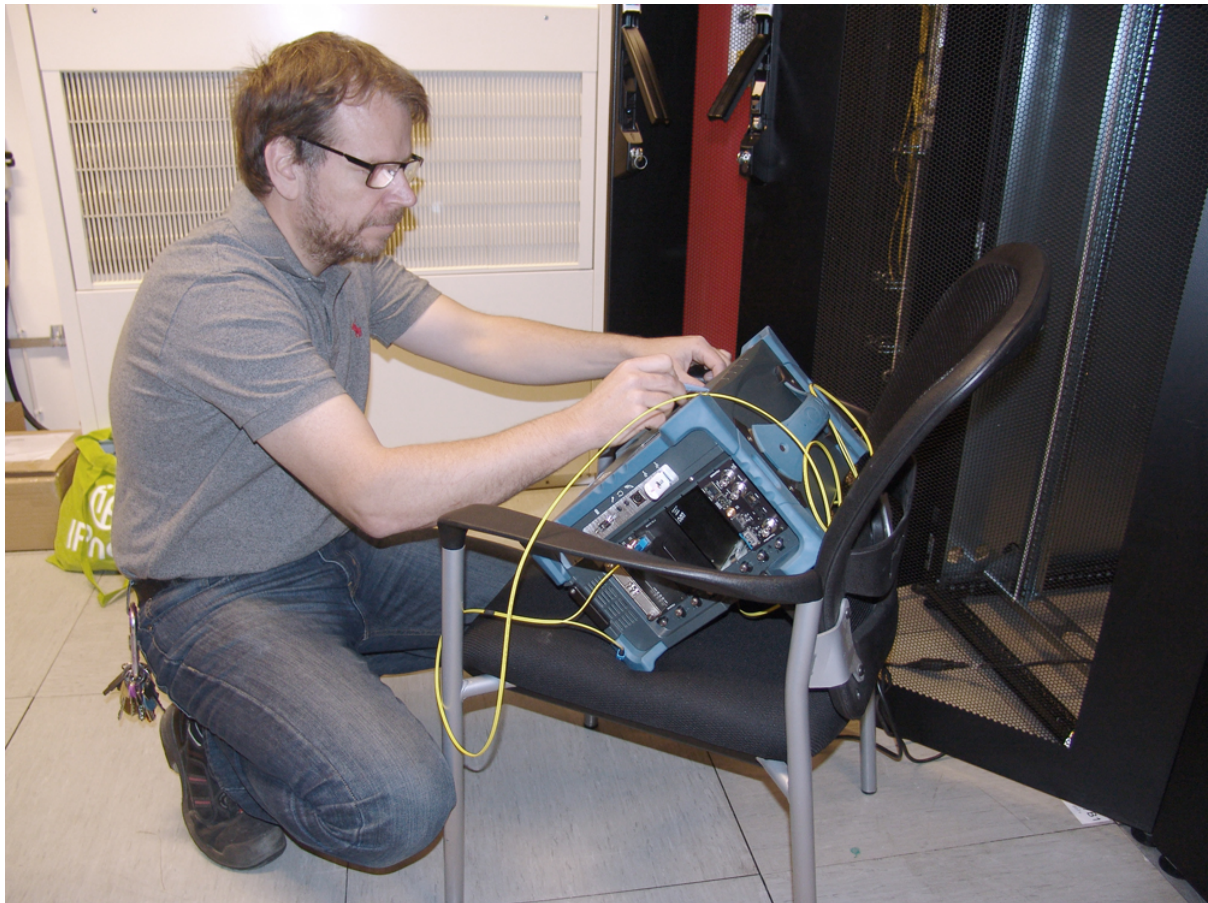


## FÖRSTA DELLÄNKEN I NYA SUNET ÄR IGÅNG

Torsdagen den 4 februari 2016 slank de första fotonerna igenom länken TUG-FSN2. Glada för de ut genom fibern på Tulegatan, knölade sig igenom Stokabs stadsnät till avlämningspunkten i Kista och sprintade vidare mot Enköping. Där började orken tryta, men halvvägs till Enköping möttes de av uppmuntrande ramanljus och kom i mål i Västerås 600 mikrosekunder senare, utan ett enda bitfel.

Det är en historisk händelse! Första delen av Nya Sunet har sett ljuset. Fiberfeber gör studiebesök hos Magnus Bergroth, tekniker på SUNET, som berättar om hur länken är anordnad.



Här verifierar Magnus med spektrumanalysator att det verkligen kommer fram data från Västerås. Och det gör det.

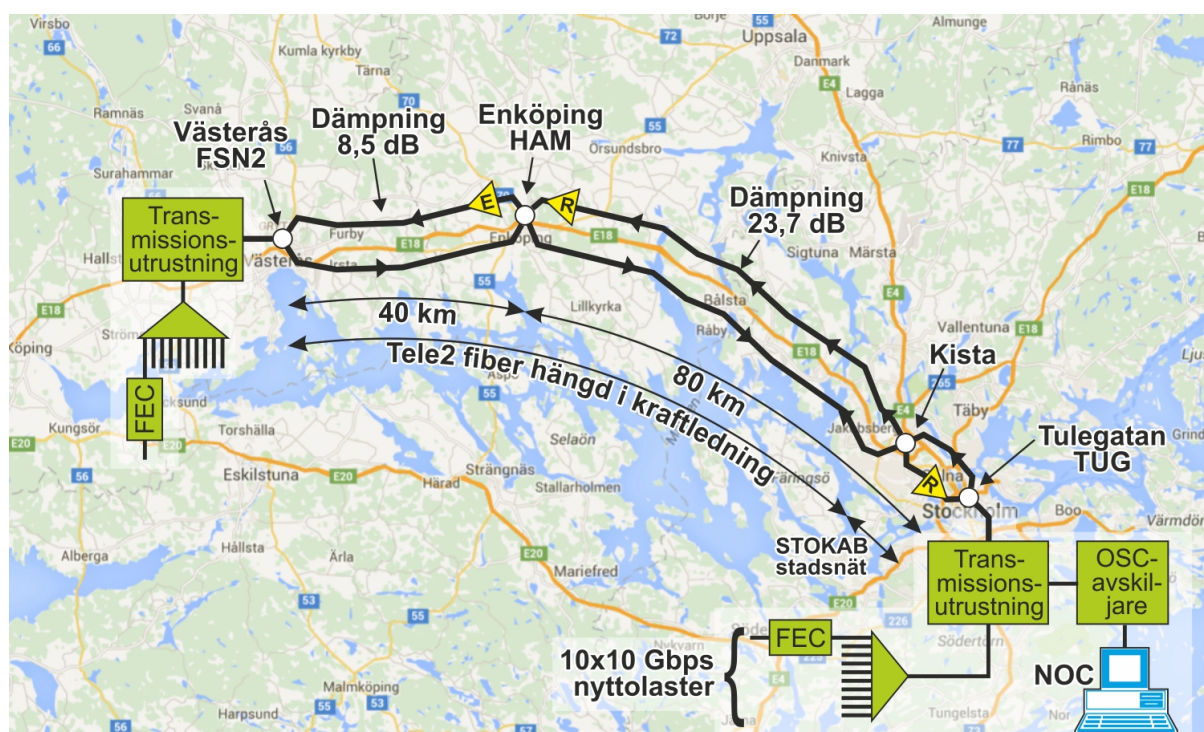
## VILKA STEG VIDTAR MAN NÄR EN FIBERLÄNK SKA TAS I BRUK?

Hur gör man rent praktiskt för att få till en optisk förbindelse mellan två städer? Det är ett förberedelsearbete på ungefär ett år, som kulminerar i att en liten topp visar sig på en kurva på en analysator.

1. Fiberägaren hänger upp fibern i kraftledningarna.
2. SUNET hyr fibern och plats att ställa utrustning i länkens båda ändar, oftast små stugor.
3. Fiberägaren drar in en fiberände genom väggen och kontakterar denna.
4. SUNET monterar in sin utrustning och ansluter fibern i länkens båda ändar till utrustningen.
5. SUNET undersöker att utrustningen fungerar, att ramanförstärkarna förstärker, att OSC-kanalen kommer fram etc.
6. SUNET ställer in rätt förstärkning, respektive dämpning, så att signalen faktiskt kommer fram, respektive inte överstyr förstärkare längre fram på ledningen. Både fiber och förstärkare kan överstyras och bli olinjära och det får inte hända.
7. SUNET bestämmer vilken eller vilka våglängder man slutligen vill använda.
8. Driftcentralen görs medveten om länken, får del av OSC-kanalen och verifierar dess funktion.
9. Datakällorna kopplas in.

Ungefär där är vi nu. Nu är det snart dags för tiotusen glada studenter att börja tanka terabyte.

## FYSISK STRÄCKNING



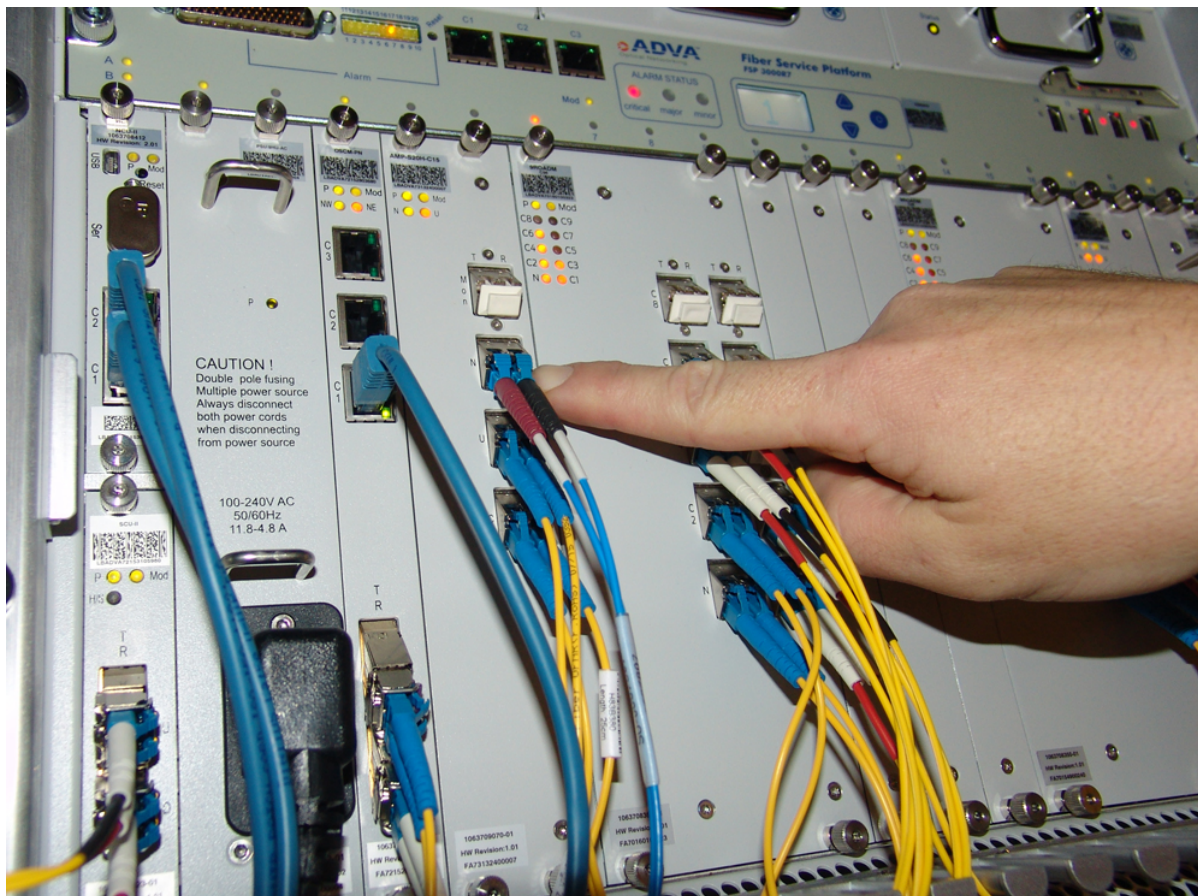
Så här är fibern rent fysiskt dragen i naturen. Länken börjar på Tulegatan i Stockholm och går genom Stokabs stadsnät till överlämningspunkten i Kista. Där tar Tele2:s svartfiber över och går vidare, hängd i kraftledningar till Enköping, där det finns en förstärkarstation i Hamra. Längre än 80 kilometer är inte lämpligt att överbygga på grund av risken för brus. I Enköping sitter en ramanförstärkare (R i bilden) som använder fibern fram till Enköping som förstärkande medium. Bärivågen med nyttodata som kommer ut från ramanförstärkaren bättras på ytterligare av en EDFA (E i bilden) för att den ska orka fram till Finnsjöområdet i Västerås och vara fullt detekterbar.

I var ände av fibern finns transmissionsutrustning som i stort sett tar tio inkommande optiska kanaler på 10 Gbps och packar ihop dessa till en optisk signal på 100 Gbps och skickar ut i fibern. Samma sak sker baklänges med den mottagna signalen.

Nyttosignalen måste säkras mot transmissionsfel. Det sker genom att extra felrättningsinformation bifogas. Eftersom felrättningen sker före överföringen, kallas den för Forward Error Correction (FEC). Den används i mottagaren för att kompensera för eventuella uppkomna fel, och skalas därefter bort.

Utöver nyttsignalen överförs en OSC-kanal (Optical Supervisory Channel) med driftsinformation från fjärrutrustningen, på 1527 nm våglängd. Denna skiljs ut i utrustningen i Stockholm och går vidare till driftsövervakningen (NOC). Det är på detta sätt man kommer att övervaka hela landet.

## ÖVERFÖRINGEN I DETALJ



Så här ser den ut, helt anspråkslöst, den allra första fungerande länken i Nya SUNET. Magnus pekar på de båda utgående fibrerna från Adva-utrustningen, som ska vidare till Västerås.

Allt nyttodata överförs på C-bandet mellan 1530–1568 nm. På det bandet får man in 96 våglängder, 0,4 nm breda, med en delning på 50 gigahertz, där vardera våglängden kan överföra 100 Gbps. SUNET väljer emellertid att använda variabel delning på 50, 75 och 100 GHz, så kallad flexgrid.

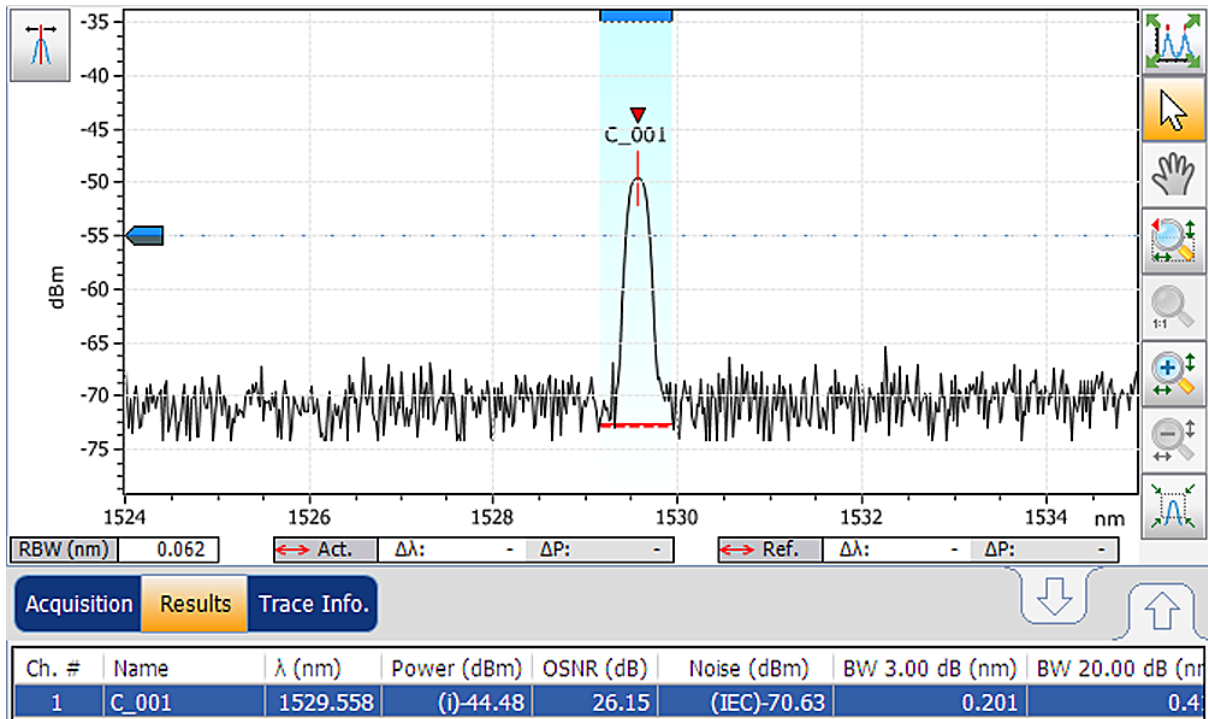
C-bandet är för brett för en enda ramanförstärkare, varför man använder fyra ramanlasrar med olika våglängder för att täcka hela C-bandet. Pumpljuset sänds ut med 100 nm kortare våglängd än det ljus man vill förstärka. Vilket leder till vissa, om ej oöverstigliga problem (se mera nedan).

Eftersom fiberns dämpning inte är absolut likadan för alla våglängder, flyttar man ihop ramanvåglängderna något så att deras aktiva områden överlappar och hjälper varandra och åstadkommer sk tilt, och ökar på förstärkningen på vissa våglängder så att resultatet blir en jämn förstärkning över hela C-bandet.

Nyttodata på fibern moduleras med två polarisationer så att man får ut två bitar per baud, sk 4QAM eller DP-QPSK (Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying). Det går till så att man får ut två polarisationer ur samma laser, låt oss kalla dem vertikal och horisontell polarisering, skiljer dem åt med polfilter och modulerar dem individuellt med varsin modulator och för samman dem igen, innan de går ut på fibern. På en bittid kan man då överföra två bitar utan att bryta mot några fysikaliska lagar.

## VAD ÄR DET SOM KOMMER GENOM FIBERN?

Magnus startar den optiska spektrumanalysatorn, kopplar in fibern från Västerås och efter lite letande har den hittat databärvågen. Analysatorn ger den tentativt namnet C\_001.

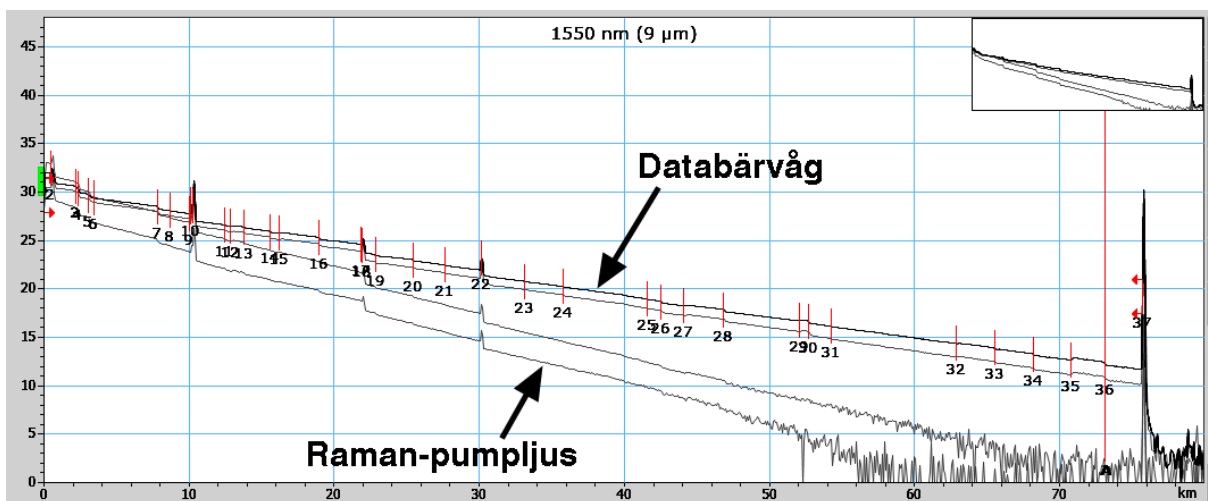


Här ser du en enda optisk bärvåg på 1529,558 nm med en bandbredd på 0,4 nm. Den är en av de tänkbara 96 bärvågor som kommer att användas i framtiden. De kommer att staplas alldeles intill varandra och likna ett staket. Denna bärvåg hanterar i sig 100 Gbps och med alla bärvågor tillsammans blir det nästan 10 Tbps. Det behövs kanske inte nu, men teknikerna räknar med att under Nya SUNETs hela livslängd kommer alla bärvågor att behöva tas i bruk efter hand.

Ännu så länge sänds inga nyttodata över fibern. Istället transporteras FEC-information, alltså information från den felkorrigerande funktionen. Dessa data sänds alltid, men i brist på nyttodata betyder FEC-informationen ingenting.







## KVALITETSASPEKTEN

Det är minsann inte bara att hyra en fiber och koppla in den i ändarna. Det händer en hel massa på vägen. Man måste försäkra sig om att det som händer på vägen inte menligt försämrar fiberns förmåga att överföra ljus. För den skull ansluter man en OTDR, ett instrument som skickar ut ljuspulser och felsöker fibern. Resultatet av mätningen kan se ut som i följande bild, som dock visar **en ännu outnyttjad länk** mellan Tulegatan och Listlena, halvvägs till Uppsala.



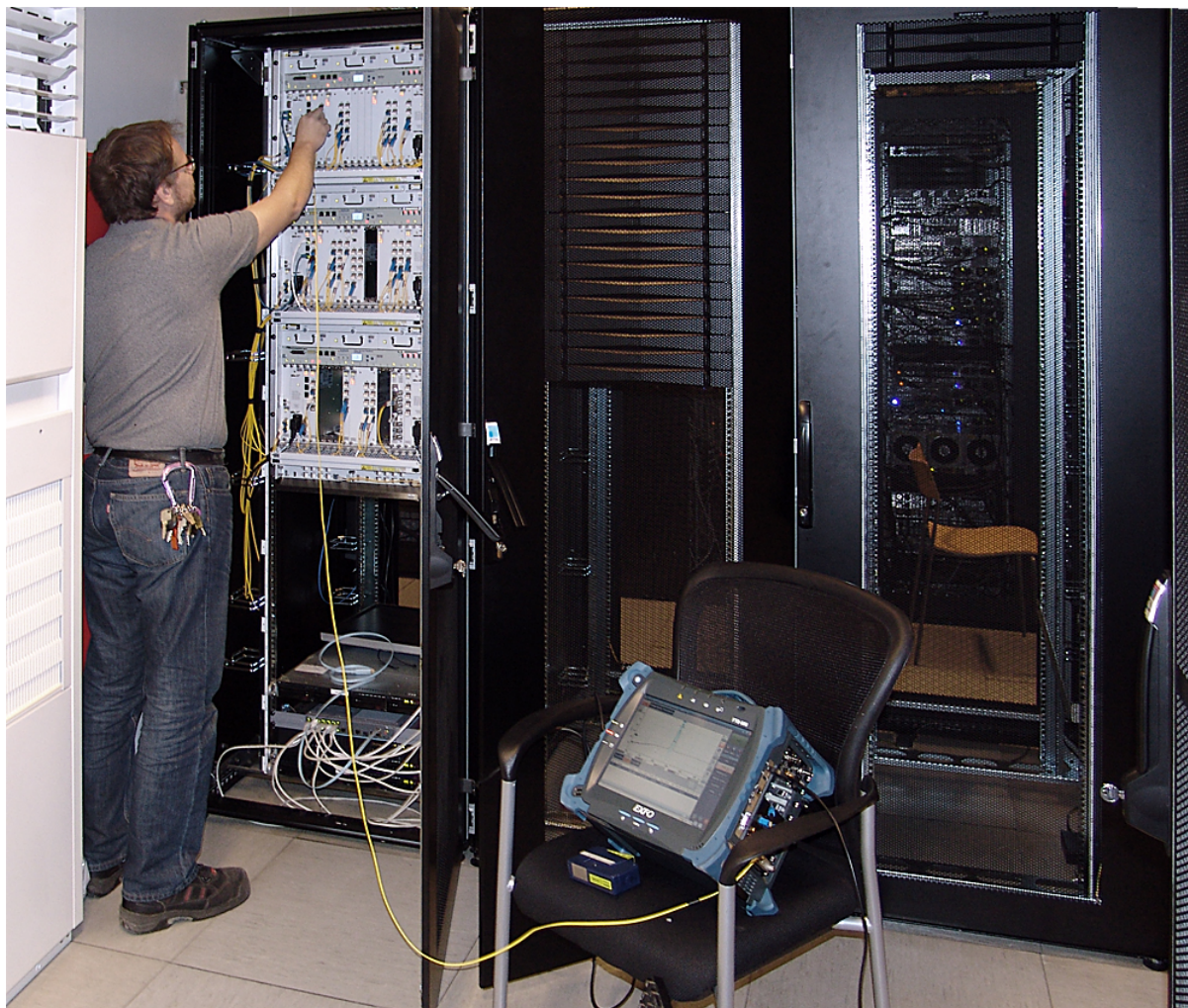
OTDR-instrumentet skickar ut ljus av olika våglängder i fibern för att undersöka dess dämpning. Resultatet i bilden ovan är helt normalt för en fiber av typen G.652b. Du ser hur ljuset som representerar en databärvåg i C-bandet på 1550 nm dämpas med 20 dB på de 76 kilometrarna. Den mätning som får representera raman-pumpljuset utförs på en annan våglängd 167 nm därifrån, nämligen 1383 nm. Den råkar hamna just där fibern har högre dämpning. Den våglängden dämpas så mycket (>26 dB) att mätningen blir brusig framåt Listlena. Men det spelar ingen roll för pumpljuset ska inte så långt, bara 40-50 kilometer.

De små hacken i dämpningskurvorna representeras av fiberskarvar och kontaktdon. Det är mest hack fram till cirka 30 kilometer, eftersom den sträckan framförs i Stokabs stadsnät, som har många omkopplarstationer. Efter denna sträcka blir det jämnare, när ljuset kommer ut på den del av kabeln som hänger i kraftledning.

Source	OTDR	Events	Measure	Summary
 <b>Fail</b>				
Information	<b>1550 nm (9 μm)</b>	1625 nm (9 μm)	1310 nm (9 μm)	1383 nm (9 μm)
Pass/fail status	<b>Fail</b> 	<b>Fail</b> 	<b>Fail</b> 	<b>Fail</b> 
Span length	<b>75.7329 km</b>	<b>75.7322 km</b>	<b>65.0772 km</b>	<b>54.0398 km</b>
Span loss	<b>20.340 dB</b>	<b>21.407 dB</b>	<b>29.701 dB</b>	<b>26.561 dB</b>
Span ORL	<b>35.46 dB</b>	<b>36.24 dB</b>	<b>35.35 dB</b>	<b>36.44 dB</b>
Injection level	32.0 dB	31.6 dB	33.1 dB	30.6 dB
Range	80.0000 km	80.0000 km	80.0000 km	80.0000 km
Pulse	1 μs	1 μs	1 μs	1 μs
Duration	30 s	30 s	30 s	30 s
Date	11/02/2016	11/02/2016	11/02/2016	11/02/2016
Time	10:49:21	10:49:54	10:50:25	10:50:59
Average loss	0.269 dB/km	0.283 dB/km	0.456 dB/km	0.492 dB/km
Average splice loss	0.094 dB	0.084 dB	0.172 dB	0.341 dB
Maximum splice loss	0.424 dB	0.429 dB	0.705 dB	0.648 dB
<b>Span length: 75.7329 km</b> 				

OTDR:en gör en sammanfattning och som du ser står det Fail allra överst. SUNETs krav till Tele2 var att länken aldrig skulle ha högre dämpning (Average loss) än 0,25 dB/km, men i detta fall visar mätningen 0,269 dB/km. Notera att denna länk, mellan Tulegatan och Listlena inte är levererad ännu, utan bara körs på försök.

LITE ATT JOBBA PÅ



Magnus jobbar på saken.

Tårtan var nästan uppskuren när det visade sig att den allra första nya länken inte riktigt uppfyllde specifikationerna. Åt ena hållet, till Västerås går det som ett spjut, men mot Stockholm är det sämre.

Det finns en ramanförstärkare i Enköping och en på Tulegatan (se kartan ovan).

Ramanförstärkaren i Hamra i Enköping skickar sitt pumppljus mot Stockholm och förstärkningen av nyttosignalen från Stockholm fungerar fint.

Men nyttosignalen från Enköping mot Stockholm kan inte förstärkas av ramanförstärkaren på Tulegatan, på grund av att det är för många skarvar på fibern i Stokabs nät från Tulegatan och fram till Kista för att pumpstrålningen från Tulegatan ska komma igenom med tillräcklig effekt. Förstärkningen från Enköping till Stockholm borde ha blivit mellan 9 och 15 dB, men den blev bara en enda decibel.

Problemet ligger alltså i att Stokabs nät är konstruerat med för många skarvar för den här tillämpningen. Stokabs nät är byggt som accessnät och inte som transportnät. Ett sätt att åtgärda problemet vore att flytta ramanförstärkaren från Tulegatan till Kista, bortom Stokabs nät. Teknikerna funderade ännu i februari på den optimala lösningen.

## SNABBDATA OM LÄNKEN TUG-FNS2

**Väg:** Tulegatan, via Kista och Enköping (Hamra), till Västerås (Finnslättens industriområde)

**Avstånd:** cirka 120 kilometer

**Fibertyp:** G.652b

**Modulation:** 4QAM, med 2 polarisationsriktningar, DP-QPSK

**Ineffekt i fibern (signal):** 1 mW eller 0 dBm per våglängd

**Dämpning:** 0,256 dB/km

**Total dämpning:** 32,2 dB

**Fiberleverantörer:** Tele2 med underleverantörer

**Ändrustning:** Adva Fiber Service Platform FSP 3000R7

**Ramanförstärkare, typ:** Adva AMP-S20H-C15 **förstärkning:** 9-15 dB

**EDFA-förstärkare, typ:** Adva EDFA-S20L **förstärkning:** 11-21 dB

## LÄS MER

Mer om OTDR: <https://www.sunet.se/blogg/otdr-grundläggande-om/>

Mer om ramanförstärkare hittar du här: <https://www.sunet.se/blogg/teknisk-djupdykning-optisk-magi-med-ramanforstarkare/>

Mer om EDFA hittar du här: <https://www.sunet.se/blogg/teknisk-djupdykning-optisk-magi-med-edfa/>

Skriven av



**JÖRGEN STÄDJE**

Jag heter Jörgen Städje och har skrivit om teknik  
och vetenskap sedan 1984. Friskt kopplat, hälften  
brunnet!