа. Той предлага подробен анализ на мрежата, устройствата, подредбата им по сайтовете (точките), канали, като включва статистика на затихване, дисперсия и PMD след направена симулация. Софтуерът използва най-новото оптично портфолио на Сиско, включващо Cisco ONS 15454 MSTP.

Първа стъпка в проектиране на оптичната мрежа със Cisco Transport Planner е въвеждането на всички крайни точки - градовете Берн, Уилисау, Цюрих, Люцерн и Бьониген и разстоянията между всички съседни точки. Всеки град се разделя на две точки - точка "А" и точка "В", които представляват двата ROADM в града (фиг. 3.4). След въвеждане на точките, се добавят всички канали индивидуално, като се избира начална точка и крайна точка на канала (Пример Бьониген - Б, Берн - А), услугата на канала (100GbE 40GbE, 16GbFC или 10GbE) и типа влакно (G.655). Когато се проектират услугите, се избира колко канала има за съответната услуга и се добавя опция за евентуално бъдещо развитие (допълнителни канали).



Фиг. 3.4 Илюстрация на проектиране на градове

След направена симулация със Cisco Transport Planner, софтуерът генерира файлове, описващи нужното оборудване за изграждане на оптичната мрежа и конфигурационните файлове за него. Всички канали описани спрямо тяхната дължина на вълната и начална и крайна дестинация в оптичната

мрежа са генерирани отделно, както и оптични резултати с измерена дисперсия, затихване и PMD на всеки канал.

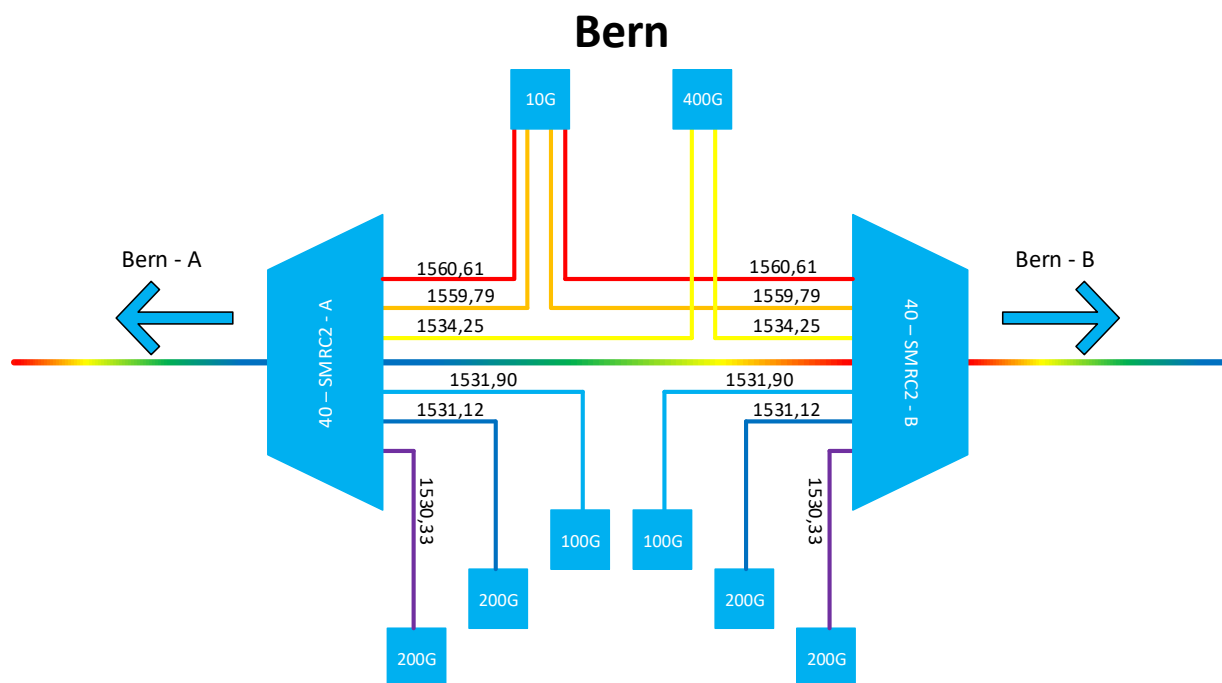
За всяка услуга в Cisco Transport Planner е избран подходящ транспондер. За 100GbE услуга се използва 200GbE транспондер “NCS2K-200G-СК-C=”, за 40GbE услуга се използва 100GbE транспондер “NCS2K-100G-СК-C=”, за 16GbFC се използва 400GbE транспондер “NCS2K-400G-XP=” и за 10GbE се използва 10GbE транспондер “15454-M-10X10G-LC=”. Използват се устройства с по-голям капацитет в случай на добавяне на допълнителни канали. Всяко оптично устройство е описано в Глава 3 точка 3.5 от дипломната работа.

В таблица 3.1 са представени всички четиридесет канала в оптичната мрежа на дипломната работа. Всеки канал е представен с използваната за него дължина на вълна, начална точка и крайна точка (град), услугата, която предоставя и транспондер устройство, използвано в двата края на канала. Таблицата е сортирана по “Начална точка” и допълнително по “Крайна точка”.

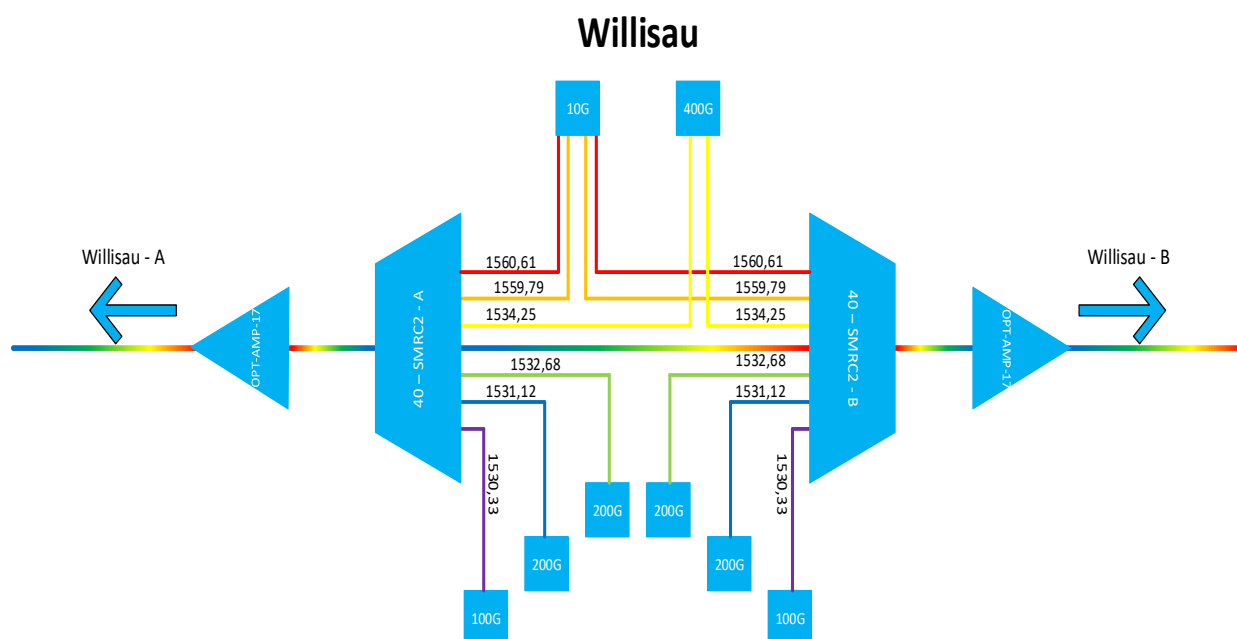
Дължина на вълната	Начална точка	Крайна точка	Услуга	Транспондер
1 531,12	Bern.A	Bonigen.B	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 560,61	Bern.A	Bonigen.B	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 559,79	Bern.A	Bonigen.B	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 534,25	Bern.A	Bonigen.B	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 534,25	Bern.A	Bonigen.B	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 530,33	Bern.A	Bonigen.B	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 530,33	Bern.A	Bonigen.B	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 531,90	Bern.A	Lucern.B	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 531,90	Bern.B	Zurich.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 531,12	Bern.B	Willisau.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 560,61	Bern.B	Willisau.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 559,79	Bern.B	Willisau.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 534,25	Bern.B	Willisau.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 534,25	Bern.B	Willisau.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 530,33	Bern.B	Willisau.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 530,33	Bern.B	Willisau.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 531,12	Lucern.B	Bonigen.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 560,61	Lucern.B	Bonigen.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 559,79	Lucern.B	Bonigen.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 532,68	Lucern.B	Bonigen.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 532,68	Lucern.B	Bonigen.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 530,33	Lucern.B	Bonigen.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 530,33	Lucern.B	Bonigen.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 534,25	Zurich.B	Bonigen.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 531,12	Zurich.B	Lucern.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 560,61	Zurich.B	Lucern.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 559,79	Zurich.B	Lucern.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 531,90	Zurich.B	Lucern.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 531,90	Zurich.B	Lucern.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 530,33	Zurich.B	Lucern.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 530,33	Zurich.B	Lucern.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 532,68	Willisau.A	Bonigen.B	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 532,68	Willisau.B	Lucern.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 531,12	Willisau.B	Zurich.A	100GE	NCS2K-200G-CK-C=
1 560,61	Willisau.B	Zurich.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 559,79	Willisau.B	Zurich.A	10GE LAN PHY	15454-M-10X10G-LC=
1 534,25	Willisau.B	Zurich.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 534,25	Willisau.B	Zurich.A	Fibre Channel 16G	NCS2K-400G-XP=
1 530,33	Willisau.B	Zurich.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=
1 530,33	Willisau.B	Zurich.A	40GE LAN PHY	NCS2K-100G-CK-C=

Таблица 3.1 Канали в оптичната мрежа

Фигури 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 и 3.9 представляват логическа свързаност между оптичните устройства в градовете. Всеки канал излизащ от мултиплексор е с определената дължина на вълната.

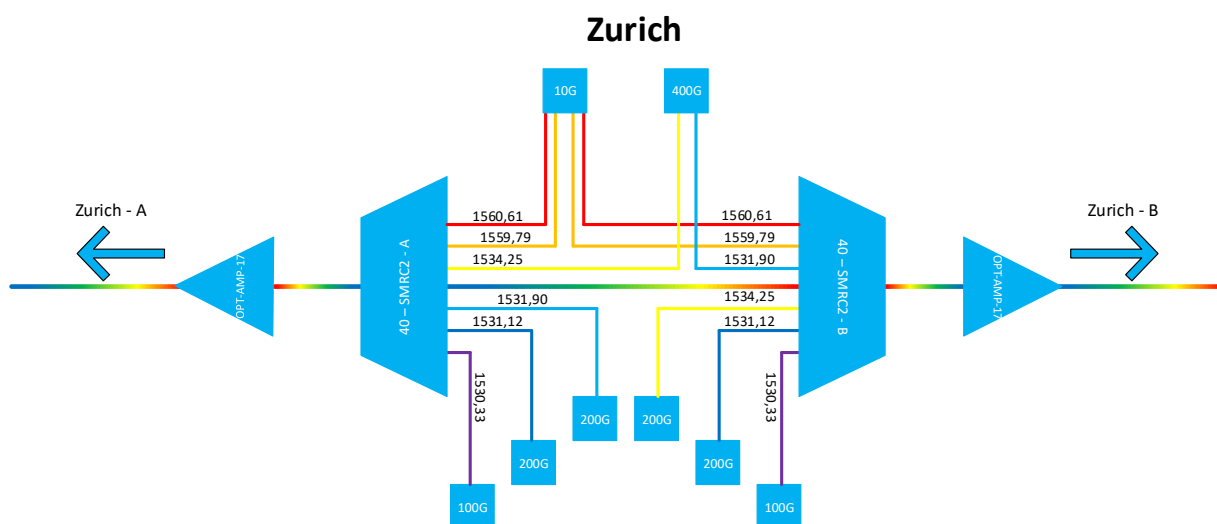


Фиг. 3.5 Лог. свързаност на устройства в град Bern

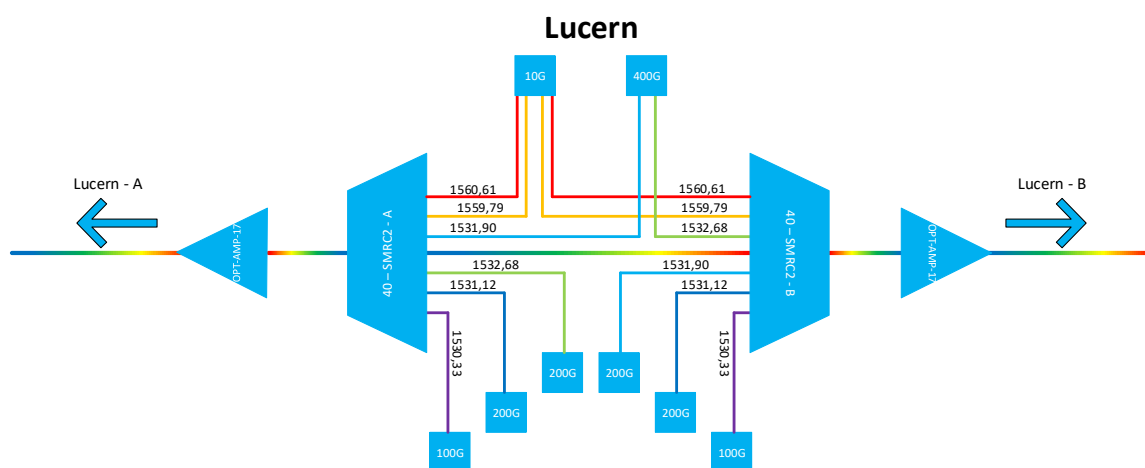


Фиг. 3.6 Лог. свързаност на устройства в град Willisau

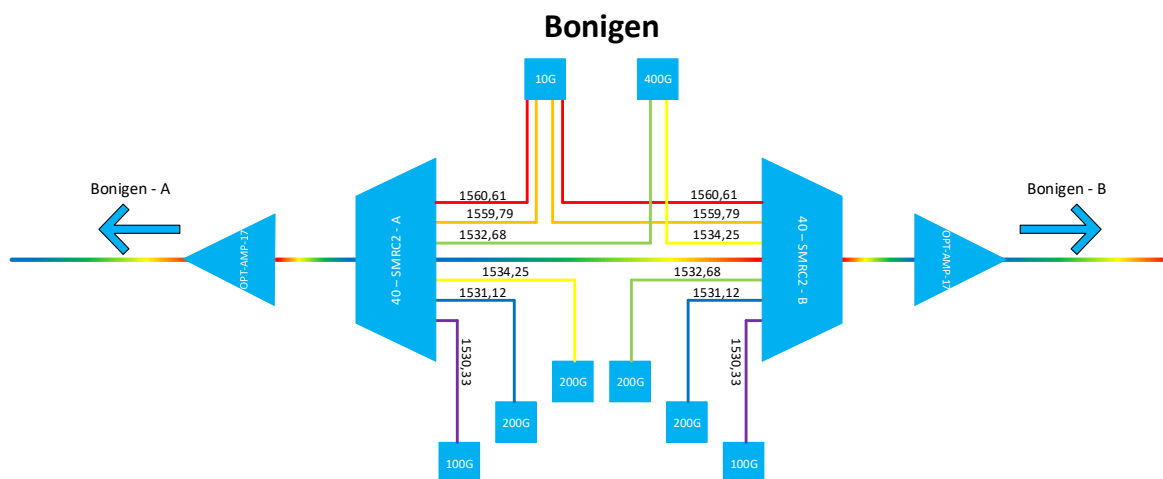




Фиг. 3.7 Лог. свързаност на устройства в град Zurich



Фиг. 3.8 Лог. свързаност на устройства в град Lucern



Фиг. 3.9 Лог. свързаност на устройства в град Bonigen

Таблицы 3.2, 3.3 и 3.4 представляват детайлно описание на параметри на каналите в оптичната мрежа. Всички канали са описани със следните параметри:

- Name - името на канала във формат  
“Начална точка-Крайна точка/Услуга (брой услуги в този канал)”
- Protected - типа защита използван за канала.
- SOL/EOL/SE - Резултат от анализа на стойностите на “Start of life” (Начало на живот), “End of life” (край на живот) и “System error”. Ако индикатора е зелен, това означава, че всичко е безпроблемно, ако е оранжев, някой от параметрите има грешка.
- P/F - тип услуга - настояща (P) или бъдеща (F)
- Source - начална точка
- Destination - крайна точка
- Wavelength - дължина на вълната
- Src + Dst Tx Type - транспондер устройство, използвано в двата края на канала
- SOL OSNR [dB] - оптичен SNR на “Начало на живот”, измерено в [dB]
- EOL OSNR [dB] - оптичен SNR на “Край на живот”, измерено в [dB]
- SOL OSNR margin - гранична стойност на OSNR граница, заложена в началото на проекта
- SOL RX [dBm] - “Начало на живот” в крайната точка, измерено в [dBm]
- EOL RX [dBm] - “Край на живот” в крайната точка, измерено в [dBm]
- SOL Power margin [dB] - марж на мощност на “Край на живот”, измерен в [dB]
- Residual CD [ps/nm] - дисперсия, измерена в [ps/nm]
- Filtering Penalty - резултат от сбор на санкции от всички филтри
- PMD [ps] - калкулирано PMD за всяка верига. Измерено в [ps]
- RX atten - затихване на входа на приемник
- TX atten - затихване на изхода на приемник

Name	Protect	SOL/EOL/SE	P/F	Source	Destination	Wavelength	Src + Dst Tx Type	Span [Km]	SOL OSNR [dB]	EOL OSNR [dB]	SOL OSNR margin [dB]	SOL RX [dBm]	EOL RX [dBm]	SOL Power margin [dB]	Residual CD [ps/nm]	Filtering Penalty	PMD [ps]	RX atten	TX atten
Bern-Willisau/100G(1/1)	Unprotected					1 531,12	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.B	Willisau.A			54,00	24,41	24,13	16,87515	-12,69	-12,69	4,29445	205,20	0,22882	0,82849	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Willisau.A	Bern.B			54,00	24,36	24,30	16,82515	-12,69	-12,69	4,39445	205,20	0,22882	0,82849	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Willisau/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 560,61	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.B	Willisau.A			54,00	24,82	24,56	13,88515	-12,69	-12,69	8,09445	205,20	0,24013	0,82849	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Willisau.A	Bern.B			54,00	24,55	24,49	13,61515	-12,69	-12,69	8,15853	205,20	0,24013	0,82849	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Willisau/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 559,79	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.B	Willisau.A			54,00	24,81	24,55	13,87515	-12,69	-12,69	8,09445	205,20	0,24013	0,82849	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Willisau.A	Bern.B			54,00	24,55	24,48	13,61515	-12,69	-12,69	8,15853	205,20	0,24013	0,82849	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Willisau/Fibre Channel 16G (2/2)	Unprotected					1 534,25	400G-XP-LC,w/SD-FEC_25-NO_DE( CLASS: BF, MODE: M200G)												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.B	Willisau.A			54,00	24,45	24,18	9,41617	-12,69	-12,69	4,29445	205,20	0,00848	0,82849	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Willisau.A	Bern.B			54,00	24,38	24,32	9,35784	-12,69	-12,69	4,39445	205,20	0,00848	0,82849	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Bern-Willisau/40GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 530,33	100G-CK-LC-C,w/FEC( CLASS: AN )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.B	Willisau.A			54,00	24,39	24,12	9,55515	-12,69	-12,69	4,29445	205,20	0,11482	0,82849	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Willisau.A	Bern.B			54,00	24,36	24,30	9,52515	-12,69	-12,69	4,39445	205,20	0,11482	0,82849	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Bern-Zurich/100GE (1/1)	Unprotected					1 531,90	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.B	Zurich.A			116,00	21,07	20,80	13,33515	-12,69	-12,69	4,09445	440,80	0,2334	0,95457	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Zurich.A	Bern.B			116,00	21,05	20,87	13,31515	-12,69	-12,69	4,09445	440,80	0,2334	0,95457	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Bonigen/100GE (1/1)	Unprotected					1 531,12	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End		P	Bern.A	Bonigen.B			55,00	24,34	24,06	16,80515	-12,69	-12,69	4,29445	209,00	0,22882	0,82946	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.B	Bern.A			55,00	24,35	24,24	16,81515	-12,69	-12,69	4,39445	209,00	0,22882	0,82946	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Bonigen/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 560,61	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.A	Bonigen.B			55,00	24,76	24,50	13,82515	-12,69	-12,69	8,09445	209,00	0,24013	0,82946	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.B	Bern.A			55,00	24,54	24,43	13,60515	-12,69	-12,69	8,1543	209,00	0,24013	0,82946	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Bonigen/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 559,79	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.A	Bonigen.B			55,00	24,75	24,49	13,81515	-12,69	-12,69	8,09445	209,00	0,24013	0,82946	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.B	Bern.A			55,00	24,53	24,43	13,59515	-12,69	-12,69	8,15006	209,00	0,24013	0,82946	None	None
	Section	Unprotected																	
Bern-Bonigen/Fibre Channel 16G (2/2)	Unprotected					1 534,25	400G-XP-LC,w/SD-FEC_25-NO_DE( CLASS: BF, MODE: M200G)												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.A	Bonigen.B			55,00	24,38	24,11	9,34617	-12,69	-12,69	4,29445	209,00	0,00848	0,82946	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.B	Bern.A			55,00	24,37	24,26	9,34784	-12,69	-12,69	4,39445	209,00	0,00848	0,82946	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	

Таблица 3.1 Измерени параметри на оптичните канали

Name	Protect	SOL/EOL/SE	P/F	Source	Destination	Wavelength	Src + Dst Tx Type	Span [Km]	SOL OSNR [dB]	EOL OSNR [dB]	SOL OSNR margin [dB]	SOL RX [dBm]	EOL RX [dBm]	SOL Power margin [dB]	Residual CD [ps/nm]	Filtering Penalty	PMD [ps]	RX atten	TX atten
Bern-Bonigen/40GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 530,33	100G-CK-LC-C,w/FEC( CLASS: AN )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.A	Bonigen.B			55,00	24,33	24,05	9,49515	-12,69	-12,69	4,29445	209,00	0,11482	0,82946	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.B	Bern.A			55,00	24,34	24,23	9,50515	-12,69	-12,69	4,39445	209,00	0,11482	0,82946	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Bern-Lucern/100GE (1/1)	Unprotected					1 531,90	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Bern.A	Lucern.B			125,00	20,64	20,27	12,90515	-12,69	-12,69	4,09445	475,00	0,2334	0,96208	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.B	Bern.A			125,00	20,65	20,34	12,91515	-12,69	-12,69	4,09445	475,00	0,2334	0,96208	None	None
	Section	Unprotected																	
Willisau-Zurich/100GE (1/1)	Unprotected					1 531,12	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.B	Zurich.A			62,00	23,76	23,49	16,22515	-12,69	-12,69	4,39445	235,60	0,22882	0,83618	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Zurich.A	Willisau.B			62,00	23,76	23,49	16,22515	-12,69	-12,69	4,39445	235,60	0,22882	0,83618	None	None
	Section	Unprotected																	
Willisau-Zurich/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 560,61	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.B	Zurich.A			62,00	24,00	23,74	13,06515	-12,69	-12,69	7,92568	235,60	0,24013	0,83618	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Zurich.A	Willisau.B			62,00	24,00	23,74	13,06515	-12,69	-12,69	7,92568	235,60	0,24013	0,83618	None	None
	Section	Unprotected																	
Willisau-Zurich/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 559,79	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.B	Zurich.A			62,00	24,00	23,73	13,06515	-12,69	-12,69	7,92568	235,60	0,24013	0,83618	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Zurich.A	Willisau.B			62,00	24,00	23,73	13,06515	-12,69	-12,69	7,92568	235,60	0,24013	0,83618	None	None
	Section	Unprotected																	
Willisau-Zurich/Fibre Channel 16G (2/2)	Unprotected					1 534,25	400G-XP-LC,w/SD-FEC_25-NO_DE( CLASS: BF, MODE: M200G)												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.B	Zurich.A			62,00	23,79	23,52	8,76784	-12,69	-12,69	4,39445	235,60	0,00848	0,83618	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Zurich.A	Willisau.B			62,00	23,79	23,52	8,76784	-12,69	-12,69	4,39445	235,60	0,00848	0,83618	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Willisau-Zurich/40GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 530,33	100G-CK-LC-C,w/FEC( CLASS: AN )												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.B	Zurich.A			62,00	23,76	23,48	8,92515	-12,69	-12,69	4,39445	235,60	0,11482	0,83618	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Zurich.A	Willisau.B			62,00	23,76	23,48	8,92515	-12,69	-12,69	4,39445	235,60	0,11482	0,83618	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Willisau-Lucern/100GE (1/1)	Unprotected					1 532,68	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.B	Lucern.A			112,00	21,06	20,88	13,32515	-12,69	-12,69	4,09445	425,60	0,2334	0,95121	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.A	Willisau.B			112,00	21,06	20,88	13,32515	-12,69	-12,69	4,09445	425,60	0,2334	0,95121	None	None
	Section	Unprotected																	
Willisau-Bonigen/100GE (1/1)	Unprotected					1 532,68	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Willisau.A	Bonigen.B			109,00	21,36	21,19	13,62515	-12,69	-12,69	4,09445	414,20	0,2334	0,94868	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.B	Willisau.A			109,00	21,38	21,19	13,64515	-12,69	-12,69	4,09445	414,20	0,2334	0,94868	None	None
	Section	Unprotected																	
Zurich-Lucern/100GE (1/1)	Unprotected					1 531,12	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Zurich.B	Lucern.A			50,00	24,37	24,31	16,83515	-12,69	-12,69	4,39445	190,00	0,22882	0,82462	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.A	Zurich.B			50,00	24,37	24,31	16,83515	-12,69	-12,69	4,39445	190,00	0,22882	0,82462	None	None
	Section	Unprotected																	

Таблица 3.2 Измерени параметри на оптичните канали

Name	Protect	SOL/EOL/SE	P/F	Source	Destination	Wavelength	Src + Dst Tx Type	Span [Km]	SOL OSNR [dB]	EOL OSNR [dB]	SOL OSNR margin [dB]	SOL RX [dBm]	EOL RX [dBm]	SOL Power margin [dB]	Residual CD [ps/nm]	Filtering Penalty	PMD [ps]	RX atten	TX atten
Zurich-Lucern/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 560,61	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Zurich.B	Lucern.A			50,00	24,54	24,48	13,60515	-12,69	-12,69	8,1543	190,00	0,24013	0,82462	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.A	Zurich.B			50,00	24,54	24,48	13,60515	-12,69	-12,69	8,1543	190,00	0,24013	0,82462	None	None
	Section	Unprotected																	
Zurich-Lucern/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 559,79	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Zurich.B	Lucern.A			50,00	24,53	24,47	13,59515	-12,69	-12,69	8,15006	190,00	0,24013	0,82462	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.A	Zurich.B			50,00	24,53	24,47	13,59515	-12,69	-12,69	8,15006	190,00	0,24013	0,82462	None	None
	Section	Unprotected																	
Zurich-Lucern/Fibre Channel 16G (2/2)	Unprotected					1 531,90	400G-XP-LC,w/SD-FEC_25-NO_DE( CLASS: BF, MODE: M200G)												
	Far End	[GREEN]	P	Zurich.B	Lucern.A			50,00	24,37	24,31	9,34784	-12,69	-12,69	4,39445	190,00	0,00848	0,82462	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.A	Zurich.B			50,00	24,37	24,31	9,34784	-12,69	-12,69	4,39445	190,00	0,00848	0,82462	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Zurich-Lucern/40GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 530,33	100G-CK-LC-C,w/FEC( CLASS: AN )												
	Far End	[GREEN]	P	Zurich.B	Lucern.A			50,00	24,37	24,30	9,53515	-12,69	-12,69	4,39445	190,00	0,11482	0,82462	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Lucern.A	Zurich.B			50,00	24,37	24,30	9,53515	-12,69	-12,69	4,39445	190,00	0,11482	0,82462	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Zurich-Bonigen/100GE (1/1)	Unprotected					1 534,25	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Zurich.B	Bonigen.A			120,00	20,68	20,39	12,94515	-12,69	-12,69	4,09445	456,00	0,2334	0,95791	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.A	Zurich.B			120,00	20,68	20,39	12,94515	-12,69	-12,69	4,09445	456,00	0,2334	0,95791	None	None
	Section	Unprotected																	
Lucern-Bonigen/100GE (1/1)	Unprotected					1 531,12	200G-CK-LC(100G mode only),w/SD-FEC_20( CLASS: AP )												
	Far End	[GREEN]	P	Lucern.B	Bonigen.A			70,00	23,05	22,61	15,51515	-12,69	-12,69	4,39445	266,00	0,22882	0,8438	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.A	Lucern.B			70,00	23,05	22,61	15,51515	-12,69	-12,69	4,39445	266,00	0,22882	0,8438	None	None
	Section	Unprotected																	
Lucern-Bonigen/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 560,61	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Lucern.B	Bonigen.A			70,00	23,35	22,92	12,41515	-12,69	-12,69	7,6505	266,00	0,24013	0,8438	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.A	Lucern.B			70,00	23,35	22,92	12,41515	-12,69	-12,69	7,6505	266,00	0,24013	0,8438	None	None
	Section	Unprotected																	
Lucern-Bonigen/10GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 559,79	10X10G-LC - Txp Mode,ONS-SC+-10G-C - w/EFEC( CLASS: W )												
	Far End	[GREEN]	P	Lucern.B	Bonigen.A			70,00	23,34	22,91	12,40515	-12,69	-12,69	7,64627	266,00	0,24013	0,8438	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.A	Lucern.B			70,00	23,34	22,91	12,40515	-12,69	-12,69	7,64627	266,00	0,24013	0,8438	None	None
	Section	Unprotected																	
Lucern-Bonigen/Fibre Channel 16G (2/2)	Unprotected					1 532,68	400G-XP-LC,w/SD-FEC_25-NO_DE( CLASS: BF, MODE: M200G)												
	Far End	[GREEN]	P	Lucern.B	Bonigen.A			70,00	23,07	22,62	8,04784	-12,69	-12,69	4,39445	266,00	0,00848	0,8438	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.A	Lucern.B			70,00	23,07	22,62	8,04784	-12,69	-12,69	4,39445	266,00	0,00848	0,8438	None	None
	Sections (2)	Unprotected																	
Lucern-Bonigen/40GE LAN PHY (2/2)	Unprotected					1 530,33	100G-CK-LC-C,w/FEC( CLASS: AN )												
	Far End	[GREEN]	P	Lucern.B	Bonigen.A			70,00	23,04	22,60	8,20515	-12,69	-12,69	4,39445	266,00	0,11482	0,8438	None	None
	Near End	[GREEN]	P	Bonigen.A	Lucern.B			70,00	23,04	22,60	8,20515	-12,69	-12,69	4,39445	266,00	0,11482	0,8438	None	None

Таблица 3.3 Измерени параметри на оптичните канали

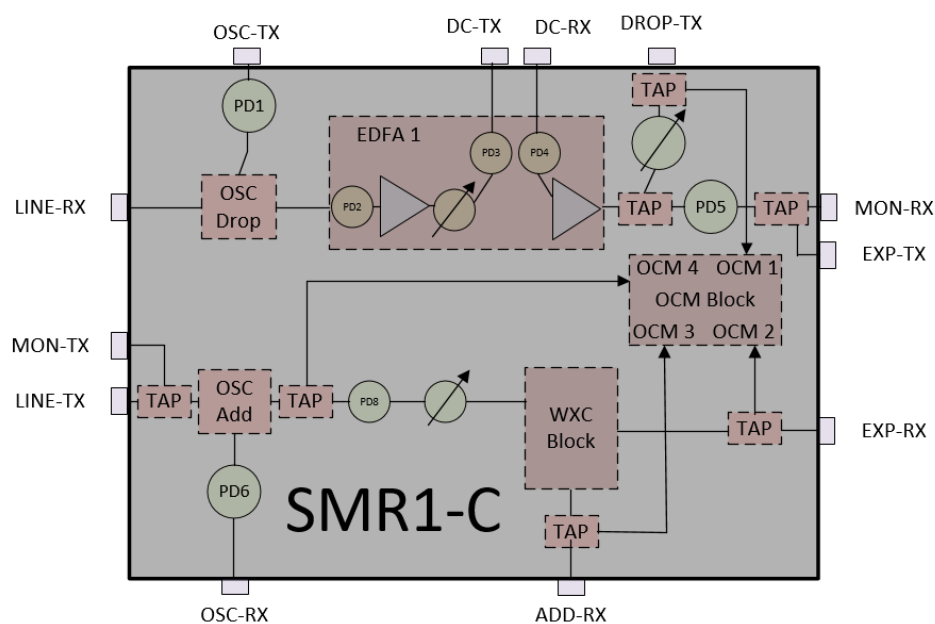


### 3.5 Детайлна блок диаграма и описание на DWDM

#### КОМПОНЕНТИТЕ

Оптичната мрежа се състои от ROADM-и на Cisco - SMR1-C и SMR2-C, мултиплексори, 400Gbps транспондер, 200Gbps транспондер, 100Gbps транспондер и 10x10Gbps транспондер, приемно-предавателни устройства и оптичен усилвател на cisco OPT-AMP-17.

#### 15454-40-SMR1-C=



Фиг. 3.10 Блок схема на 40-SMR1-C

40-SMR1-C представлява 40 канален ROADM единичен оптичен модул, който заема един слот в 15454 платформата. Има интегриран оптичен предусилвател, OSC филтър, и 2x1 комутатор по дължина на вълна. Този елемент е оптимизиран за 2-ъглови конфигурируеми възли.

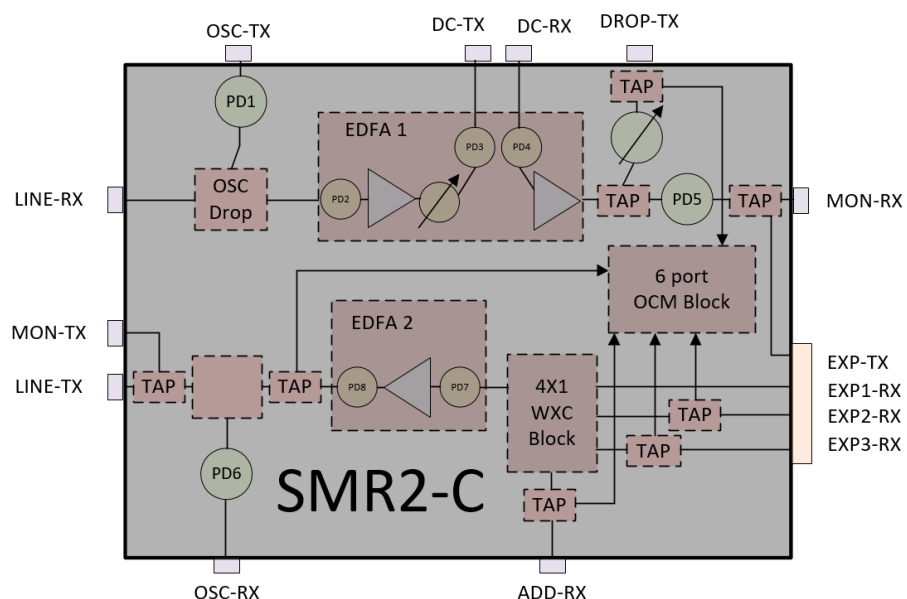
OSC филтърът представлява филтър, който позволява добавянето на OSC канал към C-оптичния прозорец. OSCM картата, която е свързана към OSC портовете генерира OSC канала. Предусилвателя е 2-стъпален EDFA. Позволява на вмъкване на DCU между DC портовете за компенсация на хроматична дисперсия. Също така има вграден оптичен затихвател (VOA) и

усилвателен филтър, който компенсира за по-дълъг пренос на данни. OCM позволява преглеждане на мощността на всеки канал на DROP-RX, EXP-RX, ADD-RX и LINE-TX портовете. Всяка стойност на мощност е обновена след определен период от време според активността на картата. 1x2 WXC обединява на изходният си порт оптичен канал със 100 GHz разстояние от ADD-RX или EXP-RX портовете.

ADD/DROP RX получава оптичен сигнал от мултиплексор и го препраща към 1x2 комутатора. ADD/DROP TX праща разделеният сигнал към мултиплексора. LINE-TX и LINE RX представляват входен и изходен порт на устройството. EXP-RX получава сигнал от другата част на NE и го праща към 1x2 комутатора. EXP-TX праща разделен сигнал към другата страна на NE. Параметри на устройството:

- Максимална входна мощност е 27dBm;
- Максимална загуба, дължаща се на поляризация - 0.8dB;
- Параметри за предусилвател:
  - Максимална изходна мощност е +17.5 dBm;
  - Усилване от 5 до 38 dB;
  - Максимален шум (при Усилване над 21 dB) е 7.5dB.

### 15454-40-SMR2-C=



Фиг 3.10 Блок схема на 40-SMR2-C

40-SMR2-C представлява 40 канален ROADM единичен оптичен модул, който заема един слот в 15454 платформата. Има интегриран оптичен предусилвател и допълнителен усилвател, OSC филтър, и 4x1 комутатор по дължина на вълна.

OSC филтъра представлява филтър, който позволява добавянето на OSC канал към С-оптичния прозорец. OSCM картата, която е свързана към OSC портовете генерира OSC канала. Предусилвателя е 2-стъпален EDFA. Позволява на вмъкване на DCU между DC портовете за компенсация на хроматична дисперсия. Също така има вграден оптичен затихвател (VOA) и усилвателен филтър, който компенсира за по-дълъг пренос на данни. OCM позволява преглеждане на мощността на всеки канал на DROP-RX, EXP-RX, ADD-RX и LINE-TX портовете. Всяка стойност на мощност е обновена след определен период от време според активността на картата. 1x4 WXC обединява на изходният си порт оптичен канал със 100 GHz разстояние от ADD-RX или EXi-RX(където  $i = 1,2,3$ ) порт. Допълнително, този комутатор позволява слагане на различна мощност на всеки канал и неговото контролиране.

Основна разлика между SMR1-C и SMR2-C е допълнителният усилвател на SMR2-C. Този едностъпален EDFA усилвател усилва изходният сигнал от комутатора преди излъчване във влакното. Той постоянно усилва с 17 dB, без възможност за промяна на параметъра.

Параметри на устройството:

- Максимална загуба на сигнала е 6 dB (EXP-RX/LINE-TX/ADD-RX/LINE-TX);
- Максимална входна мощност е 27dBm;
- Максимална загуба, дължаща се на поляризация - 0.8dB;
- Параметри за предусилвател:
  - Максимална изходна мощност е +17.5 dBm;
  - Усилване от 5 до 38 dB;



- Максимален шум(при Гейн  $\geq 21$  dB) е 7.5dB;
- Параметри на допълнителен усилвател:
  - Изходно усиление - 17dB;
  - Гейн - между 13 и 26 dB;
  - Макс. шум(при Гейн над 17 dB) е 6 dB.

### **15216-EF-40-ODD=**

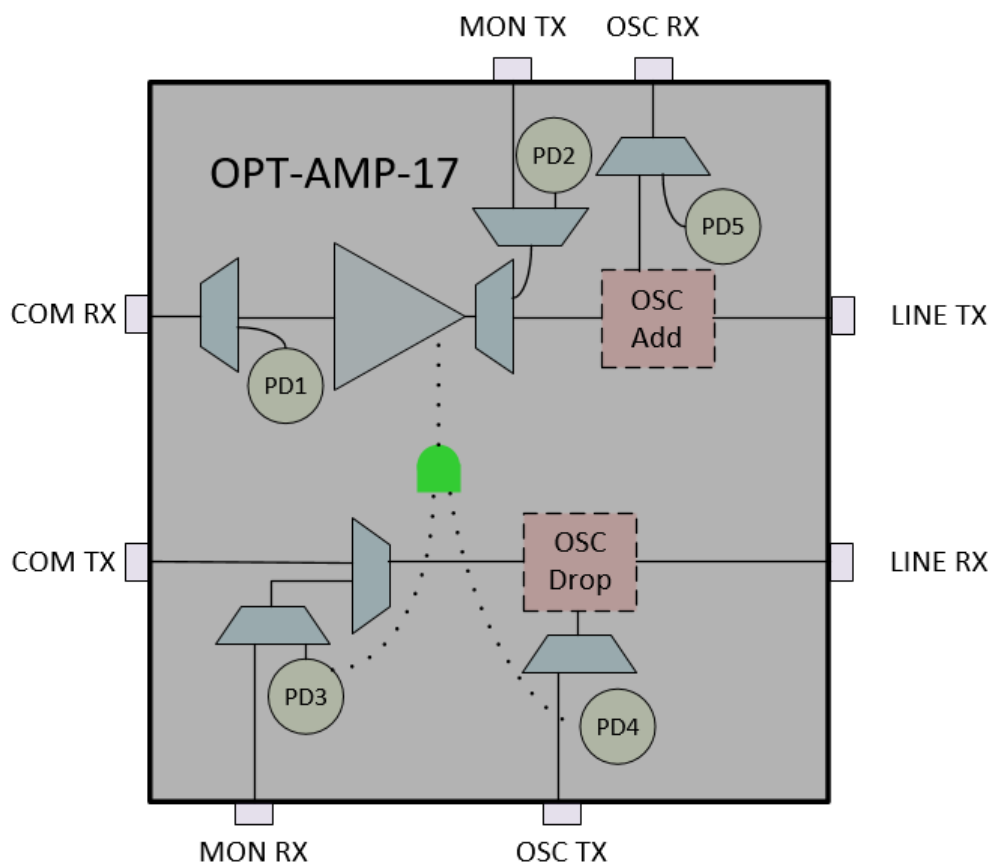


Фиг. 3.11 Мултиплексор EF-40-ODD

Пач панел с вграден 40 накален оптичен мултиплексор и демултиплексор. Използва се заедно с ROADM SMR-1 и SMR-2 устройствата. Не използва електрическо захранване. Използва канали с разстояние 100 GHz като първият канал е 1530.33nm. Параметри:

- Минимална входна мощност е 300 mW;
- Затихване с 40 dB;
- PMD е 0.5 ps;
- Хроматична дисперсия е  $\pm 12.0$  ps/nm.

### **15454-OPT-AMP-17C=**



Фиг. 3.12 Блок схема на OPT-AMP-17

OPT-AMP-17 представлява оптичен EDFA усилвател във формата на модул, който заема един слот в 15454 платформата. Може да бъде използван като предусилвател или усилвател, като усилва сигнала с 17 dB. Има възможност за добавяне на OSC канал, който се свързва към OSCM картата. Предлага усилване с много малък шум в оптичния C прозорец.

### **Cisco Transport Node Controller “15454-M-TNCE-K9=”**

Представяват карта, която поддържа OSC функционалност. Един или два OSC порта могат да бъдат конфигурирани като OSC начало/край на връзка. Допълнително, тези портове могат да бъдат конфигурирани с Fast Ethernet или Gigabit Ethernet стандарт за допълнителна честотна лента за бъдещи архитектури. Картата поддържа и Оптични анализи на времеви

домейни (OTDR). С тази технология се измерва загуба на сигнала и аномалии по влакното.

### **Cisco Transport Shelf Controller “15454-M-TSCE-K9=”**

Представява карта, която поддържа връзка между допълнителни шасита. ONS 15454 TNC, TNCE, TSC, TSCE и TNCS картите комбинирани с външен свързващ блок (ECU) позволяват каскадно конфигуриране до 50 поредни рафта. Картата поддържа ToD (време от ден) с PPS (пулс на всяка секунда). Има същата функционалност като TNC карта, но с разлика, че не поддържа OSC канал.

### **NCS2K-400GXP-L-K9=**

Модулна карта транспондер за Cisco ONS 15454, представляваща мукспондер. Има възможност за 400 Gbps скорост. Използва CFP2 интерфейси по 100 Gbs и един порт за WDM.

### **NCS2K-200G-CK-LIC=**

Модулна карта транпондер за Cisco ONS 15454. на възможност за 200 Gbps скорост. Използва CFP2 интерфейси.

### **NCS2K-100G-CK-C=**

Модулна карта транпондер за Cisco ONS 15454. Има възможност за 100 Gbps скорост. Може да се конфигурира като транспондер, мукспондер или регенератор.

### **15454-M-10X10G-LC=**

Модулна карта транпондер за Cisco ONS 15454. Има 10 порта работещи на 10Gbps скорост с интерфейс SFP+.

### **CPAK-100G-SR10=**

Приемно-предавателно устройство. Използва 850 nm дължина на вълна, скорост на предаване 100Gb/s. Използва MPO/MTP-24 конектор.

#### **Cisco ONS-SC+-10G-SR=**

Приемно-предавателно устройство с накрайник SFP+. Използва 850 nm дължина на вълна, скорост на предаване 10Gb/s и максимална дистанция на предаване 300 м. Изходът е двупосочен LC конектор.

#### **ONS-QC-16GFC-SW=**

Приемно-предавателно устройство с накрайник QSFP+. Използва дължини на вълни от 840 до 860 nm, съдържа 4 канала със скорост на предаване 16 Gbps. Тип конектор - FC.

#### **ONS-CFP2-WDM=**

Оптичен CFP2 модул за Cisco ONS устройства. Скорост на предаване 200 Gbps. Има 1 WDM интерфейс.

#### **ONS-SC+-10G-C=**

Приемно-предавателно устройство с накрайник SFP+. Използва 1530-1565 nm дължини на вълни и скорост на предаване 10Gb/s. Комбинирани сигнали могат да бъдат с 50 GHz разстояние между отделените дължини. Изходът е LC конектор.

#### **ONS-SE-155-1510=**

Приемно-предавателно устройство с накрайник SFP. Използва дължина на вълна 1510 nm, изход със скорост 155Mbps. Тип конектор - FC.

#### **15454-M6-SA=**

Представява Cisco ONS 15454 M6 шаси, в което се слагат всички DWDM карти.

**15454-M6-FTA2=**

Представява шаси с вентилатори за охлаждане на мрежовото оборудване.

**15454-M6-LCD=**

Представява мрежова карта с LCD екран и памет.

**15454-BLANK=**

Компонент, използван за заемане на неизползвани слотове в шасита.

**15454-M6-DC40=**

40A DC контактен филтър за MSTP шаси.

**15454-MPO-XMPO-2=**

Многоvlakнест пачкорд – MPO към MPO –инвертиран, 2 метра.

**ONS-CCC-100G-5=**

CXP-CFP MPO кабел, 5 метра.

**15454-LC-LC-2=**

Кабел LC към LC, 2 метра.

**15454-M-USBCBL=**

USB кабел

### 3.6 Физическа свързаност

Физическата свързаност представлява физическото окабеляване във всеки град. В таблици 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 и 3.8 е показана свързаността между устройствата в петте сайта в табличен вид. Описани са, чрез Име на града, в който се намират, типа използван кабел, място на рака и шасито, и самото използвано устройство. Компонентите използват следните портове за свързаност:

Оптичният усилвател OPT-AMP-17 използва портове LINE TX и LINE RX за свързаност панел за външна свързаност. Портове COM TX и COM RX са използват за свързаност с 40-SMR1-C. Портове OSC TX и OSC RX са използват за свързаност с карта TNC-E.

ROADM 40-SMR1-C използва портове LINE TX и LINE RX за свързаност с оптичен усилвател OPT-AMP-17. Портове DROP TX и ADD RX се използват за свързаност с мултиплексор EF-40-ODD. Портове EXP TX и EXP RX се използват за свързаност с ROADM 40-SMR1-C. Портове DC TX и DC RX на устройството се свързват един с друг през затихвател от 4dB.

ROADM 40-SMR2-C използва портове LINE TX и LINE RX за свързаност с панел за външна свързаност. Портове DROP TX и ADD RX се използват за свързаност с мултиплексор EF-40-ODD. Портове EXP TX и EXP1 RX се използват за свързаност с ROADM 40-SMR2-C. Портове DC TX и DC RX на устройството се свързват един с друг през затихвател от 4dB. Портове OSC TX и OSC RX са използват за свързаност с карта TNC-E.

Карта за контрол на възли TNC-E използва портове SFP2-TX SFP2-RX за свързаност с оптичен усилвател OPT-AMP-17 или ROADM 40-SMR2-C.

Мультиплексорите EF-40-ODD използват портове 1-TX, 1-RX, 2-TX, 2-RX, 3-TX, 3-RX, 4-TX, 4-RX, 6-TX, 6-RX, 39-TX, 38-TX, 39-RX, 39-RX за свързаност с транспондер карти.

Транспондер карта 400G-XP-LC използва портове 11-TX, 11-R, 12-TX, 12-RX за свързаност с EF-40-ODD.

Транспондер карта 100G-CK-LC-C използва портове 2-TX, 2-RX за свързаност с EF-40-ODD.

Транспондер карта 200G-CK-LC-C използва портове 2-TX и 2-RX за свързаност с EF-40-ODD.

Транспондер карта 10X10G-LC използва портове 2-TX, 2-RX, 4-TX, 4-RX, 6-TX, 6-RX, 8-TX, 8-RX, за свързаност с EF-40-ODD.

Type	Position	Unit	Port label	Position	Unit	Port label
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	LINE RX
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	LINE RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	OSC RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
MPO-XMPO-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	EXP	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	EXP
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	4-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	6-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	8-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	400G-XP-LC	11-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	400G-XP-LC	12-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	8-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	400G-XP-LC	12-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	40-SMR2-C	ADD RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	4-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	10X10G-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	400G-XP-LC	11-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	40-SMR2-C	ADD RX

Таблица 3.4 Свързаност в град Берн

Type	Position	Unit	Port label	Position	Unit	Port label
------	----------	------	------------	----------	------	------------



Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE RX
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	ADD RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	ADD RX

Таблица 3.5 Свързаност в град Уилисау

Type	Position	Unit	Port label	Position	Unit	Port label
------	----------	------	------------	----------	------	------------

Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE RX
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	ADD RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	ADD RX

Таблица 3.6 Ссвързаност в град Цюрих

Type	Position	Unit	Port label	Position	Unit	Port label
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE RX

Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	ADD RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	ADD RX

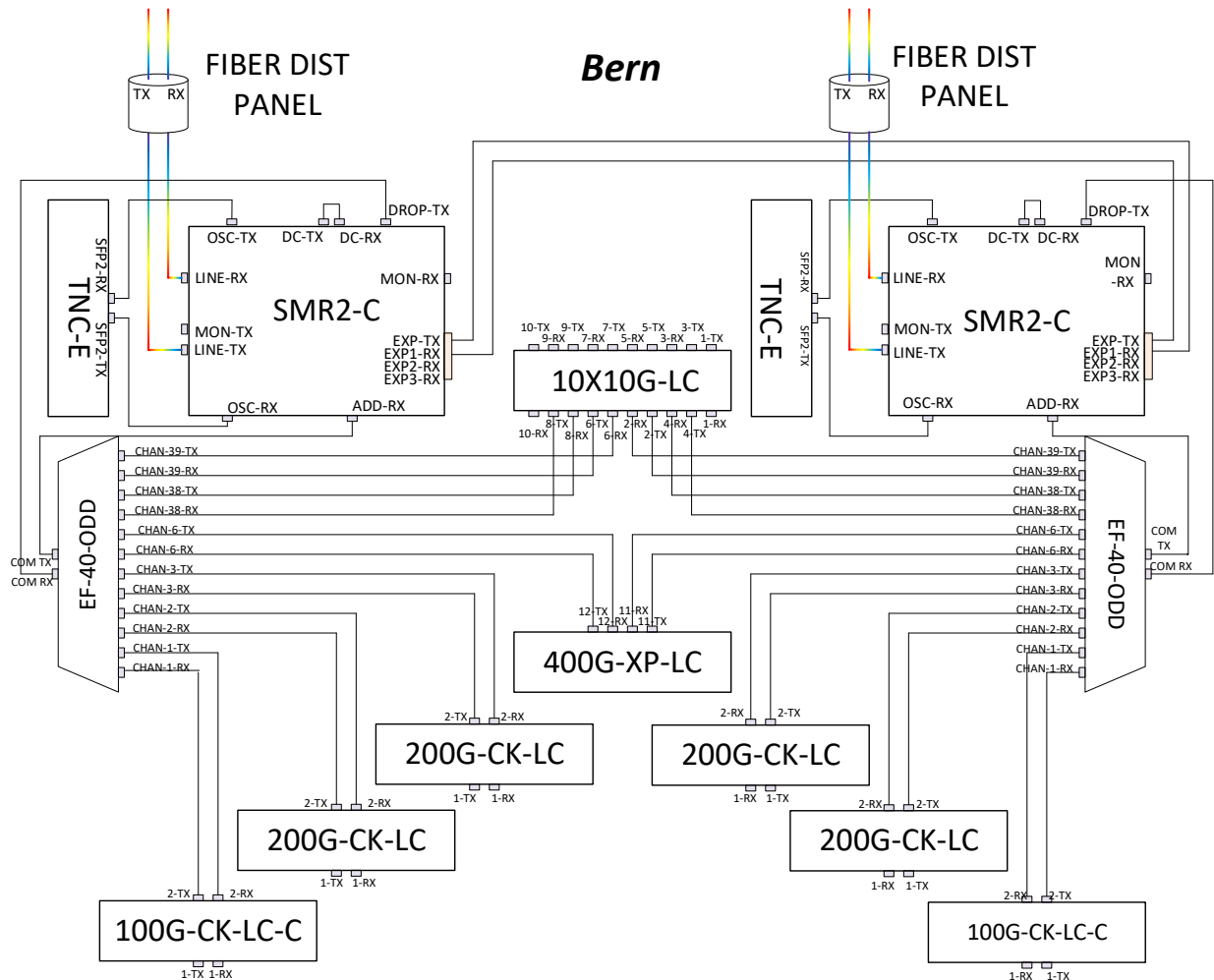
Таблица 3.7 Свързаност в град Люцерн

Type	Position	Unit	Port label	Position	Unit	Port label
------	----------	------	------------	----------	------	------------

Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE RX
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 1	TNC-E	SFP2_RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 2	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
ATT-0dB	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	DROP TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	EXP TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	EXP RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	LINE RX
Fiber	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	LINE TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 8	TNC-E	SFP2_TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 7	OPT-AMP-17	OSC RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	100G-CK-LC-C	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-TX	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 2	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	8-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	6-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	11-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 1.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 3	40-SMR1-C	ADD RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-1-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 6	100G-CK-LC-C	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-2-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-38-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	4-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-39-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 3	10X10G-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1.M6 Chassis 2.Slot 5	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1.M6 Chassis 3.Slot 2	400G-XP-LC	12-RX
LC-LC-2	Rack 1.MD-40 SHELF 2.Slot 1	EF-40-ODD	COM TX	Rack 1.M6 Chassis 1.Slot 6	40-SMR1-C	ADD RX

Таблица 3.8 Свързаност в град Бьониген

Фигурите 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 и 3.14 представят физическата свързаност между устройствата в отделните градове. За всяка фигура, подредбата на портове на транспондер карти 10X10G-LC и 400G-XP-LC е променена за по-добра прегледност. Това се налага, поради факта, че във всеки град свързаността на тези устройства се отличава.

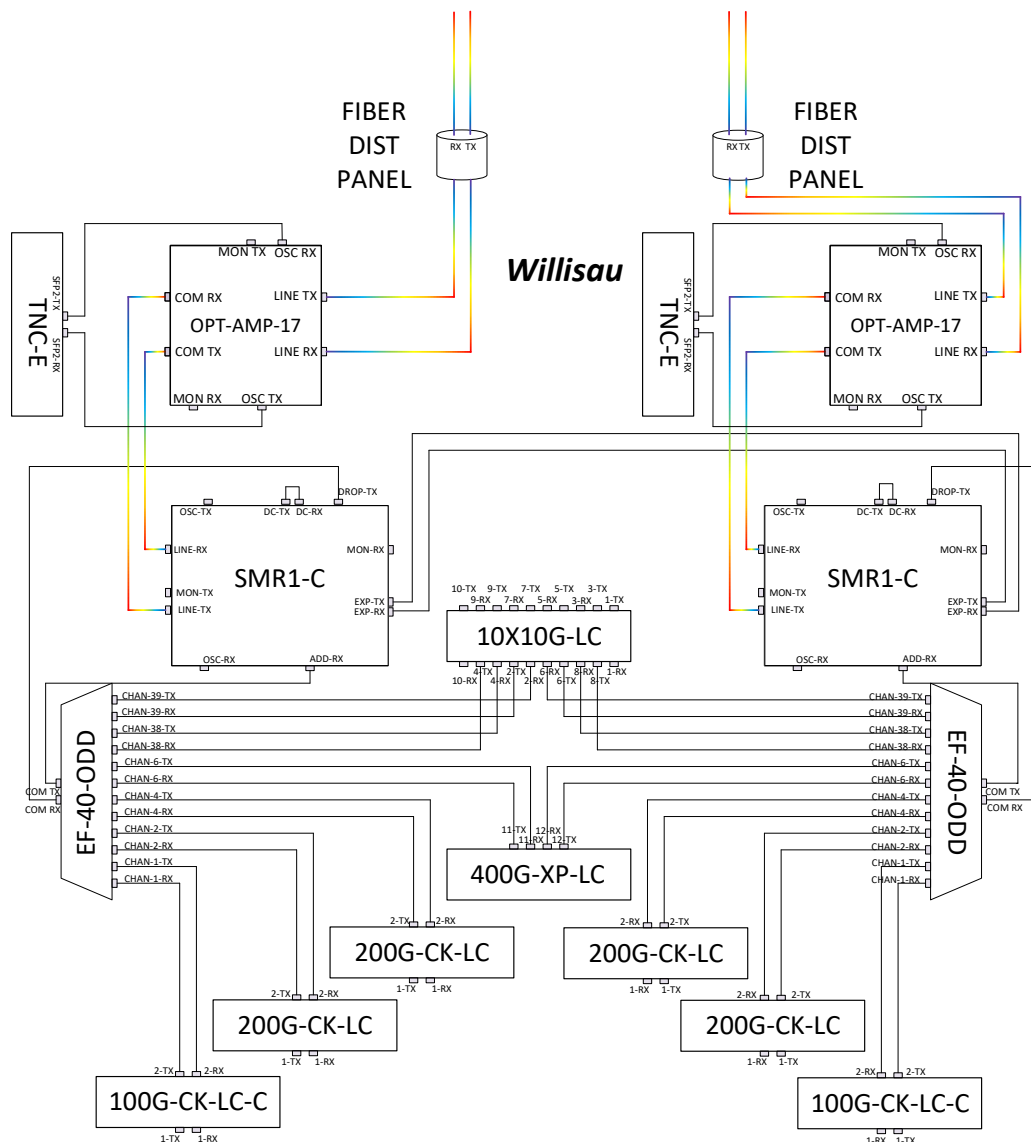


Фиг. 3.10 Физическа свързаност в град Берн.

Съществените разлики в град Берн са следните:

- Мултиплексорите EF-40-ODD използват портове 1-TX, 1-RX, 2-TX, 2-RX, 3-TX, 3-RX, 6-TX, 6-RX, 39-TX, 38-TX, 39-RX, 39-RX;
- Транспондер картата 10X10G-LC използва портове 6-TX, 6-RX, 8-TX и 8-RX за свързаност с първия мултиплексор EF-40-ODD (портове 39-RX, 39-TX, 38-RX и 38-TX) и портове 2-TX, 2-RX, 4-TX, 4-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD(портове 39-RX, 39-TX, 38-RX и 38-TX);

- Транспондер картата 400G-XP-LC използва портове 12-TX и 12-RX за свързаност с първия мултиплексор EF-40-ODD (портове 6-RX и 6-TX) и портове 11-TX и 11-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD (портове 6-RX и 6-TX);
- Това е единственият град в, който се използва ROADM 40-SMR2-C. В този случай ROADM-ите са свързани с TNC-E картите и панелите за външна свързаност.

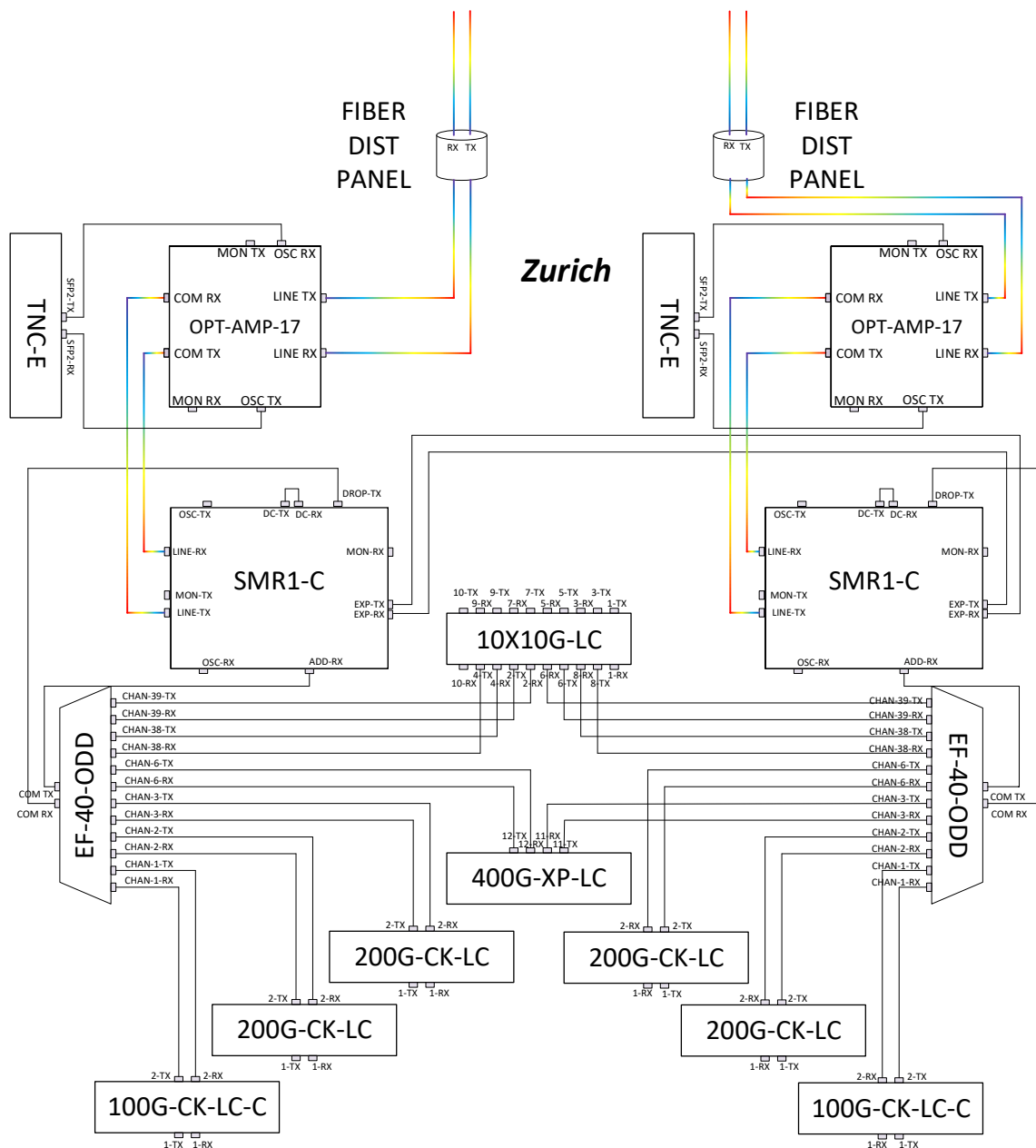


Фиг. 3.11 Физическа свързаност в град Уилисау.

Същественият разлики в град Уилисау са следните:

- Мултиплексорите EF-40-ODD използват портове 1-TX, 1-RX, 2-TX, 2-RX, 4-TX, 4-RX, 6-TX, 6-RX, 39-TX, 38-TX, 39-RX, 39-RX;

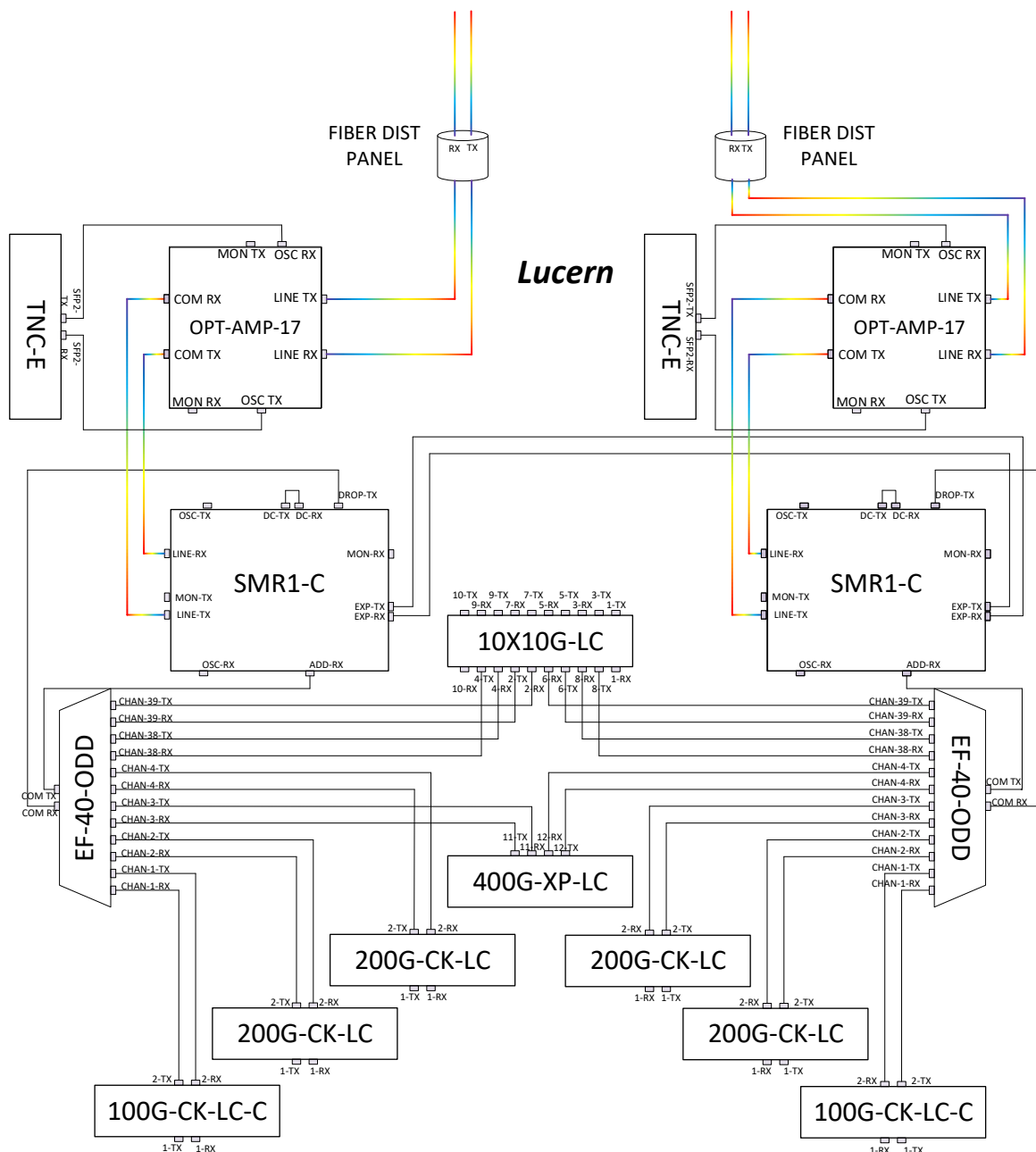
- Транспондер картата 400G-XP-LC използва портове 11-TX и 11-RX за свързаност с първия мултиплексор EF-40-ODD (портове 6-RX и 6-TX) и портове 12-TX и 12-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD (портове 6-RX и 6-TX);
- Вместо ROADM 40-SMR2-C се използва ROADM 40-SMR1-C и има допълнителни два оптични усилвателя OPT-AMP-17. Усилвателите са свързани с TNC-E картите и панелите за външна свързаност. Тази разлика се отнася и за градовете Цюрих, Люцерн и Бьониген.



Фиг. 3.12 Физическа свързаност в град Цюрих.

Съществените разлики в град Цюрих са следните:

- Мултиплексорите EF-40-ODD използват портове 1-TX, 1-RX, 2-TX, 2-RX, 3-TX, 3-RX, 6-TX, 6-RX, 39-TX, 38-TX, 39-RX, 39-RX;
- Транспондер картата 400G-XP-LC използва портове 12-TX и 12-RX за свързаност с първия мултиплексор EF-40-ODD (портове 6-RX и 6-TX) и портове 11-TX и 11-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD (портове 3-RX и 3-TX).

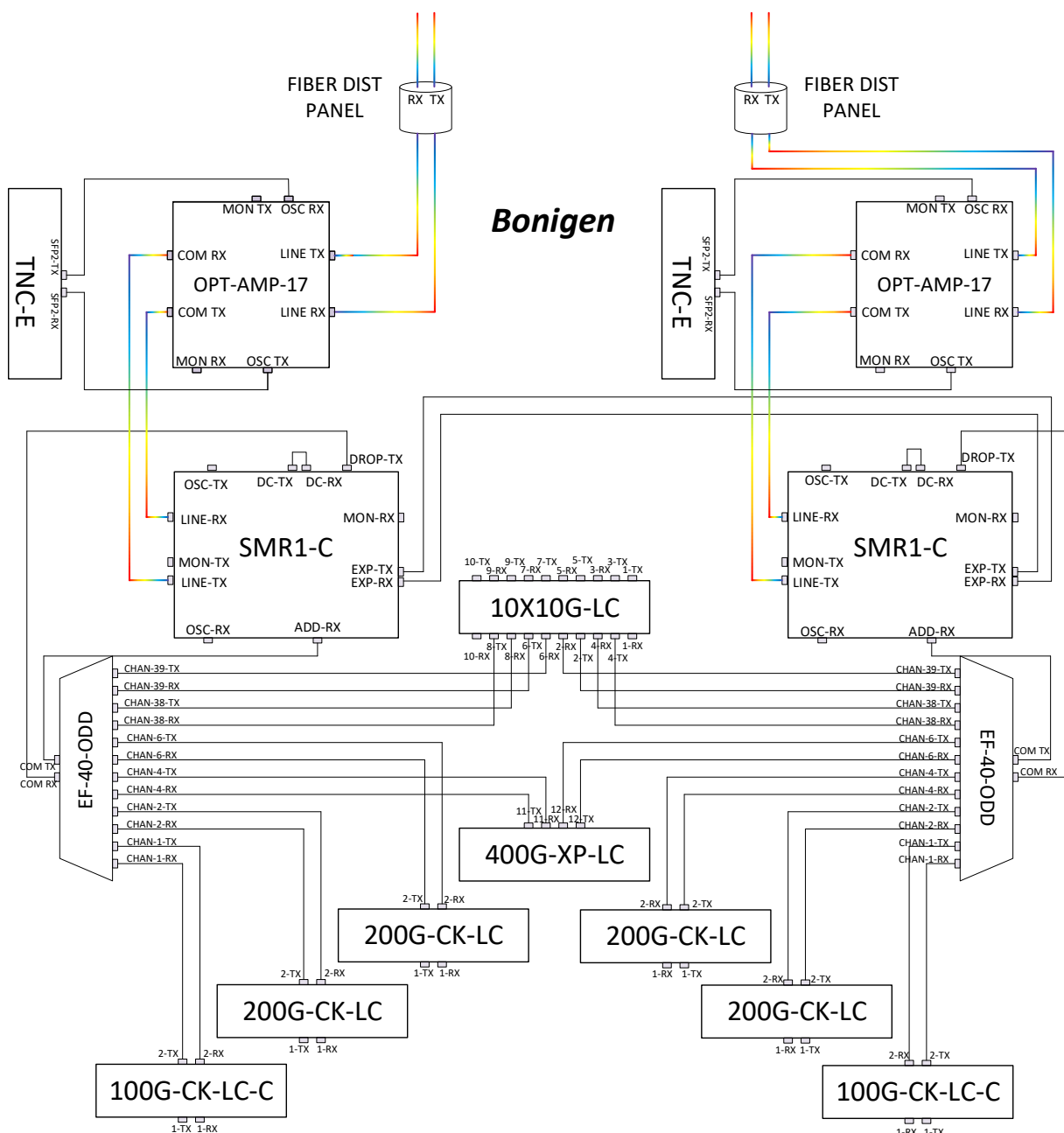


Фиг. 3.13 Физическа свързаност в град Люцерн.



Съществените разлики в град Люцерн са следните:

- Мултиплексорите EF-40-ODD използват портове 1-TX, 1-RX, 2-TX, 2-RX, 3-TX, 3-RX, 4-TX, 4-RX, 39-TX, 38-TX, 39-RX, 39-RX;
- Транспондер картата 400G-XP-LC използва портове 11-TX и 11-RX за свързаност с първия мултиплексор EF-40-ODD (портове 3-RX и 3-TX) и портове 12-TX и 12-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD (портове 4-RX и 4-TX).



Фиг. 3.14 Физическа свързаност в град Бьониген.

Съществените разлики в град Бьониген са следните:

- Мултиплексорите EF-40-ODD използват портове 1-TX, 1-RX, 2-TX, 2-RX, 4-TX, 4-RX, 6-TX, 6-RX, 39-TX, 38-TX, 39-RX, 39-RX;
- Транспондер картата 400G-XP-LC използва портове 11-TX и 11-RX за свързаност с първия мултиплексор EF-40-ODD (портове 4-RX и 4-TX) и портове 12-TX и 12-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD (портове 6-RX и 6-TX);
- Транспондер картата 10X10G-LC използва портове 6-TX, 6-RX, 8-TX и 8-RX за свързаност с първият мултиплексор EF-40-ODD (портове 39-RX, 39-TX, 38-RX и 38-TX) и портове 2-TX, 2-RX, 4-TX, 4-RX за свързаност с втория мултиплексор EF-40-ODD(портове 39-RX, 39-TX, 38-RX и 38-TX).

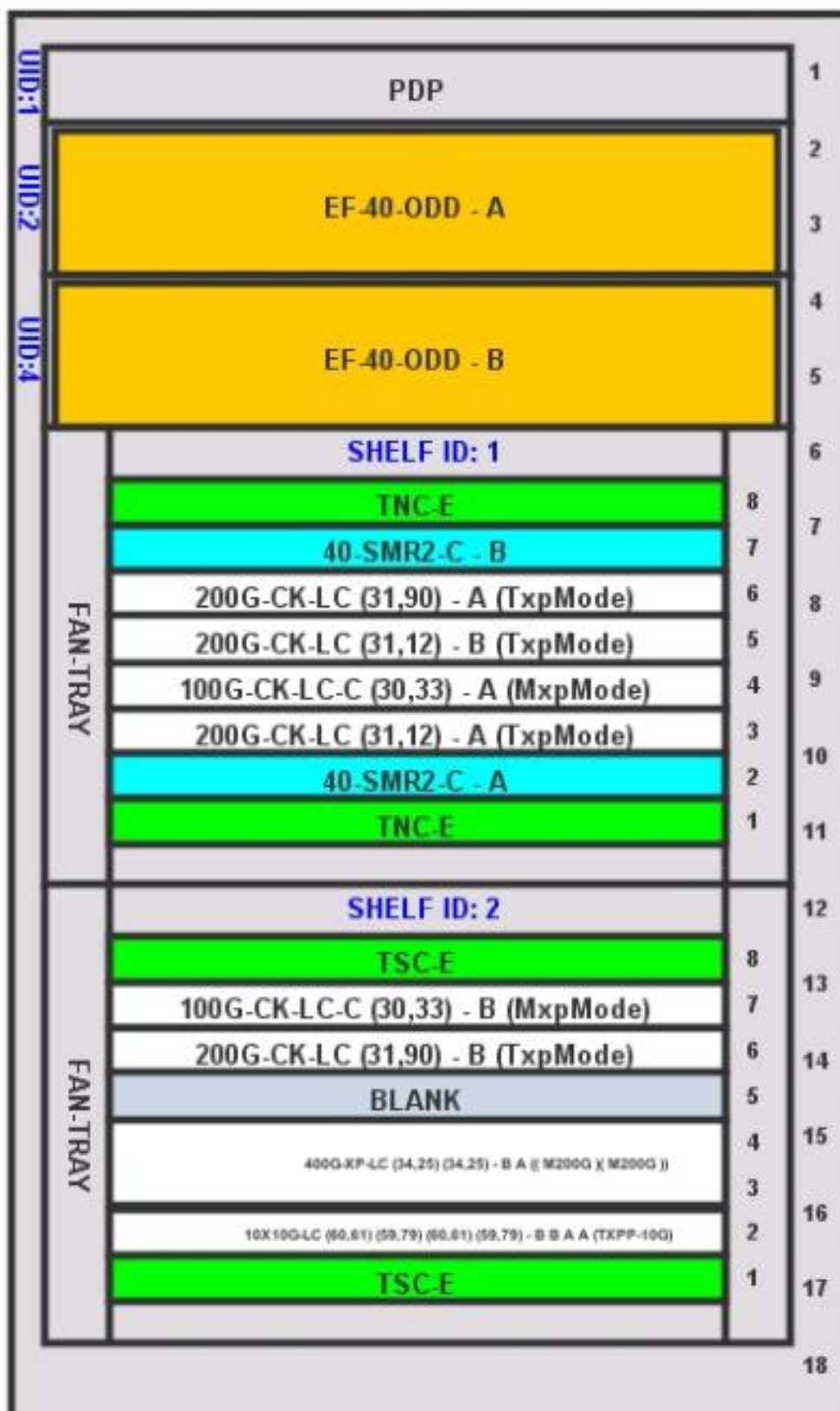
### **3.7 Физическо разположение**

На фигури 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 и 3.19 са показани всички карти с тяхната подредба в Cisco 15454 шасита. Тези шасита са подредени в ракове.

На първи ред на всеки рак се слага разпределител на захранване за компонентите. Втори и трети, както и четвърти и пети ред се използват за пач панели на мултиплексорите EF-40-ODD. На първи и осми ред на самите шасите се слагат TNC-E карти, като останалите редова могат да се използват произволно. В града Bern, се използват две шасита, като във всеки друг град са разположени по три.

# Bern

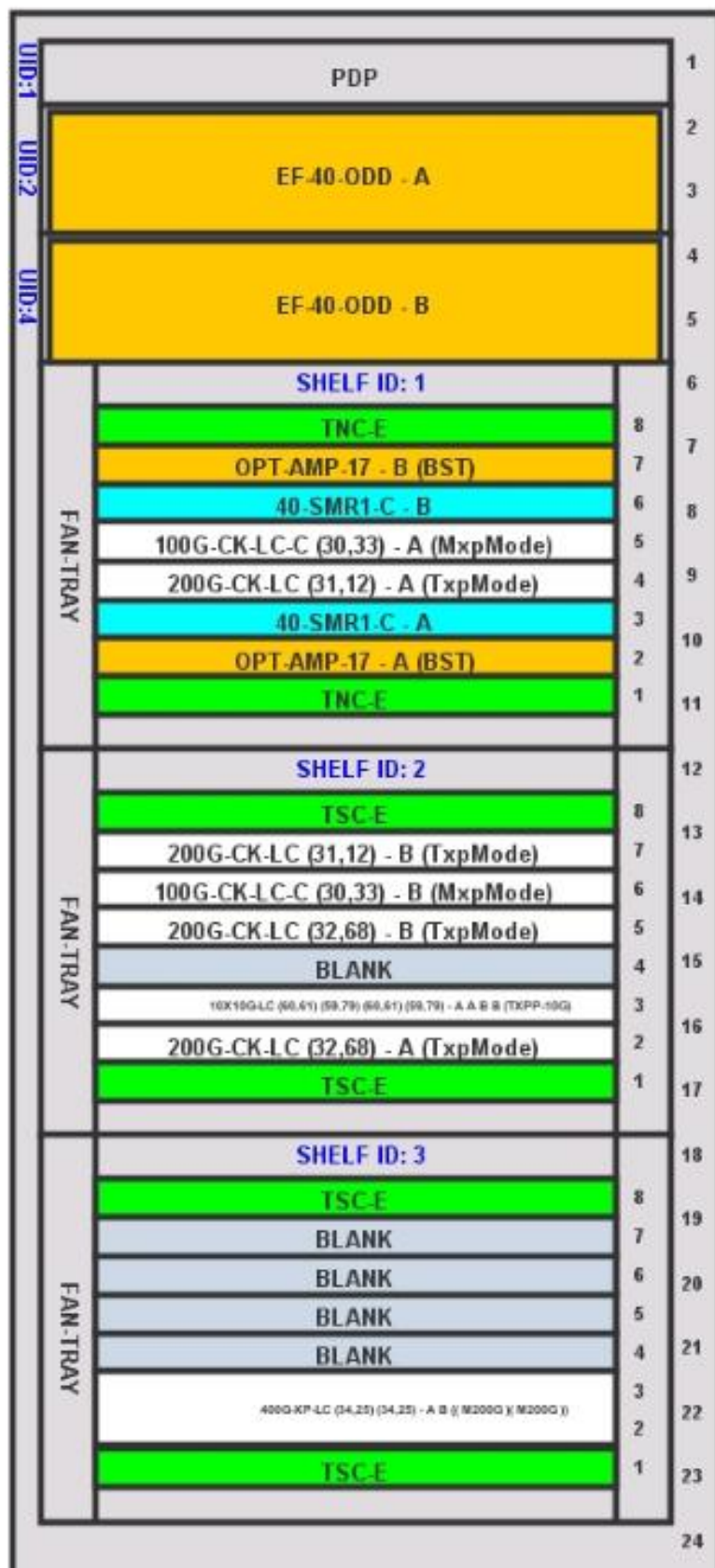
## Rack-1



Фиг. 3.15 Разположение на шасита в Bern

# Willisau

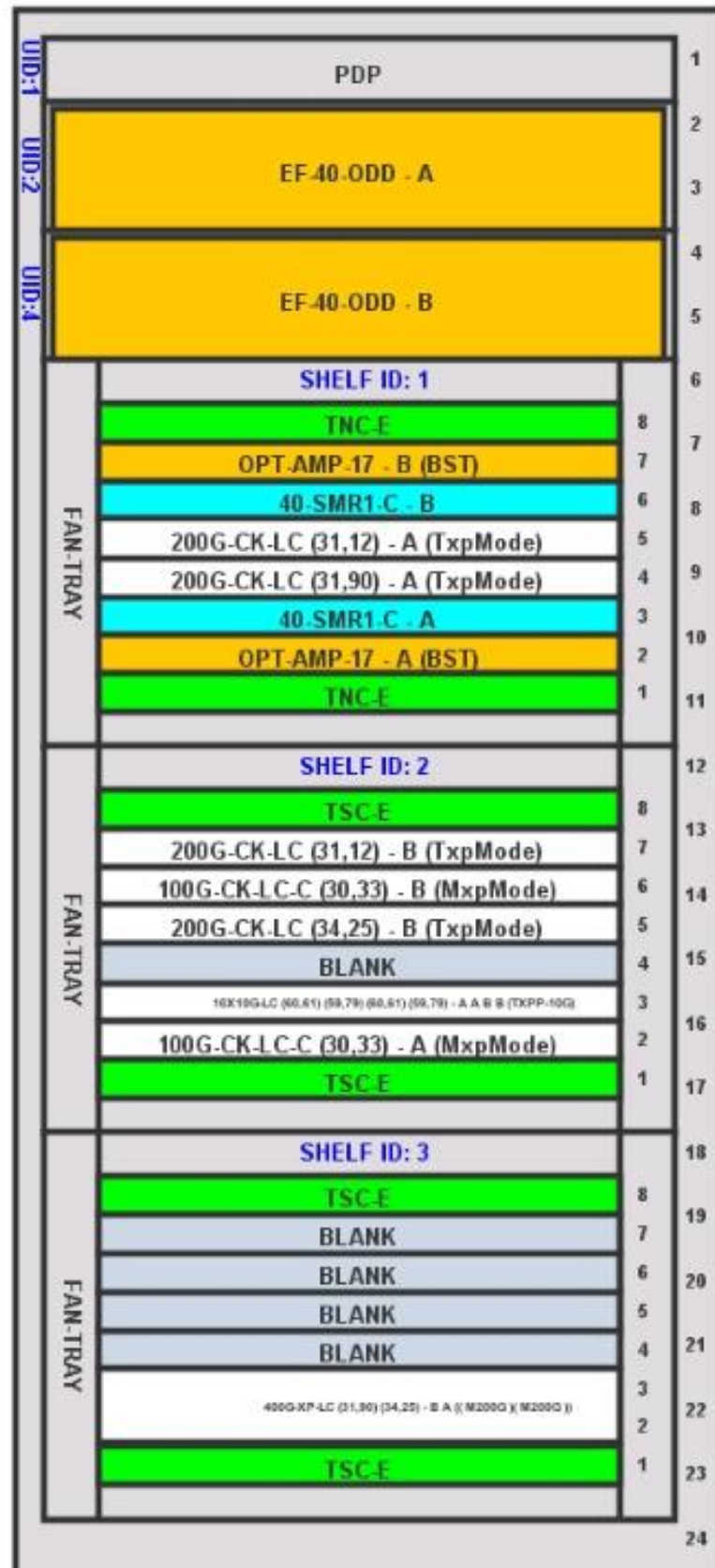
## Rack-1



Фиг. 3.16 Разположение на шасита в Willisau

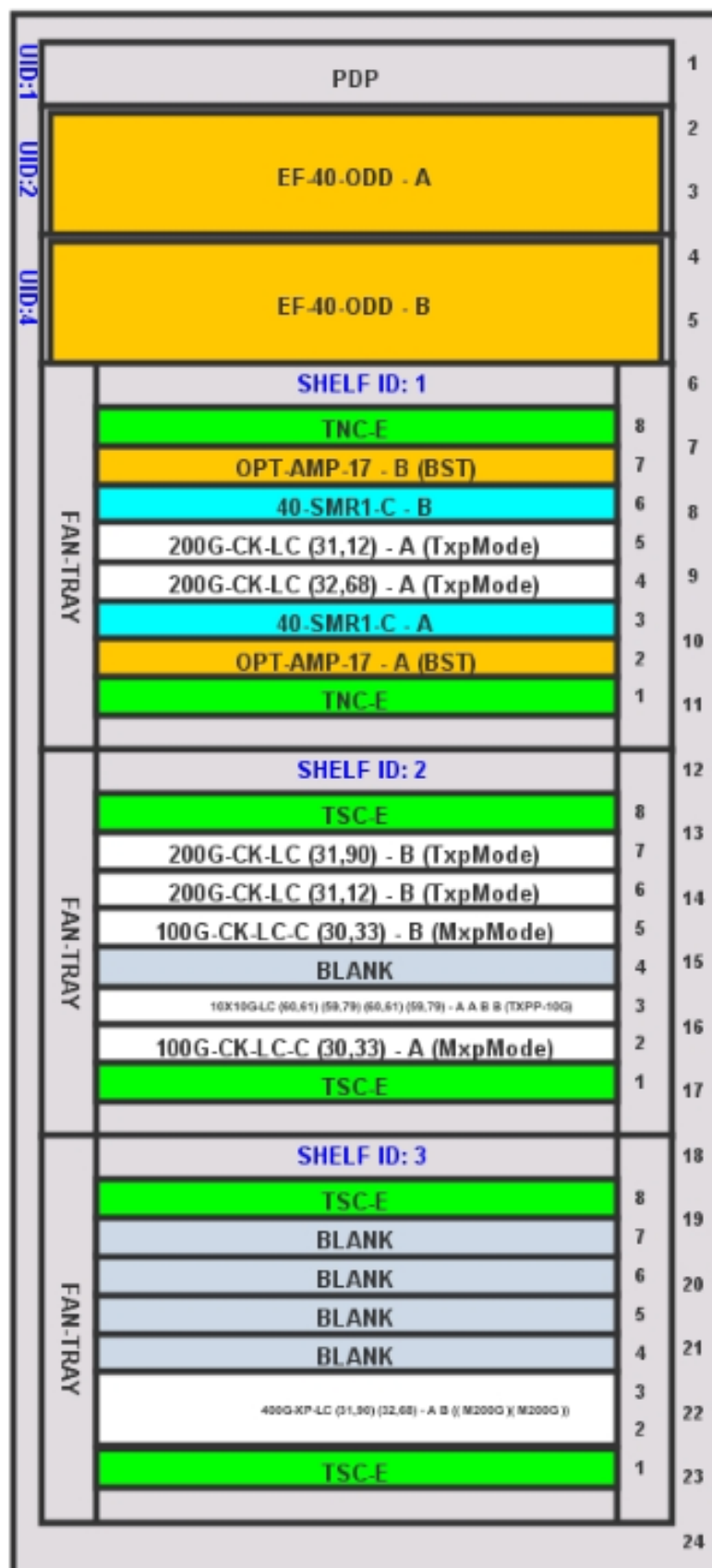
# Zurich

## Rack-1



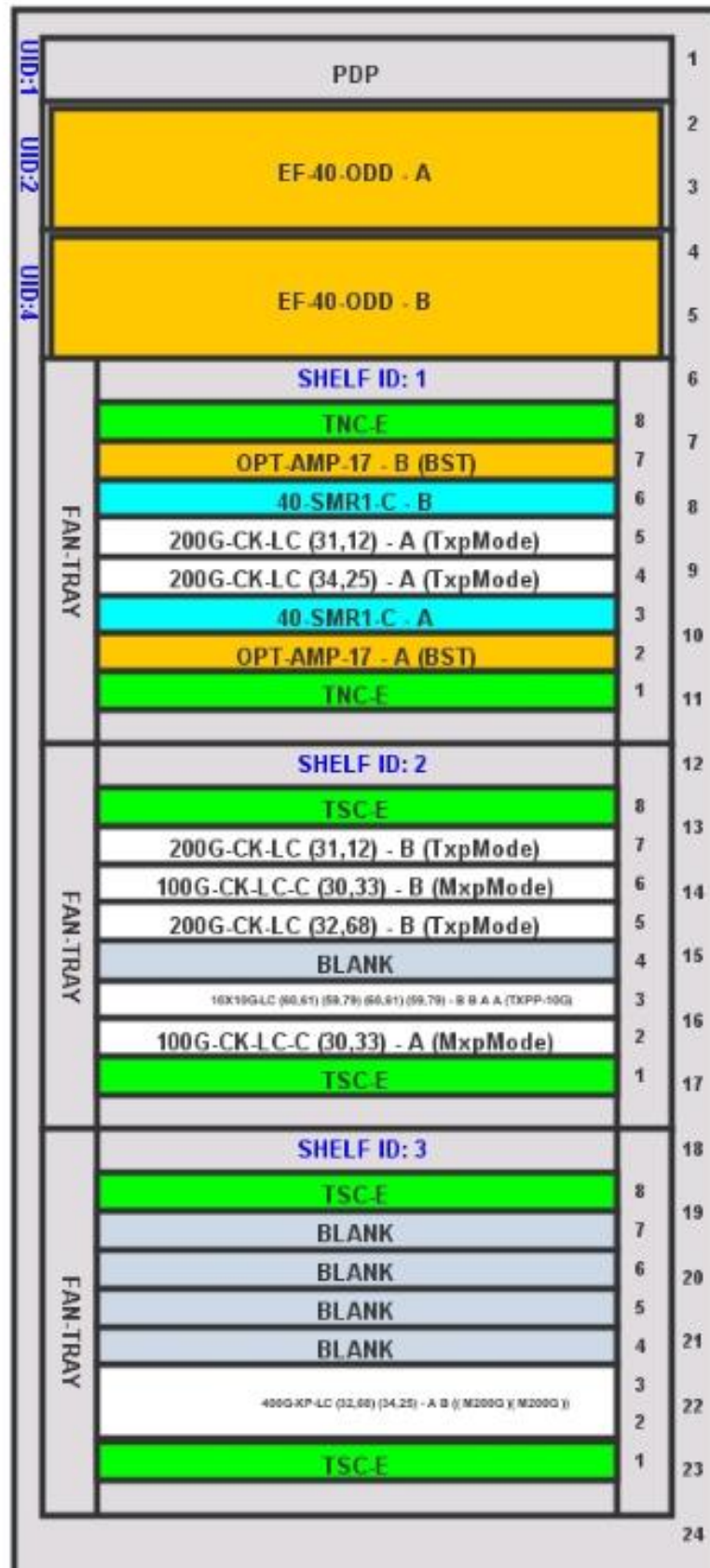
Фиг. 3.17 Разположение на шасита в Zurich

# Lucern Rack-1



Фиг. 3.18 Разположение на шасита в Lucern

# Bonigen Rack-1



Фиг. 3.18 Разположение на шасита в Bonigen

На таблица 3.9 е показан лист с използваните. Той представлява всички компоненти използване за изграждане на мрежата. Компонентите са DWDM шасита, DWDM карти, кабели, панели, пач корди и приемно-предавателни устройства. Използваните компоненти са представени с техните имена, общ брой за цялата мрежа и отделно количество за всеки град.

Product ID	Quantity	Bern	Willisau	Zurich	Lucern	Bonigen
15454-M-TNCE-K9=	10	2	2	2	2	2
15454-M-TSCE-K9=	18	2	4	4	4	4
ONS-SC+-10G-SR=	20	4	4	4	4	4
CPAK-100G-SR10=	30	6	6	6	6	6
ONS-QC-16GFC-SW=	10	2	2	2	2	2
ONS-CFP2-WDM=	10	2	2	2	2	2
15454-M6-SA=	14	2	3	3	3	3
NCS2006-ECU-S=	14	2	3	3	3	3
15454-M6-FTA2=	14	2	3	3	3	3
15454-M6-LCD=	14	2	3	3	3	3
15454-BLANK=	21	1	5	5	5	5
15454-M6-DC40=	28	4	6	6	6	6
15454-40-SMR2-C=	2	2	0	0	0	0
ONS-MPO24-2MPO12=	10	2	2	2	2	2
15454-MPO-XMPO-2=	1	1	0	0	0	0
ONS-CCC-100G-5=	20	4	4	4	4	4
15454-LC-LC-2=	160	32	32	32	32	32
15216-EF-40-ODD=	10	2	2	2	2	2
ONS-SC+-10G-C=	20	4	4	4	4	4
NCS2K-200G-CK-LIC=	20	4	4	4	4	4
15454-M-10X10G-LC=	5	1	1	1	1	1
NCS2K-400GXP-L-K9=	5	1	1	1	1	1
NCS2K-100G-CK-C=	10	2	2	2	2	2
15454-M-USBCBL=	10	2	2	2	2	2
ONS-SE-155-1510=	10	2	2	2	2	2
15454-40-SMR1-C=	8	0	2	2	2	2
15454-OPT-AMP-17C=	8	0	2	2	2	2

Таблица 3.9 Лист на използваните материали



## **Заклучение**

В дипломната работа е проектирана и анализирана DWDM мрежа между градовете Bern, Willisau, Zurich, Lucern и Bonigen. Използван е лицензиран софтуер Cisco Transport Planner. Избраните устройства, включени в реализацията на оптичната свързаност между всеки град са подходящо избрани според зададените услуги: 10Gbps, 15GbFC, 40Gbps и 100Gbps. Анализирани са нивата на сигналите в оптичната мрежа на всички канали, като при нужда са добавени оптични усилватели. Използваните оптични влакна са G.655. Начертани са подходящи логически и физически топологии на мрежата.

Мрежата дава възможност за бъдещо развитие. Проектираното DWDM решение може да бъде разширено с добавянето на допълнителни канали между градовете и да се добавят допълнителни крайни точни.

## Исползвана литература

1. Abdul Aoual Talukder, S M Nazmul Mahmud „Dense Wavelength Division Multiplexing (Dwdm) Transmission System with Optical Amplifiers in Cascade“
2. Jean-Pierre Laude „DWDM Fundamentals, Components, and Applications“
3. Cisco Systems, Inc. „Introduction to DWDM Technology“
4. Cisco Systems, Inc. „CISCO TRANSPORT PLANNER DWDM OPERATIONS GUIDE, SOFTWARE RELEASE 10.6“
5. Understanding Wavelengths in Fiber Optics  
<https://www.thefoa.org/tech/wavelength.htm>
6. Optical fiber loss and attenuation  
<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95048006-optical-fiber-loss-and-attenuation>
7. What is optical fiber dispersion?  
<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95052678-what-is-optical-fiber-dispersion>
8. Anritsu Corporation, “Dispersion in Optical Fibers”  
[https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Technical-Notes/White-Paper/Disp\\_in\\_Opt\\_Fibers\\_PMD\\_CD.pdf](https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Technical-Notes/White-Paper/Disp_in_Opt_Fibers_PMD_CD.pdf)
9. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)  
<https://www.pandacomdirekt.com/en/technologies/wdm/what-is-dwdm.html>
10. CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)  
<https://www.pandacomdirekt.com/en/technologies/wdm/what-is-cwdm.html>
11. CWDM/DWDM ITU Channels Guide  
<https://community.fs.com/blog/cwdmdwdm-itu-channels-guide.html>
12. EDFA- erbium-doped fiber amplifier  
<https://www.webopedia.com/TERM/E/EDFA.html>
13. Raman Amplifiers  
[https://www.rp-photonics.com/raman\\_amplifiers.html](https://www.rp-photonics.com/raman_amplifiers.html)
14. Do you know MUX and DEMUX in WDM?  
<https://medium.com/@hycsystem/do-you-know-mux-and-demux-in-wdm-8bc3970253a1>

15.OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) Tutorial

<https://community.fs.com/blog/oadm-optical-add-drop-multiplexer-tutorial.html>

16.Cisco ONS 15454 DWDM Control Card and Node config. Guide

[https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r10\\_0/dwdm/controlcard\\_nodeconfig/guide/b\\_ons\\_control\\_card\\_node\\_config/b\\_ons\\_control\\_card\\_node\\_config\\_chapter\\_01101.html#ID231](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r10_0/dwdm/controlcard_nodeconfig/guide/b_ons_control_card_node_config/b_ons_control_card_node_config_chapter_01101.html#ID231)

17. Cisco ONS-SC+-10G-SR Compatible 10GBase- SR SFP+ Transciever

<https://www.optcore.net/product/ons-sc-10g-sr-c/>

18.Cisco ONS 15216 Mux/Demux 40-Channel Patch Panel

[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15200-series-dwdm-systems/data\\_sheet\\_c78-720170.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15200-series-dwdm-systems/data_sheet_c78-720170.html)

19.Pluggable Optical Modules: Transcievers for the Cisco ONS Family Data

Sheet <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/datasheet-c78-736938.html>

20.Cisco NCS 2000 200-Gbps Multirate DWDM Line Card Data sheet

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/datasheet-c78-733699.html>

21.Cisco NCS 2000 100-Gbps Cogent DWDM Trunk Card

[https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/data\\_sheet\\_c78-729401.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/data_sheet_c78-729401.html)

22.ONS-SE-155-1510

<https://edgeoptic.com/products/cisco/ons-se-155-1510/>

23.Fiber Dispersion and Optical Dispersion- an Overview

[https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95051206-fiber-dispersion-and-optical-dispersion-an-overview?fbclid=IwAR1Y\\_0V7l-noXF-jO02jzqBgjbZVkdK-M3sBp5g\\_4ylS48\\_Zr8A41lEQtTc](https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95051206-fiber-dispersion-and-optical-dispersion-an-overview?fbclid=IwAR1Y_0V7l-noXF-jO02jzqBgjbZVkdK-M3sBp5g_4ylS48_Zr8A41lEQtTc)

24. Chromatic Dispersion and Polarization Mode dispersion (PMD)

[https://www.lightreading.com/chromatic-dispersion-and-polarization-mode-dispersion-\(pmd\)/d/d-id/575132?fbclid=IwAR3MNSwVJQb3BB\\_bn4Nbmy0YHAMJM0uTlhOgxUZGiYJNY\\_rMig2s-nqm5KM](https://www.lightreading.com/chromatic-dispersion-and-polarization-mode-dispersion-(pmd)/d/d-id/575132?fbclid=IwAR3MNSwVJQb3BB_bn4Nbmy0YHAMJM0uTlhOgxUZGiYJNY_rMig2s-nqm5KM)

25. Cisco Transport Node Controller and Transport Shelf Controller Cards Data Sheet

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/datasheet-c78-602903.html>

# СЪДЪРЖАНИЕ

<b>Увод</b>	<b>1</b>
<b>Глава 1 - Оптични ефекти и видове оптични кабели</b>	
1.1 Дължина на вълната	2
1.2 Дифракция	3
1.3 Модове	4
1.4 Затихване	5
1.4.1 Абсорбция	6
1.4.2 Разсейване	7
1.5 Дисперсия	12
1.6 Polarization Mode Dispersion (PMD)	13
<b>Глава 2 - Технологии за мултиплексиране на светлината по оптичен кабел основни компоненти на DWDM</b>	
2.1 Дефиниция за мултиплексиране	14
2.2 Wavelength Division Multiplexing	14
2.3 Coarse Wavelength Division Multiplexing	15
2.4 Dense Wavelength Division Multiplexing	16
2.5 Компоненти в DWDM	16
2.5.1 Оптични източници	17
2.5.2 Оптични усилватели	19
2.5.3 Мултиплексори и Демултиплексори	20
2.5.4 Транспондери	21
2.6 Оптичен надзирателен канал (OSC)	21
2.7 Оптичен времеви рефлектометър (OTDR)	22
<b>Глава 3 - Изграждане и симулиране на DWDM мрежа</b>	
3.1 Изисквания към дипломната работа	24
3.2 Топология на мрежата	24
3.3 Канали	26
3.4 Cisco Transport Planner	28
3.5 Блок диаграма и описание на DWDM компонентите	37
3.6 Физическа свързаност	45
3.7 Физическо разположение	57
<b>Заклучение</b>	<b>64</b>
<b>Използвана литература</b>	<b>65</b>