

# Optisk förstärkning

Vägledning- Optisk förstärkning med högeffektlasrar för  
fiberoptisk access

2020-05-18

Ver 1.0

**INNEHÅLL**

<b>1. INLEDNING</b>	<b>2</b>
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	2
1.3 Målgrupp	3
1.4 Om vägledningen / Standarder	3
<b>2. DEFINITIONER, FÖRTYDLIGANDEN OCH FÖRKORTNINGAR</b>	<b>4</b>
2.1 Definitioner och förtydliganden	4
2.2 Förkortningar	14
<b>3. RISKER OCH MINIMKRAV</b>	<b>15</b>
3.1 Allmänt	15
3.2 Laserprodukter	15
3.3 Optiska förstärkare	16
3.4 Kablar, kontakter och egendom	19
3.4.1 Allmänt	19
3.4.2 Kablar, kontakter och egendom	20
3.5 Person, ögon och hud	21
<b>4. TEKNISK ÖVERSIKT EFFEKTFÖRSTÄRKNING I FIBERFÖRBINDELSER</b>	<b>24</b>
4.1 Allmänt	24
4.2 Förstärkare och fiberförbindelser	25
4.3 Nedkoppling av fiberförbindelse med optiska förstärkare.	27
4.4 Reparationer, service och underhåll av förbindelser med optiska förstärkare	27
<b>5. DOKUMENTATION OCH MÄRKNING AV FÖRBINDELSER</b>	<b>28</b>
<b>6. ANSVAR</b>	<b>28</b>
<b>7. INFORMATION OCH AVTAL</b>	<b>29</b>
<b>8. LÄNKAR</b>	<b>30</b>
<b>BILAGOR</b>	<b>30</b>
Bilaga. Checklista för riskbedömning.	30
Bilaga. Undersökning och rengöring av optiska kontakter.	30
Bilaga. Exempel på Instruktion för arbete med optiskt förstärkta fiberförbindelser.	30

## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Optiska förstärkare har använts för att öka överföringskapaciteten på längre sträckor i de fiberoptiska näten under ett antal år. På senare tid har de även blivit aktuella på kortare avstånd mellan förstärkarstationer för att bland annat kunna hantera högre hastighet per våglängd i ett nät med system för Våglängdsmultiplexering. Primärt används dessa optiska förstärkare i transportnätet men alla transportnät mynnar ut i accessfiber.

Införandet av Optiska förstärkare ökar markant effekten på den överförda signalen i fiberinfrastrukturen och ställer därmed ökade krav på infrastrukturens robusthet, funktionalitet och säkerhet.

Det finns ett behov av en vägledning som kan stödja aktörerna i att hantera konsekvenserna av att införa optisk förstärkning med högeffekt-laser i de fiberoptiska näten.

Dokumentet har utarbetats av Svenska Stadsnätetsföreningen i samarbete med nedanstående organisationer genom ett remissförfarande:

- Edugrade AB
- Ekot Konsult AB
- Hexatronic Cables AB
- PTS
- Stokab
- Svenska Kraftnät
- Tele2 AB
- Umeå Energi AB
- Utsikt Bredband AB
- Vattenfall Eldistribution AB

Ett särskilt tack riktas till Daniel Persson, Xenter Yrkeshögskola, för arbetet med analys av standarder och tekniska rapporter inom teknikområdet för optiska förstärkare.

### 1.2 Syfte

Syftet med vägledningen är att:

- Skapa underlag för utbildning.
- Öka kunskapen om tekniska lösningar och utmaningar knutna till optisk förstärkning med högeffekt-laser i fiberoptiska nät.
- Beskriva och kravställa minimikrav på en godtagbar lägstanivå vid införandet av optisk förstärkning med högeffekt-laser i fiberoptiska nät.
- Definiera branschgemensamma begrepp, förtydliganden och uttryck.

### 1.3 Målgrupp

- Operatörer
- Lokala och regionala nätägare
- Kraftledningsägare med optofiber
- Tekniker och montörer
- Produktleverantörer
- Myndigheter

### 1.4 Om vägledningen / Standarder

Vägledningen baseras på nedanstående grundläggande standarder för etablering av optisk förstärkning i fiberoptiska kommunikationsnät:

- IEC TR 61292-4. Optical amplifiers- Part 4: Maximum permissible optical power for damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers.
- SS-EN 60825-1 Laser – Säkerhet – Del 1: Klassificering av utrustning samt fordringar.
- SS-EN 60825-2 Laser –säkerhet – Del 2: Särskilda fordringar på kommunikationssystem med optokablar.
- ITU-T G.664: Optical safety procedures and requirements for optical transmission systems.
- SS-EN 61300-3-35. Fiberoptik - Anslutningsdon och passiva komponenter - Provning och mätning - Del 3-35: Undersökning och mätning - Visuell kontroll av anslutningsdon och sändar-mottagarmoduler med fiberstumpar.
- IEC 62627-01. Fibre optic interconnecting devices and passive components – Part 01: Fibre optic connector cleaning methods.
- PTSFS 2015:2 och PTSFS 2020:1. Post- och telestyrelsens föreskrifter om krav på driftsäkerhet.
- AFS 2009:7 Arbetsmiljöverkets föreskrifter om artificiell optisk strålning och allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna.
- Robust Fiber

Utöver dessa standarder är följande standards tillämpliga vid arbete med optisk förstärkning:

- IEC 61290 series, Optical Amplifier Test Methods.
- IEC 61291 series, Optical fibre amplifiers (General aspects).
- ITU-T G.650.1: Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.
- ITU-T G.650.2: Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.
- ITU-T G.661: Definitions and test methods for the relevant generic parameters of optical amplifier devices and subsystems.
- ITU-T G.665: Generic characteristics of Raman amplifiers and Raman amplified subsystems (definitioner och testmetoder).

## 2. DEFINITIONER, FÖRTYDLIGANDEN OCH FÖRKORTNINGAR

### 2.1 Definitioner och förtydliganden

#### ALS/APR Avstängning och/eller reducering av uteffekt

Tekniker för att automatiskt stänga av sändareffekten (Automatic Laser Shutdown) eller för att automatiskt reducera sändareffekten (Automatic Power Reduction) på optiska sändare för att därigenom minska risken för skadlig exponering av laserstrålning. Nedan följer en översikt av en APR- tillämpning för Ramanförstärkare.

APR används, både i transport- och accessnät med implementerade Ramanförstärkare och xWDM- utrustningar för att reducera uteffekten till en säker nivå på den optiska förstärkaren när en signalförlust detekteras på fiberförbindelsen.

Den schematiska principen visas i bild *Effektreducering* nedan. Monitor A i den övre länken detekterar en signalförlust och meddelar RP2 "reverse pump", FP2 "forward pump" och förstärkare F3 att reducera effekten till en säker nivå. Den reducerade effekten från FP2/F3 kommer att orsaka en signalförlust (LOS) i punkt B. Monitor B meddelar RP1, FP1 och F4 att reducera effekten till en säker nivå på fiberförbindelsen (Vad som fastställs som säker nivå klargörs längre fram i vägledningen).

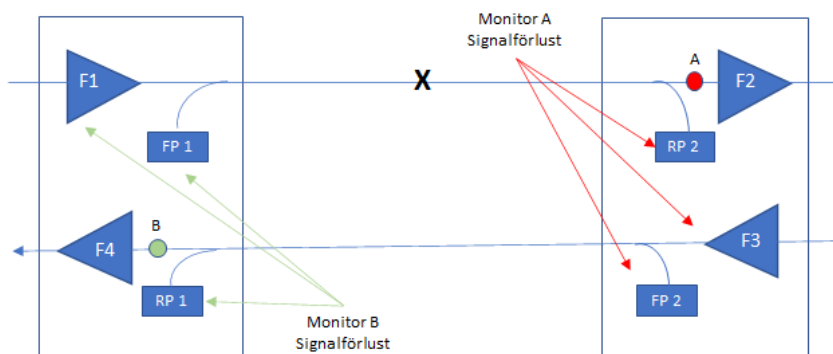


Bild. Princip för effektreducering

Kravet på effektreduceringstiden för olika laserklasser och våglängder redovisas i avsnitt 3.3 *Optiska förstärkare*.

När fibern har reparerats kan sändarna startas om. För att starta om är en av sändarlasrarna påslagen (pulserade) under en tillräcklig tid. Om LOS rensas vid fjärrmottagaren startas fjärrsändaren igen och mottagaren kommer att rensa sin LOS och båda sändarna är igång och båda LOS-larmen kommer att rensas. Om ett avbrott kvarstår i fibern kommer ett eller båda LOS-larmen att kvarstå och sändarna kommer att inaktiveras. Nära-ändsändaren stängs av i slutet av sin puls.

Det finns två typer av omstart: manuell och automatisk se *Bild Automatisk påslagning av laser i Raman*. Vid manuell omstart skickas en enda omstartpuls från APR -agenten. Vid automatisk omstart, skickar APR-agenten en periodisk omstartpuls; perioden är konfigurerbar.

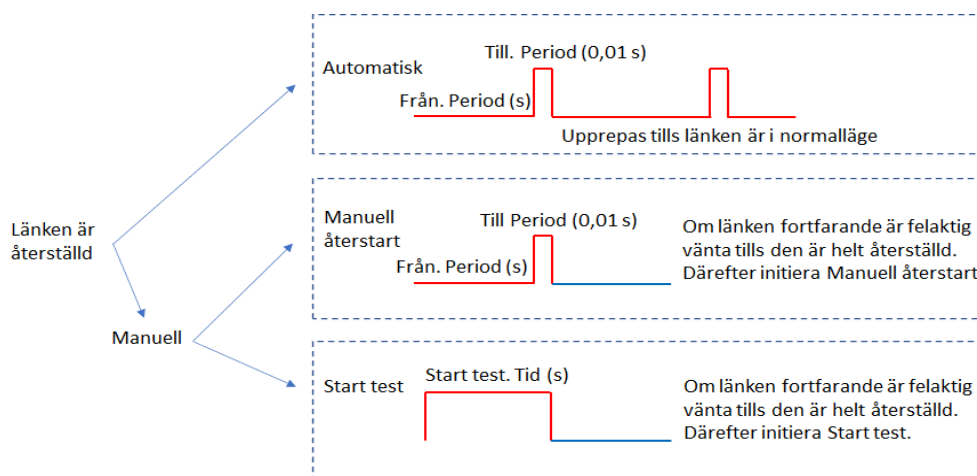


Bild. Automatisk påslagning av laser i Raman

APR installerade på Ramanförstärkare är mjukvarustyrda och kan stängas av från distans.

Ref:

ITU-T G.664 / IEC 60825-2

## Patchning

Koppling/borttagning av en kopplingskabel i en termineringsenhet.

## Förstärkningssträcka

Den sträcka av fibern som används för att höja styrkan på optiska signalen. Används i distribuerad Ramanförstärkning.

## Optiska förstärkare

En optisk förstärkare är en anordning som förstärker en optisk signal direkt utan att man först behöver konvertera den till en elektrisk signal.

### EDFA (Erbium-doped Fiber Amplifier)

EDFA (Erbium-doped Fiber Amplifier) använder sig av en Erbium dopad fiber som förstärknings sträcka. Den möjliggör en förstärkning av flera våglängder på samma gång inom C-bandet (1530nm -1565nm) och L-bandet (1565nm – 1625nm). Figuren nedan visar hur en EDFA-förstärkare fungerar. Transmissionsfibern och fibern som bär på pumplaser är sammansatta inne i enheten. Ljuset från sändaren och pumplaser färdas tillsammans genom en Erbium-dopad fiber, en sträcka på 10 till 50 meter. När signalerna interagerar med den dopade fibern så överförs Erbiumatomernas energi till ljuset. Den optiska isolatorn, låt oss kalla den för optisk backventil, finns för att hindra att förstärkt ljus som reflekteras från efterföljande komponenter kommer tillbaka in i EDFA och förstärks en gång till.

Pump ljuset har normalt en våglängd av 980 nanometer, vilket är kortvågigt infrarött. Det exciterar erbiumjonerna och ger dem möjlighet att förstärka den optiska signalen

på omkring 1550 nanometer genom så kallad **stimulerad emission**. Det går att få ut upp till 2 W uteffekt ur lasern från en EDFA.

För att utjämna förstärkningsspektrum vid överföring av WDM-signaler med olika våglängd används ett filter, Gain flatness filter.

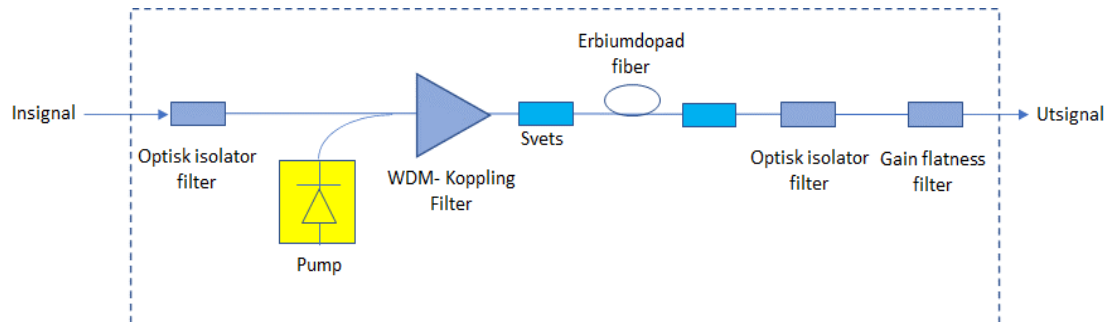


Bild. Principen för EDFA-förstärkare

EDFA- förstärkare kan ha tre olika funktioner i ett xWDM-system:

#### *Booster amplifier*

Placeras i början av fiberförbindelsen för att förstärka tranceiverns signal till aktuell nivå för fibersträckan.

#### *In-Line amplifier*

Sätts in i intervall av 80-100km utmed fibersträckan och används för att kompensera för fiberförbindelsens dämpning.

#### *Pre-amplifier*

Används nära mottagaren i en xWDM förbindelse för att kompensera för demultiplexer som sätts in innan signalen når fotodetektorerna i mottagaren.

En begränsning vid användandet av EDFA-förstärkare är att, förutom att nyttosignalen förstärks, så förstärks också bruset vilket gör att signal/brusförhållandet (OSNR) försämras för varje förstärkare utmed förbindelsen.

Det är många olika faktorer som påverkar OSNR-värdet som modulationstyp, placering i nätet, datahastighet, typ av nät och acceptabelt BET (Bit Error Rate).

Försämringen av signal-brusförhållandet (signal-to-noise ratio- SNR) som uppstår när en optisk signal passerar genom förstärkaren benämns förstärkarens Noise figure (NF).

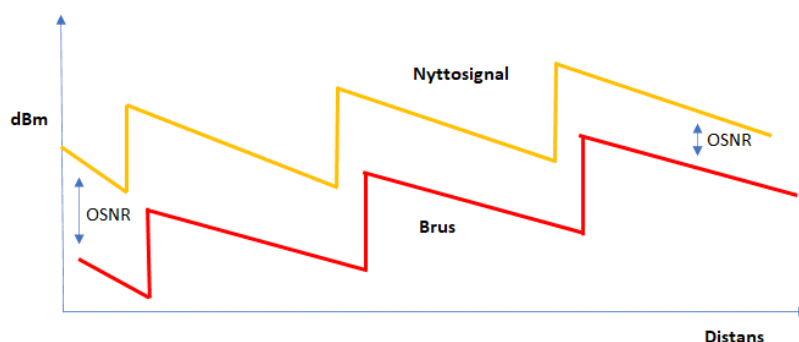


Bild. OSNR vid EDFA-förbindelser.

Figuren ovan illustrerar signal/brus förhållandet vid tillämpning med EDFA-förstärkare. Varje EDFA-förstärkare höjer effekten hos både signalen och bruset och dessutom adderas mer brus vid varje förstärkning.

En OSNR-tröskel är ofta kopplad till mottagararens funktion för att kompensera för den BER (Bit Error Rate) som skapas av bruset.

### Ramanförstärkare

En Ramanförstärkare har fördelen att alla våglängder kan förstärkas utan att bruset också förstärks, vi får alltså ingen negativ påverkan på förbindelsens signal/brusförhållande.

Ramanförstärkare finns i två varianter Distribuerade Ramanförstärkare och Diskreta Ramanförstärkare. Distribuerade Ramanförstärkare har tre undergrupper:

- Forward pumped Raman amplifier
- Reverse/Backward pumped Raman amplifier

Här pumpar man in ljus (förstärkningssignal) i fibern som ska förstärkas antingen i motsatt riktning (Backward pumping) eller i sändande riktning (Forward pumping) på en bestämd våglängd (ca 1480nm) vilket medför att fotoner i fibern lyfts till en "högre" nivå. När dessa återgår till normaltillstånd så förstärks signalen/ljuset utan att förstärka brus som en traditionell förstärkare.

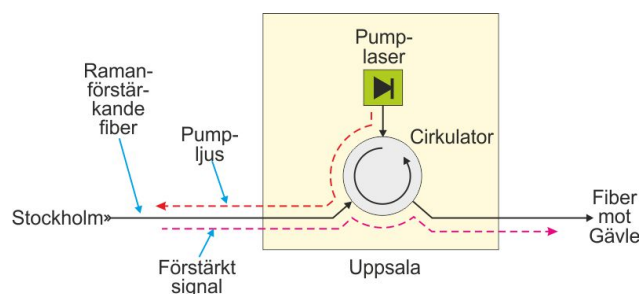


Bild: Backward pump Ramanförstärkare

Källa: Sunet



- Bidirectionally pumped Raman amplifier. Pumpsignalen införs i båda ändarna av transmissionsfibern. Pumpsignalen blir "Forward pumped" i en riktning och "Reverse pumped" i den andra riktningen.

### Diskreta Ramanförstärkare

En diskret Ramanförstärkare är en förstärkare för optiska signaler vars förstärkareffekt uppnås via fiber SRS-effekten (Stimulated Raman scattering), där alla fysiska komponenter är placerade helt inne i enheten.

### Pumpeffekt

Det spektrum som förstärks är beroende av pumpens våglängd, där den optimala förstärkningen uppstår ungefär 100nm högre än pumplasers våglängd. Detta möjliggör förstärkning i alla våglängdsband förutsatt att pumplaser använder lämplig våglängd.

I nedanstående exempel används en pumplaser på 0,5 W och med våglängden 1452.41 nm för att generera förstärkning av en signal med våglängden 1550 nm.

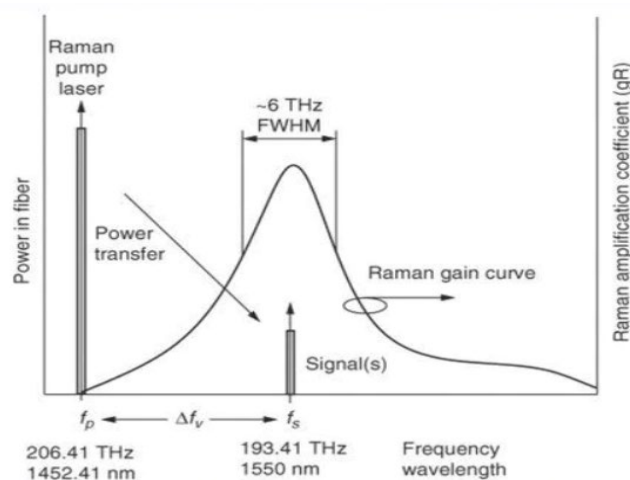


Bild. Pumpeffekt

Källa: Internet

Den höga signalen vid 1452.41 nm är pumpljuset från Ramanförstärkaren. Mycket förenklat skapar pumpljuset ett begränsat förstärkningsområde (Raman gain curve) som kommer att förstärka de våglängder som befinner sig inom förstärkningsområdet. Genom att ändra våglängden på pumpljuset ändras också förstärkningsområdet och därmed också de våglängder som kommer att förstärkas.

En Ramanförstärkare kan innehålla ett begränsat antal pumpar med olika våglängder för att kunna förstärka flera våglängder samtidigt, till exempel vid förstärkning av xWDM- förbindelser.

Bilden nedan illustrerar vikten av att de första 20–25 km av fiberförbindelsen räknat från förstärkaren har ett minimum av kontakter för att få en maximal effekt av pumpljuset.

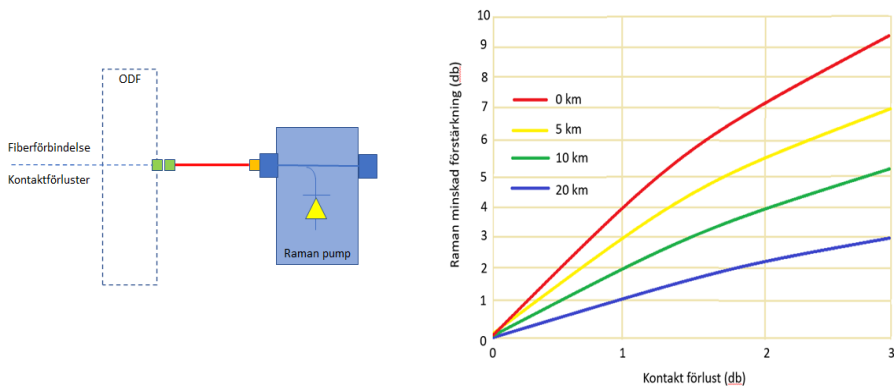


Bild. Förstärkningens relation till dämpning/sträcka

Källa: Sunet

Ref:

The IEC 61290, 61291, and 61292 series focuses on optical amplifiers, including those based on semiconductors (SOAs).

IEC 61290 is a 22-part series covering methodology of analysis using optical amplifiers.

IEC 61291 contains general and performance specifications. Lastly,

IEC 61292 is a series of technical reports (IEC/TR) that provides additional information.

### EDFA- Raman i kombination

En Raman förstärkare har fördelen att alla våglängder kan förstärkas utan att bruset också förstärks, vi får alltså ingen negativ påverkan på OSNR. Detta är inte fallet med en EDFA.

EDFA förstärker den optiska signalen och genererar brus och påverkar bara C-bandet och L-bandet. I dagsläget är en EDFA dock billigare och har högre effekt.

Med tanke på systemens för- och nackdelar kan det i många fall fungera bra att använda båda systemen i kombination så att deras styrkor kompletterar varandra.

Bilden nedan illustrerar att efter 6 EDFA-förstärkarhopp har gränsen för ett acceptabelt signal/brus-förhållande (OSNR) passerats medan det vid en kombination av EDFA- och Ramanförstärkare sker först efter 22 förstärkarhopp.

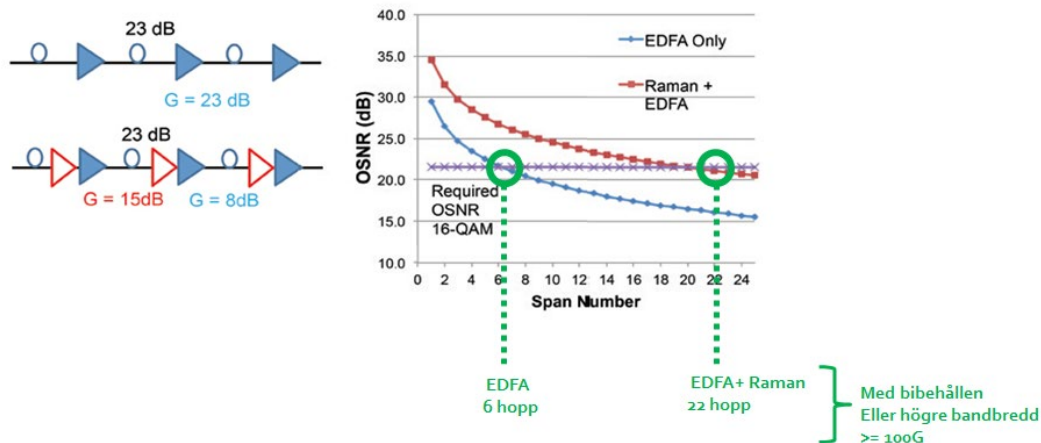


Bild. EDFA- Raman kombination

Källa: Exfo

## Fiberkablar, dämpning och dispersion

### Dämpning

En stor del av de fiberkablar som tillverkades under 1990-talet har en störande dämpningshöjning som toppar vid ca 1390 nm. För fiberkablar baserade på standard ITU-T G.652A och G.652B bör pumplasers förstärkarsignal inte understiga våglängden 1450 nm.

Bilden nedan visar dämpningen som en funktion av våglängden för fiberkablar baserade på standarden ITU-T G.652.

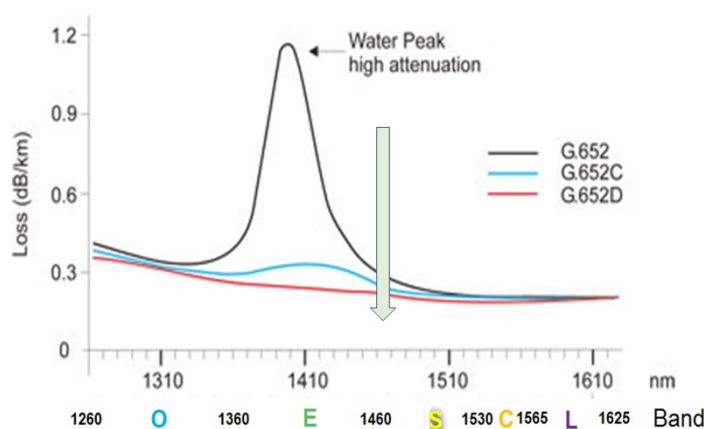


Bild. Dämpningen som funktion av våglängden i en optofiber

Våglängden för Ramanförstärkarens förstärkningssignal är något lägre än de aktuella våglängderna hos överföringssignalen. Optofibers egenskaper för förstärkningssignalen måste verifieras eller mätas upp genom till exempel en OTDR-mätning så att valet av förstärkningssignalens våglängd blir korrekt med hänsyn till fiberdämpningen.

Tabellen nedan redovisar en sammanställning över olika typer av fiberkablar.

Fibertyp	ITU Specifikation	Område
Standard Singlemode Fiber	G.652A-C	Original SM fiber, optimerad för 1310 nm, OK för att använda till 1550 nm.
Low Water Peak Fiber (LWPF)	G.652D / G.657	Designad för lågt water peak vid 1400 nm för WDM
Dispersion-Shifted Fiber	G.653	Optimerad för 1550 nm
Cutoff Shifted Fiber	G.654	Optimerad för låga förluster mellan 1500 till 1600 nm särskilt framtagna som havskabel med långa sträckor.
Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber	G.655	Optimerad för 1550 nm, DWDM
Wideband Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber	G.656	Wideband, DWDM från 1460 till 1625 nm

Tabell. Sammanställning fiberkablar

### Dispersion

Ett ytterligare problem att hantera vid överföringen av ljus i en fiberförbindelse är olika typer av dispersion. Dispersion är den pulsbreddning (distorsion) som uppstår när ljuspulser överförs i en fiber och som begränsar hur hög bithastighet som kan överföras. Den negativa påverkan av dispersionen ökar när man ökar effekten på transmissionssignalen för att öka längden på fiberspannen.

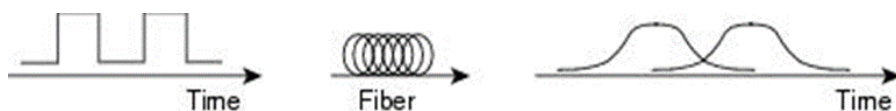


Bild. Dispersion

Källa. Cisco

Två typer av dispersion påverkar DWDM-system:

- Kromatisk dispersion  
Kromatisk spridning är den pulsbreddning som uppstår vid överföring av pulser genom en fiber vilket orsakas av att ljus av en våglängd kommer fram lite före, eller efter en annan. Även om ljuset i fibern är koherent och av mycket smal bandbredd är bandbredden inte noll. Dispersionen ökar både med längden på den involverade fibern och spektralbredden för den använda optiska källan och mäts i "picosekunder per nanometer kilometer" eller (ps / nm.km). Det vill säga, om en kommunikationslänk har en spridning på 2ps / nm.km, är 2 km lång och används med en källa som har en linjebredd på 5nm, kommer pulsens varaktighet att ha ökat med 20 pikosekunder när den når mottagaren. Dispersionen ökar också med våglängden och i de flesta telekomfibrer förändras den från negativ till positiv mellan transmissionsfönstren 1300nm och 1550nm. Våglängden vid vilken spridningsvärdet passerar genom noll är känd som 'lambda noll' ( $\lambda_0$ ). "Dispersion shifted" -fibrer är speciellt utformade så att deras lambda-noll inträffar inom transmissionsfönstret 1550nm.

I moderna nät kan man lägga fiber med omväxlande positiv och negativ dispersion så att egenskapen tar ut sig över fiberns hela längd. En annan metod för att motverka dispersionen är med matematiska algoritmer i ändutrustningen.

Ref:

ITU- 650-1 chromatic dispersion

ITU-650-1 zero-dispersion wavelength

- Polarisationsdispersion (Polarization Mode Dispersion, PMD)  
För att öka fiberns kapacitet sänder man ofta två dataströmmar med samma våglängd men med olika polarisationsriktning över en fiber samtidigt. I en fiber med hög PMD kommer de olika strömmarna att fördröjas olika mycket. Om de är synkrona vid sändning är de inte längre synkrona vid mottagning. PMD räknas i pikosekunder per roten ur kilometer (ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ). Ett typiskt värde är 0,1 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ .  
PMD, tillsammans med den polarisationsberoende dämpningen (PDL) och den

polarisationsberoende förstärkningen (PDG) kan orsaka pulsdistorsion och oacceptabla biffel.

Vid en bithastighet på 10 Gbit/s får inte PMD vara större än 10 ps. (Periodtiden vid 10 Gbit/s är 100 ps, 10% av detta värde ger acceptabel PMD). Vid 40 Gbit/s accepteras bara 2,5 ps osv.

Ref:

ITU-650-2 3.1.1.1 the phenomenon of PMD:

Exempel: Datablad G.652

- Snabbdata 1550 nm
- Kärndiameter: **9,2  $\mu\text{m}$**
- Primärskyddets diameter: **125  $\mu\text{m}$**
- Dispersion:  **$\leq 18 \text{ ps/nm*km}$**
- Polarisationsdispersion:  **$\leq 0,04 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$**
- Dämpning:  **$\leq 0,18 \text{ dB/km}$**
- Böjförstärkning (100 varv/25 mm):  **$\leq 0,01 \text{ dB}$**

### Laserklasser

Den som använder starka lasrar eller intensivt pulserat ljus (IPL) i din verksamhet måste följa de krav som finns i strålskyddslagen, strålsäkerhetsförordningen, Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och i Arbetsmiljöverkets föreskrifter.

Lasrar, och apparater med lasrar, är klassificerade efter laserns styrka och vilka riskerna är vid normal användning.

#### Klass 1

Till denna klass räknas lasrar som är svagare än 0,4 milliwatt (mW).

Här räknas även apparater med laser som är starkare än laserklass 1, men där lasern är inbyggd så att ingen skadlig strålning kommer ut. Det gäller till exempel CD-spelare och laserskrivare. Sådana produkter kan dock vara skadliga om de plockas isär. Lasrar i laserklass 1 är ofarliga, även för den som utsätts för laserstrålningen under lång tid.

#### Klass 2

Till denna klass räknas lasrar som är svagare än 1 mW, men starkare än laserklass 1.

Laserklass 2 gäller bara för synlig laser.

Om ögonen träffas av en laser i laserklass 2 blinkar vi oftast automatiskt, vilket förhindrar skador på näthinnan. Men en sådan laser kan ändå skada ögonen om den som träffas av lasern medvetet undviker att blinka när strålen når ögat.

#### Klass 3R

Till lasrar i laserklass 3R räknas lasrar som är svagare än 5 mW, men starkare än lasrar i laserklass 2. Dessa lasrar orsakar kraftig bländning.

Du bör skydda ögonen mot dessa lasrar men risken för bestående skador är liten om ögonen bara utsätts för strålen under ett kort ögonblick.

Starka laserpekare i denna laserklass är förbjudna om du inte har särskilt tillstånd från Strålsäkerhetsmyndigheten

**Klass 3B**

Till denna klass räknas lasrar som har en uteffekt som är mindre än 500 mW men starkare än lasrar i laserklass 3R.

*Lasrar i laserklass 3B kan vara skadliga om laserstrålen träffar ögon eller hud. Även en reflektion av laserstrålningen är skadlig för ögat eller huden.*

Det krävs tillstånd från Strålsäkerhetsmyndigheten för att använda lasrar i denna laserklass för underhållning, konst och reklam, eller om användningen bestrålar allmän plats eller luftrummet.

Starka laserpekare i denna laserklass är förbjudna om du inte har särskilt tillstånd från Strålsäkerhetsmyndigheten.

Det krävs också tillstånd för handhållna lasrar som används eller innehas på allmän plats.

Vissa optiska förstärkare av Raman- och EDFA- typ kan klassas som Klass 3B.

**Klass 4**

I denna klass ingår alla lasrar som är starkare än laserklass 3B (> 500 mW). Det finns ingen övre gräns för hur stor uteffekten från en laser i laserklass 4 kan vara.

*Lasrar i laserklass 4 kan skada ögon och hud. Det gäller även om du tittar på laserstrålningen när den framträder som en ljusfläck på en matt yta. Dessa lasrar kan vara brandfarliga.*

Det krävs tillstånd från Strålsäkerhetsmyndigheten för att använda lasrar i denna laserklass för underhållning, konst och reklam, eller om användningen ger bestrålning av allmän plats eller luftrummet.

Starka laserpekare i denna laserklass är förbjudna om du inte har särskilt tillstånd från Strålsäkerhetsmyndigheten.

Det krävs också tillstånd för handhållna lasrar som används eller innehas på allmän plats.

Vissa optiska förstärkare av Raman- och EDFA- typ kan klassas som Klass 4.

**Klass 1M och 2M**

Lasrar i laserklass 1M kan ha en högre effekt än vad som tillåts i laserklass 1. Men de är ändå ofarliga eftersom laserstrålen inte är smal utan utbredd och därmed har lägre intensitet.

*Den kan dock vara skadlig att titta på genom en kikare eller lupp eftersom dessa samlar ihop ljuset i laserstrålen.*

Lasrar i klass 1C används för kosmetiska behandlingar. Det finns även lasrar för kosmetiska behandlingar som tillhör andra laserklasser. Lasrar i laserklass 1C är starkare än lasrar i klass 1 men har säkerhetsmekanismer som gör att riskerna för ögonen inte är större än för lasrar i laserklass 1.

Lasrar i laserklass 2M har en högre effekt än vad som tillåts i laserklass 2. Men de är mindre skadliga än lasrar i klass 3R eller högre, eftersom laserstrålen inte är smal utan utbredd och därmed har lägre intensitet. Laserklass 2M gäller bara för synlig laser. Lasrar i laserklass 2M kan dock vara skadliga att titta på genom en kikare eller lupp eftersom dessa samlar ihop ljuset i laserstrålen.

Ref:

Källa: Svenska Strålskyddsinstitutet

### OSNR

OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) anger signal-brusförhållandet vid en optisk signalöverföring. Det är många olika faktorer som påverkar OSNR-värdet som modulationstyp, placering i nätet, datahastighet, typ av nät och acceptabelt BET (Bit Error Rate) innan signalen blir oläslig för mottagaren. Mycket ungefärligt bör OSNR vara större än 15- till 18 dB vid mottagaren.

### OTDR

OTDR (Optical time-domain reflectometer) är ett optoelektroniskt instrument som används för att mäta karakteristiken på en optisk fiber.

### Våglängdsmultiplexering

WDM från engelskans *Wavelength-Division Multiplexing*, är en multiplexeringsteknik för att skicka multipla individuella ljusvågor i samma fiberpar, detta ökar överföringskapaciteten i fiberoptiska länkar. Olika typer av våglängdsmultiplexering används:

- **Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM**, har 20 nm avstånd mellan våglängderna i spektrumet, som sträcker sig från 1270 nm till 1610 nm, och klarar därför ett maximum av 18 separata ljusvågor på samma fiberoptiska media.
- **Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM**, använder ett mycket tätare spektrum med som tätast 50 GHz (0,4 nm) mellan våglängderna och sträcker sig mellan cirka 1525 nm till cirka 1575 nm. Detta kräver stabilare lasrar med temperaturstabilisering och avancerade tekniker för felkorrigering (FEC). I dagsläget finns lasrar i produktion som kan överföra upp till 100 Gbit/s per våglängd i spektrumet vilket ger en maxkapacitet på 9,6 Terabit per sekund på samma fiberpar.

## 2.2 Förkortningar

AEL	Accessible Emissions Limit.
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing.
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing.
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier.
FEC	Forward Error Correction.
LOS	Loss of Signal.
MPE	Maximum permissible power for safety of eye and skin.
OTN	Optical Transport Network.
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio.
PMD	Polarisationsmoddispersion.
RFA	Raman Fiber Amplifier.

### 3. RISKER OCH MINIMIKRAV

#### 3.1 Allmänt

Användning av högeffektlaser kan i vissa situationer orsaka skador både på egendom och på personer. En säker användning av laser kräver en beräkning av den nominella riskzonen (NHZ). Enligt University of Chicago:s kontor för riskhantering, revision och säkerhet, identifierar NHZ det område där en individ kommer att utsättas för strålning som överstiger den högsta tillåtna exponeringen (MPE).

Skaderisken innebär också att riskerna ska bedömmas och hanteras samt att ansvarsfrågan ska vara klagjord vid användningen av högeffektlaser i de optiska fibernäten. Se kapitel 6. ANSVAR samt Bilaga Checklista för riskbedömning.

#### 3.2 Laserprodukter

Högeffektlaser är av laserklass 3 alternativt 4 men lasern är inbyggd i förstärkarutrustningen och ingen skadlig strålning kommer i normalfallet ut varför utrustningen har laserklass 1. Risken vid användningen av högeffektlaser uppstår när funktioner för avstängning av laserljuset vid avbrott i fiberförbindelsen inte fungerar.

#### MINIMIKRAV

- All laser ska vara märkt med Laserklass.
- Laser i klass 2 och uppåt ska även ha varningstext och varningssymbol. Texten ska vara tryckt med svart text på gul botten.



Bild. Varningstext och varningssymbol laser

Ref:  
IEC 60825-1 / IEC 60825-2 / ITU-T G.664.



### 3.3 Optiska förstärkare

#### APR

Normalt har optiska förstärkare en APR-funktion (Automatic Power Reduction) för att reducera signaleffekten vid ett avbrott på inkopplade fiberförbindelser. APR-funktionen konfigureras av användaren vid driftsättning av systemet. Därmed finns risken att funktionen blir felkonfigurerad och inte fungerar enligt specifikation när ett fiberavbrott uppstår varför till exempel en efterföljande reparation kan bli riskabel och med risk för personskada.

Några tillverkare har automatisk påslagning av lasern efter att förstärkaren stängts ner efter ett avbrott på fiberförbindelsen. Konkret innebär detta att förstärkaren efter en konfigurerad tid aktiverar lasern och testar om förbindelsen är hel, dock med reducerad lasereffekt.

Det innebär att vid service där tekniker tror det inte finns någon signal i fibern helt plötsligt får en aktiverad fiber med en betydande styrka.

APR-funktionen fjärrövervakas inte av operatörerna.

Raman- och i vissa fall EDFA-förstärkare har laserklass 3B alternativt klass 4 om APR är ur funktion eller avstängd, vilket kan vara fallet under:

- Utveckling.
- Installation.
- Tester.
- Felaktig hantering.

#### **Effektgränser, riskavstånd och nedkopplingstid**

Tabell Effektgränser nedan redovisar exempel på maximal effekt i en optisk fiber, nedkopplingstid (shutdown Times) och nominellt riskavstånd (Measurement distance) i relation till våglängden för en optisk fiber med optiska högeffektsförstärkare.

**Table 3 – Examples of power limits for optical fibre communication systems having automatic power reduction to reduce emissions to a lower hazard level**

Wavelength	Fibre mode field diameter	Maximum power output unrestricted	Maximum power output restricted	Maximum power output controlled	Shutdown times	Measurement distance
nm	µm	mW	mW	mW	s	m
980	7	9,4	9,4	–	1	0,1
980	7	N/A	7,2	–	3	0,1
980	7	N/A	–	39	3	0,25
1 310	11	78	78	–	1	0,1
1 310	11	N/A	59	–	3	0,1
1 310	11	N/A	–	314	3	0,25
1 400 ... 1 500	11	1 598	1 598	–	0,3	0,1
1 400 ... 1 500	11	650	650	–	1	0,1
1 400 ... 1 500	11	N/A	389	–	2	0,1
1 400 ... 1 500	11	N/A	288	–	3	0,1
1 400 ... 1 500	11	N/A	–	2 403	2	0,25
1 400 ... 1 500	11	N/A	–	1 774	3	0,25
1 550	11	2 539	2 539	–	0,5	0,1
1 550	11	1 273	1 273	–	1	0,1
1 550	11	N/A	639	–	2	0,1
1 550	11	N/A	428	–	3	0,1
1 550	11	N/A	–	2 640	3	0,25

NOTE 1 The fibre parameters used are the most conservative case. Listed figures for  $\lambda = 1\,310\text{ nm} \dots 1\,550\text{ nm}$  are calculated for a fibre of 11 microns mode field diameter (MFD) and those for  $\lambda = 980\text{ nm}$  are for 7 microns MFD.

Many systems operating at 1 550 nm with the use of erbium doped fibre amplifiers (EDFAs) pumped by 1 480 nm or 980 nm lasers use transmission fibres with smaller MFDs. For example, 1 550 nm dispersion shifted fibre cables have upper limit values of MFD of 9,1 microns. In this case, the maximum power outputs for unrestricted and restricted areas at 1 480 nm and 1 550 nm are 1,44 times the values in Table D.14, and those for controlled areas at 1 480 nm and 1 550 nm are 1,46 times the values in same table.

NOTE 2 Times given in the table are examples; shutdown at any shorter time than the maximum is permissible, and may permit the use of higher powers (the maximum times are 1 s for unrestricted locations and 3 s for restricted and controlled locations, respectively).

Tabell. Effektgränser enligt IEC 61292-4

### Maximum power unrestricted/restricted/controlled

Refererar till olika typer av tillträde till platser för installation av optiska fibersystem och typiska installationer, se tabell *Tillträde* nedan. Används till exempel för att kravställa olika tillåtna risknivåer på strålningen från accessbara punkter på platsen.

Location	Plats/Tillträde	Typisk installation
Unrestricted access	Öppet tillträde	Lokaler med offentligt tillträde
Restricted access	Plats med begränsat tillträde; begränsad plats. En tillgänglig plats som normalt är otillgänglig för allmänheten och med administrativa eller tekniska kontrollåtgärder men som är tillgängligt för behörig personal som kanske inte har lasersäkerhetsutbildning.	Säkrade områden inom industrilokaler som inte är öppna för allmänheten. Säkrade områden inom affärs- / kommersiella lokaler som inte är öppna för allmänheten (till exempel telefon PABX-rum, datorsystemrum, etc.) Allmänna områden inom Siter Avgränsade områden som inte är öppna för allmänheten på tåg, fartyg eller andra fordon.
Controlled access	Plats med kontrollera tillträde; kontrollerad plats En tillgänglig plats där det finns en teknisk eller administrativ kontroll för att göra det otillgängligt, förutom för behörig personal med lämplig lasersäkerhetsutbildning.	Optorör. Markskåp. Dedikerade och begränsade områden i distributionscentraler. Testlokaler.

Tabell. Tillträde

*Measurement distance* [Nominellt riskavstånd - Nominal ocular hazard distance (NOHD)]. Avser här lokaler med kontrollerat tillträde. Det nominella riskavståndet (NOHD) där den maximala tillåtna exponeringen (MPE) som ögonen / huden kan utsättas för utan följskada är 25 cm (annars är NOHD 10 cm, eftersom det är minsta brännvidden för det mänskliga ögat).

Se vidare kapitel 3.5 Person, ögon och hud.

#### Shutdown Time

Effektreduceringstid är det maximala tidsintervallet efter ett avbrott och innan APR slutför sin uppgift.

I bild *Maximal tillåten effekt i fibern mot APR-effektreduceringstider* nedan visas exempel på maximal tillåten effekt i fibern relativt APR-effektreduceringstider, där Fiberfältets diameter = 11  $\mu\text{m}$  och våglängd = 1 480 nm

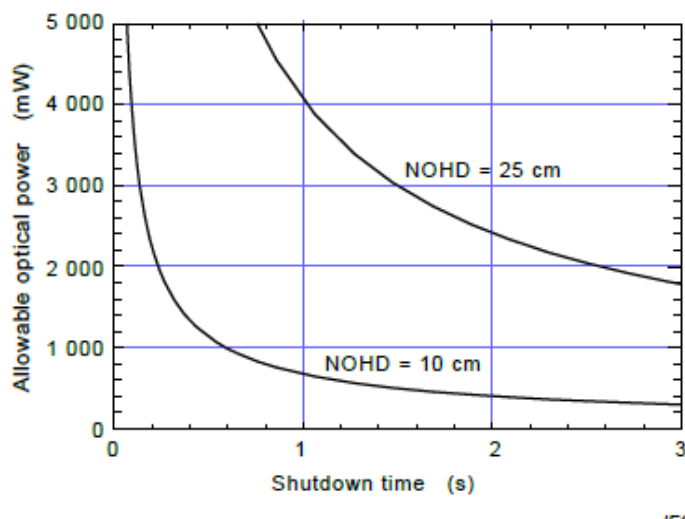


Bild. Maximal tillåten effekt i fibern mot APR-effektreduceringstider enligt IEC 61292-4

#### Riskenivåer

Riskenivå är en term som används för att ange den potentiella faran från laserstrålning. Begreppet gäller i alla lokaler i ett fiberoptiskt kommunikationssystem under användning eller underhåll eller i händelse av fel eller fiberurkoppling. Risknivåerna sätts för tillgängliga platser med utgångspunkt från den laserklass som hanteras på platsen, till exempel Risknivå 3B definierar hanteringen av laserklass 3B på en tillgänglig plats.

#### MINIMIKRAV OPTISKA FÖRSTÄRKARE OCH LOKALER

- Om osäkerhet föreligger kring laserns styrka ska den betraktas som en klass 4.
- Funktionen för effektreducering eller avstängning av sändareffekten får inte stängas av permanent.

- Metoder och rutiner ska vara upprättade för att förhindra oavsiktlig avstängning av APR-funktionen.
- Maximal optisk effekt som är tillåten för skadefri och säker användning av optiska förstärkare är 1,2 W.
- En anläggning som har aktiva optiska förstärkare ska vara märkt med varningsskylt.

Ref:

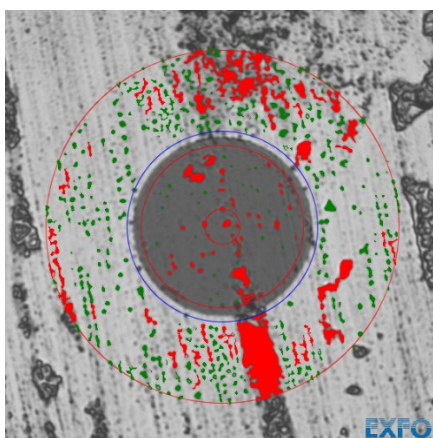
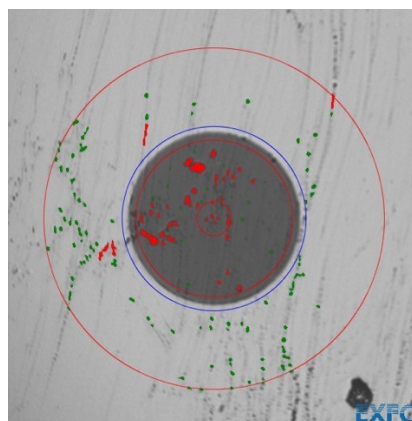
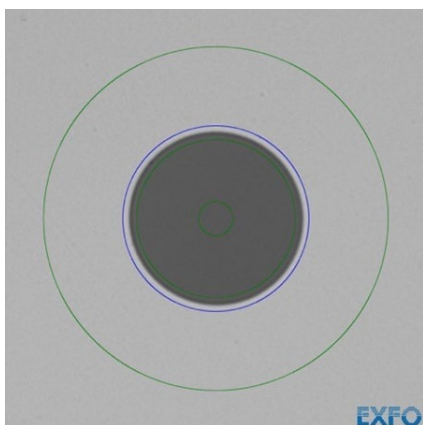
ITU-T G.664/ IEC TR 61292-4.

AFS 2009:7. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om artificiell optisk strålning och allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna.

### 3.4 Kablar, kontakter och egendom

#### 3.4.1 Allmänt

Användning av optiska förstärkare med hög intensitet kan orsaka olika problem som kan ge skador på såväl fiberkablar och kontakter som på person och egendom. Bilderna nedan visar en oskadad (uppe till vänster) och tre defekta fiberkontakter.



Bilder. Fiberkontakter

### 3.4.2 Kablar, kontakter och egendom

#### *Fiber fuse*

Är ett fenomen som orsakas av höga temperaturer (1050–1700 °C) som absorberas och samlas på en punkt utmed eller i änden av en fiberförbindelse och som skapar en intensiv blå-vit blixtn som färdas längst fibern från punkten och i riktning mot den högkraftiga ljuskällan. Den blå/vita "blixten" färdas ca 1m/s och skapar små mikrohål i fibern vilket gör fibern oanvändbar. Orsaken till att Fiber fuse uppstår är inte helt klarlagt och forskning pågår fortfarande för att klargöra vilka parametrar som är nödvändiga till varför detta fenomen initieras. Man har konstaterat att effektgränsen går vid > 1,2W. Bilden nedan visar ett alstrat Fiber fuse i labb.

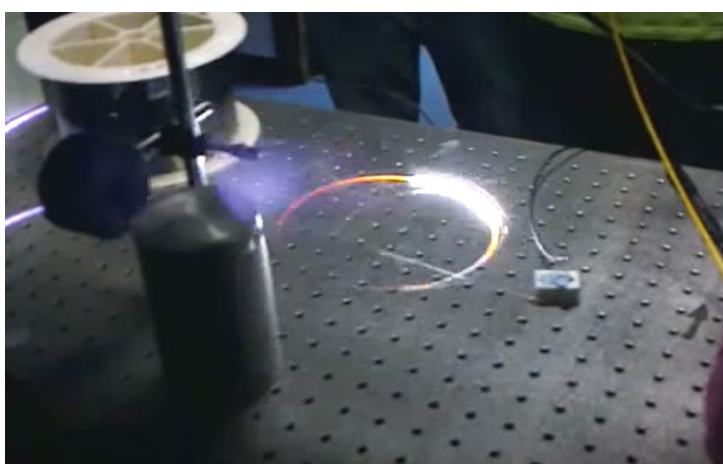


Bild. Fiber Fuse

Källa. Internet

#### *Fiberände, anslutningar, skarvar och kontakter*

De termiska effekterna inducerade av anslutnings-, skarv- och kontaktförluster är acceptabla under förutsättningar att dessa är väl utförda samt fria från damm och föroreningar.

Skadade kontakter, damm och föroreningar kan lokalt orsaka temperaturhöjningar beroende på den absorberade effektdensiteten

#### *Kabelmantel och primärskydd*

En för låg böjningsdiameter på en fiberkabel kan orsaka en avsevärd temperaturhöjning som kan antända kabelmanteln/primärskyddet och därmed omgivande miljö.

#### **Egendom**

Effekten på den optiska signalen som matas i en fiber ger på grund av fiberns lilla diameter ( $\mu\text{m}$ ) en mycket hög effekt per ytenhet. Smutsiga och skadade kontakter som till största del är ett dämpningsproblem i oförstärkta fiberförbindelser kan i värsta fall, i synnerhet med Raman förstärkning där över 30 dBm kan injekteras in i optiska fiberkablar, smälta och orsaka bränder.

När Högeffekt-laser används är det också viktigt att hålla sig inom den rekommenderade böjradien för fiberkabeln då det i skarpa böjar kan alstras så mycket värme att fiberns primärskydd bränns.

Bilden nedan visar en fiber där ramanförstärkaren är aktiverad trots att fibern är bruten mellan två förstärkarstationer. (här var konfigurering/mänskliga faktorn orsak till händelsen).



Bild: Optisk fiber med en ramanförstärkare 20km bort

### MINIMIKRAV KABLAR, KONTAKTER OCH EGENDOM

Följande åtgärder ska vidtas för att minimera riskerna för skador och konsekvenser av dessa.

- Fiberkabelns böjningsdiameter får inte understiga 20 mm för 1W och 30mm för 3W.
- Innan anslutning av optiska förstärkare görs till en fiberförbindelse ska kontroll och rengöring av anslutningskontakten utföras i enlighet med *Bilaga Undersökning och rengöring av optiska kontakter*.

### 3.5 Person, ögon och hud

De optiska förstärkarna som används har en laser som genererar infrarött osynligt ljus (1300–1700 nm -IRB) och producerar mellan 0,5–2 W. Detta är laserklass 3B eller 4 och kan orsaka ögonskador och brännskador.

Våglängd (nm)		Öga	Hud
100–280	UVC	Fotokeratit Fotokonjunktivit	Erytem Hudcancer
280–315	UVB	Fotokeratit Fotokonjunktivit Katarakt	Erytem Elastos (fotoinducerade åldersförändringar) Hudcancer
315–400	UVA	Fotokeratit Fotokonjunktivit Katarakt Skador på näthinnan	Erytem Elastos (fotoinducerade åldersförändringar) Omedelbar pigmentering Hudcancer
380–780	Synligt	Fotoinducerade skador på näthinnan (Skador av blått ljus) Brännskada på näthinnan	Brännskada
780–1 400	IRA	Katarakt Brännskada på näthinnan	Brännskada
1 400–3 000	IRB	Katarakt	Brännskada
3 000–10 <sup>6</sup>	IRC	Brännskada på hornhinnan	Brännskada

Bild. Risker för exponering för laserljus från Raman-pump

### Potentiellt exponeringsområde för laserstrålning

- Vid fiberkontakten på en Ramanförstärkare
- Vid kontakten i slutet av fiber ansluten till en Ramanförstärkare
- Vid brytpunkten av bruten fiber som är ansluten till en ramanförstärkare, såsom patch, midspan.

### Optisk fiberadapter

En optisk fiberadapter kan används för att koppla ihop två kontakter, vanligtvis monterade i en fördelningspanel. Adaptern har en slutare både på kontakten och adaptern för att förhindra laserögonskador, den har också en spärrmekanism för att förhindra oavsiktlig bortkoppling och för avstängning av lasern.



Bild. Optisk fiberadapter

### MINIMIKRAV PERSON

- *AFS 2009:7. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om artificiell optisk strålning och allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna ska tillämpas.*
- Inget arbete (lösning av kontakter, kontaktering eller skarvning) får normalt utföras när system är i drift eller när mätning på fiberkabel pågår.

- Skyddsutrustning i form av skyddsglasögon med laserskydd för våglängderna 1300 – 1700 (IRB) ska användas om det finns risk för att ett oskyddat öga exponeras för laserstråle.
- Långärmat och långbyxor ska användas vid arbete med förbindelser med optiska förstärkare.
- Skyddshandskar ska användas när urkoppling av kontakt i förbindelse med optiska förstärkare görs.
- Se aldrig in i sändare eller fiber-ändar utan ändskydd eller tillbörligt verktyg.
- Se aldrig in i kontakterna vid ODF-enheter, terminaler, sändande och förstärkande utrustning.
- Vid oskyddad exponering av laser, vänd bort huvudet, skydda huden och lämna området.



Bild. Skyddsglasögon

Ref:  
IEC TR 61292-4 Part 4 5.1 Maximum transmissible exposure (MPE) on the surface of eye and skin  
AFS 2009:7. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om artificiell optisk strålning och allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna.



## 4. TEKNISK ÖVERSIKT EFFEKTÖRSTÄRKNING I FIBERFÖRBINDELSER

### 4.1 Allmänt

Vägen till högre transmissionskapacitet.

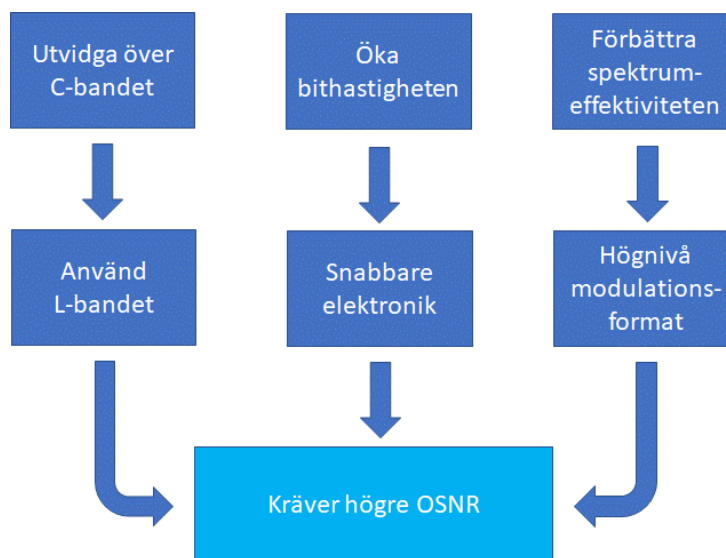


Bild. Vägen till högre transmissionskapacitet

#### Utvidga över C-bandet

L-bandet 1565–1625 nm kan användas för att få in fler kanaler oavsett om det är CWDM eller DWDM.

#### Öka bithastigheten

Snabbare elektronik kan användas för att öka bit-hastigheten.

#### Förbättra spektrumeffektiviteten

Fler kanaler kan användas genom att minska avstånden mellan våglängderna i fibern. Vid CWDM är avståndet mellan våglängderna cirka 20nm. I DWDM minimeras avståndet i vissa fall ner till 0,4nm. Detta straffas dock genom överhörning (crosstalk) mellan våglängderna vilket orsakar olinjära problem.

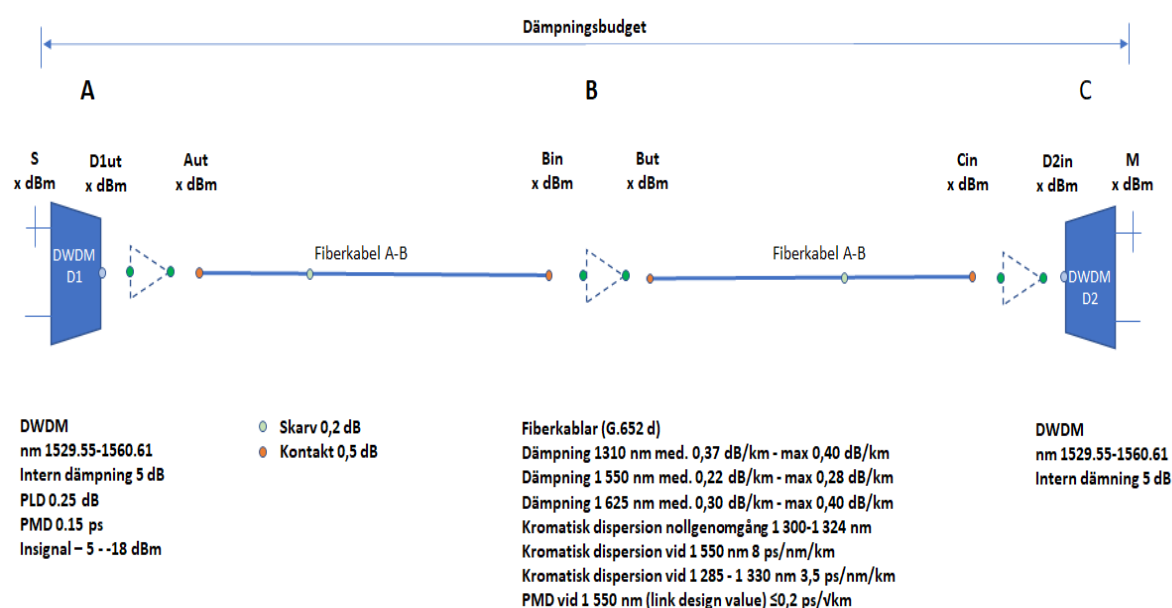
Dessa tre metoder för att förbättra transmissionskapaciteten ställer högre krav på signal/brusförhållandet (OSNR) på förbindelsen då den tröskel där OSNR är oacceptabel uppnås vid allt kortare fibersträcka när transmissionskapaciteten ökar. Principen blir att ju högre transmissionshastigheten är desto högre OSNR tröskel måste hanteras. Alternativen är att antingen minska bruset eller öka signalen samt att förbättra förbindelsen felkorrigering.

## 4.2 Förstärkare och fiberförbindelser

Detta kapitel redovisar exempel på steg och aktiviteter som ska genomföras vid implementering av optiska förstärkare i en fiberförbindelse. Åtgärder och konsekvenser för att hantera dispersion har exkluderats i exemplet.

Figuren nedan illustrerar en fiberförbindelse mellan site A och C med en mellanliggande förstärkarstation B. Utrustningens och fiberkablamas parametrar framgår i figuren.

Överföringen avser överföringen av en 40-kanals – 200 Gbit/s DWDM- signal.



### Aktiviteter

- Bestäm framföringsväg, anläggningar, kabel och kabeltyp.
- Beräkna och ta fram en preliminär dämpningsbudget för de valda sträckorna A-B och B-C inklusive kontakter (0.5dB), svetsar (0.2dB).
- Scenarier, förstärkarval och dämpningsbudget

### EDFA

Den preliminära dämpningsbudgeten visar att den överförda signalen mellan A och B dämpas 25 dB och mellan B och C dämpas signalen 25 dB. Totalt mellan A och C är dämpningen 50 dB.

Vi installerar en Booster-förstärkare i site A, en linjeförstärkare i site B för att kompensera för dämpningen på förbindelsträckan och en för-förstärkare i site C för att kompensera för DWDM- utrustningen och kalkylerar med följande dämpningsbudget:

- *Aut blir: insignal S -5 dBm -DWDM A dämpning, 5 dB + EDFA Boostern +12 dB = 2 dBm*
- *Bin blir: 2 dBm – sträckdämpningen A-B, 25db = -23 dBm*
- *But blir: -23 dBm + EDFA Inline +25dB = 2 dBm*
- *Cin blir: 2 dBm – sträckdämpningen B-C, 25 dB = -23 dBm*
- *Utsignal M blir: -23 dBm + EDFA för-först +25db - DWDM B dämpning, 5 dB = -3 dBm*

Brusbudget (OSNR ska vara större än 16 dB):

- OSNR vid Aut 35dB
- OSNR vid But 21dB
- OSNR vid D2in 18dB.

När EDFA-förstärkare används:

- Ska EDFA-förstärkare installeras, konfigureras (t. ex driftmod för uteffekt och förstärkning) och mätas in enligt tillverkarens anvisningar.

### Ramanförstärkare

Brusbudgeten i exempel 1 visar att OSNR för förbindelsen kan bli för lågt om vi väljer att öka den överförda kapaciteten. OSNR ligger också nära tröskeln för vad mottagarens felkorrigering (FEC, forward correction error) kan korrigera vid 200 Gbit/s. För att säkerhetsställa en framtida ökning i kapaciteten bestämmer vi oss för att ersätta EDFA- förstärkarna i site B och C med kombinerade EDFA-Ramanlösningar.

Den totala förstärkningen med de tre EDFA i exempel 1 uppgår till  $12\text{dB}+25\text{dB}+25\text{dB}=62\text{dB}$

Vi justerar förstärkningen i EDFA-Ramanförstärkarna så att vi får samma totala förstärkning som i exempel 1.

Total förstärkning  $12\text{dB}+(9\text{dB}+16\text{dB}) +(9\text{dB}+16\text{dB}) =62\text{dB}$

Dämpningsbudgeten är densamma som med enbart EDFA förstärkning men genom att använda Ramanförstärkare i kombination med EDFA-förstärkare i Site B och Site C har vi minskat EDFA-förstärkarnas bidrag till förstärkningen i respektive site och därmed förbättrat OSNR värdet.

Brusbudget med EDFA-Ramanlösning (OSNR ska vara större än 16 dB):

- OSNR vid Aut 35dB
- OSNR vid But > 21dB
- OSNR vid D2in > 18dB

När Ramanförstärkare används:

- Ska kabeldämpningen beräknas för de första 20 kilometrarna i förstärkningssträckan. Kontakter ska undvikas och leverantörens rekommendationer i övrigt ska följas.
- Ska en ODTR mätning vara genomförd i den riktning och med den våglängd Ramans pumplaser opererar inom. Om det är en hög reflektionsdämning kommer en del av pumplaser som propagerar längst förstärkningssträckan att återvända till pumplaserdioden. Detta kan minska pumplaserens prestanda och vad Raman klarar av att förstärka. Reflektionsdämpningen bör inte överstiga -25dB och borde helst vara runt -30dB.
- Ska anslutningen och patchning ske med APC-kontakter.
- Ska Ramanförstärkare installeras, konfigureras (t. ex driftmod, fibertyp), injusteras (t. ex förstärkningsspektrum och APR) och mätas in enligt tillverkarens anvisningar.

### 4.3 Nedkoppling av fiberförbindelse med optiska förstärkare.

#### MINIMIKRAV VID NEDKOPPLING AV FÖRBINDELSE

Vid nedkoppling ska följande utföras innan någon åtgärd görs på aktuell förbindelse:

- Operatörens driftcentral (NOC) ska informeras och aktuella kontaktuppgifter ska finnas tillgängliga för NOC och utförare.
- Förbindelsens optiska signal ska stängas av, avstängningen ska verifieras.
- Verifiera att skyddsutrustning är tillgänglig.

### 4.4 Reparationer, service och underhåll av förbindelser med optiska förstärkare

#### MINIMIKRAV VID REPARATION, SERVICE OCH UNDERHÅLL.

Innan reparationer, service och underhåll ska utföras ska följande åtgärder vidtas:

- Operatörens driftcentral (NOC) ska informeras och aktuella kontaktuppgifter ska finnas tillgängliga för NOC och utförare.
- Förbindelsens optiska signal ska stängas av, avstängningen ska verifieras.
- Verifiera att skyddsutrustning är tillgänglig.

## 5. DOKUMENTATION OCH MÄRKNING AV FÖRBINDELSER

### MINIMIKRAV DOKUMENTATION

- Vid dokumentation av fiberförbindelse med optisk förstärkning ska nätägaren märka förbindelsen så att det tydligt framgår att optisk förstärkning används på förbindelsen.

### MINIMIKRAV MÄRKNING

- Alla kontakter, skarvboxar eller andra delar som kan avge optisk strålning i öppet läge och som ingår i en förbindelse med **optisk förstärkning** ska märkas när risknivån är över klass 1.
- Patchning från en fiberkabel/fiberkontakt med optisk förstärkning får endast ske till fiberkontakt/fiberförbindelse avsedd för optisk förstärkning.

## 6. ANSVAR

Arbetsgivarens ansvar för att vidta relevanta säkerhetsåtgärder avseende personal som kan komma i kontakt med laserstrålning i sitt arbete baseras på:

Arbetsmiljölagen (1977:1160)

- Regler för hur arbetet med laser ska utformas för att skador inte ska uppstå, finns i *Arbetsmiljöverkets föreskrifter Artificiell optisk strålning (AFS 2009:7)* med dess uppdatering 2014:8). Reglerna tar bland annat upp utrustning och arbetssätt. Som stöd för tolkningen av föreskrifterna och det underliggande EU-direktivet finns en utförlig guide från EU-kommissionen.

### MINIMIKRAV FÖR ARBETSGIVARE

Arbetsgivaren ska:

- Riskbedöma alla verksamheter på arbetsplatsen enligt *Föreskrifter om systematiskt arbetsmiljöarbete (AFS 2001:1)* och *Artificiell optisk strålning (AFS 2009:7)*. Uppföljning ska göras i enlighet med *Bilaga Checklista för riskbedömning*.
- Baserat på ovanstående riskbedömningar upprätta föreskrifter för utförandet av fiberoptiska arbeten vid arbetsgivarens arbetsställen.
- För de lokaler/område där fiberoptiskt arbete sker ska arbetsgivaren ha upprättat föreskrifter avseende kraven för den personal som äger tillträde till och arbetar i lokalen, se Bilaga. Exempel på Instruktion för arbete med optiskt förstärkta fiberförbindelser.

## 7. INFORMATION OCH AVTAL

### MINIMIKRAV INFORMATION OCH AVTAL

- Den aktör som hyr fiberförbindelser från en infrastrukturägare ska informera infrastrukturägaren om aktören använder optiska förstärkare på hyrda(a) förbindelse(r).
- Den aktör som hyr fiberförbindelser från en infrastrukturägare ska informera infrastrukturägaren om aktören byter till utrustning med annan laserklass.
- Den aktör som förhandlar om att hyra fiberförbindelser från en infrastrukturägare ska informera infrastrukturägaren om aktören avser att använda optiska förstärkare på hyrda(a) förbindelse(r).
- Den infrastrukturägare som hyr ut fiberförbindelser ska i avtalet med hyrande part infoga en klausul som reglerar villkoren för hantering av optiska förstärkare på uthyrda fiber.

## 8. LÄNKAR

<https://www.sunet.se/blogg/teknisk-djupdykning-optisk-magi-med-ramanforstarkare/>

[https://play.sunet.se/media/Optisk+net+och+Ramanförstärkare+-+Börje+Josefsson,+SUNET/0\\_wgsdlbcs/53066371](https://play.sunet.se/media/Optisk+net+och+Ramanförstärkare+-+Börje+Josefsson,+SUNET/0_wgsdlbcs/53066371)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Raman\\_amplification](https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_amplification)

<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/omraden/laser-och-jpl/omlaser-och-jpl/laserklasser/>

<http://www.chinacablesbuy.com/edfa-vs-raman-optical-amplifier.html>

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6757592> - "Effects of polarization mode dispersion (PMD) on Raman gain and PMD measurement using an optical fibre Raman amplifier"

## BILAGOR

**Bilaga. Checklista för riskbedömning.**

**Bilaga. Undersökning och rengöring av optiska kontakter.**

**Bilaga. Exempel på instruktion för arbete med optiskt förstärkta fiberförbindelser.**