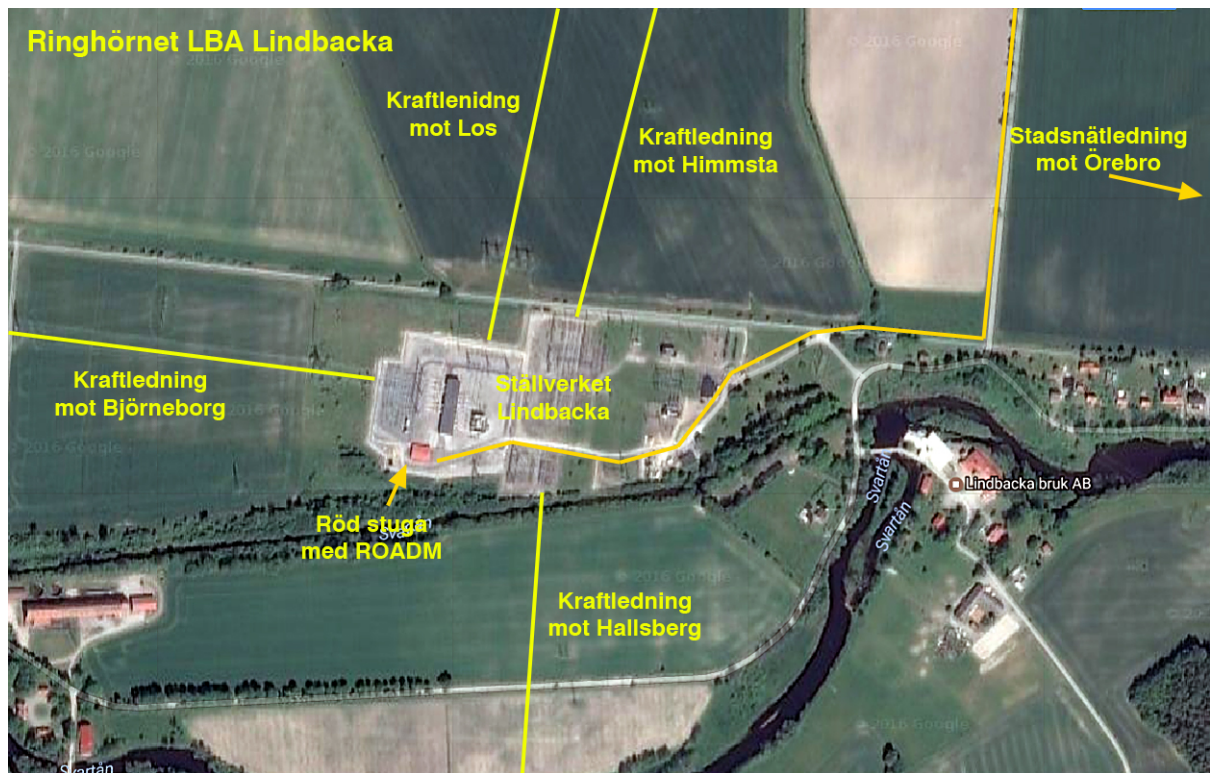


WE HAVE LIFTOFF! DEL 2 AV 2

Allt det arbete som började 2015, med skisser på servetter och liknande, fick sitt praktfulla avslut den 12 oktober år 2016, när Sunet-C officiellt invigdes i ett dundrande regn av infraröda fotoner. Inte för att det fanns några blågula band att klippa, utan Fredrik Korsbäck firade genom att officiellt öppna länken till Danmark över Öresundsbron och dirigera om all trafik från CERN till Sverige den vägen. På några minuter steg trafiken från noll till flera miljoner paket per sekund.

Nu kan det alltså vara dags att börja titta närmare på allt det som den här bloggen egentligen skapades för: Sunet-C och hur det är uppbyggt. Den förra fiberföljarartikeln (<https://www.sunet.se/blogg/langlasning-folja-fiber-fran-tulegatan-till-stockholms-universitet/>) var en ren storstadsangelägenhet, men nu ska vi ut på landet, hänga i kraftledningar och leta små röda stugor i skogen.



Fyra fibervägar möts och en lokal ledning knoppas av nära Örebro i LBA, en viktig knutpunkt. Det går två lokala ledningar till Örebro universitet, separerade enligt principen om diversitet.

Denna andra del av artikeln beskriver Sunet-C till dess logiska uppbyggnad, som inte har så mycket med den fysiska utsträckningen att göra, men det vore onödigt att försöka separera de logiska och fysiska strukturerna helt. Den logiska uppbyggnaden syftar till att öka redundansen och dels hitta billigast (enklast) möjliga väg för data och dels hitta kringvägar för data om den uppenbaraste vägen skulle vara trasig.

Första delen av artikeln hittar du här: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-1-av-2/>

INNEHÅLL

- Grått och färgat ljus:** Nätet fylls av många olika sorters ljus
- Logisk topologi:** En närmare titt på en delsträcka
- Routerhopp – och inte:** Hur ljuset färdas i nätet
- Uppbyggnad av en standardiserad stamnödsnod:** De är likadan allihop

Uppbyggnad av ett ringhörn: Där ringar möts

Statisk färgplanering: Det gäller att spara på de färger man har

Tunable DWDM interface: Den lilla enhet som alstrar färgerna

Flexgrid kontra fast kanalavstånd: Färgerna nu och i framtiden

Konfiguration via 4G: När inget annat hjälper

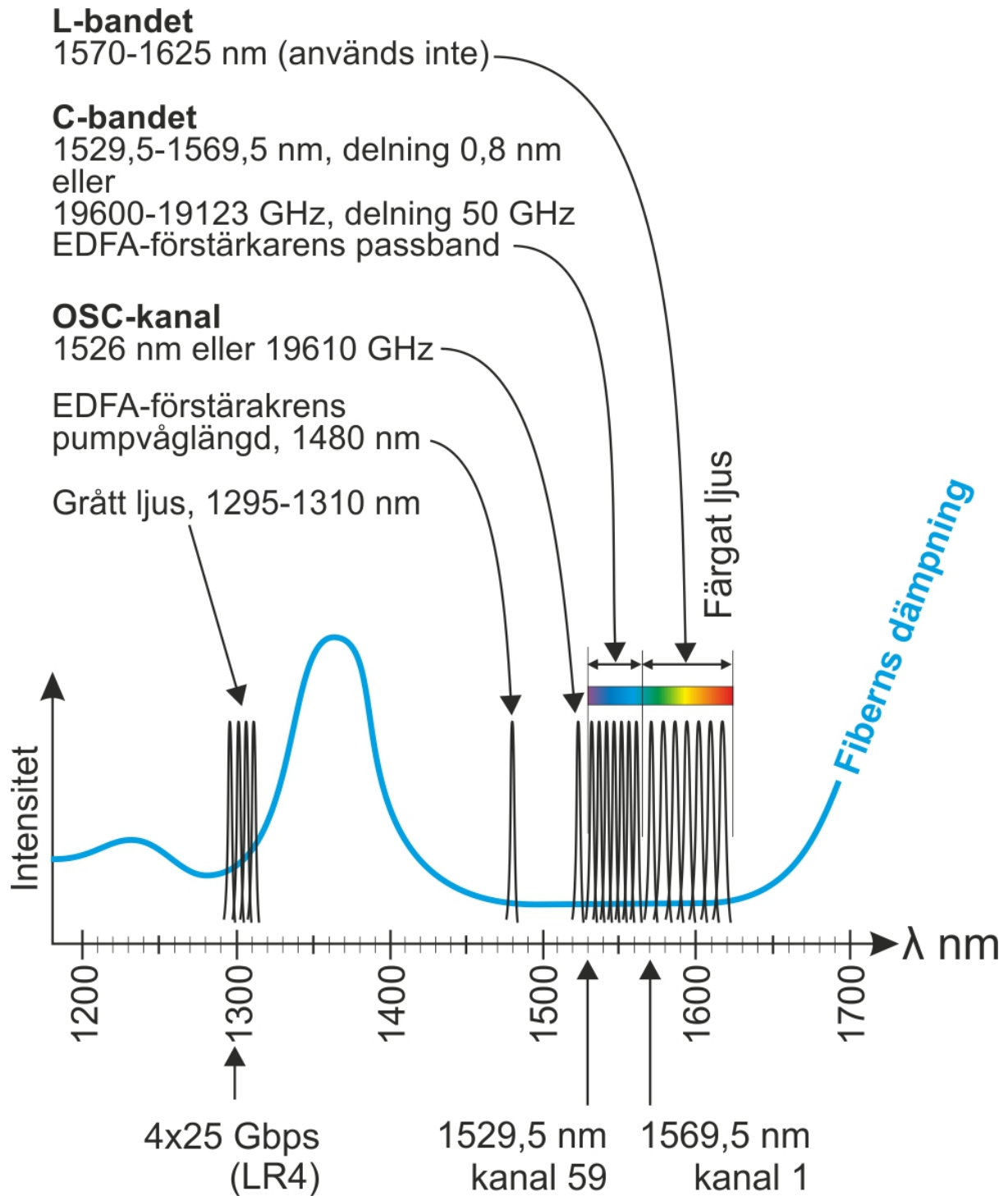
Framtiden

Läs mer: Nyttiga länkar

Konstiga ord: Sånt du alltid velat veta

GRÅTT OCH FÄRGAT LJUS

Data framförs i nätet som ljuspulser. Ljus av flera olika våglängder används i nätet av flera olika skäl.



För korthållskommunikation, exempelvis genom en stad, används sk "grått" ljus eller 100G LR4 (Long Range 4) som ingalunda är grått utan infrarött ljus i fyra våglängder mellan 1295-1310 nanometer. Var och en av de fyra våglängderna transporterar 25 gigabit per sekund och används samtidigt för att få 100 Gbps. Ljuset kallas för grått eftersom det inte är en del av den multispektrala DWDM-överföringen. Det grå ljuset orkar inte särskilt långt i fibern och det ligger utanför eventuella EDFA-förstärkarens aktiva passband och kan inte förstärkas, men det spelar ingen roll för det ska inte ut på stamnätet. Man använder grått ljus där man kan, eftersom utrustningen för färgat ljus är dyrare.

På långa stamnätsledningarna genom landet används den andra typen av ljus. Det har flera namn, **färgat, DWDM** eller **koherent** ljus. Sådant ljus är infrarött i C-bandet mellan 1530 och 1570 nanometer och kan förstärkas. Ljuset är naturligtvis inte färgat med vårt sätt att se färger, men DWDM-metoden använder ljus av många olika våglängder och det närmaste man kommer en människas sätt att se på det är "färger". Koherent är en term som anger att ljuset bara innehåller en våglängd (så gott det går) och att alla fotoner i vågen går i takt, alltså förstärker varandra. Det är på det sättet man uppnår den långa räckvidden. Allt laserljus är emellertid koherent, så även det laserljus som utgör grått ljus, så termen är lite missvisande. I hela denna artikel används fortsättningsvis termen "färgat" ljus.

DWDM betyder Dense Wavelength Division Multiplexing och är en beteckning på metoden att använda tätt packade våglängder eller kanaler inom C-bandet på en och samma fiber utan att de stör varandra. C-bandet kan indelas i exempelvis 96 kanaler om 0,8 nanometer. DWDM är idag den allra vanligaste metoden för att utnyttja optiska fibrer optimalt.

Innan en våglängd släpps ut på stamnätsfibern, förstärks den av en EDFA-förstärkare. Denna fungerar genom att excitera (pumpa) en bit speciell fiber med ljus med 1480 nanometers våglängd, varvid fibern agerar förstärkare:

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

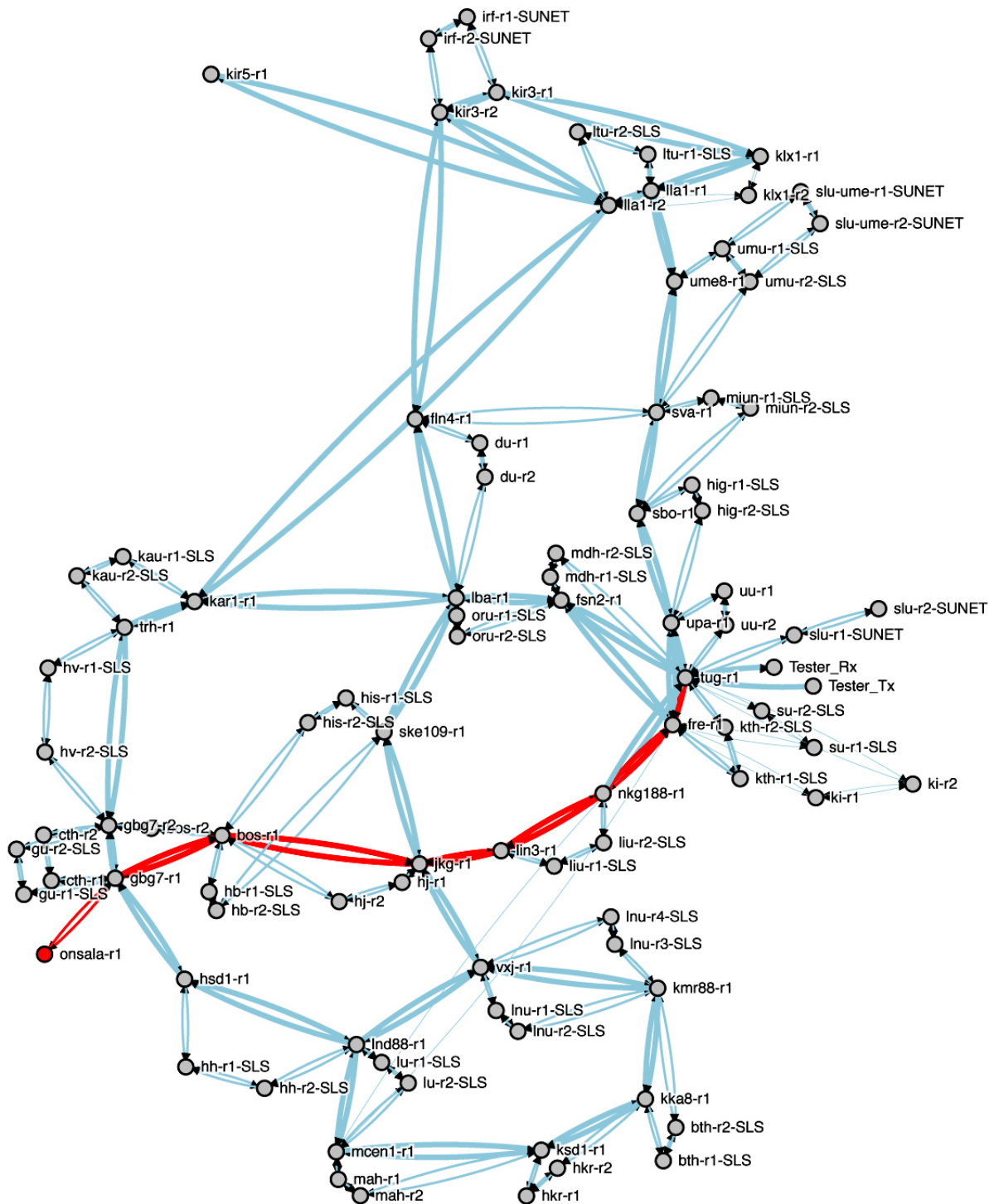
Övervakningskanalen (OSC) sänds vid sidan av C-bandet på 1526 nanometer och kommer inte att förstärkas. Dess i sammanhanget låga kapacitet (100 Mbps) gör emellertid att den når långt alldeles av sig själv.

Längre våglängder än 1700 nm är omöjliga att använda. Vid dessa våglängder blir fibern i praktiken "ogenomskinlig" för telekommunikationsbruk.

LOGISK TOPOLOGI

Nätets logiska konstruktion är utvecklad för att ge bästa möjliga redundans med enklast utrustning. Den var ingalunda lätt att komma fram till och den var ingalunda den första som Sunets tekniker kom på. Det är av yttersta vikt att inget lärosäte är beroende av något annat för sin datatransport och man måste kunna klara av att en router någonstans i datats väg brinner upp och fortfarande kunna kommunicera. Resultatet av detta tänkande blev att det måste finnas en router i varje POP som vidmakthåller själva nätstrukturen oberoende av utrustningen i lärosätet, men att lärosätet ska kunna gå runt den.

Även om nätet rent geografiskt kan se ut som ett ringnät, är Sunet-C ingalunda ett sådant. Logiskt sett består det av ett antal punkt-till-punkt-förbindelser som routrarna ser som en trädstruktur. Glöm således allt om att det skulle vara ett Token Ring-liknande nät. Även om data faktiskt *kan* flyta i en ring, vore det ologiskt att låta det göra så.



Amöbakarta. Alla "tjocka" vägar kostar 1 i grindslant och alla "tunna" kostar 10.

De svarta ringarna i amöbakartan motsvarar routrar. En del av dem befinner sig direkt på stamnätets grova ledningar, i POParna, medan andra befinner sig vid sidan om, på lärosätena. Alla lärosäten finns inte med, beroende på att de inte har routrar och sålunda inte kan ta egna routingbeslut. Sådana lärosäten får sitt data från andra, intelligenta lärosäten. Det är gjort så av geografiska skäl.

Data som kommer in någonstans på nätet färdas från punkt A till punkt B, eventuellt i hopp mellan flera ringar. Routrarna i nätet räknar hela tiden ut den optimalaste förbindelsen och skulle den råka vara ett halvt varv i en fiberring må så vara, men normalt är vägen inte ringformig. Betrakta istället vägen genom de ringformiga strukturerna som en slingerväg som ett datapaket tar genom en trädstruktur, sk shortest path.

Amöbakartans röda spår visar hur data färdas från noden vid Onsala rymdobservatorium till noden för NORDUnet i Stockholm (för NORDUnets nod i Malmö var måhända trasig). När routern hos Onsala rymdobservatorium får tag i data, beräknar den billigast möjliga väg för data till noden i Stockholm. Vägen från Onsala kan förstås som en trädstruktur, där den genaste vägen är den billigaste.

När allt är helt: När alla noder fungerar som avsett färdas data från `onsala-r1 – gbg7-r1 – bos-r1 – jkg-r1 – lin3-r1 – nkg188-r1 – fre-r1 – nordunet`, till en total kostnad av 16. Alla andra vägar skulle ha blivit dyrare, utom vägen via Västerås. `onsala-r1` gör ett uppslag i sin routingtabell och tar reda på vilket interface (utgång) paketet ska skickas ut på för att gå genaste vägen till destinationen. Det blir Göteborg. Routern i Göteborg tittar i sin tabell och inser att Borås är bäst och skickar paketet dit. Tabellen visar alla hela och trasiga vägar, och hur de fungerande vägarna är bättre (billigare, snabbare) eller sämre (dyrare, långsammare). Routingtabellen är dynamisk och avspeglar hela tiden framkomligheten i hela nätet. Alla routingtabeller måste vara likadana överallt och de upprätthålls av routingprotokollet iBGP. Konflikter kan uppstå om alla routrar inte har samma tabell, till exempel om en ny tabell håller på att distribueras och inte nått fram överallt. Problemet löser sig emellertid själv när alla routrar fått uppdaterade tabeller.

Om Borås går sönder: Skulle en nod inte fungera som avsett, vet närmaste router om det och väljer några andra grenar på trädets, för vägen fram till Stockholm. Antag till exempel att noden `bos-r1` i Borås är trasig. Då skulle paketet istället ha gått `onsala-r1 – gbg7-r1 – gbg7-r2 – trh-r1 – kar1-r1 – lba-r1 – fsn2-r1 – fre-r1 – nordunet`, också till en total kostnad av 16. Om två vägar har samma kostnad är det den väg som är funnits längst, som är äldst, som väljs.

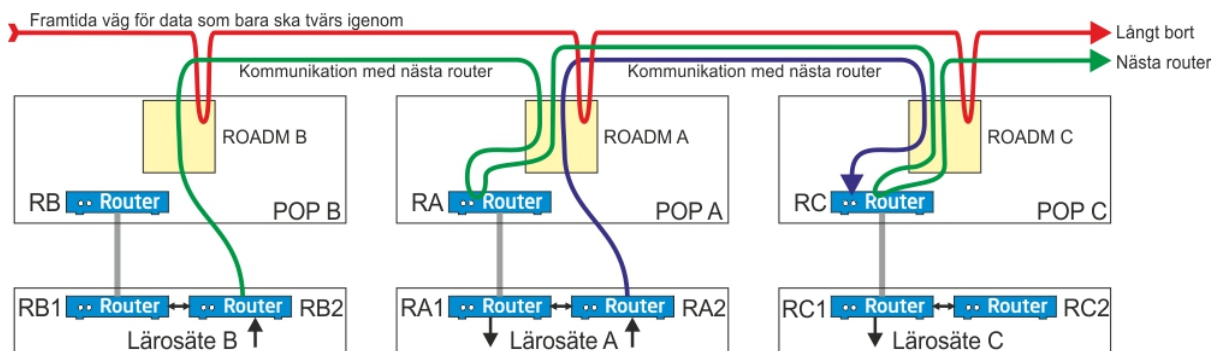
Om Karlstad också går sönder: Hade routern `kar1-r1` i Karlstad också varit trasig, hade paketet istället fått gå via Lund, sålunda: `onsala-r1 – gbg7-r1 – hsd-r1 – lnd88-r1 – vxj-r1 – jkg-r1 – lin3-r1 – nkg188-r1 – fre-r1 – nordunet`, till en total kostnad av 17.

Om Lund också går sönder: Hade routrarna i Karlstad, Borås och Lund varit trasiga samtidigt hade det varit stopp, eftersom de var och en är single point of failure (SPOF), men ett trippelfel på samma förbindelse är så osannolikt att man i princip kan bortse från det. Dubbelfel har förekommit, men dessa brukar man hinna med att reparera innan ytterligare ett fel uppstår.

Är felet i stamnödsnoden av begränsad art skulle man kunna ha gått via ett lärosäte, där varje länk är dyrare, men det undviker routern, dels för att det blir en extrakostnad, dels för att principen är att datatransport från ett lärosäte inte ska vara beroende av ett annat lärosäte. Inte för att länken är "trängre" via ett lärosäte, utan för att det innebär en ökad risk.

ROUTERHOPP – OCH INTE

Datatransporten sker alltså som ett ständigt hoppande mellan routrarna i stamnödsnoderna.



Kommunikation med närmaste nod

När lärosäte A vill sända data till C talar router RA2 direkt med router RC (blå) som för data vidare till lärosäte C router RC1 (grå).

Fjärrkommunikation

Som amöbakartan visar, kommunicerar stamnödsroutrarna ständigt med varandra via stamnätet för att skicka fjärrdata vidare (grön). Data från router RB2 går ut på en våglängd åt det håll som är lämpligast för att nå slutdestinationen. Det hamnar i router RA, som vet vägen vidare. Där byter ljuset eventuellt färg och går vidare till router RC, som igen vet vägen vidare. Där byter ljuset eventuellt åter färg och skickas vidare.

Routrarna RA-RB-RCs arbete hade eventuellt kunnat skötas av RA1-RB1-RC1 men till priset av att ett lärosäte skulle bli beroende av andra lärosäten för sin kommunikation. Det är inte tillåtet, varför en fristående router i POP måste finnas. Om RA2 går sönder och inte kan kommunicera med nästa lärosäte, är det lärosätets egen sak och påverkar inga andra.

Notera dock att RA2 kan kommunicera med RC utan att RA fungerar. Det är också en följd av redundansen.

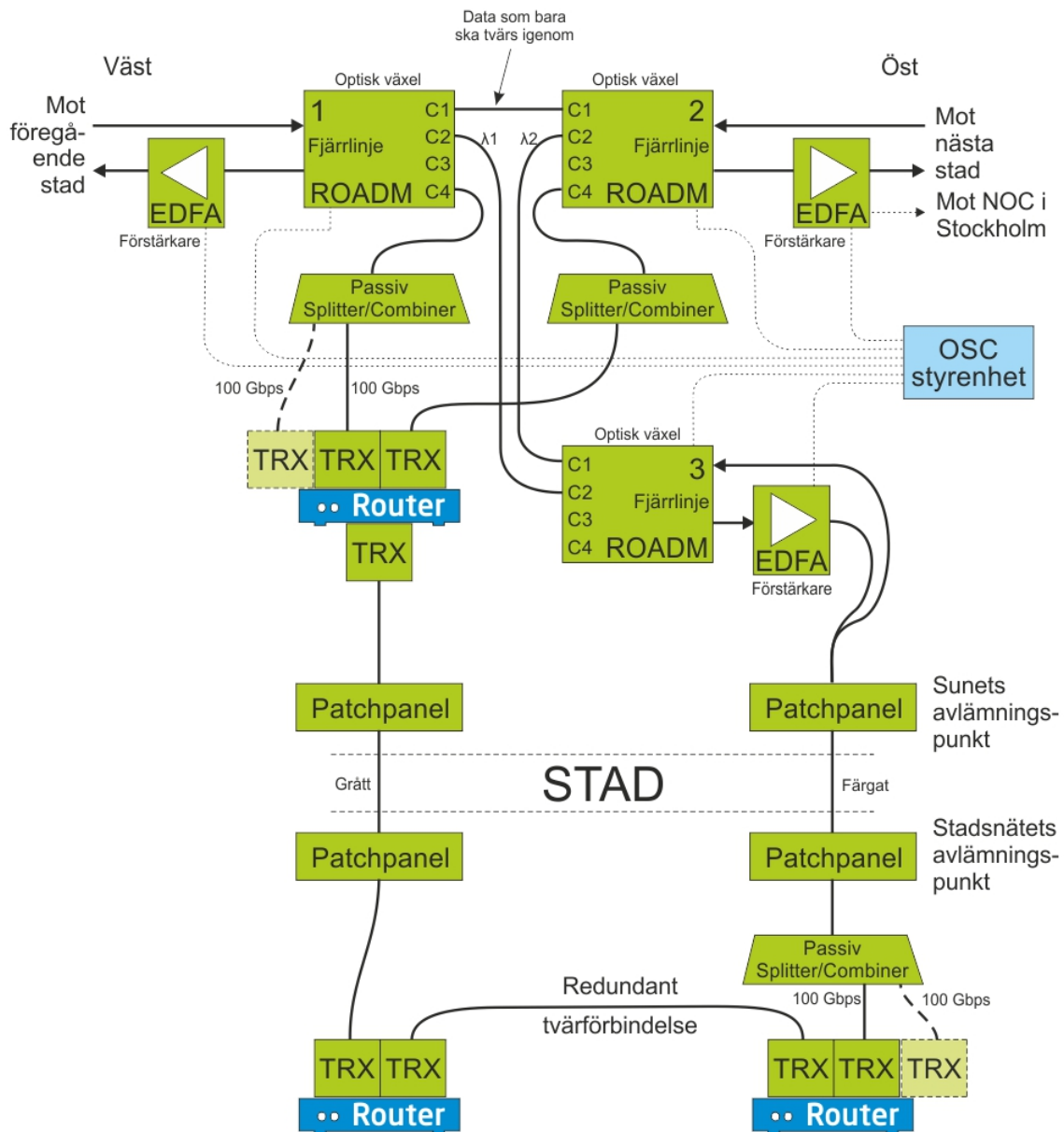
Routerlös kommunikation

Den dag det är tillräckligt mycket trafik i nätet på en väldigt populär ledning, exempelvis Göteborg-Stockholm, kommer det att finnas en möjlighet att ställa upp en expressväg (direktledning) för just denna populära sträcka (röd). Då kommer samma våglängd att komma ut i Stockholm, som man skickade in i Göteborg. Detta har provats mellan Göteborg och Narvik och är en möjlig väg ut ur tunga trafikstockningar. Förmodligen kommer Sunet att tvingas till samma åtgärd som andra nätägare, nämligen att bygga en fast "triangel" mellan Stockholm-Göteborg-Malmö i sinom tid, då det är primära platser för trafikutbyte med andra operatörer.

UPPBYGGNAD AV EN STANDARDISERAD STAMNÄTSNOD

Alla stamnätssnoder (POP) som avlämnar data till lärosäten är ungefär likadant uppbyggda.

Logisk kommunikation i stamnätet i Sunet-C Uppbyggnad av en stamnötsnod



<p>Våglängd DWDM-ljus på C-bandet: 1529-1567 nm</p>	<p>Alla heldragna förbindelser på detta schema är optiska. Där de ska in i elektrisk utrustning, går de genom en transceiver (TRX). TRX är sk avstämbara gränssnitt och ställs in till den våglängd som ska sändas på nätet. EDFA påverkar inte våglängden. Grovt streckade förbindelser är framtida. Tunna, streckade förbindelser är OSC-kanalen.</p>	<p>Våglängd grått ljus (router till router): 1295-1310 nm</p>
---	---	---

Jörgen Städje för SUNET 2016 - www.sunet.se

Klickar du på schemat får du en större version. Gillar du bilden kan du klicka [HÄR](#) och få en högupplöst PDF att skriva ut och hänga på väggen, att ha i undervisningssyfte eller liknande.

Alla heldragna grova linjer i bilden är optiska förbindelser avsedda för transmission av lärosätenas data. De tunna streckade linjerna är elektriska förbindelser för övervakningskanalen OSC.

Övergripande beskrivning

Stamnätsnoden är det ställe där Sunet-C avslutas i en stad och data överlämnas vidare till lärosätet. Sunets nätdriftcentral i Stockholm har ansvar för routern som är placerad på lärosätet, där porten på routern utgör avlämningspunkten mot lärosätet. Eventuella felsituationer på fibern eskalerar Sunets personal till Tele2 som i sin tur klarar ut detta själv eller eskalerar till några av sina underleverantörer (exempelvis stadsnätägaren).

I noden beslutas vilka våglängder som exempelvis ska avledas från Väst in till lärosätet och vilka som ska ledas ut österut på Sunet-C igen. Beslutet tas i de tre optiska växlarna (ROADM) som har förmågan att exempelvis släppa igenom samtliga våglängder på nätet från Väst till Öst, eller plocka ut vissa våglängder (1, 2, 23 eller alla 96) och spärra andra. ROADM kan också ändra amplituden på vissa våglängder (wavelength equalization) om förstärkningen skulle vara ojämn så att vissa våglängder blivit starkare än andra. Skulle en våglängd vara för svag skulle den kunna störas ut eller försvinna ned i bruset innan den nått fram till nästa nod.

En av klientlänkarna (C1-C1 överst) är till för att låta data som bara ska förbi denna POP att gå vidare utan ytterligare hantering. Detta kommer att utnyttjas i framtiden. Se röd ledning i förra avsnittet.

Nodens uppbyggnad är inte helt rakt på sak. Den ser ut som den gör av den anledningen att man kompromissat mellan lägsta pris och bästa redundans. Noden får inte bli en SPOF (single point of failure) för nätets eller lärosätets trafik. Se förra avsnittet.

Låt oss titta på komponenterna.

ROADM – reconfigurable optical add-drop multiplexer



*Wavelength Selection Switch (WSS) avsedd att byggas in i en ROADM.
Finisar tillverkar WSS:er och exempelvis Adva bygger in dem i sina ROADM.*

Denna remarkabla apparat är ett block stort som en videokassett, som kan välja och vraka bland inkommande våglängder, kasta bort vissa och favorisera andra. ROADM-modulen har en inkommande dubbelriktad nätanslutning (fjärrlinje) och fyra dubbelriktade klientportar (C1-C4). I vissa stamnätsnoder har ROADM nio dubbelriktade klientledningar. Endast signaler **in på klientportarna** C1-C4 kan väljas och vrakas, kombineras och matas ut tillsammans på fjärrlinjen, medan signalen in från fjärrlinjen bara förstärks som helhet och delas i fyra likadana strömmar ut på klientportarna C1-C4.

Add betyder att enheten kan lägga till våglängder som inte fanns på ledningen tidigare och **Drop** betyder att våglängder kan tas bort. Låt oss betrakta två godtyckliga våglängder λ_1 och λ_2 .

Drop utförs i praktiken så att ROADM1 matar ut alla inkommande våglängder, inklusive λ_1 på utgång C2 och att samma λ_1 skiljs ut på ROADM3-C2 och ensam förs vidare till lärosätet på enhetens fjärrlinje. ROADM1 matar samtidigt ut alla våglängder på utgång C1, som tas emot på ROADM2-C1, men λ_1 väljs inte ut ur denna ström. Dropped.

Add utförs så att en annan våglängd λ_2 kommer in från lärosätet på ROADM3 fjärrlinje. Den åker tvärs igenom och kommer ut på ROADM3-C1, går vidare till ROADM2-C2 där den väljs ut och läggs in på utgående fjärrlinje, tillsammans med dem som valdes ut från ingång C1.

λ_1 och λ_2 kan vara samma våglängd. Man sparar plats i fibern genom att återanvända samma våglängd om och om längs nätet.

Skärskådande artikel kommer.

EDFA – erbium doped fibre amplifier

De våglängder som ska vidare ut på nätet måste förstärkas, särskilt efter amplitudutjämning i ROADM, för att orka nästa 80 kilometer med tillräckligt bra optiskt signal/brusförhållande. Detta sker i de optiska EDFA-förstärkarna.

EDFA förstärker inom ett smalt våglängdsband och förstärkningen blir svagare ut mot bandkanterna. Detta måste man kompensera för. <https://www.sunet.se/blogg/teknisk-djupdykning-optisk-magi-med-edfa/>

TRX – transceiver

Den optiska transceivern är nästan lika vanlig som vägguttag i en datorhall och monteras i alla elektrooptiska apparater, som routrar och switchar, där ljuset ska omvandlas till elektriska signaler, eller tvärtom. Ljuset från de TRX-er som visas på schemat går hela vägen till nästa stad. Se vidare <https://www.sunet.se/blogg/den-optiska-transceivern/> och nedan.

Passiv splitter/combiner

Man kan undra varför det finns en passiv splitter/combiner på varje ingång till ROADM. Den är avsedd att kombinera ihop våglängder från flera TRX-er, men vad ska den kombinera när det bara finns en ingående fiber? Den har dessutom en del optisk dämpning och är i nuläget bara en förlust. Combinern är dels ett standardkrav från Adva och dels en framtidssäkring. En dag blir 100 Gbps för lite för ett lärosäte. Då behövs en 100 Gbps transceiver till (streckade ljusgröna TRX i ritningen). Transceivern sätts i lämplig router och matar ut ytterligare en våglängd på nätet och dessa båda måste kombineras. Varför inte skaffa en 200 Gbps transceiver, den dag sådana finns? I händelse av att ett lärosäte behöver dedikerad kapacitet till valfri ort eller plats i Sverige via stamnätet så kan man tända sin egen våglängd och injicera den via splitter/combinern som redan står på plats.

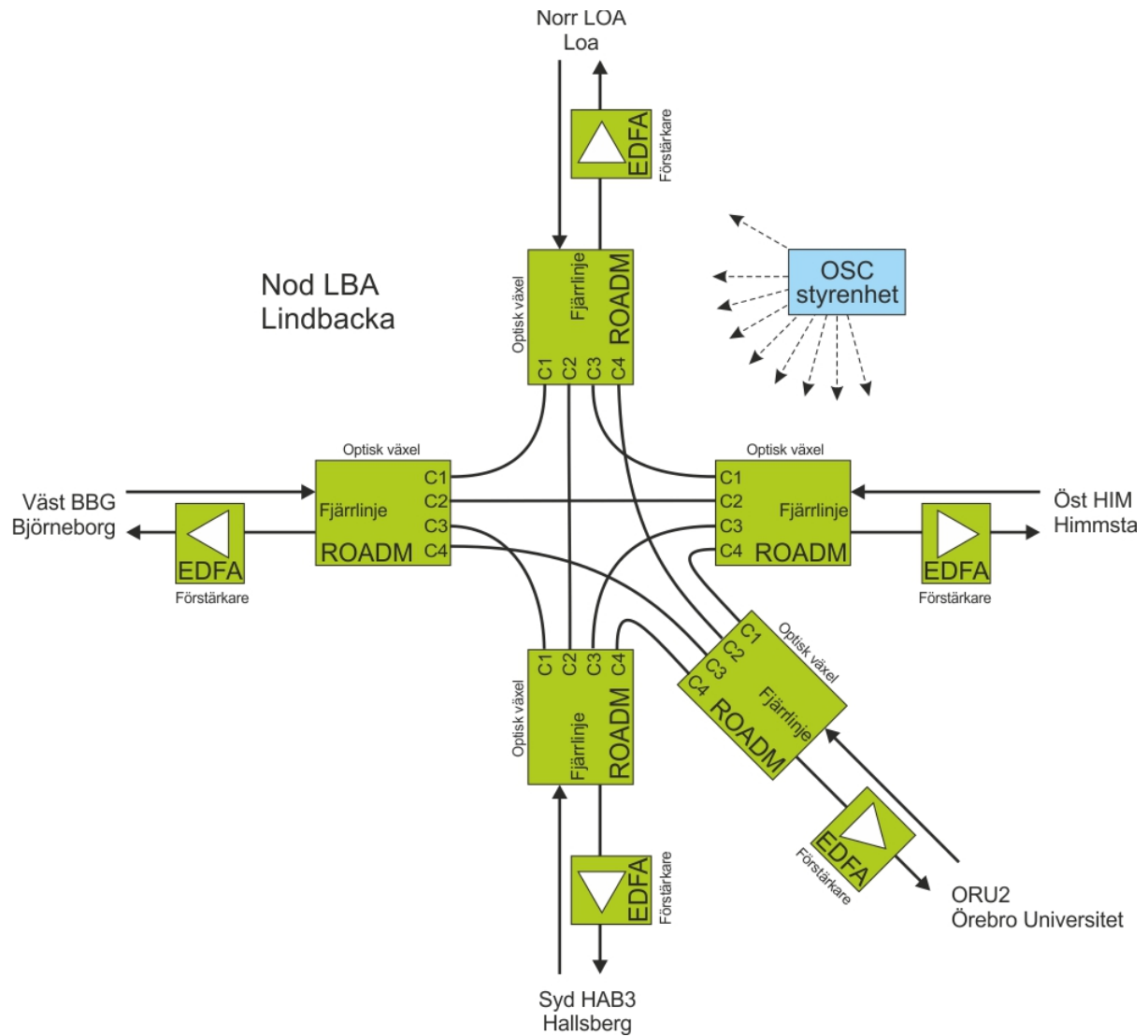
OSC-kanalen

OSC-kanalen på 1526 nm används för övervakningsändamål. OSC-kanalen simulerar en 100 Mbps ethernetförbindelse. OSC-informationen routas på fibernätet precis som nyttotrafiken, men av egna routrar.

OSC-kanalen växlas inte av ROADM och förstärks inte heller av utgående EDFA. Den plockas ut med ett filter i EDFA, görs om till elektrisk signal och hanteras som det Ethernet den simulerar, i en helt vanlig switch i POPen. Den är ansluten till styrenheten NPU som också är en router för OSC-kanalen och ser till att skicka OSC mellan POParna för att den slutligen ska hamna i NOC på Tulegatan. Se mera nedan.

UPPBYGGNAD AV ETT RINGHÖRN

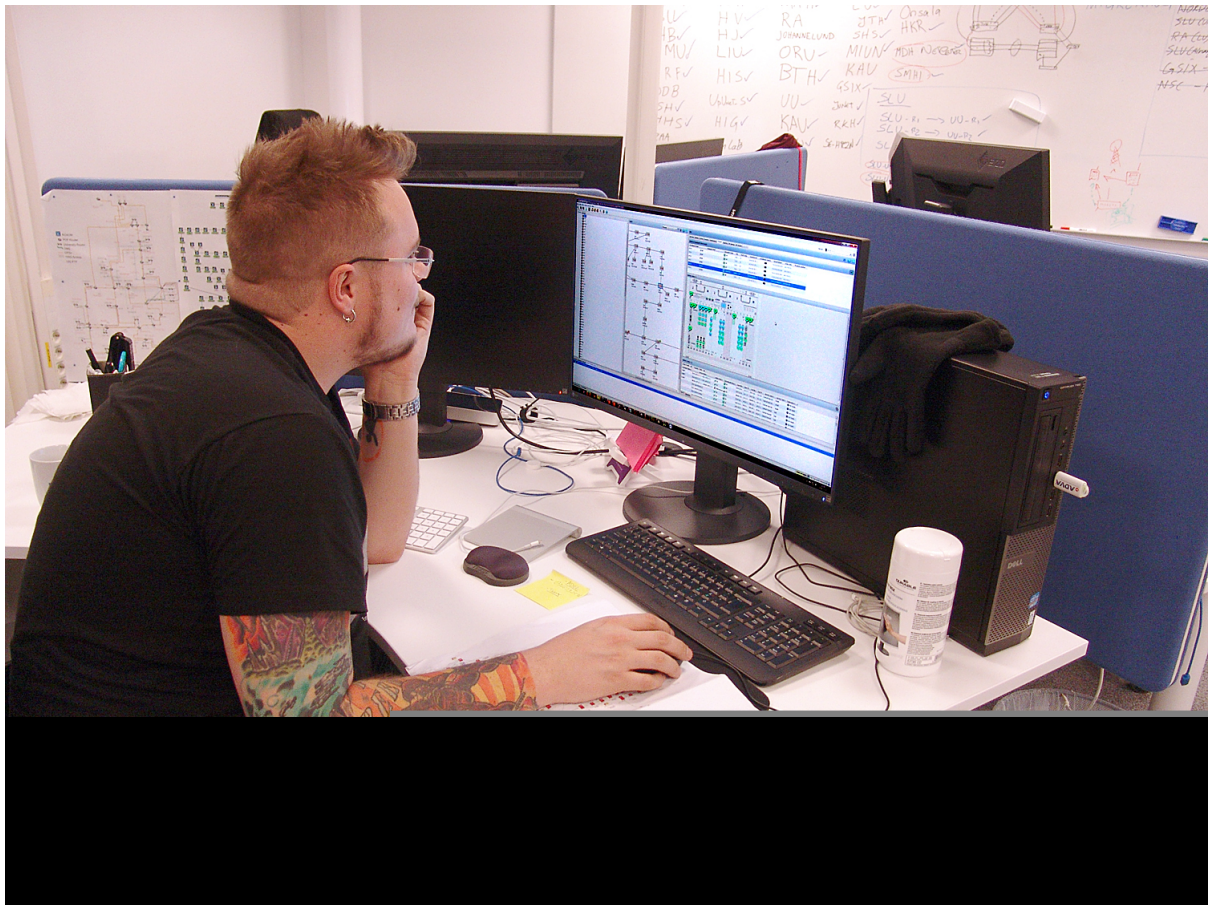
Då och då möts två eller flera fiberringar i hörnen, utan att det finns något lärosäte i närheten. Då behöver man inte ta ut data för leverans någonstans. Istället behövs det anslutning mellan fyra, eller ibland fem fjärrlinjer, till skillnad från en stamnätsnod som bara behöver anslutning till två fjärrlinjer. Utöver detta behövs styrinformation som bestämmer hur data ska färdas genom kryssförbindelsen. Schemat blir lite annorlunda än i en stamnätsnod.



Ett typiskt sådant ringhorn är LBA eller Lindbacka som är ett ställverk i kraftnätet nära Örebro (se flygbilden överst i artikeln). Där möts fyra ringar. Dessutom tas fibrer ut till Örebro Universitet med tänkbar vidarekoppling till NORDUnet.

I själva verket finns en router med på Lindbacka också, men den har ingenting med själva ringhornets uppbyggnad att göra och är därför utesluten på bilden. Routern kräver sin egen port i alla ROADM, vilka i själva verket har nio klientportar, men det är inte viktigt i detta sammanhang.

Bilden visar hur de optiska bärvågorna växlas vidare. Konfigurationen av vilka våglängder som ska växlas vart kommer som order på OSC-kanalen från NOC i Stockholm och lagras i respektive ROADMs konfiguration. Konfigurationen är en följd av den ursprungliga våglängdsplaneringen. Se mera nedan.



Dessa ROADM (liksom alla andra i hela landet) övervakas av de ständigt spejande ögonen och de ständigt uppmärksamma övervakningsprogrammen på nät driftcentralen på Tulegatan i Stockholm. Här sitter Fredrik Korsbäck och zoomar in på Lindbacka med Advas systemövervakningsprogram FSP Network Manager.

Advass systemövervakare FSP Network Manager

Five degrees, fem utgångar

Alla installerade enheter är i drift

Utrustningens frontpanel Fiber Service Platform 3000

Länk till DU, Högskolan Dalarna i Falun i drift

Länk till MIUN, Mittuniversitetet i Sundsvall i drift

Länk till LBA, POpen i Lindbacka i drift

Prismasymbolen visar att det rör sig om en ROADM

Nod LBA: Lindbacka, ett ställverk nära Örebro

OSC-övervakning

EDFA 1

ROADM 1

EDFA 2

ROADM 2

ROADM 3

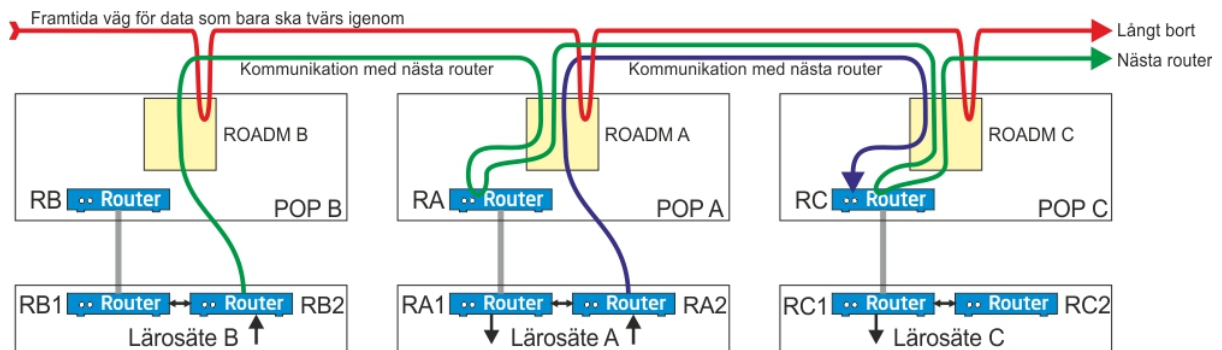
EDFA 3

Skärmbilden ser ut så här. Informationen på högersidan har nått Tulegatan via OSC-kanalen. Kommentarna i bilden visar de mest framträdande detaljerna för ett av de två ROADM-chassin som utgör nod LBA. Till vänster visas en kartbild som anger

var noden finns i nätet och vilka länkar den är ansluten till. LBA är ansluten till HIM, HAB3, BBG och LOA, samt till ORU2 som är Örebro Universitet. Den lilla prismasymbolen visar att det är en våglängdsväxel vi studerar.

Det högra fönstret visar en bild på framsidan av själva utrustningen som är en Adva Fiber Service Platform 3000 utrustad med tre ROADM-moduler (blå kontaktdon) och tre tillhörande EDFA-förstärkare (grå kontaktdon), som exempelvis skulle kunna kallas EDFA Väst, Nord och Syd. Alla de anslutna kontaktdonen (N, C1 C2 osv) är grönmarkerade för de har inkommande bärvåg och producerar själva utgående bärvåg. Den uppmärksamme ser att ROADM-blocket har nio klientutgångar och inte fyra som visas i den förenklade schemat ovan. Endast fyra av dem används dock, så funktionen är identisk med schemat. Tillhörande EDFA är också grönmarkerade eftersom de fungerar som avsett. OSC-modulen som matar OSC-informationen till och från detta chassi, för vidare befordran till NPU, visar sig också fungera som avsett. Pratbubblorna märkta OK utgör en sammanfattning av läget.

STATISK FÄRGPLANERING



Färgat ljus som sänds mellan routrar och lärosäten behöver inte hålla samma färg hela vägen. Nätet är emellertid noggrant färgplanerat för att man ska spara så mycket som möjligt på tillgängliga våglängder. Bandplanen (färgplanen) är fastlagd och ändras inte dynamiskt. Av detta framgår att alla ROADM för närvarande är statiskt konfigurerade och aldrig ändras. Färgen mellan router RB2 och RA kan vara densamma som från RA till RC. De två möts aldrig utan hålls isär av mellanliggande ROADM och kommer aldrig att störa varandra.

I ett kommersiellt nät hade man behövt använda sig av mer noggrann färgplanering, för att man vill kunna sälja nya våglängder till nya kunder hela tiden och maximera utnyttjandet av tillgängligt spektrum. För Sunets del finns inte det problemet i samma utsträckning då man primärt serverar sig själv.

Det är inte trångt nu, men kommer att bli trängre i bandplanen i framtiden. Ljus som i en trafikstockad framtid ska gå direkt från Göteborg till Stockholm kommer att behålla sin färg hela vägen, medan annat ljus som kommer in längs vägen får rätta sig därefter.

TUNABLE DWDM INTERFACE

För att man ska kunna bestämma vilken våglängd en särskild router ska mata ut på en enskild utgång måste man ha transceivrar som kan byta våglängd på kommando. De måste vara avstämbara. Bilden visar en sådan. Den betecknas med TRX i systemskisserna.



Avstämbar transceiver avsedd att pluggas in i en router eller liknande

Avstämbare transceivrar är ganska vanliga i Sunet-C. De sitter monterade överallt där någon nätverkskomponent vänder ut mot stamnätet. Ljuset i fibern åstadkoms av en halvledarlaser och dess våglängd beror på laserkristallens temperatur. Våglängden är noggrant beroende av avståndet mellan laserns speglar och värmer man kristallen så förlängs den och avståndet mellan speglarna ökar, varvid våglängden ökar i samma mån.

En avstämbar transceiver har fått lasern utrustad med en värmare och strömmen genom värmaren avgör sålunda våglängden. Det tar cirka tio sekunder för lasern att stabiliseras på en ny våglängd efter att ordern om temperaturändring kommit. Det kan tyckas vara lång tid, men eftersom våglängderna i Sunet-C för närvarande aldrig ändras, spelar det ingen roll.

FLEXGRID KONTRA FAST KANALAVSTÅND

Ska man följa ITUs bandplan (grid), bör man hålla sig till ett kanalavstånd på 0,8 nanometer eller 50 GHz mellan färgerna på fibern. Det fungerade bra förr, men allt eftersom tekniken blir modernare, blir det oflexibelt.

Resultatet av ITUs bandplan är att varje bärvåg (färg, kanal) inte får bli bredare än 50 GHz eller 0,8 nm, hur man nu vill se på det. 50 GHz kommer inte att räcka till i framtiden när man vill ha mera kapacitet på en kanal. En bärvåg med en terabit per sekund kommer att kräva cirka 130 GHz kanalbredd. British Telecom har experimentellt visat en sk superchannel av 5 stycken 200 Gbps-kanaler med en bandbredd på 37,5 GHz vardera, vilket blir en total kanalbredd på 188,5 GHz

(<http://www.idg.se/2.1085/1.590938/nar-fibern-blir-full-trycker-vi-in-lite-till>). Då blir det optimalare att överge den av ITU standardiserade kanalindelningen om 96 kanaler och tränga isär kanalerna på de trafikstockade delarna av bandet där så behövs, medan andra delar, korthållsdelarna, kan fortsätta med 50 GHz delning. Detta är sk flexgrid.

Moderna TRX-er klarar 200 Gbps på en våglängd. Väljer man att behålla en bandplan på 50 GHz får man minska överföringsavståndet till mindre än hälften av dagens, eftersom bärvågorna annars riskerar att störa varandra samt att felkorrigeringen inte hinner med att rätta linjefel tillräckligt snabbt.

KONFIGURATION VIA 4G

När utrustningen levereras till stamnätsnoderna, kopplar teknikerna in elkraften, stoppar in fibrerna och slår på strömmen, men utöver detta gör de inget. För de kan inte göra något. Utrustningen är inte konfigurerad när den kommer direkt från

fabriken. Sunet-C kopplar inte upp sig bara för att det finns ström i alla routrar. De måste konfigureras också, men inte via Sunet-C, för det existerar inte då. Istället kopplas utrustningens serieportar upp via ett 4G-modem som kommer in via ett skyddat, avskilt nät till NOC:en i Stockholm där man kan göra initial konfiguration.

Konfigurationen av optiska nätelement sker via OSC-kanalen, men denna existerar inte heller på fibernätet när enheterna är nyinstallerade. För att klara detta och de fall nätet skulle vara trasigt, enheterna felkonfigurerade eller noden blir isolerad av annan anledning, kan man nå alla POPar via en 4G dataförbindelse.

Ingen nätverkstekniker sitter och ringer upp varje nod individuellt, utan hela OSC-nätet fungerar som en enhet som nås via ett trådlöst VPN som Tele2 tillhandahåller. I rackskåpen i stamnoderna finns som tidigare nämnts en NPU som hanterar och routar OSC-informationen. NPU väljer om den ska arbeta via fibernätet eller 4G-datanätet.

FRAMTIDEN

Framtiden är ljus – infraröd! Sunet kommer inte att ge upp förrän maxkapaciteten på 19 terabit per sekund är nådd. Det kommer att ta några år. Och då ska du se att det kommer ny teknik som kan ordna 38 Tbps. I värsta fall återstår L-bandet med 19 Tbps till.

LÄS MER

Del ett av artikeln: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-1-av-2/>

Om lärosäten i stadsnät: <https://www.sunet.se/blogg/langlasning-folja-fiber-fran-tulegatan-till-stockholms-universitet/>

Om C-bandet: <https://www.sunet.se/blogg/c-bandet-grundlaggande-om/>

ITUs bandplan C-bandet: <http://www.fiberdyne.com/products/itu-grid.html>

British Telecoms experiment: <http://www.idg.se/2.1085/1.590938/nar-fibern-blir-full-trycker-vi-in-lite-till>

KONSTIGA ORD

När man läser till hälften begripliga tekniska redovisningar stöter man på en hel massa konstiga ord. Förstår man dem, går det lättare. Här är några.

1 U, 1 RU: One unit eller one rack unit, på svenska en höjdenhet (HE) betecknar utrymmet i vertikalled för montering av racklådor i ett rackskåp. 1 HE är 44,45 mm (1,75 tum).

100G LR4/ER4: 100 Gbps Long Range, när man använder fyra våglängder om 25 GBps tillsammans för korthållskommunikation.

100G OTU4 DWDM: Optical channel Transport Unit av fjärde graden, ett sorts "kuvert" som innesluter 100 Gbps Ethernet på ett fiberoptiskt nät med flera färger (DWDM)

APC: Angle Polished Connector, ett optiskt kontaktdon där fibern är avslipad i 8 graders vinkel, kontra den vanliga typen där fibern är rakt avkapad. Med APC minskas återreflektionerna i fibern avsevärt.

AS-nummer: Autonomous System. Varje internetleverantör har samlat sitt system under en identifierare, ett AS-nummer. Detta används som identifikation vid routing mellan leverantörer.

BER: Bit Error Rate, felfrekvens

BGP: Border Gateway Protocol, ett kommunikationsprotokoll som körs mellan routrar i avsikt att undersöka konnektiviteten, dvs om det finns anslutning.

C-bandet: Ljus mellan våglängderna 1530 och 1570 nm.

Core router: En router i stamnätet.

CPE: Customer Premises Equipment, kundutrustning, kundens routrar och switchar.

DWDM: Dense wavelength division multiplexing, metoden att stapla 96 kanaler inom ett smalt band, exempelvis C-bandet.

eBGP: Exterior Border Gateway Protocol, ett kommunikationsprotokoll använt mellan routrar som befinner sig i olika autonoma system, dvs hos olika operatörer, till skillnad från iBGP (se detta).

Flexgrid: Kanaldelning utan fasta intervall.

Färgat ljus: Ljus inom bandet 1530 och 1570 nm.

Grid: Delningen mellan kanalerna på ett våglängdsband.

Gridless: se Flexgrid i artikeln.

Grått ljus: Ljus i bandet 1295-1310 nm.

iBGP: Internal BGP, är ett kommunikationsprotokoll likt BGP, som används internt på en leverantörs nätverk, inom ett autonomt system (AS).

ILA: In-Line Amplifier, förstärkarmodul på ett fiberoptiskt nät.

ISP: Internet Service Provider, internetleverantör. Skulle också kunna vara fiberägare.

Junos: Operativsystemet i Junipers routrar

Koherent ljus: Laserljus av endast en våglängd, där alla ljuspartiklar går i fas och förstärker varandra. Grunden för optisk långdistanskommunikation.

MPLS: Multiprotocol Label Switching, ett överföringsprotokoll.

MUX, DEMUX: Multiplexering, demultiplexering, att sätta samman eller sönderdela våglängderna i en optisk signal.

ODF: Optical Distribution Frame, korskopplingskåp-rack-låda för korskoppling av optiska fibrer, eller med ett populärord "patchpanel".

Optiska lagret: Det funktionslager i ett optiskt nätverk som beskriver den optiska funktionen (till skillnad från den fysiska uppbyggnaden eller topologin).

OSPF: Open Shortest Path First, en routingmetod som väljer den optimalaste vägen genom ett nätverk.

ROADM: Reconfigurable optical add drop multiplexer, en våglängdsväxel, se artikeln.

Tunable DWDM interface: Avstämbart optiskt gränssnitt, se artikeln.

Skriven av



JÖRGEN STÄDJE

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