

TIETOLIIKENNEVERKON UUDISTAMINEN

Case: EFG Toimistokalusteet Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
Syksy 2007
Päivi Luotola

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

PÄIVI LUOTOLA: Tietoliikenneverkon uudistaminen
Case: EFG Toimistokalusteet Oy

Tietoliikennetekniikan opinnäytetyö, 64 sivua, 6 liitesivua

Syksy 2007

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena on tietoliikenneverkon uudistaminen. Opinnäytetyönä tutkitaan EFG Toimistokalusteet Oy:n tietoliikenneverkkotarvetta, koska sen järjestelmäratkaisut ovat muuttuneet, minkä vuoksi yritetään hakea yritykselle paremmin sen tarpeita palveleva kokonaisvaltainen ratkaisu.

Työn tavoitteena oli selvittää tietoliikenne-, lankapuhelin- ja GSM-palveluiden keskittämisestä saatavat etuudet, kustannussäästöjen aikaan saaminen ja liiketoiminnallisen hyödyn toteaminen.

Yrityksessä päädyttiin MPLS-tekniikalla toteutettavaan monipalveluverkkoon, jossa tiedonsiirto tapahtuu lippujen avulla. Tekniikka mahdollistaa runsaasti erilaisia lisäpalveluita kuten, VPN-verkkojen rakentamisen, liikennesuunnittelun, palvelun laadun tuomisen IP-verkkoihin ja IPv6-liikenteen välityksen IPv4-runkoverkossa. Tietoliikenneverkon valintaperusteina olivat hinta, tiedonsiirtonopeus ja – varmuus sekä keskitetyt palvelut.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja yritykselle löydettiin tietoliikennetarjous, joka tulee parhaiten palvelemaan yrityksen tämän hetken tietoliikennetarpeita.

Asiasanat: monipalveluverkko, tietoliikenneverkko, Frame Relay, Gigabit Ethernet, GMPLS, MPLS, QoS, PON, VoD, VoIP, VPN.

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

PÄIVI LUOTOLA: The renewal of a telecommunications network
Case: EFG Toimistokalusteet Oy

Bachelor's Thesis in Telecommunications Technology, 64 pages, 6 appendices

Autumn 2007

ABSTRACT

The subject of this thesis is the renewal of a telecommunications network. The goal of the study was to find a telecommunication network type that is most suitable for the present needs of the EFG Toimistokalusteet Oy because of the major changes in the database systems of the company. The aim was to clarify the benefits of centralizing the data, telephone and GSM services, and to save costs and benefit financially.

The company decided on an integrated services digital network based on the MPLS technology. MPLS-technology is based on data transfer using flags. This technology enables many extra services, such as building up VPN networks, traffic planning, the quality of service in IP networks and IPv6 traffic in an IPv4 backbone network. The criteria for choosing MPLS were price, speed, reliability and centralized services.

The targets were achieved. A telecommunication solution was found that will serve the present needs of the company.

Key words: integrated services digital network, telecommunication network, Frame Relay, Gigabit Ethernet, GMPLS, MPLS, QoS, PON, VoD, VoIP, VPN.

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Taustatiedot	1
1.2.	Työn tavoitteet	2
2.	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	3
3.	FRAME RELAY	6
3.1.	Frame Relay yleistä	6
3.2.	Frame Relay - verkko	7
3.3.	Frame Relay - protokolla	8
3.3.1.	Perusominaisuudet	8
3.3.2.	Kehysrakenne	9
3.3.3.	Toiminnot	11
3.3.4.	Verkonhallintarajapinta	12
3.3.5.	Yhteys- ja palvelutyypit	13
3.4.	Frame Relay - liikenteenhallinta	14
3.4.1.	Liikennesurssien hallinta, Traffic Rate Management	14
3.4.2.	Ruuhkanhallinta, Congestion Management	15
3.5.	Frame Relay:n edut ja haitat	15
3.6.	Frame Relay:n tulevaisuus	16
4.	MONIPALVELUVERKOT	17
4.1.	PON-verkko	17
4.1.1.	Yleistä	17
4.1.2.	Tekniikat	18
4.2.	Yleistä monipalveluverkoista	19
4.3.	MPLS	22
4.3.1.	Tekniikan perusteet	22
4.3.2.	Verkon rakenne	23
4.3.3.	Lippujen käyttö	25
4.3.4.	FEC-luokat	27
4.3.5.	QoS, palvelun laatu	29
4.3.6.	Traffic Engineering	30
4.3.7.	Tunnelointi	31

4.3.8.	MPLS-reititys protokollat	33
4.3.9.	Tietoturva	34
4.4.	GMPLS	36
4.4.1.	Tekniikka	36
4.4.2.	Protokollat	38
4.5.	MPLS ja GMPLS tekniikoiden tulevaisuus	39
5.	GIGABIT ETHERNET	40
5.1.	Yleistä	40
5.2.	Ethernet-kehys	42
5.3.	Media Access Control, MAC	45
5.4.	Ethernet-verkkojen topologiat	45
5.4.1.	Yleistä	45
5.4.2.	Half-duplex	46
5.4.3.	Full-duplex	48
5.5.	10 Gigabit Ethernet ja DWDM	49
5.6.	Gigabit Ethernet - tekniikan tulevaisuus	49
6.	LÄHTÖKOHDAT	51
6.1.	Yritysrakenne	51
6.2.	Nykyisen tietoliikenneverkon rakenne	51
6.3.	Muutokset työskentelytavassa	53
6.4.	Epäkohdat	54
7.	VERKON UUDISTAMINEN	55
7.1.	Nykyisen verkon kehittäminen	55
7.2.	Palveluntarjoajien tarjouskilpailutus	55
7.3.	Palveluntarjoajan valintaan vaikuttaneet seikat	57
7.3.1.	Kustannukset ja niiden selkeys	57
7.3.2.	Verkkotekniikka	57
7.3.3.	Raportointi ja lisäpalvelut	58
7.4.	Toteutus	58
8.	MUUTOSTYÖLLÄ SAAVUTETUT TULOKSET	60
8.1.	Yleistä	60

8.2.	Nopeus ja liiketoiminnallinen hyöty	60
9.	JOHTOPÄÄTÖKSET	62
9.1.	Työn onnistuminen ja tavoitteiden toteutuminen	62
9.2.	Jatkotoimet ja tulevaisuus	64
	LÄHDELUETTELO	65
	LIITTEET	68

LYHENNELUETTELO

ATM	Asynchronous Transfer Mode. Pakettikytkentäinen laajakaistaverkko.
BECN	Backward Explicit Congestion Notification. Ruuhkan ilmoitus vastaanottavalta solmulta lähettävälle.
BGP-4	Border Gateway Protocol versio 4. Reititys protokollan autonomisten verkkojen välillä.
BPON	Broadband PON. Laajakaistainen passiivisoptinen verkkoratkaisu.
C/R	Command/Response. Ilmaisee onko kyseessä komento- vai vastebitti.
CFI	Canonical Format Indicator. Kanoonisen merkinnän ilmaisin.
CIR	Committed Information Rate. Taattu tiedonsiirtonopeus.
CLLM	Consolidated Link Layer Management. Kehys ruuhkatilanteen ilmoittamisesta vastavirtaan.
CO	Central Office, PON-tekniikan keskuslaite.
CR-LDP	Constraint-based LDP. GMPLS-verkon reititysprotokolla.
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access Collision Detect. Siirtotienvarausmenetelmä törmäysten välttämiseksi.
D/C	DLCI/DL-Core Control Indication. Ilmaisee jatkettu muodossa olevat otsikot.
DE	Discard Eligibility. Määrittelee kehyksen hävittämisprioriteetin.
DLCI	Data Link Connection Identifier. Frame Relay kehyksen reitityksen kanavanumero.
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing. Usean eri aallonpituuden käyttö samassa valokuidussa ja siten kapasiteetin kasvattaminen, aallonpituuskanavointi.
EA	Extended Address. Ilmaisee jatkettun DLCI:n.
EBGP	Exterior Border Gateway Protocol. Reititys protokollan VPN-verkkojen välillä.
EPON	Ethernet based PON. Ethernet pohjainen passiivisoptinen verkkoratkaisu.
FCS	Frame Check Sequence. Kehyksen tarkistusjakso.
FEC	Forwarding Equivalency Class. MPLS-verkon edelleenreitityksen luokka.
FECN	Forward Explicit Congestion Notification. Reitityseston ilmoitus ruuhkatilanteesta lähettävältä solmulta vastaanottavalle.
GMPLS	Generalized Multi Protocol Label Switching. Reititys- ja nopeakytkentäisyys tekniikka, jossa IP-paketin eteen lisätään liikennevirran tunniste ja joka reitittää paketien lisäksi perinteistä TDM-liikennettä, aallonpituuksia ja fyysisiä portteja.

GPON	Gigabit capable PON. Gigabitin passiivisoptinen verkkoratkaisu.
GSM	Global System for Mobile Communications. Matkapuhelinviestintä standardit.
HDSL	High-Speed Digital Subscriber Line. Nopeaa tiedonsiirtoa puhelinkaapeleita pitkin kuluttajille.
ICT	Information and Communications Technology. Tieto- ja viestintäteknologia.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikanalan järjestö.
IETF	Internet Engineering Task Force. Internet protokollien standardoinnista vastaava organisaatio.
IFG	Inter Frame Gap. Gigabit Ethernet-tekniikan Multiple Access -tauco.
IGP	Interior Gateway Protocol. Verkon sisäinen reititysprotokollaperhe.
IP	Internet Protocol. Internet protokolla.
IPv6	Internet Protocol version 6. Internet protokollan versio 6.
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System. IGP perheen reititysprotokolla sisäverkolla, max. 1000 reitintä.
ISDN	Integrated Services Digital Network. Piirikytkentäinen puhelinverkkojärjestelmä digitaalisen puheen ja datan siirtoon.
IT	Information Technology. Tietoliikenne teknologia.
ITU-T	International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector. Kansainvälinen televiestintäliitto – teleliikenteen standoimis osasto.
LAPB	Link Access Protocol - Balanced. Virheen korjaava ISDN-merkinantoprotokolla.
LAPF	Link Access Protocol – Frame. Sanomien siirto ISDN-merkinantoprotokolla
LDP	Label Distribution Protocol. MPLS-verkossa käytettävä reititysprotokolla.
LER	Label Edge Router. MPLS-reititin, joka sijaitsee MPLS verkon reunalla.
LFIB	Label Forward Information Base. LER-reitittimen reititystietokanta.
LIB	Label Information Base. LSR-reitittimen reititystaulukko.
LMI	Local Management Interface. Frame Relay kytkinten ja reitittimien välinen signaalintistandardi.
LMP	Link Management Protocol. GMPLS-tekniikan liikenteenhallinta protokolla.
LSP	Label Switched Path. MPLS-verkon reitti.
LSR	Label Switched Router. MPLS-verkon reititin, solmu.

MAC	Media Access Control. IEEE 802-verkoissa verkon varaamisen hoitava järjestelmä.
MPLS	Multi Protocol Label Switching. Reititys- ja nopeakytkentäisyys tekniikka, jossa IP-paketin eteen lisätään liikennevirran tunniste.
MPAS	Multi Protocol Lambda Switching. Kuten GMPLS.
NGN	Next Generation Network. Uuden ajan tietoverkko.
NHLFE	Next Hop Label Forwarding Entry. Reititystieto seuraavalle reitittimelle.
QoS	Quality of Service. Palvelun laatu, eli sallittujen viiveiden ja virheiden rajoittaminen erilaisten yhteyksien välillä.
OAM	Operations, Administration and Maintenance. Toiminnan ja hallinnan ylläpitotuki.
ONU	Optical Network Unit. PON-tekniikan optinen tilaajapäätte.
OLT	Optical Line Terminal. PON-tekniikan keskuspäätte.
OSPF	Open Shortest Path First. IGP perheen reititysprotokolla sisäverkolle, enintään 50 reititintä.
OSI	Open Systems Interconnection. Tiedonsiirto-protokollat, seitsemän kerrosta.
PON	Passive Optical Network. Passiivinen optinen verkkoratkaisu.
PVC	Permanent Virtual Circuits. Kiinteä Frame Relay virtuaaliyhteys.
RSVP	Resource Reservation Protocol. Dynaaminen kaistanvarausprotokolla.
RSVP-TE	RSVP – Traffic Extension. Dynaaminen kaistanvarausprotokolla liikenteen hallinnalla.
SVC	Switched Virtual Connection. Kytkeäminen Frame Relay virtuaaliyhteys
TDM	Time Division Multiplexing. Aikajaksoinen kanavointi.
TOS	Type of Services. IP-otsikon palveluluokkaintä.
UDP	User Datagram Protocol. Tietokoneiden välinen viestintäyhteiskäytäntö.
UNI	User Network Interface. Käyttäjän ja verkon välinen rajapinta.
VLAN	Virtual Local Area Network. Virtuaalinen lähiverkko.
VoD	Video on Demand. Videokuvan siirtäminen tietoliikenneverkon yli.
VoIP	Voice over IP. Ääniliikenteen siirtäminen IP-verkoissa.
VPN	Virtual Private Network. Näennäisesti julkisen verkon ylitse yhdistetty yksityinen verkko.
VRF	VPN Routing/Forwarding. VPN-osoitetaulu.
WAN	World Area Network. Globaali verkkorakenne.
xDSL	”X” Digital Subscriber Line. Digitaalinen nopea tilaajayhteys.

1. JOHDANTO

1.1. Taustatiedot

Opinnäytetyö on tehty EFG Toimistokalusteet Oy:lle, joka on kansainvälisen kalusteita valmistavan ja myyvän ruotsalaisen EFG Ab (European Furniture Group) konsernin suomen myyntiyhtiö. EFG on yksi Euroopan suurimmista toimistokalusteyrityksistä. Muuttuneiden järjestelmäratkaisujen myötä on yrityksen nykyisin käytössä oleva tietoliikenneverkon rakenne osoittautunut väärän tyyppiseksi palvelemaan yrityksen tämän hetken tarpeita.

EFG Ab:lla on myyntiyhtiöitä Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Englannissa, Ranskassa ja Suomessa, tuotantoyhtiöt sijaitsevat Ruotsissa ja Suomessa. Konsernin pääkonttori sijaitsee Ruotsissa, jonne kaikki konsernin tietotekniikkapalvelimet on uudelleensijoitettu. Uudelleen sijoittaminen on tehty sen takia, että suurimmassa osassa konsernin yhtiöistä on otettu käyttöön Citrix ICA Client etätyöpöytäyhteydet MetaFrame palvelimille, jonka palvelun tarjoaja sijaitsee myös Ruotsissa. Edellä mainittujen seikkojen takia ovat Ruotsin tietoliikenneyhteyden varma toimivuus ja riittävä yhteysnopeus erittäin tärkeitä seikkoja yrityksen toiminnan kannalta.

Yrityksellä on Suomessa viisi myyntikonttoria: Joensuu, Lahti, Tampere ja Turku, sekä pääkonttori Helsingissä. Yrityksen kaikilla viidellä myyntikonttorilla on Suomessa omat sopimuksensa paikallisten lankapuhelin-, matkapuhelin- ja laajakaistapalvelujen tarjoajien kanssa. Tietoliikenne, lankapuhelin ja matkapuhelin laskujen määrät kuormittavat laskutusta, ja lisäksi niiden tarkistaminen ja hyväksyminen kuluttaa paljon eri henkilöiden työaika. Erillisten sopimuksien hallittavuus, vertailu ja kilpailuttaminen on hankalaa, koska sopimukset on tehty suoraan kyseisestä myyntikonttorista. Yhteistyökumppaneita on useita, jolloin yhtenäisten sopimusneuvottelujen etuuksia ei ole pystytty hyödyntämään.

1.2. Työn tavoitteet

Työn tärkeimpänä tavoitteena oli hakea yritykselle paremmin heidän tarpeitaan palveleva kokonaisvaltainen tietoverkkoratkaisu. Muita tavoitteita oli selvittää tietoliikenne-, lankapuhelin- ja GSM-palveluiden (Global System for Mobile Communications) keskittämisestä saatavat etuudet, kustannussäästöjen aikaan saaminen ja liiketoiminnallisen hyödyn toteaminen.

Työ aloitettiin määrittelemällä yrityksen ICT-infrastruktuuritarve (Information and Communications Technology), valitsemalla palveluntarjoajat, jotka pystyvät toteuttamaan asetetut vaatimukset ja tarjouskilpailuttamalla heidät.

Tarjouskilpailutuksessa käytettiin yrityksen itsensä määrittelemää tarjouspyyntöpohjaa, jotta palveluntarjoajien tarjoukset olisivat olleet suoraan vertailukelpoisia keskenään.

Työ on rajattu koskemaan uuden tietoliikennejärjestelmän perustekniikkaa ja niitä seikkoja, jotka vaikuttivat valintapäätökseen. Verkon kilpailutus tapahtui vuoden 2004 aikana, verkon toteutus vuoden 2005 syyskuun ja vuoden 2006 helmikuun välisenä aikana voimassa olleiden sopimusten rauettua. Työn onnistumisen tuloksissa on liiketoiminnallinen hyöty laskettu vuoden 2006 toteutuneista kustannuksista.

2. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Tekes:in teettämässä tutkimuksessa, Tulevaisuuden verkot 2001–2005, on tutkittu yleisiä tietoliikenneteknologioiden ja markkinoiden kehitysnäkymiä sekä kehitystä ohjaavia tekijöitä. Tutkimuksen mukaan tulevaisuuden tärkeimpinä muutosvoimina tietoliikenteen toimialalla tulee olemaan mobiliteetin sekä IP- (Internet Protocol) ja laajakaistateknologioiden yleistyminen, jotka yhdessä media-, IT- (Information Technology) ja tietoliikenneteollisuuden lähentymisen kanssa muuttavat toimijakentän rakenteita sekä arvoketjuja ja samalla luovat uusia mahdollisuuksia uusille toimijoille ja liiketoiminnoille. (Tekes, 2005.)

Yhteyksien nopeudet kasvavat, verkkojen kapasiteetti lisääntyy ja samalla siirtokapasiteetin hinta halpenee. Verkkojen kehitys tulee mahdollistamaan monipuolisten multimediaa hyödyntävien sovellusten kehittämisen sekä tehokkaan ja taloudellisen hyödyntämisen. Uusien laajakaistapalvelujen myötä verkkoliikenteen tärkeimmän osan tulee muodostamaan monimuotoinen dataliikenne, samalla perinteisen puhelinliikenteen suhteellinen merkitys tulee pienenemään. (Tekes, 2005.)

Tulevaisuuden tärkeimpinä verkkoteknologiaihin liittyvinä kehittämiskohteina tulee olemaan langattomien verkkojen, laajakaistaisten pakettiverkkojen sekä tietoliikennepalvelujen ja -sovellusten kehittäminen. Tietoliikenneliiketoiminta on globaalia ja järjestelmät ovat avoimia, jolloin teknologiakehityksen suurimpia haasteita tulevat olemaan standardien, regulaatioiden ja taajuusallokointi sekä käyttöoikeuksien turvaaminen ja tietoturva. Tietoliikennelaitteiden ja -palveluiden tarpeen arvioidaan kasvavan globaalisti noin 10 % vuodessa. Suomessa pelkästään tietoliikennepalveluiden kasvun arvioidaan olevan noin 7 % vuodessa. (Tekes, 2005.)

Laajakaistaisten pakettiverkkojen tulevaisuuden näkymissä keskitytään uusien verkkoteknologioiden tietotaidon ja teknologioihin kehittämiseen. Tärkeimpiä kehittämiskohteita ovat

- tulevaisuuden laajakaistaverkkoarkkitehtuurit ja laitteet

- eri laajakaistaverkkojen yhteiskäyttö ja yhteensopivuus
- uuden sukupolven IP verkko (IPv6, IP version 6)
- verkkoliikenteen optimointi, skaalautuvuus ja end-to-end QoS (Quality of Service) mekanismit
- uusia verkkosovelluksia tukeva kehittämis- ja testaamistoiminta
- verkkojen hallinnointi
- optiset teknologiat
- protokolla teknologiat (Tekes, 2005).

Vuoden 2010 tulevaisuuden näkymät Tekes:in tutkimuksen mukaan laajakaistaisille pakettiverkoille ovat

- 10 Mbit/s kotitilaajaliittymä on yleistynyt
- verkkovierailu on yleistynyt kiinteän verkon terminaaleille (kotien langattomat- ja BlueTooth laitteet)
- optisen verkon kapasiteetti ja hallittavuus on lisääntynyt (Tekes, 2005).

Vuoden 2010 tulevaisuuden näkymät Tekes:in tutkimuksen mukaan palveluille ja sovelluksille ovat

- sisällöt sopeutuvat ennakoivasti ympäristöön (paikka, radio, laite, käyttäjäprofiili)
- IP-audion ja -videon tehokas ja laadukas jakelu on yleistä (QoS)
- IP-puheliikenne on yleistynyt sekä langallisissa että langattomissa julkisissa verkoissa
- käyttäjä ohjaa (kodin) laitteita erilaisilla terminaaleilla paikasta ja ajasta riippumatta
- siirtyminen IPv6-ympäristöön on edennyt pitkälle
- etätyöskentely, 3D- ja virtuaaliset ajanvietteet ovat käytössä (Tekes, 2005).

Optisten kuitujen käyttö verkkoteknologiassa leviää ja xDSL (Digital Subscriber Line) ja modeemi-teknologiat tullaan korvaamaan tällä teknologialla muutamassa vuodessa. Suurin syy optisten verkkojen yleistymiselle on tarve laajakaistaisempiin yhteyksiin, joita tarvitaan dataa, puhetta ja videokuvaa yhdistäville multimedia sovelluksille. Optiset verkot ovat saavuttamassa hinta

tason joka mahdollistaa teknologian leviämisen ja vanhojen teknologioiden korvaamisen. (Tekes, 2005.)

3. FRAME RELAY

3.1. Frame Relay yleistä

Pakettikytkentäistä tiedonsiirtoa alettiin kehittää 1960-luvulla, josta Frame Relay (FR) nimettiin omaksi protokollakseen vuonna 1989 (Pakarinen, 1996). FR on kapeakaistaisen ISDN-verkon (Integrated Services Digital Network) kehittämisen yhteydessä syntynyt ratkaisu, jonka tarkoituksena oli korvata X.25-pakettiverkon siirtoyhteyserroksella (OSI-2) oleva LAPB-protokolla (Link Access Protocol, Balanced). LAPB-protokollan luotettava ja virheenkorjaava mutta hidas tietoliikenneyhteys tuli tarpeettomaksi uusien kehittyneiden siirtoteiden luotettavuuden takia. (Köppä, 2004.)

Frame Relay kehitettiin vähentämään tarpeetonta otsikko-osaa ja nopeuttamaan datasiirtoa (Pakarinen, 1996). Ensimmäiset Frame Relay -verkot otettiin käyttöön Suomessa ja USA:ssa vuonna 1991 (Pakarinen, 1996). FR tekniikan tehokkuus perustuu pienempään viiveeseen ja suurempaan läpimenoon sekä verkon sisäisten ja käyttäjältä vaadittavien operaatioiden vähenemiseen (Marttinen, 1997).

Frame Relay on yhteydellinen tiedonsiirtoprotokolla, joka perustuu pakettikytkentäiseen tekniikkaan ja toimii OSI-mallin siirtoyhteyserroksella 2. Aluksi FR-verkon luvattiin siirtävän dataa 2 Mbit/s nopeudella, mutta nykyisin FR-verkko lupaa kapasiteettiä jo 50 Mbit/s saakka. FR jakaa siirrettävän datan eripituisiin kehyksiin ja kehyksen otsikko-osa on huomattavasti lyhyempi kuin vastaavien perinteisten pakettivälitteisten siirtoprotokollien otsikko-osat. (Pakarinen, 1996.)

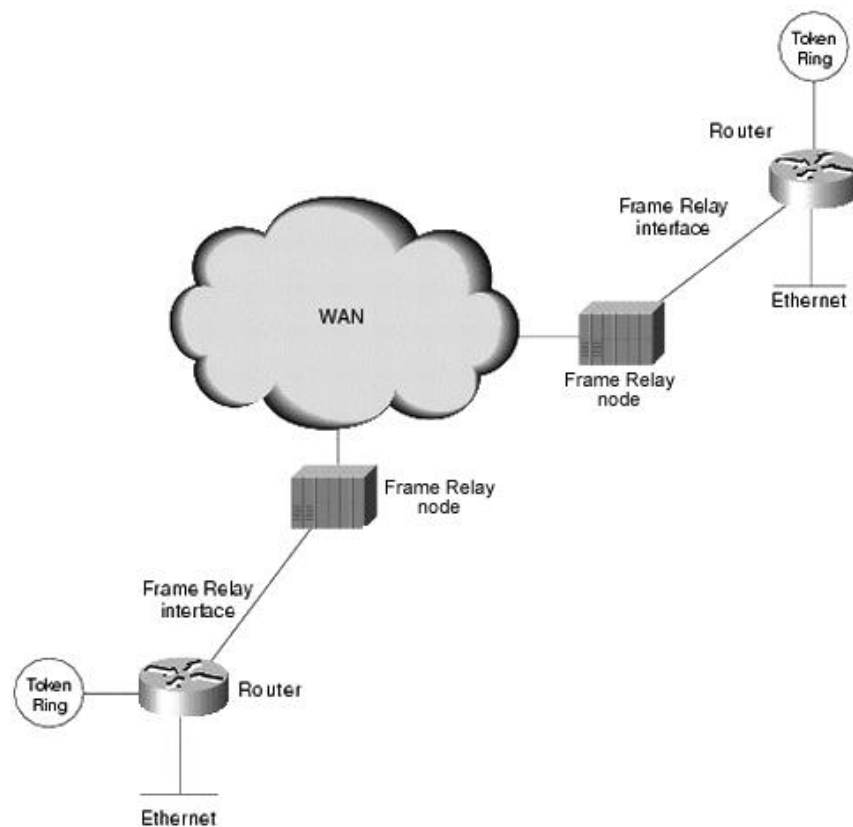
Frame Relay rakentuu virtuaaliyhteyksille, eli tilastollinen multipleksointi varaa kaistaa vain silloin, kun datan siirtoa tarvitaan suorittaa. FR on kehitetty nopeaan ja purskeiseen tiedonsiirtoon. Protokolla määrittelee käyttäjän ja verkon välisen rajapinnan ja kirjaa kaikkien ohitettujen solmupisteiden osoitteet. Datan

vastaanottaja lähettää kuittauksen paketin saapumisesta tallentamiensa osoitetietojen perusteella. (Pakarinen, 1996.)

3.2. Frame Relay - verkko

Frame Relay – verkot koostuvat kolmesta erillisestä elementistä:

- Frame Relay – tilaajalaite (router)
- Frame Relay – kehysvälittäjä (node)
- Frame Relay – siirtotie (interface) (Köppä, 2004).



KUVIO 1. Frame Relay – verkko (Google.fi – kuvat).

Frame Relay – tilaajalaiteet käyttävät Frame Relay - siirto-protokollaa lähettääkseen tietoa. Tämä laite voi olla silta, reititin, pakettikytkin tai mikä muu vastaavanlainen laite joka määrittelee Frame Relay - yhteyden ja toimii rajapintana käyttäjän ja verkon välillä. Frame Relay – kehysvälittäjä (solmu, kytkin) on laite, jonka tehtävänä on kuljettaa asiakaslaiteen lähettämää protokollalle sopivaa dataa. (Köppä, 2004.)

Frame Relay – verkossa tapahtuvaa liikennettä ohjataan kehysvälittäjillä, ne ylläpitävät taulukkoja kaikista yhteyksistä ja niissä kulkevista osoite- ja reititystiedoista (DLCI, Data Link Connection Identifier). Osoitus on joko dynaamista tai staattista. Dynaaminen osoitus tarkoittaa toisen välittäjän käyttämistä ja staattinen tarkoittaa virtuaalista kiinteää yhteyttä lähettäjän ja vastaanottajan välillä. (Köppä, 2004.)

3.3. Frame Relay - protokolla

3.3.1. Perusominaisuudet

Frame Relay – protokollan rajapinnat ovat fyysinen ja siirtoyhteysrajapinta, jotka jakautuu ohjaus- ja käyttäjätasolle (Pakarinen, 1996). Protokollan perusominaisuudet ovat

- kehysten siirto
- kehysten reititys kanava numeron perusteella (DLCI)
- siirtovirheiden ja kehysten pituuden tarkistus
- kuormituksen hallinta
- kiinteiden virtuaaliyhteyksien hallinta (PVC, Permanent Virtual Circuits) (Marttinen, 1997).

Frame Relay standardin ohjaus on määritelty fyysisen rajapinnan yhteyteen. Ohjaustaso vastaa loogisten yhteyksien muodostamisesta ja purkamisesta, ja ohjaustason protokolla on verkon ja tilaajan välinen. Palvelu vastaa piirikytkentäisen palvelun yhteiskanavasignaalointia, jossa ohjausinformaatio käyttää erillistä loogista kanavaa. (Marttinen, 1997.)

Frame Relay käyttäjätason protokolla siirtoyhteysrajapinnalla, tarjoaa päästä päähän toiminnon. Informaation vaihto tapahtuu LAPF-protokollalla (Link Access Protocol – Frame), jonka tehtävänä on datasiirto paikasta toiseen. Kehittyneiden linjayhteyksien takia on virheiden määrä nykyisin pientä. Vähäinen virheiden määrä tekee siirtoyhteyserroksen virheenkorjauksen tarpeettomaksi, ja

virheenkorjaus jää LAPF-protokollan myötä kuljetustason tehtäväksi. (Köppä, 2004.)

Frame Relay käyttäjätaso käyttää LAPF-protokollan perustoimintoja, kuten

- kehysten linjaus, rajoitus ja läpinäkyvyys, sekä kanavointi osoitekenttiä käyttäen
- kehysten pituus ja tarkastus varmistamalla oktettien oikea määrä ennen 0-bitin lisäystä tai poistoa
- siirtovirheiden ilmaisu ja ruuhkien valvontatoiminnot (Marttinen, 1997).

3.3.2. Kehysrakenne

Frame Relay – kehys muodostuu otsikko- ja dataosasta. Otsikko sisältää reititystiedot ja muun siirtoon tarvittavan tiedon. Kehys alkaa ja loppuu vakiobittikuviolla 01111110, flag. Tällä kuviolla ilmaistaan kehysten rajat. Muussa bittivirrassa jokaisen perättäisen lähetetyn viiden 1-bitin jälkeen lisätään 0-bitti estämään ”vakiobittikuvion” esiintymiseen muualla kehyksessä. Vastaanottopäässä lisätyt 0-bitit poistetaan. (Pakarinen, 1996.)

TAULUKKO 1. Frame Relay – kehysrakenne (Pakarinen, 1996).

	8	7	6	5	4	3	2	1
1	0	1	1	1	1	1	1	0
2	DLCI						C/R	0
3	DLCI				FECN	BECN	DE	EA=1
DATA								
n-2	FCS							
n-1	FCS							
n	0	1	1	1	1	1	1	0
2	DLCI						C/R	0
3	DLCI				FECN	BECN	DE	EA=0
4	DLCI						D/C	EA=1
2	DLCI						C/R	0
3	DLCI				FECN	BECN	DE	EA=0
4	DLCI						EA=0	

DLCI määrittää virtuaalisen yhteyden (staattinen yhteys), eli portin, johon kehys ohjataan. Virtuaalinen yhteys muodostetaan, kun kehysvälittäjän ylläpitämässä taulukoissa määritellään DLCI-arvo ja tarvittavat reititystiedot. Normaalisti DLCI-arvo on 10-bittinen (1024 erilaista arvoa), mutta tarvittaessa sitä voidaan jatkaa kahdella oktetilla. (Pakarinen, 1996.)

EA-bitti (Extended Address) ilmaisee jatkettun osoitekentän, DLCI:n (Pakarinen, 1996). Arvolla 1-bitti viimeisessä oktetissa osoitekenttä loppuu ja arvolla 0-bitti edellisissä osoitekenttä jatkuu (Pakarinen, 1996). C/R (Command/Response) ilmaisee onko kyseessä komento- vai vastebitti (Marttinen, 1997). C/R on sovelluskohtainen, eikä peruslaatua olevan Frame Relay:n käytössä (Marttinen, 1997).

D/C-bitti (DLCI/DL-Core Control Indication) esiintyy jatkettussa muodossa olevissa otsikoissa. Arvolla 1 on otsikko jatkettu ja viimeisin otsikko-oktetti sisältää siirtokerroksen kontrolli-informaatiota. Arvolla 0 sisältää viimeinen otsikko-oktetti DLCI:n vähiten merkitsevät bitit. (Pakarinen, 1996).

FECN (Forward Explicit Congestion Notification) ilmaisee reitityksen eston eteenpäin ruuhkatilanteissa vuonohjauksen ylikuormituksen välttämiseksi. Kehysvälittäjä voi asettaa eston päälle silloin, kun kehysvälittäjä vastaanottaa enemmän liikennettä kuin pystyy välittämään eikä voi nollata sitä. Kun kehysten vastaanottaja havaitsee FECN:in, viivästyttää vastaanottaja kehysten kuittausta. (Pakarinen, 1996.)

BECN (Backward Explicit Congestion Notification) toimii samoin kuin FECN, mutta ilmoittaa ruuhkasta kehysten lähettäjälle. Vuonohjausmenetelmät FECN ja BECN ovat käyttäjille vapaaehtoisia. Ruuhkatilanteissa niiden jättäminen pois käytöstä kuitenkin huonontaa verkon toimintakykyä kaikille käyttäjille. (Pakarinen, 1996.)

DE-bitti (Discard Eligibility) määrittelee kehysten hävittämisprioriteetin. 1-bitti merkityt kehukset tuhotaan ensin ja 0-bitti seuraavaksi, jos tarve vaatii. Tilaaajalaite merkitsee hävittämisprioriteetin kehukseen riippuen sen hetken ruuhkatilanteesta. Nopeiden ja purskeisten kehysten tietoihin merkitään

hävittämisprioriteetti 1-bitti, jotta hitaille ja vakionopeuksisille yhteyksille riittää resursseja. (Pakarinen, 1996.)

FCS (Frame Check Sequence) on kehyksen tarkistusjakso (Marttinen, 1997).

FCS:llä tarkistetaan virheet perustuen vertailuun lasketun tarkistussumman kanssa (Marttinen, 1997). Data-osa sisältää siirrettävän informaation, eli kehyksen hyötykuorman (Pakarinen, 1996). Data-osan maksimikoko on yleensä 4096 tavua, jota rajoittaa valmistajakohtainen FCS:n käytön tehokkuus (Pakarinen, 1996).

3.3.3. Toiminnot

Frame Relay on kehitetty nopeita tiedonsiirtoja varten. FR eliminoi suuren määrän verkon prosessointityöstä ja siirtää työn päätelaitteille. Siirrettäviä töitä ovat esim. useat erilaiset virheenkorjaustoiminnot. (Pakarinen, 1996.)

Frame Relay - kehysvälitys toimii kahdella eri periaatteella. Ensimmäinen periaate on se, että jos kehyksellä on ongelma, kuten esim. esto tai virhe, tulee verkon hävittää kehys ilman toteutettavia korjaustoimenpiteitä. Toinen periaate on se, että päätelaitteet ovat vastuussa virheenkorjauksesta (Pakarinen, 1996).

Virheellisen kehyksen hävittäminen tapahtuu ilman ilmoitusta kehyksen lähettäjälle. Virheellisen kehyksen hävittäminen aiheutuu seuraavanlaisista ominaisuuksista:

- FLAG, eli päätte-erottimet puuttuvat
- enemmän kuin viisi oktettia erottimien välissä
- FCS-virhe
- osoitekenttä ei ole pätevä
- DLCI, jota verkko ei tue (Pakarinen, 1996).

Frame Relay toteuttaa OSI-2-kerroksen pakettivälitteisten protokollien

ydintoiminnot ja OSI-3-kerroksen toiminnot jätetään päätelaitteen hoidettavaksi.

OSI-2-kerrokset toteutettavista ydintoiminnoista Frame Relay toteuttaa seuraavat:

- kehyksen sisällön virheettömyystarkistus, FCS

- sisään tulevan kehyksen osoitetietojen lukeminen ja kehyksen reititys oikeaan ulosmenolinkkiin
- eston tarkistus, tarvittaessa estobitillä merkitseminen tai estobitin poisto (Pakarinen, 1996).

TAULUKKO 2. X.25 ja Frame Relay protokollien operaatiot OSI-kerroksilla 2 ja 3 (Pakarinen, 1996).

		X.25 packet switching			Frame relay		
Kerros 2	Valid frame	No	Discard	Hyväksytty	Ei	Hävitä	
	Information	No	Non-info				
	Valid ack.	No	Error recovery	Hyväksytty	Ei	Hävitä	
	Rotate window						
	Frames acked			Ei estoa	Ei	Estosta	
	Stop timer		Restart timer				
	Sequence OK	No	Error recovery				
	Send L2 ack						
Kerros 3	Data packet	No	Error recovery				
	Active LCN	No	Error recovery				
	Valid ack	No	Error recovery				
	Sequence OK	No	Error recovery				
	Send L3 ack						
Forward packet				Kehys eteenpäin			

3.3.4. Verkonhallintarajapinta

Alkuperäiseen Frame Relay – standardiin on lisätty LMI (Local Management Interface), joka mahdollisuus rajapinnan paikalliseen ohjauksen ja hallinnan. LMI tarjoaa käyttäjille tietoa verkon tilasta ja konfiguroinnista. LMI:n päätoimintoja ovat pääteyhteyksien saavutettavuus ja niiden lisäys, poisto ja olemassaolo sekä pollaus, jolla varmistetaan linkin jatkuva toiminta (Pakarinen, 1996).

3.3.5. Yhteys- ja palvelutyypit

Frame Relay on protokolla pysyvän virtuaaliyhteyden (PVC) saavuttamiseksi. Pysyvä virtuaaliyhteys määritellään verkon ylläpidon toimesta, ja virtuaaliyhteyden pystyy muodostumaan niin kauan kuin verkko on toiminnassa. Yhteys toimii ainoastaan muihin verkossa kiinteästi oleviin käyttäjiin, ei ulkopuolisiin yhteyksiin. (Pakarinen, 1996.)

PVC rajoitteiden poistamiseksi määriteltiin kytkentäinen virtuaaliyhteys SVC (Switched Virtual Connection), jonka avulla käyttäjä voi puhelinpalvelun kaltaisesti muodostaa yhteyden ulkopuolisiin käyttäjiin. Frame Relay – verkkopalveluita on perusverkkopalvelu, joka mahdollistaa usean kytkentäisen tai kiinteän virtuaalikanavan käytön useaan eri kohteeseen, sekä parannettu verkkopalvelu (frame switching), joka tukee vuonohjausta UNI-rajapinnan (User Network Interface) yli ja toipuu kuljetus-, muoto- ja kahdentumisvirheistä sekä toiminnallisista virheistä (Pakarinen, 1996).

Käyttäjä voi vaihtaa datapaketteja kenen tahansa toisen käyttäjän kanssa sen jälkeen, kun hän on saanut SVC-yhteyden verkon kehysvälittäjään. Kahden käyttäjän välille muodostuu analoginen Frame Relay – liityntä pakettikytkentäverkon virtuaalipiirin kanssa. Useampi liityntä samalla yhteydellä, on myös mahdollista ja niitä kutsutaan siirtoyhteyksiin. Jokaisella liitynnällä on oma siirtoyhteystunniste, DLCI. (Köppä, 2004.)

Data siirrossa on 3 vaihetta:

- Kahden päätepisteen välille muodostetaan looginen liityntä ja jokaiselle liitynnälle annetaan oma DLCI.
- Informaatio vaihdetaan datakehysinä, joista jokainen kehys liitynnän tunnistamiseksi sisältää DLCI:n.
- Looginen liittymä puretaan (Köppä, 2004).

3.4. Frame Relay - liikenteenhallinta

3.4.1. Liikennesuorituksen hallinta, Traffic Rate Management

Frame Relay - verkossa ei rajoiteta yksittäisen käyttäjän lähettämän datan määrää. Jos kuitenkin datan määrä ylittää käsittelykapasiteetin, ilmoittaa verkko siitä käyttäjälle keskeytyssuosituksella. Datan lähettäjän puolelta tämä saattaa merkitä lähettämisen lopettamista, rajoittamista tai viivyttämistä, mutta mikään ei estä lähettäjää olemaan huomioimatta saamaansa keskeytyssuositusta. Frame Relay – tiedonsiirto perustuu ”herrasmiessopimukseen”, eikä sopimuksen rikkojia voida rajoittaa lähettämästä dataa. (Pakarinen, 1996.)

ITU:n (International Telecommunications Union) suositukset verkon ruuhkien valvonnalle:

- kehyksien hylkäämisen minimointi
- palvelun laadun ylläpito
- minimointi mahdollisuudelle, että yksi käyttäjä käyttää koko verkon resursseja
- verkon resurssien tasapuolinen jako kaikille käyttäjille
- niin käyttäjän kuin verkon lisäliikenteen minimointi (Marttinen, 1997).

Väärinkäytösten aiheuttamien haittojen välttämiseksi on käytössä CIR (Committed Information Rate), eli taattu tiedonsiirtonopeus (Pakarinen, 1996). CIR on tiedonsiirtonopeus, jonka verkko takaa käyttäjille myös kun verkon kapasiteetti on kuormitettuna (Pakarinen, 1996). Kun verkon kapasiteettia on vapaana, on yhteyden nopeus maksimissa (Pakarinen, 1996). Verkko asettaa CIR:n ylittäville kehyksille hävittämissprioriteettitilin ja ylikuormitustilanteessa verkko tuhoaa ensisijaisesti näitä kehyksiä, kunnes ruuhka purkautuu (Pakarinen, 1996). CIR-arvo on kuitenkin vain ohjearvo, jota pyritään seuraamaan tasapuolisesti (Marttinen, 1997). Solmuun kytkettyjen CIR-arvojen summa ei saisi ylittää solmun eikä verkon kapasiteettia (Marttinen, 1997).

CIR-palvelutasoluokitus:

- taattu ja sovittu siirtonopeus
- siirtonopeus, jonka ylimenevät merkitään DE-bitillä
- siirtonopeus, jonka ylimenevät aina poistetaan (Köppä, 2004).

3.4.2. Ruuhkanhallinta, Congestion Management

Verkon tulee toimia niin, että palvelun laatusitoumukset (QoS) täyttyvät.

Käyttäjien kanssa sovittu palvelutaso tulee säilyttää ja verkkoresursseja jakaa tasapuolisesti kaikille käyttäjille. Palvelutason saavuttamisen edellytyksenä on hylättyjen kehysten määrän minimoiminen ja ruuhkatilanteiden rajoittaminen pienille alueille. (Pakarinen, 1996.)

Ruuhkanhallinnassa käytetään kahta eri keinoa, ruuhkailmoituksia ja kehysten hävittämisvalvontaa. BECN ja FECN ilmoittavat verkon ruuhkatilanteista. Jos ei ole paluu kehysiä, joihin BECN-bitin voi lisätä, voi BECN generoida oman CLLM-kehysten (Consolidated Link Layer Management) ilmoittaakseen ruuhkatilanteesta. Päätelaitte voi myös ilmoittaa DE-bittä hyväksi käyttäen ruuhkatilanteesta havaitessaan. (Pakarinen, 1996.)

3.5. Frame Relay:n edut ja haitat

Frame Relay:n suurimmat edut ovat helppo ja halpa keino uudistaa ja yhdistää vanhat verkot nopeampiin yhteyksiin. Frame Relay:n etuja:

- Frame Relay tarjoaa nopean ja yksinkertaisen tiedonsiirron, joka keskittyy OSI-2-kerrokselle.
- Siirtoyhteyserroksen toiminnan yksinkertaistaminen ei vaadi laite uudistuksia. Yhteensopivuus saavutetaan pienillä laite- tai ohjelmistomuutoksilla muutoksilla, jolloin muutosvaiheen katkoksista on vähemmän haittaa.

- Frame Relay:n käyttö yhdistämässä useita erillisiä verkkoja yhdeksi yksityiseksi runkoverkoksi, pienentää yhteyksien tarvetta ja näin kustannuksia (Pakarinen, 1996).

Frame Relay:n suurimmat ongelmat liittyvät ruuhkatilanteiden hallintaan, vuonohjaukseen ja virheenkorjaukseen. Frame Relay:n haittoja:

- Yksittäisen vuonohjauksen puute aiheuttaa ruuhkatilanteita.
- Käyttäjää ei sidota tiettyyn toimintatapaan, vaan palveluntaso määritellään keskimääräisten tarpeiden mukaisesti.
- Virheenkorjaus on siirretty pois Frame Relay – protokollalta ylempien kerrosten tehtäväksi, mikä lisää ongelmatilanteiden syvyyttä.
- Hävittämisprioriteettibitti ei erottele tärkeitä ja vähemmän tärkeitä kehyksiä, vaan hävittämisprioriteettibitti toimii CIR:n perusteella.
- Palvelusopimuksen tekovaiheessa käyttäjä voi määritellä haluamansa QoS-tason, mutta hän ei voi myöhemmin seurata, pystyykö palveluntarjoaja toimimaan sopimuksen puitteissa (Pakarinen, 1996).

3.6. Frame Relay:n tulevaisuus

Frame Relay on tämän hetken yleisin verkkoratkaisu ja FR-verkon toteuttaminen on halpaa, lisäksi FR-verkolla pystytään helposti tehostamaan lähiverkkojen toimintaa yhdistämällä ne yhdeksi verkoksi. Frame Relay – verkot tulevat saamaan edelleen saamaan jalansijaa paikoissa, joissa palveluntarjoajat voivat taata riittävän luotettavia tiedonsiirtopalveluja Frame Relay:n edullisuuden ja ATM-yhteensopivuuden (Asynchronous Transfer Mode) takia. (Pakarinen, 1996.)

Suurimmat kilpailijat Frame relay – verkoille on kuitenkin uudet optisten verkkojen protokollat, kuten MPLS ja GMPLS – protokollat, jotka tukevat nopeita Ethernet-tekniikoita.

4. MONIPALVELUVERKOT

4.1. PON-verkko

4.1.1. Yleistä

PON-tekniikoilla (Passive Optical Network) toteutetut verkot ovat lupaavia ratkaisuja hintaherkissä tilanteissa. Niillä saadaan ilman mittavia viestiasemainvestointeja loppukäyttäjille valokuituverkkojen palvelutaso ja hallinta kustannustehokkaasti. (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)

PON-verkko on passiivinen optinen verkko, jossa ei ole sähköisiä verkkoelementtejä kuten puolijohdevahvistimia, multipleksauslaitteita tai kytkimiä. Verkon fyysinen topologia vaihtelee, mutta peruslähtökohtana on että keskuslaitteesta lähtee yksi tai useampia kuituja, joista jokainen muodostaa oman verkkosegmentin. Kukin kuitu jaetaan lähempänä loppukäyttäjää optisen haaroittimen avulla useaksi kuituhaaraksi, joista jokainen päättyy optiseen tilaajapäätteeseen (ONU, Optical Network Unit). Keskuslaitteessa (CO, Central Office) jokainen kuitu liittyy optiseen keskuspäätteeseen (OLT, Optical Line Terminal). (Proessori, 2005.)

Passiivisen haaroituksen avulla vähennetään tarvittavien optisten kuitujen määrää ratkaisevasti verrattuna siihen, että jokaiselle loppukäyttäjälle vedettäisiin oma kuitu keskuslaitteesta asti. Ratkaisu on myös helpommin laajennettavissa suurille tilaajamäärille, koska keskuslaitteessa ei tarvita optista keskuspäätettä jokaista käyttäjää kohti vaan ainoastaan yksi keskuspäätte jokaista kuitusegmenttiä kohti. (Proessori, 2005.)

PON-verkon jokainen segmentti on rakenteeltaan puumainen, jossa keskuspäätte kommunikoi haaroittimeen kytkettyjen tilaajapäätteiden kanssa. Tilaajapäätteet

eivät kommunikoi suoraan toistensa kanssa, vaan keskuspäätteen välityksellä.
(Proessori, 2005.)

Koska tiedonsiirtoon käytetään keskuspäätteen ja haaroittimen välillä ainoastaan yhtä kuitua, on alavirran ja ylävirran siirtosuunnille varattu omat aallonpituudet. Koska molempiin siirtosuuntiin on käytettävissä vain yksi aallonpituuskanava, käytetään siirtokapasiteetin jakamiseen loppukäyttäjien kesken aikajakotekniikoita. Mitä enemmän verkkosegmenttiin on kytketty loppukäyttäjiä, sitä pienempi on kunkin käyttäjän verkosta saama siirtokapasiteetti. PON-verkkojen tarjoama kapasiteetti on kuitenkin niin suuri, että nykyisillä 1:16 tai 1:32 -haarotussuhteilla jokaiselle käyttäjälle jää vielä kymmenien megabittien siirtokapasiteetti. Kun lisäksi huomioidaan yhtäaikaisten käyttäjien tilastollinen vaihtelevuus, niin jo yhden gigabitin siirtonopeus tarjoaa käytännössä jokaiselle tilaajapäätteen siirtokaistaksi vähintään 100 megabittiä sekunnissa. (Proessori, 2005.)

Kommunikointi alavirran suuntaan on suoraviivaista, koska siirtokanavaan lähettäjiä on ainoastaan yksi. Verkon rakenteen vuoksi jokainen lähete etenee kaikille segmenttiin kytketyille tilaajapäätteille, minkä voi ainakin periaatteessa nähdä tietoturvaongelmana. Tiedonsiirto ylävirtaan eli loppukäyttäjiltä keskuslaitteen suuntaan on teknisesti haastavampi. Tilaajapäätteitä on monta ja ne sijaitsevat eri etäisyyksillä keskuslaitteesta eivätkä ne ole tietoisia toisistaan. Siksi tarvitaan tiedonsiirron onnistumiseksi älykäs lähetysvuorojen jakomenettely.
(Proessori, 2005.)

4.1.2. Tekniikat

PON-tekniikoita on useita erilaisia, mutta standardoimiskynnyksen ovat ylittäneet seuraavat:

- BPON (Broadband PON)
- EPON (Ethernet based PON)
- GPON (Gigabit capable PON) (Proessori, 2005).

BPON on tekniikoista vanhin ja yleisimmin käytössä oleva. BPON pohjautuu ATM-tekniikkaan ja tarjoaa joustavan ja tehokkaan tavan jakaa verkon resursseja. BPON on ITU-T:n (International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector) standardoima ja tarjoaa hyvän tekniikan piirikytkentäisen datan siirtoon, mutta pystyy siirtämään myös pakettikytkentäistä liikennettä. BPON:n alavirtasiirtonopeudet ovat 155 Mbit/s, 622 Mbit/s ja 1,244 Gbit/s, ylävirtanopeudet 155 Mbit/s ja 622 Mbit/s. Maksimisiirtoetäisyys keskuspäätteeltä tilaajapäätteelle on 20 km. (Proessori, 2005.)

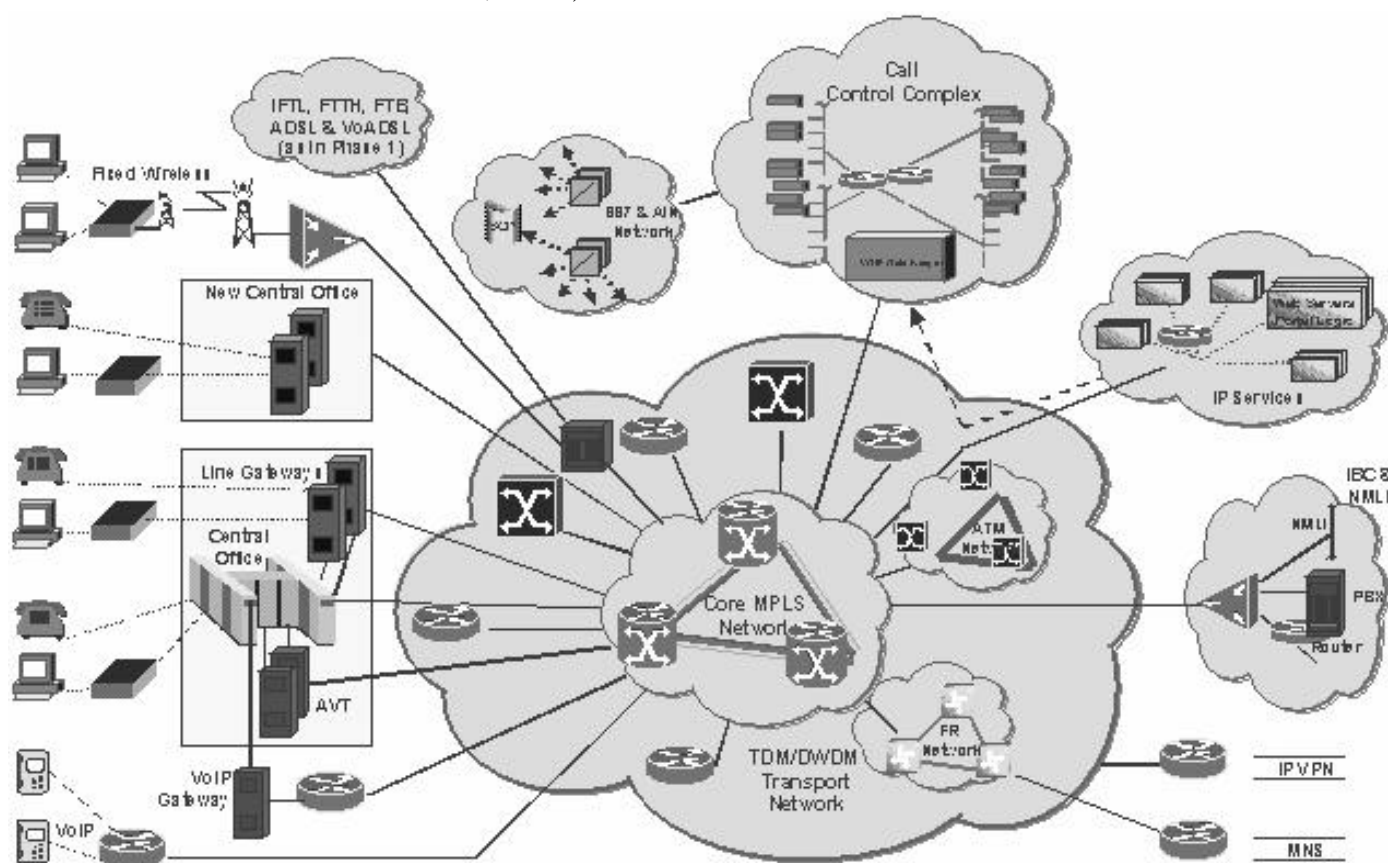
GPON-tekniikka on kehittyneempi muoto BPON-tekniikasta, jossa on paranneltu mm. pakettikytkentäisen datan siirtoa. GPON on myös ITU-T:n standardoima ja GPON:n sovellukset ulottuvat reaaliaikaisen puheen ja videon siirrosta taustajona tapahtuvaan datan siirtoon. GPON:n alavirtasiirtonopeudet ovat 1,244 Gbit/s ja 2,488 Gbit/s, ylävirtanopeudet 155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 1,244 Gbit/s ja 2,488 Gbit/s. Maksimisiirtoetäisyys keskuspäätteeltä tilaajapäätteelle on 20 km. GPON:n haikkana on kuitenkin 2,5GHz:n kellotaajuus, eikä Ethernet-yhteensopivuus toteudu. (Proessori, 2005.)

EPON-tekniikka on IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) kehittämä ja standardoima (IEEE 802.3ah) ja EPON perustuu Ethernet-protokollaan. Ainoa tuettu siirtonopeus on 1 Gbit/s sekä ylä- että alavirtaan, ja maksimietäisyys keskuspäätteeltä tilaajapäätteelle on 20 km. EPON pitää sisällään toiminnot OAM:a (Operations, Administration and Maintenance) varten, sekä tukee QoS- ja TDM-toimintoja (Time Division Multiplexing), jonka takia EPON soveltuu hyvin pakettikytkentäisen datan siirtoon, sekä reaaliaikaisuutta vaativien palvelujen, kuten VoIP-puhelujen ja videosignaalien siirtoon. (Proessori, 2005.)

4.2. Yleistä monipalveluverkoista

Lähes yksimielisesti nähdään IP ja liikenteen prioriteettiluokat mahdollistavan MPLS (Multi Protocol Label Switching) tulevaisuuden kytkentäisen NGN-verkon (Next Generation Network) perusratkaisuna. IP-pohjaisen kytkennän hinta- ja

kapasiteettikehitys poistaa esteet huomasti kehittyneen optisen siirtotekniikan tuoman verkkokapasiteetin hyödyntämiseltä. Pitkään puhekaistan ja piirikytkenän rajoihin kahlehdittu verkkosovellusten laadullinen ja määrällinen kehitys on lähtenyt liikkeelle ja muuttaa alan teollisuutta, palvelurakenteita ja liiketoimintalogiikkaa. Yksinkertaisimmillaan tämä nähdään asiakasrajapinnassa vanhan laskutusmetriikan murenemisena tapahtuma- ja tasahinnoittelun tieltä kaikkine hyvine ja huonoine sivuvaikutuksineen. (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)



KUVIO 2. NGN-verkko (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005).

IP-verkkojen tärkeimmiksi protokolliksi ovat muodostumassa IP- ja MPLS-protokollat sekä GMPLS-protokolla (Generalized MPLS). Haasteeksi täysin IP-verkkoihin siirryttäessä nousee operaattoreiden IP-verkkojen yhteenliittymisen. Erityisesti laatusojen säilyminen operaattorirajapinnassa on syytä ottaa huomioon. (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)

ATM:n korvaavaksi protokollaksi on nousemassa MPLS, joka nähdään nykyisin IP-pohjaisen runkoverkon alimpana siirtojärjestelmän päällä olevana protokollana. MPLS-verkko varaa leimapolkuja siirtojärjestelmästä, ja näin teleoperaattori saa lähes yhtä hyvän mahdollisuuden kapasiteetin jakoon kuin ATM:ää käyttäen. (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)

MPLS tuo monia uusia piirteitä IP-reititykseen ja IP-pakettien kulkureittien valintaan. Monet näistä uusista ominaisuuksista muistuttavat ATM-tekniikan reitinvalintaa ja QoS-ominaisuuksia. Lisäominaisuudet tuovat myös parannettua älykkyyttä reitin valintoihin ja todellisen liikenteen hallinta pohjaisen kuljetuspolun valinnan verkon sisäänmenosta ulostuloon saakka. MPLS-protokolla tukee uusimmilla ominaisuuksillaan käytännössä kaikkien verkkoprotokollien (ATM, IP, Frame Relay) reititystä MPLS-pilven läpi ja mahdollistaa VPN-palvelut (Virtual Private Network). (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)

GMPLS-protokolla (Generalized MPLS) on kehitetty kuitujen kapasiteetin hallintaa varten, jonka idea on pitkälti kopioitu MPLS-protokollasta. Protokolla on tavallaan laajennettu MPLS, joka tukee mm. suoraa optista siirtoa ja kytkentää. Jatkossa GMPLS:n odotetaan tukevan vian paikallistamista ja eristämistä sekä nopeaa uudelleenohjausta vikatilanteissa. (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)

MPLS-tekniikan kehittäminen on alun perin aloitettu itsenäisesti useissa suurissa IT-alan (Information Technology) yrityksissä, kuten esim. Cisco, IBM ja Toshiba. Yritykset kehittivät omaa monipalveluverkkoaan, omista näkökulmistaan katsottuna, jonka seurauksena oli useita erilaisia kilpailevia ratkaisuja. Vuonna 1997 IETF (Internet Engineering Task Force) perusti työryhmän tekniikan standardoimiseksi ja luodakseen yhteneväisen topologian. (Helsingin TKK, 2001.)

MPLS-tekniikan standardoiminen tapahtui tammikuussa 2001, ja tekniikka on dokumentoitu RFC (Request for Document) standardissa 3031 (RFC 3031, 2001). Monipalvelutekniikka mahdollistaa ”uuden sukupolven” älyverkon rakentamisen, joka tarjoaa suuren joukon pitkälle kehitettyjä ominaisuuksia ja palveluja, kuten VPN-verkkojen (Virtual Private Network) rakentamisen, tietoliikennepakettien

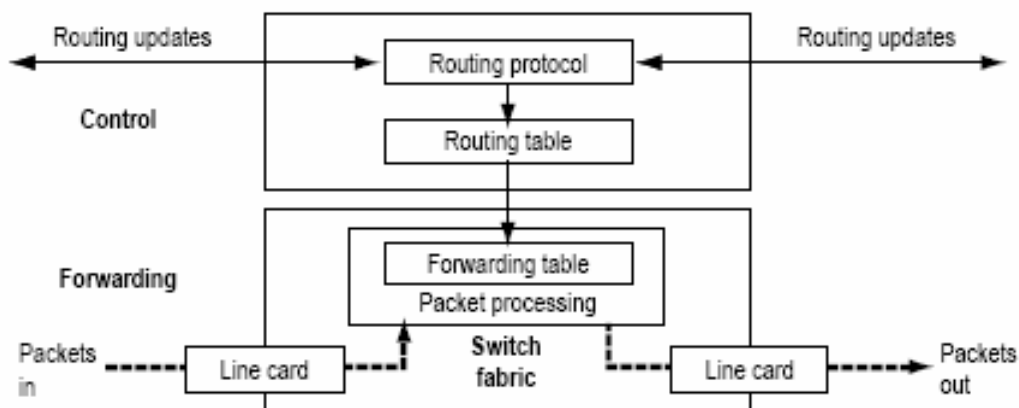
liikkuvuuden suunnittelun, palvelun laadun tuomisen IP-verkkoihin ja IPv6-liikenteen välityksen IPv4-runkoverkossa (IP version 4) (Cisco, 2007). Tekniikan perusajatuksena on tarjota pakettikytkentäisessä IP-verkossa piirikytkentäisen verkon kaltaisia palveluita (Cisco, 2007). Tekniikka tukee IP-, Frame Relay -, ATM- ja Ethernet-protokollia (Cisco, 2007).

4.3. MPLS

4.3.1. Tekniikan perusteet

MPLS-tekniikka perustuu pakettien nopeaan välittämiseen lippujen avulla. Kun IP-paketti saapuu MPLS-verkon reunalle, lisätään siihen lippu, joka ohjaa paketin verkossa oikeaa polkua pitkin perille. IP-paketin poistuessa MPLS-verkon alueelta, poistetaan paketista lippu. Lippujen käyttö IP-osoitteiden sijaan vähentää prosessointitarvetta, helpottaa ja nopeuttaa analysointia, ja mahdollistaa laatuluokkiin jaon. Lippujen käyttö tekee MPLS-verkosta helpommin hallinnoitavan, ja liikenteen kontrollointi on tehokkaampaa kuin perinteisessä IP-verkossa. (Ficora, 2002.)

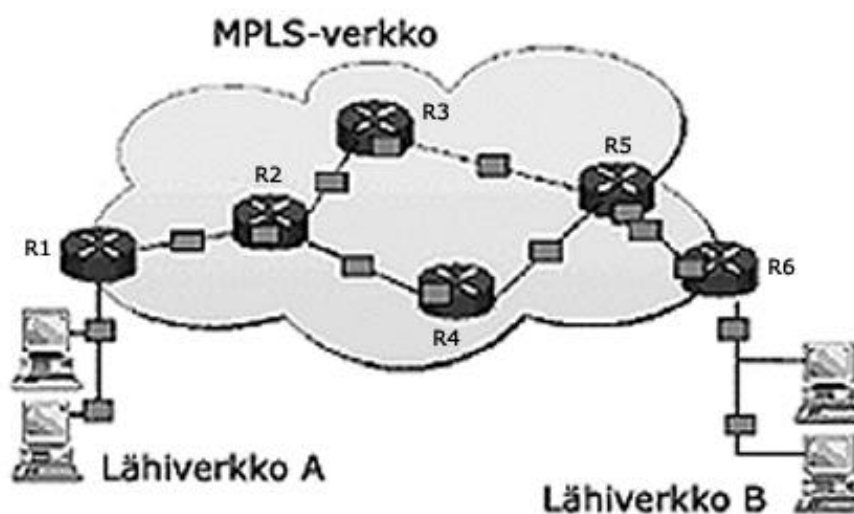
MPLS-tekniikka yhdistää OSI-3-reitityksen ja OSI-2-kytkennän vahvuudet tehokkaiksi IP-verkoiksi. MPLS-verkossa IP-paketteja välitetään niihin merkityn FEC-luokan (Forward Equivalence Class) perusteella solmulta toiselle. FEC-luokalla merkityt paketit varustetaan lipulla, joka mahdollistaa pakettien välityksen OSI-2-kerroksella ja poistaa näin OSI-3-kerroksen välityksen tarpeen. Tämän jälkeen reitityspäätöksiä tehdään lippujen perusteella, jolloin pakettien välitys yksinkertaistuu ja siirtyy samalla ohjelmistotasolta laitetasolle. MPLS-tekniikka tehostaa verkon suorituskykyä ja mahdollistaa sovelluksia, jotka eivät tavallisessa IP-reitityksessä ole mahdollisia. (Ericsson, 2004.)



KUVIO 3. OSI-2- ja OSI-3-kerrosten toiminta (Semeria, 1999).

4.3.2. Verkon rakenne

MPLS-verkko koostuu reitittimistä ja tietoliikenneväylistä, tunneleista. Kuviossa 3 nähdään MPLS-verkon rakenne, siihen on merkitty eri reitittimien sijainnit perus MPLS-verkossa. Verkko koostuu ulkoverkosta ja MPLS reitittimistä, joita on kahdenlaisia. LER-reititin (Label Edge Router) on MPLS-reititin, joka sijaitsee MPLS-verkon reunalla. Ne on merkitty kuviossa merkein R1 ja R6. LSR-reititin (Label Switched Router) on MPLS-verkon sisäinen reititin, solmu. Ne on merkitty kuviossa merkein R2, R3, R4 ja R5. MPLS-verkon siirtoteitä kutsutaan nimellä LSP (Label Switched Path). (Balliache, 2007.)



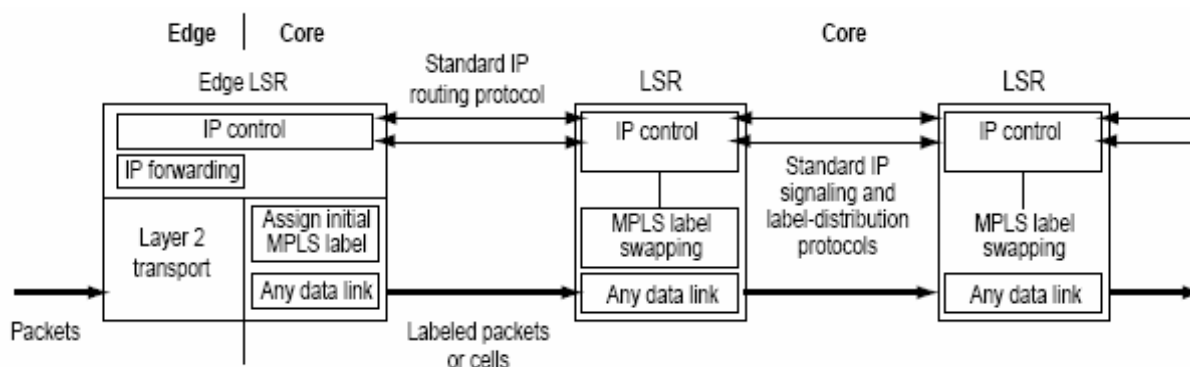
KUVIO 4. MPLS-verkon perusrakenne (Gallaher, 2003).

Lähiverkot liitetään MPLS-verkkoon LER-reitittimillä, joka sijaitsee MPLS-verkon reunoilla. LER-reitittimet tutkivat ja luokittelevat liikennettä palveluluokkiin. Esimerkiksi puheliikenteelle voi olla varattuna etuoikeutettu kaista, kun sähköpostiliikenteen on tyytyminen tavalliseen kaistaan. (Prossori, 2000.)

Reitittimet luokittelevat palvelut. Luokittelun jälkeen paketit siirretään eteenpäin MPLS-runkoreitittimille. Reitit ovat ennalta määrättyjä tunnisteidenjakoprotokollien avulla. Koska MPLS-yhteydet ovat kytkentäisiä, on paketin siirto huomattavasti nopeampaa kuin perinteisessä IP-reitityksessä. (Prossori, 2000.)

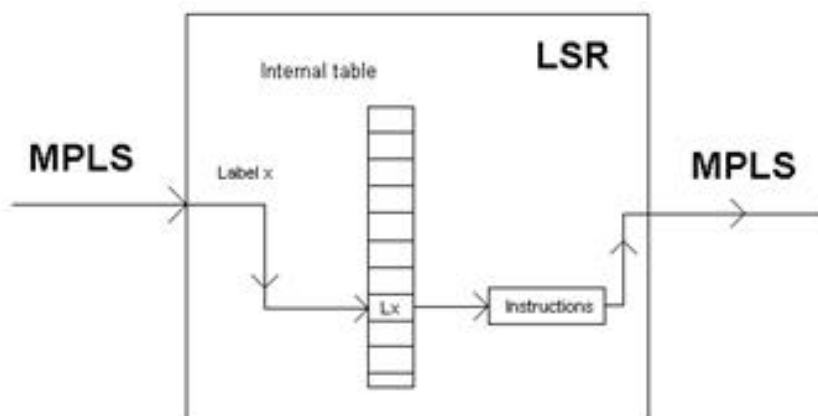
Reunareitittimet voivat luokitella liikenteen hierarkiatason esim. normaali-, etuoikeutettu- ja viiveetönluokka. Normaalialia liikennettä ei priorisoida, jolloin ruuhkatilanteessa reunareitittimen paketteja tiputetaan pois. Etuoikeutettu liikenne on priorisoitua, ja siitä käyttäjä maksaa enemmän. Vaativin, eli viiveetönluokka, on aikaan sidottua, kuten esim. puhe. Tätä käytetään muun muassa VoD (Video on Demand) ja VoIP-sovelluksissa (Voice over IP), jolloin verkon tukkeutumista ei saa esiintyä. (Prossori, 2000.)

LER-reititin muuntaa IP-paketin MPLS-muotoon lisäämällä pakettiin MPLS-lipun. Vastaavasti reititin muuntaa MPLS-muodossa olevan paketin takaisin IP-muotoon paketin lähtiessä MPLS-verkosta ulos, eli poistaa paketista lipun. LER-reitittimiä verkon reunoilla kutsutaan myös joko Ingress-LER, joka tuo datapaketin sisään MPLS-verkkoon tai Egress-LER, joka vie paketin ulos MPLS-verkosta. (Gallaher, 2003.)



KUVIO 5. MPLS-verkon reunareititys (Semeria, 1999).

LSR-reitittimien, eli solmujen, tehtävä verkossa on tutkia paketteihin liitetyt liput ja niissä annetun palveluluokkatiedon (FEC) perusteella reitittää paketti eteenpäin (FEC-luokista ja MPLS-lippujen toiminnasta lisää myöhemmin tässä tekstissä). LSR tutkii lipussa annetun palveluluokkatiedon ja vertaa sitä reitityskarttaan, tämän jälkeen paketti reititetään seuraavan kohteeseensa. LSR-reitittimien tilalla voi MPLS-verkossa olla myös LER-reitittimiä, jolloin reitittimet voivat toimia joko kytkiminä tai reitittiminä riippuen lipun tiedoista. (Cisco, 2007.)

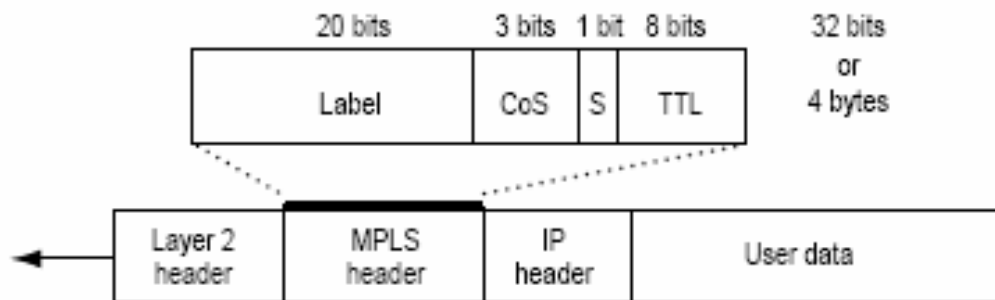


KUVIO 6. LSR-reititin (Balliache, 2007.)

Kaikki reitittimet toimivat sekä upstream- että downstream-reitittiminä. Reititin joka lähettää paketin on upstream-reititin, ja reititin joka vastaanottaa paketin on downstream-reititin. Leimassa määritellään lähetetäänkö paketti upstream- vai downstream-leimattuna. (RFC update 3032, 2007.)

4.3.3. Lippujen käyttö

MPLS-reunareititin lisää lipun OSI kerrosten 3 ja 2 väliin, jolloin MPLS-reunareititin pystyy hyödyntämään OSI-3-kerroksen reititystä ja OSI-2-kerroksen kytkentää, ja OSI-3-kerroksen välityksen tarve häviää (Gallaher, 2003).

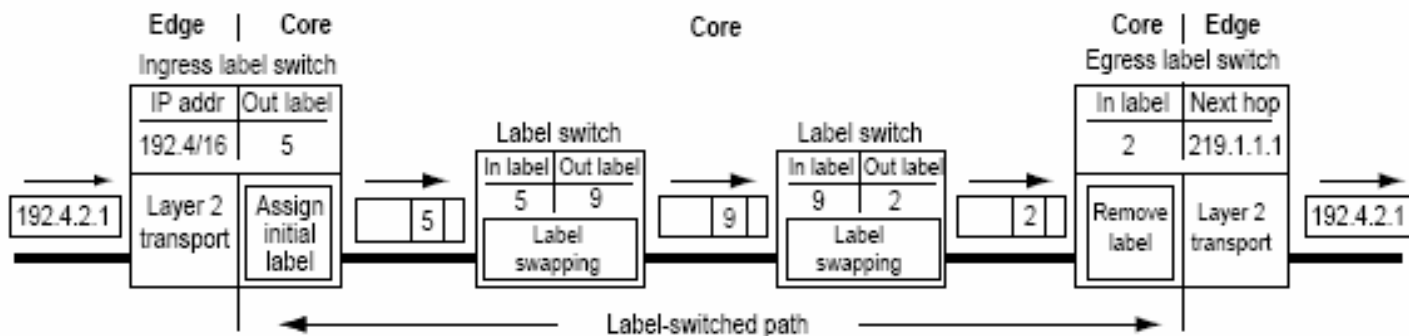


KUVIO 7. MPLS-lipun lisäys pakettiin (Perros, 2005).

MPLS-lippu koostuu 32 bittistä.

20 bittiä	Label	=	MPLS-lippu, joka sisältää reititystiedon
3 bittiä	CoS	=	(Class of Service) käytetään kokeellisiin tarkoituksiin, esim. voi määrittää pakettien lähetyksen järjestyksen eteenpäin
1 bitti	S	=	Bottom Stack, S=0 tai S=1 riippuen siitä onko paketti viimeinen vai ei
8 bittiä	TTL	=	Time-to-Live, määrittelee paketin elinajan, eli kuinka monta hyppyä paketti maksimissaan kulkee verkossa. Estää datapaketin jäämisen luuppiin, eli kiertämään verkkoon määrittämättömäksi ajaksi, jos ei vastaanottavaa reititintä löydykään (Perros, 2005).

Lippuun merkittävä reititystieto FEC tunnistemerkitsee paketin. FEC-luokka päätetään usein kohdeverkko-osoitteen perusteella. Normaalissa data-lähetyksessä lisätään MPLS-lippu kehykseen ja lähetetään paketti eteenpäin. Tunneloinnissa paketti lähetetään joko MPLS-tunnelia tai IP-tunnelia pitkin käyttäen lisälippua, jossa kerrotaan tunnelin tiedot. (RFC update 3032, 2007.)



KUVIO 8. Esimerkki paketin siirrosta MPLS-verkossa (Semeria, 1999).

Liputettuja paketteja voidaan lähettää tekniikoilla, joko point-to-point, point-to-multipoint ja multipoint-to-multipoint. LDP-protokolla (Leibel Diststripution Protocol) määrittää liputettujen pakettien lähetystavan. (RFC update 3032, 2007.)

Point-to-point (P2P) menetelmässä lähetetään pakettilähetys yhdeltä reitittimeltä yhdelle reitittimelle. P2P:ssä voidaan käyttää sekä tunnelointia, että suoraa data-lähetystä. P2P edellyttää downstream-assigned - leimaa. Point-to-multipoint (P2MP) menetelmässä lähetetään pakettilähetys yhdeltä reitittimeltä usealle reitittimelle. P2MP:ssä voidaan käyttää sekä tunnelointia että suoraa data-lähetystä. P2MP edellyttää, että kaikki käytettävät reitittimet ovat joko downstream-assigned - tai upstream-assigned - leimoja. (RFC update 3032, 2007.)

Multipoint-to-multipoint (MP2MP) menetelmässä lähetetään pakettilähetys usealta reitittimeltä usealle reitittimelle. MP2MP:ssä voidaan käyttää sekä tunnelointia, että suoraa data-lähetystä. MP2MP edellyttää että kaikki käytettävät reitittimet ovat joko downstream-assigned - tai upstream-assigned - liputettuja. Voidaan käyttää myös downstream-assigned - ja upstream-assigned - lippuja sekaisin, jos tunnelointi tai data-lähetys tukee tätä. (RFC update 3032, 2007.)

4.3.4. FEC-luokat

LER-reitittimen lisäämässä MPLS-lipussa määritetään paketille FEC-luokka, joka kertoo, mitä reittiä paketti tullaan reitittämään seuraavalle reitittimelle eli NHLFE (Next Hop Label Forwarding Entry) (RFC update 3032, 2007). FEC-luokkaan

määrittely riippuu saapuvan paketin lähettäjän- ja vastaanottajan IP-osoitteista tai käytettävästä reititysprotokollasta. Samaan FEC-luokkaan kuuluvilla paketeilla on sama reititys. Paketin kulkureitti MPLS-verkossa on LSP-siirtotie (Perros, 2005).

Reititys tiedot kasataan reititystaulukkoon, jossa määritellään saapuvan paketin kohde IP-osoite, portin numero, NHLFE (Next Hop), FEC-luokka (A tärkeysjärjestyksessä ensimmäinen, Z tärkeysjärjestyksessä viimeinen), leiman numero (label) ja ohjeet (instructions), miten reitittimen tulee toimia. Tämä tieto lisätään kyseisen paketin MPLS-lippuun label-tiedoksi. (IEC, 2007.)

TAULUKKO 3. LER-reitittimen LFIB-reititystaulukko (Gallaher, 2003).

Destination/IP	Port Number	FEC	Next Hop	Label	Instruction
199.50.5.1	80	B	47.5.10.100	80	Push
199.50.5.1	443	A	120.8.4.100	17	Push
199.50.5.1	25	IP	100.5.1.100		(Do nothing; native IP)

TAULUKKO 4. LSR-reitittimen LIB-reititystaulukko (Gallaher, 2003).

Label/In	Port In	Label/Out	Port/Out	FEC	Instruction Next Hop
80	B	40	B	B	Swap
17	A	18	C	A	Swap

LER-reitittimen reititystietokantaa kutsutaan LFIB-tietokannaksi (Label Forward Information Base). LSR-reitittimen reititystaulukko on LIB-tietokanta (Label Information Base). (Gallaher, 2003.)

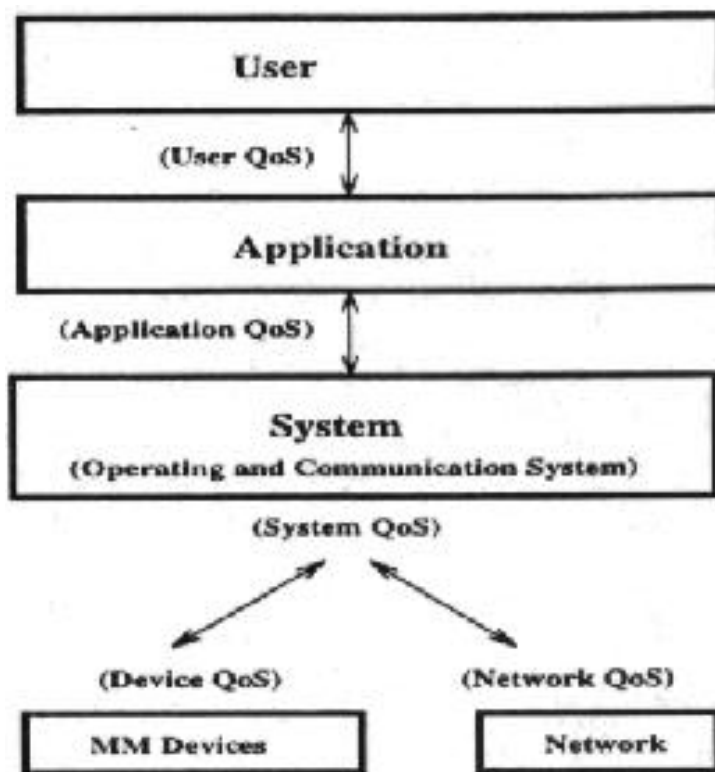
Reititystietokantoja välitetään reitittimiltä toisille käyttäen LDP-protokollaa (Label Distribution Protocol) tai jotain muuta vastaavaa lippujen vaihtoprotokollaa. LER-reitittimeltä tieto välitetään LSR-reitittimelle downstream-assigned - tietona ja LSR-reitittimeltä LER-reitittimelle upstream-assigned - tietona pyydettyä. Sidostietojen vaihto reitittimien välillä tapahtuu

LDP-istunnoissa ja molemmat reititin tyypit päivittävät reititystietokantaan lähetettyjen reititystietojen pohjalta. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

Reitittimet lähettävät säännöllisesti reititinmainosviestejä saman aliverkon osoitteisiin käyttäen UDP-protokollaa (User Datagram Protocol), tarkoituksenaan ilmoittaa muille reitittimille olemassaolostaan. Kun reitittimillä on toistensa yhteystiedot, voivat ne muodostaa TCP-yhteyden päällä toimivia LDP-istuntoja. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

4.3.5. QoS, palvelun laatu

QoS määrittelee tietoliikennepalvelun laadun käyttäjänäkökulmasta, eli tähän vaikuttaa myös käyttäjän kyky havainnoida. Perinteinen QoS on ISO-standardin mukaisesti verkkokerroksen tarjoama palvelu. (Ahomaa, 2001.)



KUVIO 9. Neljätasoinen QoS-malli (Ahomaa, 2001).

Kommunikointijärjestelmät, jotka välittävät multimediaa, vaativat tämän mallin laajentamista kerroksittaiseksi, koska monet muutkin palvelut vaikuttavat päästä päähän palvelun laatuun. QoS-malli koostuu kolmesta kerroksesta: sovelluksesta, järjestelmästä mikä sisältää kommunikointi- ja käyttöjärjestelmäpalvelut, sekä verkko- ja multimedialaitteistosta. Yhden tason lisää muodostaa sovellusta yleensä käyttävä ihminen. Edellä esitetyllä tavalla saadaan aikaiseksi malli, jossa QoS jakautuu neljälle tasolle. (Ahomaa, 2001.)

MPLS-QoS-sovellukset perustuvat IP-QoS-toteutuksiin. MPLS-QoS-toteutus eroaa IP-QoS-toteutuksista siinä, ettei MPLS-QoS-toteutus mahdollista päästä-päähän palvelua. MPLS-QoS toimii verkon reunareitittimien välillä. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

QoS palvelut MPLS-verkossa voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla, joko Integrated Services tai Differential Services. Integrated Services tarjoaa laatutakuun sovellusten välisessä liikenteessä päästä-päähän ja Integrated Services - toteutus vaatii erillisen signalointiprotokollan, RSVP. Differential Services perustuu IP-otsikon TOS-kentän (Type of Services) hyödyntämiseen palveluluokkien muodostamisessa. Diffserv jakaa liikenteen luokkiin ja allokoii resurssit luokkakohtaisesti. Paketin luokka merkitään suoraan paketin IP-otsikon TOS-kenttään, josta paketin luokka laajennetulla LDP-protokollalla sidotaan MPLS-lipun CoS-kenttään. MPLS-otsikon CoS-kentässä on käytettävissä kolme bittiä, joka mahdollistaa kahdeksan eri liikenneluokan muodostamisen MPLS-verkossa. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

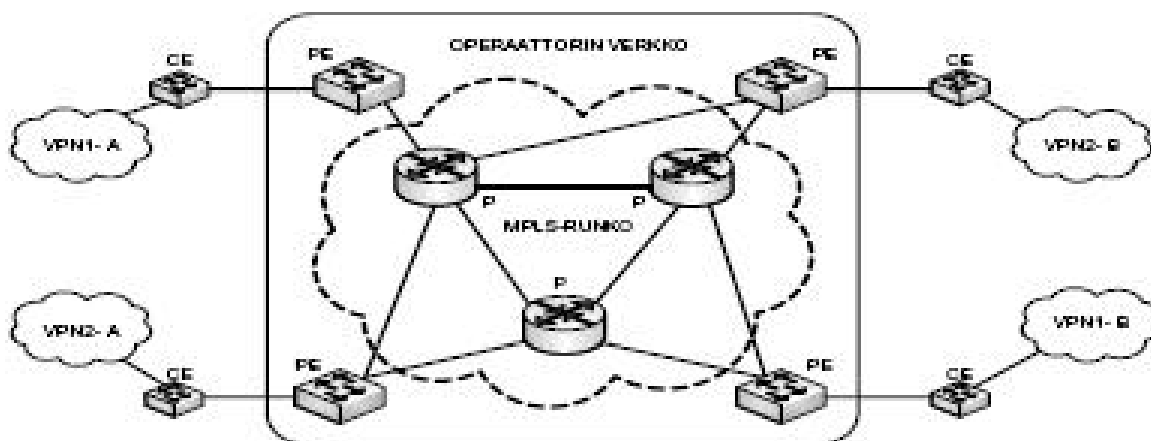
4.3.6. Traffic Engineering

Reititin tekee itsenäisiä päätökset liikenteen ohjaamisesta IP-verkossa. Yleensä verkossa on olemassa myös vaihtoehtoisia reittejä, mutta reititysprotokolla valitsee ainoastaan parhaimman reitin. MPLS-TE (MPLS - Traffic Engineering) mahdollistaa liikenteen ohjaamiseen verkon ylläpitäjän määräämään tunneliin, joka muodostetaan valituilla reunaehdoilla reititysprotokollan OSPF-laajennuksen tai IS-IS-laajennuksen välittämän reittitiedon perusteella.

Kaistanvarausprotokollan laajennus RSVP-TE varaa jokaisesta valitun reitin reitittimestä määritellyn kapasiteetin. Liikenne voidaan ohjata tunneliin joko manuaalisesti tai reititysprotokollan laskentaa muuttamalla. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

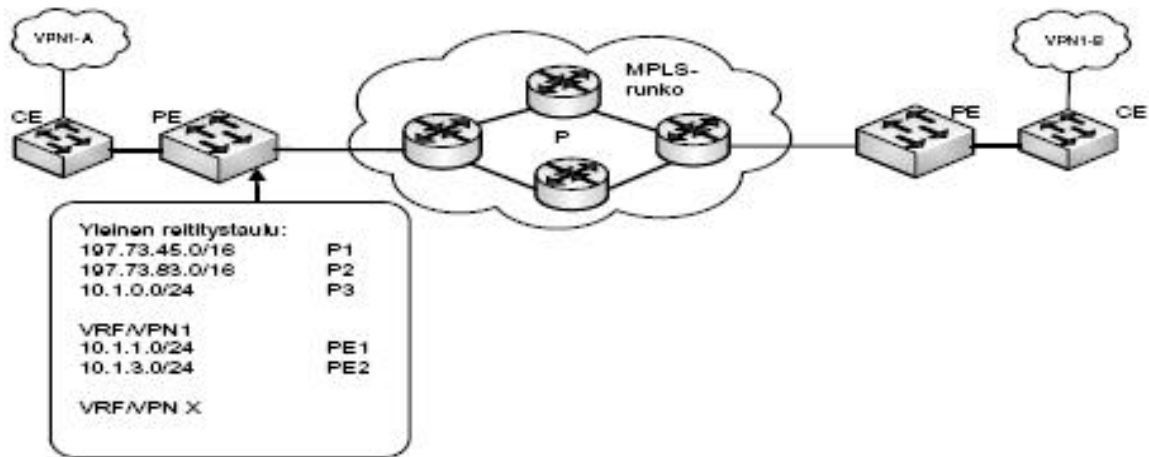
4.3.7. Tunnelointi

MPLS-VPN tunnelointi turvaa liikenteen yksityisyyden ja mahdollistaa yksityisten IP-osoitteiden käytön. Yksityisyys taataan salauksella ja salauksen avulla muodostetaan looginen yhteys verkon yli. MPLS-VPN muodostetaan luomalla LSP verkon läpi. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)



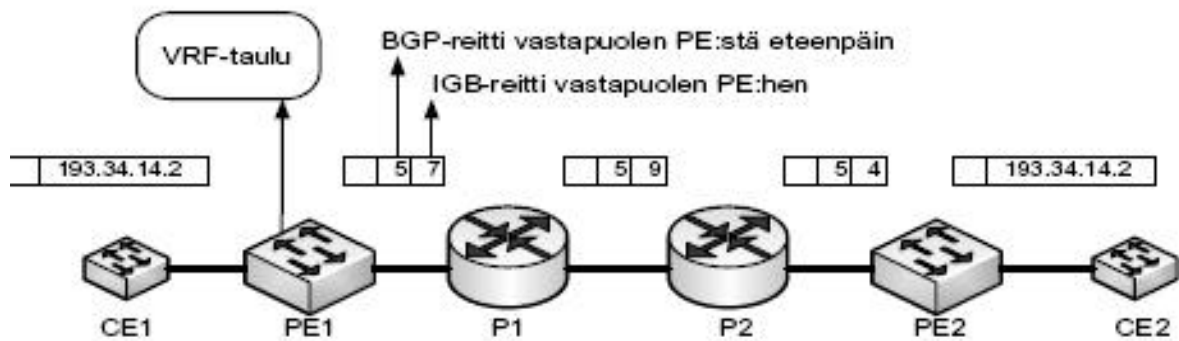
KUVIO 10. MPLS-VPN toiminta-ajatus (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006).

Kuviossa 10 on verkossa olevat P-merkityt reitittimet sisäreitittämiä, joiden läpi liputettu liikenne kulkee. PE-merkityt reitittimet ovat reunareitittämiä, jotka liputuksen lisäksi pystyvät normaaliin IP-osoitteisiin perustuvaan reititykseen. Käyttäjän PC-laite kytketään asiakaslaitteeseen, joka on kytkettynä palveluntarjoajan reunareitittimeen PE. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)



KUVIO 11. MPLS-VPN reititystaulu (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006).

VPN-verkon perusajatuksen mukaisesti täytyy niiden olla näkymättömiä muille VPN-verkoille. Reunareitittimen ja sisäreitittimen välisellä reititysprotokollalla muodostetaan reititystaulu. Jokaisesta VPN-verkosta muodostetaan oma VRF-osoitetaulu (VPN Routing/Forwarding) reititystauluun, johon asetetaan kaikki kyseisen verkon reitit. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)



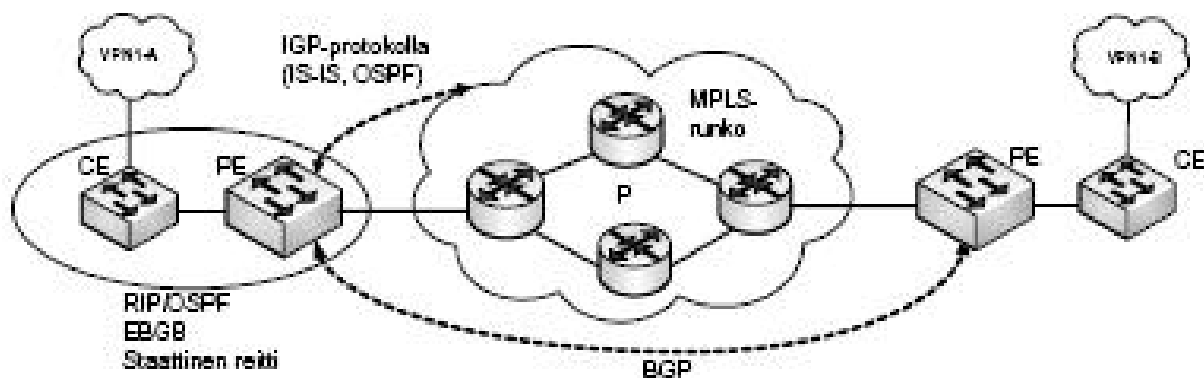
KUVIO 12. VPN-välitys lippupinon avulla (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006).

Kuviossa 12 on lähetetty paketti IP-osoitteeseen 193.34.14.2 ja paketin saava reunareititin PE1 tutkii VRF-tauluaan ja havaitsee verkon löytyvän PE2-reunareitittimen takaa. Reitti MPLS-verkon läpi PE2-reitittimelle löytyy yleisestä reititystaulusta, joka tässä tapauksessa on lippu 7. PE1-reititin lähettää paketin lipulla 7 P1-reitittimelle. P1-reititin vaihtaa lipun 7 lippuun 9 ja lähettää paketin P2-reitittimelle. P2-reititin ottaa vastaan paketin lipulla 9, vaihtaa olemassa olleen

lipun uuteen lippuun 4 ja lähettää paketin PE2-reitittimelle. Kun paketti saapuu PE2-reitittimelle, reititin poistaa molemmat liput ja ohjaa paketin lippupinon alemman lipun 5 mukaan kohdeverkkoon CE2-reitittimelle. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

4.3.8. MPLS-reititys protokollat

MPLS tarvitsee 3-kerroksen reititystaulujen olemassaolon LSP-polun rakentamiseen, jonka takia reitittimissä ajetaan tavallista reititysprotokollaa. MPLS-VPN:n reititys asiakkaan reitittimen ja MPLS-verkon reunareitittimen välillä voidaan toteuttaa useilla eri vaihtoehtoisilla reititysprotokollilla. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)



KUVIO 13. MPLS-VPN-reititys (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006).

Pakettiin liitetty MPLS-lippu määrittää MPLS-verkon sisäisen siirtymäreitin. LSP voi olla määritelty perustuen useampaan eri protokollaan. Protokollan valintaan vaikuttaa LER-reitittimien toiminta. (Gallaher, 2003).

Siirtymäreitti voidaan määrittää IGP-perheen (Interior Gateway Protocol) protokollilla, jotka perustuvat verkon topologiaan ja lyhimpään mahdolliseen reittiin reitittimien välillä. MPLS-verkossa käytettäviä IGP-protokollia ovat OSPF (Open Shortest Path First) ja RIP (Routing Information Protocol) sekä uudempi 1000 reititintä hallitseva IS-IS (Intermediate System to Intermediate System),

jotka perustuvat siihen että LER-reitittimet tietävät koko MPLS-verkon topologian. (Cisco, 2007.)

MPLS-verkkojen välisissä LER-reititin yhteyksissä käytetään BGP-4 protokollaa (Border Gateway Protocol versio 4), joka perustuu verkkojen väliseen topologiatietämykseen. LER-reitittimet välittävät topologia karttoja ja ylläpitävät niitä. EBGP-protokolla (Exterior BGP) käsittelee jokaista VPN-verkon aluetta omana ulkoisena kokonaisuutenaan. (Cisco, 2007.)

MPLS-verkon reunareitittimien välinen reititys toteutetaan IBGP-protokollalla (Interior Border Gateway Protocol). Reunareitittimet välittävät protokollan avulla tietoa reunareitittimiin liitetystä asiakasverkoista. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

Dataliikenteen ja ruuhkien hallintaan käytetään RSVP-protokollaa (Resource Reservation Protocol). RSVP-protokolla on kontrollitason verkon resurssien varaamista tukeva dynaaminen kaistanvarausprotokolla. (Cisco, 2007.)

Protokollana voidaan käyttää myös aiemmin mainittua MPLS-verkon omaa LDP-protokollaa. LDP-protokollaa käytetään silloin, kun liikenteen suunnittelu ei ole käytössä verkon suorituskyvyn optimoimiseksi, ja verkko tarvitsee näin ollen vähemmän ohjausta. (RFC update 3032, 2007.)

4.3.9. Tietoturva

MPLS-VPN eristää verkon muilta laitteilta ja tarjoaa saman turvallisuuden kuin OSI-2-kerroksen (ATM, Frame Relay) VPN-ratkaisut OSI-3-kerroksella. Kaikkien reunareitittimet ylläpitämät VRF-osoitetaulut määrittelevät reitit joko staattisesti tai reititysprotokollan avulla ja reunareititin hylkää kaikki VPN:ään kuulumattomat paketit. Näin implementoimalla loogisesti erilliset VRF-taulut jokaiselle VPN:lle, muodostuu jokaisesta VPN:stä yksityinen ja yhteydetön verkko. Tämä verkko muodostuu jaetun infrastruktuurin päälle. (Lamberg & Laiho, 2002.)

Monissa yrityksissä on otettu käyttöön esim. toiminnanohjaus-, VoIP-puhelin- tai videoneuvottelujärjestelmiä, joiden tietoturva- ja palvelutasovaatimukset voivat olla hyvinkin erilaiset. MPLS-tekniikalla voidaan erottaa eri järjestelmät toisistaan ja taata järjestelmille niiden vaatima palvelu- ja tietoturvaso. Rakentamalla rengas-mallisia MPLS-topologiaa saadaan verkon käytettävyyttä parannettua, ja verkko toipuu linkkikatkoksesta huomattavasti nopeammin kuin perinteinen IP-reititinverkko. MPLS-verkon reunareititin, johon asiakasverkko liittyy, muodostaa reititystaaluunsa ensisijaisen reitin lisäksi vaihtoehtoisen reitin MPLS-verkon läpi, joten vikatapauksessa aikaa vievää laskentaa ei tarvita ja reitin vaihto ensisijaiselta reitiltä varareitille tapahtuu nopeasti. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

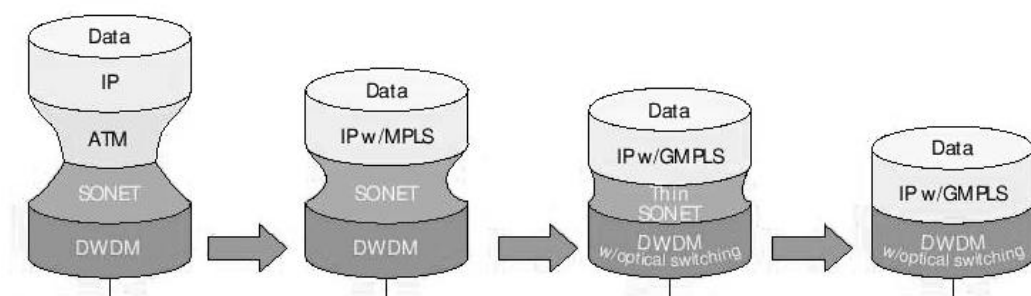
MPLS-verkko on läpinäkyvä, jolloin runkoverkon laitteet eivät näy VPN:ään kuuluville laitteille. Tämä tekee runkoverkosta hyvin suojatun asiakkaan verkoista tulevia hyökkäyksiä vastaan. Jos kuitenkin reunareitittimen ja palveluntarjoajan reitittimen välillä käytetään reititysprotokollaa reititystietojen vaihtoon, täytyy palveluntarjoajan reitittimen tietää ainakin reunareitittimen liittynän osoite, johon on kytkeytyneenä. Jos reitittimien välinen reititys tehdään staattisesti, ei palveluntarjoajan reitittimen tarvitse tietää MPLS-reitittimien IP-osoitetta. Tämä lisää edelleen verkon turvallisuutta hyökkäysten varalta. (Lamberg & Laiho, 2002.)

Lippujen väärentäminen ja IP-pakettien väärentäminen, tapahtuu IP-paketin kohde- tai lähdeosoitetta manipuloimalla. Jos palveluntarjoajan verkko on suojattu, jää ainoaksi hyökkäysmahdollisuudeksi palveluntarjoajan reitittimen kautta tulevat paketit. Oletettavasti palveluntarjoajan reititin lähettää paketit IP-paketteina ja hylkäämällä kaikki palveluntarjoajan reitittimeltä tulevat paketit, tehdään MPLS lipukkeiden väärentäminen mahdottomaksi. Jäljelle jää yhäkin IP-pakettien osoitetietojen väärentäminen, mutta tällä pystytään hyökkäämään ainoastaan VPN-verkon sisällä, jolloin palveluntarjoajan runkoverkko sekä muiden asiakkaiden VPN-verkot ovat turvattuja. (Lamberg & Laiho, 2002.)

4.4. GMPLS

4.4.1. Tekniikka

GMPLS-protokolla, tunnetaan myös nimellä MPAS (Multi Protocol Lambda Switching). GMPLS-protokolla on paranneltu ”versio” MPLS-protokollasta ja GMPLS-protokolla laajentaa MPLS-tekniikan optisiin verkkoihin (SearchNetworking.com, 2007). GMPLS-tekniikan alkuperäisenä tarkoituksena oli korjattu reititystä ja liikenteenhallintaa pakettikytkentäisissä IP-verkoissa (ATM, IP), mutta kehityksen tuloksena parannukset tulivat koskemaan myös TDM- ja kuituverkkoja sekä optisia verkkoja (Polaris, 2004).



KUVIO 14. Verkkotekniikoiden kehitys (Martell, 2004).

GMPLS-protokolla mahdollistaa suoraan eri aallonpituuksien kytkemisen muuttamatta optisia kantaaltoja ensin digitaalisiksi signaaleiksi. Kyky sitoa kantaallot suoraan aallonpituuden perusteella kohdeosoitteeseen nopeuttaa kantaallojen uudelleenlähettämistä runkolaitteissa. (SearchNetworking.com, 2007.)

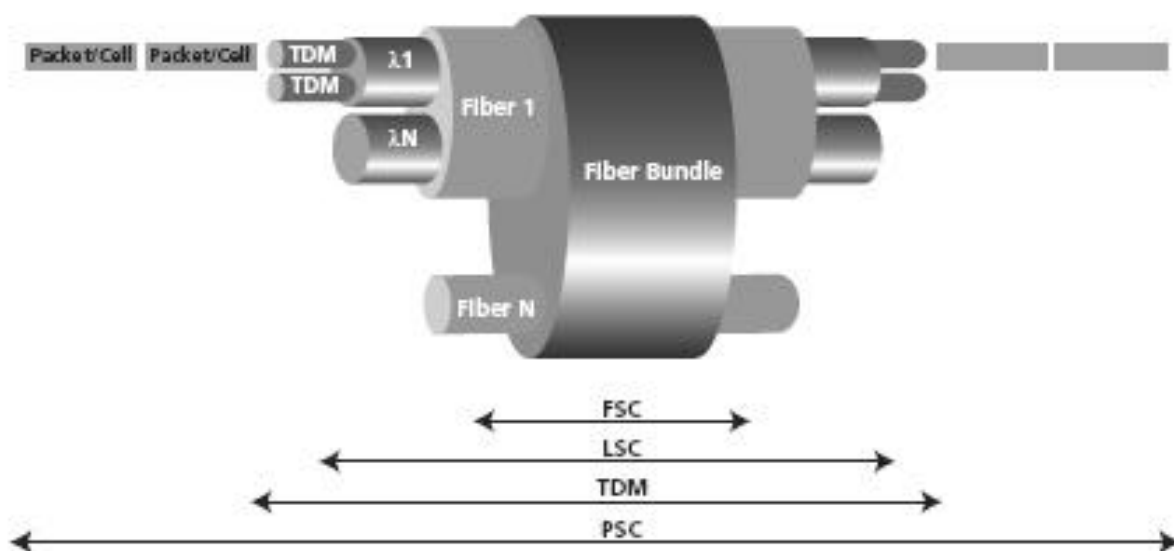
GMPLS-tekniikan periaate on reititys- ja nopeakytkentäisyydessä, jossa IP-paketin eteen lisätään liikennevirran tunniste ja joka reitittää pakettien lisäksi perinteistä TDM-liikennettä, aallonpituuksia ja fyysisiä portteja. Jatkossa GMPLS:n odotetaan tukevan vian paikallistamista ja eristämistä sekä nopeaa

uudelleenohjausta vikatilanteissa. (Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, 2005.)

GMPLS-tekniikka tarjoaa monia uusia ominaisuuksia, kuten

- verkon kapasiteetin täyden käytön ja reitityskontrollin
- dynaamisen jakelun ja liikenteen hallinnan end-to-end-yhteyksissä
- riittävän kaistanopeuden tarvittaessa tilannekohtaisesti
- paremman QoS-palvelun, johon lisätty arvomääritys
- uusi parempi virheiden korjaus ja suojaus (Polaris, 2004).

GMPLS-tekniikassa siirtotie on end-to-end yhteydellinen. Kuviossa 15 on esitetty paketin siirtotie erilaisilla tekniikoilla, jotka ovat sisäkkäisiä. Tämä sisäkkäisten siirtoteiden hierarkia mahdollistaa saumattoman datansiirron ylitse erilaisten verkkotekniikoiden. (Polaris, 2004.)



KUVIO 15. Sisäkkäisten siirtoteiden hierarkia (Polaris, 2004).

4.4.2. Protokollat

GMPLS-verkon parannukset MPLS-verkkoon, tuovat muutoksia MPLS-protokolliin. LMP (Link Management Protocol) on protokolla kahden sisäreitittimen välisen liikenteen hallintaan, datavirtojen ylläpitämiseen ja niiden virheettömyyteen. LMP on IP-pohjainen protokolla, joka pitää sisällään laajennukset signaalointiprotokollaan RSVP-TE (RSVP – Traffic Extension) ja CR-LDP (Constraint-based LDP). GMPLS aiheuttaa myös liikenteenhallintaan liittyviä muutoksia reititysprotokollaan OSPF ja IS-IS. (Polaris, 2004.)

TAULUKKO 5. GMPLS-tekniikan protokollauudistukset (Polaris, 2004).

Protokolla		GMPLS lisäykset ja parannuksia
Reititys	OSPF-TE, IS-IS-TE	<ul style="list-style-type: none"> - linkkien mainostamisen suojaus - skaalautumisen parannus - IP-osoitteettomien linkkien hyväksyminen - sisään tulevan ja lähtevän liikenteen tunnistaminen - toisen reititysreititin löytäminen varalle
Signalointi	RSVP-TE, CR-LDP	<ul style="list-style-type: none"> - yleisleima "ei pakettia" lähetyksille - kaksisuuntaiset siirtotiet - varareititin löytymisen signalointi - leimamääräyksen lähettäminen leiman mukana - aaltokaistan vaihdon tuki
Linkkien hallinnointi	LMP	<ul style="list-style-type: none"> - linkkien välisen keskustelun ja virheettömyyden turvaaminen - linkkien välisen yhteyden testaaminen PING-käskyn kaltaisella toiminnolla - vierekkäisten linkkien välinen tunnistustieto - yksittäisten tai useiden virheiden eristäminen optisessa verkossa

4.5. MPLS ja GMPLS tekniikoiden tulevaisuus

ATM ja Frame Relay, ovat saaneet MPLS-tekniikasta vakavasti otettavan kilpailijan. ATM:n ja Frame Relay – tekniikoiden yhteensopivuusongelmat IP-protokollan kanssa on MPLS-tekniikassa ratkaistu ja MPLS-tekniikan käyttö operaattoreiden runkoverkossa onkin viime vuosina yleistynyt voimakkaasti. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

MPLS on siirtoyhteysriippumaton, joten MPLS mahdollistaa käytössä olevien tiedonsiirtotekniikoiden (ATM, Frame Relay, Ethernet, jne.) hyödyntämisen ilman yhteensopivuusongelmia IP-protokollan kanssa. MPLS-tekniikka on avannut tiensä monilla toimialoilla toimintaprosessien tehostamisen takia, joka on tuonut uusia vaatimuksia tietoliikenneverkoille. Yritysverkkojen tulee olla tänä päivänä vikasietoinen, eri järjestelmien tietoliikenne pystyttävä erottamaan luotettavasti toisistaan, palvelun laatu on taattava ja tietoturvatason on oltava korkea. MPLS-tekniikka on käytännössä ainoa verkkoteknologia johon maailmalla tällä hetkellä investoidaan. (Hämäläinen & Ristiniemi, 2006.)

GMPLS-tekniikan tulevaisuus on erittäin hyvä. GMPLS mahdollistaa useiden eri tekniikoiden yhdistämisen optiseen verkkoon ja tarjoaa Metro Ethernet verkoille monipuolisen, turvallisen ja nopean datasiirtotekniikan. GMPLS-tekniikka tulee pikku hiljaa korvaamaan MPLS-tekniikan Metro Ethernet verkkojen yleistyessä. (Polaris, 2004.)

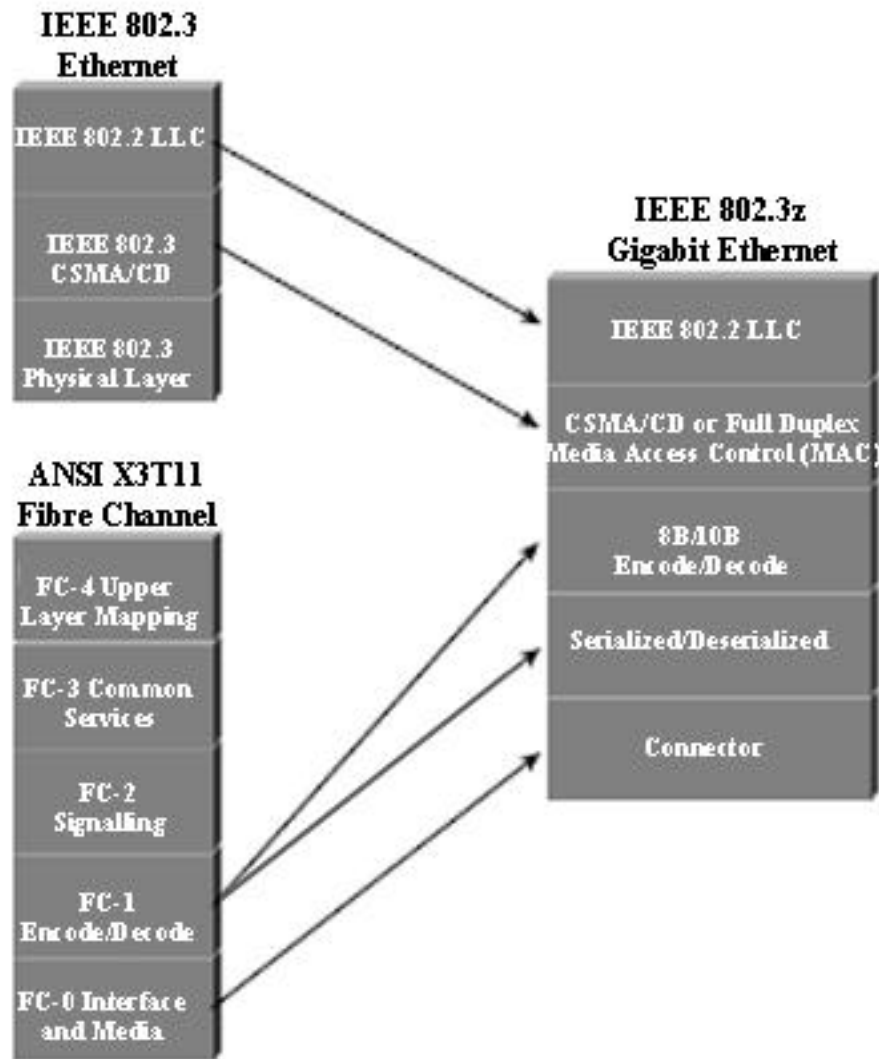
5. GIGABIT ETHERNET

5.1. Yleistä

Gigabit Ethernet on yleisnimitys kaikille yli 1 Gbit/s nopeuksiin yltäville Ethernet-verkoille. Tämän tekniikan on kehittänyt Xerox-yhtiö 1970-luvun alussa, ja siitä lähtien Gigabit Ethernet on ollut vallitseva Internet-protokolla. Protokollan kehittämistä jatkettiin, koska tarvittiin nopeampia tietoliikenneyhteyksien. (Cisco, 2000.)

Kehitystyön seurauksena Fast Ethernet - protokolla otettiin käyttöön vuonna 1995. Protokolla perustuu kierretyn parikaapelin lisäksi valokuitukaapelointiin, joka nosti Ethernet-nopeudet 10 Mbit/s nopeudesta 100 Mbit/s nopeuteen. Fast Ethernet yksinkertaisen ja halvan perustan lähiverkkotekniikoille. Seuraavana kehityksessä tuli Gigabit Ethernet – protokolla, joka standardisoitiin vuonna 1998 (IEEE 802.3z). Gigabit Ethernet nosti verkkotekniikan 1 Gbit/s ja 10 Gbit/s nopeuksiin. (Cisco, 2000.)

Gigabit Ethernet – tekniikassa on yhdistettynä kaksi aiemmin olemassa ollutta tekniikkaa, IEEE 802.3 Ethernet ja ANSI XT11 Fibre Channel. Näiden kahden tekniikan yhdistäminen tarkoitti nopeiden kuitutekniikoiden hyödyntämistä Ethernet-protokollan päällä. Ethernet-protokollasta hyödynnettiin erityisesti multimedian välittäminen ja siirtotienvarausmenetelmät (full-duplex ja half-duplex) törmäysten välttämiseksi. Fibre Channel – tekniikan hyödyntämiseksi tarvitsi Ethernet-laitteita muuttaa vain fyysisen rajapinnan osalta ja tällöinkin jo aiemmin olemassa olleella tekniikalla. Olemassa olleiden laitteiden helppo muokattavuus edes auttoi Gigabit Ethernet – tuotteiden nopeaa markkinoille tuloa. (Cisco, 2000.)



KUVIO 16. Yhdistetty Gigabit Ethernet - protokollapino (Cisco, 2000).

Gigabit Ethernet - työryhmä on laatinut tiivistetyn listan 802.3z-standardin ominaisuuksista koaksiaali-, parikaapeli- ja valokuitupohjaisissa toteutuksissa

- tukee sekä full- että half-duplexia 1 Gbit/s nopeuksilla
- käyttää CSMA/CD-protokollaa, yksi toisto törmäystä kohti
- käyttää Ethernet:n 802.3-standardin mukaista kehysrakennetta
- yhteensopiva 10Base-T- ja 100Base-T-tekniikoiden kanssa (Gigabit Ethernet Alliance, 1998).

TAULUKKO 6. Gigabit Ethernet standardit (Silvola, 2006).

IEEE Standardi	Merkintä	Vuosi	Nopeus	Kaapeli, Liitin
802.3z	1000Base-SX 1000Base-LX	1998	1 Gbit/s	kuitu
802.3ab	1000Base-T	1999	1 Gbit/s	kierretty pari, RJ-45
802.3ae	10GBase-SR 10GBase-SW 10GBase-LR 10GBase-LW 10GBase-ER 10GBase-EW 10GBase-LX4	2002	10 Gbit/s	kuitu

5.2. Ethernet-kehys

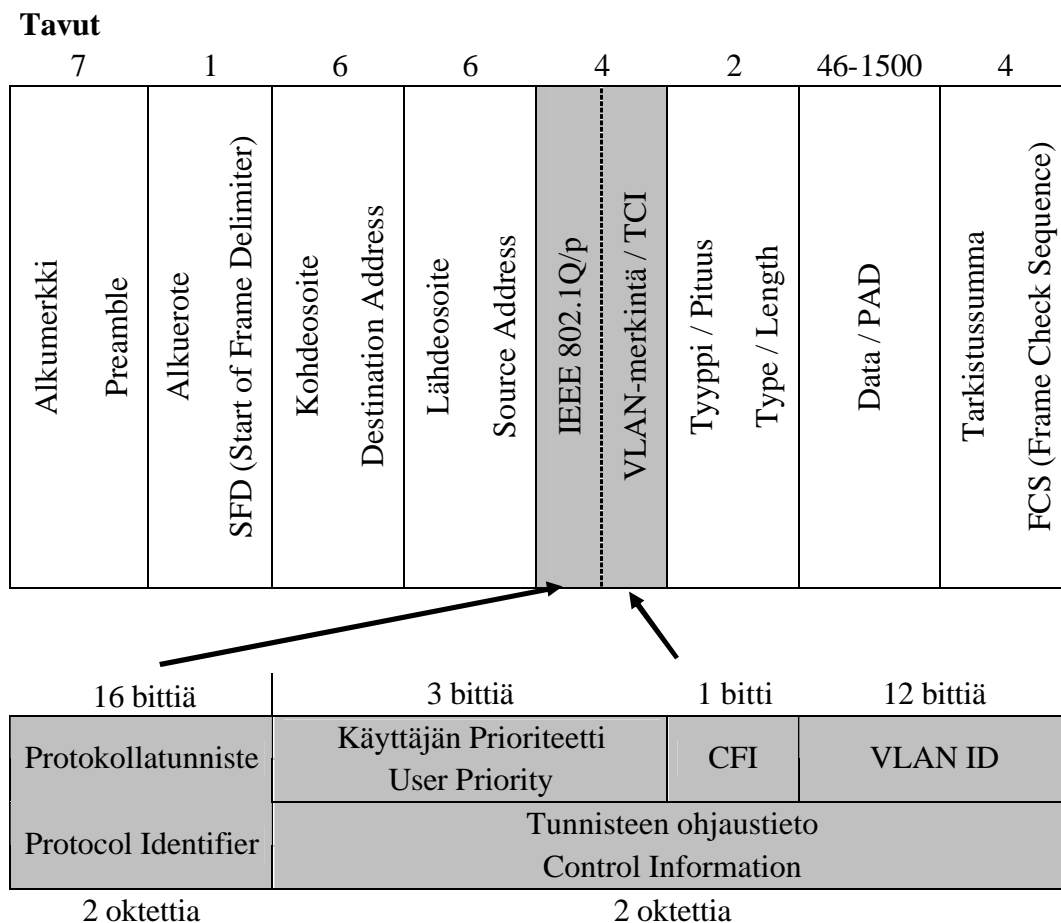
Ethernet-verkot ovat pakettikytkentäisiä, joten data lähetetään Ethernet-kehysten sisällä omana itsenäisenä pakettinaan. Ethernet-kehys sisältää otsikkotiedoissaan ensimmäisenä kohdeosoitteen, jonka perusteella oikea vastaanottaja tunnistaa paketin omakseen. (Silvola, 2006.)

Ethernet-kehys on järjestelmän ydin. Ethernet-kehysiä on olemassa kahta eri tyyppiä, DIX-standardiin perustuva Ethernet ja siitä tarkennettu IEEE 802.3. DIX- ja IEEE 802.3 – standardit ovat toistensa kanssa yhteensopimattomia ja yhteensopimattomuuden takia on mahdotonta rakentaa verkkoa, jossa on molempia kehysrakenteita tukevia laitteita. IEEE 802.3 – yhteensopivien laitteiden valmistajia on kuitenkin enemmän, joten yhteensopivuus ongelmat ovat harvinaisia. (Kimonen, 2007.)

Kehyksen normaalikoko on 1518 tavua, mutta jos kehysten rakenteeseen lisätään VLAN-kenttä (Virtual Local Area Network) nousee kehyskoko 1522 tavuun. VLAN-kenttä ei kuulu vakiona IEEE 802.3-kehykseen, mutta kenttä lisätään sinne kehysten kuuluessa johonkin VLAN-verkkoon. Pidempi kehys on huomioitava vanhempien verkkolaitteiden kanssa, koska saattaa ilmetä yhteensopivuusongelmia ja laite saattaa hylätä VLAN-kentän omaavan kehysten ylipitkinä (Silvola, 2006.)

Virtuaalinen lähiverkko mahdollistaa verkon jakamisen pienempiin lähetyksialueisiin, jossa samaan verkkoon kytketyt laitteet voivat liikennöidä vapaasti. Virtuaalinen lähiverkkotekniikka helpottaa verkon ylläpitoa ja tekee verkkoratkaisujen toteutuksesta joustavampaa, koska laitteet jaetaan fyysisen jaottelun sijasta loogisesti. (Kimonen, 2007.)

TAULUKKO 7. Ethernet IEEE 802.3-kehysrakente (Silvola, 2006).



Kehyksen VLAN-kenttä koostuu kahdesta osasta: protokollatunnisteesta ja tunnisteen ohjaustiedosta. Tunnisteen ohjaustieto jakautuu kolmeen osaan; käyttäjän prioriteetti (QoS), CFI (Canonical Format Indicator) ja VLAN ID. 12 bittinen VLAN ID on kentistä tärkein, koska VLAN ID kertoo mihin VLAN-verkkoon kehys kuuluu, eli minkä virtuaaliverkon jäsenille paketti lähetetään. Kun VLAN-kenttää käytetään pelkästään liikenteen priorisointiin, asetetaan kentän arvoksi 0 (nolla). Tällä tavoin VLAN-kentällä varustettu kehys hyödyntää

esimerkiksi VoIP-tekniikkaa. CFI ilmaisee, jos kehyksen hyötykuorma koostuu Token Ring – kehyksestä. (Silvola, 2006.)

Prioriteetti-kentän käyttö mahdollistaa liikenteen palveluluokittelun (QoS) eri aikaluokkiin, joiden avulla ohjataan pakettien tärkeysjärjestystä Ethernet-verkossa. Kiireellisille sovelluksille voidaan antaa parempi aikaluokka, jotta parannetaan aikakriittisten sovellusten verkolta saamaa palvelua. Ethernet QoS ja VLAN-kentällä varustetun kehyksen prioriteettikentän käyttö on määritelty standardissa IEEE802.1p. (Silvola, 2006.)

Palveluluokittelun käyttö edellyttää verkon laitteilta kykyä asettaa paketit omiin jonoihinsa ja kykyä tunnistaa VLAN-kentällä varustettu Ethernet-kehys.

Kytkimien on pystyttävä puskuroimaan dataa ja muodostamaan vähintään kaksi lähtöjonoa porttia kohti. Jos laite ei ole yhteensopiva palveluluokittelun kanssa, käsitellään kehyksiä saapumisjärjestyksessä eikä priorisointia synny.

Valmistajasta riippuen on myös mahdollista, että kytkin ei välttämättä tue standardinmukaista 8 eri palvelun prioriteettiluokkaa, jonka takia palveluluokkia on ryhmitelty pienempään määrään jonoja. Tämän takia on mahdollista, että samalla palveluluokalla varustettu data voi saada eriarvoista kohtelua eri kytkimissä. (Silvola, 2006.)

TAULUKKO 8. IEEE 802.1p-standardin mukainen liikennetyyppien priorisointi (Silvola, 2006).

Käyttäjän prioriteetti	Liikennetyypit, paremmuus järjestyksessä
1	Background
2	Spare
0 (oletus)	Best Effort
3	Excellent Effort
4	Controlled Load
5	Video, < 100 ms viive ja viiveenvaihtelu
6	Voice, < 10 ms viive ja viiveenvaihtelu
7	Network Control

5.3. Media Access Control, MAC

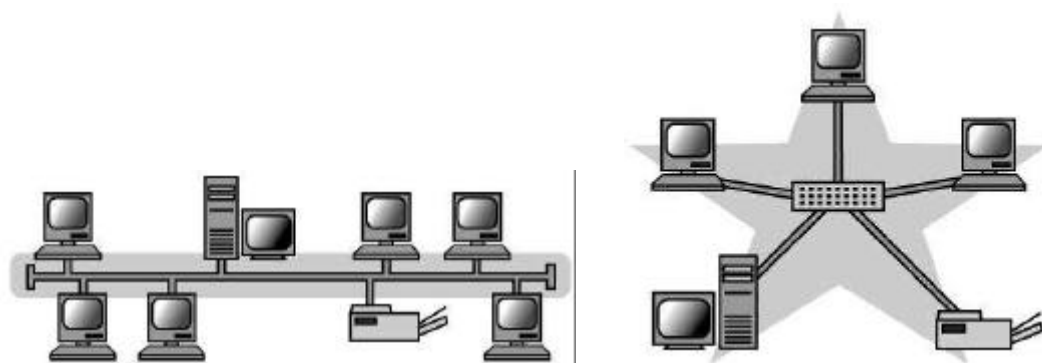
MAC (Media Access Control) on Ethernet-verkossa tapahtuvan kehysten siirron toimintaperiaate, joka sijaitsee OSI-2-siirtoyhteyskerroksella. MAC pitää sisällään algoritmit, joiden avulla dataa lähetetään ja vastaanotetaan, sekä CSMA/CD-protokollan (Carrier Sense Multiple Access Collision Detect). CSMA/CD on jaetun datan siirtovarausprotokolla ja syynä Ethernet-tekniikan maailmanmaineeseen. (Kimonen, 2007.)

Ethernet-verkossa jokainen laite toimii itsenäisesti, riippumattomina toisten laitteiden toiminnasta. Ethernet-verkko käyttää pakettien lähettämiseen yleislähetystekniikkaa, broadcast, eli laitteen lähettäessä dataa toiselle laitteelle. Tällä tekniikalla Ethernet-verkkoon liitetty laite voi lähettää dataa toiselle laitteelle niin, että kaikki jaettuun väylään liitetyt laitteet voivat kuulla sen. Jokainen lähetyksen kuullut laite vertaa paketin kohdeosoitetietoja omiin osoitetietoihinsa, ja mikäli osoitetiedot eivät täsmää, ei laite vastaanota pakettia kokonaan. (Kimonen, 2007.)

5.4. Ethernet-verkkojen topologiat

5.4.1. Yleistä

Liikennettä on kahta eri tyyppiä: half-duplex ja full-duplex. Half-duplex liikenne on vuorosuntaista, joka voi siis tapahtua vain toiseen suuntaan kerrallaan. Tämä tukee perinteistä väylätyyppistä topologiaa, jossa kaikki verkon solmukohtat ovat kiinni samassa verkossa, kuullen kaiken väylällä siirrettävän liikenteen. Full-duplex-tekniikka tukee kaksisuuntaista liikennettä, jossa on mahdollista liikennöidä molempiin suuntiin samanaikaisesti ja jolloin voidaan käyttää tähtitopologiaa. Full-duplex-tekniikan yleistyessä on myös tähtitopologia yleistynyt. (Silvola, 2006.)



KUVIO 17. Väylä- ja tähtitopologia rakenteet (Silvola, 2006).

5.4.2. Half-duplex

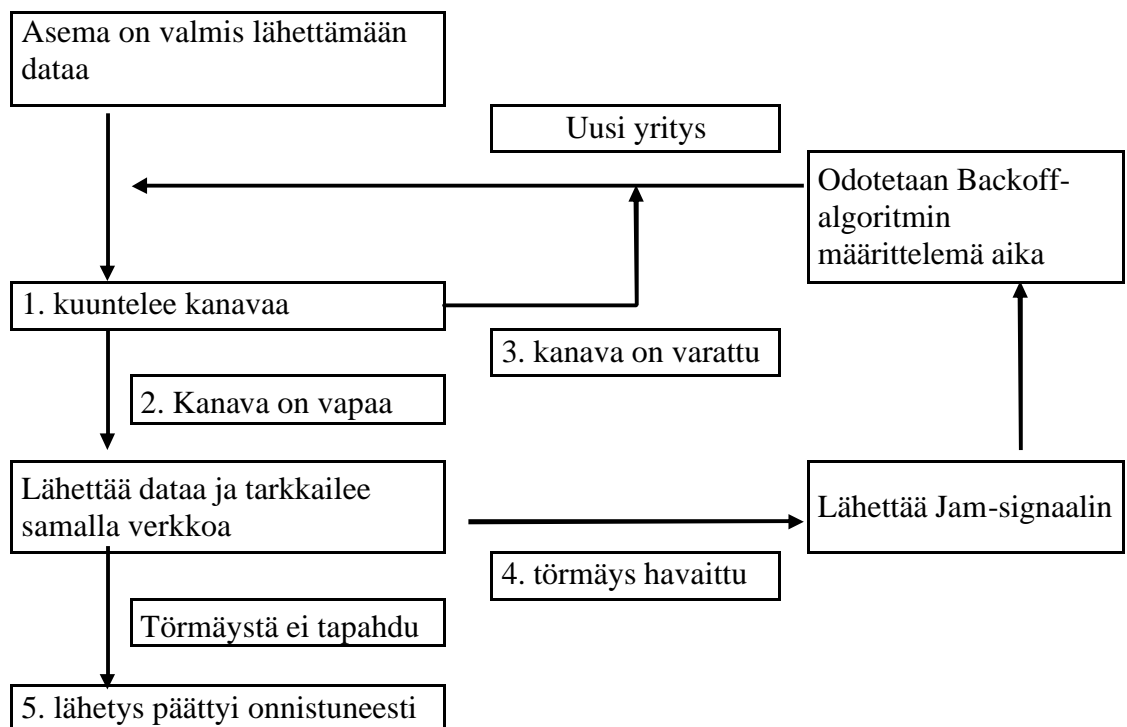
Half-duplex-tilaisessa Ethernet-verkossa kaikki jakavat keskenään yhteisen signalointikanavan ja käyttävät samaa jaetun datan siirtovarausmenetelmää CSMA/CD. Kun kaksi tai useampia Ethernet-laitteita lähettää dataa samanaikaisesti, voi tapahtua törmäys. Törmäysten estämiseksi on MAC-kerroksella käytössä jaetun datan siirtovarausmenetelmä CSMA/CD. (Silvola, 2006.)

CSMA/CD-protokollan menetelmä koostuu viidestä eri vaiheesta:

1. Laite kuuntelee verkkoa havaitakseen onko verkko vapaana, Carrier-signaali ilmaisee onko verkossa liikennettä. Toimintoa kutsutaan termillä CS (Carrier Sence).
2. Mikäli verkossa ei ole Carrier-signaalia (eli verkossa on liikennettä) on kaikilla verkkoon kytketyillä laitteilla mahdollisuus lähettää verkkoon dataa. Ne odottavat kuitenkin vielä lyhyen hetken ennen datan lähetystä (IFG; Inter Frame Gap). Gigabit Ethernet - verkossa IFG on 96 nanosekuntia). Kaikkien kytkettyjen laitteiden mahdollisuutta lähettää dataa kutsutaan termillä MA (Multiple Access).
3. Jos asema havaitsee Carrier-signaalin, jää asema tarkkailemaan verkkoa eli palaa vaiheeseen 1.
4. Kaikilla laitteilla on mahdollisuus lähettää vapaaseen verkkoon dataa, jolloin saattaa tapahtua törmäyksiä. Törmäys aiheuttaa signaalin vääristymisen, jonka laitteet havaitsevat. Tätä kutsutaan termillä CD

(Collision Detect). Törmäyksen havaittuaan laite lähettää verkon muille laitteille 32 bittisen ilmoituksen, jota kutsutaan nimellä Jam-signaali. Tämän jälkeen laite odottaa perääntymisalgoritmin (backoff) määrittelemän ajan ja siirtyy takaisin vaiheeseen 1.

5. Mikäli 10MBit/s- tai 100MBit/s-asema on onnistunut lähettämään kehyksen ensimmäiset 512 bittiä ilman törmäyksiä, ei törmäyksiä enää esiinny. Tätä aikaa kutsutaan termillä Slot-time (Kimonen, 2007).



KUVIO 18. CSMA/CD-protokollan toiminta (Kimonen, 2007).

Backoff toimii perääntymisalgoritmina, jonka tarkoituksena on määritellä törmäyksen jälkeinen odotusaika, ennen datan uudelleenlähetyttä. Algoritmin laskukaava tuottaa satunnaisluvun, jonka seurauksena kaikki törmäyksen havainneet laitteet saavat eri backoff-algoritmin. Eri backoff-algoritmin saaminen on tärkeää siksi, että törmäyksen aiheuttaneet laitteet eivät lähettäisi seuraavalla kerralla dataa samanaikaisesti. (Kimonen, 2007.)

Slot-time-arvolla kutsutaan aikaa, jossa signaali kulkee edestakaisin maksimilaajuisen verkon päästä päähän. Koska Slot-time-arvon määrittelyssä

lasketaan yhteen kaikki verkon läpäisyviiveet, tulee siinä huomioida myös aikaviive törmäyksen tapahtumisen ja Jam-viestin lähettämisen välillä. Slot-time-arvo 512 bittiä on Ethernet-verkon vakio arvo. Slot-time-arvoa 512 bittiä käytetään sekä backoff-algoritmin perusaikayksikkönä että kanavan haltuunoton ylärajana. 512 bitin jälkeen törmäyksiä ei voi enää tapahtua, koska kyseinen laite on ottanut kanavan haltuunsa datan lähetyksen ajaksi. (Kimonen, 2007.)

Törmäyksistä toipuminen ja paluu normaalitilaan tapahtuu erittäin nopeasti, esimerkiksi 10 Mbit/S Ethernet-verkossa palautuminen tapahtuu sekunnin miljoonasosassa. Törmäykset eivät myöskään vaikuta datan eheyteen, koska tilanne ratkaistaan uudelleenlähetyksellä. Törmäysten määrä kasvaa käyttöasteen kasvun myötä. Suuria määriä törmäyksiä aiheuttaa vialliset verkkokortit, väärä verkkotopologia ja duplex-ristiriidat. (Kimonen, 2007.)

5.4.3. Full-duplex

Full-duplex-tila on kaksisuuntainen, eli laitteella on mahdollista lähettää ja vastaanottaa dataa samanaikaisesti. Tämä tehostaa Ethernet-verkkojen käyttöä kaksinkertaistamalla verkon teoreettisen nopeuden. (Kimonen, 2007.)

Full-duplex-tila toteutuu kolmella ehdolla:

1. Fyysisessä välineessä täytyy olla erilliset kanavat sekä vastaanotettavalle että lähettävälle datalle.
2. Yhteys muodostetaan vain kahden laitteen välillä.
3. Molempien laitteiden tulee tukea full-duplex-tekniikkaa (Kimonen, 2007).

Full-duplex-tilaiset Ethernet-verkot toteutetaan liitämällä verkon jokainen solmu kytkimessä omaan porttiinsa. Tällaista verkkorakennetta kutsutaan täysin kytketyksi verkoksi, jossa ei voi tapahtua törmäyksiä, eikä siirtotiestä tarvitse kilpailla muiden kanssa. (Silvola, 2006.)

5.5. 10 Gigabit Ethernet ja DWDM

10 Gigabit Ethernet – standardilla 802.3ae pyritään sekä laajentamaan protokolla 10 Gbit/s tiedonsiirtonopeuksille että mahdollistamaan Ethernet-sovellusten käytön WAN-verkoissa (World Area Network). 10 Gigabit Ethernet – protokolla säilyttää yhteensopivuuden aikaisempiin Ethernet-verkkoihin. (Pääkkönen, 2002.)

10 Gigabit Ethernet – verkon uusina ominaisuuksina on aallonpituuskanavointi DWDM-tekniikalla (Dense Wavelength Division Multiplexing), joka on riippumaton protokollasta ja tiedonsiirtonopeudesta. DWDM-tekniikka tarkoittaa usean eri aallonpituuden käyttöä samassa valokuidussa ja siten kapasiteetin kasvattamista. Ethernet-kehyksiä voidaan siirtää konvertoimatta tai kehystämättä kehystä toiseen formaattiin, jonka takia ratkaisut ovat yksinkertaisia, nopeita ja luotettavia. (Pääkkönen, 2002.)

5.6. Gigabit Ethernet - tekniikan tulevaisuus

Siirtyminen nopeampaan tekniikkaan, jo olemassa olevissa Ethernet-verkoissa, voidaan toteuttaa pienilläkin kustannuksilla, jos vain verkon laitteet ja kaapelointi on yhteensopivia nopeamman teknologian kanssa. Muissa verkoissa tullaan tarvitsemaan uusi cat6-tason kaapelointi ja Ethernet-tekniikan kanssa yhteensopivat verkkolaitteet. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2006.)

Ethernet-tekniikka on hyvin tunnettua ja Ethernet-protokolla hyvin testattu. Vanhat sovellusohjelmat ja protokollat ovat yhteensopivia Ethernet-tekniikan kanssa, joka on tällä hetkellä jo ylivoimaisesti käytetyin lähiverkkoteknologia. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2006.)

Gigabit Ethernet -tekniikka on verkkotekniikan tulevaisuutta. Gigabit Ethernet tarjoaa enemmän kaistanleveyttä, suurempia nopeuksia, tiedostojen jakomahdollisuuden sekä erinomaisen suorituskyvyn kustannustehokkaasti.

Useimmissa kannettavissa tietokoneissa ja pöytäkoneissa ovat jo nyt sisäänrakennetut Gigabit-sovittimet.

6. LÄHTÖKOHDAT

6.1. Yritysrakenne

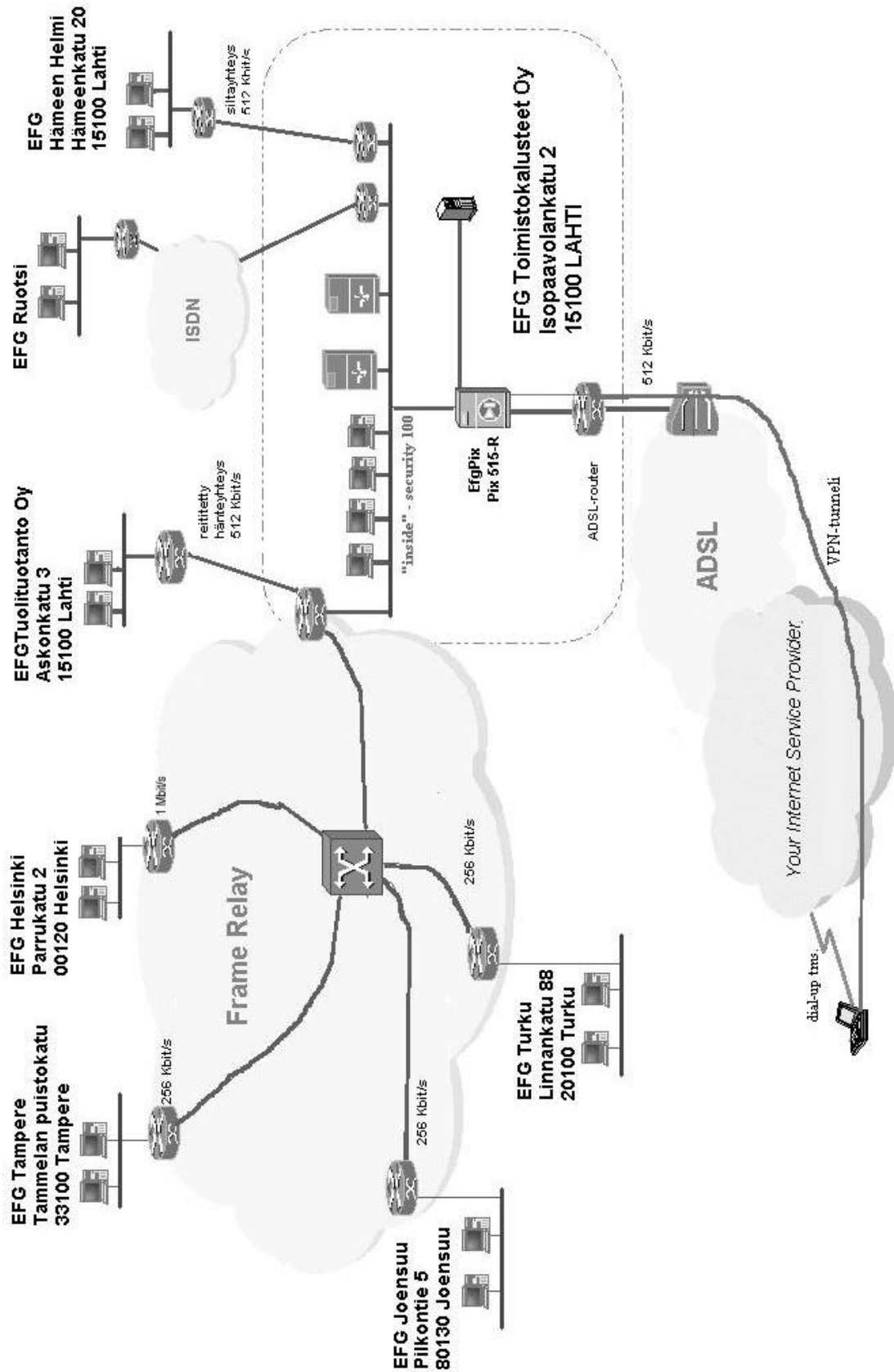
EFG Toimistokalusteet Oy:llä on Suomessa viisi myyntikonttoria, jotka sijaitsevat kattavasti ympäri Suomen. Myyntikonttorit sijaitsevat Helsingissä, Joensuussa, Lahdessa, Tampereella ja Turussa. Myyntikonttoreiden myyntihenkilöstön määrä vaihtelee 3-10 työntekijään, minkä lisäksi yrityksen pääkonttorissa työskentelee markkinointi-, tuki- ja hallintohenkilöstöä noin 10 henkilöä. Suomen myyntiyhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä ja EFG Ab konsernin pääkonttori Ruotsissa.

Yrityksen kaikilla henkilöillä on käytössään Microsoft Office paketti, joka pitää sisällään Word-, Excel-, PowerPoint- ja Outlook-ohjelman, ja asiakasrekisteri- ja ajankäytönsuunnitteluohjelma. Lisäksi myyntihenkilöstöllä on käytössään tilaus- ja laskutus- sekä 2D/3D-suunnitteluohjelma.

6.2. Nykyisen tietoliikenneverkon rakenne

Nykyinen tietoliikenneverkko on suunniteltu siten, että kaikki myyntikonttorit on yhdistetty Frame Relay - verkkoon. Jokaisella myyntikonttorilla on heidän verkonkäyttötarpeitaan vastaavat linjanopeudet, 256kb - 1Mb (HDSL; High-Speed Digital Subscriber Line).

Yrityksen pääkonttorissa on palomuurin kautta VPN-yhteys konsernin pääkonttoriin ja Internet-yhteys. VPN-yhteys ei takaa kaistan leveyttä julkisessa verkossa, minkä takia sen toimivuuden edellytyksenä on joko satunnainen tai kuormitukseltaan vähäinen liikenne. (Tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorio, 1997.)



KUVIO 19. Vanhentunut tietoliikenneverkko.

6.3. Muutokset työskentelytavassa

Aiemmin suurin osa käytettävistä ohjelmista oli asennettuna paikallisesti koneille, ja verkkoa kuormitti lähinnä satunnainen liikenne. Serverit sijaitsivat yrityksen Lahden toimitiloissa sekä sähköpostille että tilaus/laskutus- ja asiakasrekisteriohjelmien tietokannoille. Kaistanopeudet olivat riittäviä, eikä ohjelmien toiminnassa havaittu tietoliikenneyhteyksistä johtuvia haittoja.

Vuoden 2004 aikana konsernin toimesta tuli mahdolliseksi siirtyä koko konsernin kattavaan uuteen järjestelmään. Yksittäisillä myynti- ja tuotantoyhtiöillä oli oikeus tehdä oma itsenäinen valintansa uuteen järjestelmään liittymisestä, ja Suomen myyntiyhtiö teki syksyllä 2004 päätöksen mennä mukaan uuteen järjestelmään ja näin tuli tarpeelliseksi muuttaa yrityksen IT-infrastruktuuria. Järjestelmämuutoksen seurauksena palvelinserverit siirrettiin konsernin pääkonttoriin Ruotsiin ja myyntikonttoreissa otettiin käyttöön Citrix ICA MetaFrame - työpöydät. Uuden palvelun tarjoaja sijaitsi Tukholmassa.

Päätökseen vaikutti suuresti se, että sen hetkinen IT- laitekanta oli jo melko vanhaa, ja investoinnit laitekannan uusimiseksi olisivat olleet merkittäviä. Uuden Citrix ICA MetaFrame – tekniikan takia ei laitekannan uusiminen ole enää välttämätöntä ja jatkuvaa, ja uudet laitteet voivat olla ThinClient - tyyppisiä työasemia. Citrix ICA MetaFrame ei vaadi laitekannalta muuta kuin aktiivisen tietoliikenneverkon. Pääteistunnoissa käyttäjälle siirretään ainoastaan näytön ikkunatieto sekä hiiri- ja näppäinkomennot (AKS-kurssit, 2004).



KUVIO 20. Citrix ICA MetaFrame - malli (AKS-kurssit, 2004).

6.4. Epäkohdat

Ongelmia aiheuttavat myyntikonttoreiden hitaat linjanopeudet ja VPN-yhteys yhtiön pääkonttorista Ruotsiin. Tämä näkyy käyttäjällä erityisesti kuviomateriaalia sisältävien tiedostojen ja niitä käyttävien ohjelmien käsittelyssä. Ongelmat näkyvät selvänä hitautena näytöllä ja tulostusongelmana. Yrityksellä on käytössä 2D/3D-suunnitteluohjelma, jonka pyörittäminen ja valokuvatarkkojen materiaalien käyttö on erityisen hankalaa uudessa järjestelmäympäristössä.

Käyttäjäpalautteen oltua erittäin huonoa päätettiin perustaa työryhmä, jonka tehtävänä oli selvittää, miten tietoliikenneverkkoa voitaisiin muuttaa niin, että verkko olisi mahdollisimman joustava ja käyttäjäystävällinen. Tavoitteena oli vuoden 2005 aikana toteuttaa verkon uudistus.

7. VERKON UUDISTAMINEN

7.1. Nykyisen verkon kehittäminen

Ensimmäisenä vaihtoehtona puntaroitiin nykyisen verkon kehittämismahdollisuuksia. Vaihtoehtoina olivat joko suorat Internet-yhteyden myyntikonttoreista tai nykyisen verkon kaistanopeuksien nostaminen. Suorat Internet-yhteydet myyntikonttoreista olisivat tarkoittaneet paikallisia palomureja, mikä olisi tarkoittanut lisääntyvää IT-tuen tarvetta konttoreiden henkilöstöltä ja laskutuksen kasvua eri palveluntarjoajilta.

Pyydettiin tarjous nykyiseltä verkkopalvelun toimittajalta kaistanopeuksien nostamisesta. Tarjouksen katsottiin kuitenkin olevan liian kalliin, joten päädyimme kehittämään verkkoamme nykyaikaisemmaksi.

7.2. Palveluntarjoajien tarjouskilpailutus

Loppuvuodesta 2004 laadittiin tarjouspyyntöpohja, jossa määriteltiin yrityksen tietoliikenne- ja palveluntarve (liite 1). Tarjouspyynnön liitteenä lähetettiin tarjouserittely, jonka mukaisesti tarjouspyyntöön pyydettiin vastaamaan (liite 2).

Tarjoukset pyydettiin 5 suurimmalta palvelun tarjoajalta ja tarjouksen liitteenä pyydettiin toimittamaan palveluntarjoajan palvelunkuvaukset ja tekniset tiedot. Annetun ajan puitteissa saimme 4 tarjousta, joiden pohjalta tehtiin vertailutaulukko (taulukko 3). Taulukossa näkyy nykyinen tilanne verrattuna eri palveluntarjoajien antamiin tarjouksiin. Laskelmassa on arvioitu vuoden aikana kertyvät tietoliikenne- ja puhelinkulut, ja laskelmassa on käytetty hyödyksi yrityksessä vuonna 2004 toteutuneita data- ja puhelinpalveluiden käyttöastetta.

TAULUKKO 9. Tarjousvertailu.

	Nykyinen ratkaisu	Tarjous no 1	Tarjous no 2	Tarjous no 3	Tarjous no 4
Lankapuhelin-kulut	16 989,02 €	15 795,73 €	11 054,77 €	15 260,39 €	18 437,36 €
GSM-kulut	35 828,76 €	17 735,38 €	15 058,79 €	16 785,75 €	19 032,33 €
Dataliikennekulut	24 924,00 €	25 380,00 €	32 796,00 €	13 500,00 €	30 228,00 €
Yhteensä	77 741,78 €	58 911,11 €	58 909,56 €	45 546,14 €	67 697,69 €
Kulujen väheneminen (%)		24,2 %	24,2 %	41,4 %	12,9 %
Vuotuinen säästö		18 830,67 €	18 832,22 €	32 195,64 €	10 044,09 €

Saadut tekniset palautteet osoittivat, että monipalveluverkon tarjoajat pystyvät täyttämään kaikki projektiryhmän asettamat tekniset tavoitteet. Hinta-laatusuhteeltaan parhaan palvelun tarjoajan valinta johtaa merkittäviin säästöihin vuositasolla ja näin ollen saavutetaan liiketoiminnallista etua, ja lisäksi kaikkien palveluiden keskittäminen luotettavalle ja kokoluokaltaan merkittävälle palveluiden tarjoajalle katsottiin tuovan yritykselle lisäetuuksia.

Valittiin tarjouksen no 3 antaneen palveluntarjoajan tarjous ja päädyttiin kehittämään tietoliikenneverkko monipalveluverkoksi, jossa ääni, video, data ja multimedia ovat yhdistettynä samassa verkossa. Valitun palveluntoimittajan runkoverkko on eräs Euroopan nopeimmista data- ja internetliikenteen tietoliikenneverkoista. Tämä vaikutti myös valintapäätökseen, koska tulevaisuudessa koko konserni pystyisi tarvittaessa hyödyntämään samaa runkoverkkoa tietoliikenteessään.

7.3. Palveluntarjoajan valintaan vaikuttaneet seikat

7.3.1. Kustannukset ja niiden selkeys

Tarjousvertailulaskelmat osoittivat huomattavaa (n. 41 %) kustannussäästöä tulevan vuoden 2006 data- ja puhepalveluiden laskutuksessa. Lisäksi laskutus yksinkertaistuu ja selkeytyy, koska kaikki palvelut ovat yhdeltä palvelun tarjoajalta. Tämä tarkoittaa laskujen käsittelyajan lyhenemistä. Erityinen säästö tulee GSM- ja VoIP-puheluista ja myöhemmin toteutettavasta push-to-talk ominaisuudesta, jotka mahdollistavat ilmaiset ”sisäpuheluk” oman henkilöstön välillä riippumatta toimipaikasta ja lankapuheluiden laskuttamisen paikallispuheluina riippumatta etäisyydestä.

7.3.2. Verkkotekniikka

MPLS protokollaa hyödyntävä PON-laajakaistaverkko IP-VPN palvelulla ja tekee verkosta nopean, kustannus tehokkaan ja turvallisen. Verkko mahdollistaa mahdollisen kasvun myötä tulevat laajentamistarpeet, kuten uusien toimipisteiden, sivukonttoreiden, kotitoimistojen ja PDA-laitteita käyttävien etätyöntekijöiden liittämisen verkkoon ilman nykyisten toimintojen vaarantumista. VoIP-puheluiden ja videoneuvottelujen käyttäminen on mahdollista. Lisäksi verkko on turvallinen ja kaistaltaan taattu. (TDC Song Palvelunkuvaus IP-VPN.)

Valitun palveluntarjoajan MPLS valokuiturunkoverkko mahdollistaa 10 Gigabit Ethernet – ja DWDM-tekniikan. DWDM-tekniikan avulla voidaan kasvattaa valokaapelin siirtokapasiteettia. DWDM-tekniikka mahdollistaa jopa 80 erillisen datakanavan siirtämisen yhdellä valokaapelilla, kun kullekin kanavalle käytetään eri aallonpituuksia. (TDC Song Palvelunkuvaus IP-VPN.)

Runkoverkko on rakennettu rengasmaisesti, joka mahdollistaa automaattisen uudelleen reitityksen ja hyvän käytettävyyden. Runkoverkko on laaja ja kattaa

koko pohjoismaat. Tämä on koko konsernin tulevia IT-ratkaisuja ajateltaessa suuri potentiaalinen etuus. (TDC Song Palvelunkuvaus IP-VPN.)

IP-VPN-palvelu on rakennettu tietoturvalliseksi. Asiakkaalle rakennetaan palveluntarjoajan verkkoon oma virtuaalinen privaattiverkko, jossa on omat asiakaskohtaiset reititystaulut. Runkoverkossa tapahtuvien vikojen korjaus tapahtuu nopeasti ja paikallisyhteyksissä palvelusopimuksessa sovitun ajan puitteissa. (TDC Song Palvelunkuvaus IP-VPN.)

7.3.3. Raportointi ja lisäpalvelut

Verkon toiminnasta on saatavissa raportteja, joita voidaan hyödyntää esim. markkinointi toimenpiteiden toteutumisen seuraamisessa. Raportoinneissa voidaan seurata esim. puheluiden määrää jonkin tietyn konttorin alueella, jossa on toteutettu iso markkinointikampanja.

Verkon toimittajan lisäpalveluina voidaan tarvittaessa hyödyntää esim. puhelinvaihdetta, sähköistä laskutusta ja sähköistä kauppaa. Lisäksi IT-osaamista voidaan haluttaessa ulkoistaa TDC Songille.

7.4. Toteutus

Monipalveluverkko on päätetty toteuttaa yrityksessä vuoden 2005 aikana. Lisäksi yrityksessä tullaan ottamaan käyttöön joitain palveluntarjoajan tarjoamista lisäpalveluista, kuten puhelinvaihteen käyttö ja raportointi.

Yrityksen tietoliikenneverkko tullaan uusimaan siten, että tietoliikenneverkko tulee paremmin palvelemaan yrityksen henkilöstöä sekä antaa joustavan ja luotettavan työympäristön käyttäjilleen. Käyttäjät eivät tule välttämättä huomaamaan jokapäiväisessä työympäristössään merkittäviä muutoksia, eivätkä näin ollen kohtaa kouluttautumistarvetta. Ainoa huomattava seikka tulee olemaan verkkoliikenteen nopeutuminen.

8. MUUTOSTYÖLLÄ SAAVUTETUT TULOKSET

8.1. Yleistä

Uusi monipalveluverkko otettiin käyttöön vaiheittain vuosien 2005 ja 2006 vaihteessa. Muutostyöt aloitettiin ensin data-verkossa, siten että uuteen data-verkkoon siirryttiin myyntikonttori kerrallaan. Tämän jälkeen otettiin käyttöön VoIP-puhelimet ja faksit samalla tavoin. Käyttökatkokset muutoksen aikana olivat vähäisiä, ja siirtyminen uuteen järjestelmään sujui ilman suurempia ongelmia.

Jokaiseen myyntikonttoriin tuli uuden palveluntarjoajan valmiiksi konfiguroimat reitittimet ja VoIP-lankapuhelimia sekä faksi adaptereita konttorin tarpeiden mukaisesti. Samassa yhteydessä konttoreihin vaihdettiin uudet kytkimet.

Henkilöstö koulutettiin palveluntarjoajan toimesta käyttämään uutta VoIP-puhelinominaisuutta, ja samalla siirryttiin yhden mobiili puhelinlaitteen järjestelmään sekä luovuttiin suuresta osasta lankapöytäpuhelimia. Henkilöstön kouluttaminen uuteen puhelinjärjestelmään onnistui odotusten mukaisesti.

8.2. Nopeus ja liiketoiminnallinen hyöty

Uuden verkon kaistanopeudet havaittiin riittäviksi ja muutos vanhaan oli merkittävä. Käyttöasteen mahdollisesti kasvaessa on tarkoitus tarvittaessa päivittää kaistanopeuksia.

Vuoden 2004–2006 aikana tehdyissä data- ja puhelinlaskuvertailuissa havaittiin selvä kulujen väheneminen. Vuosi 2005 oli siirtymävuosi, mutta vuosi 2006 voidaan laskea kokonaiseksi vuodeksi uudessa järjestelmässä. GSM- ja lankapuhelinkulun merkittävä hinnanpudotus jo vuoden 2005 aikana viittaa siihen, että puhelujen markkinahinnat laskivat merkittävästi jo ennen kuin uusi järjestelmä otettiin käyttöön. Vuonna 2006 on kuitenkin puheluiden hinnasta

tipahtanut uuden järjestelmän puitteissa vielä 2 %:a. Data-verkkokulujen hinnanpudotus on ollut erittäin merkittävä vuodesta 2006 lähtien.

TAULUKKO 10. GSM- ja lankapuhelin- sekä data-verkkokulujen kuluvertailu.

GSM- ja lankapuhelinkulut	vanha 2004	siirtymä 2005	uusi 2006
tammikuu	5 125 €	3 450 €	5 284 €
helmikuu	2 542 €	3 816 €	811 €
maaliskuu	5 801 €	4 252 €	3 338 €
huhtikuu	4 690 €	3 040 €	2 493 €
toukokuu	6 917 €	3 574 €	2 826 €
kesäkuu	3 308 €	4 023 €	2 758 €
heinäkuu	7 316 €	2 622 €	801 €
elokuu	2 816 €	2 312 €	4 436 €
syyskuu	6 268 €	4 226 €	2 887 €
lokakuu	3 271 €	2 975 €	2 710 €
marraskuu	6 619 €	3 169 €	2 784 €
joulukuu	1 538 €	975 €	6 500 €
Keskimääräinen käyttäjämäärä	31,1	32,1	32,3
Yhteensä	56 211 €	38 436 €	37 628 €
Kulut/käyttäjä	1 807 €	1 197 €	1 165 €
Kulujen väheneminen (%)		34 %	36 %
Data-verkkokulut	14 064 €	12 746 €	8 790 €
Kulujen väheneminen (%)		9 %	38 %

Kulusäästön seurauksena tehtiin merkittäviä IT-investointeja. Data- ja puhelinkulusäästöjen ansiosta hankittiin myyntikonttoreihin uudet litteät näytöt, kannettavia tietokoneita, ThinClient-laitteita ja PC-keskusyksiköjä ja lisäksi kaikille GSM-liittymien haltijoille hankittiin uudet GSM-laitteet.

9. JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1. Työn onnistuminen ja tavoitteiden toteutuminen

Tietoliikenneverkon uudistamisen lähtökohtana olivat järjestelmämuutokset, joiden takia ohjelmistoserverit siirrettiin konsernin pääkonttoriin Ruotsiin ja myyntikonttoreissa otettiin käyttöön Citrix ICA MetaFrame. Citrix ICA Client -palvelun tarjoaja ja MetaFrame-serverit sijaitsevat Tukholmassa. Citrix ICA MetaFrame ei vaadi laitekannalta jatkuvaa uudistamista, ja sujuva tietoliikenne on erittäin tärkeä seikka yhtiön toimintojen kannalta. Yrityksellä on Suomessa viisi myyntikonttoria, Joensuu, Lahti, Tampere, Turku ja Helsingin pääkonttori, joiden puhelin- ja tietoliikenneverkkoratkaisua pyrittiin parantamaan ja saamaan kulut alas.

Yrityksen kaikilla viidellä myyntikonttorilla oli Suomessa omat sopimuksensa paikallisten lankapuhelin-, matkapuhelin- ja laajakaistapalvelujen tarjoajien kanssa. Tietoliikenne, lankapuhelin ja matkapuhelin laskujen määrät kuormittivat laskutusta, ja lisäksi niiden tarkistaminen ja hyväksyminen kuluttivat paljon eri henkilöiden työaika. Erillisten sopimusten hallittavuus, vertailu ja kilpailuttaminen oli hankalaa, koska sopimukset on tehty suoraan kyseisestä myyntikonttorista. Yhteistyökumppaneita oli useita, jolloin yhtenäisten sopimusneuvottelujen etuuksia ei pystytty hyödyntämään.

Vanhan Frame Relay – verkon heikkoutena oli hitaus, joka aiheutui vuonohjauksen puuttumisesta ja yksittäisen palveluntason määrittelyn puuttumisesta. IP-verkkojen tulevaisuuden tärkeimmiksi protokolliksi olivat muodostumassa MPLS- ja GMPLS-protokollat. Nopeat optiset verkot ovat tulevaisuutta, ja Frame Relay verkot tulevat poistumaan.

Verkkoyhteyksien nopeudet kasvavat, verkkojen kapasiteetti lisääntyy, ja samalla siirtokapasiteetin hinta halpenee. Verkkokehityksen odotetaan mahdollistavan monipuolisten multimediaa hyödyntävien sovellusten kehittämisen sekä

tehokkaan ja taloudellisen hyödyntämisen. Uusien laajakaistapalvelujen myötä verkkoliikenteen tärkeimmän osan tulee muodostamaan monimuotoinen dataliikenne, ja samalla perinteisen puhelinliikenteen suhteellinen merkitys tulee pienenemään. Näihin tulevaisuuden näkemyksiin perustuen oli tarjouspyynnön tärkeimpinä kriteereinä kaikkien palveluiden saaminen samalta palveluntarjoajalta, parhaalla mahdollisella hinta-laatusuhdetekniikalla. Tähän perustuen laadittiin tarjouspyyntö ja saaduista vastauksista tehtiin vertailu eri tarjouksen antaneiden palveluntarjoajien hintojen ja heidän tarjoamiensa palveluiden välillä. Valinnassa päädyttiin palveluntarjoajan, jonka runkoverkko on eräs Euroopan nopeimmista data- ja internetliikenteen tietoverkoista. Eräänä tärkeänä valintaan vaikuttaneena seikkana oli palveluntarjoajan kyky tarjota meille haluamamme palvelut parhaalla hinta-laatusuhteella.

Valitun palveluntarjoajan verkko on toteutettu MPLS-tekniikalla, joka mahdollistaa VoIP-puheluiden ja videoneuvottelujen käyttämisen. Lisäksi verkko on turvallinen ja kaistaltaan taattu. Valittu valokuiturunkoverkko mahdollistaa 10 Gigabit Ethernet – ja DWDM-tekniikan. DWDM-tekniikka mahdollistaa jopa 80 erillisen datakanavan siirtämisen yhdellä valokaapelilla, kun kullekin kanavalle käytetään eri aallonpituuksia.

Valitun palveluntarjoajan runkoverkko on rakennettu rengasmaisesti, joka mahdollistaa automaattisen uudelleen reitityksen ja hyvän käytettävyyden. Runkoverkko on laaja ja kattaa koko pohjoismaat. Tämä on koko konsernin tulevia IT-ratkaisuja ajateltaessa suuri potentiaalinen etuus. Runkoverkko on suljettu ja tietoturvallinen. Asiakkaalle rakennetaan palveluntarjoajan verkkoon oma virtuaalinen privaattiverkko, jossa on omat asiakaskohtaiset reititystaulut. Runkoverkossa tapahtuvien vikojen korjaus tapahtuu nopeasti ja paikallisyhteyksissä palvelusopimuksessa sovitun ajan puitteissa.

Verkon toteutuksessa käytetty MPLS-tekniikka on siirtoyhteyksiin riippumaton, joten MPLS mahdollistaa käytössä olevien tiedonsiirtotekniikoiden (ATM, Frame Relay, Ethernet, jne.) hyödyntämisen ilman yhteensopivuusongelmia IP-protokollan kanssa. MPLS-tekniikka on avannut tiensä monilla toimialoilla toimintaprosessien tehostamisen takia, mikä on tuonut uusia vaatimuksia

tietoliikenneverkoille. Yritysverkkojen tulee olla tänä päivänä vikasietoinen, eri järjestelmien tietoliikenne pystyttävä erottamaan luotettavasti toisistaan, palvelun laatu on taattava ja tietoturvatason on oltava korkea. MPLS-tekniikka on käytännössä ainoa verkkoteknologia, johon maailmalla tällä hetkellä investoidaan.

Opinnäytetyö oli kokonaisuutena onnistunut, ja työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Löydettiin järjestelmäratkaisu, joka tulee paremmin palvelemaan yritystä. Tämä on kokonaisvaltainen tietoliikenne-, lankapuhelin- ja GSM-palveluiden keskittämISRatkaisu, josta tullaan saamaan etuuksia, kustannussäästöjä ja liiketoiminnallista hyötyä.

9.2. Jatkotoimet ja tulevaisuus

Tietoverkkopalveluja tullaan jatkossa kilpailuttamaan aina sopimuskauden päättyessä, jotta päästään taloudellisesti parhaaseen mahdolliseen tulokseen sekä tietoteknisesti että kustannuksellisesti.

MPLS-tekniikan tulevaisuus on kehittyneemmässä GMPLS-tekniikassa. GMPLS mahdollistaa useiden eri tekniikoiden yhdistämisen optiseen verkkoon ja tarjoaa Metro Ethernet verkoille monipuolisen, turvallisen ja nopean datasiirtotekniikan. GMPLS-tekniikka korvaa MPLS-tekniikan sitä mukaan, kun Metro Ethernet verkot yleistyvät. Metro Ethernet – verkkojen toteuttaminen Gigabit Ethernet -tekniikalla on verkkotekniikan tulevaisuutta, jolloin verkot tulevat tarjoamaan enemmän kaistanleveyttä, suurempia nopeuksia, tiedostojen jakomahdollisuuden sekä erinomaisen suorituskyvyn kustannustehokkaasti.

LÄHDELUETTELO

- Ahoma, Ossi, Palvelun laatu [verkkodokumentti]. 2001 [viitattu 1.3.2007].
 Saatavissa:
<http://www.cs.helsinki.fi/u/summanen/opetus/2001/MM/suunnitelmat/ahomaa.txt>
- AKS-kurssit, Citrix [verkkodokumentti]. 2003 [viitattu 4.10.2004]. Saatavissa:
http://www.aks.fi/cgi-bin/download/Pekka_Tiainen_Access_Suite_Strategy.pdf
- Balliache, Leonardo. Practical QoS [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 1.3.2007].
 Saatavissa: <http://www.opalsoft.net/qos/MPLS-10.htm>
- Cisco, Introduction to Gigabit Ethernet [verkkodokumentti]. 2000 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/Inty/etty/ggetty/tech/gibt_tc.pdf
- Cisco, Multiprotocol Label Switching [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 1.3.2007]. Saatavissa: <http://www.iec.org/online/tutorials/mpls/>
- Cisco, MPLS Security Overview [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 1.9.2007].
 Saatavissa:
http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps6822/c1161/cdcecont_0900aecd803b4552.pdf
- Data Connection, DC-MPLS [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 1.3.2007].
 Saatavissa: <http://www.dataconnection.com/mpls/default.htm>
- Hämäläinen & Ristiniemi, Lähiverkkojen erikoistyyökurssi. [verkkodokumentti]. 2006 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa: http://www.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5316800/seminarit/MPLS-verkkoteknologia_Matti_Hamalainen_Jukka_Ristiniemi_seminaari.pdf
- IETF RFC: 3031 [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 1.3.2007]. Saatavissa:
<http://tools.ietf.org/html/rfc3031>
- IETF RFC: update 3032 ja 4023 [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 1.3.2007].
 Saatavissa: <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-mpls-multicast-encaps-03>
- Köppä, Sami. Frame Relay. [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 5.9.2007].
 Saatavissa: <http://www.tpu.fi/~t3mkoppa/tietoliikenne/vko14.doc>
- Lamberg & Laiho, BGP/MPLS-VPN [verkkodokumentti]. 2002 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
<http://tisu.it.jyu.fi/terabitti/Documents/MPLS-VPN.pdf>
- Ficora, Viestintäverkkojen kehitysraportti [verkkodokumentti]. 2002 [viitattu 1.3.2007]. Saatavissa:
http://www.ficora.fi/attachments/suomi_R_Y/1158858972592/Files/CurrentFile/Viestintaverkkojenkehitys_raportti.pdf

- Ericsson, Multi-Protocol Label Switching [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 10.5.2005]. Saatavissa:
<http://www.ericsson.com/fi/technology/MPLS.shtml>
- Gallaher, Rick 2003. MPLS Training Guide - Building Multi Protocol Label Switching Networks.
- Gigabit Ethernet Alliance, Gigabit Ethernet [verkkodokumentti]. 1998 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
<http://web.nps.navy.mil/~nschneid/is3502/Gigabit%20Ethernet.pdf>
- Helsingin TKK, Tietoverkkolaboratorio, Label Switching [verkkodokumentti]. 2001 [viitattu 1.3.2007]. Saatavissa:
<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38121/s01/Slides/kalvot8.pdf>
- IEC (International Engineering Consortium), MPLS [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 1.3.2007]. Saatavissa:
<http://www.iec.org/online/tutorials/mpls/>
- Kimonen, Veli-Matti, Runkoverkon hallinta [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
http://www.wpk.tpu.fi/Tutkinto/seminaariin/ont_kimonen.pdf
- Lapin Yliopisto, Informaatioteknologian approbatur materiaali [verkkodokumentti]. 2003 [viitattu 1.9.2007]. Saatavissa:
<http://www.ulapland.fi/files/2003012210022Luku610.pdf>
- Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tietokoneverkot ja datasiirto [verkkodokumentti]. 2006 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
http://www.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5312300/Luennot/04_LAN.pdf
- Martell, Edoardo, MPLS [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 8.9.2007]. Saatavissa:
http://emartell.home.cern.ch/emartell/done/cern/mpls_presentation-20040618.pdf
- Marttinen, Jari, Frame Relay [verkkodokumentti]. 1997 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa: <http://www.cc.jyu.fi/~jarmart/fr.htm>
- Pakarinen, Tuomo, Frame Relay'n toimintaperiaate [verkkodokumentti]. 1996 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38116/1997/esitelmat/40574/>
- Perros, Harry G. 2005. Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and Optical Networks.
- Polaris, GMPLS – The New Big Deal in Intelligent Metro Optical Netorking [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 8.9.2007]. Saatavissa:
<http://www.polarisnetworks.com/images/PDF/GMPLSWhitePaperComplete.pdf>
- Proessori, Kuituyhteys tulee kotiin [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa:
<http://www.proessori.fi/es05/ARKISTO/KUITUYHTEYS.HTM>
- Proessori, Terabittiverkko - Nopea älyverkko [verkkodokumentti]. 2000 [viitattu 10.5.2005]. Saatavissa:
<http://www.proessori.fi/es00/arkisto/PDF/TERABITT.PDF>

- Puolustustaloudellinen suunnittelukunta, Next Generation Networks [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa: http://www.huoltovarmuus.fi/documents/3/TYS-2005-3_Next-Generation_Networks-Loppuraportti_final.pdf
- Pääkkönen, Mikko, Runkoverkkojen toteutus Ethernet tekniikoilla [verkkodokumentti] 2002 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa: http://tisu.it.jyu.fi/terabitti/Documents/Eth_raportti.pdf
- SearchNetworking.com – GMPLS [verkkodokumentti]. 2007 [viitattu 8.9.2007]. Saatavissa: http://searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci950984,00.html
- Semeria, Chuck 1999. Multi Protocol Label Switching, Enhancing Routing in the New Public Network.
- Silvola, Risto, Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet –ratkaisut automaatiojärjestelmissä [verkkodokumentti] 2006 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa: <http://ae.tut.fi/research/AIN/Publications/ThesisSilvola.pdf>
- TDC Song Palvelunkuvaus IP-VPN. TDC Song.
- Tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorio, VPN [verkkodokumentti]. 1997 [viitattu 12.5.2005]. Saatavissa: <http://www.tml.hut.fi/Studies/Tik-110.300/1997/Essays/vpn.html>
- Tekes, Tulevaisuuden verkot 2001-2005 [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 3.9.2007]. Saatavissa: http://www.tekes.fi/julkaisut/NETS_final.pdf

LIITTEET

LIITE 1/1

TARJOUSPYYNTÖ

20.12.2004

1(2)

TARJOUSPYYNTÖ TIETOLIIKENNEPALVELUISTA

EFG Toimistokalusteet Oy kuuluu Euroopan kattavaan EFG European Furniture Group AB –konserniin. Suomessa toimimme 5 paikkakunnalla ja tarjoamme asiakkaillemme täydellistä kalustevalikoimaa toimistojen ja julkisten tilojen sisustukseen.

Olemme etsimässä uutta ratkaisua tietoliikennepalveluihimme ja toivomme saavan yhden tai korkeintaan kaksi yhteistyökumppania koko Suomeen.

Aikataulu

Vastaukset pyydämme toimittamaan 5.1.2005 mennessä osoitteella:

EFG Toimistokalusteet Oy
Ilkka Metsäsalo
Tammelan puistokatu 23 A
33500 Tampere

EFG Toimistokalusteet Oy:ssä asiaa hoitaa allekirjoittanut puh. 03 – 3141 9212 tai gsm 0400 – 498 977. Annan mielelläni tarvittaessa lisätietoja.

Tiedot

Pyydämme, että täytätte ohessa olevan hintataulukon ja toimitatte sen määräaikaan mennessä oikeaan osoitteeseen.

Liitteeksi tarjoukseen palvelukuvaukset ja muut mahdolliset lisätiedot (esim. lisäpalvelujen esitteet).

Yleiset vaatimukset

Vaihdenumerot kaikkiin Suomen konttoreihin, mutta ainoastaan Helsingin konttoriin tarvitaan fyysinen vaihde (voidaan tarjota myös ulkoistettuna palveluna).

Kaikki pöytäpuhelimet näyttöruudulla varustettuina.

Puhelinten, faxien ja tietoliikenneyhteyksien määrät hintataulukon mukaisesti.

LIITE 1/2

TARJOUSPYYNTÖ

20.12.2005

2(2)

Muut kustannukset	Pyydämme, että kaikki kustannukset olisivat näkyvissä liitteenä olevassa hintataulukossa. Muuten kaikki erilliset kustannukset lueteltava ja hinnoiteltava.
Toimitusaika	Pyydämme ilmoittamaan järjestelmän ja palveluiden toimitusajan tilauksesta.
Liitteet	Hintataulukko, kaikki hinnat ilmoitettava ALV 0%

Ystävällisin terveisin
EFG Toimistokalusteet Oy

Ilkka Metsäsalo

Tarjouspyynnön liite

1/4

EFG TOIMISTOKALUSTEET OY:N TIETOLIIKENNEPALVELUT

Viitaten tarjouspyyntöönne päivätty 20.12.2004, tarjoamme Teille yllä mainitussa tarjouspyynnössä määritellyjä tuotteita ja palveluita seuraavasti:

Tarjouksen tekijä

Nimi: _____

Osoite: _____

Puhelin: _____

Tarjoajan yhteyshenkilö: _____

Sähköpostiosoite: _____

Hinnoittelu**2.1 Puhelinpalvelut**

Tarjouspyynnön mukaisen puhepalvelun toteuttamiseen vaadittavien laitteiden sekä yleisen puhelinverkon liittymien hinnoittelu.

Hinnat alv 0 %.

Vaihdenumeron- ja puhelimille asetetut tarkemmat määritelmät tarjouspyynnössä.

Toimipistekohtaisesti:

	Hinta/kk	Asennus
Helsinki (20 puh + 2 faxia)	_____ euroa / kk / 36 kk	_____ euroa
Liittymä _____	_____ euroa / kk	_____ euroa
Vaihdenumero	_____ euroa / kk	_____ euroa
Tampere (6 puh + 1 fax)	_____ euroa / kk / 36 kk	_____ euroa
Liittymä _____	_____ euroa / kk	_____ euroa
Vaihdenumero	_____ euroa / kk	_____ euroa
Turku (4 puh + 1 fax)	_____ euroa / kk / 36 kk	_____ euroa
Liittymä _____	_____ euroa / kk	_____ euroa
Vaihdenumero	_____ euroa / kk	_____ euroa
Lahti (4 puh + 1 fax)	_____ euroa / kk / 36 kk	_____ euroa
Liittymä _____	_____ euroa / kk	_____ euroa
Vaihdenumero	_____ euroa / kk	_____ euroa

Tarjouspyynnön liite

2/4

Joensuu (3 puh + 1 fax)	_____ euroa / kk / 36 kk	_____ euroa
Liittymä _____	_____ euroa / kk	_____ euroa
Vaihdenumero	_____ euroa / kk	_____ euroa
Koko järjestelmän huoltosopimus (kuvauksen voi toimittaa erillisenä liitteenä)	_____ euroa / kk	

Järjestelmän lisäoptiot (lyhyt kuvaus):

2.2 Lankapuhelinliikenteen palvelut

Paikallispuhelut (ppm)	_____ snt / kpl + _____ snt/min
Paikallisverkkomaksu (pvm)	_____ snt / kpl + _____ snt/min
Kotimaan kaukopuhelut	_____ snt / min + pvm
Toimipisteiden väliset puhelut lankaverkossa	_____ snt / kpl + _____ snt/min
Puhelut suomalaisiin matkaviestinverkkojen liittymiin Suomessa	_____ snt/min
Sisäpuhelut matkapuhelimiin	_____ snt/min
Ulkomaanpuhelut tärkeimpiin kohtemaihin	Ruotsi _____ snt/min + pvm
	Englanti _____ snt/min + pvm
	Tanska _____ snt/min + pvm

2.3 Matkapuhelinliikenteen palvelut

Liittymän avausmaksu	_____ euroa
Liittymän kuukausimaksu	_____ euroa / kk
Puhelut normaalihintaisiin suomalaisiin matkaviestinverkkojen ja lankapuhelinverkkojen numeroihin Suomessa	_____ snt/min
Sisäpuhelut Ostajan matka- ja lankapuhelimiin	_____ snt/min
Tekstiviestit	_____ snt/kpl

Muiden tuotteiden hinnoittelun osalta noudatetaan yllä olevien tämän tarjouksen mukaisia hinnoitteluperiaatteita.

Tarjouspyynnön liite

4/4

Joensuu,	1/1 Mbit/s	_____ euroa/kk	_____ euroa
	2/2 Mbit/s	_____ euroa/kk	_____ euroa
Lisätyöt, muut hinnoitteluelementit, pakolliset maksut		_____ euroa/kk	_____ euroa

Erittely yo maksuista mitä ovat:

2.4 Palvelutaso

Hintaan sisältyy palvelutaso _____ tunnin vasteajalla klo ____ - ____

Tarjouksen tekijä

Olen tutustunut tarjouspyyntöasiakirjoihin ja sitoudun toimittamaan edellä mainittuja tuotteita ja palveluita tarjouspyynnössä ja tässä tarjouksessa mainituin ehdoin.

Päiväys

Allekirjoitus ja asema yrityksessä