

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

ALUEVERKON UUDISTAMINEN

**Työn tekijä: Sammy Loitto
Työn valvoja: Jouko Kurki
Työn ohjaaja: Mika Nysten**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Jouko Kurki
Yliopettaja**

ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin TeliaSonera Finland Oy:lle. Työssä vastattiin verkkoteknologia-yksikön tarpeeseen kehittää alueverkkoa ja uusia vanhentunutta teknologiaa käyttäviä alueverkkoja. Olen toiminut yrityksen palveluksessa vuodesta 2004 lähtien, joten oli luontevaa yhdistää insinööri työ ja työni.

Työn sisältö oli minulle aluksi vaikea rajata, mutta ohjaajan ja valvojan avulla sain selkeän kuvan siitä, miten työ tulisi rajata. Oman työtehtäväni vaihtuminen kesken työn vaikutti myös sisältöön. Sisältö sai laajemman sisällön uuden tehtävän uusien näkökulmien ansiosta.

Työ tehtiin pääosin käyttäen TeliaSoneran verkkodokumentointiohjelmiä. Erilaisia kartta-ohjelmia käytettiin myös hyväksi. Työn yhteydessä tutustuin kohteena olevaan alueverkkoon myös käymällä työn kannalta merkittävillä laiteasemilla.

Kiitän työn ohjaajaa Mika Nysteniä hyvästä ohjauksesta, Henrik Lehtistä työn aiheesta, Jari Kauppista kohdealueen esittelystä, sekä kaikkia työkavereitani tuesta ja minunkin taakkani kantamisesta. Erityisesti haluan kiittää Ari Åmania ja Leif Rönnerbergiä opastuksesta verkon rakenteesta ja verkossa käytetyistä teknologioista ja laitteista.

Kiitän myös työnvalvojaa yliopettaja Jouko Kurkea loistavasta opastuksesta ja joustavasta yhteistyöstä sekä Jussi Alhorinnettä kieliasuntarkastuksesta.

Tämän työn tekeminen on antanut minulle paremman ymmärryksen verkon rakenteesta ja sen kehityksestä. Tämän insinööri työn tekeminen auttaa minua tulevaisuudessa urallani verkko-operaattorilla.

Helsingissä 12.4.2008

Sammy Loitto

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Sammy Loitto	
Työn nimi: Alueellisen siirtolaiteverkon uudistaminen	
Päivämäärä: 12.4.2008	Sivumäärä: 47 s. + 4 liitettä
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja: Yliopettaja Jouko Kurki	
Työn ohjaaja: Mika Nysten	
<p>Tämän insinööritöön tavoitteena oli tutkia TeliaSoneran alueverkon rakennetta ja laatia uudistusehdotus. Työssä perehdyttiin aluksi verkon nykyiseen rakenteeseen ja käytettyihin siirtolaiteteknologioihin. Tämän jälkeen tehtiin ehdotus, millä tavalla verkkoa voisi uudistaa niillä laitteilla, jotka ovat jo tällä hetkellä käytössä.</p> <p>Operaattoreiden tavoite on kehittää ja rakentaa verkko, joka on täysin pakettikytkentäinen. Verkon nykyisen rakenteen kannalta on kuitenkin todettu, että siirto pakettikytkentäiseen verkkoon kannattaa toteuttaa asteittain. Siirto täysin pakettikytkentäiseen verkkoon ei ole mahdollinen lyhyellä aikavälillä. Kuitenkin on todettu, että nykyinen laitteisto on vanhentunut ja vaatii uusimista. Siksi työssä haettiin ratkaisua, joka olisi mahdollista ottaa välittömästi käyttöön ja jonka käyttöönotto ei vaadi uuden laitteiston testaamista, hyväksymistä ja hankkimista. Tutkittiin myös uudistuksen kokonaisvaikutusta tulevaisuuden kannalta sekä mahdollisten vanhempien laitteiden jäämistä verkkoon.</p> <p>Työssä rajattiin yksi alue ja sen alueen verkko kartoitettiin kokonaisuudessaan ja siitä laadittiin uudistusehdotus. Alueen kaikki laitteet ja yhteydet otettiin huomioon ja siten saatiin hyvin kattava kuva mahdollisista tilanteista ja ongelmista, joita uudistuksen yhteydessä voi esiintyä.</p> <p>Työssä tehtiin lopuksi katsaus tulevaisuuteen ja pohdittiin, mihin suuntaan alueverkon uskotaan kehittyvän. Selvitettiin myös, mikä vaikutus on oletetulla matkapuhelinverkon ja kiinteän puheverkon yhdistymisellä.</p> <p>Salassapitovelvollisuuden takia insinööritöössä ei esitetä kartoitettua alueverkkoa eikä myöskään sen uudistusehdotusta. Työhön on kuitenkin kokemusten perusteella valittu ja esitetty muutama teoreettinen tilanne, joista selviää uudistuksen vaikutus.</p>	
Avainsanat: Alueverkko, SDH,PDH, MetroEthernet	



ABSTRACT

Name: Sammy Loitto	
Title: Renewal of the Regional Network	
Date: 12.4.2008	Number of pages: 47 + 4 appendixes
Department: Information Technology	Study Programme: Telecommunications
Instructor: Jouko Kurki	
Supervisor: Mika Nystén	
<p>The purpose of this graduate study was to investigate the structure of TeliaSonera Finland's regional network and to propose improvements. First step was to get familiar with current structure of network and used transmission technologies. Next step was to make a proposal of improvements using the equipment that are in use today.</p> <p>Most network operators of today aim for a fully packet switched network. However, the structure of the network today does not support an immediate transition to packet switched technologies. Therefore the development of the network is proposed to be done stepwise. The equipment used in the network are getting old and need to be replaced in the near future. That is way this study seeks for solution that can be done today, only changing equipment on the network side and supporting a future change of terminal equipment. The study also investigates the total affects of the renewal and how to cope with old equipment left in the network.</p> <p>The actual work was limited to one regional area that was investigated and drawn. A proposal of improvements was also made. All the devices and connections were taken into account. This gives a complete picture of the possible challenges for a renewal process.</p> <p>At the end of the study a review of the regional networks future was done. The study also deliberates the affects of the Fixed and Mobile networks convergence.</p> <p>The actual structure of the regional network is confidential. Therefore the investigated network area is not shown neither is the proposal of improvements. The study shows theoretical examples of network structure and also improvement proposal for the theoretical parts.</p>	
Keywords: Metropolitan Area Network, SDH, PDH, MetroEthernet, Regional area Network	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET JA LYHENTEET

1	JOHDANTO	1
2	YLEISET SIIRTOLAITETEKNIIKAT	2
2.1	PDH-tekniikka	2
2.2	SDH-tekniikka	3
2.2.1	<i>Varmistus SDH-verkossa</i>	8
2.2.2	<i>Alueverkossa hyödynnettyjä laitteita</i>	9
2.3	WDM-tekniikka	16
2.4	ATM-tekniikka	17
2.5	MetroEthernet-tekniikka	18
2.5.1	<i>Varmistus ME-Verkossa</i>	21
2.5.2	<i>MetroEthernet-laitteistoa</i>	23
3	KÄYTÖSSÄ OLEVAT VERKKORAKENTEET	26
3.1	PDH-laitteilla toteutettu verkko	27
3.2	SDH-laitteilla toteutettu verkko	28
3.3	MetroEthernet-laitteilla toteutettu verkko	30
3.4	Radiolinkit	33
3.4.1	<i>Esimerkki, perinteisellä radiolinkillä toteutetusta verkosta</i>	34
3.4.2	<i>Nykyaikaiset radiolinkit</i>	34
4	UUDISTETUN VERKON RAKENNE JA HYÖDYT	37
4.1	Uuden verkkorakenteen tavoitteet	37
4.2	Siirto PDH-verkosta SDH-verkkoon	38
4.2.1	<i>Haja-asutus seudun alueverkko</i>	38
4.2.2	<i>Haja-asutus seutu, kuituparien säästäminen</i>	38
4.2.3	<i>Yrityksen datayhteys</i>	39
4.3	Ethernetin huomioiminen	39
4.4	Uuden verkkomallin hallinta	40
5	TULEVAISUUDEN ALUEVERKOT	41
6	YHTEENVETO	44

KÄSITTEET JA LYHENTEET

ADM	Add Drop Multiplexer
ALNP	Aggregated Line and Node Protection
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
DCC	Data Communications Channel
DCE	Data Circuit-terminating Equipment
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
E1	PDH 2.048 Mb/s signaali
EEPP	End-to-End Path Protection
EoS	Ethernet over Sonet
ETH	Ethernet Services Layer
ETH-trail	An ETH-trail is an "ETH-layer entity" responsible for the transfer of information from the input of a trail termination source to the output of a trail termination sink.
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FMC	Fixed Mobile Convergence
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	Ip Multimedia Subsystem
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area network
Link	An ETH link or TRAN link
ME	Metro Ethernet
MEF	Metro Ethernet Forum
MEN	Metro Ethernet Network
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MSOH	Multiplexer Section Overhead
MUX	Multiplexer
NE	Network Element
Node	A Provider owned network element
Path	A succession of interconnected links at a specific (ETH or TRANS) layer
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PE	Provider Edge
QoS	Quality of Service
RSOH	Regenerator Section Overhead
SASE	Stand Alone Synchronization Equipment
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SONET	Synchronous Optical Network
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TRAN	Transport Services Layer
Transport	A specific TRANS layer technology
TRAN-trail	A TRAN-trail (see ITU-T Recommendation G.805) is a "transport entity" responsible for the transfer of information from the input of a trail termination source to the output of a trail termination sink.
UNI	User to Network Interface
User to Network Interface	The demarcation point between the responsibility of the Service Provider (UNI N) and the responsibility of the Subscriber (UNI C).
V.11	PDH:n hallintaväylä
VoIP	Voice over IP
WDM	Wavelength Division Multiplexing

1 JOHDANTO

Tekniikan kehittyessä operaattoreiden on yritettävä pysyä kehityksessä mukana. Operaattoreiden täytyy pystyä tarjoamaan palveluita, jotka vaativat yhä enemmän verkon kapasiteettia. Samalla täytyy myös ylläpitää vanhoja palveluita ja taata verkon toimivuus kaikilla alueilla.

Samalla, kun keskukset ja tukiasemat edelleen tarvitsevat E1-yhteyksiä, operaattoreiden pitäisi pystyä mahdollistamaan yksityisille tahoille laajakais-tatarjonta ja yritysasiakkaille mm. IP-yhteyksiä ja suuria siirtoyhteyksiä.

Operaattoreiden verkot ovat sitä kokoluokkaa, että niiden täytyy tarkkaan miettiä, mihin suuntaan kehittävät verkkojaan. Täytyy yrittää valita tekniikka, jolla on pisin elinikä. Verkon täytyy myös olla helposti hallittava ja valvottava. Sitä pitää myös pystyä laajentamaan tarpeiden mukaan. Siirtyminen verkko-rakenteesta toiseen on kallista ja työlästä.

Tällä hetkellä monella operaattorilla on edessään siirtyminen piirikytkentäisestä verkosta pakettikytkentäiseen verkkoon. Pakettikytkentäiset verkot eli IP-verkot ovat se, mihin asiantuntijat tällä hetkellä uskovat. Puhutaan paljon ns. *All over IP* -verkoista, eli kaikki palvelut siirretään IP-verkossa.

Alueverkoissa on vielä käytössä PDH-laitteita. Tällä hetkellä siirtyminen täysin pakettikytkentäiseen verkkoon ei ole käytännössä mahdollista tai ei ainakaan kustannustehokasta. Tästä syystä tässä työssä on etsitty ratkaisuja, joilla voidaan tehostaa ja kehittää alueverkkoa laitteilla, jotka ovat jo käytössä verkossa.

Nykyään on olemassa halpoja ja vähän tilaa vieviä SDH-laitteita, joissa on myös ethernet-portteja. Ethernet-porttien avulla voidaan kerätä IP-liikennettä pienemmiltä asemilta. Näiden uuden sukupolven SDH-laitteiden avulla on mahdollista uusia alueverkkoa kustannustehokkaasti ja samalla tukea kehitystä kohti täysin pakettikytkentäistä verkkoa.

Alueverkon ja runkoverkon rajapinta ei ole nykyisin kovin selkeä. Tässä työssä käytetään termiä alueverkko siitä osuudesta verkkoa, joka on kerätty isommalle laiteasemalle.

2 YLEISET SIIRTOLAITETEKNIIKAT

Nykyinen verkko pohjautuu suurimmaksi osaksi PDH- ja SDH-laitteisiin. Runkoverkossa on myös käytössä WDM-tekniikkaa.

SDH ja PDH ovat molemmat TDM-tekniikkaa, eli Time Division Multiplexing-tekniikkaa. Signaalit jaetaan eri aikaväleille. TDM-tekniikka on piirikytkentäistä tekniikkaa.

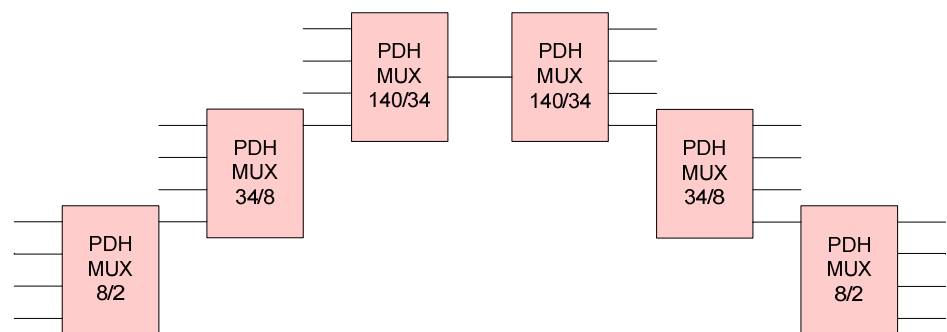
Runkoverkon osalta siirto SDH-tekniikkaan on suurimmaksi osaksi jo tehty. Suurin osa PDH-laitteistosta sijoittuu alueverkkoon. Alueverkossa ei ole nähty kustannustehokkaaksi korvata toimivia PDH-laitteita kalliimmilla SDH-laitteilla. Hajaseudun alueverkossa on paljon pieniä laiteasemia, joissa ei välttämättä ole kuin yksi matkapuhelinverkon tukiasema ja yksi keskitin. Laitteasema kytketään runkoverkkoon kuidulla ja PDH-verkossa käytetään esimerkiksi 8 Mb/s:n PDH-järjestelmää. Järjestelmä kuluttaa kuituparin, vaikka sen kapasiteetti ei ole kuin 8 Mb/s. Kun kapasiteettitarve laiteasemalla kasvaa, syntyy tarve käyttää kuituparit tehokkaammin. Uuden sukupolven SDH-laitteet mahdollistavat tämän, ja ne antavat myös mahdollisuuden kuljettaa pakettikytkentäistä liikennettä SDH-verkon yli. Hallinnan ja ylläpidon kannalta olisi tehokkaampaa käyttää vähemmän eri teknologioilla toteutettuja laitteita verkossa.

2.1 PDH-tekniikka

PDH-tekniikka kehitettiin 1970-luvun alussa, kun todettiin, että oli tarvetta suuremmalle kapasiteetille kuin 2 Mb/s. PDH-laitteilla oli mahdollista pakata 4 alemman tason yhteyttä yhteen yhteyteen, joka oli hieman enemmän kuin 4 kertaa alkuperäinen yhteys [1].

PDH on digitaalinen hierarkia, missä on tarkasti sovittu miten eri bittivirtoja yhdistellään nopeammiksi bittivirroiksi kanavoimalla. PDH:ssa käytetään aikajakokanavointia. Kansainvälisissä spesifikaatioissa on sovittu nopeuksiksi 2 Mb/s, 8 Mb/s, 34 Mb/s ja 140 Mb/s. Myös 565 Mb/s nopeudella toimivia järjestelmiä on olemassa.

Plesiokroninen tarkoittaa "melkein synkronista". Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että verkossa olevat PDH-laitteet voidaan synkronoida eli tahdistaa kukin erikseen omaan kelloonsa. Vaikka kellot ovat hyvin tarkkoja, on niissä kuitenkin pieniä eroja. Tätä kellojärjestelmää sanotaan plesiokroniseksi. Tämän eron takia bittivirtoja joudutaan manipuloimaan, jotta kaikilla yhdistettävillä bittivirroilla olisi sama nopeus. Tästä johtuen PDH:ssa alemman tason signaalin saa esille ainoastaan purkamalla korkeamman tason signaalin tälle tasolle asti.



Kuva 1. PDH-verkon periaatekuva.

Kuvasta 1 nähdään, että PDH käyttää siirtonopeuksia 140, 34, 8, 2 Mb/s. Kun on kyse PDH-tekniikasta, niin täytyy mennä yksi porras kerrallaan. Eli jos laiteasemalle on rakennettu 140 Mb/s:n järjestelmä, tarvitaan jokaisen tason laite ennen kuin on mahdollista saada E1-yhteys.

PDH-standardien myötä mahdollistui eri valmistajien laitteiden yhteensopi- vuus. PDH:n hallintaa ei ole standardisoitu, ja se vaihtelee eri valmistajien laitteiden välillä. Taajama-alueilla on rakennettu paljon 8 Mb/s:n järjestelmiä ja siirtotienä on käytetty kuitua.

2.2 SDH-tekniikka

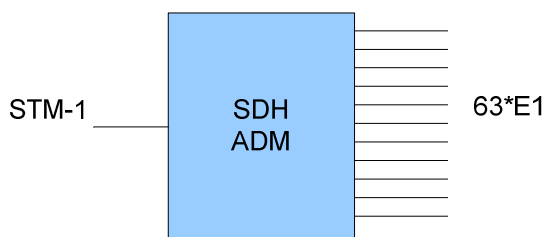
Verkkokapasiteetin tarpeen kasvun myötä 1980-luvun lopulla PDH-tekniikka ei enää täyttänyt verkko-operaattoreiden tarpeita. Oli syntynyt tarve käyttää suurempia siirtonopeuksia kuin 140 Mb/s. Muita PDH:n heikkouksia olivat mm. suuri laitemäärä ja hallinta-järjestelmien yhteensopimattomuus [1].

ANSI loi standardit SONET-tekniikalle, eli Synchronous Optical Network-tekniikalle. SONET-tekniikkaa käytetään Yhdysvalloissa. Euroopassa ja lähes kaikkialla muualla maailmassa on käytössä ITU-T:n määrittämät SDH-standardit. Taulukosta 1 nähdään Sonetin ja SDH:n siirtonopeudet [1].

Taulukko 1. Sonetin ja SDH:n siirtonopeudet

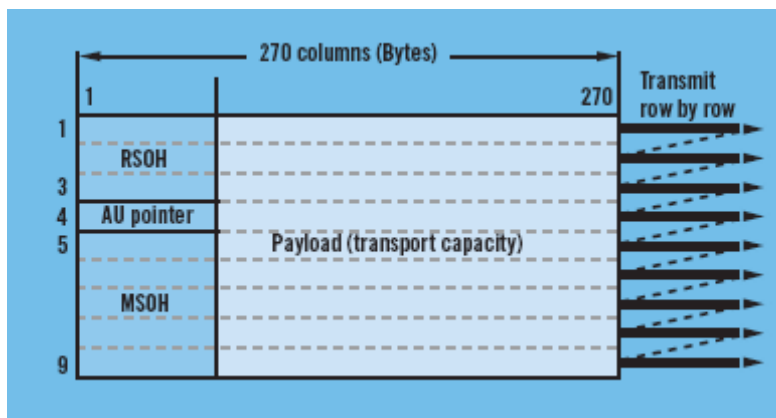
SONET	SDH	Siirtonopeus (Mb/s)
OC-1		51,84
OC-3	STM-1	155,52
OC-12	STM-4	622,08
OC-24		1 244,16
OC-48	STM-16	2 488,32
OC-192	STM-64	9 953,28

SDH:ssa voidaan siirtää PDH-kehysiä. Yksi STM-1 signaali voi kantaa 63 E1-signaalia. SDH:ssa on niin sanottu Add/drop-mahdollisuus, eli suoraan STM-1 tason signaalista voidaan ottaa ulos E1-tason signaali ja myös lisätä siihen E1-tason signaaleja. SDH-laitteissa on myös mahdollisuus ristikytkennoille.



Kuva 2. Yhdellä SDH-laitteella voidaan STM1-signaali jakaa 63 E1-tason signaaliin.

SDH perustuu STM-signaaliin (Synchronous transport module), jonka ensimmäistä tasoa kutsutaan STM-1-signaaliksi. Signaalia on mahdollista järjestelmästä riippuen yhdistää useampaan STM1:seen aina STM-64:ään asti.



Kuva 3. STM-1-kehiksen rakenne [17].

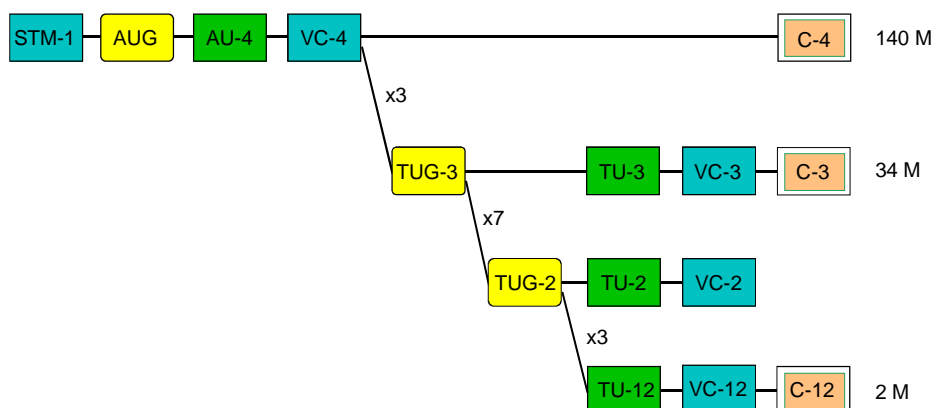
Kuvasta 3 nähdään STM-1-kehiksen rakenne. STM-1-kehiksen siirtonopeus on 155,52 Mb/s. STM-1-kehys koostuu matriisista, jossa on 9 riviä ja 270 saraketta tavuja. Siirto aloitetaan ylimmältä riviltä ja vasemmalta. Siirto tapahtuu rivi riviltä loppuen oikeaan alakulmaan.

$$9 \times 270 = 2430 \text{ tavua ja } 8 \times 2430 = 19440 \text{ bittiä}$$

Kehys toistetaan 8000 kertaa sekunnissa ja bittinopeus on:

$$8000 \times 19440 \text{ bit/sek} = 155,52 \text{ Mb/s}$$

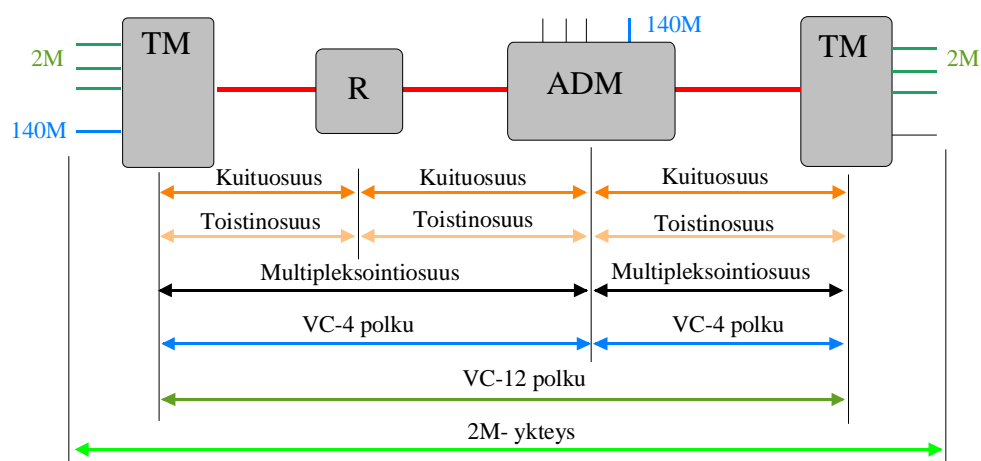
Kehys toistuu 125 μ s:n välein. Kehiksen jokainen tavu vastaa 64 kb/s siirtonopeutta.



Kuva 4. PDH:n mapitus STM-kehikseen [5].

Verkkorakenteen vuoksi pitää SDH-verkon pystyä siirtämään PDH-signaaleja. Siksi SDH-standardissa on määritelty erityisiä säiliöitä (container) jokaiselle PDH-signaali tasolle. Säiliöt on nimetty C-n, n viittaa signaalin tasoon. Säiliöille lisätään otsikkotavu ja muodostetaan virtuaalisäiliö (VC-n) . Kuvasta 3 nähdään miten PDH:n eri signaalitasot mapitetaan STM-1-kehukseen. Tämä mahdollistaa PDH-laitteiden liittämisen SDH-verkkoon [17].

SDH-laitteet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään. Toistimet, multiplekserit ja digitaaliset ristikytentälaitteet. SDH-signaali jaetaan osuuksiin ja polkuihin. Osuudet ovat toistinosuus ja multipleksintiosuus. Polut on jaettu ylempään tason polkuun ja alemman tason polkuihin. Kuvasta 2 nähdään, miten osuudet ja polut jakaantuvat.



Kuva 5. SDH:n osuudet ja polut [5].

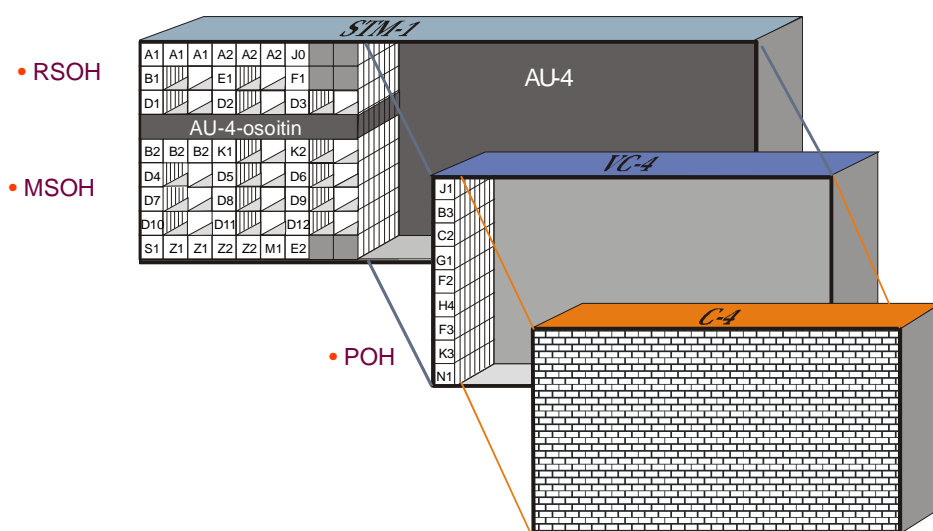
Toistinosuudella ja multipleksintiosuudella on molemmilla oma otsikkotavunsa. Myös poluilla on omat otsikkotavut. Kuvasta 4 selviää STM-1 signaalin rakenne. Jokaisen tason kehuksessa on alussa otsikkotavut jota seuraa hyötykuorma. Hyötykuorma sisältää alemman tason kehuksen jonka alussa on taas kyseisen tason otsikkotavut.

Toistinosuus yhdistää kaksi toistinta, multiplekserin ja toistimen tai ristikytentälaitteen ja toistimen. Toistinosuuden otsikkotavu RSOH (*Regenerator Section Overhead*) käsitellään kaikissa SDH-laitteissa.

Multipleksointiosuus yhdistää kaksi multiplekseriä tai multiplekserin ja ristikentälaitteen. Multipleksointiosuuden otsikkotavu MSOH (*Multiplexer Section Overhead*) käsitellään kaikissa SDH-laitteissa paitsi toistimissa.

Polut muodostavat loogisen putken SDH-verkon läpi. Ylemmän tason polku VC-4 polku voi sisältää joko yhden 140 Mb/s signaalin, kolme VC-3-polkua tai 63 kappaletta VC-12-polkua.

Alemman tason polut ovat VC-3-polku ja VC-12-polku. VC-3-polku sisältää yhden 34 Mb/s signaalin tai yhden 45 Mb/s signaalin. VC-12 eli alin taso sisältää yhden 2 Mb/s signaalin.



Kuva 6. STM-Kehyksen laatikkomalli [5].

PDH:sta poiketen SDH-laitteet tarvitsevat kellon, eli SDH-järjestelmiä rakentaessa täytyy huomioida, mistä laite saa kellon. Kellosignaalia on kuljetettava kaikille laitteille.

Koska pakettikytkentäisten yhteyksien tarve on viime vuosina kasvanut paljon ja monet operaattorit siirtyvät vähitellen pakettikytkentäiseen verkkoon, on SDH:n elinikää pidennetty mahdollistamalla pakettikytkentäisten yhteyksien siirto SDH-verkon läpi. Tekniikkaa kutsutaan nimellä Packet over SDH, PoS tai Ethernet over SDH, EoS.

EoS:ia tukevat laitteet ovat tarpeellisia etenkin alueverkossa, jossa pienille paikkakunnille on jo rakennettu joko PDH tai SDH-verkko. Vaihtamalla PDH-laitteet SDH-laitteisiin, jotka tukevat EoS:ia, tai laajentamalla olevia SDH-laitteita EoS-korteilla, voidaan rakentaa ethernet-yhteyksiä edullisesti pienille asemille ja paikkakunnille [5].

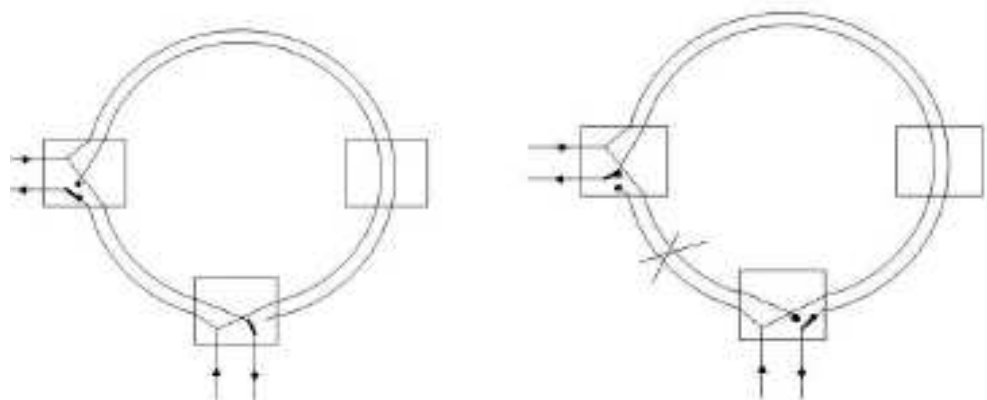
2.2.1 Varmistus SDH-verkossa

SDH:ssa on käytössä neljä eri varmistusmenetelmää, eri varmistusmenetelmät soveltuvat eri tilanteisiin.

- SNCP (*SubNetwork Connection Protection*).
- MSP (*Multiplex Section Protection*).
- MS-SPRing (*Multiplex Section Shared Protection Ring*).
- Yksikkövarmistus.

SNCP-varmistus on tavallisin käytössä oleva varmistusmenetelmä. Tämä menetelmä varmistaa aina yhden VC-polun. SNCP-varmistus toimii siis polkutasolla, ja sitä kutsutaan myös polkuvarmistukseksi.

Jokainen solmu lähettää kahta eri reittiä. Vastaanottava solmu tarkkailee signaalia ja havaitessaan viab vaihtaa automaattisesti toiselle reitille. Tämä mahdollistaa erittäin nopeita restauraatioaikoja jopa alle 50 ms.



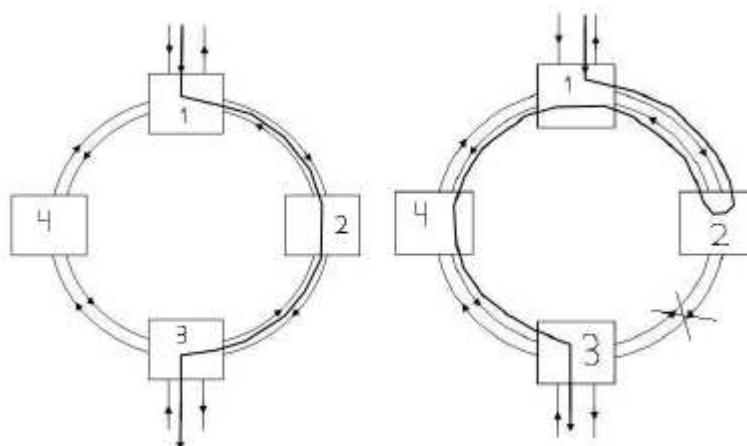
Kuva 7. SNCP-varmistus rengasverkossa [8].

Kuvasta 6 nähdään, miten SNCP-varmistus toimii. Vasemmalla puolella on normaalitilanne. Vastaanottava laite vastaanottaa signaalin pääreitiltä. Oike-

alla nähdään vikatilanne, jossa pääreitti on poikki, vastaanottava laite vastaanottaa sen takia varmistavalta reitiltä.

MSP-varmistus toimii pelkästään multipleksointiosuudella ja se toimii siis vain kahden multipleksoivan laitteen välillä. MSP-varmistuksella on kaksi toimintamuotoa joka 1+1 tai 1:n. Varmistusmuodossa 1+1 jokaisella osuudella on yksi varmistava osuus. 1:n varmistuksessa yksi osuus voi varmistaa useampaa osuutta.

MS-SPRing on kehitetty vain rengasverkkoja varten eikä sitä voi käyttää kuin rengasverkossa. MS-SPRing toimii kuten MSP vain multipleksointiosuudella. Kuvasta 7, nähdään miten varmistus toimii. Laitteen 2 ja 3 välillä on yhteys poikki, joten laite 2 siirtää yhteyden varmistavalle reitille.



Kuva 8. MS-SPRing varmistus [8].

Yksikkövarmistus on yleensä käytössä kriittisissä laitteissa. Yksikkövarmistuksessa laitteen tärkeät yksiköt kahdennetaan.

2.2.2 Alueverkossa hyödynnettyjä laitteita

Tässä kappaleessa on listattu muutamia laitteita, joilla SDH-tekniikkaan perustuvan alueverkon eri osa-alueet olisi mahdollista toteuttaa.

Marconi MSH41C

Marconin MSH41C on STM-4-tason syöttö/pudotus multiplekseri (ADM), joka operaattoreilla on Suomessa yleisesti käytössä alueverkoissa. Kuvassa

21 on MSH41C-kehikko, josta nähdään, että toiminnalliset yksiköt on sijoitettu alas ja liitäntäyksiköt kehikon yläosaan. Alla on lueteltu oleellisia tietoja kapasiteetista ja kalustuksesta.

- Ristikytkentäkapasiteetti on maksimissaan 16xSTM-1 ekvivalenttia.
- Ristikytkentä voidaan suorittaa kaikilla tasoilla VC-12, VC-2, VC-2-nC, VC-3, VC-4, VC-4-Xc.
- Ristikytkentä voi tapahtua pääjärjestelmä - pääjärjestelmä, pääjärjestelmä - alijärjestelmä, alijärjestelmä – alijärjestelmä.
- Vierekkäinen konkatenointi on mahdollista.
- 252 x 2 Mb/s pudotuskapasiteetti.
- Mahdollista konfiguroida toimimaan TM:nä, ADM:nä tai DXC:nä.
- Varmistukset.
 - Yksikkövarmistus mahdollisuus.
 - MSP 1+1 ja 1:N.
 - SNCP.
 - MS-SPRing.

MSH41C alijärjestelmäliitännät:

- STM-1 optinen ja sähköinen, STM-4 optinen.
- PDH E1, E3, ja E4 sähköinen.
- FE 10/100 optinen ja sähköinen.
- 1 Gb Ethernet optinen.



Kuva 9. Kalustettu MSH41C [12].

Rajoituksen ristikytkentäkapasiteeteille asettaa myös kuvassa näkyvä groomer, joka on liitäntöjen ja ristikytkennän välissä [12].

Marconi MSH51C

Marconin MSH51C on STM-16-tason lisää/pudota multiplekseri (ADM), jota on Suomessa käytetty jo 1990-luvun lopulta lähtien. MSH51C-laitteilla on toteutettu laajalti muun muassa runkoverkon yhteyksiä sekä suurempien kaupunkien alueverkkoja. Alla on kerrottu muutamia oleellisia tietoja kapasiteetista ja kalustuksesta.

- Ristikytkentä kapasiteetti on maksimissaan 96xSTM-1 ekvivalenttia.
- Ristikytkentä tapahtuu VC-4- ja VC-4-Xc-tasoilla.
- 32xSTM-1 pudotuskapasiteetti.

- PDH-liitännät E4-tasolla.
- Virtuaalinen ja vierekkäinen konkatenointi mahdollista.
- Voi toimia TM:nä, ADM:nä ja DXC:nä.
- Varmistusmahdollisuudet.
 - Yksikkövarmistus.
 - MSP 1+1 ja 1:N.
 - SNCP.
 - MS-SPRing.

MSH51C alijärjestelmäliitännät:

- STM-1 optinen ja sähköinen.
- PDH E4 sähköinen.
- Fast Ethernet 10/100 optinen ja sähköinen.
- 1 Gb Ethernet optinen.

Kuvassa 10 on kalustettu MSH51C-kehikko. MSH51C:n kehikko jakaantuu kolmeen osaan. Ylhäällä on sähköisten liitännöiden liitinpaneelit. Keskellä on alijärjestelmäyksiköt, boosterit alijärjestelmäyksiköille ja yhteisiä yksiköitä. Alhaalla on pääjärjestelmäyksiköt, boosterit ja optiset etuvahvistimet pääjärjestelmäyksiköille sekä yhteisiä yksiköitä. Kokonaisristikytkentä kapasiteetista voi alijärjestelmäpuolelta (10 korttipaikkaa) nousta maksimissaan 32 x STM-1 ja pääjärjestelmäpuolelta (4 korttipaikkaa) 64 x STM-1 kapasiteetti [13].



Kuva 10. Kalustettu MSH51C [13].

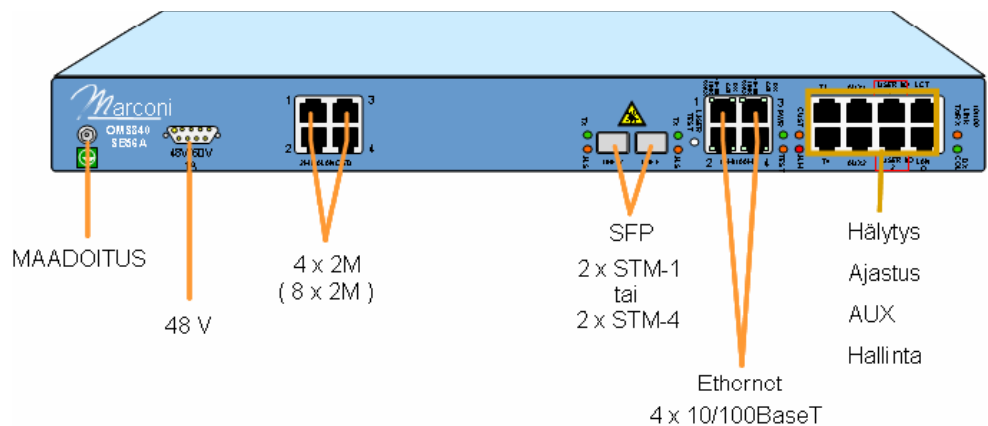
Marconi OMS840

OMS840 on myös Marconin valmistama SDH-laite, jossa on kaksi linjaliitintä ja asiakasliitännät 8 x E1 ja 4 x FE. Laite on yleisesti käytössä asiakaspäätelaitteena ja usein myös tukiasemille sijoitettavana laitteena. OMS840 laitetta voidaan käyttää terminaalina tai ADM-laitteena. Pääjärjestelmän linjasignaali on joko STM-1- tai STM-4-tasoinen ja voidaan yhdistää toiseen OMS-laitteeseen tai muuhun SDH-laitteeseen.

Ristiyhteyksimatriisi on estoton eli liikennettä voidaan kytkeä alijärjestelmästä pääjärjestelmään ja pääjärjestelmästä pääjärjestelmään. OMS840 tukee

normaaleja SNCP- ja MSP-varmistusmekanismeja. Kuvasta 11 nähdään, OMS840-laitteen liitännät ja fyysinen koko.

OMS840 soveltuu erityisen hyvin korvaamaan pienempää PDH-laitteistoa etenkin asemilla joissa ei ole paljon liikennettä. Laite on pienikokoinen ja suhteellisen edullinen. Siinä on myös useaan tilanteeseen riittävä määrä liitännöitä [15].



Kuva 11. OMS840 ja sen liitännät etupaneelissa [15].

Marconi OMS1240

Marconin OMS1200 on uuden sukupolven STM-1/4/16-tason syöttö/pudotus multiplekseri (ADM), joka on korvaamassa MSH41/51C-laitteet. OMS1240 sarjan laitteet ovat modulaarisia, kuten MSH41C ja MSH51C, joten se voidaan kalustaa aina tarpeiden mukaan. Pääjärjestelmän signaalin taso valitaan core-yksikön ja SFP-modulin avulla. Kuvassa on OMS1240-laite, josta nähdään, että ulkonäkö ei juuri eroa MSH41C-laitteesta. Kalustettavat ali- ja pääjärjestelmäyksiköt ovat alaosassa ja yläosassa on sähköisten liitännöiden liitännät [14].



Kuva 12. Kalustettu OMS1240 [14].

Alla on lueteltu muutamia laitteen ominaisuuksia.

- Ristikytkeä voidaan suorittaa kaikilla tasoilla VC-12, VC-2, VC-2-nC, VC-3, VC-4, VC-4-Xc.
- Ristikytkeä voi tapahtua pääjärjestelmä - pääjärjestelmä, pääjärjestelmä - alijärjestelmä, alijärjestelmä – alijärjestelmä.
- Vierekkäinen ja virtuaalinen konkatenointi on mahdollista.
- 64 x 2 Mbps pudotus kapasiteetti.
- Mahdollista konfiguroida toimimaan TM:nä, ADM:nä tai DXC:nä.
- Varmistukset.

- Yksikköormistus mahdollisuus.
- MSP 1+1 ja 1:N.
- SNCP.
- MS-SPRing.

OMS1240 pääjärjestelmäliitännät:

- STM-1 sähköinen ja optinen.
- STM-4 ja STM-16 optinen.

OMS1240 alijärjestelmäliitännät:

- STM-1 optinen ja sähköinen.
- STM-4 optinen.
- PDH E1, E3 ja E4 sähköinen.
- FE10/100 optinen ja sähköinen.
- 1 Gb Ethernet optinen.

2.3 WDM-tekniikka

Wavelength Division Multiplexing eli aallonpituuskanavointi tarkoittaa käytännössä sitä, että samassa valokuidussa siirretään samanaikaisesti tietoa useilla valon eri aallonpituuksilla eli karkeasti ilmaistuna eri väreillä.

Aallonpituuskanavoinnista on käytössä kaksi eri versiota: CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexin) eli karkea aallonpituuskanavointi ja DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexin) eli tiheä aallonpituuskanavointi.

CWDM:ssä kanavia on noin 20 nm:n välein, kun taas DWDM:ssä kanavia voi olla jopa 0,8 nm:n välein.

DWDM vaatii kehittynyttä optiikkaa, ja laitteisto on kallista, mutta siinä on mahdollista siirtää jopa 160 kanavaa yhdellä kuituparilla. Tekniikan käyttö on kuitenkin rajoitettu vain runkoverkkoon. Alueverkossa se olisi liian kallis ja monesti ylimitoitettu tekniikka. CWDM:ssä kanavia on yleensä esimerkiksi 16, eli kanavat eivät ole yhtä tiheästi kuin DWDM:ssä. Tämä ei aseta yhtä suuria vaatimuksia optiikan suhteen, kuten nimi jo viittaa ”Coarse” (karkea). CWDM ei myöskään ole yhtä kallis kuin DWDM, ja laitteet on tehty pienikokoiseksi.

Suuri osa alueverkoista on rakennettu aikana, jolloin suuret kuitukaapelit olivat kalliita ja kapasiteetin tarve pientä, joten monilla alueilla kuituparit ovat täynnä ja uuden kaapelin kaivaminen maahan on kallista. Näissä tilanteissa on oivallista käyttää WDM-tekniikkaa ja ”monistaa” kuitua. WDM:n käyttämisestä rajoittaa se, että ne ovat aina päästä – päähän, joten tähtimäistä verkkoa ei ole edullista rakentaa WDM:llä. Tämän takia, vaikka CWDM on edullinen ja se lisää kapasiteettiä huomattavasti, on sen käyttötarve rajallista. Maaseudulla kahden paikan välinen kapasiteetti ei yleensä ole ongelma, kuten myöhemmin tässä työssä todetaan, kun perehdytään syvemmin alueverkon rakenteeseen.

2.4 ATM-tekniikka

Vaikka tässä työssä ei käsitellä ATM-verkkoa, niin on siitä kuitenkin mainittava, koska se on yksi yleisimmistä tekniikoista. ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) eli asynkroninen tiedonsiirtotapa on solukytkentäinen verkkoprotokolla. Se jakaa lähetettävän datan pieniin vakiomittaisiin 53 tavun soluihin. Toisin kuin esimerkiksi pakettikytkentäisissä verkoissa jossa välitetään muuttuvamittaisia paketteja.

ATM syntyi tarpeesta kasvattaa siirtoyhteyksien nopeuksia, ja sen tarkoitus oli korvata erilaiset siirtojärjestelmät yhdellä yhdistetyllä kansainvälisellä verkkostandardilla. ATM soveltuu erityisesti LAN- ja WAN-verkkoympäristöihin. Sen avulla on mahdollista välittää ääntä, kuvaa ja dataa samaa tekniikkaa käyttäen.

ATM on yhteydellinen tiedonsiirtotapa, sillä se käyttää kiinteää yhteyttä tiedon lähettäjän ja vastaanottajan välillä. ATM-päätelaite liitetään verkkoon käyttämällä UNI-liitäntää (*User to Network Interface*) ja ATM-kytkimiä liitetään toisiinsa NNI-liitäntän (*Network Node Interface*) avulla. Tekniikkaa kutsutaan asynkroniseksi siirtotavaksi, koska soluja lähettävät asemat voivat tarvittaessa pitää taukoja lähetysten välillä. Kuten SDH- ja PDH-tekniikat, myös ATM-tekniikka on poistumassa käytöstä.

2.5 MetroEthernet-tekniikka

MetroEthernet on ethernetiin pohjautuva verkkotopologia. Se on tarkoitettu käytettäväksi MAN (Metropolitan Area Network)-verkoissa sekä pienemmissä WAN (Wide Area Network)-verkoissa. Operaattorit rakentavat yleensä useita ME-verkkoja, jotka toimivat saarekkeina, jotka liitetään runkoverkkoon.

Ethernet on ensimmäinen pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu, joka on laajasti hyväksytty pakettipohjainen. Nimi Ethernet on lähtöisin maailmaneeetteristä, jaetusta kommunikaatioon käytetystä väylästä.

Tiedonsiirtoprotokollaa voidaan kuvata OSI-Mallin avulla. OSI-Malli koostuu seitsemästä kerroksesta. Ethernet käyttää kerroksia 1 ja 2 (kts. kuva 13) eli fyysisistä kerrosta (L1) ja siirtokerrosta (L2).



Kuva 13. OSI-Mallin kuvaus [4].

Laajemmin Ethernet-verkkoa alettiin käyttää 1980-luvulla. Aluksi käytettiin halkaisijaltaan yli 10 mm vahvuiseen koaksiaalikaapeliin perustuvaa Ethernet-versiota. Vuonna 1985 hyväksyttiin ohuempaa ja halvempaa kaapelia käyttävä versio. Seuraavaksi tuli 10baseT, joka oli halpaa Cat3-parikaapelointia käyttävä versio.

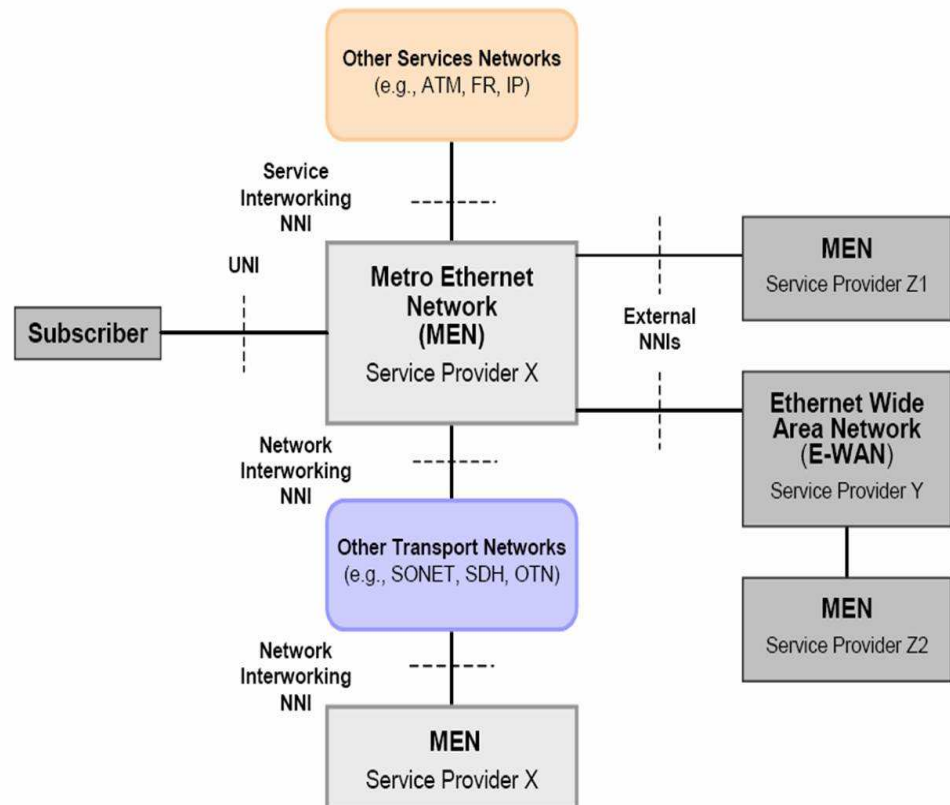
Vuonna 1995 saavutettiin 100 Mb/s siirtonopeus FastEthernet eri versioineen, joista 100baseTX on jäänyt käyttöön. Siirtonopeuden kasvu perustui paitsi parempiin verkkolaitteisiin ja laadukkaampiin kaapeleihin (Cat5) niin ennen kaikkea verkon rakenteen muuttumiseen: Ethernetissä alun perin käytetty väylärakenne oli muuttunut tähtimäiseksi.

Tällä hetkellä suurin IEEE:n standardoima nopeus on 10 GigabitEthernet, joka toimii pelkästään valokuituyhteyksillä. IEEE:n työryhmä on aloittanut kehittämään 40 GigabitEthernet- ja 100 GigabitEthernet-standardeja.

Taulukko 2. Ethernet-standardien kehitys [18].

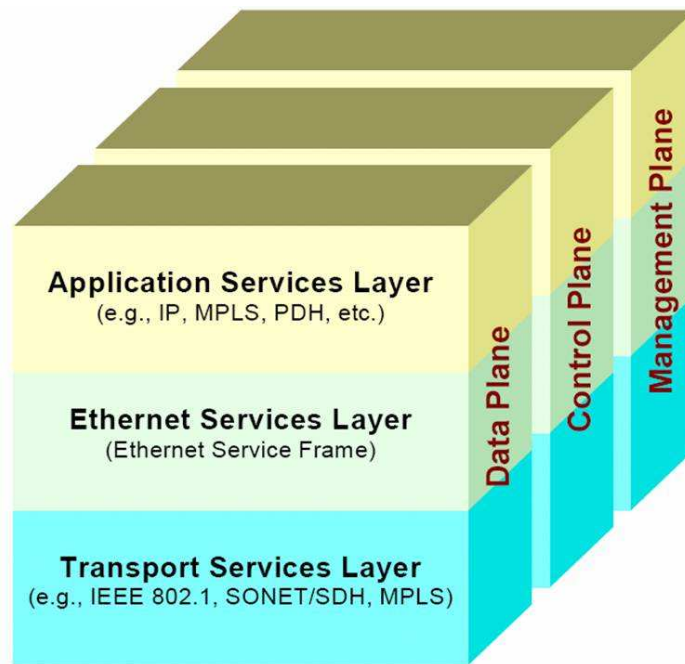
Standardi	Vuosi	Kuvaus
Kokeellinen Ethernet	1972 (patentoitu 1978)	2,94 Mb/s koaksiaalikaapelissa
Ethernet II (DIX v2.0)	1982	10 Mb/s paksu koaksiaalikaapeli - Protokollatasolla kehyksiin tyyppi-kenttä
IEEE 802.3	1983	10BASE5 10 Mb/s paksun koaksiaalikaapelin yli
802.3a	1985	10BASE2 10 Mb/s ohut koaksiaalikaapeli (thinnet tai cheapernet)
802.3c	1985	10 Mb/s toistimen määrittely
802.3d	1987	FOIRL (Fiber-Optic Inter-Repeater Link)
802.3i	1990	10BASE-T 10 Mb/s parikaapelissa
802.3j	1993	10BASE-F 10 Mb/s kuidussa
802.3u	1995	100BASE-T Fast Ethernet, 100 Mb/s
802.3x	1997	Full Duplex
802.3z	1998	1000BASE-X Gigabit Ethernet kuidussa, 1 Gb/s
802.3ab	1999	1000BASE-T Gigabit Ethernet parikaapelissa, 1 Gb/s
802.3ac	1998	Kehyksen koko kasvatetaan 1522 tavuun, VLAN-tagit
802.3ad	2000	Linkkien yhdistäminen (aggregointi)
802.3ae	2003	10 Gigabit Ethernet kuidussa
802.3af	2003	Tehonsyöttö ja Ethernet samassa 4-parisessa kaapelissa, (Power over Ethernet)

MetroEthernet-verkko voidaan määritellä yhdistävänä siltana kahden maantieteellisesti erillisesti olevan yrityksen LAN:in välillä. Tämä ME-verkko on yleensä operaattorin omistuksessa. Ethernet on kustannustehokas ja laajalti tunnettu teknologia ja ethernet-liitäntöjä on nykyään useimmissa laitteissa. ME:ssä on käytännössä käytössä kolme eri liitäntänopeutta. Nämä ovat Fast Ethernet 100 Mb/s, GbE 1000 Mb/s ja 10GbE 10 Gb/s. ME:ssä ei käytetä Ethernetistä tuttua 10 Mb/s liitäntää [2].



Kuva 14. ME-verkon arkkitehtuuriset komponentit [6].

ME-verkon arkkitehtuurissa on määritelty standardiliitännät. Kuvasta 10 selviää ME-verkon arkkitehtuuri ja miten se liittyy toisiin verkkoihin. UNI (*User to Network Interface*) kuvaa asiakasliitäntää. E-NNI (*External Network to Network Interface*)-liitännöillä ME-verkko liitetään toisiin Ethernet-verkkoihin esim. toisen operaattorin ME-verkkoon. NI-NNI-liitännällä (*Network Interworking NNI*) kahden eri alueen ME-verkot voidaan liittää toisiinsa esim. SDH-verkon läpi. SI-NNI-liitännällä (*Service Interworking NNI*) ME-verkko voidaan kytkeä erilaisten palvelujen verkkoihin esim. ATM-verkkoon.



Kuva 15. ME-verkkomallin kerrokset [6].

ME-verkkomalli voidaan kuvata kolmella kerroksella. Kerroksia ovat Ethernet Services Layer, Transport Services Layer ja Application Services Layer. Lisäksi jokaisella kerroksella on oma *Data*, *Control* sekä *Management plane* komponentti [6].

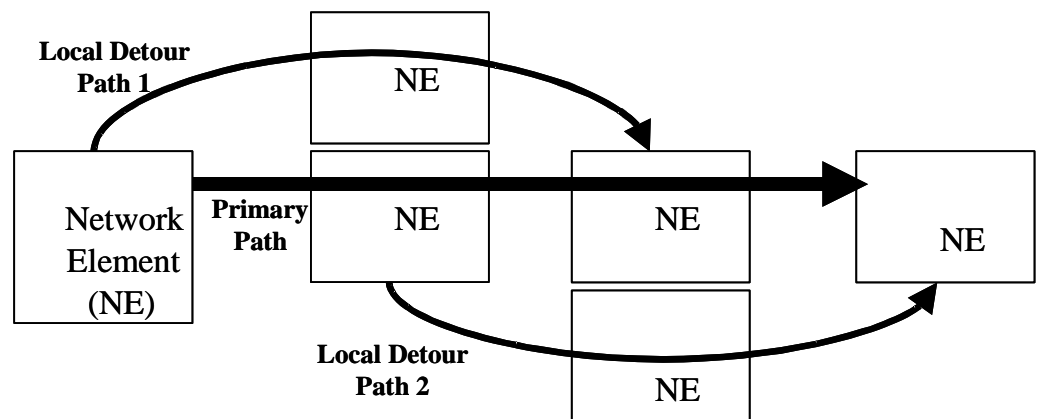
2.5.1 Varmistus ME-Verkossa

Tässä osiossa käydään lyhyesti läpi, miten ME-verkossa käsitellään varmistusta. Ethernet-standardin perinteisten varmistusmenetelmien restauraatioajat eivät pääse lähellekään SDH:n restauraatioajoja, jotka voivat olla jopa alle 50 ms. Tätä varten MEF (*Metro Ethernet Forum*) on kehittänyt varmistusmenetelmiä käytettäväksi ME-verkossa.

ME-verkossa voidaan käyttää seuraavaa neljää varmistusmenetelmää:

- ALNP (*Aggregated Line and Node Protection*).
- EEPP (*End-to-End Path Protection*).
- MP2MP (*Multipoint-to-Multipoint Protection*).
- *Link protection based on Link Aggregation*.

Point-to-point-tilanteissa yleisimmät varmistusmenetelmät ovat ALNP sekä EPPP. ALNP tuo varmistuksen paikalliseen linkin tai solmun vikaan luomalla paikallisen kiertopolun yhteydelle. Pääreitien varrelle luodaan useita paikallisia varmistuksia. Varmistukset ovat joko muotoa 1:1 tai 1:n. Vikatilanteessa pääreitit siirtyvät vikapaikassa varmistusreitille ja kierretään vian takaisin pääreitille.



Kuva 16. ALNP-varmistus ME-verkossa [7].

ALNP-varmistus mahdollistaa hyvinkin lyhyitä restauraatioaikoja, koska vikatilanteessa vika havaitaan paikallisesti eikä tarvita pitkiä päästä-päähän-selvityksiä. Restauratioaika riippuu vikatilanteesta laitteiden ominaisuuksista, mutta SDH:ta vastaava alle 50 ms:n restauratioaika on mahdollinen ALNP-varmistuksella. Jos verkossa on käytössä ALNP varmistus, täytyy jokainen linkki varmistaa erikseen.

EPPP-varmistuksessa luodaan pääreitille päästä-päähän varmistava reitti. EPPP-varmistusta voidaan käyttää ALNP:n lisäksi. Päästä-päähän-varmistus varmistaa, että koko reitille on varmistus. ALNP-varmistus toimii vain, jos jokainen laite verkossa tukee sitä ja on konfiguroitu sen mukaan. EPPP-varmistuksella voidaan myös varmistaa, että uusi reitti ei eroa ominaisuuksiltaan pääreitistä. Tämä varmistustapa kuluttaa paljon kapasiteettia verkosta, ja sen restauratioaika vaihtelee käyttötavan mukaan. EPPP-varmistusta voidaan verkossa käyttää muutamassa eri muodossa.

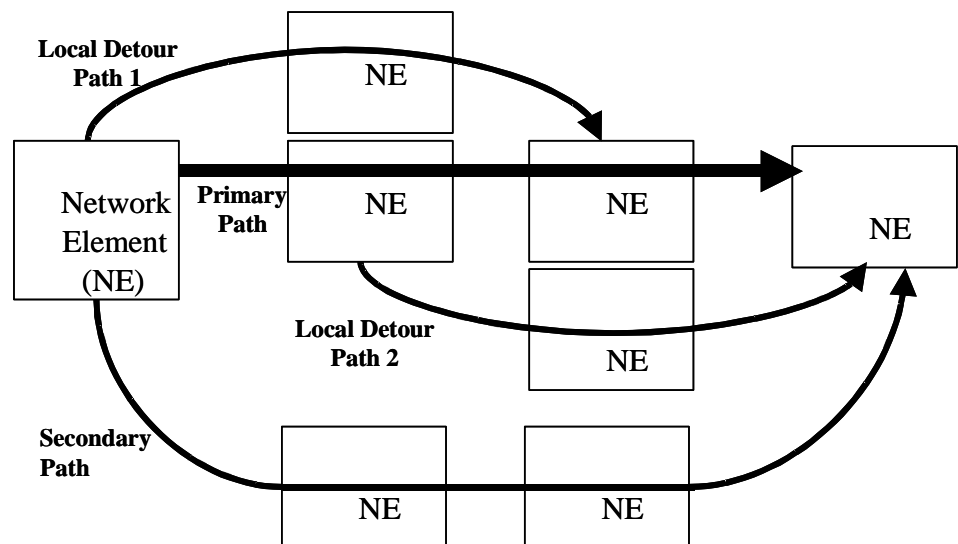
EPPP-varmistustavassa 1+1 luodaan kaksi aktiivista reittiä, ja kaikki pääreitille lähetetty data kopioidaan lähetettäväksi myös varmistavalle reitille. Vastaanottava laite valitsee, miltä reitiltä vastaanottaa datan. Tämä varmistus

antaa erittäin lyhyen restauraatioajan (millisekunteja), mutta kuluttaa myös tuplasti enemmän kapasiteettiä sekä reitiltä että lähettävältä laitteelta muistia ja CPU-tehoa.

Varmistusmuodossa "1:1 Kylmä valmiustila (*Cold Standby*)" varmistusreitti on laskettu etukäteen, mutta luodaan vasta, kun pääreitti vikaantuu. Tämä varmistusmuoto ei kuluta turhaa kapasiteettiä, mutta restauraatioajat ovat pitkiä.

Varmistusmuodossa "1:1 Kuuma valmiustila (*Hot Standby*)" varmistusreitti on laskettu etukäteen ja aktivoidaan samaan aikaan pääreitillä. Tämä varmistusmuoto mahdollistaa myös lyhyen restauraatioajan, mutta varaa verkosta turhaan reitin, jolla ei lähetetä dataa.

Varmistusmuodossa "Jaettu varmistus" luodaan varmistavia reittejä, jotka ovat useamman reitin käytössä. Tätä muotoa voidaan käyttää eri tavoin. Muutama laajalti tunnettu menetelmä on 1:n, rengas ja jaettu verkko varmistus [7].



Kuva 17. EEPP-varmistus ALNP-varmistuksen lisäksi [7].

2.5.2 MetroEthernet-laitteistoa

Tässä luvussa esitetään kolme eri kokoluokan ME-laitetta. Ne soveltuvat kaikki erilaisiin käyttötarpeisiin.

Alcatel 7450 ESS-7



Kuva 18. Alcatelin 7450 ESS-7 -laite [10].

ESS-7-laite on L2-tasoinen MPLS-reititin, eli laite toimii ME-verkkomallin mukaan *Transport Service*- ja *Ethernet Service*-tasolla. Laitteen sisäiset osat ovat kahdennettävissä. Kahdennusta voidaan käyttää kaikissa niissä paikoissa, joissa on yritysasiakkaiden liittämistarvetta tai muu painava syy. Tätä laitetta voidaan käyttää ME-runko- ja asiakaskeruulaitteena.

Laitteessa on 5 laajennuspaikkaa, joihin voidaan laittaa emokortteja (IOM). Yhden emokortin käsittelykapasiteetti on 20 GB ja siinä on 2 kpl liittäkorttipaikkoja (MDA). Yhteensä laitteessa on 10 kpl liittäkorttipaikkoja (MDA) [10].

Alcatel 7450 ESS-1



Kuva 19. Alcatelin 7450 ESS-1 -laite [10].

Alcatelin ESS-1 on sopiva laite sellaisille paikoille, jotka eivät ole potentiaalisia ME-runkolaitteita. Laitetta käytetään asiakaskeruulaitteena. Laite on

myös L2-tasoinen MPLS-reititin. Laitteen prosessorikortti ei ole kahdennettavissa. Laitteessa on IOM (emokortti) ja SF/CPM (prosessorikortti)-kortit integroituna kehikkoon. Virtalähde on kahdennettu, mutta se on kehikkoon integroitu. Laitteeseen voi kalustaa ainoastaan erilaisia MDA-liitännäkortteja ja niihin SFP-yksiköitä. Laitteen käsittelykapasiteetti on 20 GB ja siinä on 2 kpl liitännäkorttipaikkoja (MDA) [10].

Alcatel 7750 SR-12



Kuva 20. Alcatelin 7750 SR-12 -laite [11].

Alcatelin SR-12 laitetta voidaan käyttää sellaisilla asemilla, joissa on erittäin suuri liitännätarve. Tämä laite on L3-tason MPLS-reititin, eli se toimii ME-verkkomallin *Application Services* tasolla. Laitteessa on 20 kpl liitännäkorttipaikkoja (MDA) [11].

3 KÄYTÖSSÄ OLEVAT VERKKORAKENTEET

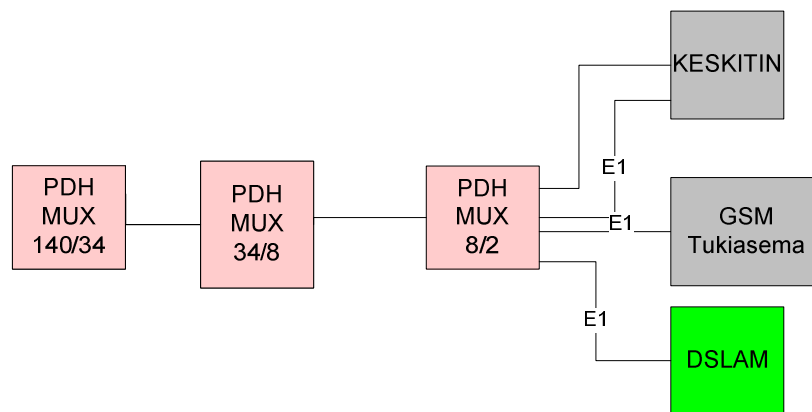
Verkko koostuu suurimmaksi osaksi PDH- ja SDH-laitteista. Tässä kappaleessa käsitellään kyseisillä laitteilla toteutettujen verkkojen rakennetta ja miten kyseisiä verkkoja hallitaan. Tutkitaan myös erilaisia todellisia tilanteita, joita verkossa tulee vastaan ja miten ne on ratkaistu. Käydään myös läpi, miten tämän päivän IP-palvelut on toteutettu.

Alueverkon palvelut koostuvat enimmäkseen yhteyksistä keskittimille ja GSM-tukiasemille. Keskittimille kerätään alueen puhelinasiakkaat ja ISDN-asiakkaat ja viedään keskittimiltä puhekeskuksiin. Tukiasemilta kuljetetaan GSM-puheluita GSM-keskuksille siirtolaitteverkon yli. Itse GSM-tekniikkaan ei tässä työssä puututa.

Muita palveluita ovat mm. yhteydet DSLAM:eihin (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) ja kapasiteettipalvelut yrityksille. DSLAM on verkkolaite, jossa on ADSL-liitäntöjä tilaajapuolella, ja verkkopuolella joko ATM-liitäntä tai Ethernet-liitäntä. DSLAM tarjoaa alueen ADSL-yhteydet kuluttaja asiakkaille sekä yritysasiakkaille. Kuten jo aikaisemmin on todettu, myös IP-palvelut ovat kasvussa ja niiden merkitys alueverkossa tulee olemaan yhä suurempi.

3.1 PDH-laitteilla toteutettu verkko

Nykyinen alueverkko on rakennettu suurimmaksi osaksi PDH-laitteilla. Suuri osa päätelaitteista perustuu PDH-rajapintaan, joten verkkoa uudistaessa on huomioitava E1-liitäntöjen tarve.



Kuva 21. Esimerkki kuva alueverkosta PDH-toteutuksena.

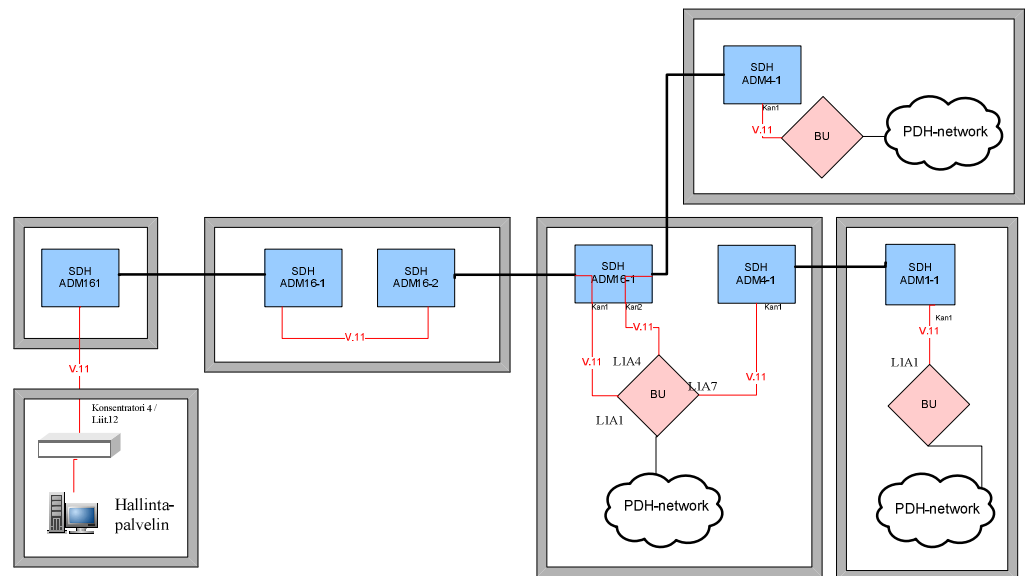
Kuvasta 21 nähdään, miten PDH:n käyttö alueverkossa lisää huomattavasti laitteiden kokonaismäärää, kun taas SDH-laitteisiin on mahdollista kytkeä suoraan E1-tason yhteys.

PDH-verkkoa hallitaan V.11-väyliä käyttäen. Hallintasiignaali tuodaan asemalle järjestelmiä pitkin V.11-väylää käyttäen. Se haaroitetaan haaroituskorttien avulla niin, että jokaiselle PDH-laitteelle saadaan hallintayhteys. Jokaiselle laitteelle annetaan oma osoite. Hallintapalvelimella voidaan osoitetietojen avulla ottaa yhteys haluttuun laitteeseen ja tehdä siihen asetuksia. Hallintaväylän avulla luetaan myös laitteilta hälytykset, ja verkonvalvonta pystyy siten valvomaan PDH-verkkoa.

SDH-verkon myötä on PDH-verkon hallinta vaikeutunut. V.11-väyliä täytyy kuljettaa PDH-laitteille, jotka ovat SDH-verkon takana. Tätä varten on otettava käyttöön SDH-laitteiden Aux-liitäntöjä. Monesti SDH-laitteisiin joudutaan

lisäämään erillisiä Aux-yksiköitä, koska ne eivät ole kaikissa laitteissa vakiona.

Verkon muutoksissa ja rakennuttamisessa on suunnitteluvaiheessa otettava huomioon PDH-verkon hallintaväylät. Tämä lisää suunnittelutyön vaativuutta ja vaikeuttaa verkon muutostöitä.



Kuva 22. V.11-väylän kuljetus SDH-verkon läpi hallintapalvelimelle.

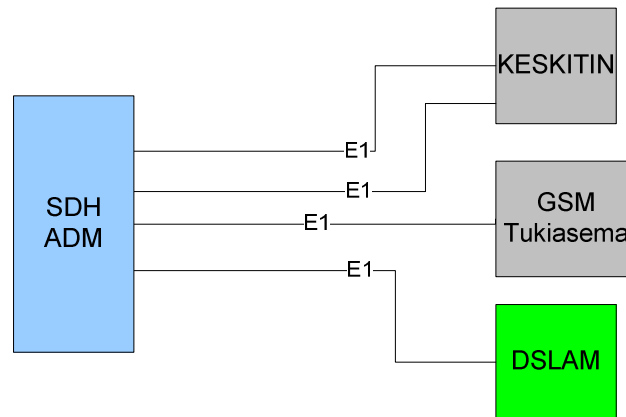
3.2 SDH-laitteilla toteutettu verkko

SDH-laitteita on alun perin käytetty lähinnä runkoverkossa ja loppupätkä edelleen PDH-laitteilla. Nykyään kuitenkin verkkoa yritetään rakentaa päästä päähän käyttäen SDH-tekniikkaa. Operaattoreiden suuren verkon takia ei kuitenkaan ole lähetty korvaamaan PDH-laitteita SDH-laitteilla vaan on käytetty jo valmiiksi investoituja PDH-laitteita, tämä on hidastanut huomattavasti alueverkon kehitystä. Maaseudulla, jossa laitteita on laajalla alueella ja yhteyksiä aika vähän, on edelleen paljon PDH-laitteita käytössä.

Alueverkkoon tuodaan joko STM-16-, STM-4- tai STM-1-tason järjestelmä riippuen alueen kapasiteettitarpeesta. STM-16-tason laitteen perässä on yleensä pienemmän kapasiteetin laitteita, joista saadaan E1-tason yhteyk-

siä, kun taas alueelle johon on rakennettu pienemmän kapasiteetin järjestelmä, otetaan yleensä E1-tason yhteydet samasta laitteesta. Monesti rakennetaan myös renkaita, eli järjestelmä tulee kahdesta eri suunnasta. Tällä tavalla saadaan alueverkko varmistettua.

SDH-verkkoa rakentaessa pitää myös huomioida, että jokaiselle laitteelle pitää tuoda kellosignaali, eli ne pitää synkronisoida. Laitteissa on oma oskillaattori. Jos kellosignaali katkeaa, niin laite pysyy oman kellonsa avulla synkronisoituna tietyn ajan. Operaattorit käyttävät atomikelloja synkronisointia varten, ja alueilla saattaa olla SASE, joka saa kellosignaalin atomikelloilta ja tasaa sen mukaan oman kellonsa ja jakaa sen alueen laitteille kellosignaalin.



Kuva 23. Esimerkkikuva alueverkosta SDH-toteutuksena.

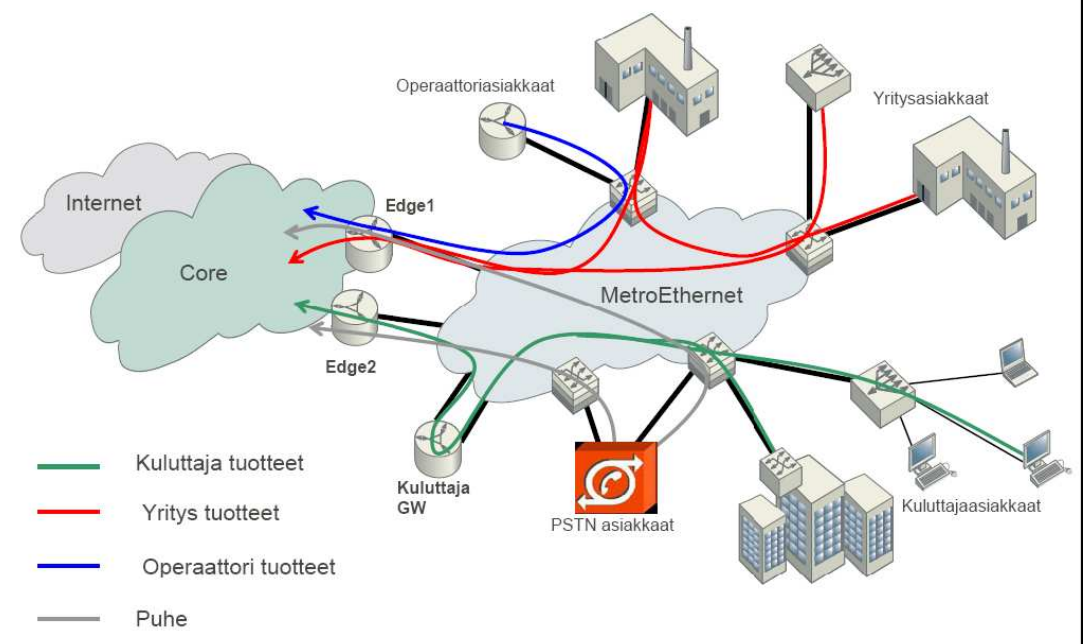
SDH-verkon hallintaa varten on rakennettu IP-pohjainen hallintaverkko, jonka avulla SDH-laitteita hallitaan. Isommilla asemilla laite kytketään kytkimeen, joka taas on reitittimen kautta yhteydessä hallintapalvelimeen. Pienemmille asemille hallintayhteys tuodaan järjestelmää pitkin käyttäen DCC-kanavia.

Kaikille laitteille annetaan oma verkko-osoite ja tieto tallennetaan hallintajärjestelmään. Laitteet lisätään hallintajärjestelmään esimerkiksi alueittain ja voidaan vaikka painamalla Helsinki-kuvaketta nähdä Helsingin kaikki laitteet. Klikkaamalla tiettyä laitetta päästään kiinni laitteeseen ja voidaan tehdä siihen asetuksia. Verkonvalvonnalla on käytössä sama hallintajärjestelmä, jolla

ne lukevat hälytykset kaikilta laitteilta ja pystyvät tällä tavalla ohjaamaan viankorjausta.

3.3 MetroEthernet-laitteilla toteutettu verkko

MetroEthernet-verkko perustuu MPLS-reitittimiin, joiden väliset yhteydet on toteutettu valokuidulla ja ne toimivat yleensä 1 Gb/s:n tai 10 Gb/s:n nopeuksilla. Paikallinen MetroEthernet-verkko on aina yhteydessä runkoverkkoon, jonka kautta yhteydet kulkevat paikkakunnilta toisille ja mahdollisesti myös ulkomaille. Asiakkaan fyysinen liitäntänopeus on 1 Gbps, mutta todellista palvelunopeutta voidaan verkossa joustavasti rajoittaa sopimuksen mukaisesti. Kuvassa 24 on esitetty esimerkki operaattorin dataverkon rakenteesta.

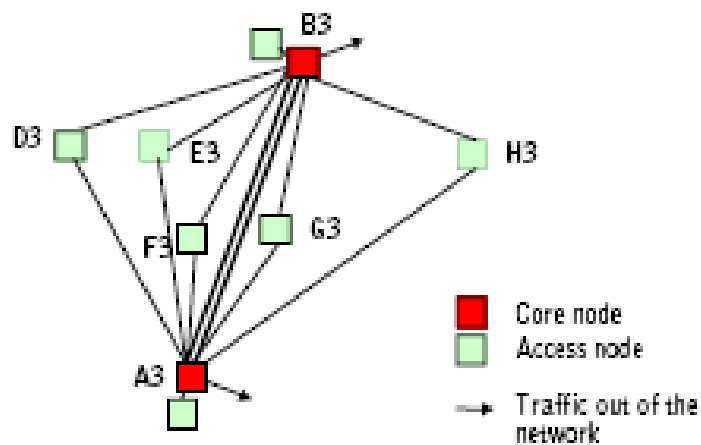


Kuva 24. Esimerkki me-verkosta [3].

Tietyn alueen ME-verkko rakennetaan huomioiden alueen olemassa oleva ja tuleva kuituverkko, laitetilat ja asiakastarpeet ja muut liityntätarpeet. Kukin verkko käsittää virtuaalisia runkosolmuja ja asiakaskerusolmuja. Runkosolmuun voidaan myös liittää asiakkaita. Asiakaskerusolmut liitetään kahteen runkosolmuun käyttäen eri kuitureittejä. Runkosolmujen asemille perustetaan omat asiakaskerusolmut siinä tapauksessa, että vaarana on

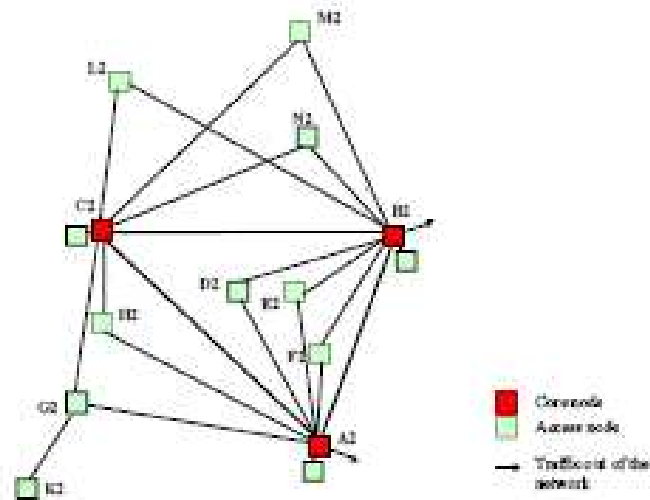
kehikon liitöntäkapasiteetin loppuminen. Jos runkosolmuista loppuu liitöntäkapasiteetti, aiheuttaa se moninkertaiset lisäinvestoinnit, koska uusista runkosolmuista tarvitaan liitännät myös palvelu- yms. reitittimiin. Runkosolmuja voidaan rakentaa lisää tarpeen vaatiessa.

Alueen Ethernet-verkon rakentaminen voidaan aloittaa niin, että alueelle tulee aluksi vain yksi laite, joka voi jatkossa toimia alueen yhtenä runko- tai asiakaskeruusolmuna. Kun Ethernet-liitöntätarpeet alueella kasvavat, lisätään alueelle runko- ja asiakaskeruusolmuja tarpeen mukaan niin, että alueelle syntyy esim. seuraavien esimerkkiverkkojen mukaisia verkkoja.



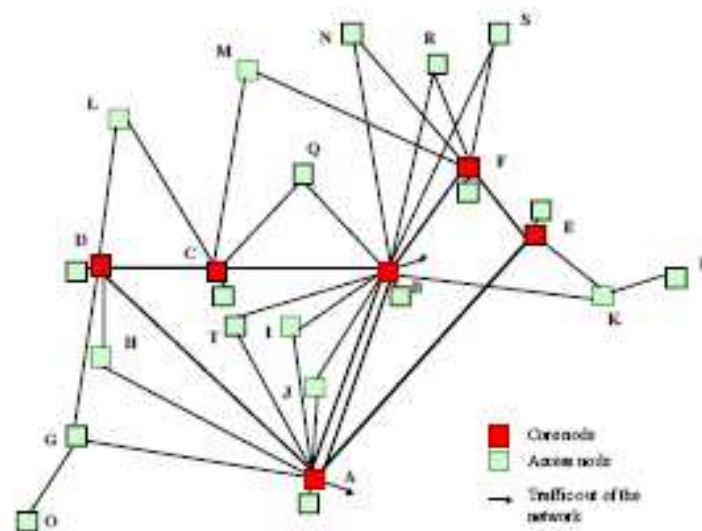
Kuva 25. Esimerkki ME-verkon mahdollisesta rakenteesta [3].

Kuva 25 käsittää kaksi ns. runkosolmua ja seitsemän asiakaskeruusolmua. Kunkin solmun välillä on käytettävissä yksi kuitupari. Asiakaskeruusolmut liitetään molempiin runkosolmuihin. Asiakkaat liitetään asiakaskeruusolmuihin tai runkosolmuihin, jos runkoasemalla ei ole tarvetta erilliselle asiakaskeruusolmulle.



Kuva 26. Esimerkki kolmen runkosolmun verkosta [3].

Kuva 26 on esimerkki kolmen runkosolmun verkosta lähtötilanteena tai ensimmäisen esimerkin laajennus. Solmu K2 on liitetty toiseen asiakasruusolmuun vain yhdellä yhteydellä, koska tähän solmuun on liitetty vain kulluttaja-asiakkaita, joita ei tarvitse varmistaa tai solmu on ollut sellaisen yhteyden päässä, johon ei ole mahdollista kohtuullisilla kustannuksilla saada varmistavaa reittiä.



Kuva 27. Esimerkki suuren kaupungin verkkomallista [3].

Esimerkkiverkko (kuva 26) käsittää kuusi runkosolmua ja kaksikymmentä asiakaskeruusolmua. Kunkin solmun välillä on käytettävissä yksi kuitupari. Varmistussyistä runkosolmujen A-B välille voidaan tehdä kaksi eri kaapelia/kaapelireittiä, joissa on kummassakin yksi kuitupari käytettävissä. Asiakaskeruusolmut liitetään kahteen runkosolmuun. Asiakkaat liitetään asiakaskeruusolmuihin tai runkosolmuihin, jos runkoasemalla ei ole tarvetta erilliselle asiakaskeruusolmulle. Solmut O ja P on liitetty toiseen asiakaskeruusolmuun vain yhdellä yhteydellä, koska näihin solmuihin on liitetty vain kuluttaja- ja muita asiakkaita, joita ei tarvitse varmistaa tai solmu on ollut sellaisen yhteyden päässä, johon ei ole kohtuullisilla kustannuksilla mahdollista saada varmistavaa reittiä.

Verkossa voi siis olla tarvittava määrä runkosolmuja ja asiakaskeruusolmuja niin, että runkosolmuja on vähintään kaksi, jotta saadaan varmistukset tehtyä. Asiakaskeruusolmuja ei voida asentaa vapaasti, vaan ne on aina kytkettävä kahta eri reittiä kahteen eri runkosolmuun tai yhdellä yhteydellä, jos solmu on ollut sellaisen yhteyden päässä, johon ei ole mahdollista kohtuullisilla kustannuksilla saada varmistavaa reittiä. Poikkeuksen tekee kuluttaja- ja muiden asiakkaiden liittymien keräilyolmut, joita ei tarvitse varmistaa automaattisesti (esim. FTTB). Nämä voidaan liittää yhdellä yhteydellä asiakaskeruusolmuun tai runkosolmuun.

Verkosta liikennöidään ulos sovittavista runkosolmuista, jotka liitetään muihin reitittimiin tai IP Core -verkkoon. Jokaisesta ME-alueesta tehdään kahdesta eri laitteesta kahteen eri palvelu- ja runkoreitittimeen yhteydet [3].

3.4 Radiolinkit

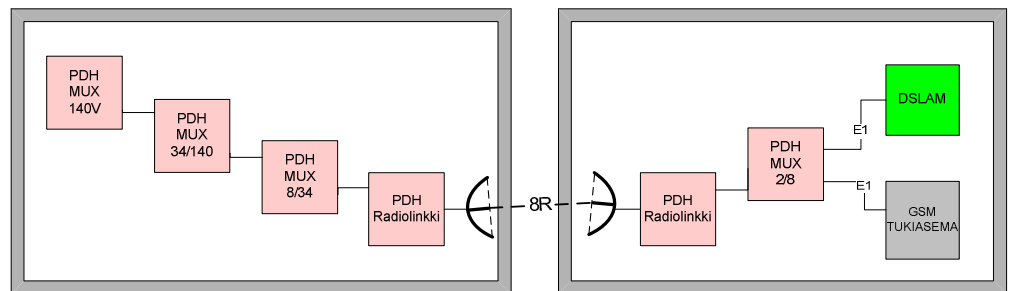
Radiolinkit ovat tärkeä osa alueverkkoa. On paljon alueita, jonne kuituverkkoa ei ole rakennettu. Vanhoissa radiolinkeissä on PDH-liitäntöjä ja niitä myös hallitaan PDH-verkon hallintajärjestelmän avulla. Uudemmat radiolinkit voivat olla joko ethernet-liitännöillä, SDH-liitännöillä tai molemmilla, ja niitä voidaan hallita IP-verkon avulla.

Verkkoa uudistettaessa on myös huomioitava radiolinkit. Uudet radiolinkit eivät tuota ongelmia uusintavaiheessa. Ne voidaan kytkeä suoraan SDH-laitteisiin esim. STM1:llä ja hallinta voidaan viedä SDH-verkon läpi ip-

verkkoon. Vanhempiin radiolinkkeihin täytyy kiinnittää erityishuomiota. Helppoin tapa olisi uudistuksen yhteydessä uusia myös radiolinkit. Koska vanhat radiolinkit hallitaan myös PDH:n hallintajärjestelmällä, on ne joka tapauksessa uusittava viimeistään siinä vaiheessa, kun viimeinen PDH-laite on poistettu verkosta eikä hallintajärjestelmää enää tarvita.

3.4.1 Esimerkki, perinteisellä radiolinkillä toteutetusta verkosta

Yleisimmät radiolinkit alueverkossa ovat 8R- tai 16R-järjestelmiä, eli kantavat joko $4 * E1$ tai $8 * E1$. PDH-tekniikkaan perustuvat radiolinkit noudattavat myös PDH:n rajoituksia.



Kuva 28. Perinteinen radiolinkki toteutus alueverkossa.

3.4.2 Nykyaikaiset radiolinkit

Nykyaikaisilla radiolinkeillä voidaan toteuttaa STM-1-tason yhteyksiä n. 30 km:n etäisyydellä, riippuen maastosta sekä maston korkeudesta. Seuraavaksi on esitetty yksi esimerkki radiolinkin sisäyksiköstä.

NEC Pasolink NEO

Sisäyksikkö, eli yleensä laiteaseman sisätiloihin sijoitettava yksikkö, on modulaarinen, joten kalustamalla erilaisia pistoyksiköitä saadaan toteutettua aina tarpeen täyttävä variaatio. Kuvassa on Pasolink NEO-radiolinkki, joka on kalustettu kahdella modeemiyksiköllä (vasemmalla reunassa kaksi korttia, 1+1 varmistus), 16 x 2 Mb/s + 2 x FE 10/100 -pistoyksiköllä (oikealla puolella ylempi kortti) ja ohjainyksiköllä (oikealla puolella alempi kortti).



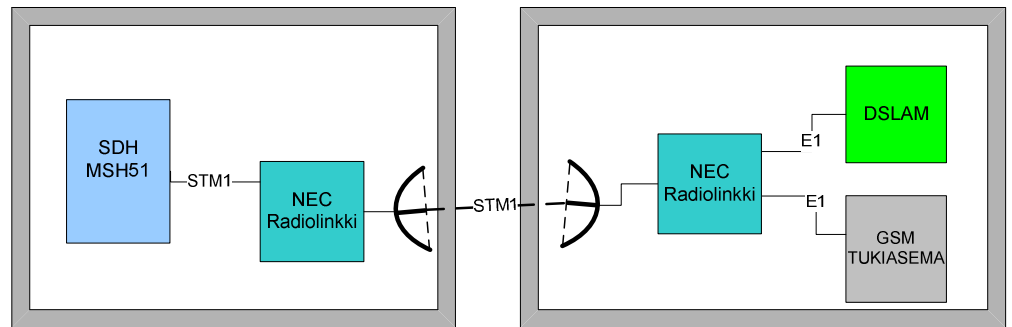
Kuva 29. NEC pasolink NEO [9].

Taulukossa 3 nähdään, yllä mainitun radiolinkin eri kalustusvaihtoehdot. Nähdään, että nykyiset radiolinkit ovat monipuolisia ja tukevat hyvin PDH:sta siirtoa. Koska uudet radiolinkit tarjoavat myös ethernet-rajapinnan, tukee se myös kehitystä kohti täysin IP-pohjaista verkkoa [9].

Taulukko 3. NEC Pasolinkin liitännät [9].

Liitännät / pistoyksikkö	Linkin kapasiteetti
16 x E1 + 2 x FE 10/100 Mb/s	10-80 Mb/s
4 x E1 + 4 x FE 10/100 Mb/s	100 Mb/s
48 x E1	100 Mb/s
2 x FE 150 Mb/s	150 Mb/s
1000 Base SX/LX (SFP) tai 1000 Base-T	150 Mb/s
1 x STM-1	150 Mb/s
2 x STM-1 (tulossa)	155 Mb/s x 2

Alla on esitetty aikaisempi radiolinkeillä toteutettu tilanne uudemmilla radiolinkeillä. Rajapinnat ovat edelleen E1:siä, mutta haluttaessa ne voitaisiin myös toteuttaa ethernet-liitännöillä. Jos päätelaitteet uudistetaan, ei tarvitse vaihtaa laitteistoa siirtotieltä. Muuttamalla kalustoa voidaan samalla laitteella tarjota myös ethernet-rajapinta.

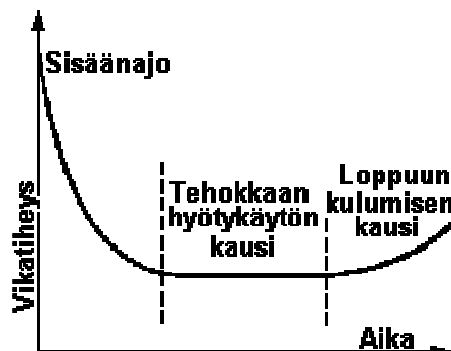


Kuva 30. Alueverkossa käytössä uudet radiolinkit.

Kuvasta 30 ilmenee, että alueverkkoa uudistettaessa paras tulos saavutetaan kun PDH-laitteet ja radiolinkit uusitaan yhtäaikaaisesti. Ongelmia tulee tilanteessa, kun PDH-laitteistoa on runkoverkon ja radiolinkin välissä, tai tilanteessa jossa radiolinkin taakse jätetään PDH-laitteita. Ei myöskään ole suotavaa, että alueverkon osuus uusitaan, mutta verkkoon jätetään vanhat radiolinkit. Se aiheuttaa ongelmia radiolinkkien hallinnassa.

4 UUDISTETUN VERKON RAKENNE JA HYÖDYT

Vaikka PDH-laitteet täyttävät monessa tilanteessa vaatimukset, ovat operaattorit pakotettuja siirtymään uudempaan laitteistoon. Suuri osa PDH-laittekannasta alkaa olla elinkaarensa loppupäässä. Niihin tulee enemmän vikoja, ja ne vaativat enemmän huoltoa. Tuotevalmistajat eivät välttämättä enää tue tuotteita eivätkä valmista varaosia.



Kuva 31. Tuotteen elinkaari ja vikatiheys.

Ongelmana on myös laitteiden ylläpito. Tekniikka ei kiinnosta uusia työntekijöitä ja osaavat työntekijät ikääntyvät. Hallintajärjestelmään ei haluta sijoittaa enempää rahaa ja useiden hallintajärjestelmien ylläpito ei ole kustannustehokasta.

Suunta on *All over IP* -verkot, mutta suurin osa puheliikenteestä on edelleen piirikytkentäistä eikä olemassa oleva laitteisto tue ethernetiä, joten välivaihe on korvata PDH-laitteet SDH-laitteilla, kuitenkin siten, että mahdollisuuksien mukaan siirrytään suoraan pakettikytkentäiseen verkkoon.

4.1 Uuden verkkorakenteen tavoitteet

Tavoitteena on päästä kokonaan eroon PDH-laitteista. Alueverkon tulisi pääosin koostua IP-laitteista ja tarvittaessa SDH-laitteista.

Kun verkosta saadaan poistettua kaikki laitteet, voidaan lopettaa sen hallintajärjestelmä ja siirtää resursseja ylläpidosta uusiin tekniikoihin. Tämä onkin

suuri ongelma teleoperaattoreille. Kun uusia tekniikoita jalkautetaan, ei yleensä voida samaan aikaan poistaa vanhaa tekniikkaa. Päädytään tilanteeseen, jossa on rinnakkain toimivia järjestelmiä, joka aiheuttaa kulujen nousua.

4.2 Siirto PDH-verkosta SDH-verkkoon

Uudistettu verkko tulee koostumaan pääosin IP-laitteista, mutta kuten jo aikaisemmin tässä työssä on mainittu, on verkossa paljon päätelaitteita, jotka eivät vielä tue pakettikytkentäistä liikennettä. Verkko tulee siis koostumaan myös SDH-laitteista.

Tämän työn yhteydessä on TeliaSonera Finland Oyj:lle tehty uudistusehdotus yhden alueverkon osalta. Sitä osuutta tästä työstä ei voida julkaista salassapitovelvollisuuden takia.

4.2.1 Haja-asutus seudun alueverkko

Liitteestä 1 nähdään yhden tavallisen hajaseutualueen verkon rakenne. Laitteasemalla on kuvattu vain ne laitteet, jotka liittyvät kuvattujen yhteyksien toteutukseen. Alueella on kaksi GSM-tukiasemaa, kaksi keskitintä ja yksi tehdas, jolla on yksi 8 Mb/s:n yhteys.

Liitteen 1 vasemmalla puolella on perinteinen toteutus PDH-laitteella ja oikealla puolella tilanne ehdotetun uudistuksen jälkeen. Siirtolaitteiden määrä vähenee huomattavasti. Alkuperäisessä tilanteessa siirtolaitteiden kokonaismäärä on kahdeksantoista ja uudistuksen jälkeen siirtolaitteita on vain kuusi. Huomioitavaa on myös, että kuudesta siirtolaitteesta ainoastaan kolme vaatii investointia, kolme oli alueella jo ennestään. Uusi rakenne edellyttää, että tehdas saadaan vaihtamaan ATM-yhteys ethernet-yhteyteen. Tämä ei todennäköisesti tuota ongelmia.

4.2.2 Haja-asutus seutu, kuituparien säästäminen

Liitteestä 2 nähdään edellisen esimerkin kaltainen alueverkko. Esimerkissä kuvataan kahden aseman välisiä yhteyksiä. Ala-asemalla on kaksi keskitintä, yksi GSM-tukiasema, yksi DSLAM (tarjoaa alueelle ADSL-liittymiä) omalla kuituparilla sekä yksi ATM-laite omalla kuituparilla, joka tarjoaa yhdelle alueella toimivalle yritykselle datayhteyden.

Kuvan vasemmalla puolella on perinteinen toteutus ja oikealla puolella ehdotus uudistuksesta. Alkuperäisessä tilanteessa siirtolaitteita on käytössä yhdeksän ja kuitupareja on kolme. Uudistuksen jälkeen siirtolaitteita on käytössä viisi ja kuitupareja on yksi. Siirtolaitteista yksi on uusi investointi.

Kuituparien säästö on tämän kaltaisissa tilanteissa huomattava. Hyöty on kuitenkin aika pieni, jos alueen kapasiteettitarve ei kasva huomattavasti. Suurempi hyöty on jälleen siirtolaitemäärän väheneminen. Suhteessa yhtä suuri kuituparien säästö isommalla asemalla, jossa kuituparien tarve on suurempi, voisi tuoda merkittävää säästöä, sen sijaan, että asemien välille kaivettaisiin lisää kuitua.

4.2.3 Yrityksen datayhteys

Liitteessä 3 on kuvattu yhdelle yritykselle tarjottua 2 Mb/s yhteyttä. Lähtötilanteessa siirtolaitteita on kuusi. Uudistuksen jälkeen siirtolaitteita on jäljellä ainoastaan kolme, joista yksi on uusi investointi. Uudesta siirtolaitteesta on mahdollista tarjota yritykselle edelleen 2 Mb/s:n yhteys. Yrityksen halutessa on samasta laitteesta myös mahdollista tarjota ethernet-yhteys esim. 100 Mb/s FastEthernet -yhteys. Tällä tavalla ei tarvitse pakottaa yritystä uusimaan laitteistoansa samalla, kun operaattori uusii laitteensa, mutta operaattori on silti varautunut siihen, että asiakas saattaa vaatia tulevaisuudessa ethernet-yhteyttä.

4.3 Ethernetin huomioiminen

Operaattoreiden tavoitteena on puhtaasti pakettikytkentäiset verkot. Tämä tavoite on otettava huomioon verkkoa uudistettaessa. Useimmat ADSL-yhteyksiä tarjoavat DSLAM-laitteet tukevat pakettikytkentäistä liikennettä, joten ne ovat mahdollisuuksien mukaan siirrettävissä suoraan ME-verkkoon. Tilanteen mukaan on myös huomioitava päätelaitteet, jotka eivät tue pakettikytkentäistä liikennettä. On harkittava, kannattaako siirtolaitteiden uudistuksen yhteydessä myös uusia päätelaitteet.

On myös huomioitava GSM- ja UMTS-tukiasemat. Tänä päivänä ne vaativat E1-yhteyden, mutta mobiilipalvelujen kehittyessä myös tukiasemat vaativat suurempia yhteyksiä. Onkin luonnollista kytkeä tukiasemat suoraan ME-verkkoon. Tätä siirtoa varten on valmistauduttava uudistuksen yhteydessä.

4.4 Uuden verkkomallin hallinta

Niiltä osin, kun verkosta saadaan poistettua kaikki PDH-laitteet, on verkon TDM-osuuden hallinta tavallista SDH-verkon hallintaa (kts.3.2). Tilanteet, joissa PDH-laitteet poistetaan vaiheittain tai jonkun muun pakottavan tarpeen takia ei voida poistaa, on PDH-laitteiden hallinta huomioitava. PDH-laitteita on mahdollista hallita SDH-verkon läpi (kts.3.1). Ethernet-laitteita on mahdollista hallita linjasignaalia käyttäen, joten hallinta onnistuu runkoverkon kautta. Tilanteissa, joissa Ethernet-laitteet ovat SDH-verkon takana, onnistuu hallinta linjasignaalia käyttäen.

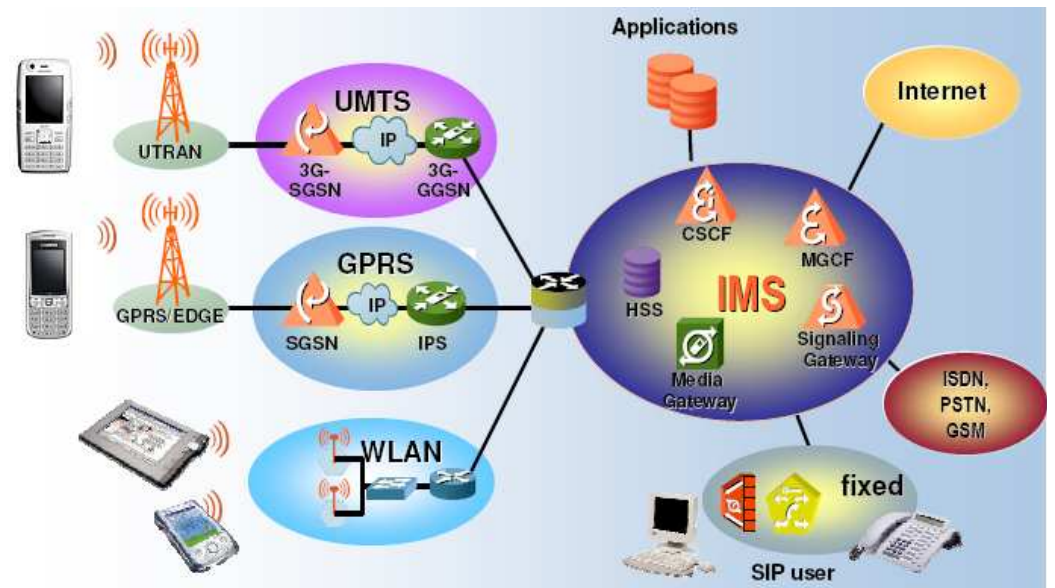
Jos verkosta saataisiin korvattua kaikki PDH-tekniikkaa käyttävät siirtolaitteet, olisi mahdollista purkaa PDH-verkon hallintajärjestelmä. Tämä pienentäisi verkonhallinnan kustannuksia sekä vapauttaisi resursseja verkonhallinnasta. Tällä hetkellä ollaan tilanteessa, jossa verkko-operaattoreilla on useita rinnakkaisia hallintajärjestelmiä. Voidaan olettaa, että myös tulevaisuudessa verkko-operaattorin on käsiteltävä useita rinnakkaisia järjestelmiä tekniikan kehittyessä jatkuvasti. Verkko-operaattoreiden on silti pyrittävä vähentämään rinnakkaisia järjestelmiä siinä määrin kuin se on mahdollista.

5 TULEVAISUUDEN ALUEVERKOT

Kuten työssä on jo aikaisemmin mainittu, tavoittelevat operaattorit verkkoa, jossa kaikki liikenne on pakettikytkentäistä ja ethernet-tekniikalla toteutettua. Tämä on jo teoriassa mahdollista. Todellisuudessa muutos tapahtuu askel kerrallaan ja täysin pakettikytkentäiseen verkkoon siirtyminen on vasta vuosien päässä. On olemassa standardeja, jotka määrittelevät miten Ethernet-signaali kuljetetaan SDH-verkon yli, *Ethernet over SDH*. Toisaalta on myös standardeja, jotka määrittelevät, miten SDH-signaali kuljetetaan ME-verkon läpi. Nämä molemmat mahdollisuudet tukevat siirtoa kohti täysin pakettikytkentäistä verkkoa. Laitteita voidaan uusia asteittain. SDH-verkon ollessa kattavampi voidaan hyödyntää mahdollisuutta kuljettaa ethernet-signaalia SDH-verkon läpi. ME-verkon laajentuessa SDH-verkkoa kattavammaksi voidaan ottaa käyttöön mahdollisuus siirtää SDH-signaalia ME-verkon läpi.

Monilla operaattoreilla on tavoitteena FMC (*Fixed Mobile Convergence*) eli kiinteään puhelinverkon sekä matkapuhelinverkon yhdistäminen. Kiinteä puhe suuntaa kohti VoIP:ia (*Voice over IP*), ja IMS-arkkitehtuuri (*IP Multimedia Subsystem*) luo jalansijaa operaattorien joukossa.

IMS on alun perin 3GPP:n kehittämä arkkitehtuuri tukemaan IP palvelujen tarjoamista matkapuhelin käyttäjille. IMS tukee useimpia IETF:n asettamia vaatimuksia VoIP:lle. IMS forum vastaa arkkitehtuurin kehittämisestä sekä yhteensopivuuden testaamisesta. Päätapautuma on IMS Plugfest [19], joka on laitevalmistajille tarkoitettu seminaari, jossa kehitetään ja testataan yhteensopivuutta.



Kuva 32. IMS-arkkitehtuurin periaatekuva [16].

Nykyinen koko ajan laajeneva ME-verkko yhdistettynä IMS-alustaan luo hyvän mahdollisuuden kiinteän puhelinverkon ja matkapuhelinverkon yhdistämiselle. Kiinteät puhelinpalvelut voidaan siirtää suoraan asiakkaan laajakais-tan päälle. Yhdellä päätelaitteella voidaan loppuasiakkaalle tarjota sekä laa-jakaista että puhe liittymää. Jos kaapelointi on vähintään Cat5-kaapeleilla to-teutettu, voidaan asiakkaalle tarjota suoraan kytkimestä Ethernet-yhteys. Cat3-tapauksessa kytkimen perään tarvitaan lisäksi DSLAM-laite. Asiakkaan puhepalvelu kulkee ME-verkon läpi IMS-alustaan.

Koska IMS-alusta on alun perin kehitetty matkapuhelimille, on se myös luonnollinen valinta alustaksi matkapuhelinverkolle. Toisin sanoen GSM-tukiasemat voidaan myös kytkeä ME-verkkoon ja sitä kautta IMS-alustaan. Tällä tavalla saadaan operaattorin verkko erittäin kustannustehokkaaksi. Valvonta ja hallinta kohdistuvat vain yhteen verkkoon ja yhteen alustaan.

Matkapuhelinverkon ja kiinteän puhelinverkon yhdistäminen toteutetaan ope-raattoreilla asteittain. Etenkin suurilla operaattoreilla on jo toimivat alueverkot sekä runkoverkot ja puhepalvelualustat joihin on tehty suuria investointeja. Joten luonnollinen uudistaminen tapahtuu olemassa olevan laitteiston van-hetessa. Vaikka kiinteänpuhelinverkon ja matkapuhelinverkon yhdistäminen tuokin suuria säästöjä hallinnassa ja valvonnassa, vaatii se mittavia inves-tointeja. Perinteisen kiinteän puhelinverkon luotettavuus ja puheen laatu tuottaa myös haasteita, koska nykyiset VoIP-palvelut ei yllä samaan luotet-

tavuuteen eikä puheen laatuun. Tosin IP-puheen laatu on parempaa kuin matkapuhelinverkon puheen laatu ja Suomessa puheliikenne on jo 75 prosenttisesti matkapuhelinliikennettä, joten ihmiset ovat jo tottuneet huonompaan laatuun [16].

Liitteessä 4 on esitetty esimerkki aikaisemmin esitetystä alueverkosta. Esimerkkiin on lisätty DSLAM ja havainnollistamisen vuoksi loppuasiakkaan päätelaitteet. Jos kaapelointi loppuasiakkaalle olisi toteutettu Cat5-kaapelilla, olisi mahdollista kytkeä loppuasiakas suoraan kytkimeen.

Voidaan todeta että siirtolaitemäärä jälleen vähenee. Tosin suurin hyöty kiinteän puhelinverkon ja matkapuhelinverkon yhdistämisestä saadaan isoissa kaupungeissa, siellä siirtolaitemäärä ja datakapasiteetintarve on paljon suurempi sekä siitä, että ei tarvitse ylläpitää kahta puhetta käsittelevää alustaa.

6 YHTEENVETO

Työssä päästiin tavoitteeseen selvittää alueverkon rakenne ja laatia siihen uudistusehdotus käyttäen nykyisin käytössä olevia siirtolaitteita sekä selvittää uudistuksen vaikutus. Tuloksissa yllättävää oli, kuinka pienillä siirtolaitteinvestoinneilla verkko olisi mahdollista täysin uudistaa ja poistaa siitä PDH-laitteet. Kuitenkin uudistuksen suurimpana esteenä ei ole siirtolaitteinvestoinnit, vaan resurssien löytäminen uudistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Näin iso muutostyö aktiivisessa verkossa vaatisi erittäin paljon suunnittelu-työtä, koska jokainen yhteys täytyisi huomioida. Muutostyöt tulisi suunnitella siten, että yhteyksiin ei tule katkoksia muuten kuin sovittuun aikaan ja toteutus täytyisi suorittaa suurimmaksi osaksi yöaikaan. Ongelmaksi voisi myös koitua laitevalmistajien mahdollisuudet toimittaa niin suuria määriä laitteita.

Tulosten perusteella työssä ehdotetaan uusimista pieni alue kerrallaan ja mieluiten, jos alueella jo uusitaan verkkoa. Uusiminen tulisi aloittaa alueista, joissa vikatiheys on todettu nousevan tai jos jostakin muusta syystä on perusteltua uusia siirtolaitteita alueella tai tehdä suurempia muutoksia verkkoon. Koska siirto täysin pakettikytkentäiseen verkkoon nähdään seuraavana suurena investointina, ei ole kannattavaa tässä vaiheessa uudistaa alueverkkoa niiltä osin, missä vanha teknologia ei tuota ongelmia.

Työn tarkoituksena oli myös selvittää mahdollisuus kuituparien tehokkaampaan käyttöön. Työssä todettiin, että kohdealueella uudistuksella ei ollut suurta merkitystä käytettyjen kuituparien määrään. Tosin vastaan tuli tilanteita, joissa oli mahdollista tehostaa kuituparien käyttöä, parhaimmillaan käyttöä saatiin pienenettyä kolmasosaan alkuperäisestä. Isommissa kaupungeissa uudistuksella voi olla merkittävämpi vaikutus kuitujen käyttöön. Kaupunkien alueverkossa korttelijakamot ja talojakamot tarjoavat enemmän yhteyksiä ja siellä on suurempi tarve kuiduille, jolloin myös epätehokkaalla kuituparien käytöllä on myös suurempi vaikutus.

Työssä myös selvitettiin vaikutusta varaosatarpeeseen. Vanhan laitekannan varaosia alkaa olla vaikea saada. Todettiin, että nykyisillä siirtolaitteilla olisi mahdollista korvata kaikki verkossa olevat PDH-laitteet. Jos PDH-laitteet poistettaisiin kokonaan verkosta, pieneneisi varaosavalikoima huomattavasti.

Toisaalta työssä ei suositella massakorvausta. Työssä ehdotetaan, että pienempien alueiden uudistuksen yhteydessä purettuja laitteita käytettäisiin uudelleen varaosina tarpeen mukaan. Tämä ei tosin tuo helpotusta varaosien hallintaan tai logistiikkaan, joten uudistuksella ei ole suurta vaikutusta varaosatarpeeseen ennen kuin on täysin siirrytty pois PDH-laitteista.

Kohdealueen uudistamisehdotuksessa todettiin, että siirtolaitemäärä väheni 70 prosenttia, kun kaikki PDH-laitteet korvattiin uusilla soveltuvilla siirtolaitteilla. Tämä huomattava laitemäärän vähentäminen helpottaisi verkon hallintaa huomattavasti ja voidaan olettaa, että myös varaosatarve pienenesi. Varaosatarve olisi mahdollista vähentää samassa suhteessa kuin laitteiden määrä olettaen että vanhojen laitteiden vikatiheys kasvaa. Vikatiheyttä olisi verrattava uuden sisäänajo vaiheessa olevan siirtolaitteen vikatiheyteen.

Asteittainen PDH-verkon purku ei myöskään tuo suurta helpotusta verkon hallinnan kannalta. Hallintajärjestelmän kustannuksia ei voida huomattavasti pienentää niin kauan, kun verkossa on edelleen PDH-laitteita. Toisaalta PDH-verkon hallinta on jaettu maantieteellisesti, joten hallintakustannuksia saadaan pienennettyä jos saadaan tietyltä alueelta koko PDH-verkko purettua.

Työssä selvisi myös mahdollisuudet siirtyä täysin pakettikytkentäiseen verkkoon. Täysin pakettikytkentäinen verkko vähentäisi laitemäärää vieläkin suuremmassa määrässä. Pakettikytkentäiseen verkkoon siirto antaisi myös operaattoreille mahdollisuuden kiinteän puhelinverkon ja matkapuhelinverkon yhdistämiseen.

VIITELUETTELO

- [1] Anttalainen, Tarmo, Introduction To Telecommunications Network Engineering. Artech House 2003.
- [2] Metro Ethernet Forum, Metro Ethernet Network Architecture Framework – Part 1: Generic Framework [viitattu 20.4.2008]. Saatavissa: http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=29
- [3] Ihatsu, Ari & Rantanen, Meerit, Soneran sisäinen tekninen ohje, Metro Ethernet Suunnitteluohje 1.0
- [4] Osi-Malli Wikipedia [viitattu 20.03.2008]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli>
- [5] Harjunpää, Oiva, Soneran sisäinen tekninen ohje, SDH-verkon vianrajoituskurssi OSA 1
- [6] Metro Ethernet Forum, A technical overview [viitattu 20.4.2008]. Saatavissa: www.metroethernetforum.org/PDF_Documents/metro-ethernet-services.pdf
- [7] Metro Ethernet Forum, Requirements and Framework for Ethernet Service Protection in Metro Ethernet Networks [viitattu 20.4.2008]. Saatavissa: http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=29
- [8] Renfors, Jori, Alueverkon laajentaminen TeliaSonera Finland OYJ:lle
- [9] Nec Pasolink Neo tuote-esittely [viitattu 12.4.2008]. Saatavissa: <http://www.nec.com/global/prod/nw/pasolink/products/pasoneo.html>
- [10] Alcatel Lucent 7450 ESS datasheet [viitattu 12.4.2008]. Saatavissa: http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/opqdatasheet/pdf/7450_ESS.pdf
- [11] Alcatel Lucent 7750 SR datasheet [viitattu 12.4.2008]. Saatavissa: http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/opqdatasheet/pdf/7750_SR_ds.pdf
- [12] Marconi Communications Limited. MSH41C Data Sheet
- [13] Marconi Communications Limited. MSH51C Data Sheet
- [14] Marconi Communications Limited. OMS1200 Data Sheet
- [15] Nystén, Mika, Soneran sisäinen tekninen ohje, Marconi OMS840 laitesuunnitteluohje.
- [16] Siemens Networks, IMS Evolution towards Multimedia 2005/2006[viitattu 13.4.2008]. Saatavissa: <http://www.di.uevora.pt/~aed/UnivEvora%20-%20IMS%20Evolution%20torwards%20Multimedia.pdf>
- [17] JDS Uniphase Corporation , Synchronous Digital Hierarchy Pocket Guide [viitattu 14.4.2008]. Saatavissa: http://www.jdsu.com/product-literature/sdh_pg_opt_tm_ae_1005.pdf
- [18] Ethernet Wikipedia [viitattu 14.4.2008]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [19] IMS Forum, plugfest [viitattu 20.4.2008]. Saatavissa: <http://www.imsforum.org/events>

