



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

TIETOLIIKENNEYHTEYKSIEN SUUNNITTELU LIIKKUVAAN PALVELUTILAAN

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Johannes Tapio

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

TAPIO, JOHANNES:

Tietoliikenneyhteyksien suunnittelu
liikkuvaan palvelutilaan

Tietoliikennetekniikan opinnäytetyö, 57 sivua, 7 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esiselvitys Linkku-palveluajoneuvon tietoliikennetoteutuksesta sekä laatia konkreettinen verkkosuunnitelma. Linkku on Lahden ammattikorkeakoulun ja Aalto-yliopiston Älybussi-hankkeen tuloksena syntynyt prototyyppi liikkuvasta palvelutilasta, jonka tavoitteena on tuoda palvelut lähemmäksi haja-asutusalueilla asuvia ihmisiä. Linkku on ollut kevästä 2014 lähtien pilottivaiheessa, jonka aikana ajetaan testiajoja Päijä-Hämeessä.

Työn teoriaosuudessa käsitellään langallisen ja langattoman lähiverkon arkkitehtuuria ja toimintaa. Lisäksi käydään läpi OSI-malli, TCP/IP-protokollapino, verkkolaitteet ja langallinen siirtotie. Verkkolaitteiden yhteydessä käsitellään virtuaalista lähiverkkoteknologiaa sekä moniverkotusta. Teoriaosuudessa käsiteltäviä osa-alueita ovat myös mobiiliverkkojen arkkitehtuuri ja niissä toimivat datapalvelut.

Älybussi-projektin aikana 2013–2014 tehdyn esiselvitys- ja suunnittelutyön tuloksena syntyi selvitys Linkun tietoliikenneyhteyksiin kohdistuvista vaatimuksista ja verkkosuunnitelma. Verkkosuunnitelmaan kuului Linkun sisäverkon rakenne, käytettävä laitteisto ja Internet-yhteyden toteuttaminen mobiililaajakaistateknologialla. Suunnitelman keskeisenä laitteena toimi PepWave MAX HD2 -reititin, joka kykenee käyttämään useita laajaverkkoyhteyksiä samanaikaisesti Internet-yhteyden varmentamiseksi. Älybussi-hankeeseen mukaan tullut Päijät-Hämeen koulutus konsernin tietohallinto päätyi käytännön toteutuksessaan samankaltaiseen ratkaisuun, liittäen omalla ratkaisullaan Linkun PHKK:n verkkoon yhdellä 3G-mobiililaajakaistayhteydellä. Usean laajaverkkoyhteyden samanaikainen käyttö jätettiin kuitenkin toteutuksesta pois.

Kesän 2014 aikana Linkun tietoliikenneyhteyksien toimivuutta testattiin pilottivaiheen testiajojen yhteydessä Päijät-Hämeessä Padasjoen, Hartolan ja Sysmän alueilla. Testaustulokset osoittivat, että vaikka 3G- ja 4G-verkkojen peittoalue ja luotettavuus kasvaa operaattoreiden rakentaessa verkkojaan kattavimmiksi, olisi silti suositeltavaa harkita Linkun tietoliikenneyhteyksien varmentamista useammalla mobiiliyhteydellä. Tämä saavutettaisiin hyödyntämällä moniverkotukseen kykenevää reititintä ja uutta 450 MHz:n taajuusalueetta käyttävää mobiiliteknologiaa.

Asiasanat: lähiverkko, langaton lähiverkko, multihoming, 3G, 4G, Päijät-Häme

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology

TAPIO, JOHANNES:

Designing Wireless Communications for
a Mobile Service Platform

Bachelor's Thesis in Telecommunications Technology, 57 pages, 7 pages of
appendices

Spring 2015

ABSTRACT

The goal of this thesis was to create a preliminary design of the wireless communications of Linkku, a mobile service platform. Linkku is a prototype created by Lahti University of Applied Sciences and Aalto University during the project Älybussi. The purpose of Linkku is to make services more accessible for people living in sparsely-populated areas of Päijät-Häme. In spring 2014 Linkku entered a piloting stage, during which test runs are conducted in Päijät-Häme region.

The theory part of the thesis addresses the following topics: architecture and functions of wireless and wired local area networks, the OSI model, TCP/IP protocol suite, network equipment and wired data transfer medium. Other topics include architecture and data services of mobile networks, multihoming and virtual local area networks.

During the Älybussi project in the years 2013–2014, a preliminary network design of the wireless communications of Linkku was made. The network design included the local area network of Linkku, the network equipment and the Internet connection by mobile network technology. A vital component of the network design was the PepWave MAX HD2 router, which allows for bonding together multiple WAN connections to aggregate the Internet connection. The IT services unit of Lahti Region Educational Consortium, which were responsible for implementing wireless communications of Linkku, decided on a similar network solution. The network solution used a single mobile broadband connection to incorporate the local area network of Linkku to the network of Lahti Region Educational Consortium.

The wireless communications of Linkku were tested during the piloting stage in summer 2014. Test runs were conducted in three municipalities of the Päijät-Häme region: Padasjoki, Hartola and Sysmä. The test results indicated that even though the reliability and service area of 3G and 4G networks in Finland are constantly expanding, using multiple mobile connections to aggregate the wireless connections of Linkku should be considered. This could be achieved by using a router capable of multi-WAN routing and new mobile technologies utilizing the 450 MHz frequency band.

Key words: LAN, Wireless LAN, multihoming, 3G, 4G, Päijät-Häme

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LÄHIVERKKOTEKNOLOGIA	2
2.1	OSI-malli	2
2.2	TCP/IP-protokollapino	5
2.2.1	Protokollien toiminta	7
2.2.2	Internet Protocol	8
2.3	Ethernet	10
2.3.1	IEEE 802.3	10
2.3.2	Ethernet-kehys ja MAC-osoite	11
2.3.3	Topologiat	12
2.3.4	CSMA/CD	14
2.3.5	Siirtotie	15
3	LÄHIVERKKOJEN LAITTEISTO	18
3.1	Toistin	18
3.2	Kytkin	18
3.3	Reititin	20
3.3.1	Reititystaulu	21
3.3.2	Reititys ja reititysprotokollat	21
3.3.3	WAN	23
3.3.4	Moniverkotus	24
4	LANGATON LÄHIVERKKOTEKNOLOGIA	25
4.1	IEEE 802.11	25
4.2	Arkkitehtuuri	26
4.3	Turvallisuus	27
4.3.1	WEP	27
4.3.2	WPA ja WPA2	28
5	DATASIIRTO MOBIILIVERKOISSA	29
5.1	2G-teknologia	29
5.1.1	GSM	29
5.1.2	GPRS	32
5.1.3	EDGE	32
5.2	3G-teknologia	33

5.2.1	UMTS	33
5.2.2	HSPA	34
5.3	4G-teknologia	35
5.3.1	DC-HSPA	35
5.3.2	LTE	36
5.3.3	LTE-A	37
5.4	450 MHz:n laajakaistatekniikka	37
6	LINKKU-PALVELUBUSSI	39
7	ESISELVITYSTYÖ	40
7.1	Vaatimusten määrittely	40
7.1.1	Palveluiden asettamat vaatimukset	40
7.1.2	Olosuhteiden asettamat vaatimukset	41
7.2	Mobiiliverkkoteknologioiden tutkiminen	42
7.3	Johtopäätökset	42
8	VERKON SUUNNITTELU	43
8.1	Suunnittelun aloitus	43
8.2	Moniverkotuksen hyödyntäminen	44
8.3	Laitevalinnat	44
8.3.1	Reititin	45
8.3.2	Kytkin	47
8.3.3	WLAN-tukiasemat	47
8.3.4	3G/4G- ja @450-modeemit	48
8.4	Verkon rakenne	48
8.5	Alustava IP-osoitesuunnitelma	49
8.6	DHCP- ja VLAN-asetukset	50
8.7	Turvallisuus	50
8.8	Laitteiston sijoituspaikka	51
8.9	Kaapelointi ja antennit	51
9	TOTEUTUNUT VERKKO	52
10	VERKON TESTAUS	53
10.1	Testauksen kulku	53
10.2	Testaustulokset	55
11	POHDINTA	57

LÄHTEET

58

LIITTEET

62

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tietoliikenneyhteyksien suunnittelu Lahden ammattikorkeakoulun ja Aalto-yliopiston yhteisen Älybussi-hankkeen tuloksena syntyneeseen Linkku-palveluajoneuvoon. Linkku on prototyyppi linja-autoalustalle toteutetusta liikkuvasta palvelutilasta, joka vastaa Päijät-Hämeen haja-asutusalueilla kasvavaan peruspalveluiden tarpeeseen. Palveluita tarvitaan, koska niitä keskitetään jatkuvasti kaupunkikeskuksiin, jolloin kuntien reuna-alueilla asuvien matkat palveluiden luokse pitenevät. Linkulla on suunniteltu olevan valmiudet useiden erilaisten palveluiden tuottamiseen. Lähes kaikki suunnitellut palvelut vaativat hyvät tietoliikenneyhteydet toteutuakseen.

Tietoliikenneyhteyksien suunnittelutyö vaatii vahvaa teorian tuntemusta. Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytäänkin lähiverkkojen toimintaan ja niissä käytettävään laitteistoon sekä käydään läpi langattoman lähiverkon ja mobiiliverkkojen toimintaa. Käytännön osuudessa esitellään Älybussi-projektin aikana vuonna 2013–2014 tehtyä esiselvitys- ja suunnittelutyötä luotettavien ja suorituskykyisten tietoliikenneyhteyksien rakentamiseksi Linkkuun. Opinnäytetyö käsittelee myös vuoden 2014 kesällä suoritettua Linkun toteutuneiden tietoliikenneyhteyksien testausta. Työn rajaamiseksi laajaverkkojen sekä siirtoteiden, kuten kaapeloinnin ja radiotien, käsittely on jätetty vähemmälle. Sen sijaan keskitytään aktiivilaitteisiin ja verkkoarkkitehtuuriin.

2 LÄHIVERKKOTEKNOLOGIA

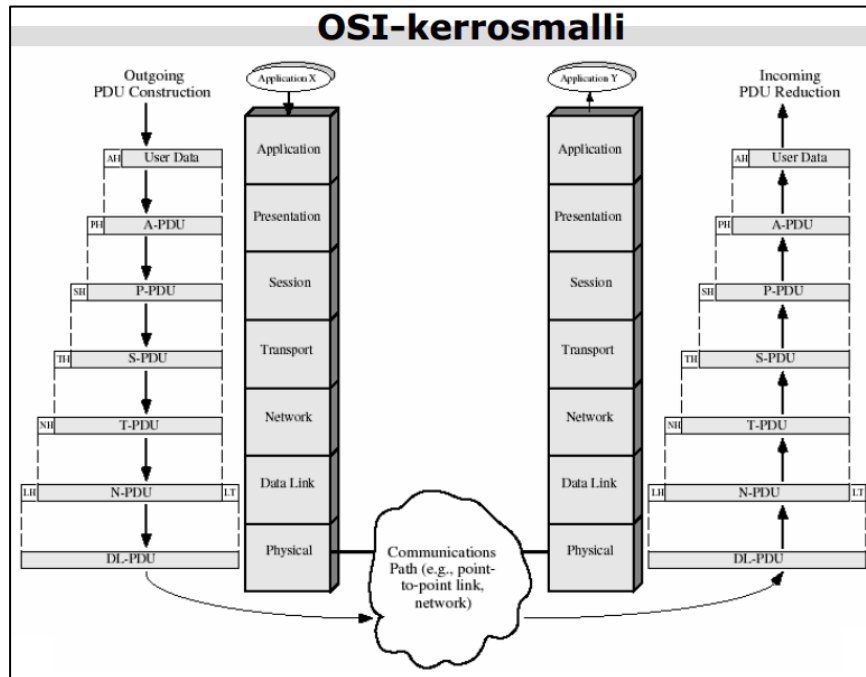
Lähiverkko (LAN, *Local Area Network*) tarkoittaa maantieteellisesti rajatun alueen sisäistä tietoliikennettä toteuttavaa verkkoa, joka tyypillisesti on yhden organisaation hallinnoima. Lähiverkko koostuu tietoliikennesanomiam käsittelevistä verkkolaitteista, kuten reitittimistä ja kytkimistä, päätelaitteista, kuten työasemista ja palvelimista, siirtotiestä, kuten esimerkiksi parikaapeloinnista sekä verkossa toteutettavista palveluista. (Granlund 2007, 10.)

2.1 OSI-malli

OSI (*Open Systems Interconnection Reference Model*) on ISO-järjestön (*International Organization for Standardization*) kehittämä viitemalli, joka perustuu tietoliikennejärjestelmän jakamiseen kerroksiin. Kerrosajattelun idea on, että jokainen kerros n käyttää hyödyksi kerroksen $n-1$ tuottamia palveluja ja samalla tuottaa itse palveluja kerrokselle $n+1$. (Granlund 2007, 10.)

OSI-mallin kuvaama tiedon kulku tietoverkossa tapahtuu siirtämällä sanoma kerrokselta toiselle käyttäen niin sanottuja palvelupyyntöjä. Sanoman lähettäjän päässä kukin kerros ottaa vastaan palvelupyynnön ylemmältä kerrokselta ja edelleen esittää oman palvelupyynnönsä alemmalle kerrokselle. Loogisella tasolla tiedonsiirto siis etenee kerrokselta kerrokselle, mutta fyysisellä tasolla tiedonsiirto tapahtuu vain fyysisten kerrosten välillä. (Granlund 2007, 10.)

Käytännössä kerroksien viestiminen keskenään tapahtuu liittämällä ylemmän kerroksen sanoman protokollatietoyksikön (PDU, *Protocol Data Unit*) eteen otsikko (*Header*). Tätä kutsutaan kapsuloinniksi (*Encapsulation*). Kuviossa 1 on esitetty sanoman siirtyminen lähettäjältä vastaanottajalle OSI-mallissa. Lähettäjän päässä korkeamman kerroksen PDU kapsuloidaan alemman kerroksen PDU:hun. Vastaanottajan päässä sama tapahtuu käänteisessä järjestyksessä eli kapsulointi puretaan. (Granlund 2007, 10–11.)



KUVIO 1. Sanoman kulku OSI-mallissa (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2006)

OSI-malli määrittelee seitsemän kerrosta, joilla eri tietoliikenteessä käytettävät protokollat ja laitteet toimivat:

1. Fyysinen kerros
2. Siirtoyhteyskerros
3. Verkkokerros
4. Kuljetuskerros
5. Istuntokerros
6. Esitystapakerros
7. Sovelluskerros.

Fyysisellä kerroksella (*Physical layer*) määritellään siirtotien ominaisuudet.

Siirtotien tehtävä on muuttaa bittejä sähköisiksi pulsseiksi, valoksi tai radioaaltoiksi. Käytännössä siirtotie voi olla esimerkiksi tietoliikennekaapeli.

Fyysinen kerros kuvaa siirtomedian lisäksi prosessia, jolla sähköisessä viestinnässä käytettävät bitit muutetaan kyseiselle medialle soveltuvaan muotoon.

Fyysisen kerroksen toimintaa kuvaillaan eri suosituksissa. Yhtenä tunnetuimmista

suosituksista voidaan mainita EIA/TIA-568-standardin määrittelemä parikaapeleiden kategorialuokitus. (Granlund 2007, 8.)

Siirtoyhteyseros (*Data link layer*) pitää yllä kahden eri pisteen välistä yhteyttä. Sen tehtäviin kuuluvat tämän lisäksi tiedonsiirron virheiden havaitseminen ja korjaus sekä tietovuon hallinta. Tietovuon hallinta tarkoittaa, että fyysiselle kerrokselle tarjottava data ei ylitä sitä määrää, minkä vastaanottaja tai siirtotie kykenee käsittelemään. Siirtoyhteyseroksen alikerroksia ovat MAC (*Media Access Control*) ja LLC (*Logical Link Control*). MAC varaa siirtoyhteyden tiedonsiirtoa varten, ja LLC:n tehtäviä ovat virheiden havaitseminen sekä niistä toipuminen ja tietovuon hallinta. (Granlund 2007, 8.)

Verkkokerros (*Network layer*) tarjoaa tietoverkon yli yhteyden, joka on riippumaton verkon rakenteesta ja kytkentätekniikasta. Tämän saavuttamiseksi yhteyden avulla keskenään viestivien laitteiden loogiset osoitteet täytyy muuttaa fyysisiksi osoitteiksi ja niiden nimet loogisiksi osoitteiksi eli IP-osoitteiksi. Näitä tehtäviä hoitavat Internet-verkon DNS-palvelu (*Domain Name Server*), joka kääntää selväkielisen nimen IP-osoitteeksi, sekä ARP-palvelu (*Address Resolution Protocol*), joka muuntaa IP-osoitteen laiteosoitteeksi. Verkkokerroksen tehtäviin kuuluu myös tietoliikenteessä käytettävien sanomien eli pakettien reititys. Reitityksen tarkoitus on löytää paras yhteys lähettäjän ja vastaanottajan välille. (Granlund 2007, 9.)

Kuljetuseros (*Transport layer*) vastaa tiedonsiirtoyhteyden tarjoamisesta kahden päätepisteen välille. Kuljetuseroksella määritellään kahdentyyppisiä yhteyksiä: yhteydellinen ja yhteydetön yhteys. (Granlund 2007, 9.)

Yhteydellinen yhteys muodostetaan jokaisella kerralla, kun osapuolet aikovat siirtää dataa toisilleen, ja se suljetaan tiedonsiirron päätyttyä. Tyypillistä tälle yhteysmuodolle on luotettavuus – tiedonsiirrossa lähetettävä data saapuu vastaanottajalle virheettömästi, ja siirrettävät sanomat saapuvat perille oikeassa järjestyksessä. Tyypillinen esimerkki yhteydellisestä protokollasta on TCP (*Transmission Control Protocol*). (Granlund 2007, 9.)

Yhteydetön yhteys on tarpeellinen sellaisissa tapauksissa, kun ei ole välttämätöntä ilmoittaa yhteyden perustamisesta jokaisen siirron tapahtuessa eikä valvoa sanoman perillepääsyä. Tällöin sanoma, joka siirretään yhteydettömästi, lähetetään vastaanottajalle ilman eri ilmoitusta. Vastaanottaja varautuu sanoman saapumiseen, mutta se ei ole tietoinen sanoman lähetysajankohdasta eikä siitä, ovatko kaikki lähetetyt sanomat saapuneet perille. Tyypillinen esimerkki yhteydettömästä protokollasta on UDP. (Granlund 2007, 9.)

Istuntokerros (*Session layer*) huolehtii ohjaustoiminnoista sovellusten välillä. Yhteyden muodostaminen ja siihen liittyvän siirtoyhteyspalvelun varaaminen, sopiminen osapuolten välisistä yhteyteen liittyvistä ominaisuuksista, yhteyden varaaminen tarkistusasteilla sekä yhteyden päättäminen ja resurssien vapauttaminen ovat istuntokerroksen keskeisimpiä toimintoja. (Granlund 2007, 10.)

Esitystapakerros (*Presentation layer*) on kerros, jolla sovitaan päätelaitteen välillä yhteisestä tiedon esitystavasta. Tämän ansiosta on mahdollista esimerkiksi eri laitteiden arkkitehtuureista johtuvien koodaustapojen piilottaminen. (Granlund 2007, 10.)

Sovelluskerroksella (*Application layer*) tarjotaan sovelluksille rajapinta OSI-järjestelmään. Tyypillisiä esimerkkejä tällaisista sovelluksista ja palveluista ovat tiedonsiirto, sähköposti ja hakemistopalvelut. (Granlund 2007, 10.)

2.2 TCP/IP-protokollapino

TCP/IP-protokollapino on OSI-mallin kaltainen tietoliikenneverkkojen viitemalli. Se on saanut nimensä kahden tärkeimmän protokollan, TCP:n (*Transmission Control Protocol*) ja IP:n (*Internet Protocol*) mukaan. Kuten OSI-malli, TCP/IP-protokollapino on jaettu kerroksiin, joista jokainen huolehtii tietyistä tietoliikenteen toiminnoista. (McQuerry 2008, 40.)

TCP/IP-protokollapino on saanut alkunsa 1960-luvulla Yhdysvaltojen puolustusministeriön perustamasta ARPANET-hankkeesta (*Advanced Research Projects Agency Network*). Vuodesta 1983 TCP/IP-protokollapinoa hyödyntänyttä

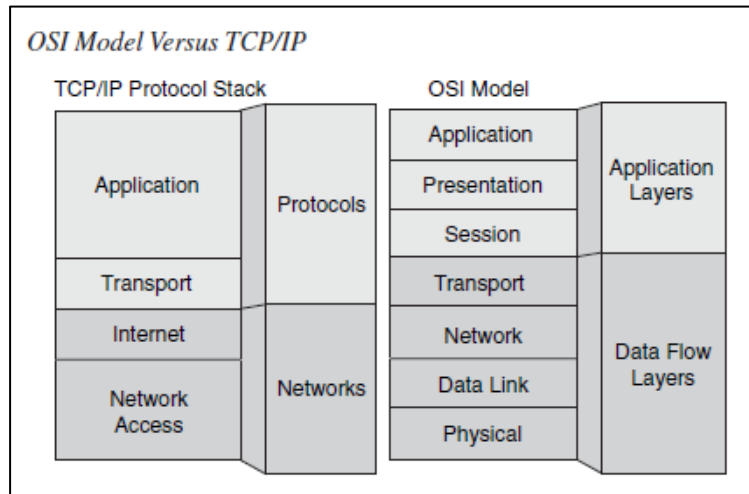
ARPANET-verkkoa käytettiin aluksi sotilas- ja viranomaisviestintään sekä yliopistojen ja tutkimuslaitosten väliseen tietoliikenteeseen. Verkon käyttö kuitenkin levisi nopeasti näiden käyttötapojen ulkopuolelle ja sen pohjalta syntyi nykymuotoinen Internet. (Wikipedia 2014f.)

TCP/IP-protokollapino koostuu neljästä kerroksesta:

- Sovelluskerros (*Application layer*) huolehtii korkean tason protokollista, kuten esitystapaan ja enkoodaukseen liittyvistä toiminnoista. TCP/IP-protokollapinin sovelluskerros yhdistää kaikki ohjelmistoon liittyvät toiminnot yhdeksi tasoksi ja huolehtii siitä, että tieto on kapsuloitu seuraavaa tasoa varten.
- Kuljetuskerros (*Transport layer*) huolehtii luotettavuudesta, tietovuon hallinnasta ja virheiden korjauksesta.
- Verkkokerroksen (*Internet layer*) tehtävänä on tietoliikennepakettien välittäminen verkossa lähettäjältä vastaanottajalle.
- Peruskerros (*Network access layer*) pitää sisällään LAN- ja WAN-toiminnot. Peruskerroksen tehtäviä ei määritellä tarkkaan TCP/IP-protokollapinossa, vaan se olettaa, että verkkokerroksen alapuolella on jokin protokolla, joka huolehtii tietoliikennepaketin välittämisestä eteenpäin, kuten Ethernet. (McQuerry 2008, 41.)

TCP/IP-protokollapinin ja OSI-viitemallin kerrosarkkitehtuureissa on sekä samankaltaisuuksia että eroja (kuvio 2). Molemmissa on sovelluskerros, mutta ne sisältävät eri palveluita. Myös kuljetus- ja verkkokerroksien toiminta on molemmissa toisiinsa verrattavissa. TCP/IP-protokollapinin sovelluskerros kuitenkin pitää sisällään OSI-viitemallin esitystapa- ja istuntokerroksien tehtävät. Myös TCP/IP-protokollapinin peruskerros yhdistää OSI-viitemallin siirtoyhteys- ja fyysisen kerroksen tehtävät. (McQuerry 2008, 42.)

OSI-malliin verrattuna TCP/IP-protokollapino on menestyneempi, sillä nykymuotoinen Internet perustuu TCP/IP-protokollapinoon. Sen sijaan puhtaasti OSI-malliin perustuvia tietoliikenneverkkoja ei juurikaan ole, vaan se soveltuu paremmin ohjenuoraksi tietoliikenteestä puhuttaessa. (McQuerry 2008, 42.)



KUVIO 2. OSI-viitemalli ja TCP/IP-protokollapino (McQuerry 2008, 42)

2.2.1 Protokollien toiminta

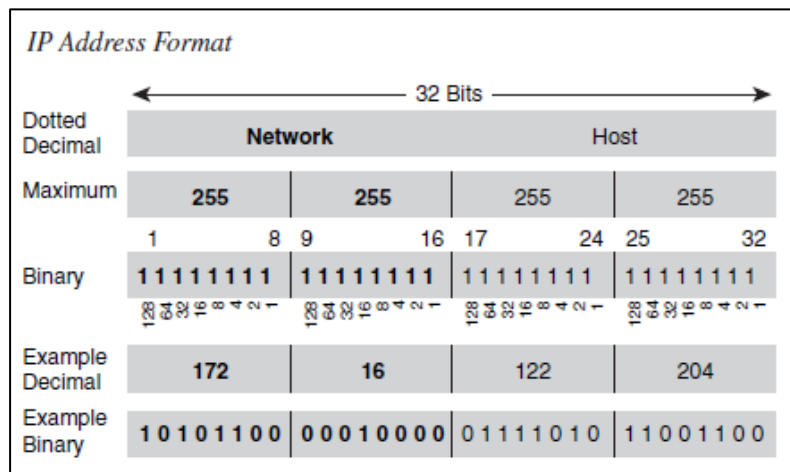
Tietoverkoissa keskenään viestivien osapuolten, kuten laitteiden ja ohjelmistojen, täytyy puhua samaa kieltä jotta viestintä olisi mahdollista. Osapuolten täytyy siis sopia, milloin viestitään, mitä viestitään ja miten viestintä tapahtuu. Tämä tapahtuu protokollien eli yhteyskäytäntöjen avulla. Ne määrittelevät yhteiset säännöt eri osapuolten väliselle viestinnälle. Käytännössä kaikki protokollat siirtävät tiedon datapaketteina, joita kutsutaan PDU:ksi eli protokollatietoyksiköiksi (*Protocol Data Unit*). PDU ei koostu pelkästään lähetettävästä datapaketista vaan myös protokollan siihen lisäämästä lisätietokentästä. Tätä tietoa kutsutaan otsakkeeksi (*Header*), mikäli protokolla liittää sen datapaketin ”eteen”. Jotkin protokollat voivat liittää lisätietokentän datapaketin perään, jolloin sitä kutsutaan lopukkeeksi (*Trailer*). Tapahtumaa kokonaisuudessaan sanotaan kapsuloinniksi (*Encapsulation*). Kapsulointia voidaan kuvailla siten, että datapakettiin liitettävä otsake on kirjekuori, jonka sisään kapsuloitava datapaketti suljetaan. Lisätietokenttä sisältää tyypillisesti seuraavia tietoja:

- osoitetiedot eli lähettäjän ja vastaanottajan osoite
- virheiden havaitseminen, mikä tarkoittaa että lisätietokenttään sisällytetään jonkinasteista datapakettien järjestyksen tarkistusta
- protokollan hallintatietoja. (Stallings 2007, 558.)

2.2.2 Internet Protocol

TCP/IP-protokollapinon tärkeimpiin protokolleihin kuuluva *Internet Protocol* määrittelee verkossa toimiville laitteille IP-osoitteen, jonka avulla tietoliikennesanomat eli IP-paketit välitetään oikealle vastaanottajalle. IP-osoitteita on kahta eri tyyppiä: IPv4 (*Internet Protocol version 4*) ja IPv6 (*Internet Protocol version 6*). 32-bittinen IPv4-osoitetyyppi on tällä hetkellä yleisin, mutta osoitteiden rajallisuuden vuoksi kehitetty 128-bittinen IPv6 tulee yleistymään ajan myötä. Tässä luvussa keskitytään IPv4-osoitetyyppiin sen yleisyyden vuoksi. (McQuerry 2008, 43–44.)

IP-osoite on 32-bittinen lukujono. Verkkolaitteet käsittelevät IP-osoitteita binäärimuodossa, mutta esimerkiksi konfiguraatioita tehdessä IP-osoitteita käsitellään kymmenjärjestelmässä. Käytännössä 32 bittiä jaetaan neljään pisteellä toisistaan erotettuun osaan, joita kutsutaan okteteiksi tai tavuiksi, minkä jälkeen ne muutetaan kymmenjärjestelmän luvuksi välillä 0–255. Kuviossa 3 on käytetty esimerkkinä IP-osoitetta *172.16.122.204*. Binäärimuodossa sama osoite olisi *1011100.00010000.01111010.11001100*. IP-osoite koostuu kahdesta osasta: verkko-osasta (*Network ID*), joka osoittaa tiettyyn verkon osaan, ja laiteosasta (*Host ID*), joka osoittaa tiettyyn laitteeseen verkossa. (McQuerry 2008, 45.)



KUVIO 3. IP-osoitteen rakenne (McQuerry 2008, 46)

IP-osoitteet on jaettu eri luokkiin (kuvio 4). Luokat A–C eroavat toisistaan siten, että ne käyttävät eri määrän bittejä verkko-osan ja laiteosan ilmaisemiseen. Esimerkiksi A-luokan IP-osoitteen ensimmäinen oktetti on verkon osoite ja loput kolme oktettia laitteen osoite, kun taas C-luokan IP-osoitteen kolme ensimmäistä oktettia on verkon osoite ja viimeisen oktetti laitteen osoite. D-luokka on varattu yleislähetysille ja E-luokka tutkimuskäyttöön. (McQuerry 2008, 46–47.)

	8 Bits	8 Bits	8 Bits	8 Bits
Class A:	Network	Host	Host	Host
Class B:	Network	Network	Host	Host
Class C:	Network	Network	Network	Host
Class D:	Multicast			
Class E:	Research			

KUVIO 4. IP-osoiteluokat (McQuerry 2008, 47)

IP-osoitteet voidaan määrittellä TCP/IP-verkon laitteille joko manuaalisesti tai automaattisesti. Automaattinen osoitteiden jakelu on yleistä, koska se helpottaa laitteiden hallinnointia. Yleisin menetelmä IP-osoitteiden automaattiseen jakeluun on DHCP-protokollan (*Dynamic Host Control Protocol*) käyttö. DHCP-protokollan avulla voidaan päätelaitteille jakaa automatisoidusti IP-osoite sekä muita verkkoon pääsyyn tarvittavia tietoja, kuten aliverkon peite, oletusreitittimen osoite ja DNS-palvelimen osoite. DNS (*Domain Name System*) on menetelmä, jolla selväkielisiä, helpommin muistettavia toimialuenimiä, kuten www-osoitteita, muutetaan verkkolaitteiden käyttämiksi IP-osoitteiksi. DNS-osoite viittaa palvelimeen, joka tarjoaa DNS-palvelun. (McQuerry 2008, 58.)

Aliverkon peitteen (*Subnet Mask*) avulla IP-osoitealue voidaan jakaa useampaan aliverkkoon. Osoitealueen jakamisesta aliverkkoihin ja siten laitteiden eristämällä toisistaan hyödytään etenkin suuremmissa verkoissa esimerkiksi käytettävissä olevan kaistan tehokkaammalla hyödyntämisellä ja turvallisuuden parantamisella. (McQuerry 2008, 252.)

2.3 Ethernet

Yleisin teknologia, jolla lähiverkot toteutetaan, on Ethernet (Granlund 2007, 262). Ethernet on pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu, joka sai alkunsa vuonna 1973 Xeroxin tutkimuskeskuksessa Palo Altossa. Inspiraationa verkolle toimi 70-luvulla kehitteillä ollut ALOHAnet-verkkoratkaisu, jota käsittelevän muistion luettuaan Ethernetin kehittäjä Robert Metcalfe sai idean ratkaisulleen. (IEEE Standards Association 2014.)

Xerox patentoi lähiverkkoratkaisun vuonna 1975, mutta Metcalfe sai suostuteltua DEC:n (Digital Equipment Corporation), Intelin ja Xeroxin työskentelemään yhteistyössä lähiverkkostandardin kehittämiseksi Ethernetistä. Yhteistyötä varten perustettiin DIX-ryhmä, jonka työn tulokset julkaistiin nimellä ”Ethernet Blue Book” vuonna 1980. Tämän julkaisun pohjalta IEEE lopulta julkaisi suosituksensa 802.3. (Granlund 2007, 262; IEEE Standards Association 2014.)

2.3.1 IEEE 802.3

IEEE 802.3 on IEEE-standardointijärjestön (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.3-työryhmän määrittelemä joukko standardeja Ethernet-lähiverkkotekniikkaa varten. IEEE:n vuonna 1983 julkaisema ensimmäinen 802.3-standardi perustui Metcalfen, DEC:n, Intelin ja Xeroxin muodostaman DIX-työryhmän tuloksiin ja se sai nimekseen *IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (CSMA/CD), Access Method and Physical Layer Specifications*. (Granlund 2007, 262.)

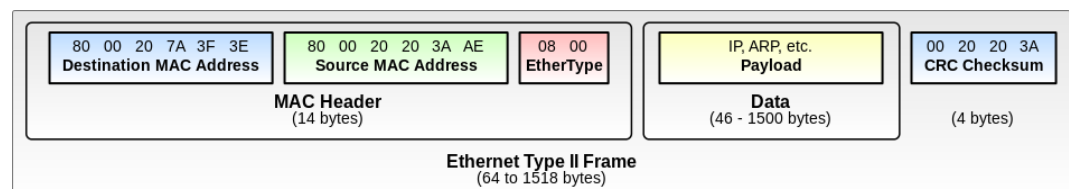
IEEE 802.3-standardiperhe määrittelee langallisen Ethernetin fyysisen- ja siirtoyhteyskerroksen toteutuksen lähiverkoissa, kuten verkon maksiminopeuden, käytettävän topologian, käytettävän kaapelityypin ja siirtotien varausmenetelmän. Fyysiset yhteydet verkkolaitteiden välillä tehdään erityyppisillä kaapeleilla, kuten kierretyillä parikaapeleilla. IEEE 802.3 -standardeja on kuvattu taulukossa 1. (Wikipedia 2014e.)

TAULUKKO 1. IEEE 802.3 -standardeja (Wikipedia 2014e)

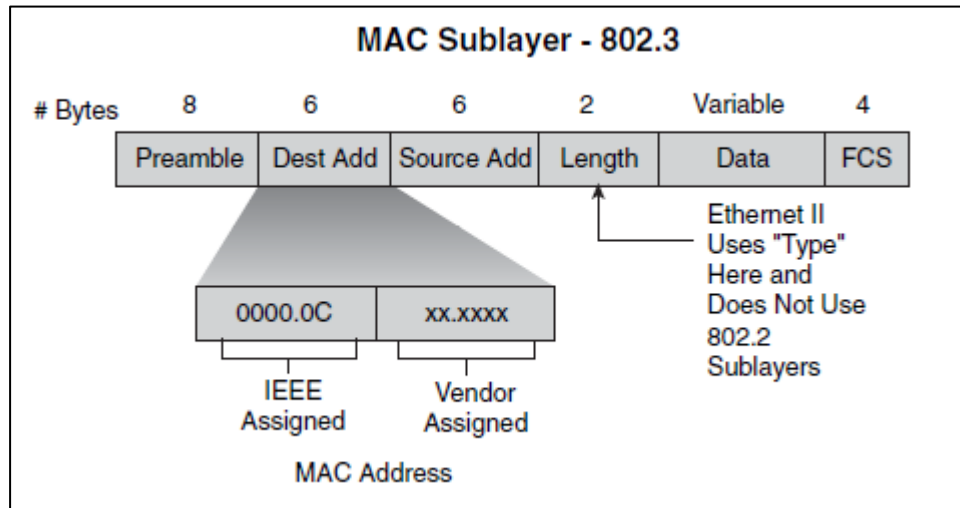
Standardi	Vuosi	Kuvaus
IEEE 802.3	1983	10BASE5 10 Mbit/s paksun koaksiaalikaapelin yli - Protolla DIX, mutta tyyppikenttä korvataan pituus- kentällä ja LCC-kenttä lisätään
IEEE 802.3a	1985	10BASE2 10 Mbit/s ohut koaksiaalikaapeli (thinnet tai cheapernet)
IEEE 802.3i	1990	10BASE-T 10 Mbit/s parikaapelissa
IEEE 802.3j	1993	10BASE-F 10 Mbit/s kuidussa
IEEE 802.3u	1995	100BASE-T Fast Ethernet, 100 Mbit/s
IEEE 802.3z	1998	1000BASE-X Gigabit Ethernet kuidussa, 1 Gbit/s
IEEE 802.3ab	1999	1000BASE-T Gigabit Ethernet parikaapelissa, 1 Gbit/s
IEEE 802.3ak	2004	10GBASE-CX4 10 Gbit/s Ethernet twinax-kaapelissa
IEEE 802.3an	2006	10GBASE-T 10 Gbit/s Ethernet suojaamattomassa parikaapelissa (UTP)
IEEE 802.3aq	2006	10GBASE-LRM 10 Gbit/s Ethernet kuidussa

2.3.2 Ethernet-kehys ja MAC-osoite

Suurin tietoyksikkö, joka liikkuu Ethernet-verkossa, on Ethernet-kehys. Ethernet-kehys pitää sisällään kaikkien alempien kerrosten datan. On olemassa erityyppisiä Ethernet-kehysiä, mutta niistä kaikkein yleisimmin käytetty on Ethernet II -kehys (kuvio 5). Ethernet II -kehysten pituus on 64–1518 tavua, ja se pystyy kuljettamaan 1500 tavua kuormaa. Kehys löytää määränpäähensä MAC-osoitteiden avulla (kuvio 6). (Wikipedia 2014c.)



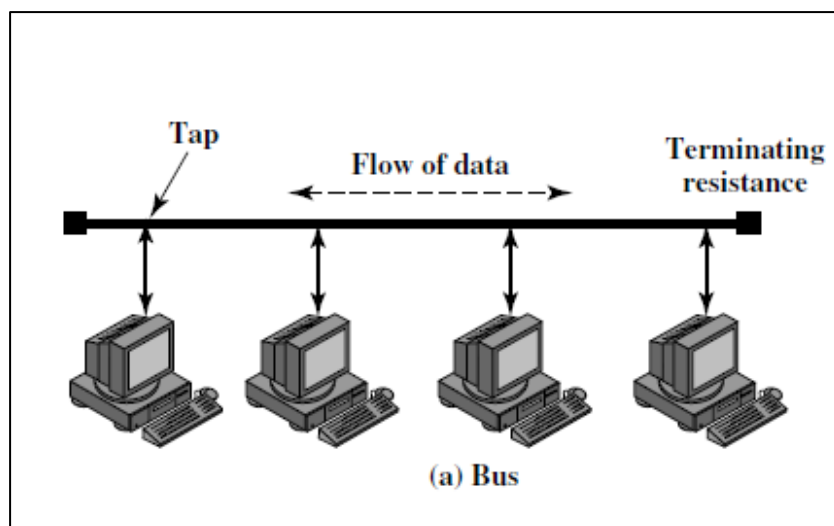
KUVIO 5. Ethernet II -kehysten rakenne (Wikipedia 2014c)



KUVIO 6. MAC-kehiksen rakenne (McQuerry 2008, 86)

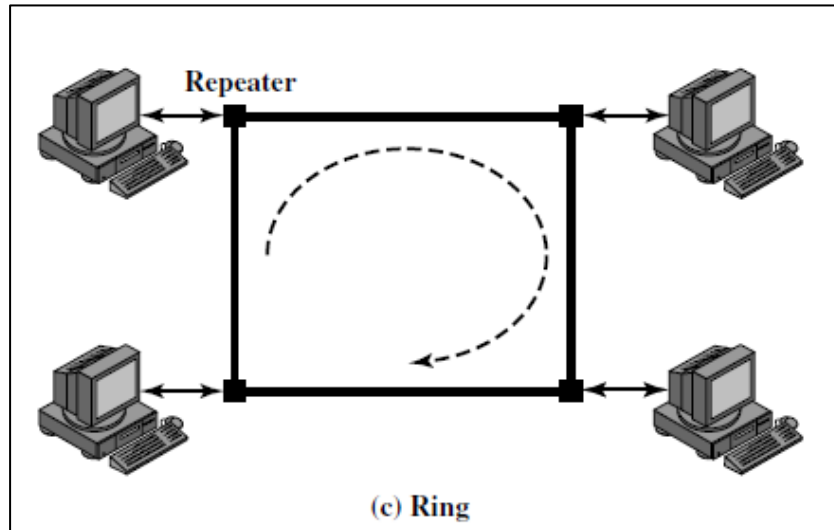
2.3.3 Topologiat

Lähiverkon topologia tarkoittaa tapaa, jolla verkon päätepisteet tai -laitteet ovat yhteydessä toisiinsa. Yleisimmät topologiat ovat väylä-, rengas- ja tähtikytkentä. Väyläkytkennässä (kuvio 7) kaikki laitteet on kytketty samaan väylään. Ne voivat seurata väylää pitkin kulkevaa verkkoliikennettä ja osallistua siihen. Liikennöinti perustuu CMSA/CD-kanavanvarausmenetelmään. (Stallings 2007, 451; Granlund 2007, 79.)



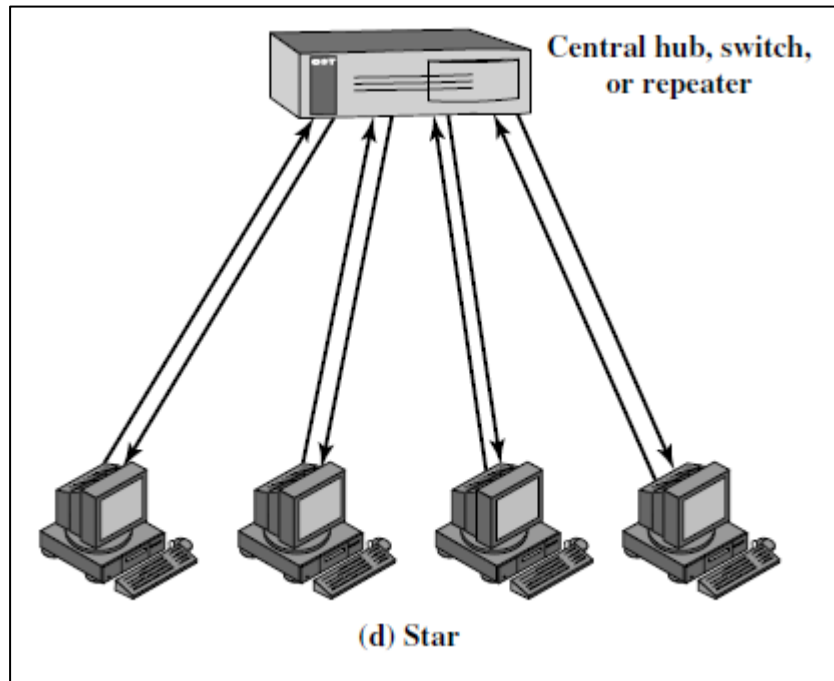
KUVIO 7. Väyläkytkentä (Stallings 2007, 452)

Rengaskytkennässä (kuvio 8) verkon laitteet kytketään renkaaseen siten, että jokainen laite on yhteydessä rengasverkon kautta molemmilla puolilla oleviin naapureihinsa. Jokainen laite osallistuu tiedon välittämiseen renkaassa. (Granlund 2007, 78.)



KUVIO 8. Rengaskytkentä (Stallings 2007, 452)

Tähtikytkennässä (kuvio 9) jokainen verkon laite on yhteydessä keskittimeen, joka puolestaan on yhteydessä kaikkiin muihin osapuoliin. Keskittimenä voi toimia esimerkiksi toistin. Nykyaikaisemmissa ratkaisuisa tähtikytkennässä käytettävät keskittimet ovat kuitenkin pääsääntöisesti niin sanottuja älykkäitä ohjaimia, eli esimerkiksi kytkimiä. Kytkimen käyttö keskittimenä mahdollistaa liikenteen jakamisen eri segmentteihin siten, että verkon segmenttien kuormitus ei vaikuta naapurisegmentteihin, vaan ainoastaan tarpeellinen liikenne ohjataan segmentistä toiseen. Kytkimen ja toistimen eroja on käsitelty tarkemmin tämän työn kolmannessa luvussa. (Granlund 2007, 77.)



KUVIO 9. Tähtikytkentä (Stallings 2007, 452)

2.3.4 CSMA/CD

Kun Ethernet-verkossa liikkuvien tietoliikennesanomien määrä kasvaa, kasvaa myös todennäköisyys sille, että kaksi eri lähettäjä yrittää lähettää sanomansa yhtä aikaa. Tällöin tapahtuu törmäys, joka tuhoaa molemmat sanomat. Ethernet-verkossa törmäyksien todennäköisyyttä vähentämään ja niistä toipumiseen on kehitetty kilpavarausmenetelmä nimeltä *CSMA/CD* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Nimensä mukaisesti tämän menetelmän avulla voidaan kuulostella, onko käytettävä linja vapaa tietoliikennesanomien lähettämiseen. Tästä huolimatta voi tulla tilanne, jossa kaksi sanomaa lähetetään samanaikaisesti, mikä aiheuttaa törmäyksen. Tällöin tarvitaan *CSMA/CD*-menetelmän kykyä havaita törmäys ja aloittaa tarvittavat toipumismenettelyt. (Granlund 2007, 258.)

2.3.5 Siirtotie

Lähiverkkojen kaapeloinnissa on käytetty aikaisemmin koaksiaalikaapelia (niin sanottu ohut Ethernet-kaapelointi). Nykyaikaisemmissa toteutuksissa käytetään parikaapelia sekä valokuitukaapelia. (I&I Solutions 2009.)

Lähiverkkojen kaapeloinnissa yleisin kaapelityyppi on parikaapeli. Kaapelin nimitys tulee siitä, että sen sisällä olevat johtimet on kierretty pareittain toistensa ympäri. Tyypillisesti parikaapelin sisällä johdinpareja on neljä. Parikaapelit on laatuluokiteltu eri kategorioihin ANSI/TIA/EIA 568-A -standardissa (taulukko 2). Korkeammassa laatuluokissa on parempi tiedonsiirtonopeus. (I&I Solutions 2009.)

TAULUKKO 2. Parikaapeleiden laatuluokat (Wikipedia 2014i)

Kategoria	Kaistanleveys	Sovellukset
Category 1	0,4 MHz	Puhe- ja modeemiyhteyksiin
Category 2	4 MHz	Vanhemmat päätejärjestelmät, kuten IBM 3270
Category 3	16 MHz	10BASE-T ja 100BASE-T Ethernet
Category 4	20 MHz	16 Mbit/s Token Ring
Category 5	100 MHz	100BASE-TX & 1000BASE-T Ethernet
Category 5e	100 MHz	100BASE-TX & 1000BASE-T Ethernet
Category 6	250 MHz	1000BASE-T Ethernet
Category 6e	250 MHz	10GBASE-T Ethernet
Category 6a	500 MHz	10GBASE-T Ethernet
Category 7	600 MHz	Puhelin, CCTV, 1000BASE-TX yhdessä kaapelissa. 10GBASE-T Ethernet
Category 7a	1200 MHz	Puhelin, CATV, 1000BASE-TX yhdessä kaapelissa. 40GBASE-T Ethernet
Category 8	1200 MHz	Puhelin, CATV, 1000BASE-TX yhdessä kaapelissa. 40GBASE-T Ethernet

Parikaapelityyppejä on useita erilaisia. Johtimet kaapelin sisällä voivat olla monisäikeisiä, jolloin kaapeli on taipuisampi, tai yksijohtimisia, jolloin kaapeli on jäykempi. Lisäksi on olemassa suojaamattomia (UTP, *Unprotected Twisted Pair*) ja eri tavoin suojattuja kaapeleita, kuten esimerkiksi STP (*Shielded Twisted Pair*) tai FTP (*Foiled Twisted Pair*). (I&I Solutions 2009.)

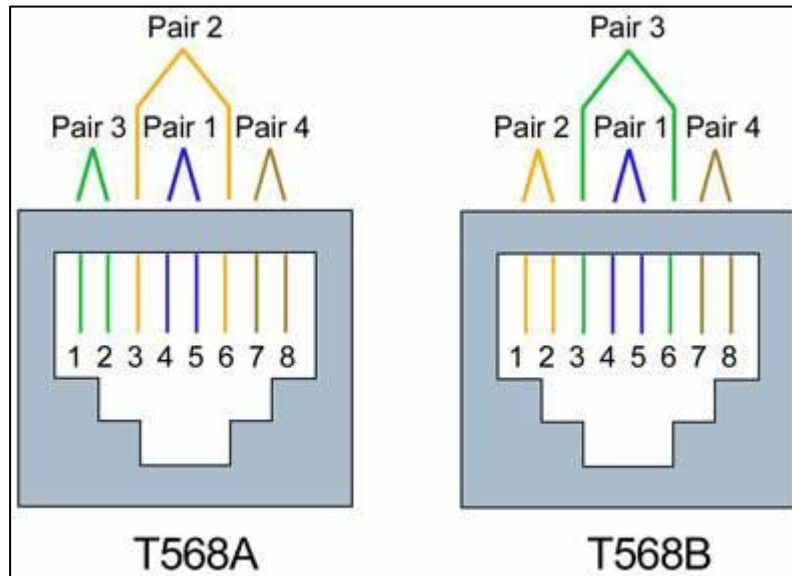
STP tarkoittaa yhteisellä kuparipunoksella suojattua parikaapelia ja FTP kaapelia, joka on foliosuojattu. Foliosuojaus antaa kaapelille lisäsuojaa häiriöitä vastaan. Foliosuojauksia on erityyppisiä: johdinparit voivat esimerkiksi olla joko kaapelin sisällä yhteisessä foliosuojassa tai jokainen pari voi olla erikseen foliosuojattu. Parikaapeleissa jokainen johtimista on värikoodattu. Taulukossa 3 on esitetty tyypillisin värikoodaus. Värikoodauksia voi kuitenkin olla erilaisia eri valmistajilla. (I&I Solutions 2009.)

TAULUKKO 3. Tyypillisin värijärjestelmä (I&I Solutions 2009)

Pari	a-johdin	b-johdin
1	valko-sininen	sininen
2	valko-oranssi	oranssi
3	valko-vihreä	vihreä
4	valko-ruskea	ruskea

Parikaapeloinnissa käytetään kahdeksalla pinnillä varustettua RJ45-liitintä. Pinnit on numeroitu liittimessä 1–8. RJ45-pistoke eli naaraspuoli on rakenteeltaan sellainen, että siihen sopii myös puhelinjärjestelmissä käytetty RJ11-liitin. RJ11-liitin poikkeaa RJ45-liittimestä siten, että siinä on käytössä vain keskellä olevat neljä pinniä eli 3–6. (Granlund 2007, 45.)

Johdinparien kytkemiseen pinneihin on tietty järjestys. Järjestykseen on olemassa kaksi kytkentätapaa, T568A ja T568B, jotka on määritelty ANSI/TIA/EIA 568 -standardissa. Kuviossa 10 on esitetty, miten johdinparit kytketään molemmissa kytkentätavoissa (Granlund 2007, 46.)



KUVIO 10. ANSI/TIA/EIA 568 -standardin kytkentätavat (Fluke Networks 2014)

Kaapeli, jota Ethernet-verkoissa kutsutaan ristiinkytkeksi (*Cross-over*), muodostetaan siten, että sen toisen pään kytkentä on tehty ANSI/TIA/EIA 568A -standardin mukaisesti ja vastakkaisen pään kytkentä ANSI/TIA/EIA 568B -standardin mukaisesti. Vastaavasti samaa kytkentätapaa käytettäessä molemmissa päissä muodostuu kaapeli, jota kutsutaan suoraankytkeksi (*Straight-through*). (Granlund 2007, 46.)

Ristiinkytettyjä kaapeleita on perinteisesti tarvittu verkkoratkaisuihin, joissa kaksi samanlaisella peruskytkenällä varustettua laitetta on haluttu kytkeä toisiinsa siten, että molempien osapuolten lähetysignaali (*Output*) kytkeytyvät vastaanottajan vastaanottoon (*Input*). Modernin laitteiston myötä ristiinkytettyjen kaapeleiden tarve on vähenemässä. Esimerkiksi Gigabit Ethernet käyttää tekniikkaa nimeltä Auto-MDIX (*Automatic Medium-Dependent Interface Crossover*), joka osaa konfiguroida laitteen verkkokortin käyttämään oikeita pinnejä riippumatta käytetystä kaapelityypistä. (Grandlund 2007, 46; Caruso 2010.)

3 LÄHIVERKKOJEN LAITTEISTO

3.1 Toistin

Toistimet ovat verkkolaitteita, joita käytetään pakettikytkentäisessä lähiverkossa päätelaitteiden, kuten tietokoneiden yhdistämiseen. Niitä voidaan käyttää keskuslaitteena tähtimuotoisissa verkon topologioissa. Toistin ei suorita minkäänlaista sanomien suodatusta tai reititystä, vaan yksinkertaisesti ottaa vastaan saapuvan signaalin ja ohjaa sen kaikille muille laitteille, joihin se on kytketty. Kaikki toistimeen kytketyt laitteet jakavat saatavilla olevan verkon kapasiteetin keskenään. Toistimen voidaan sanoa toimivan OSI-mallin fyysisellä kerroksella. (Tyson 2014.)

3.2 Kytkin

Kytkimen rooli tähtikytkennän keskuslaitteena on samankaltainen kuin toistimen. Kytkin on kuitenkin toistinta tehokkaampi ohjaamaan liikennettä lähiverkossa laitteelta toiselle, sillä jokaisella kytkimeen liitettyllä päätelaitteella on potentiaalisesti koko kapasiteetti käytettävissään. Tämän lisäksi kytkimellä on joitakin kehittyneempiä ominaisuuksia, jotka toistimelta puuttuvat, kuten kehyksien suodatus. (Tyson 2014.)

Kytkin ei toistimen tavoin ohjaa yhdeltä päätelaitteelta vastaanottamiaan kehyksiä automaattisesti kaikille muille, vaan se käyttää kehyksien ohjaamiseen laite- eli MAC-osoitteita. Kytkin vertaa saapuvan Ethernet-kehyyksen otsakkeesta kehyksen vastaanottajan MAC-osoitetta omaan MAC-osoitetauluunsa ja ohjaa paketin siihen kytkinporttiin, johon vastaanottaja on kytketty. Siinä tapauksessa, että vastaanottajan MAC-osoite puuttuu kytkimen MAC-osoitetaulusta, kytkin ohjaa kehyksen kaikille muille päätelaitteille. Saatuaan vastauksen paketin vastaanottajalta kytkin lisää myös kyseisen päätelaitteen osoitteen MAC-osoitetauluunsa ja jatkossa ohjaa kehykset vain siihen osoitteeseen. (Tyson 2014.)

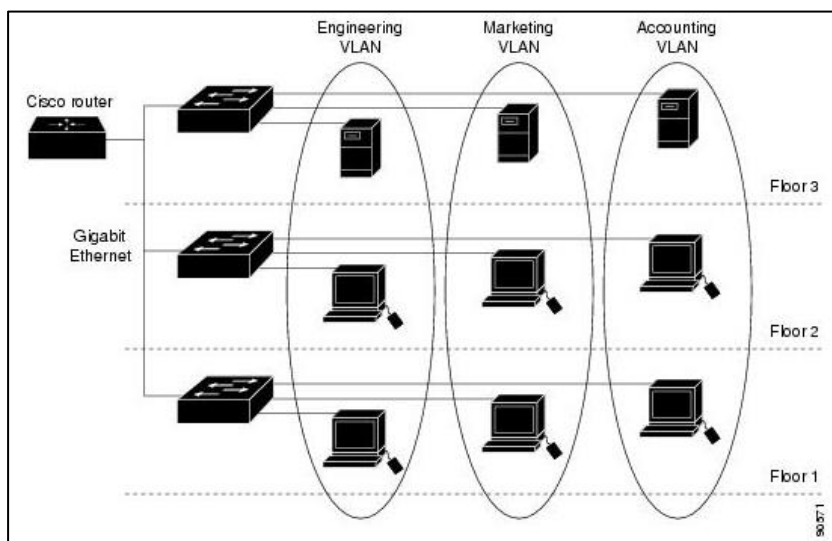
Kytkin voi käyttää kehyksien välittämiseen eri kytkentätapoja. *Cut-through* on kytkentätapa, jossa kytkin aloittaa kehyksen edelleen välittämisen heti sen jälkeen,

kun saapuvasta kehyksestä on luettu kohdeosoite, samaan aikaan kun loput kehyksestä on vasta saapumassa kytkimelle. Tässä kytkentätavassa etuna on pieni viive, mutta kehyksien mahdolliset virheet jäävät havaitsematta. (Tyson 2014.)

Store-and-forward on menetelmä, joka tallentaa koko kehyksen kytkimen väliaikaisuistiin, tarkastaa sen virheiden varalta ja lähettää kehyksen vasta sen jälkeen eteenpäin. Jos kehys sisältää virheitä, se hylätään. Monet kytkimet yhdistävät nämä kaksi menetelmää käyttämällä cut-through-menetelmää, kunnes tietty virhetaso ylittyy, jolloin ne siirtyvät store-and-forward-kytkentätapaan. Kytkimen voidaan katsoa toimivan OSI-mallin siirtoyhteyskerroksella. (Tyson 2014.)

Suurin osa 100 Mbit/s- ja 1 Gbit/s -nopeuksista kytkimistä tukevat IEEE 802.1Q -standardia, joka määrittelee VLAN:n (*Virtual Local Area Network*) eli virtuaalisen lähiverkon toiminnan. Normaalisti samaan kytkimeen liitetyt laitteet muodostavat yhteisen lähetyalueen (*Broadcast domain*), jossa kaikki laitteet voivat viestiä keskenään. Virtuaalisen lähiverkon avulla halutuista laitteista voidaan kuitenkin muodostaa toisistaan eristettyjä loogisia ryhmiä. Tällöin jokainen ryhmistä muodostaa oman lähetyalueensa, ja yleislähetys eli broadcast-liikenne verkossa vähenee. Tämä vähentää verkkoon kohdistuvaa kuormitusta. (Hakala & Vainio 2005, 93–94, 100.)

Toinen virtuaalisen lähiverkon hyödyllinen ominaisuus on riippumattomuus maantieteellisestä sijainnista. Laitteita voidaan liittää samaan virtuaaliseen lähiverkkoon riippumatta niiden sijainnista. Ne voivat esimerkiksi sijaita rakennuksen eri kerroksissa ja viestiä silti keskenään kuin olisivat liitettynä samaan kytkimeen (kuvio 11). Virtuaalinen lähiverkko voidaan toteuttaa useammalla eri menetelmällä: kytkinporttien perusteella, MAC-osoitteen perusteella, verkkokerroksen palveluiden perusteella tai policy-määrityksen perusteella. Virtuaalisten lähiverkkojen välinen liikenne vaatii reitityksen, eli niiden yhdistämiseen tarvitaan reititintä. (Hakala & Vainio 2005, 94–96.)



KUVIO 11. Esimerkkikaavio virtuaalisista lähiverkoista (Cisco Systems 2014)

3.3 Reititin

Reititin on OSI-mallin verkkokerroksella toimiva laite, jolla voidaan välittää tietoliikennepaketteja eri verkkojen kesken. Reitittimet ovat olennainen osa isoja TCP/IP-verkkoja, sillä niiden avulla voidaan yhdistää verkkoja, jotka sijaitsevat maantieteellisesti kaukana toisistaan. Tietyt ominaisuudet ovat tyypillisiä reitittimille:

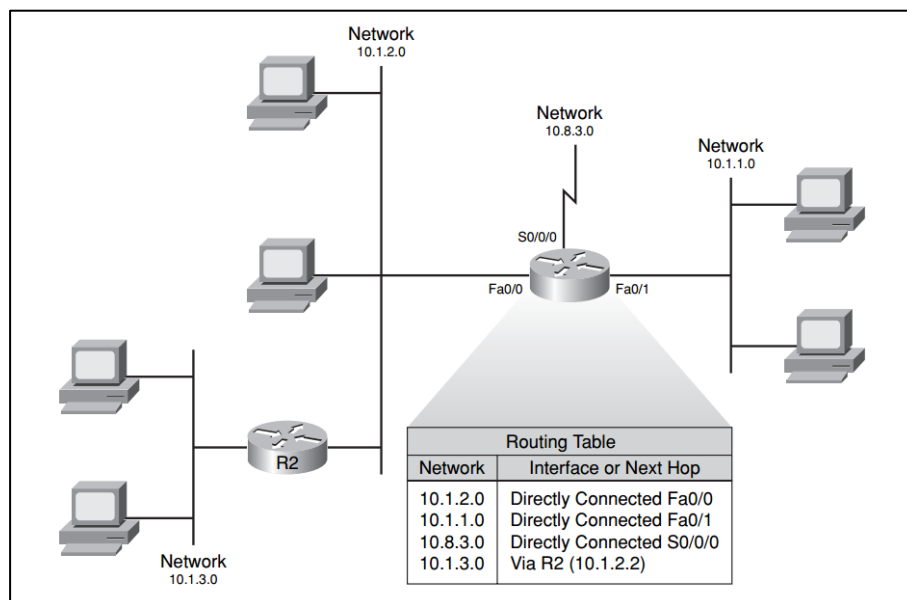
- Reitittimillä on komponentteja, jotka ovat yleisiä myös tietokoneilla ja kytkimillä: prosessori, emolevy, väliaikaismuisti ja lukumuisti.
- Reitittimillä on verkkosovittimia, joille voidaan asettaa IP-osoite.
- Reitittimillä on yleensä LAN- ja WAN-portteja sekä mahdollisesti konsoliportti reitittimen hallintaa varten. (McQuerry 2008, 238–239.)

Reitittimen avaintoiminnot ovat reitin määrittäminen ja tietoliikennepakettien välittäminen. Reitittimen käsittelemiä tietoliikennepaketteja kutsutaan IP-paketeiksi, ja ne käyttävät IP-osoitteita pakettien ohjaamiseen. Reititin määrittäminen tarkoittaa, että reititin selvittää parhaan mahdollisen reitin tietoliikennepaketin välittämiseen tietoverkosta tai tietoverkon osasta toiseen. Reiteillä voi olla monia eri ominaisuuksia, kuten nopeus, viive ja käytetty siirtotien tyyppi. Muiden reitittimien kanssa kommunikoimalla reititin saa tiedon näistä ominaisuuksista ja

valitsee ne huomioon ottaen parhaan mahdollisen reitin. Tietoliikennepakettien välittäminen tarkoittaa, että reititin ohjaa tietoliikennepaketin oikeasta verkkoportista kohti verkkoa, jossa paketin vastaanottaja sijaitsee. (McQuerry 2008, 238–239.)

3.3.1 Reititystaulu

Reitittimen täytyy olla selvillä kaikista tunnetuista verkoista ja siitä, miten ne saavutetaan. Tätä tarkoitusta varten reititin ylläpitää muistissaan reititystaulua, joka sisältää tiedot kaikista tunnetuista verkko-osoitteista: niistä, jotka reititin on oppinut esimerkiksi reititysprotokollan avulla toiselta reitittimeltä, tai niistä, jotka on staattisesti määritetty reitittimelle (kuvio 12). (McQuerry 2008, 240–241.)



KUVIO 12. Reititystaulu (McQuerry 2008, 241)

3.3.2 Reititys ja reititysprotokollat

Reititystä voi olla kahta eri tyyppiä: staattista ja dynaamista. Staattinen reititys tarkoittaa reitititietojen manuaalista syöttämistä reitittimen reititystauluun reitittintä konfiguroivan asiantuntijan toimesta. Staattinen reititys voi olla järkevä vaihtoehto pienissä ja yksinkertaisissa verkoissa, joiden rakenteessa ei tapahdu paljoa muutoksia. (McQuerry 2008, 242.)

Dynaaminen reititys tarkoittaa, että reititin määrittelee reitit itsenäisesti muilta reitittimiltä saamiensa tietojen perusteella. Se myös reagoi muutoksiin verkon rakenteessa ja tarvittaessa määrittelee reitit uudelleen. Laajemmissa verkoissa on käytännössä pakko käyttää dynaamista reititystä, sillä niissä on tyypillisesti paljon osoitteita sekä jatkuvia muutoksia rakenteessa. Mikäli muutoksiin ei reagoitaisi välittömästi, se johtaisi katkoksiin tietoliikenteessä. (McQuerry 2008, 242.)

Dynaaminen reititys toteutetaan konfiguroimalla reitittimeen dynaaminen reititysprotokolla. Dynaamiset reititysprotokollat rakentavat ja päivittävät reitittimen reititystaulua automaattisesti reagoiden verkon muutoksiin. (McQuerry 2008, 242.)

Laajemmissa verkoissa on yleensä monia vaihtoehtoisia reittejä kahden eri kohteen välillä. Sopivimman reitin määrittämiseksi jokaiselle verkon läpi kulkevalle polulle lasketaan niin sanottu metric-arvo. Mitä pienempi metric-arvo, sitä parempi polku on kyseessä. Reitit, joille on määritetty pienin metric-arvo, sisällytetään reitittimen reititystauluun. (McQuerry 2008, 243.)

Metric-arvon laskemisessa dynaamisen reititysprotokollan käyttämä algoritmi ottaa huomioon esimerkiksi seuraavanlaisia reitin ominaispiirteitä:

- tiedonsiirtonopeus (*Bandwidth*) eli linkkivälin tiedonsiirtokapasiteetti
- viive (*Delay*) eli datapaketin kuljettamiseen kuluva aika
- hyppyjen määrä (*Hop Count*) eli niiden reitittimien määrä, joiden läpi datapaketin täytyy kulkea saavuttaakseen määränpänsä
- kustannus (*Cost*) eli mielivaltainen verkon ylläpitäjän tai järjestelmän asettama luku, jota muuttamalla voidaan vaikuttaa reittien valintaan (McQuerry 2008, 243).

Dynaamiset reititysprotokollat voidaan jakaa kahteen päätyyppiin:

etäisyysvektori- (*Distance vector protocols*) ja linkkitilaprotokolliin (*Link-state protocols*). Etäisyysvektori-protokollat, kuten RIP (*Routing Information Protocol*), toimivat siten, että reititin ei tunne koko reittiä jokaiseen verkkosegmenttiin, vaan reitittimen täytyy tietää vain suunta, mihin ohjata paketit, sekä etäisyys, eli hyppyjen määrä. Tietyin väliajoin jokainen reititin lähettää reititystaulunsa

naapurireitittimille (RIP-protokolla 30 sekunnin välein), vaikka verkossa ei tapahtuisikaan muutoksia. (McQuerry 2008, 244.)

Linkkitilaprotokollat, kuten OSPF (*Open Shortest Path First*), toimivat siten, että jokainen reititin pyrkii rakentamaan oman käsityksensä verkon rakenteesta. Kun reititin aktivoituu ensimmäisen kerran, se lähettää viestejä verkkoon kertoen naapureilleen jokaisesta reitittimestä, johon se on suoraan kytkettynä, ja sen, onko linkki kyseisiin reitittämiin aktiivinen. Jokainen reititin verkossa käyttää tätä informaatiota verkkotopologian rakentamiseksi muistiinsa. (McQuerry 2008, 245.)

Topologiaa käytetään parhaimman reitin määrittämiseksi pakettien välittämiseen verkossa. Linkkitilaprotokollat reagoivat hyvin verkon rakenteen muutoksiin, sillä reitittimet lähettävät päivitysviestin naapureilleen aina havaitessaan muutoksen verkon rakenteessa. Jokainen reititin päivittää reititystaulunsa viestin mukaisesti ja välittää viestin eteenpäin. (McQuerry 2008, 245.)

3.3.3 WAN

Reititintä tarvitaan yhdistämään lähiverkkoja toisiinsa. Kun monta eri lähiverkkoa on yhdistetty toisiinsa laajalla maantieteellisellä alueella, ne muodostavat laajaverkon (WAN, *Wide Area Network*). Internetiä voi ajatella maailmanlaajuisena WAN-verkkona (McQuerry 2008, 361). Yhteys Internetiin on teleoperaattoreiden (ISP, *Internet Service Provider*) tarjoama palvelu. Teleoperaattorit käyttävät tietoliikennesanomien välittämiseen WAN-reititinverkoissa mm. seuraavia teknologioita: DSL (*Digital Subscriber Line*), ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), PPP (*Point-to-Point Protocol*) ja HDLC (*High-Level Data Link Control*). Näiden teknologioiden tarkempi käsittely ei kuitenkaan ole olennaista opinnäytetyön aiheen kannalta. (McQuerry 2008, 345.)

3.3.4 Moniverkotus

Kun tietokone tai verkkolaite on yhteydessä useampaan kuin yhteen tietoverkkoon samanaikaisesti, puhutaan moniverkotuksesta (*Multihoming*). Moniverkotusta voidaan käyttää parantamaan WAN-yhteyden luotettavuutta, esimerkiksi käyttämällä useampaa kuin yhtä Internet-palveluntarjoajaa samanaikaisesti. (Wikipedia 2014g.)

Moniverkotus on mahdollista toteuttaa useilla eri tavoilla:

1. Yksi fyysinen yhteys, useita IP-osoitteita tai -osoitealueita (*Single Link, Multiple IP address (spaces)*). Päätelaitteella on useita IP-osoitteita, mutta vain yksi fyysinen yhteys ylävirtaan. Jos fyysinen yhteys katkeaa, kaikki osoitteet menettävät yhteyden.
2. Useita fyysisiä yhteyksiä, yksi IP-osoite yhtä fyysistä yhteyttä kohti (*Multiple Interfaces, Single IP address per interface*). Päätelaitteella on useita verkkokortteja, ja jokaisella yksi tai useampi IP-osoite. Vaikka yksi fyysisistä yhteyksistä katkeaisi, muut yhteydet pysyvät päällä. Tämän menetelmän käyttäminen saattaa vaatia useiden yhteyksien käytön sallivaa Multipath TCP -protokollan käyttöä katkokkien välttämiseksi.
3. Useita fyysisiä yhteyksiä, yksi IP-osoite tai -osoitealue (*Multiple Links, Single IP address (space)*). Moniverkotuksesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä tätä menetelmää. Menetelmän toteuttaminen vaatii tyypillisesti reititysprotokollan, kuten BGP (*Border Gateway Protocol*), eikä sitä yleensä käytetä yksittäisten laitteiden moniverkotukseen.
4. Useita fyysisiä yhteyksiä, useita IP-osoitteita tai -osoitealueita (*Multiple Links, Multiple IP address (spaces)*). Tämä menetelmä toteutetaan kuormantasaukseen erikoistuneiden verkkolaitteiden, kuten palomuurien ja multi-WAN-reitittimien avulla. Menetelmä mahdollistaa useiden yhteyksien käytön samanaikaisesti saatavilla olevan tiedonsiirtokapasiteetin parantamiseksi, esimerkiksi useiden Internet-palveluntarjoajien käytön. Menetelmä mahdollistaa myös tietoliikenteen ohjaamisen toimiviin fyysisiin yhteyksiin reaaliajassa yhden niistä katketessa. (Wikipedia 2014g.)

4 LANGATON LÄHIVERKKOTEKNOLOGIA

Langaton lähiverkko (Wireless Local Area Network, WLAN) on lähiverkko, jonka siirtotie eli OSI-mallin mukaan ajateltuna fyysinen kerros on toteutettu langattomasti käyttäen radioaaltoja. Langattomasta lähiverkosta käytetään myös nimitystä Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). WLAN-laitteita, jotka ovat Wi-Fi Alliancen hyväksymiä, kutsutaan Wi-Fi-laitteiksi. Wi-Fi Alliance on järjestö, joka huolehtii WLAN-laitteiden laadunvalvonnasta. (Stallings 2007, 532.)

4.1 IEEE 802.11

IEEE 802.11 on IEEE:n kehittämä standardiperhe WLAN-lähiverkkojen teknologialle. Ensimmäinen standardi 802.11 julkaistiin vuonna 1997. IEEE 802.11:een määriteltiin siirtotietekniikoiksi taajuushyppely- (FHSS, *Frequency Hopping Spread Spectrum*) ja infrapunatekniikat (Stallings 2007, 531).

Standardeja on sittemmin julkaistu useita muitakin, jotka parantavat joitakin ominaisuuksia, kuten tiedonsiirtonopeutta, edelliseen nähden. (Granlund 2007, 294.)

Syyskuussa 1999 julkaistiin 802.11b-standardi, jota kutsuttiin myös 802.11hr-standardiksi (*High rate*). Standardi käyttää suorasekvenssitekniikkaa (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*) taajuushyppelyn sijaan (Stallings 2007, 531). Maksimitiedonsiirtonopeus standardilla on 11 Mbit/s. 802.11b toimii vapaalla 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueella. (Granlund 2007, 294.)

IEEE 802.11a julkaistiin vuonna 1999. 802.11a käyttää samoja ydinominaisuuksia kuin alkuperäinen standardi. Standardi kuitenkin määrittelee monia lisäyksiä ja muutoksia perustandardiin. Se käyttää ortogonaalista kanavanjakotekniikkaa (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Teoreettinen maksimiliikennöintinopeus standardilla on 54 Mbit/s ja käytetty taajuusalue on 5 GHz:n ISM-taajuusalue. (Granlund 2007, 294.)

IEEE 802.11g julkaistiin vuonna 2003. Maksimitiedonsiirtonopeus 802.11g-standardissa on 54 Mbit/s. Koska se käyttää ortogonaalista kanavanjakotekniikkaa, kuten 802.11a, sen on mahdollista päästä näin suuriin

nopeuksiin, vaikka se toimiikin 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueella, kuten 802.11b. (Granlund 2007, 294.)

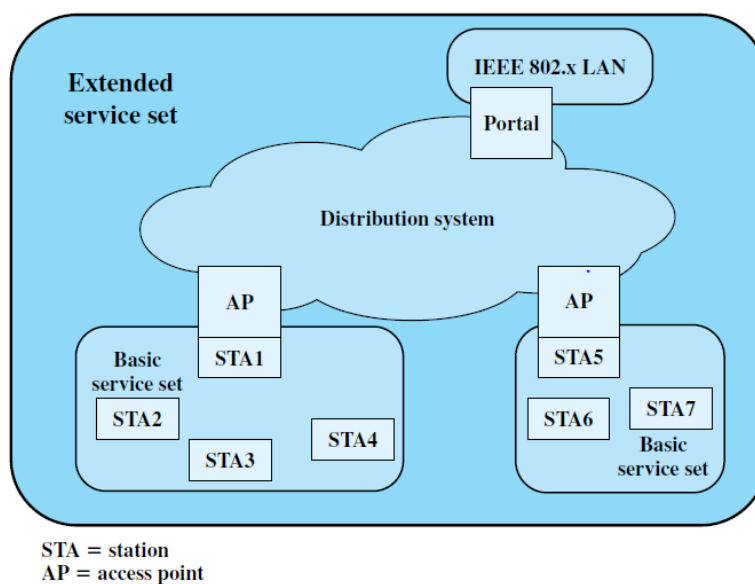
IEEE 801.11n standarisoiitiin vuonna 2009. Standardi parantaa tiedonsiirtonopeutta aiempiin standardeihin verrattuna. Teoreettinen maksiminopeus on 802.11n-standardissa määritetty jopa 600Mbit:iin/s, mutta todellisuudessa luvataan noin 100–200 Mbit:n/s:n nopeutta. 802.11n-standardi tukee MIMO-tekniikkaa (*Multiple-Input, Multiple-Output*), jossa käytetään useampaa antennia ja ilmatien kanavaa yhtä aikaa. Standardi käyttää sekä 2,4 GHz:n että 5 GHz:n ISM-taajuusalueita. (Wikipedia 2014d.)

4.2 Arkkitehtuuri

BSS-verkko (*Basic Service Set*) on WLAN-verkon perusarkkitehtuuri. Se muodostuu kiinteästä tukiasemasta ja siihen langattomasti liitetyistä työasemista. Viestintä verkossa kulkee tukiaseman (*Access Point*) kautta, ja topologia muistuttaa kiinteitä lähiverkkoratkaisuja, jotka perustuvat keskuslaitteena toimivaan kytkimeen. (Granlund 2007, 294–295.)

IBSS-nimitystä (*Independent Basic Service Set*) käytetään verkosta, joka ei kytkeydy mihinkään kiinteään verkkoon, kuten esimerkiksi IEEE 802.3. IBSS on yleensä jotakin tiettyä tarvetta varten muodostettu, lyhytaikainen ratkaisu, joka puretaan tarpeen päättyessä. IBSS-verkossa kaikki laitteet voivat keskustella suoraan toistensa kanssa, eikä mikään laite toimi keskuslaitteena tai välittäjänä osapuolten välillä. Verkosta käytetään myös nimitystä *Ad-Hoc-network*. (Granlund 2007, 294–295.)

BSS-verkkoa laajennettaessa käyttämällä useita tukiasemia, jotka kytketään samaan runkoverkkoon (*DS, Distribution System*), on tuloksena ratkaisu, josta käytetään nimitystä ESS (*Extended Service Set*) (kuvio 13). ESS-ratkaisun avulla on mahdollista muodostaa langattomia lähiverkkoja, joiden kattavuus ei ole rajoittunut esimerkiksi yhteen kerrokseen ja muutamaan huoneeseen kiinteistössä. Useita tukiasemia käyttämällä voidaan kattaa kokonaisia kiinteistöjä. Runkoverkon käyttö mahdollistaa sen, että päätelaitteet voivat liikkua solusta toiseen ilman, että käyttäjä huomaa tukiasemanvaihtoja. (Granlund 2007, 296.)



KUVIO 13. WLAN-arkkitehtuuri (Stallings 2014, 533)

ESS-ratkaisun taustalla toimiva runkoverkko DS (*Distribution System*) mahdollistaa tietoliikenteen tukiasemien välillä, ja sen avulla voidaan myös kytkeytyä kiinteään lähiverkkoon. IEEE 802.11 -suositus määrittelee runkoverkolle erilaisia palveluita, kuten autentikointi, siirtotien suojaus sekä tiedonsiirto, reititys ja integrointi. (Granlund 2007, 296–297.)

4.3 Turvallisuus

4.3.1 WEP

Alkuperäisessä IEEE 802.11-suosituksessa pyrittiin luomaan olosuhteet, jotka ensisijaisesti antoivat perinteiseen kiinteään lähiverkkoon verrattavissa olevan suojan. Suojaus keskittyi radiotiellä siirtyvään tietoon. Menetelmän nimitykseksi tuli WEP (*Wired Equivalent Privacy*). (Granlund 2007, 317–318.)

WEP:n autentikointi eli käyttäjän todennus perustuu haaste-vastaus-tekniikkaan (*Challenge-response*), jossa verkon tukiasema lähettää työasemalle merkkijonon, joka työaseman tulee salakirjoittaa erikseen määrätyllä salausavaimella. Tukiasema tarkastaa, onko merkkijono salakirjoitettu oikein, ja tämän toteutuessa olettaa, että salausavain on työaseman tiedossa. (Granlund 2007, 318.)

Salaukseen käytetään RC4-salausalgoritmia. RC4-algoritmi on julkinen, ja näin ollen salaus perustuu pelkkään avaimeen. Johtuen tavasta, jolla RC4-algoritmia käytetään WEP-salauksessa, voi mahdollinen tunkeilija saada tietoonsa salausavaimen tarkkailemalla langattoman verkon liikennettä riittävän kauan. (Granlund 2007, 318–320.)

Vuonna 2001 WEP-salaus onnistuttiin purkamaan asiaan perehtyneen tutkijaryhmän toimesta. Tutkijat Fluher, Mantin ja Shamir osoittivat, että RC4-salausalgoritmin tuottamat bittijonot eivät ole täysin satunnaisia, vaan paljastivat tietoa salausavaimen rakenteesta. Tätä tietoa hyväksi käyttämällä on mahdollista tarkkailla langattoman tukiaseman ja työaseman välistä tietoliikennettä ja sitä kautta paljastaa verkon käyttämä WEP-salausavain. Tämä paljastus johti IEEE 802.11i -suositukseen kehitystyön käynnistämiseen. (Granlund 2007, 320.)

4.3.2 WPA ja WPA2

WPA (*WiFi Protected Access*) on tietoturvatekniikka, joka otettiin pikaisesti käyttöön sen jälkeen, kun tutkijat olivat paljastaneet vanhan WEP-suojauksen putteet. WEP-suojauksen heikkoudet on korjattu WPA-tekniikassa. WPA ei perustu suositukseen, mutta sen avulla luotiin suuntaviivat tulossa olleelle IEEE 802.11i -suositukselle eli WPA2:lle, ja se sisältääkin pääosan suosituksen ominaisuuksista. (Granlund 2007, 320–321.)

WPA2-tason suojaus on tänä päivänä pakollinen WiFi-sertifioiduissa laitteissa. RC4-algoritmin sijaan WPA2 käyttää salaukseen AES-salaajaa (*Advanced Encryption Standard*) ja CCMP-algoritmia (*Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol*), ja on toistaiseksi murtamaton. (Granlund 2007, 321–322.)

5 DATASIIRTO MOBIILIVERKOISSA

Tässä luvussa käsitellään pakettikytkentäisiä datasiirtopalveluita mobiiliverkoissa. Varsinaisten datasiirtopalveluiden lisäksi käsitellään mobiiliverkkojen infrastruktuuria, jota palvelut hyödyntävät.

5.1 2G-teknologia

5.1.1 GSM

GSM (*Global System for Mobile Communications*) on maailmanlaajuisesti käytetty matkapuhelinjärjestelmä. Groupe Spécial Mobile -työryhmä aloitti järjestelmää koskevan suosituksen kehittämisen vuonna 1982. Eri vaiheiden jälkeen kehitystyö siirtyi ETSI:iin (*European Telecommunications Standard Institute*) ja ensimmäinen suositus valmistui vuonna 1990. (Granlund 2007, 396.)

GSM-verkon taajuusalueet Suomessa ovat 880–915 MHz ja 925–960 MHz (900-taajuusalue) sekä 1710–1785 MHz ja 1805–1880 MHz (1800-taajuusalue). GSM-verkon radiorajapinta eli yhteys päätelaitteen ja tukiaseman välillä on toteutettu FDM- (*Frequency-Division Multiplexing*) ja TDM-tekniikoiden (*Time-Division Multiplexing*) yhdistelmällä. GSM-verkko on piirikytkentäinen PLMN-soluverkko (*Public Land Mobile Network*), joka koostuu seuraavista kokonaisuuksista:

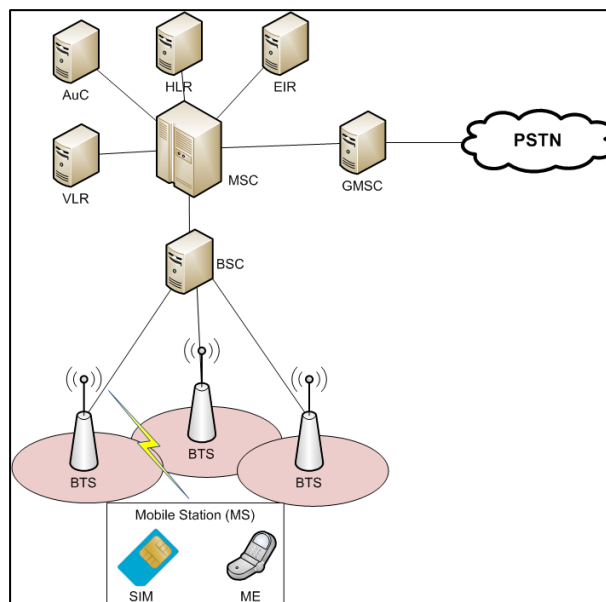
- MS (*Mobile Station*) eli päätelaite
- BSS (*Base Station Subsystem*) eli tukiasema-alijärjestelmä
- OSS (*Operation Subsystem*) eli hallinta-alijärjestelmä
- NSS (*Network Switching Subsystem*) eli kytkentäalijärjestelmä.

Tukiasema-alijärjestelmä (BSS) ryhmittää radioliikenteen laitteet omaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmän tehtävä on yhdistää päätelaitteet (MS) matkapuhelinkeskukseen. Tukiasema-alijärjestelmään kuuluvat radioliikenteen tukiasemat (BTS, *Base Transceiver Station*) ja tukiasemaohjaimet (BSC, *Base Station Controller*). Yhdellä tukiasemaohjaimella on hallittavanaan useita tukiasemia. (Granlund 2007, 396–402.)

Verkko-operaattorilla on oltava mahdollisuus hallita ja valvoa omaa verkkoaan. Tämä on mahdollista hallinta-alijärjestelmän (OSS) avulla, joka kokoaa matkapuhelinverkon osat yhdeksi kokonaisuudeksi. (Granlund 2007, 401.)

Kytkentäalijärjestelmässä (NSS) sijaitsevat GSM-verkon päätehtävät. Järjestelmä vastaa kytkennästä GSM-verkon sisällä sekä kytkennästä kiinteän verkon ja GSM-verkon välillä. Tärkein osa järjestelmää on matkapuhelinkeskus (MSC, *Mobile Switching Centre*). Lisäksi siihen kuuluu lyhytsanomien (SMS, *Short Message Service*) välityspalvelut ja erilaisia rekistereitä.

Kotirekisteri (HLR, *Home Location Register*) on tietokanta, jossa ylläpidetään tilaajaliittymä koskevia perustietoja sekä ylimalkainen tieto päätelaitteiden sijainnista. Vierailijarekisteriin (VLR, *Visitor Location Register*) tallennetaan tilapäisesti kunkin matkapuhelimeskuksen alueella olevien päätelaitteiden sijainti. AuC-rekisteriin (*Authentication Center*) tallennetaan tietoturvaan, GSM-verkon suojaukseen ja käyttäjän todentamiseen liittyviä tietoja. EIR (*Equipment Identity Register*) sisältää tiedot verkossa olevista puhelinlaitteista. Laitteet yksilöidään IMEI-numeron (*International Mobile Equipment Identity*) avulla. GSM-verkon arkkitehtuuria on havainnollistettu kuviossa 14. (Granlund 2007, 401.)



KUVIO 14. GSM-verkon arkkitehtuuri (Wikimedia Commons 2010)

GSM-verkon maantieteelliseen kattavuuteen vaikutetaan radiosolujen suunnittelulla. Soluista puhuttaessa tarkoitetaan GSM-verkon tukiaseman muodostamaa peittoaluetta. Soluverkkoa suunniteltaessa otetaan huomioon maaston vaikutukset, radioaaltojen eteneminen sekä käyttäjien määrä alueella. Tukiasemien lähetystehot pidetään riittävän pieninä, jotta samaa radiotaajuutta käyttävät muut tukiasemat eivät kuulu samalla maantieteellisellä alueella, jolloin riittävän kaukana toisistaan olevissa soluissa voidaan käyttää samaa taajuutta. (Granlund 2007, 396.)

Kun päätelaite liikkuu GSM-verkon kattamalla maantieteellisellä alueella, syntyy usein tilanne, jossa se siirtyy yhdestä solusta toiseen. Verkon on kyettävä seuraamaan päätelaitteen sijaintia ja kytkemään mahdollisesti meneillään oleva puhelu tukiasemasta toiseen ilman, että se katkeaa. Päätelaitteen siirtymisestä solusta toiseen käytetään nimitystä *handover*. (Granlund 2007, 397.)

GSM-verkon tietoturva jakautuu kahteen merkittävään osa-alueeseen, käyttäjän autentikointiin ja siirrettävän tiedon salaukseen. Käyttäjän autentikointi GSM-verkossa tapahtuu tilaajatunnistekortilla (SIM, *Subscriber Identity Module*), joka asetetaan päätelaitteeseen. SIM-kortti sisältää liittymää koskevia tietoja, joita päätelaite tarvitsee muodostaakseen yhteyden GSM-verkkoon. Käyttäjä autentikoidaan SIM-kortille PIN-tunnusluvun (*Personal Identification Number*) avulla. (Granlund 2007, 397–398.)

Siirtotiellä siirrettävän tiedon salaus GSM-verkossa voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: salauksessa käytettävän salausavaimen muodostamiseen ja varsinaisen tiedon salaamiseen. Salausavain muodostetaan käyttäen A8-algoritmia. Salauksen toisessa vaiheessa siirrettävä data tai puhe salataan käyttäen jonasalaajaa, joka perustuu A5-algoritmiin. Jonosalaaja tuottaa näennäissatunnaisia lukujoukkoja, joita käytetään siirtotiellä liikkuvan tiedon salaamiseen. Salausavainta käytetään alustamaan jonasalaajaa tai vaikuttamaan sen rakenteeseen. (Granlund 2007, 399–400.)

5.1.2 GPRS

GPRS (*General Packet Radio Service*) on GSM-verkon laajennus, joka tarjoaa muutoin piirikytkentäiseen verkkoon pakettikytkentäisen datasiirtopalvelun. Piirikytkentäinen dataliikenne oli mahdollista GSM-verkossa myös ennen GPRS-laajennusta, ja se kykeni noin 14,4 kbit/s tiedonsiirtonopeuteen, mikä riitti WAP-palveluiden ja sähköpostin tarpeisiin (Granlund 2007, 406). GPRS-palvelu käyttää datasiirtoa varten GSM-verkon infrastruktuuria. Jokaisella GSM-verkon tukiasemalla on käytettävissä tietty määrä fyysisiä kanavia, joista operaattori voi varata osan GPRS-palvelun käyttöön tai määrittää kaikki yhteiseen käyttöön. GPRS ei tarvitse omia kanavia toimiakseen, vaan se voi käyttää samoja kanavia puheluliikenteen kanssa. Operaattorit sijoittavat puheluliikenteen korkeammalle prioriteetille, jolloin verkon ylimääräinen kapasiteetti jää GPRS-palvelun käyttöön. (Granlund 2007, 409–410.)

GPRS-palvelun teoreettinen maksimitiedonsiirtonopeus on 171 kbit/s. Operaattorit eivät käytännössä kuitenkaan tarjoa niin suurta tiedonsiirtonopeutta, sillä GPRS-palvelussa yleisimmin käytetty koodaustapa CS-2, joka rajoittaa tiedonsiirtonopeutta (Granlund 2007, 415). Lisäksi GPRS-palvelun käyttämien kanavien määrää rajoitetaan, jotta se ei vaikuttaisi GSM-puheluiden läpimenoon. Näin ollen GPRS-palvelun tyypillinen maksimitiedonsiirtonopeus on noin 50 kbit/s. (ETSI 2014.)

5.1.3 EDGE

EDGE (*Enhanced Data rates for Global Evolution*) on GSM-verkon toinen laajennus, joka on rakennettu olemassa olevan GSM-infrastruktuurin päälle tekemällä muutoksia fyysisellä tasolla. EDGE mahdollistaa nopeamman datan siirron GSM-verkossa, ja se on toteutettu muuttamalla GSM-verkon perusmuodossaan käyttämä GMSK-modulointimenetelmä (*Gaussian Minimum Shift Keying*) 8PSK-modulointimenetelmään (*8 Phase Shift Keying*). Kun GPRS-palvelu käyttää EDGE:ä datasiirtoon, siitä käytetään nimitystä EGPRS (*Enhanced GPRS*), ja sen tyypillinen maksimitiedonsiirtonopeus on noin 240 kbit/s. (Granlund 2007, 416–417.)

5.2 3G-teknologia

5.2.1 UMTS

UMTS-verkon (*Universal Mobile Telecommunications System*) kehitys alkoi 1990-luvulla YK:n alaisuudessa toimineen ITU:n (*International Telecommunications Union*) projektissa nimeltä *Future Public Land Mobile Telephony System* (FPLMTS). Projektissa laadittiin suositukset kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmää varten. Verkon suosituksia laatiessa kiinnitettiin huomiota datasiirtoon. Tavoitteena oli, että paikallaan olevan laitteen siirtonopeus voisi olla jopa 2 Mbit/s. (Granlund 2007, 417.)

Merkittävä UMTS-verkon kehittämisestä vastaava organisaatio on 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), joka on standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio. 3GPP on luonut kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmille, eli 3G-järjestelmille, maailmanlaajuisia teknisiä määrittelyjä. Mukana olevia järjestöjä ovat ARIB, CCSA, ETSI, ATIS, TTA ja TTC. (Wikipedia 2014b.)

UMTS-verkon taajuusalueet Suomessa ovat 1920–1980 MHz ja 2110–2170 MHz (2100 MHz -taajuusalue) sekä 880–915 MHz ja 925–960 MHz (900 MHz:n taajuusalue) (Wikipedia 2014h). UMTS-verkkoa varten kehitettiin uudentyypinen radio-osa, jonka nimi on UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Tällä tarkoitetaan rajapintaa, joka yhdistää tukiasemat ja tukiasemaohjaimet toisiinsa. UMTS-arkkitehtuurissa tukiasemista käytetään nimitystä Node B. Tukiasemaohjaimista käytetään nimitystä RNC (*Radio Network Controller*). Päätelaitteiden nimitys UMTS-verkossa on UE (*User Equipment*). (Granlund 2007, 421–422.)

UMTS-verkon radorajapinta perustuu WCDMA-tekniikkaan (*Wideband Code Division Multiple Access*). Tekniikka määrittelee esimerkiksi, miten päätelaitteet viestivät tukiasemien kanssa ja kuinka signaalit moduloidaan. WCDMA-tekniikan käyttö mahdollistaa aikaisemman sukupolven tekniikkaan nähden parempia ominaisuuksia:

- teoreettinen maksimisiirtonopeus jopa 2 Mbit/s, käytännössä kuitenkin noin 384 kbit/s
- joustava tiedonsiirtokapasiteetti
- parempi taajuuksien uudelleenkäyttö. (Granlund 2007, 422.)

GSM-verkko voidaan migroida UMTS-verkkoon siten, että GSM-arkkitehtuuriin kuuluvia elementtejä, kuten HLR, VLR ja MSC, voidaan ottaa myös UMTS-verkon käyttöön. GSM-verkon tukiasemaohjainta (BSC) eikä tukiasemia (BTS) voida ottaa UMTS-verkon käyttöön, vaan ne korvataan UMTS-verkon omilla laitteilla (Node B ja RNC). Ne voidaan kuitenkin säilyttää verkossa, jolloin GSM-verkko toimii UMTS-verkon rinnalla. Tietoturva- ja autentikointiratkaisut UMTS-verkossa muistuttavat suurelta osin GSM-verkon ratkaisuja. Merkittävänä erona GSM-verkon autentikointiratkaisuun nähden UMTS-verkossa autentikointi kuitenkin toimii molempiin suuntiin, eli myös päätelaite voi autentikoida verkon, eikä vain toisinpäin. SIM-kortista käytetään UMTS-ympäristössä nimitystä USIM (*Universal Subscriber Identity Module*). (Granlund 2007, 419; Wikipedia 2014h.)

5.2.2 HSPA

HSPA (*High Speed Packet Access*) on yhteisnimitys 3GPP:n Release 5 -standardissa julkaistulle HSDPA:lle (*High Speed Downlink Packet Access*) ja Release 6 -standardissa julkaistulle HSUPA:lle (*High Speed Uplink Packet Access*). HSDPA on yhteyskäytäntö, joka parantaa UMTS-verkon tiedonsiirtonopeutta alavirtaan eli verkosta päätelaitteelle kulkevan dataliikenteen osalta. Parannettu tiedonsiirtonopeus on saavutettu käyttämällä esimerkiksi tehokkaampaa datan suojaamiseen tarvittavaa koodausta sekä nopeampaa 16-QAM-modulaatiomenetelmää (*Quadrature Amplitude Modulation*) ja parannettua virheistä toipumisen menetelmää H-ARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*). HSDPA-tekniikalla on teoriassa mahdollista päästä 14,4 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen. Käytännön tiedonsiirtonopeus on kuitenkin riippuvainen käytetyistä päätelaitteista, operaattorien verkkolaitteista ja radiotien olosuhteista. (Granlund 2007, 430–433.)

HSUPA käyttää samantyyppisiä ratkaisuja kuin HSDPA tiedonsiirtonopeuden parantamiseksi ylävirtaan eli päätelaitteelta verkkoon päin, kuten parempaa modulaatiota ja nopeampaa virheistä toipumista. HSUPA-tekniikalla saavutetaan teoriassa 5,76 Mbit/s tiedonsiirtonopeus. (Granlund 2007, 433–436.)

HSPA:n kehityskaaren jatkuessa siihen lisättiin uusia toimintoja suorituskyvyn parantamiseksi. Näistä toiminnoista käytetään nimitystä HSPA+. 3GPP määritteli HSPA+:n Release 7 -suosituksessa. HSPA+ saavuttaa teoriassa jopa 21 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden. Nopeampi tiedonsiirtonopeus on saavutettu käyttämällä korkealuokkaisempaa 64-QAM-modulaatiota sekä MIMO-tietoliikennetekniikkaa (*Multiple-Input, Multiple-Output*), jossa sekä lähetykseen että vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia. (Wannstrom 2014.)

5.3 4G-teknologia

Vielä syksyllä 2010 kansainvälisen televiestintäliiton ITU:n (*International Telecommunication Union*) asettamien suorituskykyvaatimusten mukaan 4G-verkon pitäisi kyetä 100 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen liikkeessä ja 1 Gbit/s paikallaan. Näin ollen vain kaksi teknologiaa olisi täyttänyt sen asettaman 4G-teknologian määritelmän: LTE-Advanced ja WirelessMAN-Advanced.

Teleoperaattoreiden painostuksesta ITU kuitenkin pehmensi määritelmää, ja joulukuussa 2010 se ilmoitti hyväksyvänsä myös edistyneet 3G-teknologiat, kuten LTE (*Long Term Evolution*) ja DC-HSPA 4G-määritelmän piiriin. (Lawson 2010.)

5.3.1 DC-HSPA

3GPP:n Release 8 -suosituksessa esitelty DC-HSPA-tekniikka (*Dual Carrier HSPA*) mahdollistaa kahden vierekkäisen 5 Mhz mobiilidatakanavan yhtäaikaisen käytön tiedonsiirtonopeuden kaksinkertaistamiseksi. Tekniikan avulla HSPA+:n teoreettisesta 21 Mbit/s maksiminopeudesta voidaan ylittää 42 Mbit/s maksiminopeuteen. (Wannstrom 2014.)

5.3.2 LTE

LTE (*Long Term Evolution*), jonka 3GPP esitteli Release 8 -suosituksessa, on edistynyt mobiiliverkkoteknologia, joka käyttää uusia tekniikoita suurempien tiedonsiirtonopeuksien saavuttamiseksi ja yksinkertaisempaa, IP-pohjaista verkkoarkkitehtuuria viiveen pienentämiseksi verkossa. (3GPP 2014.)

Merkittäviin uusiin LTE:ssä käytettyihin tekniikoihin kuuluvat OFDMA- (*Orthogonal frequency Division Multiple Access*) ja SC-FDMA (*Single-carrier Frequency Division Multiple Access*) -pääsytekniikat, joita käytetään radorajapinnalla tiedonsiirtoon ala- ja ylävirtaan. Edellämainitut tekniikat yhdistettynä korkealuokkaiseen 64-QAM-modulaatioon sekä suuriin kaistanleveyksiin mahdollistavat suurien tiedonsiirtonopeuksien saavuttamisen, teoriassa jopa 300 Mbit/s alavirtaan ja 75 Mbit/s ylävirtaan. (3GPP 2014.)

LTE-verkon radorajapinnasta käytetään nimitystä E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*). E-UTRAN koostuu pelkistä tukiasemista, joista käytetään E-UTRAN-ympäristössä nimitystä eNode B (*Evolved Node B*). Toisin kuin UMTS-verkon radorajapinnassa, keskitettyä tukiasemaohjainta ei ole, vaan sen tehtävät on hajautettu tukiasemille tukiasemavaihtojen nopeuttamiseksi. Jokainen tukiasema on myös itsenäisesti yhteydessä LTE-ydiverkkoon EPC (*Evolved Packet Core*). (3GPP 2014.)

LTE-verkot toimivat Suomessa 800 MHz:n, 1800 MHz:n ja 2600 MHz:n taajuusalueilla (Viestintävirasto 2014). Maailmanlaajuisesti LTE toimii useilla eri taajuuksilla 700 Mhz:n ja 2700 MHz:n välillä. Kaistanleveys LTE:ssä skaalautuu tarpeen mukaisesti 1,4 MHz:n ja 20 MHz:n välillä. LTE on kehitetty tukemaan sekä aikajakoista TDD-tekniikkaa (*Time-Division Duplexing*) että taajuusjakoista FDD-tekniikkaa (*Frequency-Division Duplexing*). (3GPP 2014.)

5.3.3 LTE-A

LTE-A (*LTE Advanced*) on mobiiliverkkoteknologia, jonka kehitystyö on keskittynyt suorituskyvyn maksimointiin kustannustehokkaasti. Käyttämällä tekniikoita, kuten kantaaltojen yhdistäminen (*Carrier Aggregation*), se kykenee teoriassa nopeuksiin, jotka vastaavat alkuperäistä ITU:n määritelmää 4G-verkolle, eli vähintään 1Gbit/s tiedonsiirtonopeus alavirtaan. (Wannstrom 2013.)

Maailmanlaajuisesti LTE-A-verkon testejä on jo suoritettu mm. Qualcommin ja Ericssonin toimesta. Suomalaista teleoperaattoreista Elisa ja DNA ovat edenneet kokeiluvaiheeseen omissa 300 Mbit/s nopeuksiin kykenevissä 4G+-verkoissaan. Tavallisenkin LTE-verkon rakennus on kuitenkin Suomessa vielä kaukana valmiista, eikä Suomen markkinoilla ole vielä montaa päätelaitetta, jotka tukevat näitä nopeuksia. (Pitkänen 2014.)

5.4 450 MHz:n laajakaistatekniikka

Vanhan yhteispohjoismaisen NMT-radiopuhelinverkon (*Nordisk Mobiltelefon*) lopettamisen jälkeen vapautunut 450 Mhz:n taajuusalue otettiin laajakaistakäyttöön vuonna 2007 Digita Oy:n toimesta. Digitan @450-laajakaistaverkko käytti Flash-OFDM-teknologiaa (*Fast Low-latency Access with Seamless Handoff Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Flash-OFDM-teknologian etuihin kuuluvat hyvä liikkuvuus ja pieni viive. Datayhteyttä on mahdollista ylläpitää liikuttaessa tukiasemien välillä suurillakin nopeuksilla. Digitan @450-verkossa oli mahdollista saavuttaa noin 2 Mbit/s maksimitiedonsiirtonopeus. (Puumalainen, Ojaniemi & Valtonen 2009.)

450 MHz:n taajuusalueella on omat etunsa riippumatta verkko-operaattorin käyttämästä teknologiasta. Alhaisella taajuudella pitkälle kantava signaali mahdollistaa jopa 25–30 kilometrin solusäteet maaseutu ympäristössä. Tämä lisää peittoaluetta, koska tarvittavien tukiasemien määrä pienenee huomattavasti. Digita markkinoikin vuonna 2010, että 99 prosenttia suomalaisista asui @450-verkon peittoalueella. (Puumalainen ym. 2009; Wikipedia 2014a.)

Vuonna 2011 @450-laajakaistaverko myytiin Datame Oy:lle, jonka aikana verkon teknologia vaihtui Flash-OFDM-teknologiasta CDMA-teknologiaan. Datame Oy ajautui kuitenkin konkurssiin vuonna 2013, jolloin uutena verkko-operaattorina 450 MHz:n taajuusalueella aloitti Ukkoverkot Oy. (Wikipedia 2014a.)

Ukkoverkot Oy päivitti verkon teknologian LTE-tekniikkaan ja tiedotti avaneensa ensimmäisen koko Suomen kattavan LTE-verkon. Tällä hetkellä verkkoa käytetään esimerkiksi kirjastoautoissa ja VR:n junien junaverkoissa. Verkko tarjoaa pelkän datapalvelun, ilman puhe- tai tekstiviestipalveluita. Ukkoverkot Oy markkinoi Ukko Mobile 4G LTE -verkon maksimitiedonsiirtonopeuden olevan 15 Mbit/s alavirtaan. (Ukkoverkot Oy 2014.)

6 LINKKU-PALVELUBUSSI

Linkku (kuvio 15) on vuoden 2012 aikana käynnistetyn Liikutus-projektin ja sitä seuranneen Älybussi-projektin tuloksena syntynyt tuote: prototyyppi linja-autoalustalle toteutetusta liikkuvasta palvelutilasta, joka vastaa Päijät-Hämeen haja-asutusalueilla kasvavaan peruspalveluiden tarpeeseen. Palveluita keskitetään suuriin asutuskeskuksiin yhä enemmän, minkä seurauksena haja-asutusalueiden asukkaiden matkat peruspalveluiden luokse pitenevät. Linkun tarkoitus on tuoda palveluita paremmin Päijät-Hämeen haja-asutusalueilla asuvien ihmisten saataville hyödyntämällä linja-autoa liikkuvana palvelualustana. Linkun tarjoamia palveluita ovat mm. sosiaali- ja terveystyöt, koulutuspalvelut, henkilö- ja tavarankuljetus sekä Postin ja kirjaston palvelut. (Karsisto 2014; Lahden ammattikorkeakoulu 2014.)

Projektia ovat rahoittaneet liikesivistysrahasto, Päijät-Hämeen liitto, EU:n aluekehitysrahasto ja Lahden ammattikorkeakoulu. Projektissa edettiin vuoden 2014 keväällä pilotoituvaiheeseen, joka kestää vuoden. Meneillään olevan pilottijakson aikana prototyyppiä testataan ja kehitetään käyttökokemusten pohjalta. Pilottijakson jälkeen linja-auto jää toimintaan vähintään viideksi vuodeksi, jolloin sen toiminnasta vastaavat seuraavat tahot: Päijät-Hämeen alueen peruspalvelukeskukset Oiva ja Aava, koulutuskeskus Salpaus, Lahden ammattikorkeakoulu ja Fellmannia-kirjasto. Linkun pysähdyspaikkoja on Asikkalan, Hartolan, Padasjoen ja Sysmän kunnissa. (Karsisto 2014; Linkku - liikkuva tila 2014.)



KUVIO 15. Linkku (Linkku - liikkuva tila 2014)

7 ESISELVITYSTYÖ

Älybussi-projektin edetessä opinnäytetyön aiheeksi tarkentui esiselvitystyö, jonka pohjalta Linkkuun voitiin hankkia mahdollisimman hyvät tietoliikenneyhteydet selvityksestä syntyvän vaatimuslistan perusteella. Tämän lisäksi laadittiin konkreettinen verkkosuunnitelma, joka auttoi täsmentämään monia osatekijöitä esiselvitystyön edetessä, kuten esimerkiksi laitteisto ja verkkoteknologiat, joita todennäköisesti tultaisiin käyttämään.

7.1 Vaatimusten määrittely

Tietoliikenneyhteyksien suunnittelu on järkevintä aloittaa määrittelemällä vaatimukset, jotka yhteyksiin kohdistuvat. Nämä vaatimukset määräytyvät enimmäkseen sen perusteella, millaiset olosuhteet vallitsevat tilassa, minne tietoliikenneyhteydet halutaan rakentaa ja minkälaisia palveluita siellä tarjotaan.

7.1.1 Palveluiden asettamat vaatimukset

Älybussi-projektin aikana käydyissä kokouksissa ja seminaareissa nousi heti alkuvaiheesta lähtien esille, että suurin osa linja-autossa tarjottavaksi suunnitelluista palveluista ovat sellaisia, jotka vaativat tietokonetta ja Internet-yhteyttä. Tällaisia palveluita ovat esimerkiksi kirjastopalvelut, koulutuksien ja seminaarien järjestäminen sekä Internetin käyttömahdollisuus. Näin ollen oli selvää, että Linkkuun pitäisi hankkia palveluntarjoajien käyttöön yksi tai useampi kiinteä tai kannettava tietokone, johon tarvittaisiin pääsy Internetiin.

Tietokone ja yhteydet ulkomaailmaan Internetin välityksellä olisivat myös välttämättömät Linkussa tarjottavaksi suunnitelluille sosiaali- ja terveystalv palveluille, kuten terveystalvkioskipalvelulle ja esimerkiksi Kelan tai sosiaalitai toimiston palveluille. Lisäksi monet niistä voivat vaatia yhteyden sosiaali- ja terveystalv palveluiden tarjoajien järjestelmiin, kuten potilas- ja henkilötietoi järjestelmiin. Internet-yhteyden lisäksi Linkkuun täytyi siis olla mahdollista tarvittaessa toteuttaa erillinen suojattu yhteys kyseisten organisaatioiden tietoverkkoihin.

Palvelut vaativat Internet-yhteydeltä ensisijaisesti luotettavuutta: yhteydessä ei tulisi esiintyä katkoksia ja viiveen tulisi pysyä hyväksyttävissä lukemissa. Vaikka ilmi ei ollutkaan vielä tullut palveluita, jotka vaatisivat erityisen nopeaa tiedonsiirtoa, pidettiin myös suorituskykyä tärkeänä. Vaikka suorituskykyä voidaankin tulevaisuudessa tarpeen mukaan parantaa, tavoitteena oli, että suorituskyky olisi alusta asti sellaisella tasolla, ettei se olisi rajoitteena Linkussa toteutettaville palveluille.

7.1.2 Olosuhteiden asettamat vaatimukset

Kun palvelualustana toimii linja-auto, asettaa se tietoliikenneyhteyksille sekä niiden toteuttamiseen käytettävälle laitteistolle tiettyjä erityisvaatimuksia, joiden kanssa ei välttämättä jouduta tekemisiin tietoliikenneyhteyksiä kiinteään kohteeseen suunniteltaessa. Näitä vaatimuksia käytiin läpi Linkun tekniikkaa koskevissa kokouksissa ja työpajoissa Älybussi-projektin aikana.

Liikkuvan ajoneuvon ollessa kyseessä tietoliikenneyhteydet oli toteutettava pääasiassa mobiiliverkkoteknologiaa hyödyntäen. Mahdollisuus kytkeytyä kiinteään verkkoon sellaisen ollessa saatavilla haluttiin säilyttää, mutta yksinään se ei riittäisi, koska linja-auton ollessa liikkeellä yhteys menetettäisiin. Tämän lisäksi jokaisella pysähdyspaikalla olisi pakollista järjestää mahdollisuus kiinteään verkkoon kytkeytymiseen. Myös muut mahdolliset yhteystavat tulisi voida käyttää hyödyksi, esimerkiksi langaton lähiverkko. Tietoliikenneyhteyksien toimintavarmuuden lisäämiseksi tulisi mahdollistaa myös useiden yhteyksien yhtäaikainen käyttö.

Linja-auton sisällä vallitsevat olosuhteet oli myös huomioitava. Linja-auton sisätilojen ilman lämpötila sekä kosteus saattavat vaihdella, ja siellä voi esiintyä moottori- ja alustaperäistä tärinää. Huomionarvoista oli myös käytettävissä olevan tilan rajallisuus siksi, että linja-auton muu tekninen varustelu vei suurimman osan sille varatusta tilasta.

7.2 Mobiiliverkkoteknologioiden tutkiminen

Koska oli todennäköistä, että tietoliikenneyhteydet perustuisivat vahvasti mobiiliverkkoteknologiaan, esiselvitysvaiheeseen kuului Suomessa toimivien Internet-palveluntarjoajien (DNA, Elisa ja TeliaSonera) mobiiliverkkojen kuuluvuden tutkiminen Päijät-Hämeen alueella tutustumalla palveluntarjoajien www-sivuilla saatavilla oleviin kuuluvuuskarttoihin. Silloinen tilanne (vuoden 2013 kevät) eri mobiiliverkkojen kuuluvuudessa oli 3G-verkon osalta melko hyvä. Varsinkin alemmaa 900 MHz:n taajuutta käyttävä UMTS-verkko ulottui kaikilla operaattoreilla koko Päijät-Hämeen alueelle. 4G-verkon kuuluvuus rajoittui taas lähinnä kaupunkikeskuksiin, eikä ulottunut haja-asutusalueille lainkaan.

Koska 4G-verkon peittoalue oli hyvin rajallinen ja 3G-verkonkin kuuluvuudessa oli katvealueita, varayhteyden mahdollisuutena tutkittiin silloista Datamen tarjoamaa 450 Mhz:n taajuusalueen @450-mobiiliverkkoteknologiaa. @450-verkon tiedonsiirtonopeus ei yltänyt samoihin lukemiin kuin 3G-verkon, mutta sen etuna oli maanlaajuisesti erittäin hyvä kuuluvuus. @450-verkkoa ovat hyödyntäneet varayhteytenä muutkin tahot vastaavanlaisissa toteutuksissa, hyvänä esimerkkinä Tampereen kirjaston Internetbussi Netti-Nysse.

7.3 Johtopäätökset

Edellä mainittujen vaatimuksien täyttämiseksi asetettiin seuraavia linjauksia:

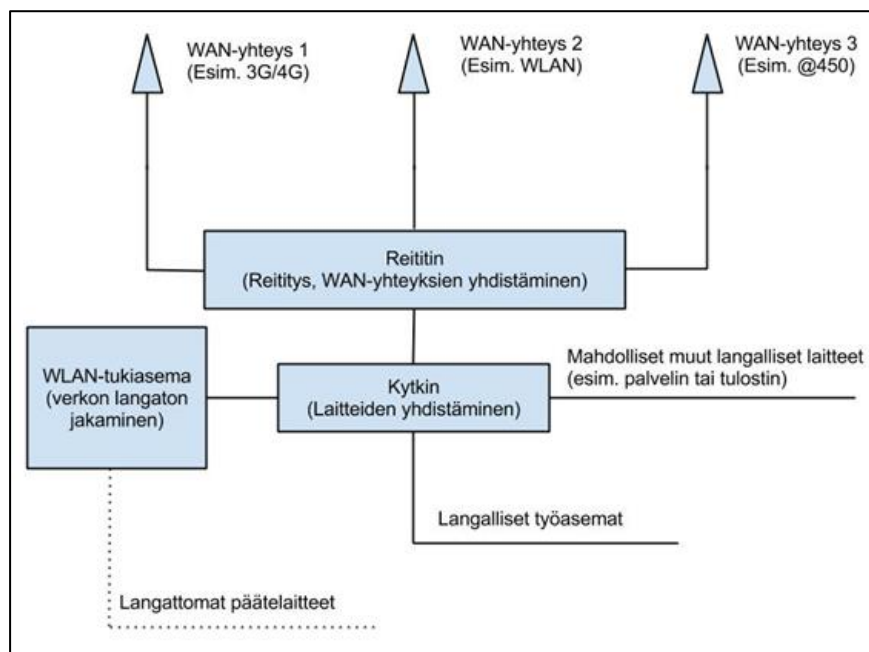
- Linkkuun tulee rakentaa oma lähiverkko, josta on yhteys Internetiin.
- Koska Internet-yhteyden muodostamiseen käytetään pääasiassa mobiiliverkkoteknologiaa, sen toiminta tulee olla mahdollista varmistaa mieluiten useampien yhteyksien samanaikaisella käytöllä.
- Intenet-yhteys jaetaan edelleen lähiverkkoon kytketyille työasemille sekä langallisesti että langattomasti.
- Linja-auton sisäverkon ja Internet-yhteyden tulee olla toimintavarma ja mahdollisimman automatisoitu.
- Laitteiston valinnassa tulee ottaa huomioon edellä mainitut vaatimukset.
- Linja-autossa vallitsevat olosuhteet huomioitava.

8 VERKON SUUNNITTELU

8.1 Suunnittelun aloitus

Linkkuun rakennettavan verkon loogisen rakenteen hahmottelu aloitettiin edellä mainittujen linjauksien perusteella (kuvio 16). Aluksi selvitettiin, minkä tyyppisiä laitteita tarvittaisiin, ja tarkoitus oli sen jälkeen tarkentaa laitevalintoja vaatimusten mukaisiksi. Tarvittavat laitteet ja niiden tehtävät olivat:

- Reititin
 - WAN-yhteyden tai -yhteyksien muodostaminen
- Kytkin
 - päätelaitteiden liittäminen samaan lähiverkkoon
- WLAN-tukiasemat
 - langaton lähiverkkoyhteys asiakkaille
 - langattoman lähiverkon käyttäminen WAN-yhteytenä.



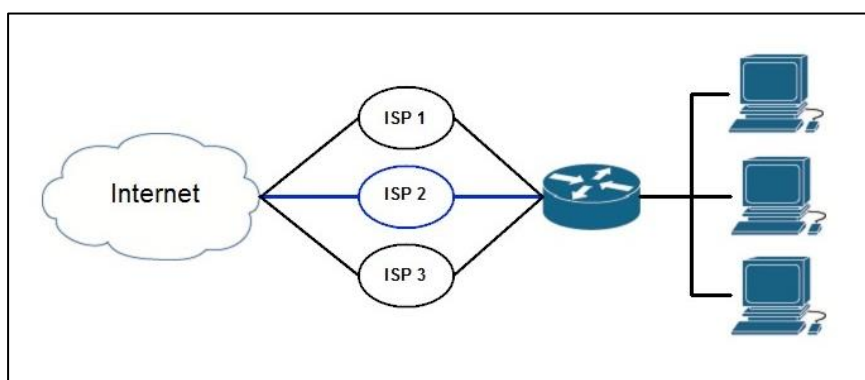
KUVIO 16. Lähiverkon looginen rakenne

8.2 Moniverkotuksen hyödyntäminen

Verkkosuunnitelmaa varten tutkittiin mahdollisuutta hyödyntää moniverkotusta, joka mahdollistaisi useamman WAN-yhteyden yhtäaikaista käyttöä tiedonsiirtonopeuden ja toimintavarmuuden parantamiseksi (kuvio 17).

Moniverkotusta on hyödynnetty muissakin ajoneuvototeutuksissa. Esimerkiksi Tampereen kirjaston Netti-Nyssessä voitiin käyttää useampaa WAN-yhteyttä, kuten 3G/4G-verkkoa, WLAN-verkkoa ja @450-laajakaistaa. Näistä kuitenkin voitiin käyttää vain yhtä kerrallaan, ja WAN-yhteyden vaihto vaati manuaalista konfigurointia.

Markkinoilta etsittiin laitteita, jotka osaisivat käyttää moniverkotusta usean WAN-yhteyden hyödyntämiseen. Toimenpiteen tulisi olla täysin automaattinen siten, että paras saatavilla oleva WAN-yhteys tunnistetaan ja yhden yhteyden pettäessä toisia yhteyksiä käytetään automaattisesti sen tilalla ilman, että usean yhteyden käyttö aiheuttaa häiriöitä verkon toiminnassa.



KUVIO 17. Moniverkotus havainnollistettuna

8.3 Laittevalinnat

Älybussi-projektin edetessä projektin johdolle toimitettiin laitteistonselvitys laitteiden hankintaan vaadittavaa kilpailutusta varten. Laitteistonselvityksessä kerrottiin, minkälaisia ominaisuuksia hankittavilta verkkolaitteilta vaaditaan, mikäli suunnitelma toteutettaisiin ja annettiin esimerkkejä laitetyypeistä. Tässä luvussa käsitellään ensisijaisia laite-ehdotuksia ja esitellään verkkosuunnitelmaa, joka perustuu näiden laitteiden käyttöön.

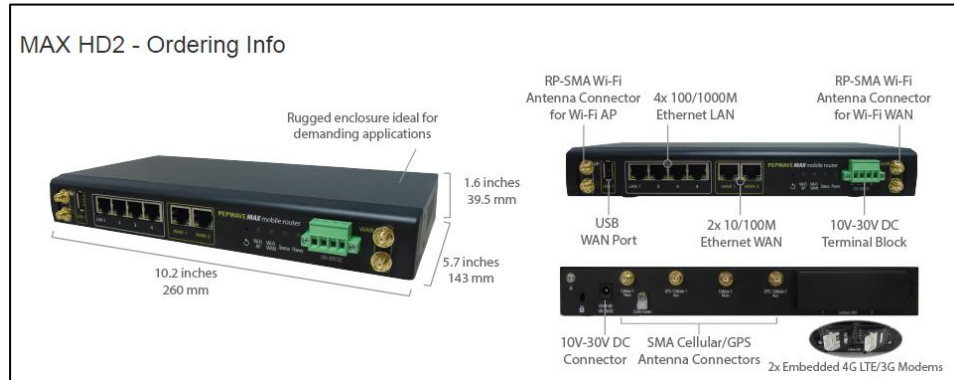
8.3.1 Reititin

Reititin oli verkkosuunnitelman tärkein laite. Reitittimessä tuli olla liitännät useille WAN-yhteyksille sekä ulkoisille antennille. Lisäksi siltä vaadittiin vähintään seuraavia toimintoja:

- usean WAN-yhteyden samanaikainen käyttö ja verkkoliikenteen kuormantasaus
- sisäverkon IP-osoitteiden jakaminen päätelaitteille (DHCP-palvelu)
- palomuuuri- ja NAT-toiminnot
- VPN-toiminnot.

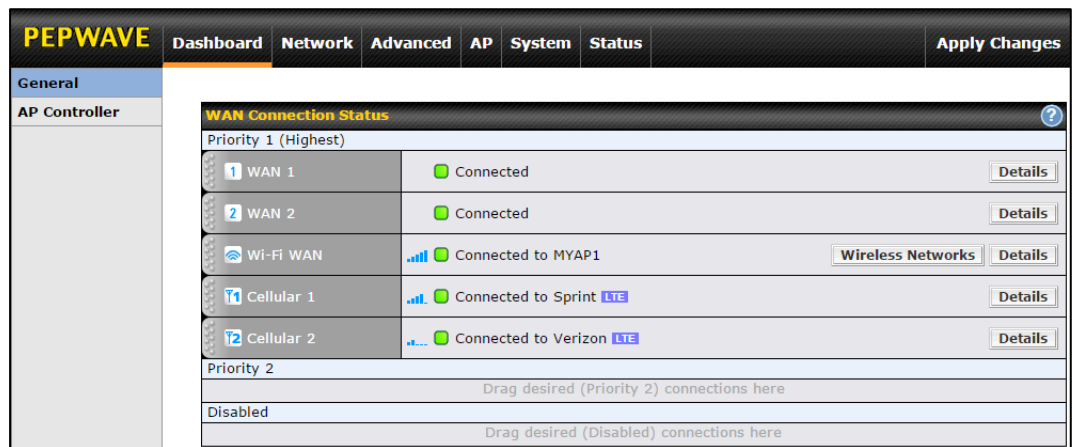
Ensisijainen laitevalinta reitittimeksi oli PepWave MAX HD2 LTE (kuvio 18), joka on haasteellisiin olosuhteisiin kehitetty pienikokoinen (260 x 143 x 39,5 mm) mobiilireititin, joka kykenee Multi-WAN-reititykseen. Valmistajan mukaan reititin kestää tavallista reititintä enemmän lämpötilan vaihteluita (-40–65°C) ja tärinää. Reititin on myös varustettu erittäin monipuolisilla ominaisuuksilla, joihin kuuluvat:

- 2 kpl sisäänrakennettuja 3G/4G LTE-modeemeja
- 3 kpl WAN-liitäntöjä (2 kpl 10/100 Mbit/s Ethernet ja 1 kpl USB)
- sisäänrakennettu WLAN-tukiasema sekä WLAN-viritin langattoman lähiverkon käyttämiseksi WAN-yhteytenä
- kuormantasaus useiden WAN-yhteyksien välillä
- WLAN-, 3G/4G- ja GPS-antenniliitännät (SMA)
- IPsec VPN.



KUVIO 18. PepWave MAX HD2 LTE -reititin

Reitittimen etuna on myös erittäin selkeä ja helppokäyttöinen hallintaohjelmisto, jota oli mahdollista testata valmistajan web-sivulla. Tästä johtuen moniin reitittimen ominaisuuksiin oli mahdollista tutustua etukäteen. Kuviossa 19 on esitetty kuvakaappaus hallintaohjelmiston osiosta, jossa näkyy WAN-yhteyksien tila. Kuviossa 20 taas on esitetty hallintaohjelmiston osio, jossa voidaan muodostaa IPsec VPN -tunneli.



KUVIO 19. PepWave MAX HD2 LTE -hallintaohjelmisto

IPsec VPN Profile										
Name	test									
Active	<input checked="" type="checkbox"/>									
Remote Gateway IP Address / Host Name	122.169.97.42									
Local Networks	<input checked="" type="checkbox"/> 192.168.50.0/24 <input type="checkbox"/>									
Remote Networks	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Network</th> <th>Subnet Mask</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>192.168.168.0</td> <td>255.255.255.0 (/24)</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td></td> <td>255.255.255.0 (/24)</td> <td>+</td> </tr> </tbody> </table>	Network	Subnet Mask		192.168.168.0	255.255.255.0 (/24)	X		255.255.255.0 (/24)	+
Network	Subnet Mask									
192.168.168.0	255.255.255.0 (/24)	X								
	255.255.255.0 (/24)	+								
Authentication	<input checked="" type="radio"/> Preshared Key <input type="radio"/> X.509 Certificate									
Mode	<input type="radio"/> Main Mode (All WANs need to have Static IP) <input checked="" type="radio"/> Aggressive Mode									
Force UDP Encapsulation	<input type="checkbox"/>									
Preshared Key <input checked="" type="checkbox"/> Hide Characters									
Local ID										
Remote ID	vpn123@ktpl									
Phase 1 (IKE) Proposal	AES-256 & MD5									
Phase 1 DH Group	<input checked="" type="radio"/> Group 2: MODP 1024 <input type="radio"/> Group 5: MODP 1536									
Phase 1 SA Lifetime	3600 seconds <input type="button" value="Default"/>									
Phase 2 (ESP) Proposal	AES-256 & SHA1									
Phase 2 PFS Group	<input checked="" type="radio"/> None <input type="radio"/> Group 2: MODP 1024 <input type="radio"/> Group 5: MODP 1536									
Phase 2 SA Lifetime	28800 seconds <input type="button" value="Default"/>									

KUVIO 20. IPsec VPN -tunnelin muodostaminen

8.3.2 Kytkin

Linkun sisäverkon laitteiden yhdistämiseen tarvittiin laadukas ja luotettava kytkin 100 Mbit/s -nopeuksisilla porteilla. Käytettävissä olevan tilan pienuuden vuoksi oli epätodennäköistä, että tarvittaisiin isompaa kuin 24-porttista kytkintä. Ensisijainen vaihtoehto oli Cisco Catalyst 2960 (kuvio 21), jossa on 24 10/100 Mbit/s -nopeuksista kytkinporttia.



KUVIO 21. Cisco Catalyst 2960 -kytkin

8.3.3 WLAN-tukiasemat

WLAN-tukiaseman määrittelyihin kuului, että sen pitäisi tukea vähintään 802.11g -protokollaa. Tukiasemia tarvittaisiin kaksi: toinen asiakastilaan WLAN-yhteyden

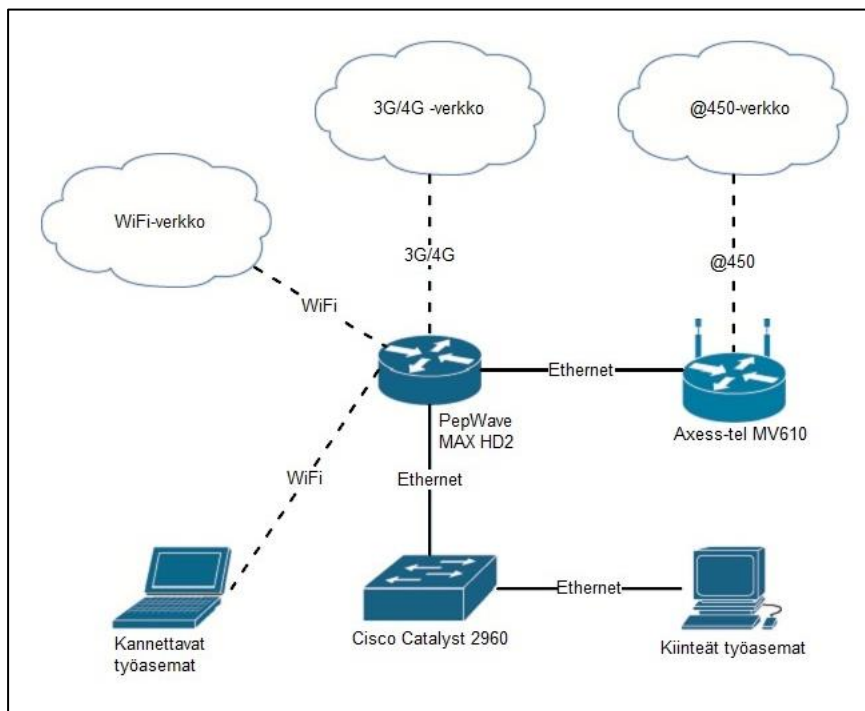
käyttämiseksi WAN-yhteytenä (*WLAN as WAN*) ja toinen tukiasemaksi, johon langatonta lähiverkkoa käyttävät asiakkaat ottavat yhteyden. Reitittimen valinta mahdollistaa, että kumpaakaan WLAN-tukiasemaa ei tarvitsisi erikseen hankkia, koska nämä toiminnallisuudet ovat reitittimessä sisäänrakennettuna (IEEE 802.11b/g/n).

8.3.4 3G/4G- ja @450-modeemit

PepWave MAX HD2 LTE -reitittimen ominaisuudet poistivat tarpeen hankkia yksi tai useampi 3G/4G -modeemi omana laitteenaan, koska reitittimessä on 2 sisäänrakennettua 3G/4G -modeemia, jotka käyttävät Mini-SIM -korttia. Modeemit tukevat automaattista 3G-tekniikkaan siirtymistä silloin, kun 4G-signaali on heikko. Tuetut teknologiat ja taajuualueet 4G LTE (Band 1/3/7/8/20); WCDMA/HSDPA/HSUPA/HSPA+ (800/850/900/1900/2100 MHz); GSM/GPRS/EDGE (850/900/1800/1900 MHz). @450-mobiiliverkkoa varten tarvittiin verkkosuunnitelmassa oma laite. @450-palveluntarjoaja Datamen suosittelu modeemi oli Axess-Tel MV610.

8.4 Verkon rakenne

Verkkosuunnitelman mukainen topologia, jossa näkyvät aktiivilaitteet ja kaapeloinnit, on esitetty kuviossa 22. PepWave MAX HD2 LTE -reititin toimii topologiassa reunalaitteena, joka ottaa yhteyden Internetiin ja jakaa yhteyden eteenpäin päätelaitteille: joko langallisesti laitteille, jotka ovat yhdistettyinä kaapeloinnin välityksellä Cisco Catalyst 2960 -kytkimeen, tai langattomasti WLAN-verkkoon yhdistettyinä oleville päätelaitteille. WAN-yhteyksinä käytettäisiin yhtä tai useampaa 4G-mobiililaajakaistaliittymää, avointa WLAN-verkkoa (kuten Lahden alueella toimiva MASTONET) sellaisen ollessa saatavilla sekä @450-laajakaistaliittymää.



KUVIO 22. Verkkosuunnitelman topologia

8.5 Alustava IP-osoitesuunnitelma

Suunnitteluvaiheessa ei ollut vielä kovin tarkkaa tietoa, minkälainen määrä IP-osoitteita tarvitsevia päätelaitteita linja-auton sisäverkkoon tulisi. Tilojen rajallisuuden vuoksi oli kuitenkin varmaa, että laitemäärä tulisi olemaan melko pieni. Näin ollen taulukosta 4 ilmenevää alustavaa IP-osoitesuunnitelmaa voidaan pitää laiteosoitteiden määrän puolesta linja-auton verkon tarpeisiin hieman ylimitoitettuna. IP-osoitesuunnitelmassa aliverkotettiin yksi C-luokan osoiteavaruus kahteen /25-kokoiseen aliverkkoon. Tarkoituksena oli, että linja-auton henkilökunnan käytössä olevat tietokoneet sekä verkkolaitteet sijaitsevat 192.168.1.0 /25 -osoiteavaruudessa (VLAN10), kun taas langattoman vierailijaverkon käyttäjät 192.168.1.128 /25 -osoiteavaruudessa (VLAN20). Näin saadaan eristettyä vierailijaverkko siten, että sieltä ei esimerkiksi pääse muodostamaan yhteyttä reitittimen web-hallintaan.

TAULUKKO 4. Alustava IP-osoitesuunnitelma

Nimi	VLAN	Aliverkko	IP-osoitteet	Aliverkon peite
Staff	10	192.168.1.0	192.168.1.1–126	255.255.255.128
Guest	20	192.168.1.128	192.168.1.129–254	255.255.255.128

8.6 DHCP- ja VLAN-asetukset

Reitittimeen suunniteltiin alustavasti konfiguroitavaksi kaksi DHCP-poolia, jotta verkkoa käyttävät päätelaitteet saisivat reitittimeltä automaattisesti IP-osoitteen niille määritellystä IP-avaruudesta. Kuviossa 23 on esitetty esimerkki siitä, miten vierailijaverkon DHCP-pooli voitaisiin reitittimessä määrittää. Kytkimeen olisi luonnollisesti myös määritettävä VLAN-asetukset erikseen.

IP Settings									
Name	Guest								
IP Address	192.168.1.129	255.255.255.128 (/25)	▼						
VLAN ID	20								
Captive Portal	<input type="checkbox"/>								
DHCP Server	<input checked="" type="checkbox"/> Enable								
DHCP Server Settings									
IP Range	192.168.1.130 - 192.168.1.230	255.255.255.128 (/25)	▼						
Lease Time	1 Days 0 Hours 0 Mins								
DNS Servers	<input checked="" type="checkbox"/> Assign DNS server automatically								
WINS Servers	<input type="checkbox"/> Assign WINS server								
Extended DHCP Option	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">No Extended DHCP Option</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><input type="button" value="Add"/></td> </tr> </tbody> </table>			Option	Value	No Extended DHCP Option		<input type="button" value="Add"/>	
Option	Value								
No Extended DHCP Option									
<input type="button" value="Add"/>									
DHCP Reservation	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>MAC Address</th> <th>Static IP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Name	MAC Address	Static IP			
Name	MAC Address	Static IP							

KUVIO 23. DHCP-poolin määrittäminen vierailijaverkolle

8.7 Turvallisuus

Laitteiden fyysiseen turvallisuuteen voidaan vaikuttaa sijoituspaikalla, joka määritellään seuraavassa luvussa. Tietoturvaan liittyviin suunnitelmassa huomioituihin asioihin kuuluivat:

- laitteiden hallintaan pääsyn rajoittaminen (asianmukainen salasanasuojaus ja etähallintaan pääsy vain tietyistä IP-osoitteista)

- palomuuuri ja häiriösuojaus
- langattoman verkon asianmukainen salaaminen.

8.8 Laitteiston sijoituspaikka

Linkun sisätiloihin päätettiin sijoittaa standardikokoinen 19” laitekaappi, jonne tietoliikennelaitteisto voitaisiin asentaa. Laitteiston suojaamiseen värinältä sekä ilmankosteuden ja lämpötilan vaihteluilta suunniteltiin aluksi hankittavaksi sellainen laitekaappi, joka olisi varustettu omalla, riittävän tehokkaalla ilmastoinnilla ja lämmityksellä. Projektin edetessä täsmentyi kuitenkin, että laitekaapilta ei vaadittaisi aivan näin tehokkaita ominaisuuksia, koska Linkkua tulitaisiin säilyttämään lämmitetyssä varikkotilassa silloin, kun se ei ole ajossa.

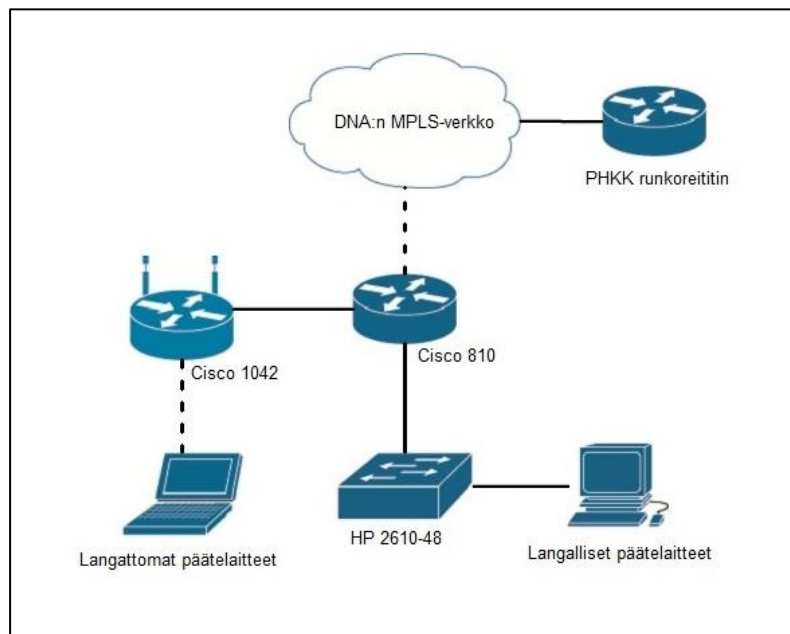
8.9 Kaapelointi ja antennit

Opinnäytetyön aiheen rajauksen vuoksi kaapeloinnin ja antennien käsittely jätettiin vähemmälle. Tarkoitus oli, että antenni- ja kaapelointityöt teetetään linja-auton korivalmistajalla. Antenneista ja kaapeloinnista tehtiin kuitenkin määrittely, jonka mukaan Linkkuun tulisi tehdä Category 6 -standardin mukainen parikaapelointi ja se tulisi varustaa ainakin 3G/4G- taajuuksia tukevalla ja WLAN-taajuuksia tukevilla antenneilla.

9 TOTEUTUNUT VERKKO

Toimeksiantajana toiminut Älybussi-projekti päätti tilata tietoliikennelaitteiston asennustyön kokonaisuutena Päijät-Hämeen koulutus konsernin tietohallinnolta, joka päätyi Linkun verkon toteuttamisessa hieman tässä työssä esitellystä suunnitelmasta poikkeavaan ratkaisuun. Linkun verkkoratkaisussa käytetään seuraavia laitteita: WLAN-tukiasemaa (Cisco 1042), kytkintä (HP 2610-48) ja reititintä (Cisco 810). Tietoliikenne kulkee Layer 3 -tasolla 10Mbit/s 3G/4G-mobiiliyhteydellä DNA:n MPLS-verkon läpi päätyen PHKK:n runkoreitittimeen. Mobiiliyhteyttä pitkin reititetään kaikki Linkun tietoliikenne. Tällä saavutetaan se, että Linkun tietoliikenneverkko on yhdistetty PHKK:n organisaatioverkkoon, ja yhdenmukaistettu sen kanssa (kuvio 24).

WLAN-tukiasema on yhdistetty WLAN-kontrolleriin, jonka kautta Linkkuun tuodaan langattomia verkkoja. Linkussa kuuluu muiden PHKK:n langattomien verkkojen lisäksi WPA2-PSK-salattu Linkku-WLAN, joka on Linkussa vierailevien henkilöiden käytössä. Lisäksi verkossa on käytössä kertakäyttöiset tunnukset. Linkkuun on tuotu kaksi toisistaan eristettyä aliverkkoa. Toinen on tarkoitettu PHKK:n henkilöstölle ja toinen vierailijoille. Toteutunutta ratkaisua vertaillaan verkkosuunnitelmaan opinnäytetyön luvussa 11.



KUVIO 24. PHKK:n tietohallinnon toteuttama verkkoratkaisu

10 VERKON TESTAUS

10.1 Testauksen kulku

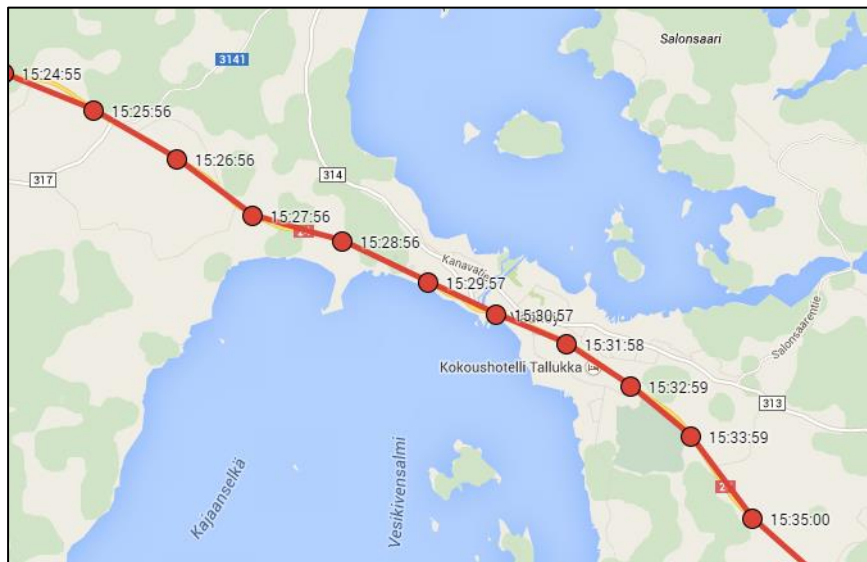
Kesällä 2014 Linkun pilottivaiheessa suoritettavien koeajojen yhteydessä Linkun verkkoratkaisun toimivuutta testattiin Padasjoen, Hartolan ja Sysmän reiteillä. Verkon suorituskykyä testattiin mittaamalla tiedonsiirtonopeutta ja viivettä ajon aikana sekä pysähdyksissä. Työvälineinä toimivat Lahden ammattikorkeakoulun tietoliikennelaboratoriosta lainattu kannettava tietokone, johon oli asennettu PRTG Network Monitor -ohjelmisto. Lisäksi linja-auton sijainnin tallentamiseen käytettiin älypuhelinta, johon oli asennettu GPS-seurantaohjelmisto.

Testaus suoritettiin ottamalla yhteys Linkussa kuuluvaan langattomaan verkkoon ja tuottamalla liikennettä verkkoon lataamalla web-selaimella suurikokoista tiedostoa, esimerkiksi Linux-imagea, tietokoneen kovalevylle Funet-sivustolta. Samalla mitattiin latausnopeutta ja viivettä PRTG-ohjelmalla. Viivettä mitattiin ping-testillä (kuvio 25) mobiiliyhteyden toisessa päässä olevaan verkko-laitteeseen. Mittausaikaväli säädettiin lyhimpään ohjelman sallimaan arvoon (60 sekuntia).

WMI REMOTE PING CONFIGURATION	
Target	123.123.123
Timeout (Seconds)	5
Packet Size (Bytes)	32
SENSOR DISPLAY	
Primary Channel	Ping Time (msec)
Chart Type	<input checked="" type="radio"/> Show channels independently (default) <input type="radio"/> Stack channels on top of each other
SCANNING INTERVAL	
<input type="checkbox"/> inherit from <input type="checkbox"/> Probe Device (Scanning Interval: 60 seconds)	
Scanning Interval	60 seconds

KUVIO 25. Ping-testin asettaminen (kohdeosoite muutettu)

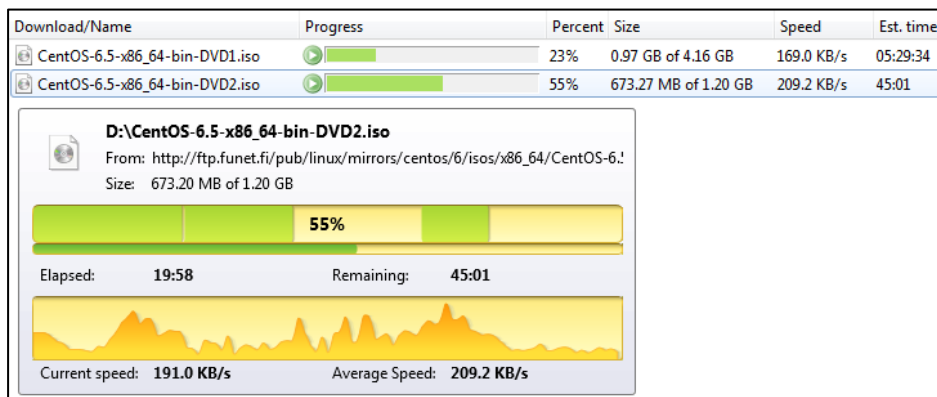
PRTG-ohjelmasta oli mahdollista tulostaa käyriä testiajojen aikana esiintyneistä latausnopeuksista ja viiveistä. Käytetyn GPS-seurantaohjelmiston avulla oltiin myös saatu tallennettua riittävän tarkasti Linkun sijainti testiajojen aikana. Näitä tuloksia vertailemalla oli mahdollista selvittää Linkun sijainti sellaisina hetkinä, kun latausnopeudessa tai viiveessä esiintyi poikkeamia (kuvio 26).



KUVIO 26. Esimerkki Linkun sijainnista tallennetusta GPS-datasta

Testauksen aikana esiintyi ongelmia, joilla saattoi olla vaikutuksia testaustuloksiin. Kannettavassa tietokoneessa esimerkiksi esiintyi muutama otteeseen häiriö, joka keskeytti mittaamisen. Toinen kohdattu ongelma liittyi tapaan, jolla verkkoliikennettä tuotettiin. Jos verkkoyhteys menetettiin hetkellisesti tai se huononi liikaa, tiedoston lataaminen web-selaimella keskeytyi. Lataaminen ei myöskään jatkunut automaattisesti verkkoyhteyden palautuessa vaan se täytyi manuaalisesti käynnistää uudelleen.

Korjauksena ongelmaan otettiin käyttöön erillinen sovellus, DownThemAll! (kuvio 27), jolla tiedostojen lataaminen suoritettiin web-selaimen oman lataustoiminnon sijaan. Tämä sovellus ei ollut niin herkkä tietoliikenteen katkoksille ja kykeni jatkamaan tiedoston lataamista ja siten tuottamaan liikennettä verkkoon automaattisesti heti kun yhteys palautui.



KUVIO 27. Kuvakaappaus verkkoliikenteen tuottamisesta

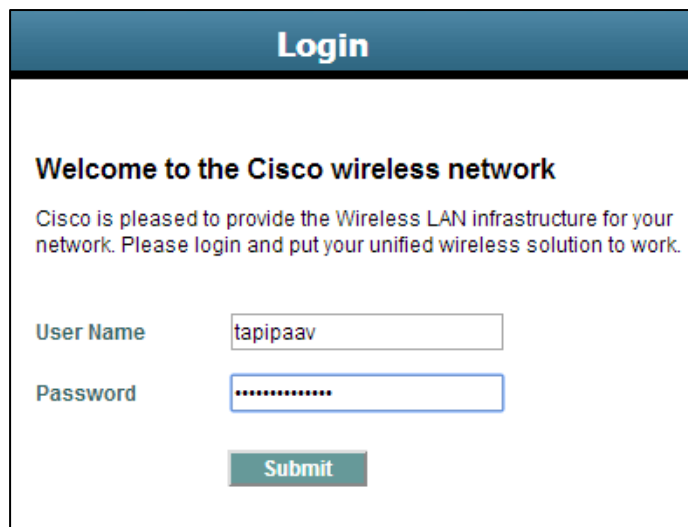
10.2 Testaustulokset

Testauksen tavoitteena oli mitata verkon suorituskykyä, jotta mahdolliset pullonkaulat Linkun reitillä pystyttäisiin ennakoimaan. Kuten laadituista raporteista ilmenee (liitteet 1-3), tämä tavoite saavutettiin: esimerkiksi Padasjoen reitillä huomattiin, että Linkun mobiiliverkkoyhteydessä esiintyi katkos ajon aikana Vääksyn kohdalla, mikä johtui todennäköisesti vesistöjen läheisyyden aiheuttamasta radiosignaalin monitie-etenemisestä. Myös mobiiliyhteyden toimivuudesta Päijät-Hämeen eri alueilla saatiin runsaasti tietoa.

Mobiiliyhteys Linkusta ulkomaailmaan toimi pääasiassa melko hyvin. Vaikka Sysmän alueella mobiiliyhteys jättikin toivomisen varaa, saavutettiin erityisesti Lahden päässä hyvä tiedonsiirtonopeus, ja yhteys toimi varsin hyvin myös Padasjoen ja Hartolan reiteillä, joilla saavutettiin liikkeelläkin 2–4 Mbit/s tiedonsiirtonopeus.

Testauksen myötä paljastui myös yllättävä ongelmakohta, joka osittain vaikutti testaustuloksiin. Linkku on yhteydessä PHKK:n runkoverkkoon siten, että tietyt aliverkot ja Linkun verkon käyttäjille näkyvät langattomat verkot tuodaan mobiiliyhteyden yli Linkkuun. Tämä ratkaisu palvelee käyttäjiä hyvin siihen asti, kunnes mobiiliyhteys heikkenee liikaa, jolloin järjestelmä ”kadottaa” nämä aliverkot ja esimerkiksi langattoman verkon käyttäjä menettää kokonaan yhteyden käyttämäänsä WLAN-verkkoon. On mahdollista, että tämä ilmiö aiheuttaa ongelmia esimerkiksi VPN-yhteyksissä.

Testaukseen ongelma vaikutti siten, että katkoksen tullessa täytyi odottaa, että mobiiliyhteys vahvistui tarpeeksi, jolloin WLAN-verkot tulivat jälleen näkyviin. Tämän jälkeen täytyi tietokone yhdistää WLAN-verkkoon uudelleen ja kirjautua organisaation käyttäjätunnuksilla verkkoon (kuvio 28), jolloin päästiin aloittamaan uudelleen liikenteen tuottaminen verkkoon. Tästä aiheutuvan viivästyksen vuoksi tiedonsiirtonopeutta kuvaavissa käyrissä on rajuja pudotuksia, jotka eivät täysin vastaa todellisuutta.



Login

Welcome to the Cisco wireless network

Cisco is pleased to provide the Wireless LAN infrastructure for your network. Please login and put your unified wireless solution to work.

User Name

Password

KUVIO 28. WLAN-verkkoon yhdistämisen vaatima kirjautuminen

11 POHDINTA

Opinnäytetyötä varten tehty verkkosuunnitelma perustui vahvasti reitittimenä toimivan laitteen tarjoamiin ominaisuuksiin, ja jotta suunnitelmaan perustuva verkko olisi voitu toteuttaa, olisi se vaatinut melko kallista investointia. Myös verkkolaitteiden testaukseen olisi mennyt melko pitkä aika. Suunnitelma ei myöskään tarjonnut mahdollisuutta yhdistää Linkkua PHKK:n verkkoon, vaan siinä Linkkuun olisi tehty oma sisäverkko, joka on yhteydessä pelkästään Internetiin. Muut mahdolliset yhteydet olisi pitänyt toteuttaa ohjelmistotasolla, esimerkiksi VPN-ohjelmistojen avulla, kuten Cisco AnyConnect.

PHKK:n tietohallinnon ratkaisun perusarkkitehtuuri ja käytettävä laitteisto on samankaltainen (reititin, kytkin, WLAN-tukiasema). Merkittävä ero tehtyyn suunnitelmaan nähden on kuitenkin sen mahdollistama koulutus konsernin aliverkkojen tuominen Linkkuun. Toisena merkittävänä erona PHKK:n ratkaisussa on WAN-yhteyden toteutus. Käytettävää WAN-yhteyttä ei ole kahdennettu, vaan ratkaisussa luotetaan yhteen maksimissaan 10Mbit/s 3G/4G-mobiiliyhteyteen. Ratkaisussa on todennäköisesti huomioitu mobiiliverkkojen kehitys: 3G-verkon peittoalue riittää hyvin kattamaan koko Päijät-Hämeen alueen, minkä lisäksi Suomessa myös rakennetaan 4G-verkkoa jatkuvasti ja erityisesti 800 MHz:n taajuusalueen käyttöönoton myötä sen peittoalue on kasvanut huomattavasti verrattuna parin vuoden takaiseen tilanteeseen.

Linkun koeajojen aikana tehdyistä verkkotesteistä kuitenkin ilmenee, että tästä huolimatta mobiiliyhteyden laatuun vaikuttaa liian monia eri tekijöitä, jotta Linkun kaltaisessa liikkuvassa palvelutilassa olisi järkevää luottaa yksittäiseen mobiiliyhteyteen. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi radiotiellä vallitsevat olosuhteet, maastonmuodot ja mahdolliset häiriöt operaattorin verkon toiminnassa. Hyvä jatkokehityksen aihe olisikin mobiiliyhteyden varmentaminen Linkussa ottamalla esimerkiksi käyttöön olemassa olevan yhteyden rinnalle 450 MHz:n taajuusalueella toimivan LTE-verkon, jota käytetään muissakin mobiiliratkaisussa Suomessa.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Granlund, K. 2007. Tietoliikenne. Peruskirjat. Jyväskylä: WSOYpro.

Karsisto, J. 2014. Liikkuvat palvelut: Maaseudun tulevaisuus? Aalto-yliopisto, Muotoilun laitos. Maisterin tutkinnon opinnäyte.

McQuerry, S. 2008. Interconnecting Cisco Network Devices, Part 1. Authorized Self-Study Guide. Indianapolis: Cisco Press.

Hakala, M. & Vainio, M. 2005. Tietoverkon rakentaminen. Peruskirja. Jyväskylä: WSOYpro: Docendo.

Stallings, W. 2007. Data and Computer Communications. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall.

Sähköiset lähteet:

3GPP. 2014. LTE [viitattu 15.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

Cisco Systems. 2014. VLAN Configuration [viitattu 18.12.2014]. Saatavissa:

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/connectedgrid/switch_module_swcg/cgr-esm-configuration/config_vlans.html

Caruso, J. 2010. Do you need a crossover cable? Network World, Inc [viitattu 17.12.2014]. Saatavissa: <http://www.networkworld.com/article/2219416/lan-wan/do-you-need-a-crossover-cable-.html>

ETSI. 2014. General Packet Radio Service, GPRS [viitattu 8.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.etsi.org/index.php/technologies-clusters/technologies/mobile/gprs>

Fluke Networks. 2014. Wire Map [viitattu 17.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.flukenetworks.com/content/wire-map>

IEEE Standards Association. 2014. The 40th Anniversary of Ethernet: History Of Ethernet [viitattu 26.1.2014]. Saatavissa:

<http://standards.ieee.org/events/ethernet/history.html>

I&I Solutions. 2009. Lähiverkon tekniikka [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa:

<http://www.esp.fi/attachments/filebank/19.pdf>

Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2006. Kerrosarkkitehtuuri.

Tietoliikennetekniikan perusteet 1 [viitattu 1.3.2014]. Saatavissa:

<http://www2.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312000/Luennot/Luento2.pdf>

Lahden ammattikorkeakoulu. 2014. Älybussi [viitattu 19.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.lamk.fi/projektit/alybussi/Sivut/default.aspx>

Lawson, S. 2010. ITU softens on the definition of 4G mobile. Network World, Inc [viitattu 15.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.networkworld.com/article/2197135/wireless/itu-softens-on-the-definition-of-4g-mobile.html>

Linkku - liikkuva tila. 2014. Info [viitattu 21.12.2014]. Saatavissa:

<http://liikkuvatila.fi/>

Pitkänen, M. 2014. DNA testaa huippunopeaa 4G:tä Helsingissä – Virossa sitä rakennetaan jo täyttä päätä. AfterDawn Oy [viitattu 15.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.puhelinvertailu.com/uutiset/2014/11/03/dna-300-mbps-4g-lte-a-verkko-suomi>

Puumalainen, J., Ojaniemi, A. & Valtonen, M. 2009. Laajakaistatekniikoiden kehitys 2009–2015. Liikenne- ja viestintäministeriö [viitattu 16.12.2014].

Saatavissa: http://www.lvm.fi/docs/fi/339549_DLFE-9557.pdf

Tyson, J. 2014. How LAN Switches Work. How Stuff Works [viitattu 8.10.2014].

Saatavissa: [http:// http://computer.howstuffworks.com/lan-switch.htm](http://computer.howstuffworks.com/lan-switch.htm)

Ukkoverkot Oy. 2014. Koko Suomen kattava 4G LTE -verkko on avattu [viitattu

16.12.2014]. Saatavissa: <http://www.ukkoverkot.fi/tiedotteet/>

Viestintävirasto. 2014. Radiolupapäätökset [viitattu 15.12.2014]. Saatavissa:
<http://www.viestintavirasto.fi/ohjausjavalvonta/lupapaatokset/radiolupapaatokset.html>

Wannstrom, J. 2013. LTE-Advanced. 3GPP [viitattu 15.12.2014]. Saatavissa:
<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

Wannstrom, J. 2014. HSPA. 3GPP [viitattu 15.12.2014]. Saatavissa:
<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>

Wikimedia Commons. 2010. File: GSM Network Architecture [viitattu 7.12.2014]. Saatavissa:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gsm_network_architecture.png

Wikipedia. 2014a. @450 [viitattu 13.12.2014]. Saatavissa:
<https://fi.wikipedia.org/wiki/@450>

Wikipedia. 2014b. 3GPP [viitattu 13.12.2014]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>

Wikipedia. 2014c. Ethernet Frame [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_frame

Wikipedia. 2014d. IEEE_802.11 [viitattu 10.11.2014]. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

Wikipedia. 2014e. IEEE 802.3 [viitattu 5.3.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3

Wikipedia. 2014f. Internet protocol suite [viitattu 15.10.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite

Wikipedia. 2014g. Multihoming [viitattu 19.12.2014]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Multihoming>

Wikipedia. 2014h. UMTS [viitattu 12.12.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System

Wikipedia. 2014i. Twisted pair [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa:

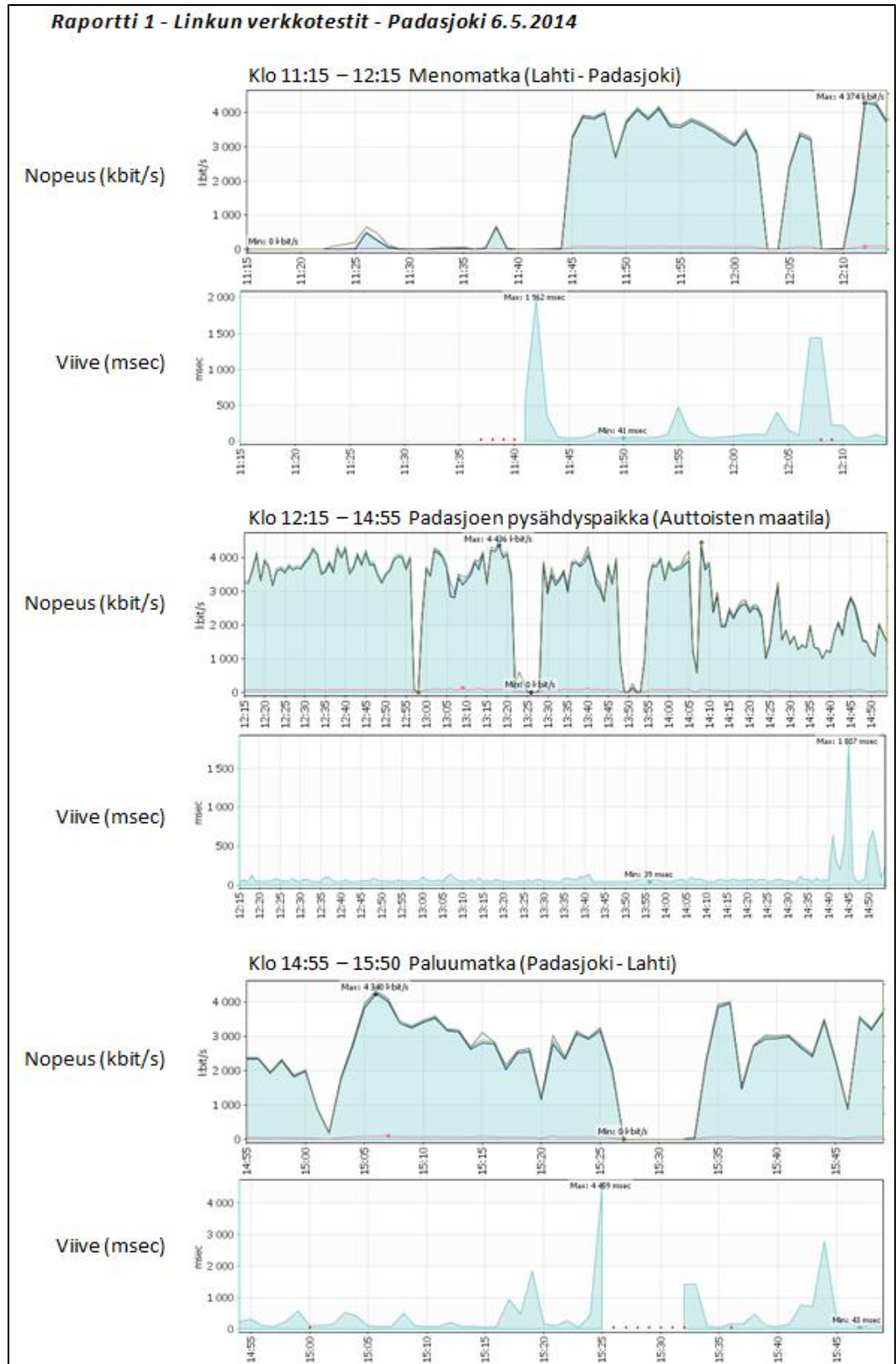
http://en.wikipedia.org/wiki/Twisted_pair

Wireshark. 2011. Ethernet (IEEE 802.3) [viitattu 31.3.2014]. Saatavissa:

<http://wiki.wireshark.org/Ethernet>

LIITTEET

LIITE 1. RAPORTTI PADASJOEN VERKKOTESTISTÄ



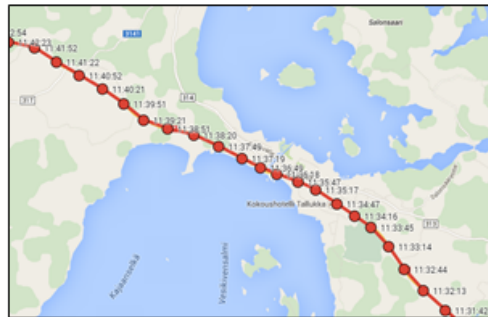
LIITE 1 (JATKUU)

Tiedonsiirtonopeus säilyi melko hyvänä sekä liikkeessä meno- ja paluumatkoilla että pysähdyksissä Padasjoen pysähdyspaikalla. Myös viive pysyi melko alhaisena. Korkein testauksen aikana saavutettu tiedonsiirtonopeus oli 4436 kbit/s ja alhaisin viive 39 millisekuntia. Testaus päästiin aloittamaan menomatalla klo 11:35.

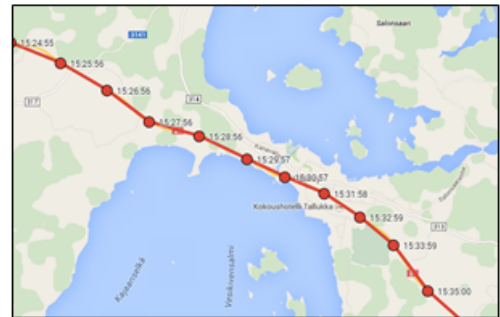
Liikenteen tuottamiseksi verkkoon ladattiin web-selaimella suurikokoista tiedostoa Internetistä. Pienetkin häiriöt verkon toiminnassa katkaisivat ajoittain tämän latauksen, mikä näkyy pudotuksina nopeutta esittävässä graafeissa, vaikka todellisuudessa katkosta tietoliikenteessä ei tullut tai se oli hyvin lyhyt.

Tekemällä vertailua nopeus- ja viivekäyrien välillä voimme kuitenkin havaita mitkä näistä kuopista johtuvat todellisesta katkoksesta tietoliikenteessä. Tällaisissa tapauksissa viive ei pysy alhaisena vaan loikkaa suuriin lukemiin, kunnes yhteys katkeaa kokonaan (vastausta vaille jääneiden ping-kutsujen merkinä graafeissa näkyvät punaiset pisteet).

Merkittävimmät tietoliikenteen häiriöt koettiin menomatalla n. klo 11:35 ja paluumatalla n. klo 15:25, jolloin tietoliikenteessä oli useita minutteja kestänyt katkos. Vertaamalla käyrien ajankohtaa GPS-paikannuksen avulla hankittuihin Linkun sijaintitietoihin havaitaan, että sekä meno- että paluumatalla katkokset tapahtuivat Vääksyn kohdalla. Järvien läheisyydestä johtuen syy on todennäköisesti radiosignaalin monitie-etenemisessä minkä aiheuttaa tässä tapauksessa signaalin heijastuminen vedestä.



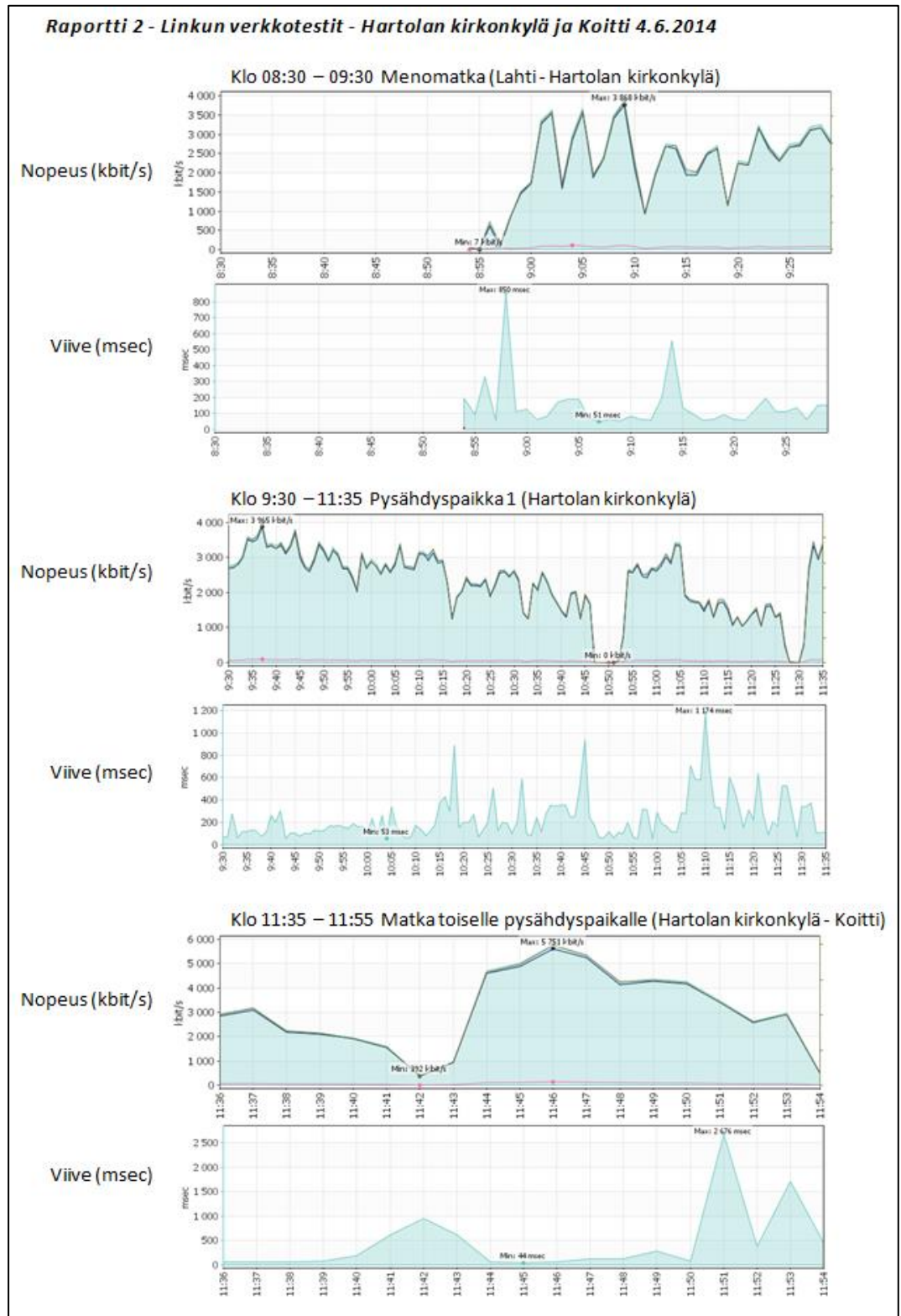
KUVA 1. Menomatka.



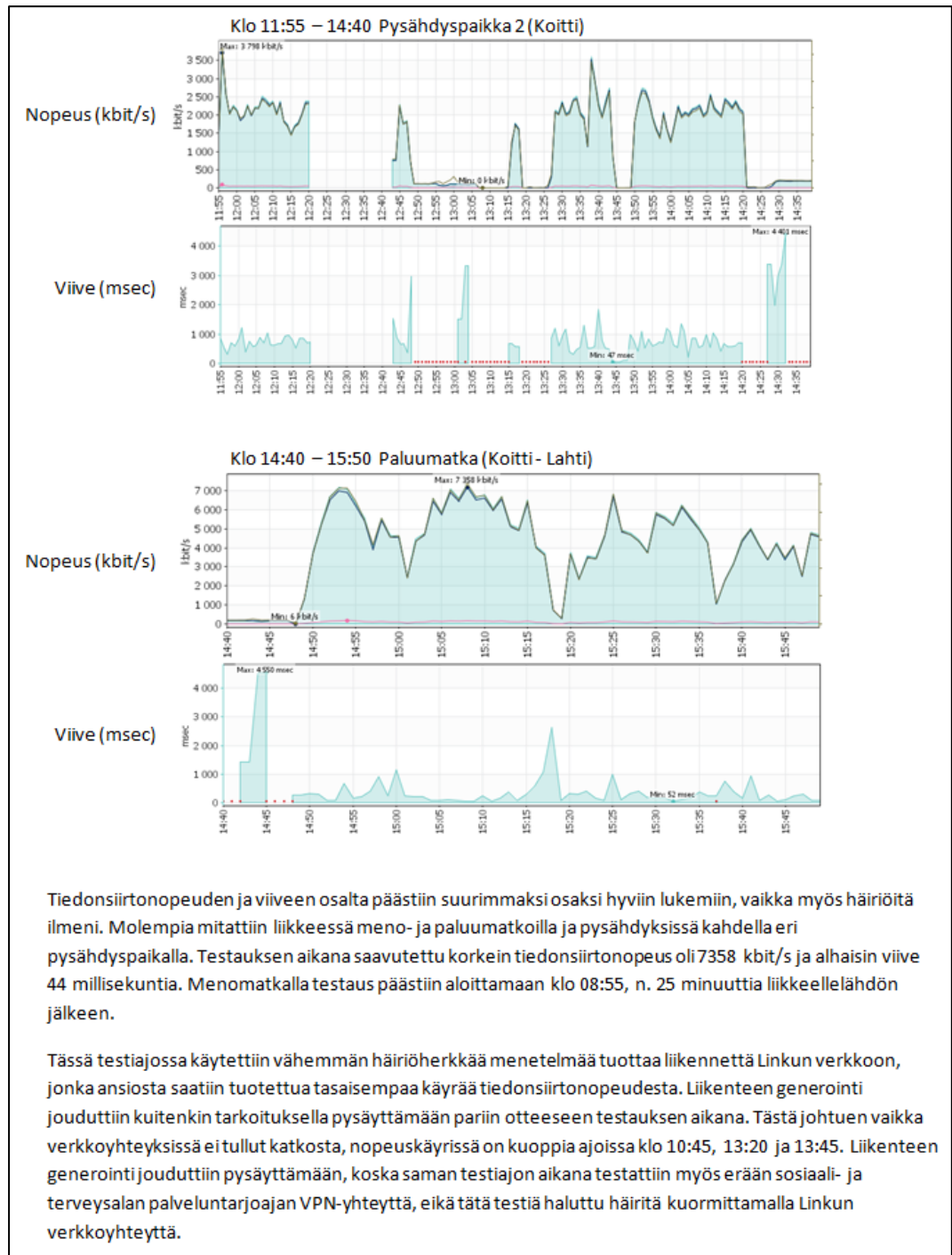
KUVA 2. Paluumatka.

On huomioitava, että johtuen mainituista testauksen vaikuttaneista tekijöistä sekä mittausmenetelmästä itsessään, näihin mittauksituloksiin tulee suhtautua lähinnä suuntaa-antavina.

LIITE 2. RAPORTTI HARTOLAN JA KOITTIN VERKKOTESTEISTÄ



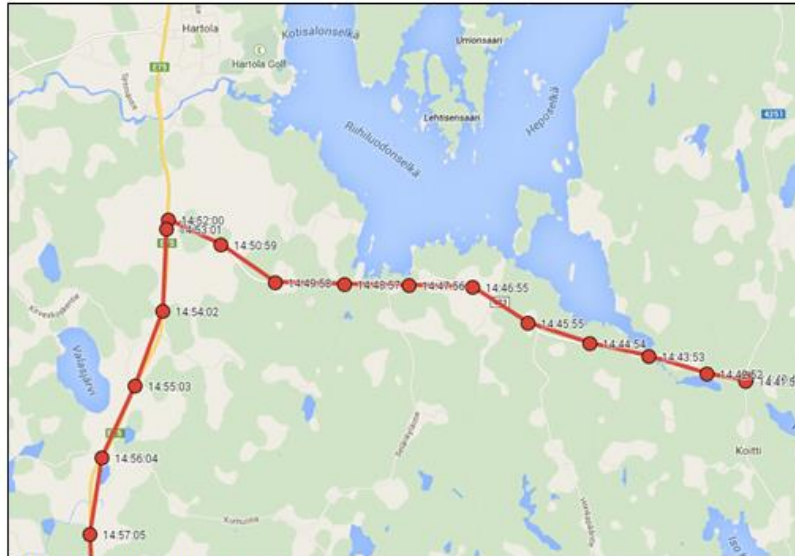
LIITE 2 (JATKUU)



LIITE 2 (JATKU)

Verkkoyhteyden suorituskyvyn huonontumista ja katkoksia kohdattiin Koitin pysähdyspaikalla klo 12:50, jolloin verkon suorituskyky laski huonoihin lukemiin. Koko verkko päätettiin ajaa klo 13:00 alas ja käynnistää muutaman minuutin kuluttua uudelleen, jolloin yhteydet lähtivät toimimaan normaalisti.

Katkoksia ilmeni myös uudelleen Koitin pysähdyspaikalla 14:20 jälkeen sekä sieltä lähdettäessä liikkeelle Lahtea kohti klo 14:40 (sijaintina koko ajan Koitintie, kuvassa alla). Syyksi voitaneen epäillä joko katvealuetta mobiiliyhteyden palveluntarjoajan verkossa tai vesistöjen läheisyydestä johtuvaa radioaaltojen monitie-etenemistä.

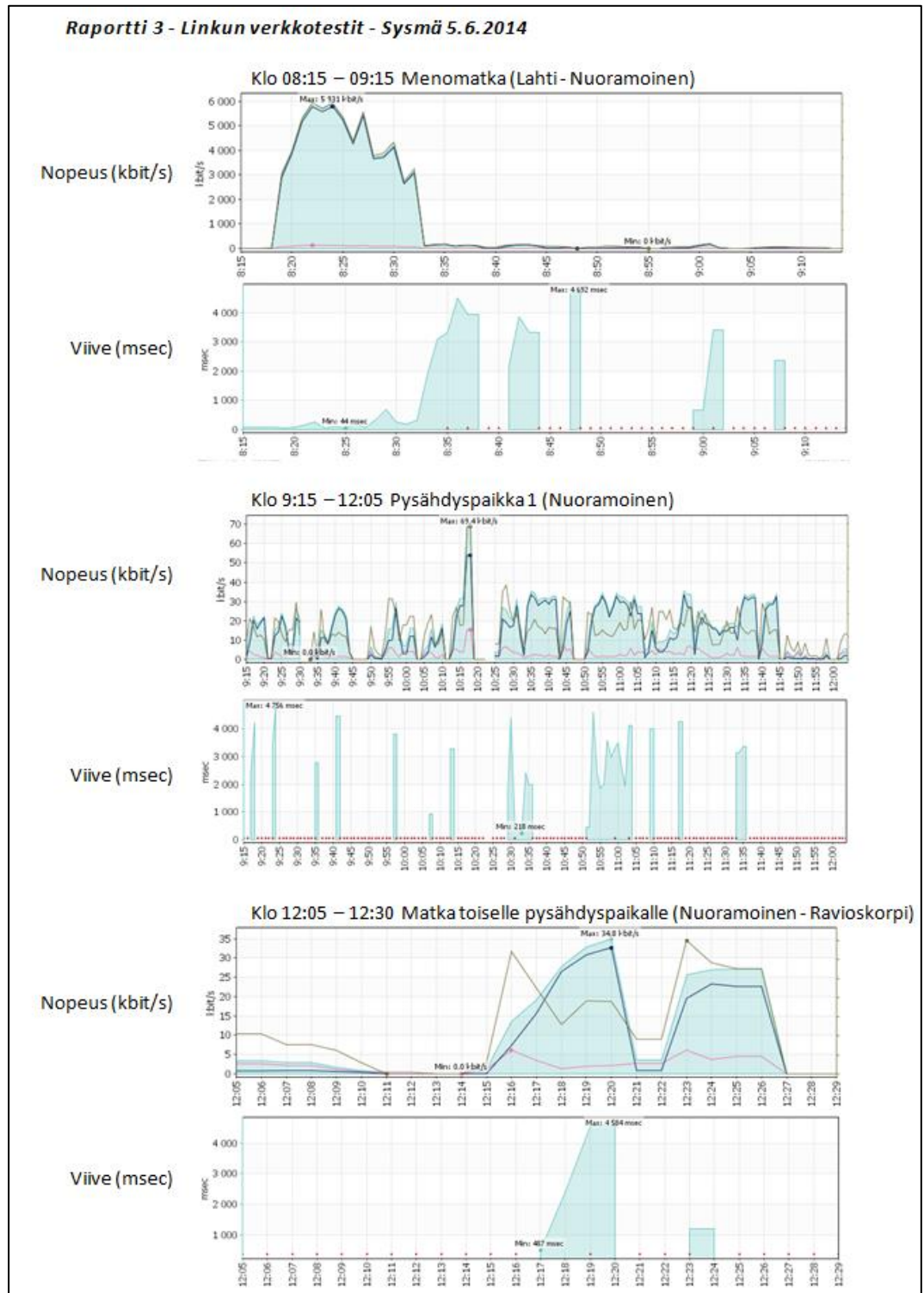


KUVA 1. Paluumatka Koitista kohti Lahtea.

Muuta huomioitavaa:

- Mittaustuloksia ei ole ajalta klo 12:20 – 12:42 johtuen testauksessa käytettyyn tietokoneeseen tulleet häiriöt.
- Johtuen teknisistä ongelmista ja muista mainituista testaukseen vaikuttaneista tekijöistä sekä mittausmenetelmästä itsessään, näihin mittaus tuloksiin tulee suhtautua lähinnä suuntaa-antavina.

LIITE 3. RAPORTTI SYSMÄN VERKKOTESTISTÄ



LIITE 3 (JATKUU)

