



TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**METRO ETHERNET -TEKNIikka:
VERKKO, PALVELUT JA SUUNNITTELMA**

**Työn tekijä: Mari Rantala
Työn valvoja: Seppo Lehtimäki
Työn ohjaaja: Seppo Lehtimäki**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Seppo Lehtimäki
lehtori**

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Mari Rantala	
Työn nimi: Metro Ethernet –tekniikka: verkko, palvelut ja suunnitelma	
Päivämäärä: 23.4.2007	Sivumäärä: 45 s. + 3 liitettä
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja: lehtori Seppo Lehtimäki	
Työn ohjaaja: lehtori Seppo Lehtimäki	
<p>Työ aloitettiin perehtymällä Metro Ethernet verkon eriosiin kuten Ethernet-verkkoon, MultiProtocol Label Switching verkkoon ja näiden verkkojen eriosiin. Työssä siis tarkasteltiin lähemmin Ethernet verkon toimintaa sekä sen tarjoamia standardeja kaistanopeuteen, kaapeli materiaaleihin ja kehysrakenteeseen. Tarkasteltiin myös MultiProtocol Label Switching verkon rakennetta, pakettien reititys perusteita pohjautuen Ethernet verkon kehysrakenteeseen, Internet Protocol over MultiProtocol Label Switching tekniikkaa sekä näihin liittyviä alakäsitteitä kuten palvelunlaatu, virtuaaliyhteys, MAC-osoite jne.</p> <p>Kun työssä oli selvitetty Metro Ethernet verkon taustat ja perusteet voitiin siirtyä tutkimaan Metro Area Network ja Metro Ethernet Networks verkkojen tarkempaa rakennetta ja niiden mahdollisuuksia. Koska työn aiheena on Metro Ethernet-verkko, tulee myös tutkia Metro Ethernet Forum järjestöä jossa päätetään kaikki Metro Ethernet-verkkoon liittyvät asiat ja mm. MEF standardit. MEF standardeja on 16 kappaletta ja ne määrittelevät mm. Metro Ethernet verkon palvelut ja verkon arkkitehtuurin.</p> <p>Viimeisenä tutkimusalueena oli kolmen eri verkkolaitteen tutkiminen ja jo valmiina olevien verkkolaitteiden mahdollisuuksien kartoitus. Laitteiden tutkinnassa perehdyttiin Metro Ethernet-verkko mahdollisuuksiin jokaisen laitevalmistajan tarjoamalla Internet Protocol over MultiProtocol Label Switching tekniikalla. Lopuksi tutkittiin vielä verkkosuunnitelman pohjan luomista sekä itse suunnitelmaa, aikaisempien tutkimus tulosten pohjalle.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena saatiin Metro Ethernet verkon ja käyttökelpoisten verkkolaitteiden tutkimusraportti ja käyttökelpoinen Metro Ethernet-verkkosuunnitelma jota voi käyttää mahdollisesti suoraan pohjana tai ainakin vertailu pohjana käytännön toteutuksessa.</p>	
Avainsanat: Metro Ethernet, Ethernet, MPLS, MultiProtocol Label Switching, Metro Ethernet Forum, MEF, MEN, IP/MPLS	

ABSTRACT

Name: Mari Rantala

Title: Metro Ethernet engineering: Network, services and designing

Date: 11 April 2007

Number of pages: 45

Department: Information technology

Study Programme: Telecommunication

Instructor: Seppo Lehtimäki

Supervisor: Seppo Lehtimäki

In this graduate study the technology of Metro Ethernet Network was examined for the purpose of Metro Ethernet Network Design. This study was started by examine background of Metro Ethernet, that is Ethernet technology and MultiProtocol Label Switching technology.

The Ethernet technology was approached by examine Ethernets functions, standards for bandwidth, frame architecture and cable materials. From MultiProtocol Label Switching was examined IP packet MPLS labelling, packet switching, IP/MPLS technology and few subsections about Quality of Service, Virtual Private Network and MAC address.

After examining the background it was time to approach Metro Ethernet Network and Metro Area Networks objects more closely. Next Metro Ethernet Forum and all 16 Metro Ethernet standards were examined.

Last part of examination was to examine different network devices from three different manufactures, examine the best solution for network device in network design.

As a result of this graduate study we have accomplish reliable study about Metro Ethernet technology and Metro Ethernets background. We also have small network design that can be used as a foundation in technical implementation or perhaps as reference in technical implementation.

Keywords: Metro Ethernet, Ethernet, MPLS, MultiProtocol Label Switching, IP/MPLS, MEN, MEF

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	ETHERNET-VERKKO	3
2.1	Ethernet-verkon toiminta ja perusteet	3
2.1.1	<i>Ethernet-kehys</i>	4
2.1.2	<i>MAC-osoite (Media Access Control)</i>	5
2.1.3	<i>802.1Q-tunnelointi</i>	5
2.2	Ethernet-standardit	5
3	MPLS-MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING	6
3.1	Pakettien reititys MPLS-verkossa	6
3.1.1	<i>Virtuaaliyhteys - Virtual Private Network (VPN)</i>	8
3.1.2	<i>Palvelunlaatu - Quality of Service (QoS)</i>	9
3.2	MPLS vastaan IP	10
3.3	MPLS-pohjainen MEN-verkko	10
4	METRO ETHERNET -VERKKO ELI METRO ETHERNET NETWORK (MEN)	10
4.1	Metro Ethernet Forum (MEF)	11
4.2	MEF (Metro Ethernet Forum) standardit	12
4.3	Metro Area Network (MAN)	14
4.4	Metro Ethernet -verkon palvelu tyyppejä	15
4.4.1	<i>Ethernet Line -palvelu</i>	15
4.4.2	<i>Ethernet LAN -Palvelu</i>	16
4.4.3	<i>Metro Ethernet -palveluiden muokkaaminen</i>	17
4.5	Metro Ethernet Carrier -palvelu ja arkkitehtuuri	18
5	METRO ETHERNET -LAITTEISTO	21
5.1	Cisco Systems Inc. – Metro Ethernet -ratkaisut	21
5.1.1	<i>Cisco Metro Ethernet -ratkaisumalli</i>	22
5.1.2	<i>Cisco Metro Ethernet -palveluita</i>	23
5.1.3	<i>Cisco IP/MPLS ja AToM (Any Transport over MPLS) -tekniikka</i>	24

5.2	Foundry Networks	25
5.3	Nortel Networks	26
6	METRO ETHERNET -VERKON SUUNNITTELU	26
6.1	Tehokkaan Metro Ethernet verkon suunnittelupohja	27
6.1.1	<i>Palveluidenmäärittely</i>	27
6.1.2	<i>SLA eli palvelusopimusmäärittely</i>	28
6.1.3	<i>Arkkitehtuuri</i>	29
6.1.4	<i>Teknologiaratkaisut</i>	31
6.1.5	<i>Laiteratkaisut</i>	32
6.2	Verkkolaite valinta suunnitelmaa varten	34
6.2.1	<i>Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switches</i>	34
6.2.2	<i>Muut Cisco laitevaihtoehdot</i>	38
6.2.3	<i>Cisco laitteiston vertailu</i>	41
6.3	Verkkosuunnitelma	42
7	YHTEENVETO	45

LYHENNELUETTELO

ATM	<i>Anycronous Transfer Mode</i> ; eli asynkroninen tiedonsiirtotapa, tämä pilkkoo lähetettävän tiedon vakiomittaisiin (53 tavua) soluihin lähetettäessä.
BGP	Border Gateway Ptoocol, on tärkeä internet reititysprotokolla.
ECP	<i>Encryption Protocol</i> , salausprotokolla jonka avulla salataan tietoa.
EIGRP	<i>Enhanced Interior Gateway Routing Protocol</i> , on Cisco:n kehittämä kaupallinen reititysprotokolla IP-reititykseen.
end-to-end	Tämä on suojaustaso jossa asiakastuntemus edellytetään itse asiakkaalta ja samoin varmenne jota säilytetään asiakkaan sertifikaattivarastossa.
EVC	<i>Ethernet Virtual Connection</i> ; virtuaalinen yhteys joka kytkee kahden tai useamman verkon toisiinsa MEN verkossa.
FrameRelay	tämä on alueverkkojärjestelmä jolla liitetään asiakkaan lähiverkkojaa toisiinsa. Tämä on kuitenkin vanhentunut reititysprotokolla koska se ei kykene ominaisuuksiltaan ja nopeudeltaan vastaamaan enää yrityksen tarpeisiin
hop-by-hop	Tässä suojaustasossa edellytetään palvelimelta asiakastuntemusta ja näitä tietoja säilytetään serverin sertifikaattivarastossa.
H.323	signalointiprotokolla on ITU-T:n kehittämä standardi kaikille protokollille jotka lähettävät audiovisuaalista dataa, määrittelee videoneuvotteluyhteyksien protokollan pakettiliikenne verkkoihin esim. Ethernet tai internet.
IGP	<i>Interior Gateway Protocol</i> , tämä on protokolla joka vaihtaa informaatiota kahden verkkolaitteen välillä (käyttäjät reitittimien kanssa).
IP	<i>Internet Protocol</i> , on verkkokerroksen protokolla joka yhdistää kaikki koneet toisiinsa. Tämä myös varmistaa data pakettien perille toimittamisesta verkossa.
IPsec	<i>IP Security Architecture</i> , sisältää joukon TCP/IP tietoliikenneprotokollia internet yhteyksien turvaamiseksi. Sisältää siis salauksen, kaikkien osapuolten todennuksen sekä tiedon eheyden varmentamisen.
IS-IS	<i>Intermediate System to Intermediate System</i> , on reititysprotokolla verkon sisäiseen reititykseen.
LAN	<i>Local Area Network</i> ; on pienellä maantieteellisellä alueella toimiva verkko esim. yrityksen yhden toimipisteen koneet yhdistävä verkko.
L2F	<i>Layer 2 Forwarding</i> , Cisco:n kehittämä tunnelointi protokolla virtuaaliyhteyksiin.
L2TP	<i>Layer 2 Tunneling Protocol</i> , Microsoft:n ja Cisco:n kehittämä tunnelointi protokolla virtuaaliyhteyksiin.

MAC	<i>Media Access Control</i> ; –osoite on jokaiselle laitteelle jo valmiiksi valittu ja kirjoitettu osoite joka yksilöi laitteen Ethernet-verkossa.
MAN	<i>Metro Area Network</i> ; tämä on yhden tai useamman kaupungin alueella toimiva lähiverkko. Muodostuu siis useammasta lähiverkosta.
MEF	<i>Metro Ethernet Forum</i> ; Yrityksistä koostuva yhteisö joka päättää Metro Ethernet verkon standardeista ja arkkitehtuurisista vaatimuksista.
MEN	<i>Metro Ethernet Network</i> ; Liittää pienempiä verkkoja toisiinsa maailman laajuisesti.
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i> ; tämä on reititys menetelmä joka siirtää mm. IP-paketteja ennalta määrättyjä yhteyksiä pitkin mm. nopeiden runkoverkon solmujen kautta ilman erillistä reititystä.
MPPE	<i>Microsoft Point-to-Point Encryption</i> , Microsoft:n kehittämä salausmenetelmä point-to-point virtuaaliyhteyksiin verkossa.
OSI	<i>Open System Interconnection (Reference Model)</i> ; OSI –malli kuvaa tiedon-siirtoprotokollien yhdistelmää seitsemässä kerroksessa.
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i> ; suosittu avoimiin standardeihin perustuva reititys-protokolla, osaa jakaa reititys tietoa niin IP protokollasta kuin muistakin reititettävistä protokollista. Protokolla käyttää niin sanottua Dijkstran algoritmia optimaalisimman reitin löytämiseen.
PBR	<i>Policy-Based Routing</i> , suorittaa reitityksen esim. verkon administraattorin laatimien toimintaperiaatteiden pohjalta.
PPTP	<i>Point-to-Point Tunneling Protocol</i> , on virtuaaliyhteys-tunnelointiprotokolla joka suunniteltiin käytettäväksi Microsoft työasemien ja palvelimien virtuaaliyhteyksiin julkisen verkon ylitse.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> , yleinen puhelinverkko joka perustuu kuparikaapeli yhteyksiin sekä analogisen äänen kuljettamiseen. Nykyään jo digitaalinen suurimmaksi osaksi.
QoS	<i>Quality of Service</i> ; Palvelun laatu, kuvaa tietoliikenteen luokittelua ja priorisointia. Tämän perusteella liikennettä voidaan hallita eli voidaan joko pudottaa liikennettä pois kokonaan tai hidastaa huomattavasti.
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i> , standarsi jota käytetään siirtoverkossa synkronoidun tiedon siirtoon ja jossa kaikki laitteet ovat tahdistettu samaan aikaan.
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i> , on tietoliikenneprotokolla joka vastaa IP puheluiden, video puheluiden ja muiden multimedia yhteyksien luonnista.
SLAs	<i>Service Level Agreements</i> ; palvelun laatu/luokka sopimukset, eivät ole suoranaisesti palvelu sopimus vaan osa sen määritelmää. Lopullinen palvelu sopimus voi sisältää yhden tai useamman palvelu sopimuksen.
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> , on tietoliikenneprotokollien yhdistelmä jota käytetään internet-liikennöinnissä.

TTL	<i>Time of Life</i> ; ilmaisee esim. paketin elin iän.
UNI	<i>User Network Interface</i> ; Piste palveluntarjoajan vastuun ja tilaajan vastuun välillä.
VLAN	<i>Virtual LAN</i> ; tapa jolla voidaan jakaa lähiverkko pieniin osiin. Esim. yrityksen lähiverkko voidaan jakaa osastojen omiin verkkoihin.
VoIP	<i>Voice over IP</i> ; eli IP -puhe on siis tekniikka jonka avulla voidaan siirtää reaaliaikaista ääntä ja kuvaa internetin kautta.
VPN	<i>Virtual Private Network</i> ; tapa jolla kaksi tai useampi yrityksen eripaikoissa olevaa verkkoa liitetään yhteen muodostaen yksi verkko näennäisesti.
WAN	Wide Area Network, on verkko joka peittää laajoja maantieteellisiä alueita eli yhden kaupungin alueella mutta ei sen laajemmin.
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> , on langaton lähiverkko jolla voidaan yhdistää verkkolaitteita toisiinsa ilman johtoja.

1 JOHDANTO

Ethernet-verkkoa voidaan kutsua kaikkein tärkeimmäksi tietoliikennemuodoksi tänä päivänä. Ethernet-verkosta on tullut tunnetuin ja käytetyin verkkoratkaisumalli koko maailmassa. Sen menestyksen valtteina ovat yksinkertaisuus, kustannustehokkuus, saatavuus ja yhteensopivuus muiden verkkojen ja laitteiden kanssa.

Ethernet verkon rinnalle on kehitelty useampia ratkaisuiltaan parempia verkkomalleja, mutta ne eivät ole pystyneet syrjäyttämään Ethernet-verkkoa, mm. sen yksinkertaisuuden ja kustannustehokkuuden takia. Näin ollen Ethernet on kehittynyt huimasti sen syntymästä niin nopeudellisesti kuin verkkoratkaisuineen. Kehityksen mukana monien laitteiden ja muiden ratkaisujen tarpeet ovat kasvaneet, jopa kotikäyttäjän tarpeet ovat kasvaneet niin, että tämä on saanut palveluntarjoajat ja laitevalmistajat uudelleen ajattelemaan tämän hetkisiä verkkokapasiteetteja uudessa valossa.

Metro Ethernet (ME) on seuraava askel Ethernet-verkko maailmassa, se on kasvamassa oleva verkkomalli joka mahdollistaa maantieteellisesti kaukana toisistaan olevien yritysverkkojen tai palveluntarjoajien verkkojen yhdistämisen ja tarjoamalla laajan kokonaisuuden. ME-verkko takaa myös laajan ja yksinkertaisen liitettävyyden käyttäen Ethernet-protokollaa.

ME-verkot ovat myös yleistymässä kotikäyttäjien keskuudessa jossa palveluntarjoajat rakentavat ME-verkkoja kattamaan kokonaisia kaupunkeja ja tarjoavat esimerkiksi halpoja IP puheluita ME-verkossa, IP televisio palveluita jne. Yrityskäytössä ME-verkko tarjoaa edullisen ja nopean ratkaisun yhdistämään maantieteellisesti kaukana toisistaan olevat yrityksen toimipiste verkot.

Tässä työssä tutkitaan Metro Ethernet -verkkoa ja sen tarjoamia mahdollisuuksia. Tavoitteena on tutkia kolmen eri laitevalmistajan (Cisco Systems, Foundry Networks ja Nortel) markkinoilla olevia Metro Ethernet -laitevaihtoehtoa ja valita niistä parhaiten suunniteltavan verkon vaatimuksiin sopiva laite. Tarkoituksena on myös tutkia eri tiedonsiirtomenetelmiä Metro Ethernet -verkossa, jossa voidaan käyttää useampaakin eri verkkotekniikkaa. Tällaisia tiedonsiirtotekniikoita ovat esim. IP over MPLS tai Carrier Ethernet. Näiden havaintojen pohjalta pyritään tutkimaan vielä tarvittavat omi-

naisuudet joita käytetään verkkosuunnitelmassa kuten verkon nopeus, virtuaaliyhteydet verkkojen välillä ja mahdolliset virtuaali LAN:it.

Tämän työn tavoitteena on Metro Ethernet verkon suunnitelma tutkimustulosten pohjalta. Tavoitteena on valita sopivin verkkolaite verkkosuunnitelmaan joka vastaa parhaiten verkon vaatimuksia ja jonka kustannukset jäävät alhaisiksi, valita standardin mukaiset palvelut ja muut ominaisuudet.

2 ETHERNET-VERKKO

Ethernet-verkko on yleistynyt koko maailmanlaajuisesti verkkoratkaisuksi. Ethernet-verkkomallia alettiin kehittää jo 1960-luvulla, mutta vasta vuonna 1972 se sai lopullisen muotonsa. Tässä lopullisessa muodossa Ethernet:ä käytetään edelleen, vaikkakin verkkojen nopeus ja kapasiteetti ovat muuttuneet merkittävästi kuluvinä vuosina. [1.]

2.1 Ethernet-verkon toiminta ja perusteet

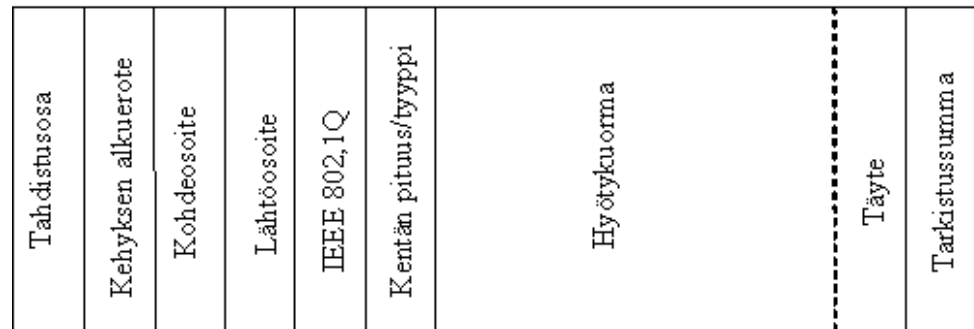
Ethernet-verkossa kaikki tietokoneet on kytketty toisiinsa suoraan johdoilla tai tietoliikennelaitteen kautta. Ethernet-verkkoa kutsutaan kilpavarausverkoksi törmäksentunnistuksella, jossa kaikki laitteet ovat samanaikaisia ja laitteen lähettäessä dataa sen on saatava oma lähetysaika. Joskus kaksi verkossa olevaa laitetta voivat lähettää dataa samanaikaisesti. Silloin tapahtuu lähetysten yhteentörmäyksiä. Tällaisessa tapauksessa törmäys saattaa tuhota lähetetyn datan ja törmänneiden laitteiden on uusittava lähetys. [2.]

Törmäysten estämiseksi Ethernet-verkossa käytetään tietoliikennetien varausmenetelmänä CSMA/CD:tä (Carrier Sense Multiple Access With Collisions Detection), jonka avulla Ethernet-verkko saadaan jaettua turvallisesti useamman käyttäjän kesken. Dataa lähetettäessä, tietoliikenneväylän varaaminen ei kuitenkaan tapahdu ennen lähetystä vaan törmäyksen jälkeen. Uusi törmäys voidaan siis estää kuuntelemalla verkkoa ennen uudelleen lähettämistä, ja voidaan suorittaa kanavanvaraus, jos verkko on vapaa. Jos siirtotie on varattu, voi lähettäjä joko jäädä odottamaan verkon vapautumista tai tulla kuuntelemaan verkkoa hetken päästä uudelleen. Törmäyksien välttämiseksi on myös kehitelty sanoman minimipituus, joka on 64 tavua. Siitä lisää seuraavassa kappaleessa (2.1.1). [2]

Liitteenä 1 olevasta Ethernet standarditaulukosta nähdään että tänä päivänä Ethernet-verkkoja saa 10/100/1000 Mbps nopeuksilla sekä jopa 10Gbps nopeudella. Nykyisin yleisimmät tietoliikenneverkot (jopa koti Ethernet-verkot) ovat ns. Fast Ethernet- ja Gigabit Ethernet-verkkoja suurien vaatimuksien takia. [3]

2.1.1 Ethernet-kehys

Ethernet-verkossa kulkeva data pakataan aina kehyksiin, jonka minimipituus on 64 tavua. Tämä minimipituus tulee siitä, että kehyksen lähetys ei saa koskaan päättyä ennen kuin se on perillä. Tällä tavalla lähettäjä pystyy havaitsemaan mahdollisten kehyksien törmäyksen. Kaikkein yleisin kehysmalli nähdään kuvassa 1 sekä kehyksen kaikki osat ovat selitetty kuva jälkeen.



Kuva 1. Ethernet-kehys [1, s.90]

Tahdistusosa on bittikuvio, jonka avulla laitteen kello saadaan tahdistettua oikein.

Kehyksen alkuero on vain 802.3-kehyksessä. Tämä yhdessä tahdistusosan kanssa korvaa Ethernet-kehyn tahdistusosan.

Kohdeosoite on laitteen MAC-osoite, jonka on määrä vastaanottaa datapaketti.

Lähtöosoite on laitteen MAC-osoite, joka lähettää datapaketin.

IEEE 802.1Q sisältää VLAN-tunnistekehyksen, jossa mm. laitteen prioriteetti, VLAN ID, kehyksen ohjaustieto ja tunniste. Liitetään ainoastaan, jos kehys lähetetään VLAN-verkkoon.

Kentän pituus/tyyppi ilmaisee, kuinka pitkä kehys on ja mahdollisesti, millaista dataa se sisältää.

Hyötykuorma sisältää lähetetyn datan.

Täyte on vaihtoehtoinen bitti kuvio, jonka avulla kehys saadaan mahdollisesti minimipituuteen (64 tavua).

Tarkistussumma on määrätty bitti kuvio, jonka perusteella vastaanottaja pystyy laskemaan tarkistussumman ja päättämään, onko lähetyksessä tapahtunut virhe. [1; 2]

2.1.2 MAC-osoite (*Media Access Control*)

Ethernet-verkossa jokaisella verkkolaitteella on oma yksilöllinen MAC-osoitteensa (ainakin teoriassa tänä päivänä on markkinoilla verkkolaitteita joihin käyttäjä voi itse muuttaa haluamansa MAC-osoitteen). MAC-osoite on tärkeä osa Ethernet-verkkoa. Sen perusteella verkossa liikkuva data löytää oikeaan osoitteeseen.

Yksinkertaisessa Ethernet-verkossa kaikki koneet on yhdistetty toisiinsa jollakin Ethernet-liikennöintijohtimella. Kun jokin verkossa oleva laite haluaa lähettää dataa toiselle koneelle, data pakataan edellisen kappaleen mukaiseen kehykseen ja lähetetään kaikille verkossa oleville koneille. Datakehyksen lukee se laite, jonka MAC-osoite on sama kuin kehyksen kohdeosoite ja muut verkossa olevat laitteet tuhoavat kehyksen.

MAC-osoitetta tarvitaan myös suuremmissa verkoissa, joissa on erikseen laite (reititin), joka suorittaa data kehyksien oikeaan osoitteeseen toimittamisen. Tällä laitteella on oma taulukko, jossa on aina jokaisen verkossa olevan laitteen MAC-osoite, IP-osoite ja laitteen tarkka sijainti datan reititystä varten.

2.1.3 802.1Q-tunnelointi

Cisco Systems kutsuu tätä 802.1 Q-in-Q -tunneloinniksi, jonka avulla voidaan luodaan virtuaaliverkkoja esim. Metro Ethernet -verkon ylitse. Q-in-Q -tunneloinnissa voidaan antaa käyttäjälle oma portti, joka on konfiguroitu tietyille VLAN:lle. 802.1Q-tunnelointiin tarvittavat VLAN-tiedot on liitetty (kuva 1) kehyksen IEEE 802.1Q kohtaan, joka sisältää erillisen VLAN-kehyksen. [4]

2.2 Ethernet-standardit

Ethernet standardit ovat IEEE:n 802.3 standardeja, joita kutsutaan myös kilpavarauusväylä törmäyksentunnistuksella standardeiksi. Ethernet-standardeille perustettiin IEEE:ssä (Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.) oma työryhmä vuonna 1981. Työryhmän tavoitteena oli kehittää kansainvälisesti hyväksytyjä standardeja Ethernet:lle. Ethernet-standardien

perustana oli DIX:n kehittelemä työ (eli Ethernet:n perustajayritykset DEC, Intel ja Xerox). [5; 6.]

Ethernet-standardilista on liitteenä 1. Listasta nähdään Ethernet-verkkotekniikan kehitys ajansaatossa. Listasta voidaan havaita mm. kaapelointitekniikoiden parantumisen ja eri kaapelointimateriaalien käytön sekä kaistanopeuksien kasvaminen vuosi vuodelta suuremmiksi.

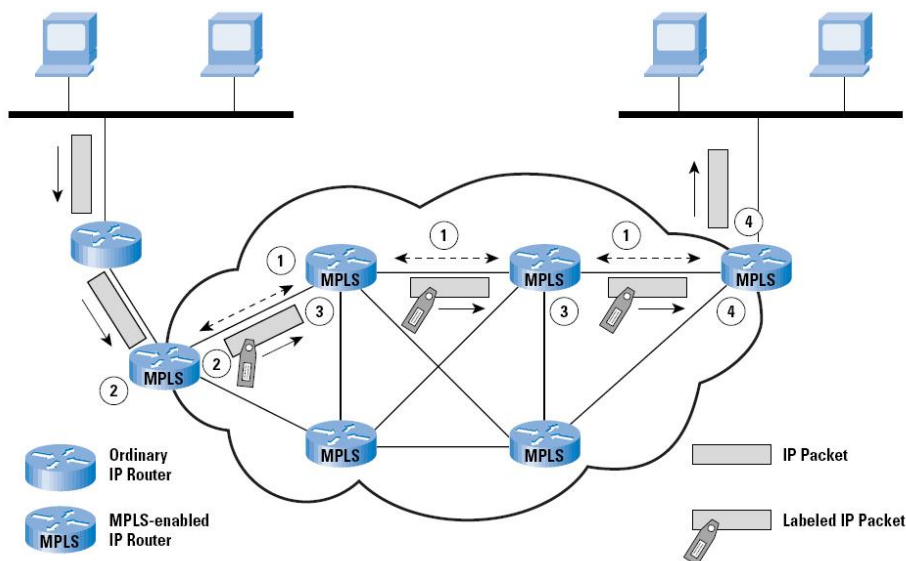
3 MPLS–MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING

MPLS-tekniikka eli MultiProtocol Label Switching on IETF:n kehittämä kehysrakenne joka mahdollistaa dataliikenteen nopean reitityksen ja kytkennän verkon läpi. MPLS on itsenäinen tekniikka, eikä ole itsessään mikään reititysprotokolla, vaan käyttää OSI 3 -verkkokerroksen ja OSI 2 -siirtokerroksen kanssa reititysprotokollia (esim. OSPF). MPLS on suunniteltu datansiirtoon niin piirikytkentäiseen kuin pakettikytkentäiseen verkkoon. MPLS:llä voidaan siirtää montaa erilaista dataliikennetekniikkaa (esim. ATM, IP paketteja ja Ethernet-paketteja). [7]

3.1 Pakettien reititys MPLS-verkossa

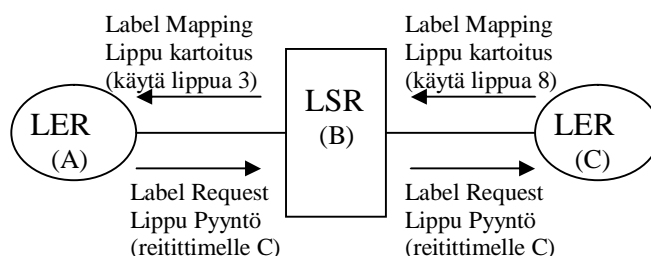
Pakettien reitityksen idea MPLS-verkossa on liittää kyseiseen pakettiin erillinen lippu, jonka avulla MPLS verkkolaitteet reitittävät paketin. Pakettien reititys MPLS-verkossa tapahtuu siis erityisellä Label Swiching Router:illa (LSR) eli ns. lippukytkentäreitittimellä. Nämä laitteet toimivat MPLS-verkon ytimessä ja käyttävät pakettien nopeaan uudelleen kytkemiseen jo valmiita reittejä (paths). [7]

Paketin merkitseminen sekä merkitsemisen poistaminen tapahtuu Label Edge Router:illa (LER) eli ns. lippurajareitittimellä. LER toimii MPLS-verkon sekä toisen kytkentäverkon (IP, Ethernet) rajalla ja näin ollen tukee moni liitännäistä tekniikkaa erilaisiin verkkoratkaisuihin. LER lähettää paketin MPLS-verkkoon vasta kun se on saanut muodostettua Label Switching Path:n (LSP) lippukytkentäreitin. [7]



Kuva 2: Paketin reititys MPLS-verkossa [23, s.5]

Paketin reititys MPLS-pohjaisessa verkossa tapahtuu kuvan 2 havainnollistamalla tavalla. Kun paketti saapuu lippurajareitittimelle, lähettää se Label Request pyynnön (LR) eli lippupyynnön MPLS-verkkoon, jossa pyydetään määrätyn lippurajareitittimen lipputietoja. Näin kaikki matkalla olleet lippukyt-kentäreitittimet lähettävät Label Mapping -tietonsa eli lippukartoitustietonsa aina edelliselle reitittimelle kuvan 3 osoittamalla tavalla. Näin aina jokainen MPLS reititin osaa lähettää paketin aina oikealla lipulla eteenpäin. [7]



Kuva 3. Lippusignaalintimenetelmä MPLS-verkossa [7, s.9]

Kun lippurajareititin lähettää paketin MPLS-verkkoon, liittää se siihen lipun, jonka avulla paketti löytää perille MPLS-verkossa. Lippu voidaan liittää tavalliseen OSI 2 -kerroksen otsikko-osaan. Lippu sisältää lipunarvon (Label Value), QoS eli palvelulaatuprioriteetin, lippupinon loppu-lipun (bottom of stack flag) ja TTL:n (Time to Live). Tämän avulla MPLS-verkon reitittimet ja kytkimet tunnistavat paketin heti ja pystyvät suorittamaan välittömästi ns. kytkennän. Kytkentä on paljon nopeampaa kuin reititys ja kytkentätaulukko vie vä-

hemmän tilaa reitittimellä kuin reititystaulukko, joten paketti kulkee nopeasti määränpäähän. Määränpäässä MPLS-verkon alueen rajalla, poistetaan lippu MPLS-verkon lippurajareitittimessä ja IP-paketti voidaan reitittää lopulliseen määränpäähän normaalisti, IP verkon reititysprotokollan mukaan. [7]

Kun IP verkossa jokin verkkolaite joutuu häiriötilaan, IP-kerroksen hallitsema elvytysmekanismi käynnistyy. Tämä palautusmekanismi voi kestää useita minutteja, jota ei voida hyväksyä reaaliaikaisissa sovelluksissa esim. VoIP tiedonsiirrossa. MPLS-tekniikan paikallinen suojaus kuitenkin parantaa reaaliaikaisten sovellusten vaatimaa palautusaikaa ja näin ollen siis vähentää palautusajan jopa 50 ms:iin. [7.]

Yhteenvetona MPLS:n parhaimmat ominaisuudet.

- MPLS-yhteydet sopivat operaattoreille, jotka käyttävät ATM-yhteyksiä.
- Käyttää eksplisiittisen reitin valintaa, eli paketti voidaan ennalta määrätä kulkemaan määrättyä reittiä pitkin, joka mahdollisesti poikkeaa normaalista reitityksestä.
- Tukee virtuaalisyhteyksiä eli Virtual Private Network (VPN) tuki. [7.]

3.1.1 Virtuaaliyhteys - Virtual Private Network (VPN)

Virtual Private Network on virtuaaliyhteys, jolla voidaan yhdistää kaksi tai useampi verkko yhteen julkisen verkon ylitse. Verkko saadaan yksityiseksi joko fyysisesti tai salauksella.

Fyysinen yksityisyys ja tietoturva voidaan hoitaa niin sanotulla suljetulla verkolla. Suljetussa verkossa tietoverkko yhdistetään runkoverkkoon yksinkertaisesti kuparilla tai esim. Ethernet- tai ATM-pohjaisia tekniikoita käyttäen ja asiakkaiden liikenteen erottelu voidaan hoitaa MPLS-tekniikalla.

Salaus, yksityisyys ja tietoturva voidaan hoitaa salatulla verkolla. Salatussa verkossa salauksen hoitaa aina datan lähettäjäosapuoli. Salattu verkko on huomattavasti halvempi kuin fyysinen suljettu verkko, koska salatussa verkossa salaus tapahtuu ohjelmallisesti. Salaus verkossa tapahtuu jonkin salausprotokollan avulla. Julkisesti standardoituja protokollia ovat mm.

- IPsec-protokolla eli IP-turva (lyhenne sanoista IP security Architecture). Tämä on joukko TCP/IP-perheeseen kuuluvia tietoliikenneprotokollia Internet-yhteyksien turvaamiseen.
- Tunnelointiprotokollat, esim. L2TP ja L2F, eivät kuitenkaan yksistään riitä salaukseen vaan tarvitsevat jonkin toisen protokollan salausta varten. L2TP:ssä (Layer 2 Tunnelin Protocol) voidaan käyttää IPsec:iä salauksen muodostamiseen. L2F:tä (Layer 2 Forwarding Protocol) on Cisco:n protokolla, jossa käytetään point-to-point Encryption Protocol (ECP)-protokollaa.
- PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol) tunnelointiprotokolla on Microsoftin etäkäyttöprotokolla ja käyttää Microsoftin point-to-point Encryption (MPPE)-protokollaa salaukseen.

IPsec:n odotetaan hallitsevan markkinoita. Se on havaittu kaikkein turvallisimmaksi salaustavaksi. Sen hyvän ohjelmistotuen takia se on saanut myös jalansijaa muissakin sovellusympäritöissä esim. WLAN:issa. Kuitenkin PPTP on myös yleinen tunnelointi- ja salausmenetelmä sen Microsoft Windows -tukensa ansiosta. [8.]

3.1.2 *Palvelunlaatu - Quality of Service (QoS)*

Palvelunlaatu eli Quality of Service -termi tarkoittaa tietoliikenteen luokittelua ja priorisointia. Priorisoinnin avulla voidaan esimerkiksi hidastaa yhden asiakkaan liikennöintiä ja mahdollisesti lisätä toisten asiakkaan liikennöintinopeutta.

Mikään tietoliikenneverkko ei ole täydellinen, palvelunlaatutekniikalla voidaan kuitenkin parantaa verkon ja dataliikenteen turvallisuutta sekä laatua. Tietoliikenneverkossa voidaan havaita seuraavanlaisia puutteellisuuksia esim. puuttuvia paketteja (dropped packets), viivettä (Delay), värinää (Jitter), yleisiä virheitä (Error) ja lähetys epäkunnossa (out-of-order delivery).

Palvelunlaadulle on määritelty 8 prioriteettitasoa 0:sta 7:ään jossa 0 on kaikkein huonoin ja 7 paras prioriteetti. Kun määrätyille lähetyksille annetaan jokin prioriteetti, voidaan taata että esim. reaaliaikaisen kuvan lähetys menee perille virheettömästi.

3.2 MPLS vastaan IP

Tässä työssä perehdytään MPLS:n ja IP:n yhdistelmään eli IP/MPLS (IP over MPLS), koska suurin osa Metro Ethernet -laitteista käyttää IP/MPLS tekniikkaa. MPLS:ää ei kuitenkaan voida verrata IP:hen, koska se käyttää IP:n IGP (Interior Gateway Protocol) -reititysprotokollaa. MPLS mahdollistaa siis helpomman liikenteen ohjauksen IP-verkossa, mahdollisuuden liikennöidä OSI 3 -kerroksen virtuaaliyhteyksien kautta ns. päällekkäisten osoiteavaruuksien (yksityiset 10.x.x.x osoitteet ja julkiset osoitteet) avulla sekä mahdollistaa OSI 2 -kerroksen ns. näennäislinkit (esim. ATM, FrameRelay jne.). [7.]

3.3 MPLS-pohjainen MEN-verkko

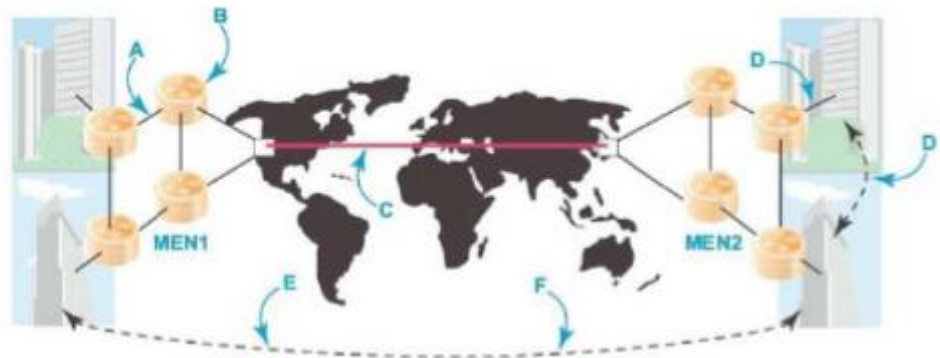
MPLS-pohjainen Metro Ethernet -verkko käyttää palveluntarjoajan verkossa MPLS:sää. Asiakasverkon data kuljetetaan siis MPLS-verkon yli määränpäähän, mutta pohjalla on kuitenkin myös määränpäässä Ethernet-verkko. Kuvassa 2 (s. 5) on havainnollistettu LAN- ja MPLS-verkko yhdistettä, joka on helppo toteuttaa ja jota myös käytetään hyvin yleisesti yritysverkoissa. [5.]

4 METRO ETHERNET -VERKKO ELI METRO ETHERNET NETWORK (MEN)

Metro Ethernet -verkoksi voidaan kutsua verkkoa, joka liittää maantieteellisesti kaukana toisistaan olevat yritysverkot yhteen. Metro Ethernet -tekniikka hyödyntää Ethernet-teknologiaa, koska pakettiliikennemuoto on hallitsevin siirtomuoto tällä hetkellä. Ethernet on myös kaikkien parhaiten ymmärtämä, yksinkertaisin ja kustannustehokkain teknologia koko maailmassa. [5.]

Miksi Ethernet:iä kuitenkin kannattaa käyttää Metro-verkossa? Tänä päivänä jopa 98 prosenttia yritysten verkoissa olevista alku- ja loppupisteistä ovat Ethernet-liitäntöjä. Ethernet-laitteisto ja kaapelointi maksavat huomattavasti vähemmän kuin muut ratkaisut ja verkkotekniikan pakettipohjaisuus mahdollistaa nopean vasteen kaistanopeusvaatimuksiin. Koska verkossa ei tarvitse suorittaa minkäänlaista protokollien käännoä eri alustoille ja ympäristöihin, tekee se verkon aktivoinnista helpompaa. Tämä ns. "Plug and Play"-toiminto (eli laite voidaan kytkeä verkkoon mutta sitä ei tarvitse erikseen asentaa tai konfiguroida verkkolaitteelle) vähentää siis konfigurointitarpeita sekä mahdollistaa helpompia siirtoteitä hitailla ja nopeilla yhteyksillä. Kuva 4

havainnollistaa Metro Ethernet -verkon yksinkertaisen idean ja muiden verkkojen helpon liitettävyyden. [3]



Kuva 4. Yksinkertainen esimerkki ratkaisu Metro Ethernet -yhteyksille. [3, s.1.]

4.1 Metro Ethernet Forum (MEF)

Metro Ethernet Forum (MEF) on voittoa tavoittelematon yritysten yhdistymä jonka tavoite on saada koko maailma omaksumaan Metro Ethernet -verkko ja sen tarjoamat palvelut. Tämä yhdistymä perustettiin vuonna 2002. Vuoden 2006 lopussa sillä oli jo 100 jäsentä.

Metro Ethernet Forumin tarkoituksena on yhdistää palveluntarjoajat, laitevalmistajat, arvovaltaiset verkkoyhteistyökumppanit ja suurimmat viranhaltijat paikallisissa verkoissa (exchange carriers).

Metro Ethernet Forum tarjoaa alustan, jossa keskustellaan ja päätetään verkkoratkaisuihin liittyvistä teknisistä- ja markkinointiin liittyvistä tiedoista. Forumissa päättäjät luovat ehdotuksia mm. Metro Ethernet -verkkoon liittyvistä standardeista ja luovat ohjearvoja, joita laitevalmistajien ja palveluntarjoajien tulisi käyttää. [9.]

Helmikuuhun 2007 mennessä Metro Ethernet Forum on hyväksynyt 16 teknistä laatuvaatimusta. Tekniset laatuvaatimukset koskevat muun muassa käyttäjärajapinta (User Network Interface - UNI) -vaatimuksia, verkon kehysarkkitehtuurin vaatimuksia sekä verkon hallinnallisia osioita. MEF on kehittänyt myös standardeja Carrier Ethernet -tiedonsiirtopalvelulle, joka on tiedonsiirtopalvelu, jonka avulla voidaan siirtää dataa nopeasti ja vaivatta eri verkkojen kesken. [10.]

Metro Ethernet Forumin kotisivut (<http://www.metroEthernetforum.org/>) tarjoavat kaiken tarpeellisen informaation jo olemassa olevista standardeista ja suunnitteilla olevista ehdotuksista sekä muuta hyödyllistä informaatiota Metro Ethernet -verkosta ja itse forumista. [9.]

4.2 MEF (Metro Ethernet Forum) standardit

MEF-standardien tarkoituksena on saada standardisoitua Metro Ethernet -palvelut, palveluiden hallinta, luotettavuus, palvelun laatu ja mitoittaminen. MEF standardit voi jakaa neljään eri tarkoituserhmään, jotka ovat palvelu, arkkitehtuuri, hallinta sekä testaus ja mittaus. Näille jokaiselle neljälle eri ryhmälle on kehitelty omat lautakunnat joissa istuu mm. sen alan asiantuntijoita miettimässä mahdollisia kehitystoimenpiteitä. Kuten edellisessä kappaleessa on mainittu, vuoden 2007 alkuun mennessä MEF oli hyväksynyt jo 16 eri Metro Ethernet standardia, jotka on listattu liitteessä 2.

Palvelustandardit määrittelevät ja antavat määritykset Metro Ethernet -palveluille ja määrittelevät piirikytkentäisten verkkojen rakenteen, palvelut ja mukauttamisen. Arkkitehtuuristandardit määrittelevät käyttäjärajapinnan, palveluiden ja Metro Ethernet:n rakenteen ja arkkitehtuurin. Hallintastandardit määrittelevät vaatimuksia liikenteen, Metro Ethernet:in ja informaation hallinnalle. Testaus- ja mittausstandardit määrittelevät vaatimukset Metro Ethernet- ja käyttäjärajapinta testi ympäristöille.

Alla olevat Metro Ethernet standardit ovat kaikki samasta Metro Ethernet Forumin sivujen Technical Specifications -sivulta. [6.]

MEF 2 -standardi määrittelee hyvin laajan kehysrakenteen hop-by-hop ja end-to-end-palvelukerroksen suojaukselle. Se määrittelee myös mm. listan asioista jotka palveluluokkasopimuksien eli SLAs tulee määrittellä, jotta suojaustapahtumat on määritelty oikein.

MEF 3 -standardi määrittelee piirin emulointi palveluiden tunnelit TDM-liikenteelle Metro Ethernet -verkon läpi mukaan lukien Carrier Ethernet -ympäristöt.

MEF 4 -standardi määrittelee kehysrakenteen ja tarkan terminologian palvelukerrokselle ja tarjoaa arkkitehtuurin Carrier Ethernet:in ymmärtämiselle. Määrittelee siis perusarkkitehtuurin, UNI:n, EVC:n ja NNI:t.

MEF 6 -standardi määrittelee Ethernet-palvelut eli E-Line- ja E-LAN-palvelut, joista kerrotaan lisää kappaleissa 4.4.1 ja 4.4.2. E-Line ja E-LAN palvelut myös ovat syrjäyttäneet mm. TDM-liikennöinnin eli suoraan standardin MEF 3:n.

MEF 7 -standardi määrittelee OAM:n kehyksen (eli Operation, Administration, Maintenance) multi-hop verkkoihin sekä OAM-palvelunlaatu ominaisuudet.

MEF 8 -standardi määrittelee MEF 3 standardin mukaisesti TDM-liikenteen kuljettajan CES-laitteiden yhteensovittamisen yksityiskohtaiset ohjeet. Näiden tulee toimia yhdessä ITU-T- ja ANSI-standardien kanssa.

MEF 9 -standardi määrittelee testiympäristön MEF 6, 10 ja 11-standardeille sekä määrittelee standardit testitapahtumille, joita on 1-13.

MEF 10 -standardi määrittelee MEF 6-standardin palveluille attribuutit joiden avulla voidaan määritellä kolme kaistanleveys profiilia ja määritellä ne kolmella eri väriprioriteetilla.

MEF 11 -standardi määrittelee rajafunktion asiakkaan ja palveluntarjoajan välille eli on mahdollista valita 3:sta eri UNI tyypistä jotka ovat UNI type 1 eli manuaalinen, UNI type 2 jossa UNI-N hoitaa mm. EVC:n ja UNI type 3 jossa CE hoitaa mm. EVC:n luomisen.

MEF 12 -standardi määrittelee Ethernet palvelukerroksen tärkeänä osana verkkovastuuta Ethernet protokolla datayksiköiden lähetyksessä, External ja Internal verkko käyttäjärajapintojen ylitse.

MEF 13 -standardi määrittelee olemassa oleville kytkimille, reitittimille jne. luvan toimia ns. asiakasreuna laitteena, ilman mitään erillistä laite tai ohjelma päivitystä.

MEF 14 -standardi määrittelee MEF 9 -standardin lisäksi testiympäristön MEF 6 ja 10 standardeille.

MEF 15 -standardi määrittelee vaatimukset verkon hallinnalle ja tukee mm. standardeja MEF 10 ja 11 UNI type 1:stä.

MEF 16 -standardi määrittelee asiakaslaitteille ominaisuudet, joilla ne voivat vastaanottaa informaatiota Ethernet-palveluiden statuksesta ja attribuuteista. Se antaa myös luvan automaattiselle konfiguroinnille ja mahdolliselle asiakasverkon suorituskyvyn parantamiselle.

4.3 Metro Area Network (MAN)

Metro Area Network on verkko, joka ulottuu koko kaupungin yli käyttäen joko langatonta tai optista siirtotietä liittäessään kaikki käyttäjät yhteen. MAN-verkko toisin sanoen koostuu useammasta LAN-verkosta muodostaen kokonaisuuden. MAN-verkkoa voidaan kutsua myös MEN-verkoksi, kummallakin on samat verkko ominaisuudet. Kuitenkin niitä tulee kutsua vielä omilla termeillään koska ne kuvaavat osuvasti verkon laajuutta, MAN verkko siis ulottuu yhden kaupungin alueelle kun taas MEN-verkko saattaa ulottua kahden tai useamman kaupungin alueelle.

MAN-verkot yleistyivät verkkosuunnittelussa 90-luvun loppupuolella. Uuden teknologian avulla pystyttiin tekemään ns. läpinäkyviä tiedonsiirtotunneleita, joita kutsuttiin virtuaaliyhteyksiksi (VPN). Huomattiin siis, että virtuaalisella yhteydellä pystytään eristämään käyttäjien yhteydet toisistaan.

Ethernet MAN-verkolla on havaittu olevan kolme merkittävää ongelmaa:

1. MAN-verkko suunnittelussa käytetään OSI 2 -kerroksen tietoliikennekymikiä, jotka käyttävät liikenteen reitittämiseen kiinteitä MAC (Media Access Control)-osoitetaulukoita, jotka perustuvat päätepisteiden osoitteisiin. Verkon kasvaessa myös MAC-osoitteiden siirtäminen verkossa kasvaa. Näin ollen liikenne saattaa kasvaa yli verkon kapasiteetin. Jos keskuksen MAC osoite taulukko täytyy, syntyy siitä katastrofi, joka johtaa pakettien ylivuotoon verkossa.
2. Verkon tasapainoisuus on hyvin hauras, varsinkin jos vertaa paljon kehittyneempiin SDH-(Synchronous Digital Hierarchy) ja MPLS-(Multiprotocol Label Switching) verkkoihin.
3. Liikenteensuunnittelu on hyvin huonosti organisoitu. Todellisen liikennemäärän ennustaminen on erittäin vaikeaa on kuitenkin joitain tekniikoita, jotka sallivat jonkinlaisen liikenteen hallinnan. Verkon liikennettä pysty-

tään siis hallitsemaan monikertaisten reitityspuiden avulla taikka VLAN (Virtual Local Area Network)-reitityspuun avulla.

MAN-verkolla on myös kaksi päätehtävää:

1. Pienen ja keskisuuren yrityksen (eli alle muutaman sadan asiakkaan) käytössä MAN-verkko voi olla hyvin kustannustehokas. MAN-verkon etuna on myös se, että se ei vaadi mitään IP- tai muuta vastaavaa protokollaa toimiakseen.
2. Suuremman luokan MAN-verkoissa on normaalia, että verkkoon kytkeytyminen tapahtuu toisen kerroksen laitteen kautta. Tällaiset laitteet on suunniteltu halvoiksi mutta myös toimiviksi ratkaisuksi. Nämä laitteet niputtavat ja reitittävät liikenteen käyttäen MPLS-pohjaista MAN-mallia. [5]

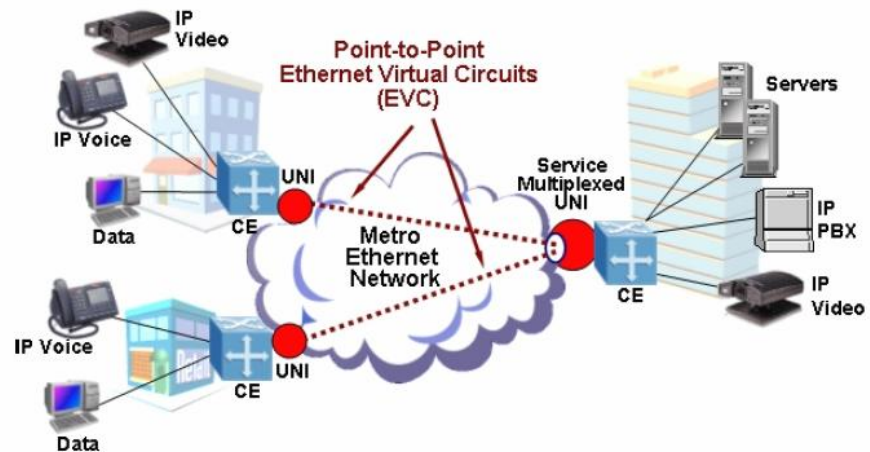
4.4 Metro Ethernet -verkon palvelu tyyppejä

Metro Ethernet -verkolle on standardisoitu kahta erilaista palvelua. Ethernet Line -palvelu eli point-to-point (tunnetaan myös nimellä point-to-multipoint) -tyyppinen verkko ja Ethernet LAN -palvelu eli multipoint-to-multipoint-tyyppinen verkko. Näillä kummallakin verkkotyypillä on omat hyvät ja huonot puolensa. [9.]

4.4.1 Ethernet Line -palvelu

Tämä on siis point-to-point -verkkomuoto, jossa kaksi käyttäjärajapintaa voidaan yhdistää suoraan toisiinsa virtuaaliyhteydellä (Ethernet Virtual Connection - EVC) Metro Ethernet -verkossa.

Ethernet Line -yhteys tarjoaa kaksisuuntaisen yhteyden kahden verkon käyttäjärajapinnan välille. Haluttaessa liittää uusi verkko Metro Ethernet -verkon läpi tähän, pitää ks. verkon käyttäjärajapinta liittää kaikkiin muihin verkossa oleviin käyttäjärajapintoihin. Verkkojen välinen yhteys muodostetaan Metro Ethernet -verkkoon virtuaalisella Ethernet-yhteydellä näin saavutetaan täydellinen yhteys. [9.]



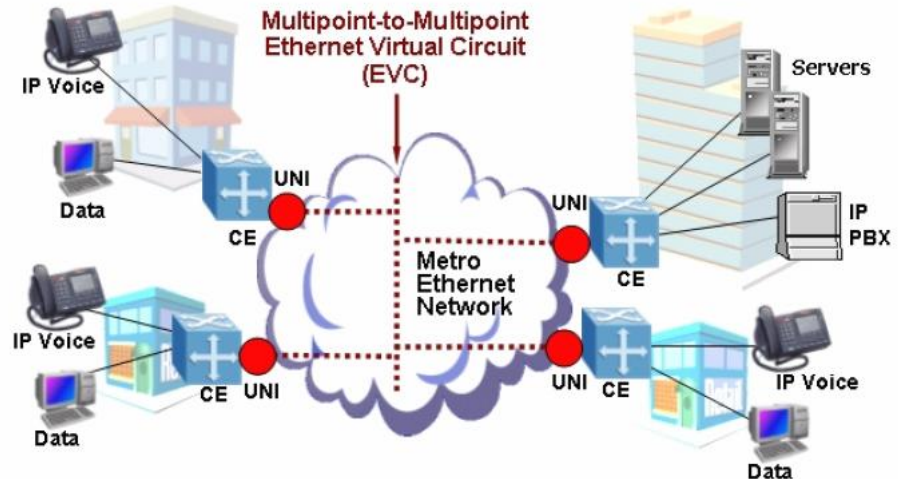
Kuva 5. Ethernet line -palvelun point-to-point-yhteys. [3, s.10.]

4.4.2 Ethernet LAN -Palvelu

Tämä on multipoint-to-multipoint-verkkomuoto, jossa kaksi tai useampi käyttäjärajapinta voidaan yhdistää toisiinsa yhdellä virtuaalisella yhteydellä Metro Ethernet -verkossa.

Ethernet LAN -yhteys tarjoaa kaksisuuntaisen yhteyden kahden tai useamman verkon välille. Käyttäjän näkökulmasta katsottuna tämä saa MEN- (Metro Ethernet Network) verkon näyttämään tavalliselta LAN-verkolta.

Haluttaessa liittää uuden verkon käyttäjärajapinta jo olemassa olevaan Metro Ethernet -verkkoon riittää kun liittää käyttäjärajapinnan jo olemassa olevaan virtuaaliseen Multipoint Ethernet -yhteyteen EVC:hen joka nähdään kuvassa 6. Näin ollen Ethernet LAN -palvelulla pystytään liittämään hyvin suuri määrä yksittäisiä verkkoja yhteen helposti ja yksinkertaisesti. [9.]



Kuva 6. Ethernet LAN -palvelun multipoint-to-multipoint-yhteys. [3, s.10.]

4.4.3 Metro Ethernet -palveluiden muokkaaminen

Metro Ethernet -palveluita voidaan myös muokata käyttäjän tarpeisiin. Metro Ethernet E-Line- ja E-LAN-palveluiden sisällä voidaan määrittellä toisistaan poikkeavia palveluita erillisillä palveluattribuuteilla sekä niiden parametreilla. Tämä mahdollistaa sen, että jokainen palveluntarjoaja kykenee kehittämään omat palvelunsa vastaamaan asiakkaidensa tarpeita, mutta kuitenkin tarjoaa standardilähtöisiä palveluita asiakkailleen.

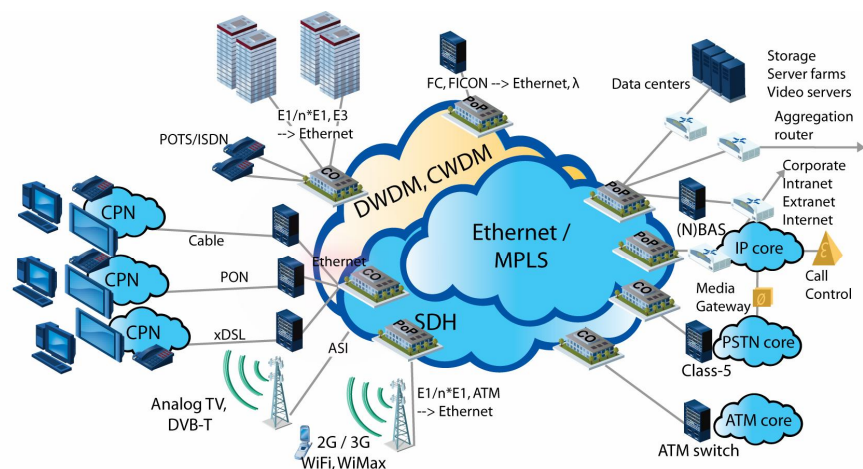
Palveluattribuutit voivat olla seuraavanlaisia:

- Ethernet-fyysinen liitäntä
- liikenneparametrit
- tehokkuusparametrit
- palveluluokka
- palvelukehyksen jakelu
- VLAN-tag tuki.

Näillä palveluattribuuteilla voidaan määrittellä esim. yrityksen sisäinen Intranet/Extranet-palvelu, VoIP- tai broadcast TV -palvelu eli IPTV-palvelu. [3.]

4.5 Metro Ethernet Carrier -palvelu ja arkkitehtuuri

Metro Ethernet -palveluilla voidaan toteuttaa uusi laajakaistainen paikallinen, kansallinen tai globaali verkkoarkkitehtuuri. Tällaista arkkitehtuuria voidaan käyttää sekä yritys- että yksityispalveluissa ja sovelluksissa. Metro Ethernet:n kasvaessa syntyi uusi palvelu, joka sai nimekseen Carrier Ethernet. Carrier Ethernet:n tarkoituksena on levittää verkkopalvelut koko maailman laajuisiksi palveluiksi kaikkien verkkoteknologioiden (ATM, SONET/SDH ja MPLS) ja -tekniikoiden läpi (kuitu, langaton, kupari jne.) kuvan 7 osoittamalla tavalla.



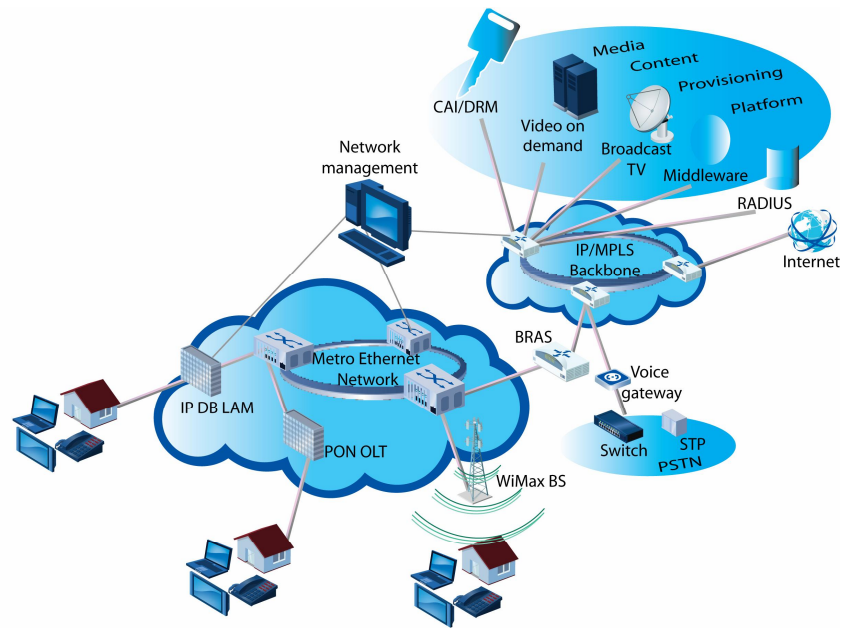
Kuva 7. Carrier Ethernet:n käyttö eritekniologioita käyttävässä Metro Ethernet -verkossa [24, s.7]

Metro Ethernet Carrier -palvelussa luodaan määrittäviä varsinaisen Ethernet-tekniikan päälle ja tätä voi myös kutsua niin sanotuksi Metro Ethernet laajennukseksi, joka on Carrier-luokan suurinopeuksinen Ethernet-palvelu. [11.]

Carrier Ethernet -palvelu voidaan jakaa kolmeen eri tarkoitukseen ryhmiin, joissa jokaisessa tarjotaan eri tyyppisille käyttäjille ratkaisuja. Carrier Ethernet yritys käyttöön on näistä ensimmäinen. Yritykset vaativat aina suuremman ja suuremman kaistanleveyden yrityksensä käyttöön. Luomalla erityyppisiä yhteyksiä saavutetaan yrityksen sisällä tai yrityksen eri toimipisteiden välillä, mahdollisimman kustannustehokkaita ja nopeita yhteyksiä. [24]

Carrier Ethernet -palvelua käyttämällä yritysverkko saadaan kustannustehokkaammaksi ja nopeammaksi. Point-to-point- eli toisin sanoen business-

to-business -yhteys mahdollistaa hyvin hallittavissa olevan kaistannopeuden valvonnan. Virtuaaliyhteydet mahdollistavat kattavan koko maan laajuisen LAN verkon muodostamisen. Erityiset multimediayhteydet mahdollistavat suuremman palvelunlaatu luokituksen video konferenssi puheluille, IP-ääni ja -kuva puheluille ja siirtää tavallisen datan kuten sähköpostin sekä muun LAN liikenteen pienemmälle palvelunlaatu luokitukselle. [24.]



Kuva 8. Carrier Ethernetin käyttö kotitalousverkossa [24, s.15]

Toisena Carrier Ethernet –palvelu ryhmänä on kotikäyttäjät. Kotikäyttäjille tarjotaan Triple Play palvelua joka sisältää video, ääni ja data palvelut, mukaan lukien VoIP:n, IPTv:n, reaaliaikaisen pelaamisen, kiinteän laajakaista Internet-yhteyden. Kotikäyttäjille tarjottavat palvelut kehittyvät kokoajan käyttäjien tarpeiden kasvaessa. [24]

Carrier Ethernet –palvelun avulla voidaan taata myös kotikäyttäjälle korkealaatuinen kuvan ja äänen lähettäminen sekä vastaanottaminen, vaikka nämä data tyypit ovatkin arkoja mm. värinälle ja viiveelle. [24]

Kolmantena Carrier Ethernet –palvelu ryhmänä on mobiili-yhteys Ethernet-verkkoon. Jossa tarkoituksena on, että matkapuhelimella muodostetaan langatonyhteys matkapuhelin tukiaseman kautta Ethernet-verkossa olevaan toimintoon. [24]

Carrier Ethernet –palvelut ovat laajentumassa myös muille Ethernetin osaluueille. Kuitenkin yllä mainitut palvelu ryhmät ovat vakiintumassa ja näille ryhmille on kehitelty laitteistoja sekä markkinoilla on myös maksullisia palveluita vaihtoehtoille.

Viisi tekijää, jotka määrittävät Carrier Ethernetin

Standardit-palvelut

Standardit-palvelut tukee seuraavia palveluita: E-Line, E-LAN, private line, virtual private line ja LAN palvelu. Carrier Ethernet on myös kaikkialla läsnä oleva itsenäinen palvelu, joka edellyttää globaalin tai paikallisen palvelun standardeilla verkkolaitteilla. Ei vaadi minkäänlaisia muutoksia asiakkaan LAN-verkkoon, vaan mukautuu jo olemassa olevaan verkkoon. Carrier Ethernet -palvelu sopii parhaiten reaaliaikaisen kuvan, äänen ja datan lähettämiseen. Se sisältää myös laajan valikoiman kaistanopeuksista ja palvelun laadusta.

Muuntautuminen

Carrier Ethernet mukautuu kaistan nopeuksiin 1 Mbps:sta aina 10 Gbps:iin sekä portaattomaan kaistanopeuden kasvattamiseen. Carrier Ethernet pystyy mukautumaan erilaisiin verkkoihin, joita kansainvälisillä ja paikallisilla palveluntarjoajilla on tarjolla.

Luotettavuus

Carrier Ethernet -palvelu verkko pystyy havaitsemaan ja palautumaan häiriötilasta ilman, että se vaikuttaa käyttäjään millään tavalla. Tämä palvelu pystyy myös vastaamaan verkon saatavuus- ja laatuvaatimuksiin. Palvelulla on myös hyvä palautumisnopeus joka on 50 ms.

Palvelunlaatu (QoS)

Palvelunlaatu tarjoaa laajan valikoiman kaistanopeuksista ja palvelunlaadusta (QoS). Carrier Ethernet -palveluun on määritelty palveluluokkasopimuksia eli Service Level Agreements (SLAs) sekä end-to-end-lähetystaso. End-to-end-lähetystasossa lähettäjä varmentaa aina oman lähettämän datansa eli toisin sanoen lähettäjä salaa datansa, jollain avaimella. Salaus avaimet säilytetään käyttäjän sertifikaattivarastossa. Nämä yhdessä pystyvät

vastaamaan reaaliaikaisen kuvan, äänen ja datan lähetyksen suurista palvelunlaatuvaatimuksista.

Palvelun hallinta

Palvelun hallinta mahdollistaa nopean palvelun jakelun, mahdollistaa verkon valvonnan, diagnosoinnin ja paikallisen hallinnan laitevalmistajien omilla paikallisilla ohjelmilla. [13.]

5 METRO ETHERNET -LAITTEISTO

Metro Ethernet -laitteidenvalmistajia ja -palveluidentarjoajia on paljon. Tarjoajien on kuitenkin tutkia laitevaihtoehtoja yrityksille, jotka haluavat liittää eri maissa olevien konttorien verkot yhdeksi kokonaisuudeksi.

Metro Ethernet -verkossa voidaan käyttää normaaleja Ethernet-verkon laitteita mutta verkkoon on kehitelty myös erityisiä Metro Ethernet -laitteita, jotka tarjoavat juuri oikeat ratkaisumallit kaikkiin verkkoihin. Metro Ethernet -verkko vaatii suuria tiedonsiirtonopeuksia, joten verkonlaitteiden tulee myös vastata näihin vaatimuksiin. Metro Ethernet -laitteisiin on kehitelty kattava MPLS-tekniikka valikoima, joka on vakinaistunut laitevalmistajien keskuudessa. Tällaisesta reitityksestä käytetään nimitystä IP/MPLS (eli IP over MPLS), se on suosittu koska MPLS-verkossa reitityksen voi hoitaa usealla eri reititysprotokollalla.

Metro Ethernet -verkon tiedonsiirtoon on kehitelty myös Carrier Ethernet -liikennöintitapa. Tämä liikennöintitapa toimii suurilla kaistanopeuksilla ja tukee kaikkia verkkoratkaisu alustoja (kuitu, kupari, langaton jne.).

5.1 Cisco Systems Inc. – Metro Ethernet -ratkaisut

Cisco:n Metro Ethernet -kytkintuotteilla voidaan tarjota yritys- ja yksityiskäyttäjille kattavia laajakaistapalveluita. Yksityisasiakkaalle tarjotaan kuitu- ja Ethernet-pohjainen 10/100 Mbps laajakaistayhteys, kun taas yritykselle tarjotaan Gigabit Ethernet -laajakaistayhteys. Metro Ethernet -kytkimiin perustuva tiedonsiirto siis mahdollistaa korkeatasoisen äänen ja kuvan lähettämisen niin yritys- kuin yksityisverkossakin.

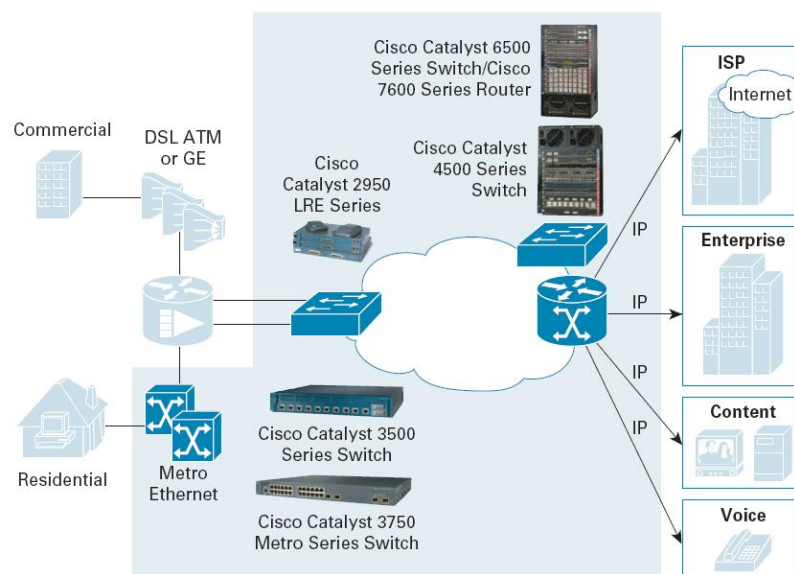
Ciscon Catalyst 4500 -kytkinperhe on suunniteltu Metro Ethernet -liikennöintiä varten sekä Catalyst 3550 -kytkin on OSI 3 eli verkkokerroksen

tarpeisiin suunnattu hyvin kustannustehokas kytkin, jossa on mm. parannettu skaalautuvuutta ja videolähetyksen tietoturva. Näiden optisten palvelumoduulien ominaisuuksia on paranneltu Ethernet over MPLS -ratkaisujen takia.

Cisco Networks laite- ja palveluvalikoima sisältää mm. Metro Ethernet -kytkimet, Carrier IP/MPLS ja Metro Optical Transport-ratkaisuja mm. palveluntarjoajien käyttöön. [Cisco Networks lehdistötiedote, 30.10.2002]

5.1.1 Cisco Metro Ethernet -ratkaisumalli

Kuvassa 9 nähdään esimerkki Metro Ethernet -verkosta ja Cisco:n ehdottamista laitevalinnoista tällaiseen verkkoratkaisuun reunaverkkolaitteiksi.



Kuva 9. Cisco:n ehdottamat laitevalinnat Metro Ethernet -verkkoon. [14, s.8]

IP/Ethernet-verkko päässä eli yritysverkko päässä, jossa voi olla mm. palvelimia äänen ja kuvan lähettämiseen ja jossa vaaditaan suuria tiedonsiirtokapasiteetteja, voidaan käyttää Cisco Catalyst 6500 Series Switchiä (mahdollistaa yhteyden kytkentä kaapista verkonytimeen, data keskukseseen tai WAN-verkon reunalle), Cisco 7600 Series Routeria (tarjoaa esim. IP/MPLS rajapinnan sekä 10Gbps yhteyden) tai Cisco Catalyst 4500 Series Switch:ä (luonnollinen verkkoyhteyden selkärangan eli network backbone:n). Laitevalinta perustuu täysin verkon vaatimuksille, asiakkaan tarpeisiin, liityntärajaan ja muihin merkittäviin seikkoihin kuten siirretäänkö data MPLS-verkon läpi vai jonkin muun verkon läpi (esim. SONET/SDH). [14]

Metro Ethernet -verkon toisessa päässä voi olla vaikka asuintalo tai muuttaman hengen pienyritys, joka halutaan liittää tähän kyseiseen Metro Ethernet -verkkoon. Tällaiseen liitännään ei tarvita niin paljon liitäntä kapasiteettia kuin suuressa yrityksessä, joten verkkolaitteeksi riittää esim. Cisco Catalyst 3500 Series Switch (tavallisen kytkin Fast Ethernet ja Gigabit Ethernet nopeuksilla) tai Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switch (mahdollistaa yhteyden Metro Ethernet-verkkoon sekä Metro Ethernet palveluiden käytön) joka sisältää myös IP/MPLS ominaisuuksia ja voidaan kytkeä suuremmissa verkossa suoraan MPLS Core laitteeseen. [14.]

5.1.2 Cisco Metro Ethernet -palveluita

Kasvavien tarpeiden takia palveluntarjoajien pitää kehittää palveluitaan vastaamaan kysyntää ja Metro Ethernet on ratkaisu tähän ongelmaan. Cisco tarjoaa liityntäpalvelun Ethernet:n, IP:n ja optisen teknologian perusteella. Cisco:n Metro Ethernet -palvelu tarjoaa siis suuremman kaistannopeuden, sen muuttamisen joustavasti yhdistetyssä äänen, kuvan ja datan lähetyksessä.

Cisco tarjoaa Metro Ethernet -verkkolaitteillaan kolmea erilaista palvelua. Jokaisella näistä palveluista pystytään takaamaan esimerkiksi Voice over Ethernet, videolähetys Ethernet:n ylitse sekä reaaliaikainen pelaaminen Ethernet:n ylitse.

- Transparent LAN service (TLS): luo virtuaalisen LAN yhteyden useisiin asiakaskohteisiin. Tyypillisesti tämä on käytössä yrityksessä, jolla on konttoreita useassa eri kohteessa.
- Dedicated Internet Access (DIA): luo suurinopeuksisen yhteyden yrityksen paikallisesta verkosta suoraan Internet-palveluntarjoajan verkkoon.
- Private-Line Service (PLS): luo point-to-point-yhteyden määrätyllä kaistannopeudella sekä kiinteän yhteyden kahden paikan välille. Yhteys on kaksisuuntainen, joten se tarjoaa saman kaistannopeuden kumpaankin suuntaan.

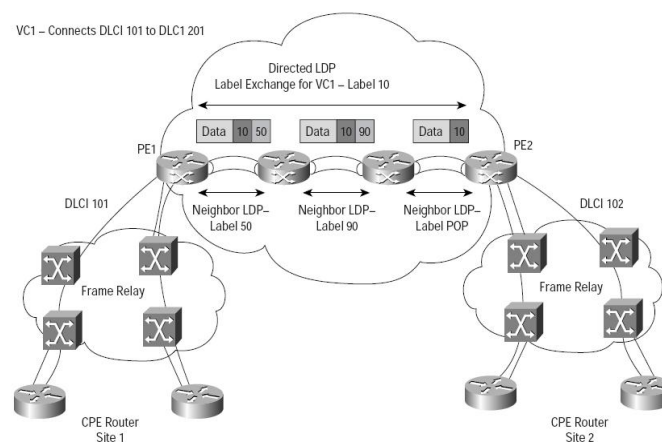
Näiden lisäksi palveluntarjoaja voi tarjota käyttäjälle ns. lisäarvoverkkopalveluita, jotka määritellään erikseen edellä mainittujen palveluiden lisäksi. [15.]

5.1.3 Cisco IP/MPLS ja AToM (Any Transport over MPLS) -tekniikka

Ciscon IP/MPLS-tekniikalla pystytään kehittämään uuden sukupolven palveluita, joilla pystytään tarjoamaan laajamittaisia äänen, kuvan ja datan lähettämistä. IP over MPLS yhdistettynä AToM-tekniikkaan voidaan IP/MPLS-verkon läpi lähettää mitä vain OSI 2 -kerroksen paketteja (esim. Frame Relay, ATM, Ethernet jne). AToM-ratkaisu luo siis virtuaaliyhteyden eri reitittimien välille joka mahdollistaa erityyppisten (Ethernet, IP, ATM, Frame Relay jne.) verkkojen keskenään keskustelun.

AToM-palvelu tarjoaa mittavan palvelulaatuluokituksen (QoS), jokaiselle paketille annetaan palvelunlaatuluokitus IP/MPLS-verkossa. AToM-palvelu kuitenkin mahdollistaa, että paketille voidaan antaa eri palvelulaatuprioriteetti eri verkkoihin. IP, Frame Relay jne. pakettien kehukseen on merkitty paketin prioriteetti, jota noudatetaan siinä verkossa, jossa se liikkuu. Kun paketti siirtyy IP/MPLS-verkkoon palvelunlaatu luokituksen suhteen eli prioriteetin suhteen voidaan toimia kolmella eri tavalla. Palvelunlaadun luokitukseen voidaan käyttää joko vanhaa kehuksessa jo olevaa prioriteetti arvoa, voidaan kirjoittaa paketin kehukseen uusi prioriteetti arvo vanhan päälle tai voidaan antaa paketille aivan uusi prioriteetti jota käytetään vain MPLS-verkossa (MPLS EXP) ja joka poistetaan kun paketti on poistumassa MPLS-verkosta.

Pakettien reititys Cisco IP/MPLS-verkossa tapahtuu samalla tavalla kuin muissakin MPLS-verkoissa (MPLS-verkon reititys selitetty kappaleessa 3.1). Kuva 10 havainnollistaa Frame Relay -paketin reitityksen IP/MPLS-verkossa.



Kuva 10. Ciscon esimerkki Frame Relay -paketin reitityksestä MPLS-verkossa. [16, s.2]

Käytettäessä AToM-palvelua MPLS-verkossa ainoa ero on, että AToM muuttaa kaiken liikenteen samaksi. Reitittimet siis eivät osaa luokitella, onko tulevat paketit IP, Frame Relay tai jotain muita paketteja. [16]

5.2 Foundry Networks

Foundry Networks tarjoaa palveluntarjoajille joustavuutta verkkojen suunnitteluun. Foundry Networks tarjoaa verkkolaitteita yksinkertaisista OSI 2 -kerroksen Metro Ethernet -ratkaisuista hieman monimutkaisempiin MPLS-pohjaisiin ratkaisuihin.

Foundry Networks tarjoaa helpon OSI 2 -kerroksen ratkaisun FastIron Edge Switch (FES, sisältää mm. Gigabitin portit käyttäjille, tukee Metro Ring Protokollaa, OSPF:ää ja suojattuja linkki yhteyksiä), FastIron Edge X-Series (FESX, sisältää 10 Mbps porteista 10 Gbps portteihin, sopii isoille yrityksille tai palveluntarjoajille) ja BigIron RX-4 (tarjoaa jopa 100 Gbps nopeuksisen yhteyden ja kykenee kuljettamaan biljoona pakettia sekunnissa ns. yrityksen verkon reunalta ytimeen) laitteilla.

Foundry Networks:lla on tarjolla myös OSI 2 -kerroksen ja MPLS-tekniikkaan pohjautuvaa vaativampaa ja laadukkaampaa tekniikkaa. Näitä laitteita ovat NetIron luokan kytkimet ja reitittimet. Kaikki laitteet tukevat MPLS-tekniikkaa sekä mahdollistavat hyvin suuren siirtonopeuden asiakkaille. [17.]

Foundry Networks:n IP/MPLS-tekniikka

MPLS-tekniikka on hyvin suosittu tekniikka palveluntarjoajien keskuudessa sen hallittavuuden takia. Sen avulla pystytään hallitsemaan mm. asiakkaiden kaistannopeutta ja verkon vastustuskykyä. Foundry Networks kuvailee IP/MPLS tekniikkaansa näillä neljällä eri ominaisuudella.

- BGP-oikotiet (eli BGP shortcuts – Border Gateway Protocol) tukevat luokatonta reititystä ja summaavat reittejä pitääkseen reititys taulukon koon pienenä.
- LDP-reitti (eli LDP route injection – Label Distribution Protocol), pitää yllä MPLS-verkon reititystaulukkoa.
- Palvelunlaatu (QoS) kartoitus IP- ja MPLS-pakettien välillä, paketin kehukseen voidaan lisätä EXP CoS (Explicit Class of Servi-

ce)-lippu joka ilmoittaa paketin luokituksen IP- ja MPLS-reitityksen välillä.

- Liikenteen hallinta kahden virtuaalisen yksityisen lähiverkkopalvelun (VPLS – Virtual Private LAN Service) päätepisteen välillä, multipoint-to-multipoint-pohjainen kommunikointiyhteys IP/MPLS-verkossa. Näitä virtuaalisia yhteyksiä voidaan muodostaa useita erityyppisiä aina eri käyttäjille ja eri verkkojen välille. [17.]

5.3 Nortel Networks

Nortel Networks tarjoaa perinteisiä Metro Ethernet -palveluita ja laitteita palveluntarjoajille ja yrityksille. Yritykseltä löytyy Metro Ethernet:iin liittyvää materiaalia Ethernet-reitityksestä ja Carrier Ethernet -palveluista ja laitteista.

Nortel Networks käyttää laitteissaan perinteisiä IP/MPLS-tekniikoita, eikä ole kehittänyt omia erikoisia ominaisuuksia. Nortel Networks:lla on tarjolla Metro Ethernet –laitteistoa, joka käyttää MPLS-tekniikkaa tehokkaammassa laitteissaan. Metro Ethernet Routing Switch 8600 on Metro Ethernet -päälaite joka toimii Metro Ethernet Services Unit 1800 ja Metro Ethernet Services Unit 1850 kanssa. Nämä kaikki tuottavat ovat Carrier Ethernet -ratkaisuja. Metro Ethernet Routing Switch 8600 laitteeseen asiakas saa itse valita omat haluamansa komponentit, jotka voivat olla esim. 10 Gbps kortteja tai tavallisia 10/100 Mbps kortteja, joissa on useampia liittimiä.

Nortel Networks tarjoaa myös kattavan optisen tiedonsiirron verkkolaitteita johon kuuluu Optical Metro x000 Series laitteita sekä Optical Multiservice Edge 6110 ja Optical Multiservice Edge 6500. [18]

6 METRO ETHERNET -VERKON SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa perehdytään ensin Metro Ethernet -verkon suunnittelu-pohjaan, joka antaa kuvan siitä millä tavalla tulee edetä verkon suunnittelussa. Kun ymmärretään ja tiedetään mistä pitää lähteä mahdollisesti liikkeelle päästään itse suunnitteluun ja miettimään mahdollista verkkoratkaisua.

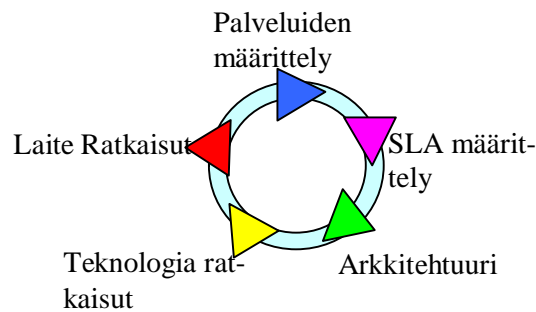
Monet Metro Ethernet -palveluidentarjoajat keskittyvät ns. hybridi palveluihin ja tekniikkaan jotka toimivat OSI 1 (Fyysinen kerros), 2 (siirtokerros) ja 3

(verkkokerros) tasoilla mieluummin kuin sellaisiin ratkaisuihin, jotka toimisivat pelkästään yhdellä näistä kerroksista.

6.1 Tehokkaan Metro Ethernet verkon suunnittelupohja

Tässä kappaleessa ja tämä kappaleen alakappaleissa käsitellään tehokkaan Metro Ethernet -verkon suunnittelun pääpiirteitä Cisco Systems:n Service-Driven Metro Network -esitteeseen pohjautuen. [19]

Suunniteltaessa tehokasta Metro Ethernet -verkkoa suunnittelussa voidaan ottaa huomioon seuraavia seikkoja kuten palveluiden määrittelyä, palvelusopimuksien eli SLA (Service-Level Agreement) määrittelyä, arkkitehtuuria, teknologiaratkaisuja ja laiteratkaisuja.



Kuva 11. Viisi Metro Ethernet -tehokkuustekijää [19, s.3.]

Suunnittelu etenee kuvan 11 mukaan lähtien palveluiden määrittelystä ja kiertäen myötöpäivään, käyden järjestyksessä kaikki vaiheet läpi.

6.1.1 Palveluidenmäärittely

Suunnitteluprosessi aloitetaan määrittelemällä palvelut ja niiden mahdollisuuden. Ethernet tukee hyvin monia palvelumuotoja. Tämä mahdollistaa sen, että voidaan muodostaa palveluympäristö, joka vastaa parhaiten asiakkaan tarpeita. Metro Ethernet -palvelut voidaan jakaa kahteen pääluokkaan Ethernet-liityntäpalvelut luokkaan ja Ethernet lisäarvopalvelut luokkaan.

Ethernet-liityntäpalvelut muodostavat yhteyden kahden tai useamman asiakasrajapinnan välille point-to-point, point-to-multipoint tai multipoint-to-multipoint yhteydellä luvuissa 4.3.1 sekä 4.3.2 kerrotulla tavalla. Näitä yhteyksimuotoja kutsutaan myös seuraavan taulukon mukaisilla termeillä.

Taulukko 1: Metro Ethernet -palvelut [19 s. 5]

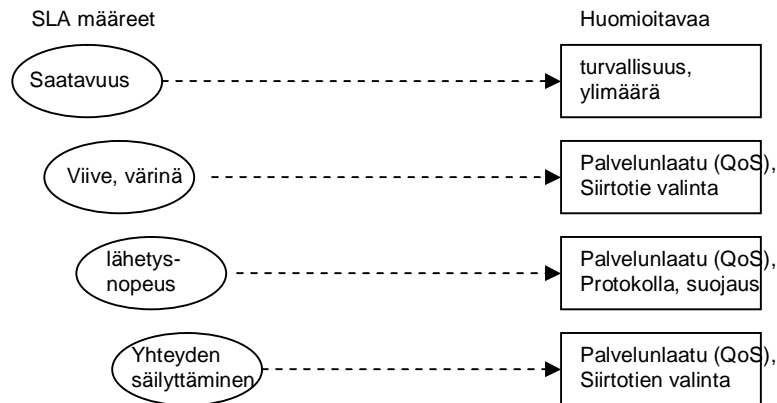
MEF standardit	Ethernet liityntäpalvelu (Cisco:n termistö)
Point-to-Point E-Line	Ethernet Private Line (EPL) Ethernet Relay Service (ERS) Ethernet Wire Service (EWS)
Point-to-Multipoint E-Line	Ethernet Relay Service (ERS)
Multipoint-to-Multipoint E-LAN	Ethernet Relay Multipoint Service (ERMS) Ethernet Multipoint Service (EMS)

Ethernet-lisäarvopalvelut tarjoavat mukautettuja palveluominaisuuksia liityntäpalveluihin luvussa 4.3.3 kerrotulla tavalla. Tällaiset mukautetut ominaisuudet liittyvät yleisesti reaaliaikaisen kuvan, äänen ja datan lähetykseen.

6.1.2 SLA eli palvelusopimusmäärittely

Palvelumäärittelyiden jälkeen tulee suunnitella palvelusopimukset. Palvelusopimuksilla pystytään tarjoamaan asiakkaalle mukautettuja palveluita, jotka vastaavat asiakkaan sovellusvaatimuksia sekä liiketoiminta tavoitteita. Mitä paremmin palveluita pystytään mukauttamaan asiakkaan toiveisiin, sitä suurempi arvo palvelulla on asiakkaalle.

Mietittäessä, mitä palvelusopimuksia tullaan käyttämään lopullisessa palvelusopimuksessa, voidaan lähestyä asiaa miettimällä kuvan 12 osoittamia asioita. Palveluiden saatavuus vaatii ylimääräisiä verkkolaitteita, joka taas vaatii protokollia, jotka tukevat näitä ylimääräisiä verkkolaitteita sekä hyvän verkkorakenteen. Viive, värinä, lähetysnopeus sekä yhteydensäilyttämisen määreet tulee ottaa huomioon, sillä koko palvelusopimuksen tulee tukea samaa palvelunlaatu- (QoS) mekanismeista sekä protokollakelpoisuutta.



Kuva 12. Ethernet-palvelusopimusten määrittely [19, s.8.]

Palvelusopimuksia voidaan lähestyä kahdella eri määrittelytavalla eli kaistanopeusprofiililla sekä palveluluokkaprofiililla.

Näissä kaistanopeusprofiili tarjoaa asiakkaalle kiinteän lähetyksenopeuden (Committed Information Rate – CIR), joka on aina tarjolla asiakkaalle sekä huippulähetyksenopeuden (Peak Information Rate – PIR), joka ilmoittaa asiakkaan maksimilähetyksenopeuden. Haluttaessa kaistanopeusprofiiliin voidaan kuitenkin vielä lisätä esim. maksimipurskeen koko (Maximum Burst Size – MBS), joka yhdessä kiinteän kaistanopeuden kanssa määrittelee maksimin kokoaikaiselle liikenteenlähettämiseksi.

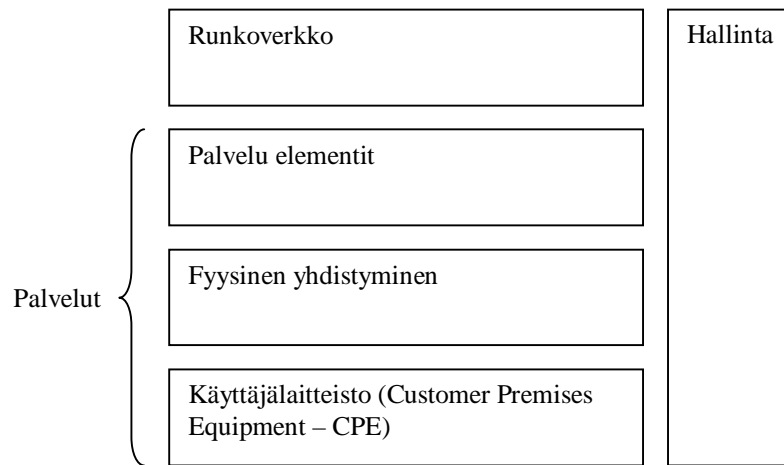
Palveluluokkaprofiili taas lähestyy palvelusopimusmäärittelyä niin, että jokaisella sovelluksella on eri kuljetusvaatimukset. Näillä määrittelyillä palveluntarjoaja sekä asiakas pystyvät määrittelemään erillisiä ominaisuuksia palveluiden ja sovellusten liikennöintiin. Näiden avulla voidaan määrittää eri asiakkaille esim. verkon käyttöprioriteetti jne.

6.1.3 Arkkitehtuuri

Metro Ethernet -verkon arkkitehtuuri määritellään, kun palvelusopimus määrittelyt ovat valmiit. Verkkoarkkitehtuurin tehtävä on kuvata kaikki verkossa olevat laitteet, niiden roolit ja väliset yhteydet verkossa.

Asiaa voidaan lähestyä verkon määränpään ja roolien kautta. Yleisesti hyvän ja joustavan verkon suunnittelua voidaan lähestyä nelikerroksisella arkkitehtuurilla joka on kuvan 13 mukainen. Tämä ajatus koostuu siis käyttäjä-laitteistokerroksesta, yhdistymiskerroksesta, palvelukerroksesta ja runko-

verkkokerroksesta. Kuitenkaan kaikki tietoliikenneverkot eivät tarvitse kaikkia näitä kerroksia vaan voivat yhdistää kanavia samaan kerrokseen.



Kuva 13. Metro Ethernet -verkon arkkitehtuurin osat [19, s.10]

Käyttäjälaitteistokerros laitteen hallinnan hoitaa palveluntarjoaja, laite on myös vastuussa yhteyden muodostamisen turvallisuudesta sekä palvelusopimusten käytöstä sovelluksiin.

Yhdistymiskerros hallitsee kustannustehokkaasti liikenteen yhdistämisen käyttäjälaitteistokerrokselta palvelukerrokselle. Tukee paikallista kytkinporasta ja vähentää palvelukerroksen läpikulkevaa liikennettä.

Palvelukerros käsittelee useita palvelutehtäviä kuten sisällön toimituksen, parannetut turvallisuuspalvelut (esim. tunkeilijan havaitsemisjärjestelmä Intrusion Detection Systems – IDSs), palomuurit tehtävät, puheluiden isännöinti tehtävät jne.

Älykäsydinkerros kuljettaa tehokkaasti liikenteen palvelukerroksen laitteiden välillä. Tämä kerros tukee nopeaa ja luotettavaa tiedonsiirtoa, kunnon liikenteen ohjauksen sekä estojen hallinnan.

Hallintakerros yhtenäistää koko arkkitehtuurin sekä suorittaa verkon valvomisen ja tarjoaa tuen verkon konfiguroinnille sekä vianetsinnälle.

Kuvasta 13 nähdään, että käyttäjälaitteisto-, yhdistymis- ja palvelukerrokset kuuluvat kaikki palveluosiioon, jossa kaikkien kerrosten tulee huomioida palvelusopimukset.

Verkkotopologia on erittäin oleellinen osa verkkoarkkitehtuurin suunnittelua. Tärkeää on ymmärtää, miten eri verkkokerrokset on kytketty toisiinsa ja kuinka eri verkkolaitteet, ovat kytketty toisiinsa verkkokerroksessa.

Data-palveluiden kasvattaminen on Metro Ethernet -verkon merkittävin piirre. Tavoitepohjainen verkkosuunnittelu tarjoaa hyvin rajoitetun skaalautuvuuden, koska verkko on suunniteltu kuljettamaan ainoastaan määrättyä palvelua. Tällaisessa verkossa mikä tahansa merkittävä muutos vaatii kalliin luultavasti manuaalisen päivityksen verkkolaitteistoon sekä palveluun.

6.1.4 Teknologiaratkaisut

Kun palvelut ja palvelusopimukset sekä arkkitehtuuri ovat määritelty, voidaan siirtyä teknologiaratkaisujen pariin. Tässä vaiheessa tulee miettiä eri verkkoteknologioiden hyviä ja huonoja puolia. Voidaan ajatella verkkojen välille MPLS tai muu dataliikenne kuljettamaan määrättyjä palveluita. Tulee ajatella myös tyypilliset verkon vaatimukset kuten palvelunlaatu, verkkoturvallisuus, verkonsaatavuus jne.

Kun teknologiaratkaisuja ajatellaan, tulee ottaa huomioon aikaisemmin päätetyt palvelut, palvelusopimukset ja arkkitehtuuri. Seuraavassa muutama monista teknologia ratkaisuihin liittyvä seikoista, joita suunnitellessa tulisi ottaa huomioon.

Verkossa olevien laitteiden välinen dataliikenne

Monilla palveluntarjoajilla on erityyppisiä verkkoja, kuten Ethernet, ATM tai Frame Relay. Näitä verkkoja halutaan yhdistää uuteen Ethernet -tyyppiseen verkkoon. Eri verkkotyyppien sekoitettu dataliikenneympäristö saattaa aiheuttaa ongelmia kasvaessaan kohti Ethernet-palveluita. Tästä ongelmasta päästään dataliikenteen kapseloinnilla eri kehysmuotoihin. Kapseloinnille on kehitelty omia standardeja, joita käytetään eri verkoissa (esim. RFC 2427 toimii Frame Relay -verkoissa tai AToM-tekniikkaa MPLS-verkossa). Tällainen OSI 2 -kerroksella toimiminen voi olla hyvin monimutkaista koska jokaisella protokollalla on erilainen kehysrakenne (esim. Ethernet-kehyksessä on lähde- ja kohdeosoite kun taas Frame Relay- ja ATM-kehyksessä ainoastaan kohdeosoite).

Turvallisuus

Turvallisuudella tarkoitetaan sitä, että jokainen asiakas, joka käyttää samaa palveluntarjoajan verkkoa, voi käyttää sitä ilman, että vaikuttaa muihin käyttäjiin millään tavalla. Turvallisuusriski syntyy yleensä verkon sisällä ja palveluntarjoaja voi tarjota suojan tällaisia riskejä vastaan. Yleiset point-to-point-muotoiset verkkoratkaisut ovat paljon helpompia suojata kuin multipoint-to-multipoint-verkkoratkaisut.

Yhtenäisyys ja end-to-end-palvelunlaatu

Sekä palveluntarjoajat että asiakkaat käyttävät palvelunlaatupalveluita parantaakseen kaistanleveyden käyttöä ja käyttääkseen tiukempia palvelusopimuksia. Palvelunlaadulla voidaan siis hallita värinää, viivettä ja pakettien katoamista. Tavalliselle point-to-point-yhteydelle liikenteenhallintaprofiili on helpompi määrittää, toteuttaa ja hallita, kun taas multipoint-to-multipoint-yhteydelle tarkoitetut palvelunlaatumääritykset ovat vaikeampia määrittää.

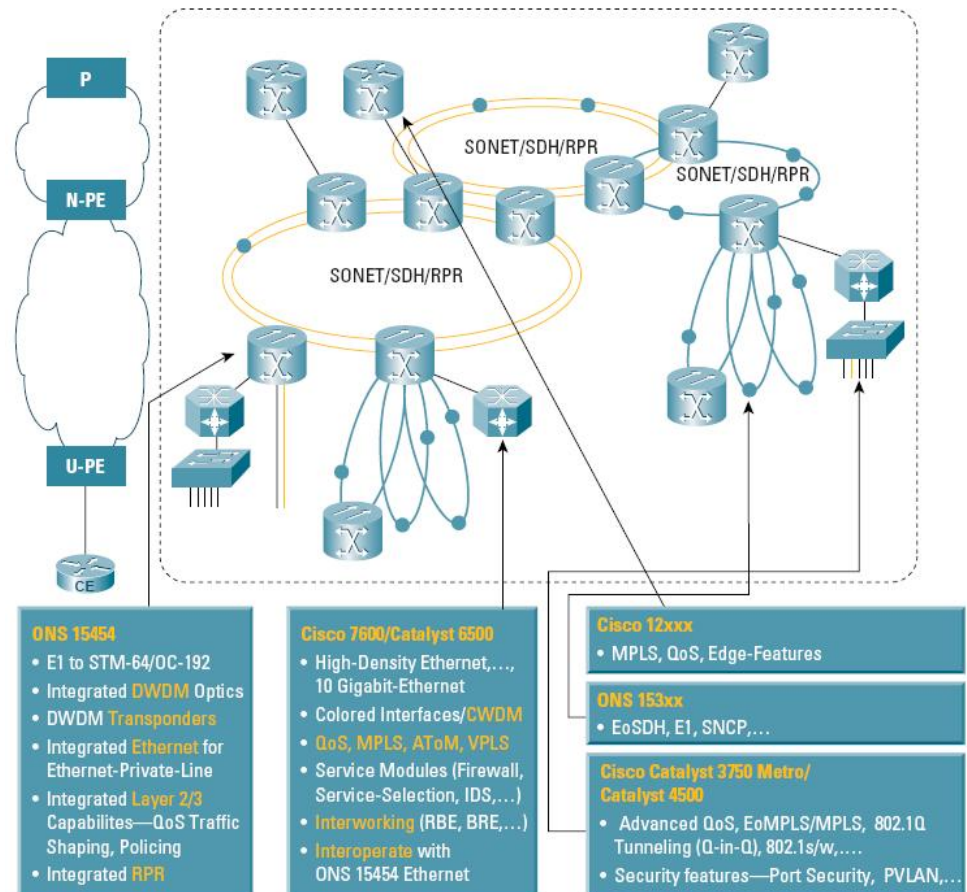
Redundanssi ja käytettävyys

Laitteiston redundanssi parantaa verkon käytettävyyttä ja vähentää keskimääräistä aikaa virheiden välillä. Käytettäessä sopivaa verkkoprotokollaa kuten IP-reititysprotokollaa, MPLS-nopeaa reititystä (fast route) tai jotain vastaavaa, voidaan parantaa verkon saatavuutta. Kaikki reititysprotokollat sisältävät ominaisuuksia, joilla voidaan taata verkon maksimisaatavuus.

6.1.5 Laiteratkaisut

Suunnittelun viimeisenä vaiheena on laitevaihtoehtojen valinta. Cisco Systemsn Service-Driven Metro Network -esitteessä on esitelty vaihtoehtoja Metro Ethernet -verkon eri osien laitteiksi. Yksi tai useampi verkkolaite voi palvella jotain tiettyä tarkoitusta verkossa, tietysti riippuen palvelusopimuksesta, verkkoarkkitehtuurista ja verkkoteknologiasta.

Verkon reuna- ja ydinlaitteeksi Cisco tarjoaa useita vaihtoehtoja, joilla on omat parhaat puolensa. Jotkin näistä laitteista sopivat sekä reuna- että ydinlaitteiksi (ks. kuva 14).



Kuva 14. Cisco Systemsn Metro Ethernet -ratkaisuvaihtoehto. [19, s.15.]

Kuvassa 14 nähdään Cisco Systemsn hybridi-verkkoratkaisu. Hybridi-verkko on monien eri verkkotekniikoiden yhdistelmä. Kuvasta nähdään että verkossa käytetään SONET/SDH-verkkoja, Ethernet-verkkoja sekä MPLS-verkkotekniikkaa.

Laitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: U-PE:en (U-Provider Edge), N-PE:en (Network Provider Edge) ja P:hen (Provider). Alhaalta ylöspäin mentäessä U-PE-laitteet ovat käyttäjärajapinnan laitteistoa, joka tukee MPLS- ja EoMPLS-(Ethernet over MPLS) tekniikkaa sekä tarjoaa nopean spanning tree -protokollan, vahvat turvallisuusominaisuudet jne. Seuraavana on N-PE-laitteita jotka ovat tarkoitettu palveluntarjoajille moni palvelulaitteistoksi, joiden siirtonopeus on 2 Mbps:sta aina 10 Gbps:n eri siirtoverkoissa (esim. SONET/SDH tai MPLS). Viimeisenä on P-tason laitteita joilla on ydin- ja reu- natoiminnot aina Gigabitin nopeudella ja tarjoaa myös laajan skaalan MPLS-toimintoja.

P- sekä N-PE-laitteistot ovat tarkoitettu palveluntarjoajille, joiden pitää pystyä tarjoamaan nopeita verkkoyhteyksiä useille käyttäjille. U-PE-laitteet sopivat enemmän esim. yrityksen sisäiseen MPLS-verkon rakentamiseen.

6.2 Verkkolaitte valinta suunnitelmaa varten

Suunnitelmassa voidaan käyttää pohjana edellisessä kappaleessa annettuja ohjeita. Kuitenkin onärkevintä aloittaa miettimällä, mitä laitetta käytetään verkkosuunnitelmassa. Laittevaihtoehtoja ei ole niin montaa, että ensin voitaisiin tehdä verkkosuunnitelma, jonka jälkeen valittaisiin sopivin verkkolaitte toteuttamaan suunnitelmaa. Pitää aloittaa siis valitsemalla sopivin verkkolaitte, jonka perusteella tehdään tarkempi verkkosuunnitelma.

Muutamia asioita tulee kuitenkin ottaa huomioon, että kyseessä on Metro Ethernet-verkko eli siirtokapasiteetti tulee olla suuri. Käyttäjien verkkoporttien tulee toimia Gigabitin nopeudella ja muu yhteys voisi olla 10 Gbps nopeuksista. Suunnitelma voidaan siis aloittaa miettimällä mitä mahdollisuuksia Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switches ja muut mahdolliset laitteistot antavat.

6.2.1 Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switches

Tämä kappale on kirjoitettu Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switch -materiaalin pohjalta. Lähteenä on käytetty Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switch Data Sheetiä. [20.]

Tämä laite on Cisco Systemsn uusi Metro Ethernet -laite asiakaskohteisiin. Laite tarjoaa hyvin korkeatasoisen yhteyden Metro Ethernet -verkkoon sallimalla monien erilaisten Metro Ethernet -palveluiden siirron yhtäaikaaisesti. Laitteen piirteitä ovat kaksisuuntainen hierarkkinen palvelunlaatu ja liikenteen muotoilu, 802.1Q-tunnelointi, VLAN-muunnos, MPLS ja Ethernet over MPLS sekä hierarkkinen Virtual Privat LAN -palvelu.

Laiteohjelmisto

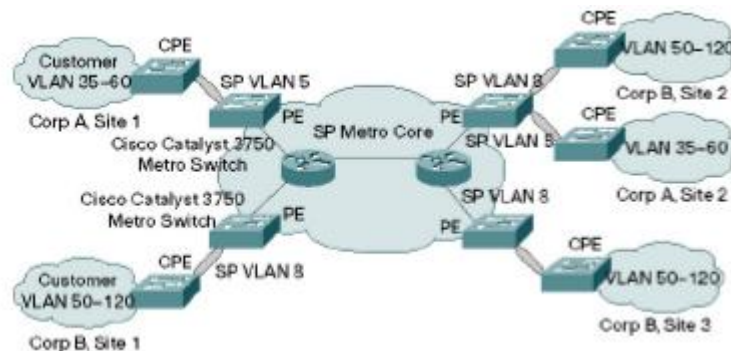
Laitteeseen kuuluu Metro IP Base -ohjelmistolisenssi, lisenssiin kuuluu 2 kerroksen kytkentä ja reititys, kuten reititys informaatio protokolla (Routing Information Protocol – RIP), 802.1Q-tunnelointi, VLAN-muunnos ja kaksisuuntainen palvelunlaatu hierarkia. Nämä ovat siis perusominaisuudet, jot-

ka tulevat oletuksena. Ohjelmapäivityksillä on mahdollista saada enemmän toimintoja.

- Metro Advanced IP Feature -lisenssi sisältää kaikki Base-lisenssin toiminnot sekä MPLS, Ethernet over MPLS ja MPLS-virtuaaliyhteys mahdollisuudet.
- Metro IP Service Feature -lisenssi sisältää kaikki Base-lisenssin toiminnot sekä lisäksi vielä BGP, EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), IS-IS (Intermediate System to Intermediate System), PBR (Policy-based Routing) jne. Kaikki edellä mainitut lyhenteet ovat reititysprotokollia.

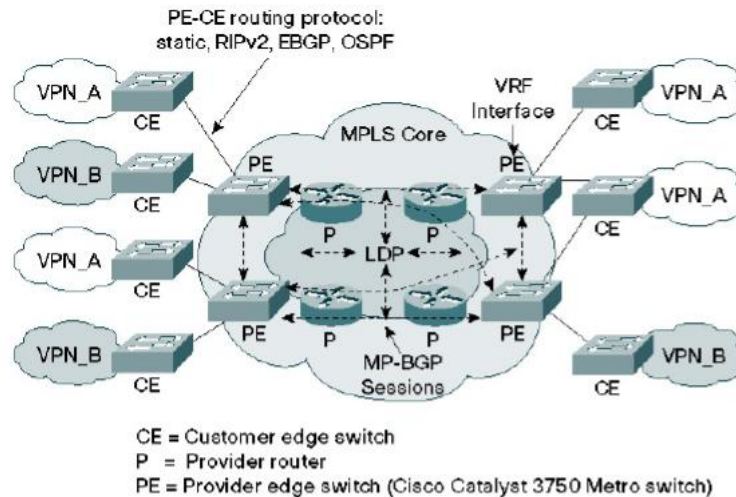
Laitteiston käyttö suuremmissa verkossa

Ciscon Metro Ethernet -kytkin portfolioon kuuluu Cisco Catalyst 3550 ja Cisco Catalyst 2950 sarjan Ethernet kytkimet sekä Cisco ME 3400 Metro Ethernet Access Switch. Näitä kytkimiä käyttämällä asiakaskohteessa voidaan muodostaa joko asiakas kohteen sisäinen esim. Ethernet ovet MPLS -verkko tai voidaan liittyä suuren Metro Ethernet -verkon kautta useisiin muihin kohteisiin virtuaalisten yhteyksien avulla kuvan 15 osoittamalla tavalla.



Kuva 15. OSI 2 -kerroksen esimerkki virtuaaliyhteys Cisco Catalyst 3750 Metro Switch:n avulla. [20, s.2.]

Kuvan 15 verkko voidaan rakentaa kytkimen standardiosilla ilman suurempia päivityksiä. Lisäämällä tähän korkeammantason kytkin- ja reititinperheitä saadaan aikaiseksi laajempi ja tehokkaampi verkko esim. Catalyst 6500 ja 4500 series switch sekä Cisco 7600 series Router toimivat loistavasti ydinlaitteina.



Kuva 16. OSI 3 -kerroksen esimerkki MPLS-virtuaaliyhteydestä Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switch:illä. [20, s.3]

Kuvassa 16 on myös havainnollistettu 3750 Metro Switch:n käyttöä suuremmissa MPLS-pohjaisissa verkoissa. Tällaisessa verkossa P-laitteina on käytetty korkeamman tason kytkimiä tai reitittimiä, MPLS-verkon ytimessä voivat olla esim. Cisco 7600 series -reitittimet. Tällaisessa verkossa 3750 Metro Switch tarvitsee ohjelmisto päivityksen. Ohjelmiston tulee tukea MPLS-virtuaaliyhteyksiä.

OSI 2- ja 3 -kerroksen virtuaaliyhteys -palvelut

OSI 2 -kerroksen virtuaaliyhteys 802.1Q-tunneloinnilla. Tällä voidaan muodostaa OSI 2 -kerroksen virtuaaliyhteyspalveluita sekä OSI 2 -kerroksen läpinäkyviä LAN-palveluita tai tavallisia Ethernet LAN -palveluita käyttämällä VLAN-in-VLAN-hierarkiaa tai merkitsemällä jo aikaisemmin merkitty paketti.

OSI 2 -kerroksen virtuaaliyhteyden VLAN-muunnoksella. Tässä ei merkitä pakettia kahteen kertaan, vaan VLAN-muunnos yksinkertaisesti muuntaa käyttäjän VLAN ID:n palveluntarjoajan VLAN ID:ksi silloin, kun paketti siirtyy palveluntarjoajan verkkoon. Näin yksinkertaisesti merkitsemällä VLAN ID voidaan jättää loput paketista koskemattomaksi ja taata asiakkaan oman palvelunlaatuinformaation säilyminen.

OSI 2 -kerroksen virtuaaliyhteys, käytettäessä Ethernet over MPLS:ää. Tällä tunneloinnilla voidaan muodostaa OSI 2 -kerroksen tunneli OSI 3 -kerroksella toimivan MPLS:n läpi.

OSI 2 -kerroksen virtuaaliyhteys Hierarchical Virtual Private LAN Service (HVPLS) arkkitehtuurilla. Tämä on monipisteinen OSI 2 -kerroksen tekniikka, joka sallii useiden yhteyksien yhteenliittymisen, simuloitun Ethernet:n välityksellä joka on rakennettu MPLS-verkkoon. Tässä voidaan valita kahdesta eri vaihtoehdosta, Ethernet access networks vaihtoehdossa liityntäpinta on 802.1Q-verkko ja ydin on MPLS-verkko, MPLS access network -vaihtoehdossa liityntä- ja ydinverkko ovat kummatkin MPLS-verkkoja.

OSI 3 -kerroksen virtuaaliyhteys Multi-Virtual Routing and Forwarding Customer Edge (Multi-VRF CE)-menetelmällä. Tässä Cisco 3750 Metro Switch muodostaa OSI 3 -kerroksen virtuaaliyhteyden muodostamalla jokaiselle yhteydelle oman reititystaulukon ilman, että tarvitsee käyttää MPLS:ää. Cisco 3750 Metro Switch tukee kahta tai jopa useampaa virtuaaliyhteyttä yhdessä kytkimessä ja tämä on mahdollista käyttämällä IP-osoitetta limittäin kaikkien virtuaaliyhteyksien kesken.

OSI 3 -kerroksen virtuaaliyhteys MPLS-virtuaaliyhteys menetelmällä. Tällä menetelmällä voidaan muodostaa end-to-end-yhteys MPLS-verkossa. MPLS-virtuaaliyhteys on samanlainen kuin tavallinen virtuaaliyhteys, jossa erotellaan eri virtuaaliyhteydet käyttämällä VRF-menetelmää. Käytettäessä virtuaaliyhteyksiä, käyttäjä ei näe liikennettä sen virtuaaliyhteyden ulkopuolella.

Palvelunlaatu

Äärimmäinen SLA-tuki voidaan saavuttaa käyttämällä liikenteen muokkauksista sekä kaksisuuntaista palvelunlaatuhierarkiaa. Palvelunlaatukriteerit ovat hyvin tärkeä osa verkkoa, varsinkin kun siirretään ns. lähetyskriittisiä sovelluksia ja dataa kuten ääntä, kuvaa ja dataa. Tällöin on erittäin tärkeää pystyä hallitsemaan liikennettä. Silloin siirtokriteerit tulevat hyvin tärkeiksi. Palvelunlaatuominaisuudet auttavat takaamaan, että kaistanleveydestehokkuus ja ajalle herkät informaation siirto-ohjelma, saavat tarvitsemansa kaistanleveyden pystyäkseen toimimaan. Nämä ominaisuudet ovat erittäin tärkeitä, kun halutaan saada verkko vastaamaan sovittuja palvelusopimuksia.

Cisco 3750 Metro -kytkimen palvelunlaatu teknologia määrittelee tyypilliset kaistanleveyden, viiveen, värinän ja pakettien katoamisen, jotka ovat ne kaikkein kriittisimmät ominaisuudet verkossa. Tämä kytkin tukee myös palvelunlaatuun liittyviä ominaisuuksia kuten Hierarchical Queuing Framework

(HQF), joka sisältää siis liikenteen lajittelun, kaksi nopeutta ja kolme väriä toimintaperiaatteen (MEF 10 standardiin pohjautuen) ja useita muita liikenteen luokitteluun liittyviä hierarkioita sekä profiileja. Palvelunlaadulle on kehitelty myös kolme eri kerrosta, joista jokainen palvelee jotain osaa kytkimessä ja virtuaalisissa yhteyksissä.

- Fyysinen rajapintakerros – tarjoaa laajennetut palvelut kaikkiin portteihin
- VLAN kerros – mahdollistaa eri VLAN:n jokaiseen porttiin
- Merkitty luokkakerros – kaikki VLAN:t on luokiteltu

Turvallisuus

Cisco 3750 Metro -kytkin tukee useita turvallisuusominaisuuksia kuten Access Control List (ACL), joka valvoo kuka pääsee kytkimen kautta verkkoon ja kuka ei. Valvonta perustuu listaan, jolla on kaikki käyttäjät jotka pääsevät käyttämään verkkoa kytkimen kautta. Lista voi perustua MAC-osoitteeseen, IP-osoitteeseen tai TCP/UDP-portti tietoihin. Tämä pääsynhallintalista (ACL) suojaus suoritetaan laitetasolla joten reititys ja edelleen toimittaminen ei vaarannu millään tavalla. Muita turvallisuusominaisuuksia on käyttäjän oikeuksien tarkistaminen, porttitason turvallisuus sekä id-tason verkkopalvelu 802.1X kanssa.

6.2.2 Muut Cisco laitevaihtoehdot

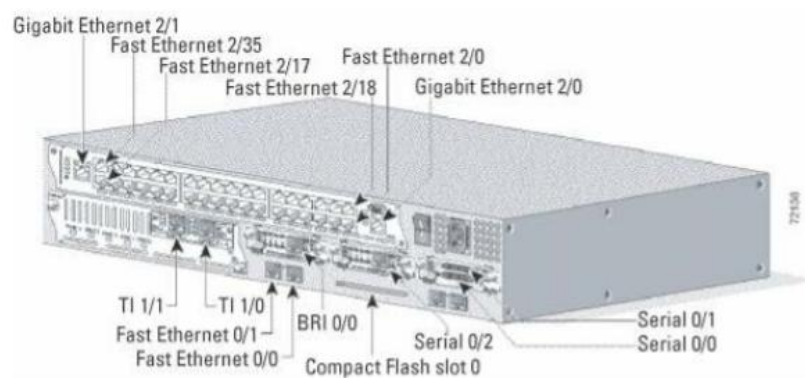
Koulun laboratorioluokasta löytyy jo valmiina Cisco 3700 Series Multiservice Access Routers sarjan 3725 ja 3745 reitittimet, joiden valmistus ja myynti on lopetettu. Näillä 3700 sarjan reitittimillä voidaan rakentaa hyvin tehokas yritysverkko, joka tarjoaa hyvän turvallisuuden, äänen siirron, IP-puhelut, kuvan siirron ja verkon sisällön selaamisen samassa ratkaisussa. Näissä ratkaisuisissa oletuksena ohjelmistossa tulee palvelunlaatumäärittymät, moniosainen IP, virtuaaliyhteys, palomuuuri, häiriöiden ehkäisy sekä hyvä suorituskyky tulevaisuuden haasteita vastaan. [21.]

Cisco 3725- ja 3745-sarjan laitteet sisältävät valmiin LAN- tai WAN-yhteyden, uuden High-Density Service Modules (HDSM) eli hyvin korkeatasoiset palvelumoduulit ja tuen monille Advanced Integration Modules (AIMs)

eli kehittyneille integraatiomoduuleille, jotka kuljettavat korkealaatuisesti palveluita kuten ääntä ja kuvaa. [21]

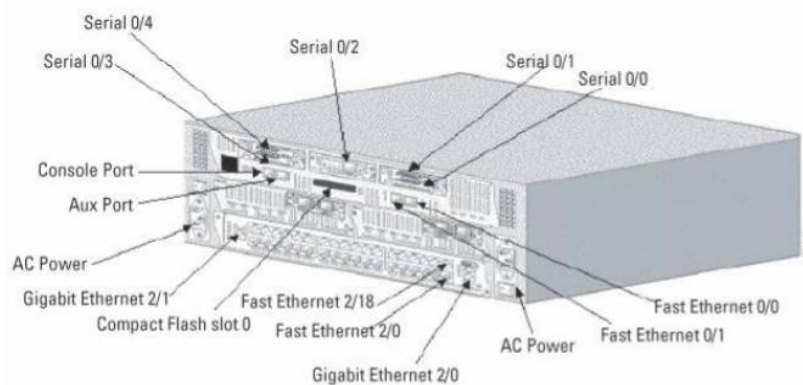
Laitteisto ja virtuaaliyhteys

Cisco 3725-reitittimellä on kaksi verkkomodulipaikkaa, jotka voivat hyväksyä yhden HDSM:n ylemmän tyhjän verkkomoduliin, jonka jälkeen kuitenkin jää vielä jäljelle vapaa verkkomodulipaikka. Verkkomodulipaikat näkyvät kuvassa 17, johon on merkitty Fast Ethernet 2/0:sta aina Fast Ethernet 2/35-portit.



Kuva 17. Cisco 3725 Multiservice Access Router [21, s.2]

Cisco 3745 reitittimellä on neljä verkkomodulipaikkaa. Se tukee näin ollen kahta HDSM:ää, siirtämällä keskimäinen paikka aina vierekkäisistä verkkomoduli pareista. Verkkomoduliparit näkyvät alla olevassa kuvassa 18 aivan laitteen alareunassa.



Kuva 18. Cisco 3745 Multiservice Access Router [21, s.2]

Näiden laitteiden pääominaisuuksia ovat mm.

- kaksi integroitua 10/100 LAN porttia
- kaksi integroitua AIM paikkaa
- kolme integroitua WAN rajapinta korttipaikkaa
- kaksi (3725) ja neljä (3745) verkkomoduuripaikkaa
- yksi (3725) ja kaksi (3745) HDSM:ään kykenevää paikkaa.

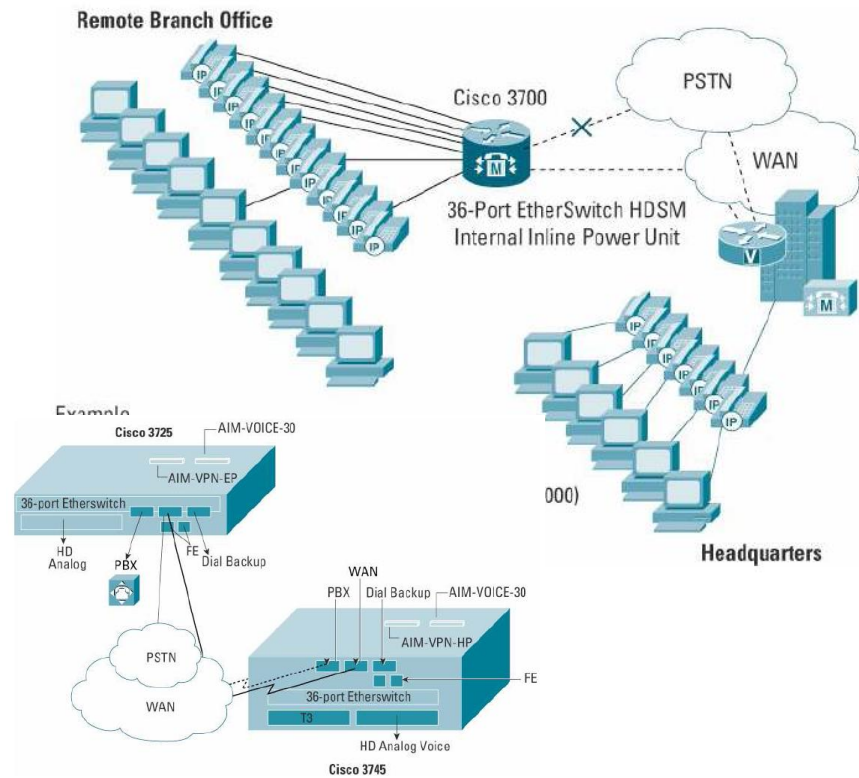
Cisco 3725 ja 3745 laitteisiin voi hankkia tarpeidensa mukaan uusia moduuleja, verkkolaitteilla voidaan tukea niin perinteisiä lankapuhelimia kuin nykyaikaisia IP-puhelimia. Laitteistot tarjoavat helposti skaalautuvat analogiset portit 16:sta aina 64:aan porttiin asti. Digitaalisille porteille voidaan konfiguroida aina 12 kanavasta 480 kanavaa ja mahdollisia IP-puhelin portteja yhdellä verkkolaitteella voi olla 16:sta aina 72:een. [21]

Laitteisto tukee laajan valikoiman IP-puheluille välttämättömiä ominaisuuksia kuten SIP (Session Initiation Protocol), H.323 (signaalointiprotokolla) jne.

Virtuaaliyhteyspalveluina Cisco 3700-sarjan laitteet tarjoavat valmiin videon ja äänen sallimisen IPsec-virtuaaliyhteyden avulla. Laitteisto tarjoaa varsinaista palvelua, joka on suunniteltu ainoastaan siirtämään kuvaa, ääntä ja dataa paikasta toiseen. [21]

Laitteiston käyttö suuremmassa verkossa

Nämä verkkolaitteet ovat suunniteltu käytettäväksi varsinaisesti yrityksen puhelin, ääni, VoIP sekä dataliikenne ratkaisuihin. Kuvasta 19 nähdään että yrityksen pääkonttorin ja sivukonttorin IP-puhelimet ovat yhdistetty Cisco 3700-sarjan reitittimellä sekä nähdään, että puhelinyhteydet yrityksen ulkopuolelle kuljetetaan PSTN-verkon (Public Switched Telephone Network – tavallinen analoginen tai jopa nykyään digitaalinen lankapuhelinverkko) kautta ja yrityksen sisäinen liikennöinti voidaan suorittaa suoraan esim. Ethernet- tai MPLS-pohjaisen WAN-verkon läpi.[21]



Kuva 19. Cisco 3725- ja 3745 Multiservice -laitteiden käyttö suuremmissa verkossa. [21, s.9]

6.2.3 Cisco laitteiston vertailu

Kuten aikaisemmin jo mainittiin, koululta löytyy valmiina Cisco 3725- ja 3745 Multiservice -reitittimet. Laitteisto on kuitenkin hyvin vanhentunutta ja poistettu valmistuksesta sekä myynnistä. Laitteistoon ei siis pystytä hankkimaan laajennusosia, laitteistolle ei edes ole kehitelty niin suurilla nopeuksilla toimivia Ethernet-porttimoduuleja, jotka vastaisivat meidän tarpeita. Ethernet porttimoduulit ovat 10/100 Mbps nopeus luokkaa kun meidän tarpeet ovat 1000 Mbps luokkaa ja jopa suurempia.

Cisco 3750 Metro -kytkimellä on useita eri versioita joissa voidaan valita 12, 16, 24 tai 68 portin paketista ja porttinopeudet ovat 10, 100 tai 1000 Mbps.

Voidaan myös huomata että 3725- ja 3745-reitittimillä ei ole tarjota niin laajaja virtuaaliyhteys pohjia kuin uudella 3750-kytkimellä on, koska uusia ohjelmistopäivityksiä ei ole enää kehitelty vanhoille malleille.

Myös verkkolaitteiden käyttötarkoitukset eroavat toisistaan hieman, vanhemmat 3725 ja 3745 ovat suunniteltu enimmäkseen puhelin ja IP-puhelin käyttöön joka voi reitittää niin analogisia että digitaalisia puhelinyhteyksiä

eteenpäin. Uudempi 3750 Metro -kytkin on suunniteltu kaikkeen datan siirtoon suuremmilla nopeuksilla ja tehokkaammilla virtuaaliyhteyksillä kuin vanhemmat mallit.

Lopputuloksena on pakko päätyä siihen että vanhat mallit 3725 ja 3745 ovat päivityskelvottomia laitteita joten uusi 3750 Metro -kytkin palvelee tarkoitustamme parhaiten. Verkkorakenteensuunnittelun voi rakentaa täysin 3750-verkkolaitteen ominaisuuksien mukaan.

6.3 Verkkosuunnitelma

Verkkosuunnitelmassa voidaan käyttää pohjana kappaleen 6.1 verkkosuunnitelmapohjaa, vaikkakin on huomattava että kappaleessa esitetty suunnitelmapohja on isoille palveluntarjoajien verkoille, mutta sitä voidaan myös soveltaa pienemmille verkoille. Liitteestä 3 nähdään ajatus 1 ja ajatus 2 joissa nähdään hieman pohjaa verkkosuunnitelmalle.

Verkkoon haluttuja ominaisuuksia ovat

- 3 verkkolaitetta (Cisco 3750 Metro Series Switch) eli kolme eri verkkoa (LAN 1, LAN 2 ja Serverit liitteessä 3)
- MPLS-pohjainen IP-pakettien reititys
- Gigabitin yhteydet käyttäjien koneille/puhelimille
- 10 Gbps yhteydet eri verkkojen välillä (MPLS)
- virtuaaliyhteydet MPLS VPN (Cisco 3750:n tukema)
- mahdollinen point-to-multipoint-yhteydet LAN-verkoista Serverit verkkoon

Vaihe 1 – Palveluiden määrittäykset:

Jos ajatellaan käytettäväksi liitteen 3 ajatusmalli 1:stä, tulee palvelumoodin olla joko point-to-point- tai point-to-multipoint-mallinen, jälkimmäinen malli mahdollistaa paremman esim. Cisco Call Manager -järjestelmän.

Palvelu noudattaa MEF 4 -standardin Ethernet Line -palvelua ja mahdollisesti taulukossa 1 (s.26) Ciscon termeistä Ethernet Relay Service:ä. Lisäpalveluina tämä tukee mm. äänen, kuvan ja datan lähetystä, OSI 3 -kerroksen

virtuaaliyhteyksiä ja virtuaaliyhteyksiä Ethernetin- ja esim. FrameRelay -verkon välillä.

Vaihe 2 – Palvelusopimusmääritykset:

Palvelusopimuksia ei tule määritellä tässä tilanteessa koska ei ole palveluntarjoaja asiakas asettelua. Palvelusopimukset tulee määritellä kun kyseessä on palvelu josta maksetaan. Koska kyseinen verkko suunnitellaan niin sanottuun yksityiskäyttöön ei tarvitse määritellä erikseen pitäviä palvelusopimuksia. Joitain asioita voidaan määrittää suunnitelmaa varten, mutta ei ole välttämätöntä.

Huomioitavia palveluattribuutteja voi olla saatavuus, viive, värinä, lähetysnopeus, kaistannopeus profiili(CIR, PIR jne.) ja palveluluokka.

Vaihe 3 – Arkkitehtuuri:

Verkoarkkitehtuurissa voidaan keskittyä palveluosaan, ydinosaan ja hallintaosaan. Palveluosassa on verkon suorituskykyvaatimukset, IP-liikennöinti sekä mahdollinen MPLS-liikennöinti ajattelu. Ydinosassa siirrytään suoraan IP/MPLS-liikennöintiin ja hallintaosassa mietitään miten ja kuka valvoo ja hallinnoi verkkoa.

Palveluosalla toimii LAN ja Serverit verkot joissa käytetään IP-osoitteita ja joista liikenne siirtyy Metro Ethernet -verkkoon. Cisco 3750 -laitteet toimivat myös osittain tällä kerroksella, koska niiden tulee muuttaa pakettien reititys IP:stä MPLS:ksi, sekä näiden laitteiden tulee pitää huolta laiteturvallisuudesta ja mahdollisista palvelusopimuksista.

Ydinosalla toimii Cisco 3750 -laitteiston IP/MPLS-liikenne ja kaikki mahdollinen siihen kuuluva muu laitteisto eli kaikki LAN ja Serverit yhdistävät laitteet kuuluvat ydinosalle.

Hallintaosalle kuuluu näiden laitteiden hallinta, asennus, konfigurointi ja mahdollinen virheen etsintä yms.

Näiden lisäksi tulee huomioida verkkotopologian rakenne ja verkon kasvu mahdollisuudet. Verkkotopologiana voidaan käyttää ihan minkälaista vain, koska kyseessä on sen verran pienempi muotoinen verkko. Liitteen 3 ajatuksesta 1 voidaan nähdä, että topologia muistuttaa hieman tähti mallia.

Kaikki LAN verkot tulee aina liittää vähintään kaksisuuntaisella point-to-point-yhteydellä Serverit verkkoon. Verkon kasvumahdollisuudet nähdään liitteen 3 ajatuksesta 3 jossa voidaan ajatella että kahden MEN-verkon yhteen liittämisen voi hoitaa tavallisella point-to-point-yhteydellä esim. Serverit verkkojen 3750 Metro -kytkimien välille ja tällöin verkko muistuttaa topologiaaltaan enemmän star mesh-yhdistelmää.

Vaihe 4 – Teknologievalinnat (esim. dataliikenne):

Teknologievalinnoissa tulee miettiä mistä mihin dataa lähetetään eli pitääkö datapaketit mahdollisesti kapseloida jollain tavalla, minkälaista tietoturvaa tulee käyttää, liikennöinti attribuutit (point-to-point- vai multipoint-to-multipoint-yhteys), reititystavat jne.

Käytetään siis point-to-multipoint-yhteyttä, kapseloidaan data mikä on ensin IP-paketti muodossa sitten MPLS-paketti muotoon, reititystavaksi valitaan jokin IP-paketeille perinteinen reititysprotokolla ja mahdollisesti MPLS:lle esim. MPLS fast route.

Vaihe 5 – Teknologiantoteutus (esim. laitteisto):

Teknologiantoteutuksessa on tarkoituksena tuoda periaatteessa kaikkien edellisten vaiheiden määritykset yhteen. Voidaan kuitenkin huomata, että kaikkien edellisten vaiheiden määritykset ovat hyvin suurpiirteisiä, koska suunnitelmapohja on luotu isojen palveluntarjoajien verkkojen suunnitteluun.

Tämä vaihe on enemmänkin yhteenveto kaikkien edellisten kappaleiden asioista. Verkolaitteeksi on valittu Cisco 3750 Metro Series Switch joka tarjoaa hyvin kattavan mm. MPLS-ominaisuuksien valikoiman, hienon palvelunlaatu valikoiman, mm. 802.1Q-tunneloinnin, virtuaali LAN-mahdollisuuden, portti-kohtaisen turvallisuuden jne.

Verkolle on annettu määreitä, viitaten liitteen 3 ajatus 1:seen jossa on siis kolme eri verkkoa LAN 1, LAN 2 ja Serverit verkko, jotka tulee siis liittää toisiinsa järkevästi. Yhteyspalvelussa päädyttiin siis point-to-multipoint-yhteyteen verkkojen välillä siten että Serverit verkko on multipoint-pää ja LAN:it ovat point-päissä ajatus 1 kuvan osoittamalla tavalla. Palvelusopimuksia ei määritelty, arkkitehtuurissa määriteltiin ainoastaan käytettäväksi IP/MPLS-tekniikkaa ja MPLS VPN-virtuaaliyhteyksiä. Teknologievalinnoissa

ajateltiin hieman tarkemmin IP- ja MPLS-reititystekniikoita, mutta mitään tarkempia määrittämiä ei tarvitse päättää, koska Cisco 3750 määrää suurimman osan verkon ominaisuuksista ja määreistä.

7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin Metro Ethernet -verkon rakennetta. Tavoitteena oli siis ymmärtää Metro Ethernet -verkon rakenne, rakenteen taustat ja tehdä mahdollisimman kattava verkkosuunnitelma. Metro Ethernet -verkkotekniikan ja sen taustatietojen tutkiminen osoittautui hyvin mielenkiintoiseksi sekä aihealue oli hyvin laaja.

Valitettavasti ajanpuutteen vuoksi verkkosuunnitelma jäi hieman puutteelliseksi, koska ei ollut aikaa perehtyä niin yksityiskohtaisesti verkkolaitteiden konfigurointiin ja muihin mahdollisuuksiin kuin olisin halunnut. Kuitenkin verkkosuunnittelun teoreettinen pohdinta tuotti paljon työtä ja työn tuloksena saatiin kuitenkin ihan kohtuullinen tulos.

Tutkimus tuloksena saatiin valittua kattavin verkkolaitte Metro Ethernet -verkko ympäristöön, jota voidaan kasvattaa verkon vaatimuksien mukaan. Laitteeksi valittiin Ciscon 3750 Metro Series Switch -kytkin, joka on suunniteltu Metro Ethernet -verkkoihin. Laite tarjoaa kattavat MPLS-ominaisuudet ja laajentumis ominaisuudet. Verkko tekniikaksi valittiin liitteen 3 ajatus 1, sen helppouden takia. Se tarjoaa helpoimman asennuksen, parhaimman palvelulaadun, turvallisuuden jne.

Asetetut tavoitteet kuitenkin saavutettiin. Metro Ethernet -verkon rakenne tuli käsiteltyä ja ymmärrettyä niin, että pystyttiin kehittämään jonkin asteinen verkkosuunnitelma. Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää pohjana tai vertailu pohjana teknisessä toteutuksessa. Verkkosuunnitelma ei ole kovinkaan yksityiskohtainen tai kattava, mutta sen mahdollisuuksia Cisco 3750 Metro Series Switch -kytkimellä on tutkittu. Tämän työn perustalta voi siirtyä tutkimaan kytkin vaihtoehtoa tarkemmin ja mahdollisesti tutkia sen käytännön asennusta ja mahdollista MPLS-pohjaista yhteyden muodostamista.

VIITELUETTELO

- [1] Meyers, Michael [käännös Jarmo Holttinen], 2003, Verkot+ sertifikaatti, IT Press, 1.painos.
- [2] Kasurinen, Timo, IEEE 802.3 Ethernet, Laajakaistaverkot, luentomoniste, STADIA, Helsingin ammattikorkeakoulu
- [3] Metro Ethernet Forum (MEF), Metro Ethernet Networks – Technical Overview [verkkodokumentti, viitattu 22.3.2007] Saatavissa: <http://www.metroEthernetforum.org/PDFs/WhitePapers/metro-Ethernet-networks.pdf>
- [4] CCNP Certification – 802.1Q tunneling [verkkodokumentti, viitattu 3.4.2007] Saatavissa: <http://ccnprecertification.com/2004/03/17/8021q-tunneling/>
- [5] Wikipedia vapaa tietosanakirja, Metro Ethernet [verkkodokumentti, viitattu 9.3.2007] Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Metro_Ethernet
- [6] Metro Ethernet Forum (MEF), Technical specifications as MEF standards [verkkodokumentti, viitattu 11.3.2007] Saatavissa: <http://www.metroEthernetforum.org/TechSpec.htm>
- [7] International Engineering Consortium – MPLS tutorial [verkkodokumentti, viitattu 9.3.2007] päivitetty 9.4.2007 Saatavissa: <http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/mpls.pdf>
- [8] Wikipedia vapaa tietosanakirja [verkkodokumentti, viitattu 23.3.2007] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/VPN>
- [9] Metro Ethernet Forum (MEF), Metro Ethernet Service – Technical Overview [verkkodokumentti, viitattu 2.3.2007] Saatavissa: <http://www.metroEthernetforum.org/metro-Ethernet-services.pdf>
- [10] Metro Ethernet Forum (MEF), Metro Ethernet Brochure [verkkodokumentti, PDF, viitattu 9.3.2007] Saatavilla: http://www.metroEthernetforum.org/PDFs/MEF_Brochure.pdf
- [11] Lappeenrannan teknillinen yliopisto, seminaarityö: Ethernet-verkot, Kempainen ja Hyyrynen [verkkodokumentti, viitattu 9.3.2007] Saatavissa: http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5316800/tyot/Ethernet-verkot_Ossi_Kempainen_Ville_Hyyrynen_Dokumentti.pdf
- [12] Metro Ethernet Forum – Carrier Ethernet overview [verkkodokumentti, viitattu 25.3.2007] Saatavissa: <http://www.metroEthernetforum.org/Presentations.htm>
- [13] Metro Ethernet Forum – Carrier Ethernet [verkkodokumentti, viitattu 22.3.2007] Saatavissa: http://www.metroEthernetforum.org/Carrier_Ethernet.htm

- [14] Cisco Systems Inc. – Cisco Broadband solution – Cisco laajakaista ratkaisut [verkkodokumentti, viitattu 22.3.2007] Saatavissa: http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/netsol/ns242/c643/cdccont_0900aecd801e8bfe.pdf
- [15] Cisco Solutions Inc, Metro Ethernet Services [verkkodokumentti, viitattu 14.3.2007] Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns546/networking_solutions_solution_category.html
- [16] Cisco AToM – Any Transport over MPLS [verkkodokumentti, viitattu 4.4.2007] Saatavissa: http://www.cisco.com/warp/public/cc/so/neso/vpn/unvpnst/atomf_ov.pdf
- [17] Foundry Networks, Metro Solutions [verkkodokumentti, viitattu 14.3.2007] Saatavissa: <http://www.foundrynet.com/solutions/sol-sp/sol-metro/>
- [18] Nortel Networks, Metro Ethernet Networking Solutions [verkkodokumentti, viitattu 14.3.2007] Saatavissa: http://www2.nortel.com/go/solution_content.jsp?segId=0&catId=-9205&parId=0&prod_id=53381&locale=en-US
- [19] Cisco Metro Ethernet - Builders Guide [verkkodokumentti, viitattu 27.3.2007] Saatavissa: http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/netsol/ns577/c643/cdccont_0900aecd80319c6b.pdf
- [20] Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switch – Data Sheet [verkkodokumentti, viitattu 3.4.2007] Saatavissa: http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps5532/c1650/cdccont_0900aecd80394979.pdf
- [21] Cisco 3700 Series Multiservice Access Router [verkkodokumentti, viitattu 4.4.2007] Saatavissa: http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps282/c1650/ccmigration_09186a008009203f.pdf
- [22] Wikipedia vapaa tietosanakirja, Ethernet [verkkodokumentti, viitattu 9.3.2007] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [23] Kurssi materiaali Seppo Lehtimäki – The Internet Protocol Journal September 2001 volume 4, number 3 - mpls stalling.pdf [viitattu 9.4.2007]
- [24] Carrier Ethernet – the Technology of Choice for Access Networks [verkkodokumentti, viitattu 9.4.2007] Saatavissa: <http://www.metroEthernetforum.org/documents.htm>

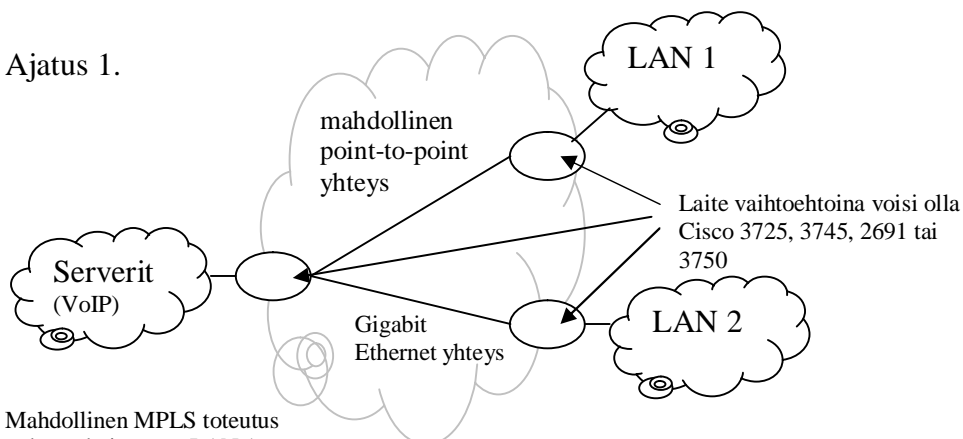
Taulukko IEEE 802.3 – Ethernet standarsit [22]

standardi	vuosi	kuvaus
Kokeellinen Ethernet	1972 (patentoitu 1978)	2,94 Mb/s koaksiaalikaapelissa
Ethernet II (DIXv2.0)	1982	10 Mb/s paksu koaksiaalikaapeli - Protokollatasolla kehyksiin tyyppi-kenttä
IEEE 802.3	1983	10BASE5 10 Mb/s paksun koaksiaalikaapelin yli - Protokolla DIX, mutta tyyppikenttä korvataan pituus-kentällä ja LCC-kenttä lisätään
802.3a	1985	10BASE2 10 Mb/s ohut koaksiaalikaapeli (thinnet tai cheapernet)
802.3c	1985	10 Mb/s toistimen määrittely
802.3d	1987	FOIRL (Fiber-Optic Inter-Repeater Link)
802.3i	1990	10BASE-T 10 Mb/s parikaapelissa
802.3j	1993	10BASE-F 10 M/bs kuidussa
802.3u	1995	100BASE-T Fast Ethernet, 100 Mb/s
802.3x	1997	Full Duplex
802.3z	1998	1000BASE-X Gigabit Ethernet koaksiaalissa, 1 Gb/s
802.3ab	1999	1000BASE-T Gigabit Ethernet parikaalissa, 1 Gb/s
802.3ac	1998	Kehyksen koko kasvatetaan 1522 tavuun, VLAN-tagit
802.3ad	2000	Linkkien yhdistäminen (aggregointi)
802.3ae	2003	10 Gigabit Ethernet kuidussa
802.3af	2003	Tehonsyöttö ja Ethernet samsassa 4-parisessa kaapelissa, (Power over Ethernet)

Taulukko MEF standardeista [6; 10, s7]

Metro Ethernet Forum - Technical Specifications as MEF Standards		
MEF 1	Ethernet Service Model Phase 1	Päätös Ethernet palvelu mallista UNI:ssa eli käyttäjärajapinnalla
MEF 2	Requirements and Framework for Ethernet Service Protection	Vaatimukset ja rakenne Ethernet palvelun turvaamiseksi Metro Ethernet-verkossa
MEF 3	Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks	Piirin mukauttamispalvelun tarkentaminen, rakenne ja vaatimukset Metro Ethernet-verkossa
MEF 4	Metro Ethernet Network Architecture Framework	Metro Ethernet verkon arkkitehtuurin rakenne
	Part 1: Generic Framework	Osa 1: Perusrakenne
MEF 5	Traffic Management Specification: Phase 1	Liikenteen hallinta vaatimukset vaihe 1
MEF 6	Metro Ethernet Services Definitions Phase I	Metro Ethernet palvelun määrittely vaihe 1
MEF 7	EMS-NMS Information Model	EMS-NMS Informaatio malli
MEF 8	Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks	Käyttöönottosopimus PDH piirien mukauttamisesta Metro Ethernet-verkossa
MEF 9	Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI	Luonnos testi ympäristölle ethernet:n UNI:ssa
MEF 10	Ethernet Services Attributes Phase I	Ethernet palvelun määrittelyn vaihe 1
MEF 11	User Network Interface (UNI) Requirements and Framework	Käyttäjärajapinnan UNI:n vaatimukset ja rakenne.
MEF 12	Metro Ethernet Network Architecture Framework	Metro Ethernet arkkitehtuurin rakenne
	Part 2: Ethernet Services Layer	Osa 2: Ethernet palvelu kerros
MEF 13	User Network Interface (UNI) Type 1 Implementation Agreement	Käyttäjärajapinnan UNI:n käyttöönotto sopimus tyyppi 1
MEF 14	Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI	Luonnos testi ympäristölle ethernet:n UNI:ssa
MEF 15	Requirements for Management of Metro Ethernet	Vaatimukset Metro Ethernetin hallinnallisuudelle
	Phase 1 Network Elements	Vaihe 1: Verkko elementit
MEF 16	Ethernet Local Management Interface	Ethernetin paikallinen hallinta rajapinta

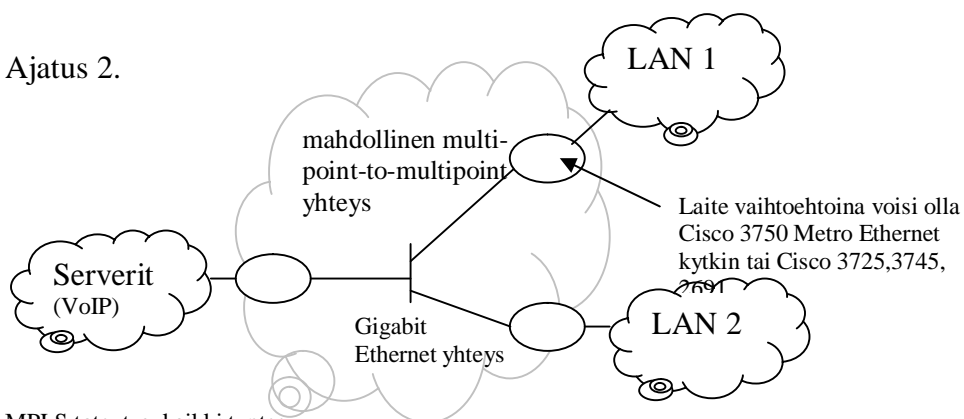
Ajatus 1.



Mahdollinen MPLS toteutus onko tarkoitus että LAN 1 pääsee käyttämään ainoastaan palvelimia Serverit verkossa. Yhteys olisi point-to-point yhteys kahden verkon välille.

Voidaan huomioida että Ajatus 1:ssä käytettävät Cisco kytkin mallit on poistettu myynnistä. Tilalle on kehitelty kuitenkin Ajatus 2:ssa käytettävä Cisco 3750 Metro Ethernet kytkin.

Ajatus 2.



MPLS toteutus, kaikki tuntee toisensa ja pääsevät mahdollisesti käyttämään toistensa verkossa olevia palveluita jne.

Ajatus 3.

