

Hannu-Pekka Poikonen

# Aalto-yliopiston tutkimusverkon tarpeet ja ratkaisut

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 1.3.2010.

Työn valvoja: Professori Raimo Kantola

Työn ohjaaja: Juhani Markula, DI



**Aalto-yliopisto**  
Teknillinen korkeakoulu

Tekijä:	Hannu-Pekka Poikonen		
Työn nimi:	Aalto-yliopiston tutkimusverkon vaatimukset ja ratkaisut		
Päivämäärä:	1.3.2010	Kieli: suomi	Sivumäärä: 101
Tiedekunta:	Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta		
Professori:	Tietoverkkotekniikka	Koodi: S-38	
Työn valvoja:	Professori Raimo Kantola		
Työn ohjaaja:	Juhani Markula, DI		
<p>Tämä diplomityö on tehty HSE:n, TaiKin ja TKK:n IT-palvelukeskukselle pohjaksi tutkimuskäyttöön tarkoitettun tietoverkon perustamista varten yliopistojen yhdistyttyä Aalto-yliopistoksi. Taustatietoa ja tutkimusverkkoihin liittyviä hyviä käytäntöjä kerättiin alan asiantuntijoiden haastatteluilla ja WWW-kyselyllä. Lisäksi kerättiin tietoja Aalto-yliopiston muodostavien yliopistojen nykyisistä verkkoratkaisuista. Näiden tietojen pohjalta muodostetaan ehdotukset tutkimusverkon toteutuksen ratkaisuksi vaatimustenhallinan menetelmiä käyttäen.</p> <p>Työssä selvitetään aluksi tutkimusverkon käsitettä ja käyttötapoja. Taustaa ja esimerkkejä tarkastellaan yliopistojen ja tutkimusverkko-organisaatioiden kokemusten pohjalta kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Esimerkkeinä käsitellään erilaisia käytössä olevia tutkimuksen verkkoympäristöjä.</p> <p>Seuraavaksi käydään läpi tutkijoiden tarvitsemia palveluita ja tekniikoita, joiden varaan tutkimusverkko voidaan rakentaa. Samalla kuvataan Aalto-yliopiston verkon nykytilaa. Lyhyessä katsauksessa tarkastellaan tekniikoita ja ratkaisuja, joita voidaan odottaa toteutettavan verkkoympäristöissä lähitulevaisuudessa. Aalto-yliopiston IT-toimintojen hallinnolliset järjestelyt ja verkon suhde niihin kuvataan omassa kappaleessaan. Lopuksi kuvataan ratkaisut, joihin on päädytty kerättyjen tietojen ja vaatimusten pohjalta.</p>			
Avainsanat: Tutkimusverkko, Aalto-yliopisto, tietoverkko			

Author:	Hannu-Pekka Poikonen		
Name of the Thesis:	Requirements and Solutions for a Research Network in Aalto University		
Date:	March 1, 2010	Language: Finnish	Number of Pages: 101
Faculty:	Faculty of Electronics, Communications and Automation		
Professorship:	Networking Technology	Code: S-38	
Supervisor:	Professor Raimo Kantola		
Instructor:	Juhani Markula, DI		
<p>This master's thesis is the basis for the implementation of a data network for research purposes. The work was made for HSE, TaiK and TKK before their merger to form Aalto University. Background information and good practices related to research networks were collected by interviewing experts of the field and by a WWW questionnaire. Information about the current state of the three universities' networks was also collected. A set of solutions is suggested based on the gathered information.</p> <p>The concept of research networking and ways of using research networks are described. The subject and some examples are discussed on national and international levels. The examples consist of research network environments currently used by various research organizations.</p> <p>Services and techniques necessary for implementing a research network are also discussed together with the current networks in the Aalto University campuses and some future network technologies. Furthermore, Aalto University's IT governance is described. Finally, a set of solutions is suggested based on the background information and requirements.</p>			
Keywords: Research Network, Aalto University, Data Network			

## Alkulause

Tämä diplomityö on tehty HSE:n, TaiKin ja TKK:n IT-palvelukeskukselle pohjaksi tutkimuskäyttöön tarkoitetun tietoverkon perustamiselle yliopistojen yhdistyttyä Aalto-yliopistoksi.

Haluan kiittää työn valvojaa, Raimo Kantolaa työn aikana saamastani metodisesta ohjauksesta ja työn rakenteeseen liittyvästä palautteesta. Haluan kiittää myös työn ohjaajaa, Juhani Markulaa. Lisäksi tahdon kiittää henkilöitä, jotka jakoivat tietoa ja näkemyksiä työhön liittyvistä aiheista, sekä Siiri Sipilää avusta käytännön asioissa.

Haluan esittää kiitokseni opiskelukumppaneilleni, joiden kanssa olen tehnyt yhteistyötä opintojeni aikana, sekä erityisesti perheelleni korvaamattomasta henkisestä tuesta.

Helsingissä 1.3.2010

Hannu-Pekka Poikonen

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	1
Abstract	2
Alkulause	3
Sisällysluettelo	4
Symbolit ja lyhenteet	10
1 Johdanto	12
1.1 Metodit	12
1.1.1 Haastattelut	13
1.1.2 WWW-kysely	13
2 Mikä on tutkimusverkko?	15
2.1 Tutkimusverkkojen käyttäjät	15
2.1.1 Laskennallinen tiede ja eScience	17
2.1.2 Ohjelmistojen tutkimus	17
2.1.3 Verkkotutkimus	18
2.1.4 Mediatutkimus	19
2.1.5 Muut tutkimusalat	19
2.2 Useita organisaatioita yhdistävät tutkimusverkot	19
2.2.1 Pohjoismainen tutkimusverkkoyhteistyö ja NORDUnet	20
2.3 Eurooppalainen tutkimusverkkoyhteistyö	21
2.4 Tutkimusverkon ylläpito ja kehitys	21
2.5 Kansalliset tutkimusverkot ja palvelut: Funet	21
2.5.1 Funet-runkoverkko ja Funet-palvelut	22

2.5.2	Funetin rooli tutkimuksen palveluiden kannalta	23
2.6	Aalto-yliopiston nykyiset tutkimusverkot	23
2.6.1	Otaniemen kampus (TKK)	23
2.6.2	Töölön kampus (HSE)	24
2.6.3	Arabianrannan kampus (TaiK)	24
2.7	Aalto-yliopisto ja Funet	25
2.8	EARNEST Foresight Study	26
2.8.1	Selvityksen aiheet	27
2.8.2	Suosituksien kampuksille	27
2.8.3	Tutkijoiden vaatimukset	28
3	Tutkimusverkkoja ja niiden käyttötapa	30
3.1	Dataintensiivinen tutkimussovellus: radioastronomia	30
3.1.1	Tietoverkot ja e-VLBI	30
3.1.2	Metsähovin radiotutkimusasema	31
3.2	Tapausesimerkki: fyysikoiden verkot	31
3.2.1	Kirjavien laitteistojen asettamat haasteet	31
3.2.2	Vanhat tekniikat	32
3.2.3	Työasemien virtualisointi ja thin client –ratkaisut	32
3.2.4	Grid-laskenta	33
3.2.5	M-grid	33
3.2.6	Työasemien käyttö hajautetussa laskennassa	34
3.3	Verkkotutkimuksen tarpeet	35
3.3.1	Laboratorioverkot	35
3.3.2	Paikallinen tutkimusverkko	35

3.4	Ohjelmistotutkimusta: P2PFusion	36
3.5	WWW-kyselyn tulokset	36
3.6	Tapausesimerkki: TUT Research Network	38
4	Tutkimuksen verkkosovelluksia	40
4.1	Aineiston varastointi ja tallennuspalvelut	40
4.1.1	Tallennusverkot	41
4.1.2	Tallennuspalvelun kustannukset	42
4.2	Teknisiä palveluita	43
4.2.1	DNS	43
4.2.2	Sähköposti	43
4.2.3	Tunnistuspalvelu	43
4.2.4	WWW- ja Wiki-palvelut, jne.	43
4.2.5	Streaming media-palvelin	44
4.2.6	Tekstiviestiyhdyskäytävä, ääniyhdyskäytävä matkapuhelinverkkoon	44
4.2.7	Tuotettujen palveluiden siirtäminen testikäytöstä tuotantokäyttöön	44
4.3	Kirjastopalvelut	44
4.3.1	Sähköiset palvelut ja aineistot	45
4.4	Julkinen WWW-palvelu erityissovelluksella	45
4.5	Yleiskäyttöiset palvelimet ja virtuaalipalvelimet	46
4.5.1	Virtuaalikoneiden kustannukset	46
5	Verkkoympäristön tekniikat	48
5.1	Verkon infrastruktuuri	48
5.2	Langattomat verkot	48
5.2.1	Langattomuuteen liittyviä haasteita	49

5.2.2	Aalto-yliopiston langattomat verkot	49
5.3	Klusterit ja gridit	50
5.3.1	Pilvilaskenta	51
5.3.2	Esimerkkitapaus: Folding@home	51
5.3.3	Tutkimuksen grid-yhteistyöhankkeet	52
5.4	Virtuaaliorganisaatiot	52
5.5	Virtuaaliverkot	53
5.5.1	Virtuaaliverkot tutkimusalustoina	53
5.6	Kolmansien osapuolten tarjoamat verkkopalvelut	54
5.6.1	Maksuttomat verkkopalvelut	54
5.6.2	Maksuttomaan sähköpostiin liittyviä kysymyksiä	55
5.7	Fyysinen eristys	56
5.8	Virtuaalilähiverkot (VLAN)	56
5.8.1	Dynaamiset VLAN-verkot ja 802.1X	56
5.9	Reititysjärjestelyt	57
5.10	Etätoimipaikat	58
5.11	Palomuurit ja reititinten pääsyylistat	59
5.12	Multicast	60
5.13	Verkon suorituskyky ja PERT	60
6	Tulevaisuuden näkymiä	61
6.1	Verkkojen siirtonopeuden kehitys	61
6.1.1	Linkkien yhdistäminen	61
6.1.2	WDM-tekniikat	62
6.2	Identiteetin hallinnan nykyhetki ja tulevaisuus	63



6.2.1	Eduroam	64
6.3	Palvelun laatu (Quality of Service)	65
6.3.1	Puheluiden välitys	65
6.4	IPv6-verkot	66
6.4.1	Vaihtoehdot IPv6:lle	66
7	Hallinnolliset järjestelyt	68
7.1	IT:n organisointi	68
7.1.1	Tietohallinnon rooli	68
7.1.2	IT-palvelukeskuksen rooli	69
7.1.3	Työasemapolitiikka	69
7.2	ITIL	69
7.2.1	ITIL ja tutkimusverkot	70
7.3	Kehitysprosessi	70
7.3.1	Co-creation ja tutkimus	71
7.3.2	Co-creation: asiakkaan ja palveluntuottajan roolit ja toimintatavat	71
7.3.3	Tutkimusyhteisön asiantuntemuksen hyödyntäminen	72
7.4	Tutkimuksen vaatimukset IT:lle (RSNRI-raportti)	73
7.5	Talous	74
8	Ratkaisut	76
8.1	Turvallisuus	76
8.2	Ethernet-verkko	77
8.3	Langaton verkko	78
8.4	Tutkimusverkon eristäminen muusta kampusverkosta	78
8.5	Reititys	79

8.5.1	Virtuaalilähiverkkojen välinen liikenne	79
8.5.2	Yhteydet Internetiin ja Funetiin	80
8.5.3	IP-osoitteet	81
8.6	Tutkimusverkkoon liittyminen ja liikkuvuus kampuksilla	81
8.7	Palveluiden tuottaminen tutkimusverkkoon	82
8.7.1	Tukipalvelut	83
8.8	Käyttöoikeudet	84
8.8.1	Virtuaaliorganisaatio	84
8.8.2	Asiantuntijaryhmä	85
8.9	Riippumattomuus	85
8.10	Tutkimusverkon ylläpito	86
8.11	Verkon ja toiminnan kehittäminen	86
8.12	Dokumentaatio ja palvelukuvaukset	87
8.13	Tiedottaminen	87
9	Yhteenveto	89
10	Viitteet	90
	Liite 1: WWW-kyselyn materiaali	96
	Liite 2: Ratkaisut taulukkomuodossa	99
	Liite 3: Tarpeet, hyvät käytännöt ja kehitysideoita suhteessa ratkaisuehdotuksiin	100

## Symbolit ja lyhenteet

**BGP** (Border Gateway Protocol): Internetin reititysprotokolla

**DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol): Protokolla, jolla automatisoidaan laitteen verkkoasetuksia

**DNS** (Domain Name System): Internetin nimipalvelu

**CWDM** (Coarse Wavelength Division Multiplexing): WDM-tekniikka, jota käytetään mm. DWDM-runkoyhteyksien liityntäyhteyksinä. Voidaan toteuttaa käyttäen passiivista optiikkaa.

**CSC** (CSC – Tieteen tietotekniikan keskus): Yritys, joka mm. hallinnoi Funet-verkkoa

**DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexing): WDM-tekniikka, jota käytetään mm. runkoyhteyksillä. Edellyttää aktiivisten optiikkalaitteiden käyttöä.

**Funet** (Finnish University and Research Network): Suomen kansallinen tutkimusverkko

**HIP** (Helsinki Institute of Physics): Helsingin yliopiston, Jyväskylän yliopiston, Teknillisen korkeakoulun, Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston yhteinen fysiikan tutkimuslaitos

**HSE** (Helsinki School of Economy): Helsingin kauppakorkeakoulu

**IEEE-SA** (Institute of Electrical and Electronics Engineers): Teollisuuden standardeja kehittävä elin

**ITIL** (Information Technology Infrastructure Library): Kokoelma parhaita käytäntöjä IT-palveluiden toteuttamiseksi

**MAC-osoite** (Media Access Control address): L2-tason verkko-osoite

**NAT** (Network Address Translation): Verkko-osoitteen muunnostekniikka

**NORDUnet** (Nordic Infrastructure for Research and Education): Pohjoismaiden kansallisten tutkimusverkko-organisaatioiden yhteistyöorganisaatio

**OSI** (Open Systems Interconnect): ISO:n standardoima kerrosmalli yhteyskäytäntöjen luomista varten

**PERT** (Performance Enhancement Response Team): Ryhmä, joka valvoo ja kehittää verkon suorituskykyä

**QoS** (Quality of Service): Palvelun laatu

**RAID** (Redundant Array of Independent Disks): Tekniikka, jossa käytetään useita fyysisiä kiintotalennusjä tallennusjärjestelmän nopeuden ja/tai vikasietoisuuden kasvattamiseksi

**TaiK** (Taideteollinen korkeakoulu)

**TERENA** (Trans-European Research and Education Networking Association): Euroopan kansallisten tutkimusverkko-organisaatioiden kattojärjestö

**TKK** (Teknillinen korkeakoulu)

**TCP/IP** (Transmission Control Protocol / Internet Protocol): Joukko yhteyskäytäntöjä, joiden varaan Internetin pakettivälitys perustuu

**UDP** (User Datagram Protocol): Yhteydetön tiedonsiirtoprotokolla

**VLAN** (Virtual Local Area Network): Virtuaalilähiverkko

**VLBI** (Very Large Baseline Interferometry): Radioastronomian ala, tutkii pitkien aallonpituuksien säteilyä

**VPN** (Virtual Private Network): Tekniikka, jolla kokonainen verkko tai toinen verkko voidaan yhdistää organisaation verkkoon.

**WDM** (Wavelength Division Multiplexing): Aallonpituuteen perustuva kanavointi

**WLAN** (Wireless Local Area Network): Langaton lähiverkko

**802.1X**: S tandardi kytkinten porttikohtaiselle pääsynhallinnalle

## 1 Johdanto

Helsingin Kauppakorkeakoulu, Taideteollinen korkeakoulu ja Teknillinen korkeakoulu muodostavat Aalto-yliopiston vuoden 2010 alusta alkaen. Tässä tekstissä Aalto-yliopistolla viitataan tulevaan yliopistoon. Yhdistymisprosessiin liittyy integraatiohaasteita, joista yksi on korkeakoulujen tietoverkkojen yhdistäminen toimivaksi kokonaisuudeksi. TKK, TaiK ja HSE ovat kukin tahoillaan kehittäneet omanlaisiaan käytäntöjä tutkijoiden työn tukemiseksi. Tietoliikenteen osalta nämä käytännöt ovat erityisen kirjavia, eikä niitä ole aktiivisesti kehitetty yhteistyössä tutkimusyhteisön kanssa.

Tämän työn tavoitteena on selvittää Aalto-yliopiston monialaisen tutkimusyhteisön tarpeita ja hahmotella ratkaisuja, joiden avulla tutkijoiden työkaluja voidaan parantaa tietoverkkojen näkökulmasta. Tätä varten kerätään yhteen tiedot kolmen korkeakoulujen nykyisistä tutkimuksen verkkoratkaisuista. Lisäksi taustatyönä selvitetään muissa korkeakouluissa ja tutkimusyksiköissä tunnistettuja hyviä käytäntöjä tutkimuksen verkkopalveluiden toteutuksessa. Tietoa kerätään sekä kansallisella, että kansainvälisellä tasolla.

Tutkimusverkkojen taustoja selvitetään Aalto-yliopiston tasolla, kansallisella tasolla ja kansainvälisellä tasolla. Ratkaisun suunnittelussa käytetään vaatimustenhallinnan (requirements engineering) menetelmiä, joiden kautta muodostetaan ehdotus Aalto-yliopiston tutkimusverkon toteutustavaksi. Ehdotuksessa käsitellään sekä verkon teknistä toteutusta, että verkon käyttöön ja kehitykseen liittyvää toimintaa.

### 1.1 Metodit

Tutkimusverkkojen käsitteen, taustojen ja käytännön ymmärtämiseksi tutustuin erilaisiin tutkimustyössä käytettäviin menetelmiin, tekniikoihin ja verkkoympäristöihin kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Nykytilan selvittämiseksi tarkastellaan nykyistä verkkoympäristöä ja arvioidaan lisätoimintojen tarvetta. Oppia otetaan myös muissa yliopistoissa käytössä olevista tutkimusverkoista. Eräänä tärkeänä lähteenä on käytetty EARNEST Foresight Study-selvityksen [1] raportteja. Muita keskeisiä lähteitä ovat Aalto-yliopiston politiikat, selvitysten raportit ja erilaiset tekniset asiakirjat.

Tässä diplomityössä kuvattavan tutkimusverkon suunnittelun perustana ovat vaatimustenhallinnan menetelmät [2]. Näistä keskeisimpiä ovat haastatteluihin ja WWW-

kyselyyn perustuva menetelmä tutkimusverkon vaatimusten keräämiseksi. Näiden vaatimusten ja muista mainituista lähteistä kerättyjen ideoiden pohjalta on muodostettu tarpeiden rakenne ja skenaario, jonka perusteella on muodostettu joukko ratkaisuehdotuksia.

Diplomityössä erotetaan toisistaan ongelmakenttä ("mitä") ja ratkaisukenttä ("miten"). Ongelmakenttään kuuluu Aalto-yliopiston tutkimusverkkojen nykytilanteen esittely, asianomaisten tahojen esittämät tarpeet ja tunnistetut hyvät käytännöt. Ratkaisukenttä käsittää arkkitehtuurilliset ratkaisuehdotukset, jotka käsitellään kappaleessa 8. Selvitystyössä käytettyjä menetelmiä on esitelty kuvassa 1.

Mainittujen menetelmien lisäksi taustatietona käytettiin TaiKin aiempaa tietoliikennesuunnittelua varten kerättyä materiaalia. Tutkijoiden verkkoon liittyvistä tarpeista kerättiin tietoa vuodesta 2007 alkaen keskustelemalla tutkijoiden ja tutkimusyksiköiden henkilökunnan kanssa. TaiKin Medialaboratorion tutkijat toimittivat tietoja omista tarpeistaan sähköpostitse.

### 1.1.1 Haastattelut

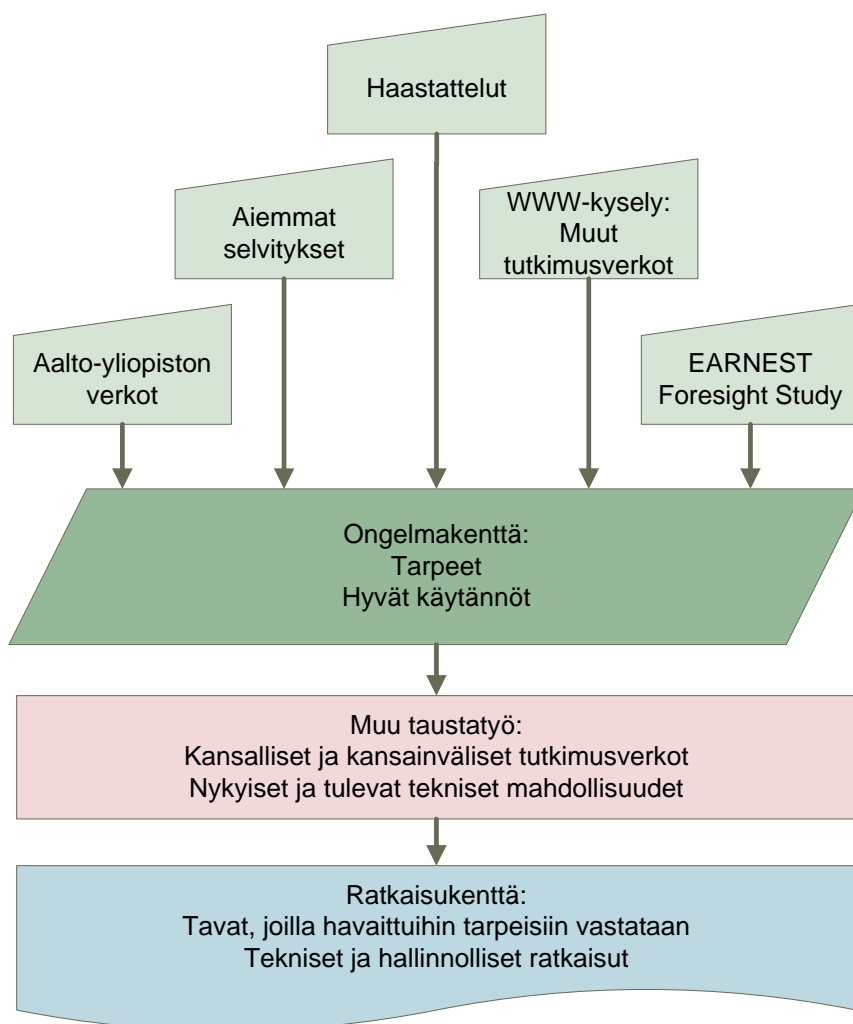
Aineistoa kerättiin haastattelemalla tutkimusverkkojen kanssa läheisesti tekemisissä olevia henkilöitä, sekä yliopiston tietohallinnonjohtajaa. Haastateltavat valittiin verkkoihin ja tutkimustyöhön sekä toisaalta hallintoon liittyvän asiantuntemuksen perusteella. Haastatteluiden perusteella kerättiin kvalitatiivista aineistoa erilaisten tutkimusympäristöjen piirteistä. Tämän tiedon pohjalta pyrittiin muodostamaan yleiskäsitys erilaisten tutkimusprojektien tarpeista. Myös Funetin palveluista haettiin tietoa haastattelujen avulla. Tiedon keräämiseksi tehtiin viisi varsinaista haastattelua ja käytiin useita lyhyempiä keskusteluja eri henkilöiden kanssa. Haastatellut henkilöt mainitaan lähdeluettelossa.

### 1.1.2 WWW-kysely

Muiden yliopistojen tutkimusverkoista kerättiin tietoa WWW-kyselyllä. Kysely toteutettiin englannin kielellä, jotta se soveltuisi myös ulkomaisten toimijoiden täytettäväksi. Vastaajia etsittiin tiedottamalla asiasta TERENA Networking Conference 2009 ja NORDUnet Conference 2009 –tapahtumien osallistujille. Tätä varten tulostettiin A6-kokoisia lentolehtisiä, joissa kuvailtiin lyhyesti kyselyn tarkoitusta ja kerrottiin osoite, jossa kyselyyn voi vastata. Lisäksi TERENA Networking Conferencen osallistujalistasta valittiin henkilöt, joiden kotiorganisaatioksi

oli merkitty yliopisto ja joiden yhteystiedot olivat löydettävissä Internetissä. Heitä pyydettiin sähköpostitse vastaamaan kyselyyn.

WWW-kyselyn kysymykset olivat muodoltaan sellaisia, että saadut vastaukset ovat kvalitatiivisia. Tämä ratkaisu perustuu selvityksen luonteeseen – tarkoituksena oli etsiä uusia ideoita ja hyväksi havaittuja käytäntöjä rajoittamatta vastaajien mahdollisuutta esittää näkemyksiään aiheesta. Kyselyn ohessa ollut esittely ja varsinaiset kysymykset on esitelty liitteessä 1. Kyselyn tulokset esitellään kappaleessa 3.5. Kysely toteutettiin erityisesti tätä tarkoitusta varten itse suunnitellulla ja toteutetulla WWW-sivustolla ja tietokannalla.



Kuva 1. Ongelmakenttä ja ratkaisukenttä

## 2 Mikä on tutkimusverkko?

Tutkimusverkolla tarkoitetaan tietoverkkoa, jota hyödynnetään erityisesti tutkimuskäytössä. Se voi toimia tutkimuksen työvälineenä tai varsinaisena tutkimuskohteena. Oleellista on, että verkon suunnittelussa ja kehityksessä huomioidaan tutkimuskäytön asettamat erityistarpeet. Kyseessä voi olla organisaation sisäinen ympäristö, mutta se voi myös yhdistää erilaisia organisaatioita ja verkkoinfrastruktuureja. Tässä työssä tarkastellaan Aalto-yliopiston tutkimusverkkoympäristöä. Se rajoittuu yhden organisaation sisälle siinä mielessä, että Aalto-yliopisto aloittaa toimintansa 1.1.2010. Toisaalta kyseessä on kolmen organisaation ympäristö, sillä Otaniemen, Töölön ja Arabianrannan kampuksilla on ennestään omat verkkojärjestelynsä, joiden varaan uusia järjestelmiä rakennetaan.

Nimitystä tutkimusverkko tai tutkimusverkosto voidaan käyttää myös sosiaalisesta verkostosta, joka yhdistää tutkimusyhteisön jäseniä. Erityisesti englanninkielinen ilmaus research network viittaa usein ihmisten yhteistyöverkoston. Tässä tekstissä tutkimusverkolla tarkoitetaan kuitenkin teknistä tietoverkkoa.

Tutkimusverkon vastinparina käytetään tässä työssä ilmausta tuotantoverkko. Sillä viitataan kaikkiin sellaisiin verkkoihin, joiden tarkoituksena on palvella korkeakoulun opetusta, hallintoa ja muuta toimintaa. Tuotantoverkot voidaan jakaa pienempiin osiin, kuten avoimiin verkkoihin, hallinnollisiin verkkoihin, palvelinverkkoihin jne.

### 2.1 Tutkimusverkkojen käyttäjät

Tutkijoiden verkkotarpeet riippuvat tutkimusalasta ja vaihtelevat projektikohtaisesti. Voidaan kuitenkin tunnistaa joukko ryhmiä, joilla on tyypilliset tapansa käyttää verkkoa. Ryhmien suhde verkkotarpeisiin muodostuu toiminnan perusluonteen kautta. Laskentaintensiivisyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka keskeisessä roolissa koneilla suoritettava laskenta on työssä. Dataintensiivisyydellä puolestaan tarkoitetaan sitä, kuinka keskeistä on laajojen datamäärien siirto, käsittely ja varastointi. Erityisesti monialaisissa tutkimusprojekteissa voi esiintyä tarpeita sekä suuren laskentatehon, että käsittelymäärien suhteen. Dataintensiivisyyden ja laskentaintensiivisyyden vaikutus verkkotarpeisiin esitellään kuvassa 2.

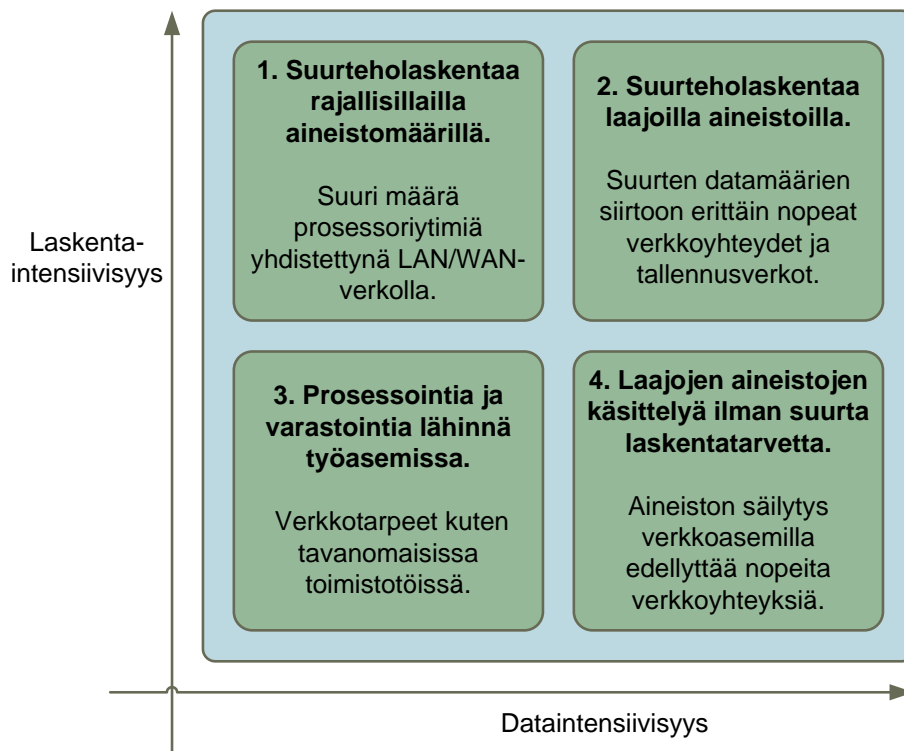
Tutkimuskohteesta riippuen resurssien tarve tasapainottuu laskentatehon ja muistintarpeen välillä. Laskentatehoa vaativat sovellukset asettavat vaatimuksia erityisesti prosessoriytimien



## Aalto-yliopiston tutkimusverkon vaatimukset ja ratkaisut

määrälle ja laadulle, kun taas runsaasti aineistoa tuottavat tutkimukset edellyttävät laajaa massamuistia ja nopeita verkkoyhteyksiä.

Laskentaintensiivisen tutkimustyön vaatimuksiin voidaan vastata lisäämällä laskennassa käytettävien prosessoriydinten määrää. Tähän voidaan päästä rakentamalla suurempia laskentayksiköitä ja hajauttamalla laskentaa erillisille yksiköille. Hajautus edellyttää sovelluksesta riippuen erilaisia verkkoratkaisuja, joissa esimerkiksi latenssin minimointi voi olla tärkeä tavoite. Laajalle hajautetuissa laskentajärjestelmissä on tärkeää, että yhteydet järjestelmän osien välillä toimivat mahdollisimman luotettavasti heterogeenisissa WAN-verkoissa.



Kuva 2. Laskentaintensiivisyyden ja dataintensiivisyyden vaikutus verkkotarpeisiin

Dataintensiivisessä tutkimustyössä tarvitaan runsaasti tallennustilaa. Tämä edellyttää tyypillisesti tietovarastoa, johon päästään käsiksi verkon välityksellä. Verkoilta vaaditaan näin ollen mahdollisimman suurta siirtokapasiteettia laajojen datamäärien siirtoa varten.

### 2.1.1 Laskennallinen tiede ja eScience

Laskennallinen tiede käsittää menetelmiä mallinnukseen, algoritmien suunnitteluun, numeeriseen implementointiin, laskentaan ja datamassojen analyysiin, sekä saavutetun aineiston jatkojalostukseen. Voidaan puhua tutkimuskohteesta riippuen esimerkiksi laskennallisesta fysiikasta tai laskennallisesta kemiasta. Samalla näiden menetelmien tutkimus on tieteenala sinänsä. Termillä eScience puolestaan tarkoitetaan tutkimusta, joka hyödyntää voimakkaasti tietotekniikan tarjoamia mahdollisuuksia, kuten erilaisia verkkosovelluksia ja kommunikaatiovälineitä [3].

Laskennallisen tieteen menetelmiä hyödyntävät tutkijat tarvitsevat työssään suurta määrää laskentakapasiteettia. Kapasiteettia voidaan toteuttaa erilaisin tekniikoin ja niiden yhdistelmin. Yksittäisen tietokoneen käytöllä ei usein saavuteta riittävää laskentakapasiteettia tehtävän suorittamiseksi halutussa ajassa, joten suurteholaskentaa suoritetaan usein monen tietokoneen yhteiskäyttönä. Usean tietokoneen yhdistäminen klusteriksi edellyttää verkkoyhteyksiä.

Laskennallista tiedettä harjoittavat tutkijat käyttävät työssään tyypillisesti suuria laskentaresursseja. Käsiteltävät datamäärät riippuvat tavasta, jolla tutkimusta tehdään. Erilaiset simulaatiot voivat tuottaa suuria määriä aineistoa. Nykytutkimuksessa simulaatioita voidaan käyttää esimerkiksi hiukkasfysiikan, radiotekniikan ja molekyyli­tutkimuksen aloilla.

Erityisen suuria datamääriä käsitellään tutkimuksessa, jossa kerätään yksityiskohtaista mittausaineistoa. Esimerkiksi radioastronomiassa aineistoa kerätään samanaikaisesti usealla mittauspaikalla ympäri maailmaa. Tämän aineiston analysointi puolestaan vaatii runsaasti laskentakapasiteettia. Biotekniikan alalla puolestaan kerätään laajoja mittausaineistoja esimerkiksi DNA-tutkimuksessa. Korkeaenergisien fysiikan tutkimuksessa ja radioastronomiassa voidaan tuottaa aineistoa enimmillään jopa yli 10 Gbit/s nopeudella.

### 2.1.2 Ohjelmistojen tutkimus

Ohjelmistotutkimuksen asettamat verkkovaatimukset ovat hyvin pitkälti sovelluskohtaisia. Osa ohjelmistoista toimii pääasiassa paikallisissa työasemissa, eikä sinänsä käytä verkkoyhteyttä.

Toinen osuus ohjelmistoista kommunikoi asiakas-palvelin-tyyppisesti. Nämä ohjelmistot voivat muodostaa koneiden välillä useita datavirtoja, joiden rakenne voi vaihdella yksittäisestä tiedostonsiirrosta aina jatkuvaan reaaliaikaiseen kommunikaatioon asti.

Kolmas ryhmä ovat vertaisverkko-ohjelmistot, jotka muodostavat päällysverkkoja työasemien välillä. Verkkojen muodostuksessa voidaan käyttää apuna palvelimia, joiden kautta asiakasohjelmat saavat yhteyden toisensa. Myös näissä verkoissa voidaan siirtää sekä tiedostoja, että reaaliaikaista ääni- ja videoaineistoa.

Neljäntenä ryhmänä voidaan nähdä ohjelmistot, jotka aiheuttavat verkkoliikennettä itsenäisesti. Tällaisia ohjelmia voivat olla esimerkiksi verkon skannaustoimenpiteitä suorittavat ohjelmistot sekä haittaohjelmista esimerkiksi madot. Vaikka jälkimmäisten kehitystä voidaan sinänsä pitää ei-toivottuna ilmiönä, niiden käyttäytyminen voi silti olla merkittävä tutkimuksen kohde.

Verkkoa käyttävien ohjelmistojen kehityksellä ja testauksella voi olla vaikutusta verkon muiden käyttäjien toimintaan. Onkin tärkeää, että kehitysvaiheessa olevia ohjelmistoja voidaan tutkia sellaisessa verkkoympäristössä, jossa tutkimus ja korkeakoulun normaali toiminta eivät häiritse toisiaan.

### 2.1.3 Verkkotutkimus

Verkkojen tutkimuksen tarpeet liittyvät konkreettisesti verkkoympäristöjen laitteistojen ja ohjelmistojen käyttöön. Voidakseen tutkia verkkoja tutkijat tarvitsevat mahdollisuuden konfiguroida verkkolaitteita sekä asentaa ja käyttää tarvitsemiaan laitteita ja ohjelmistoja verkoissa. Onkin tyypillistä, että verkkotutkijat ylläpitävät omia laboratorio- ja testiverkkojaan itsenäisesti.

Verkkotutkimuksessa on tarpeellista tutkia erilaisia verkkotekniikoita ja aiheuttaa verkoissa monia tavallisuudesta poikkeavia tilanteita. Näitä tarkoituksia varten tarvitaan infrastruktuuri, jota voidaan muunnella joustavasti. Turvallisuuden kannalta on oleellista, että verkkoon tuotettava liikenne voidaan eristää tuotantoverkkojen ulkopuolelle. Verkkotutkimuksen ala ulottuu myös virtuaaliverkkoihin, joiden tutkimukseen liittyy verkkotekniikan lisäksi oma ohjelmistotekninen alueensa.

Verkkojen tekniikka jakautuu moniin osa-alueisiin fyysisistä kaapeleista ja radiotekniikasta elektroniikan kautta laitteiden käyttöjärjestelmiin sekä sovellusohjelmiin. Yksittäisten verkkolaitteiden, kuten reitittimien osalta keskeisenä ongelmana on käsitellä aineistoa mahdollisimman nopeasti yhteistyössä muiden verkkolaitteiden kanssa. Tietoverkko koostuu monista solmuista, joiden laskennallinen tehokkuus vaikuttaa verkon kapasiteettiin. Toisaalta

tutkimusta varten voidaan kerätä myös laajoja aineistoja esimerkiksi Internetin BGP-viesteistä. Näiden analysoinnissa tarvitaan myös runsaasti laskentakapasiteettia.

### 2.1.4 Mediatutkimus

Oman käyttäjäryhmänsä verkkojen näkökulmasta muodostavat tutkimusalat, joilla käsitellään runsaasti kuvaa, ääntä, videokuvaa ja muuta aineistoa. Aineiston varastointiin tarvitaan runsaasti tallennustilaa, joka on käytettävissä verkon välityksellä. Jos datan määrä on erityisen suuri, ja sitä on käsiteltävä suurilla nopeuksilla, voi olla tarpeellista hankkia sitä varten erillisiä tallennusjärjestelmiä.

Mediatutkimuksen tunnusmerkkeihin kuuluu suurten datamäärien käsittely ilman tarvetta raskaaseen prosessointitehoon. Esimerkiksi videokuvan tai tietokoneanimaatioiden tuotannossa voidaan kuitenkin tarvita myös runsaasti laskentatehoa. Sekä still-valokuvien että digitaalisen videoaineiston tallennuslaatu kasvaa jatkuvasti, mistä seuraa tallennustilan tarpeen nopea suureneminen. Myös tulostuspalvelut voivat asettaa erityisvaatimuksia verkkoratkaisuille, sillä korkearesoluutioisten kuvien tulostus verkkotulostimilla edellyttää verkolta runsaasti siirtokapasiteettia.

### 2.1.5 Muut tutkimusalat

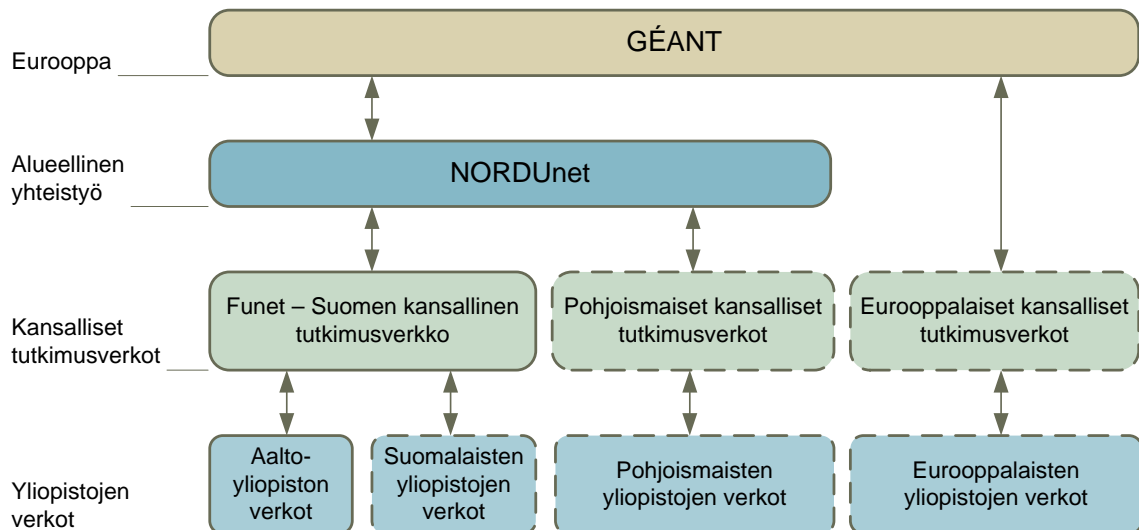
Myös mainittujen käyttäjäryhmien ulkopuolelle jäävät tutkijat käyttävät erilaisia tietotekniisiä ja tietoverkkoihin liittäviä palveluita työssään. Sellaisia palveluita, joista on hyötyä suurelle osalle kaikista tutkijoista ovat tallennuspalvelut, sähköposti ja erilaiset WWW-sovellukset. WWW-sovelluksiin kuuluu monenlaisia palveluita, esimerkiksi yhteisöpalvelut, wikit ja aineiston keräämiseen tarkoitettut sovellukset. Yleisesti käytetty esimerkki aineiston keräämisessä käytetystä WWW-sovelluksesta on kyselytutkimuksissa käytettävä ohjelmisto Webropol [4].

## 2.2 Useita organisaatioita yhdistävät tutkimusverkot

Paikalliset tutkimusverkkoympäristöt ovat yhteydessä laajempiin tutkimusverkkoihin, jotka yhdistävät paikallisia verkkoja toisiinsa. Yleisesti paikalliset tutkimusverkot käyttävät laajempia verkkoja vähintään Internet-yhteyksien tarjoajina. Lisäksi näissä verkoissa voidaan tarjota erilaisia palveluita, jotka tukevat tutkimustoimintaa.

## Aalto-yliopiston tutkimusverkon vaatimukset ja ratkaisut

Kansallisella tutkimusverkolla (National research and education network, NREN) tarkoitetaan tutkimusta ja opetusta palvelevaa tietoverkkoa. Suomalainen kansallinen tutkimusverkko on Funet (Finnish University and Research Network), jota hallinnoi CSC – Tieteen tietotekniikan keskus. Funet-toimintaan osallistuvat organisaatiot muodostavat Funet-yhdistyksen, jonka valitsemassa työvaliokunnassa käsitellään verkon kehityksen yleisiä linjoja. CSC tarjoaa Funet-verkon lisäksi erilaisia palveluita tutkimuskäyttöön, erityisesti tieteellisen laskennan alalla. Funetin tehtävistä kenties näkyvin on kuitenkin Internet-yhteyksien tarjoaminen Suomen yliopistoille ja ammattikorkeakouluille, sekä erilaisille tutkimusyksiköille ja muille yhteistyökumppaneille. Euroopan kansallisten ja kansainvälisten tutkimusverkkojen hierarkia esitellään kuvassa 3.



Kuva 3. Eurooppalaisten tutkimusverkkojen hierarkia

### 2.2.1 Pohjoismainen tutkimusverkkoyhteistyö ja NORDUnet

Kansalliset tutkimusverkot liittyvät toisiinsa erilaisten yhteistyöorganisaatioiden kautta. Pohjoismaisilla kansallisilla tutkimusverkoilla on yhteistyöorganisaatio ja verkko NORDUnet, johon kansalliset toimijat liittyvät. NORDUnetiin liitetyt kansalliset tutkimusverkot ovat Tanskan Forskningsnettet, Suomen Funet, Islannin RHnet (Icelandic University Research Network), Norjan UNINETT (Norwegian National Research Network) ja Ruotsin SUNET (Swedish University Network). NORDUnet järjestää vuosittain NORDUnet Conference –tapahtuman, johon osallistuu jäsenorganisaatioiden ja sidosryhmien edustajia. Se järjestettiin vuonna 2008 Otaniemessä. NORDUnetin kansainvälisiä kehityshankkeisiin kuuluu mm. luovuuden ja

koordinoinnin kehittäminen Pohjoismaiden yhteisössä, osallistuminen eurooppalaisiin projekteihin, kuten GÉANT-verkon kehitykseen ja erilaiset yhteistyöhankkeet amerikkalaisten ja aasialaisten toimijoiden kanssa. [5]

### 2.3 Eurooppalainen tutkimusverkkoyhteistyö

Yhteiseurooppalainen tutkimusverkko GÉANT yhdistää kansalliset tutkimusverkot ja tarjoaa kansainvälisiä yhteyksiä jäsenilleen. GÉANT-verkkoa kehittää ja ylläpitää Iso-Britanniassa toimiva DANTE (Delivery of Advanced Network Technology to Europe), jonka omistavat kansalliset tutkimusverkot [6]. Pohjoismaiset tutkimusverkot liittyvät GÉANT-verkkoon NORDUnetin välityksellä. Muiden maiden kansalliset tutkimusverkot liittyvät suoraan GÉANT-verkkoon ilman välissä toimivaa alueellista organisaatiota ja verkkoa [7].

GÉANT tarjoaa kansallisille tutkimusverkoille mahdollisuuden käyttää yhteisiä mannertenvälisiä yhteyksiä sen sijaan, että jokainen niistä neuvottelisi omia sopimuksiaan alan toimijoiden kanssa. Tällä tavoin muodostetaan yhteydet Euroopan ulkopuolisiin kansallisiin ja kansainvälisiin tutkimusverkkoihin, esimerkiksi Yhdysvaltalaiseen Internet2:een. Lisäksi tutkimusyhteisö ja kansallisten tutkimusverkkojen edustajat tekevät verkkoihin liittyvää yhteistyötä TERENA-organisaation (Trans-European Research and Education Networking Association) puitteissa. TERENAn tehtävä on toimia yhdistävänä tekijänä verkkotekniikan ja Internetin kehityksessä – se ei siis kehitä tai ylläpidä mitään tiettyä yksittäistä verkkoa käytännön tasolla [8].

### 2.4 Tutkimusverkon ylläpito ja kehitys

Tutkimusverkon hallinnointiin, kehitykseen ja ylläpitoon liittyvät käytännöt riippuvat tutkimusalasta, isäntäorganisaatiosta ja IT-toimintojen järjestelyistä. Mitä lähempänä tutkimusala on varsinaista verkkotekniikkaa, sitä oleellisempaa tutkijalle on päästä vaikuttamaan verkossa käytettäviin tekniikoihin ja tarjottaviin palveluihin. Kuitenkin myös muiden alojen tutkijoille voi olla hyötyä verkkopalveluista, joiden tuotannossa huomioidaan tutkimustyön erityistarpeet.

### 2.5 Kansalliset tutkimusverkot ja palvelut: Funet

CSC:n hallinnoimaan Funet-verkkoon on liitetty kaikki Suomen yliopistot ja ammattikorkeakoulut muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Lisäksi sitä käyttää joukko laitoksia ja tutkimuskeskuksia sekä muita yhteistyökumppaneita.

Opetusministeriö asetti loppuvuodesta 1983 Funet-projektin koordinoimaan tietoliikenneverkon kehitystä yliopistojen välille. Vuonna 1988 perustettiin yhteispohjoismainen NORDUnet-verkko, johon myös Funet liitettiin. Tässä vaiheessa nykyisin vallalla oleva TCP/IP-protokollaperhe oli vain yksi useista käytettävistä siirtoprotokollista – etenkin Euroopassa uskottiin, että kansainvälisen standardointijärjestö ISO:n standardoiman OSI-mallin mukaiset protokollat lopulta syrjäyttäisivät muut yhteyskäytännöt. Funetin liittymisestä Internet-verkkoon päätettiin vuonna 1986, mutta tuolloin Internetin myöhempää merkitystä ei vielä osattu ennakoida. Käytössä oli laitevalmistajien omia protokollia, jotka toimivat rajoitetusti tietyissä koneissa. Varhainen Funet oli moniprotokollaverkko.

Eri protokollia käyttävien koneiden välinen viestintä oli monimutkaista ja käyttäjien kannalta hankalaa. Lopulta 1990-luvun puoliväliin mennessä Internet osoitti käyttökelpoisuutensa universaalina tietoverkkona. OSI-mallin mukaisille verkkoratkaisuille ei ollut saatavilla käyttäjien tarpeita vastaavia palveluita, joten kaikki Funetiin liittyneet organisaatiot siirtyivät käyttämään TCP/IP:tä. Tähän vaikutti käyttäjien vapaus kehittää haluamiaan verkkopalveluita. Myös tiedonsiirron edullisuudella oli merkitystä – Internet-mallin verkoissa ei yleisesti peritä tiedonsiirtomääriin perustuvia maksuja.

NorduNetista ja siten myös Funetista avattiin marraskuussa 1988 pääsy yhdysvaltalaiseen NSFNET:iin, jonka kautta saatiin yhteys Internetiin. NorduNet oli ensimmäinen Yhdysvaltain ulkopuolella sijaitseva verkko, josta oli vapaa pääsy Internet-verkkoon.

[9]

### **2.5.1 Funet-runkoverkko ja Funet-palvelut**

Funetin runkoverkko kattaa suurimmat kaupungit pääkaupunkiseudulta aina Rovaniemelle asti. Käytössä on pääasiassa 10 Gbit/s, 2.5 Gbit/s, 1 Gbit/s ja 622 Mbit/s yhteyksiä, mutta lisäksi muutamissa paikoissa käytetään vielä 155 Mbit/s yhteyksiä.

Funet-verkon nykyinen toteutus mahdollistaa DWDM- ja CWDM-tekniikoiden käytön. Näiden avulla samoissa fyysisissä kuiduissa voidaan ajaa useita optisia yhteyksiä samanaikaisesti. WDM-tekniikoita kuvataan tarkemmin kappaleessa 6.1.2.

Käytetyin Funet-palvelu on Internet-yhteys. Palvelutarjontaan kuuluu myös erilaisia verkkoihin liittyviä teknisiä palveluita, mutta myös verkkojen tietoturvaan ja suorituskyvyn mittaukseen

liittyviä palveluita. Asiakkaille tarjotaan myös videoneuvotteluratkaisuja ja digitaalisia televisiolähetyksiä IP-verkon välityksellä. Asiakkaita rohkaistaan erilaisten palveluiden käyttöön, mutta asiakkaat voivat valita tarvitsemansa palvelut vapaasti.

Lisäksi tarjolla on koulutusta. Varsinaisten koulutus- ja kurssitapahtumien lisäksi järjestetään säännöllisesti Funet-tekniinen päivä, johon asiakkaat kokoontuvat keskustelemaan toiminnoista ja tekniikasta.

### **2.5.2 Funetin rooli tutkimuksen palveluiden kannalta**

Kaikille Funet-verkon käyttäjille tarjotaan lähtökohtaisesti samoja palveluita ja käyttöoikeuksia. Liikennettä ei rajoiteta Funetin puolesta joitakin erityistapauksia lukuun ottamatta. Kaupallista WWW-suodatinta on testattu, mutta sitä ei ole otettu yleiseen käyttöön.

Käyttöä ohjaavat käytösäännöt ja yleinen käyttöetiikka. Lisäksi lainsäädäntö asettaa rajoituksia verkon käytölle. Tutkimusprojekteihin osallistuvilla yrityksillä ja muilla tahoilla voi olla omia edellytyksiään myös verkon käyttötavoille ja tietoturvatoinenpiteille. CSC toimii verkko-operaattorin tavoin, joten se katsoo käyttäjien itse olevan vastuussa verkon käytöstä ja siellä siirrettävästä aineistosta. Tämä koskee niin tutkijoita, kuin muitakin käyttäjiä.

[10]

## **2.6 Aalto-yliopiston nykyiset tutkimusverkot**

Aalto-yliopiston kampuksilla tutkijoiden verkkotarpeisiin on reagoitu eri tavoin. Tutkimusala vaikuttaa työkalujen tarpeeseen ja toteutukseen. Eroja näissä esiintyy niin kampusten välillä, kuin niiden sisälläkin.

### **2.6.1 Otaniemen kampus (TKK)**

Otaniemen kampus on Aalto-yliopiston kampuksista suurin. Sen tutkimusaloihin kuuluu laaja kirjo erilaisia tekniikan aloja. Näistä esimerkiksi fysiikan, tietoverkkotekniikan ja tietotekniikan alojen tutkijoilla on erikoistuneita tarpeita tietoverkoille.

Otaniemen kampuksella IT-palveluita on pitkään tuotettu paikallisesti laitosten omilla resursseilla. Viime aikoina niiden tietoverkkojen infrastruktuuria on kuitenkin siirretty IT-palvelukeskuksen hallintaan. Prosessi on vienyt runsaasti aikaa, sillä keskitettyä verkkopalvelua ei ole itsestään selvästi pidetty parhaana vaihtoehtona. Saavutettava kustannusetu on kuitenkin edistänyt keskittämistyön etenemistä. Tämä koskee lähinnä toimistokäytössä olevia



verkkoja; laitosten laboratorio- ja tutkimusverkkojen ylläpito on edelleen järjestetty paikallisesti.

### 2.6.2 Töölön kampus (HSE)

Töölön kampuksella tutkimuskäyttöön on varattu erillinen lähiverkko, joka on palomuurilla eristetty muista verkkoympäristöistä. Tutkimusverkossa pidetään laitteita jotka eivät ole korkeakoulun keskitetyssä ylläpidossa. Tutkijat ovat itse vastuussa näiden laitteiden tietoturvasta. Tutkimusverkkoon liitetyissä koneissa on luvallista käyttää myös sellaisia sovelluksia, jotka on kielletty muualla sisäverkossa. Pääsyä muihin sisäverkon osiin ei ole, Internet-yhteyksiä puolestaan ei juuri rajoiteta.

Tutkijat voivat tarvittaessa päästä tutkimusverkon käyttäjiksi tekemällä kirjallisen hakemuksen, jonka tietoliikenneylläpitäjät käsittelevät. Verkkoon liitytään fyysisellä liittymällä kiinteästi määrätystä portista. Tutkimusverkon käyttäjämäärä on jäänyt vain muutamaankin yksittäiseen henkilöön. Tämän arvellaan johtuvan siitä, että tutkimusverkon käyttömahdollisuudesta ei ole juurikaan tiedotettu potentiaalisille käyttäjille. Tutkimusverkon palveluita ei myöskään ole kehitetty aktiivisesti palvelemaan tutkijoita. Tutkimusverkkoa on ensisijaisesti pidetty eristettynä verkkoympäristönä sellaisille työasemille, jotka eivät ole korkeakoulun keskitetyssä ylläpidossa. Näiden määrä on kuitenkin vähäinen, sillä kampuksen työasemat ovat lähes yksinomaan keskitetyn ylläpidon piirissä ja kysyntä poikkeaville järjestelmille on ollut vähäistä. Tähän on vaikuttanut kahden työaseman ongelma: voidakseen käyttää tutkimusverkkoa tutkija tarvitsisi yhden työaseman HSE:n järjestelmien käyttöön ja toisen tutkimusta varten. HSE:n politiikan mukaan jokaiselle käyttäjälle hankitaan kuitenkin vain yksi työasema.

### 2.6.3 Arabianrannan kampus (TaiK)

Arabianrannan akateeminen ympäristö on jo ennen Aalto-yliopistoa varsin monialainen. TaiKin tutkimustietokanta Resedan tutkimusalojen luetteloon sisältyy muotoiluun, taideteollisuuteen ja taidekasvatukseen liittyviä aloja, mutta myös digitaaliseen kulttuuriin ja digitaalisovelluksiin liittyviä aloja. [11]

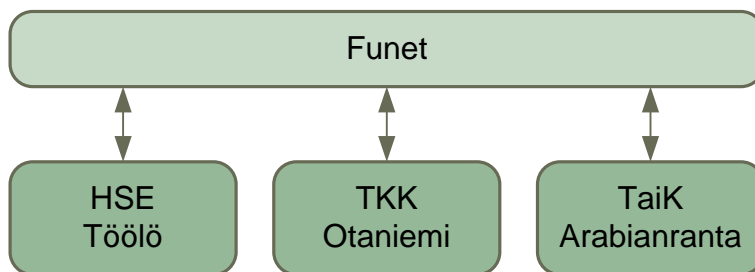
Esimerkiksi elokuvataiteen ja valokuvataiteen tutkijat käsittelevät suuria määriä digitaalista aineistoa, mikä heijastuu heidän työkalutarpeisiinsa – verkkotallennuskapasiteettia tarvitaan suuriakin määriä.

TaiKin oman tutkimusverkon perustamiseksi on tehty selvitystyötä vuosina 2007-2008. Toteutusta on kuitenkin lykätty Aalto-yliopiston perustamiseen liittyvistä muutoksista johtuen. Yhteistyötä tutkijoiden kanssa on aloitettu perustamalla tutkimusverkon asiantuntijaryhmä, johon kuuluu tutkimusyhteisön asiantuntijoita ja IT-palvelukeskuksen nimeämä koordinaattori. Ryhmän toiminta on kuitenkin toistaiseksi ollut vähäistä.

Mediakeskus Lumella on erikoistuneita verkkoja TV-tuotantoja ja videomateriaalin käsittelyä varten. Näiden ylläpidosta vastaa pääasiassa Lumen oma henkilökunta.

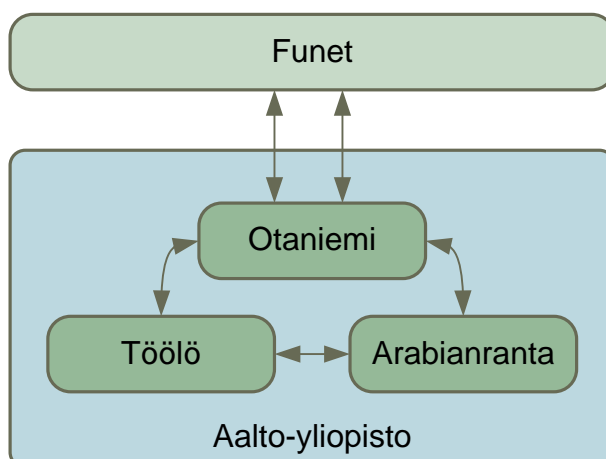
## 2.7 Aalto-yliopisto ja Funet

Ennen Aalto-yliopiston muodostamista HSE, TaiK ja TKK ovat hoitaneet yhteytensä Funetiin ja sitä kautta Internetiin itsenäisesti. Tilanne on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Funet-yhteyksien Aalto-yliopistoa edeltävä tilanne

Aalto-yliopistossa verkkoyhteydet järjestetään uudelleen kuvan 5 mukaisesti. Kampuset yhdistetään toisiinsa CWDM-tekniikan avulla. Näin muodostetaan kolmioverkko, jossa jokainen kampus on yhteydessä kahteen muuhun kampukseen.



Kuva 5. Funet-yhteydet Aalto-yliopistossa

Funet-yhteys keskitetään Otaniemen kampukselle, jolla on jo ennestään maantieteellisesti kahdennettu Funet-yhteys. Kolmion sivujen yhteydet on eristetty toisistaan maantieteellisesti. Vaikka yhteydet Funet-verkkoon kulkevatkin Otaniemen kampuksen kautta, järjestely parantaa vikasietoisuutta muilla kampuksilla. Yksittäisen yhteyden katkeaminen esimerkiksi kaivuutöiden seurauksena ei enää riitä katkaisemaan kokonaisen kampuksen yhteyksiä ulkomaailmaan. Kampusten väliset yhteydet ja Otaniemen Funet-yhteydet toimivat toistaiseksi 1 Gbit/s nopeudella. Tätä yhteysnopeutta pidetään toistaiseksi riittävänä. Nopeuden nostaminen luokkaan 10Gbit/s on teknisesti mahdollista ja tätä harkitaan tarvittaessa.

## 2.8 EARNEST Foresight Study

EARNEST Foresight Study on EU-rahoituksella toteutettu laaja selvitys verkkojen käytöstä tutkimustyössä. Selvityksen toteutti European Science Foundation kolmantena osapuolena osana GN2-projektia. Materiaalia kerättiin vuosina 2006-2007 ja tulokset julkaistiin osissa vuosina 2008-2009. Tietoa kerättiin laajalla tutkijoille suunnatulla kyselyllä, jonka lisäksi haastateltiin pienempää joukkoa asiantuntijoita. Tarkoituksena oli selvittää kuinka tutkimusverkkojen viimeaikainen kehitys on vaikuttanut tutkimustoimintaan ja tarkastella tulevaisuuden tarpeita 5-10 vuoden aikavälillä. Samalla tarkasteltiin olemassa oleviin verkkoihin ja niiden suorituskykyyn liittyviä haasteita sekä tapoja, joilla kehitystä voitaisiin ohjata vastaamaan ennustettavissa oleviin tulevaisuuden haasteisiin.

Selvityksen kyselyosio osoitettiin n. 11 500 ammattitutkijalle Euroopassa. Noin 39 % kyselyn vastaanottajista osallistui kyselyyn. Vastanneista 68 % toimi yliopiston tai ylemmän tason akateemisen oppilaitoksen yhteydessä. Vastanneista 27 % toimi muissa tutkimusyksiköissä. Tutkimusyksiköistä suurin osa oli julkisrahoitteisia. Vastaanottajien tutkimustyö liittyi erilaisiin tieteenaloihin IT:stä ja matemaattisista aloista biotieteisiin sekä humanistisiin ja sosiaalisiin aloihin.

Vastauksia saatiin eniten Saksasta, Iso-Britanniasta, Italiasta ja Ranskasta (yli 350 kpl/valtio). Suomesta vastauksia tuli runsaat sata kappaletta ja Pohjoismaista yhteensä noin 500 vastausta. Kyselyn jälkeen haastateltiin tarkemmin kolmeakymmentä vastaajaa. Selvityksen raportin mukaan haastatteluun valitut henkilöt noudattivat likimain vastaavaa jakaumaa tieteenalojen kesken, kuin kyselyinkin vastaajat. [12]

### 2.8.1 Selvityksen aiheet

EARNEST:n selvityksen raportti on jaettu osiin aihepiireittäin. Kukin osa on julkaistu erillisenä painettuna raporttina ja lisäksi näistä on tehty yhdistelty kokonaisraportti. Aiheita ovat tutkijoiden vaatimukset sekä tekniikkaan, kampusverkkoihin, maantieteellisiin haasteisiin ja hallintoon liittyvät kysymykset. Osa selvityksen sisällöstä liittyy oleellisesti kansallisten tutkimusverkko-organisaatioiden toimintaan, palveluihin ja yhteistyöjärjestelyihin. Kuitenkin kampuksia ja tutkijoiden tarpeita käsittelevät osat sisältävät suosituksia ja parhaita käytäntöjä, joista voi olla hyötyä Aalto-yliopiston verkkoja kehitettäessä.

### 2.8.2 Suositukset kampuksille

Tässä kappaleessa käsitellään kampusverkkoja käsittelevän raportin keskeisiä suosituksia.

Raportissa suositellaan aggressiivista laitteistonuusintapolitiikkaa sellaiselle verkkokalustolle, jonka odotettu käyttöaika on viisi vuotta tai vähemmän. Uusista kytkimistä suuri osa tulisi toimia nopeudella 1 Gbit/s, myös siinä tapauksessa, että alueellinen runkoyhteys ei tätä tue. Uudempien ja tehokkaampien laitteiden käyttöönottoa ehdotetaan palvelimille ja sellaisille käyttäjille, joilla on erityistarpeita verkon suorituskyvyn suhteen. Organisaatioille suositellaan yhteistä prosessia, jonka mukaisesti määritellään hankittavien verkkolaitteiden ominaisuudet. Tämä koskee myös niitä organisaatioita, joissa verkon hallintaa ei ole kokonaan keskitetty.

Verkon ylläpitoon suositellaan vuosittaista katselmusta, jossa tarkastellaan verkkoyhteyksien nopeuksia aina työasemien liityntäverkoista kansallisen tutkimusverkon liittymään saakka. Tavoitteena on tunnistaa verkon pullonkauloja. Tällä toiminnalla on merkitystä erityisesti niille käyttäjille, jotka käsittelevät suuria aineistomääriä.

Raportin oleellisin tietoturvaan liittyvä kannanotto on suositus ryhmän perustamisesta tietoturvan valvontaa ja kehitystä varten. Myös tietoturvalle ehdotetaan vuosikatselmusta. Tutkimusverkkojen kannalta oleellinen suositus on, että käyttäjille tulisi tarvittaessa tarjota Internet-yhteyttä, jota ei ole suodatettu palomuurilla. Tämä ratkaisu lisää käyttäjän vastuuta laitteiston tietoturvaan liittyen, mutta varmistaa sen, ettei palomuurista muodostu pullonkaulaa verkkoyhteyksille. Muutenkin suositellaan, ettei mitään tekniikkaa tai liikennetyyppiä (esimerkiksi vertaisverkkoliikenne) suljeta verkosta pois ilman tarkkaa harkintaa. Näillekin tekniikoille saattaa olla tarpeellista käyttöä luvallisen toiminnan piirissä, vaikka niitä tyypillisesti käytettäisiin laittomiin tai muuten ei-toivottuihin tarkoituksiin. Lisäksi

suositellaan, että Internet-yhteyksissä käytetään välitys- tai välimuistipalvelimia ainoastaan jos niistä aiheutuu erityisen painavaa hyötyä. Tietoturvaratkaisujen ei tulisi heikentää verkon suorituskykyä tai rajoittaa verkkojen ja palveluiden luvallisia käyttötapoja.

NAT-ratkaisuja ei pidetä kautta linjan epätoivottavina. Raportissa kuitenkin muistutetaan, että käyttäjille tulee tarjota mahdollisuutta myös kiinteän julkisen IP-osoitteen käyttöön. Kiinteää, julkinen osoite on tarpeellinen joidenkin sovellusten käytössä, sillä ilman sitä laitteeseen ei voida ottaa suoraan yhteyttä Internetistä ilman erityisjärjestelyjä.

Erilaisista verkkopalveluista ehdotetaan käyttäjille tarjottavaksi videoneuvottelu-, IPv6- ja multicast-palveluita. Nämä palvelut riippuvat kansallisen tutkimusverkon tarjoamista palveluista, mutta niiden tarjoaminen käyttäjille edellyttää toimia myös paikallisessa ympäristössä. Itse palvelun tarjonnan lisäksi ehdotetaan myös riittävän tukipalvelun tarjoamista loppukäyttäjille.

Palvelun laatuun (QoS) liittyviä toimia suositellaan tehtäväksi, jos tekniikka sen sallii. Verkkoja suositellaan rakennettavaksi siten, että ne suosivat grid-käyttöä. Tähän liittyy mm. kapasiteetin varaaminen laskentakäyttöön QoS-tekniikoin. Muutenkin verkkojen tulisi olla läpinäkyvämpiä grid-käytön kannalta. Tällöin grid-liikenne voi esimerkiksi ohittaa sellaiset verkkolaitteet, jotka mahdollisesti heikentävät suorituskykyä.

Yleisemmällä tasolla suositellaan aktiivista yhteistyön lisäämistä kansallisen tutkimusverkko-organisaation ja muiden yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa. Näin organisaatiot pääsevät vaihtamaan tietoa ja kokemuksia. Yhteistyössä tulisi rakentaa myös identiteetinhallintaan liittyviä palveluita. Eduroam-verkkoa suositellaan tarjottavaksi kaikissa organisaatioissa.

Erityisesti tutkijoille tulisi tarjota tukea ohjausta liittyen verkon suorituskyvyn optimointiin ja erilaisiin verkossa tarjottaviin palveluihin. [13]

### 2.8.3 Tutkijoiden vaatimukset

Tässä kappaleessa kuvataan tutkijoiden tarpeita raportin pohjalta.

Selvityksen mukaan suurin osa tutkijoista on varsin tyytyväisiä käyttämiensä verkkojen palvelun jatkuvuuteen ja luotettavuuteen infrastruktuurin osalta. Noin 6 % vastaajista ilmaisee tyytymättömyyttä näihin asioihin. Verkon nopeuden ja kapasiteetin osalta vastaava luku on 17

% Vastaajista noin 25 % on tyytymättömiä verkon turvallisuuteen ja aineiston turvallisuuteen. Aineiston yksityisyyden osalta tyytymättömiä on 22 %.

Tutkijoista 37 % käyttää tai odottaa 10 vuoden kuluessa käyttävänsä laskentakeskusten palveluita. Erityisen laajaa käyttö on fysiikan alalla ja siihen liittyvillä tutkimusaloilla (50%). Grid-laskentaa käyttää kyselyn mukaan 6 % tutkijoista, joiden lisäksi 13 % odottaa käyttävänsä sitä 5 vuoden kuluessa. Nykyään gridejä käytetään eniten IT:n ja tietojenkäsittelytekniikan tutkimuksessa. Näillä aloilla 17 % tutkijoista käyttää gridejä työssään.

Tutkijoista 39 % käyttää tai odottaa käyttävänsä 10 vuoden kuluessa suuria tallennuskapasiteetteja. Suurin tarve tallennuskapasiteetille on bioteknologian ja siihen liittyvien tieteiden alalla. Näiden alojen tutkijoista 51% ilmoittaa tarvitsevänsä työssään suuria määriä tallennustilaa.

EARNEST-selvityksen ja sitä edeltäneen SERENATE-selvityksen tulosten perusteella verkkopalveluiden käyttö on lisääntynyt ja jatkaa lisääntymistä seuraavan 10 vuoden kuluessa. Verkkoja ja palveluita käyttävät aktiivisimmin fysiikan ja siihen liittyvien tieteiden, materiaalitekniikan ja koneinsinöörialojen, IT:n ja tietojenkäsittelytieteiden sekä kemian tutkijat. [1]

### 3 Tutkimusverkkoja ja niiden käyttötapoja

Eri organisaatioissa käytössä olevista tutkimusverkoista kerättiin tietoa haastatteluiden ja WWW-kyselyn avulla. Tässä kappaleessa esiteltävät verkot perustuvat näihin selvityksiin.

#### 3.1 Dataintensiivinen tutkimussovellus: radioastronomia

Radioastronomit tutkivat avaruudesta tulevaa säteilyä teleskooppilaitteistojen avulla. Säteilyä voidaan vastaanottaa lautasen muotoisella teleskoopilla, jolloin kuvan tarkkuus on suoraan verrannollinen aallonpituuden ja lautasen halkaisijan osamäärään. Esimerkiksi 6 cm aallonpituudella (5 GHz) ja 25 m teleskoopilla tarkkuudeksi saadaan 600 kaarisekuntia. Vertailun vuoksi Hubble-avaruustelekoopin tarkkuus 600 nm aallonpituudella on jopa 0.06 kaarisekuntia. Samaan tarkkuuteen tarvittaisiin siis 6 cm aalloille teleskooppi, jonka halkaisija on 250 km. Aallonpituuden kasvaessa antennin kokoa on edelleen kasvatettava.

##### 3.1.1 Tietoverkot ja e-VLBI

Teleskoopin suuren koon vaatimusta voidaan kiertää käyttämällä eri puolille maailmaa sijoitettuja teleskooppeja samanaikaisesti ja korreloimalla näiden keräämä data. Tekniikkaa kutsutaan VLBI:ksi (Very Long Baseline Interferometry). Aiemmin VLBI-aineisto kerättiin korrelointia varten kuljettamalla fyysiset tallennusmediat laskentakeskukseen. Nykyisten tietoverkkojen päälle voidaan rakentaa e-VLBI:ksi kutsuttu ratkaisu, joka mahdollistaa datan tallentamisen suoraan korrelaattorikeskukseen ilman paikallista puskurointia.

Kun e-VLBI-mittauksia tehdään yhteistyössä kansainvälisten tutkimusasemien kesken, kukin teleskooppi kerää dataa 1024 Mbit/s nopeudella. Lisäksi dataan on lisättävä otsikkotietoja. Yhden mittausjakson pituus on tyypillisesti 12 tuntia, joten yksi teleskooppi tuottaa kerrallaan n. 5,6 TB aineistoa. Näin ollen yksittäisen teleskoopin keräämää dataa ei voida reaaliaikaisesti siirtää 1 Gbit/s yhteyttä käyttäen. Tästä syystä käytettävissä on oltava joko 10 Gbit/s yhteys tai 2 kpl 1 Gbit/s yhteyksiä. Jälkimmäisessä tapauksessa pakettivirta jaetaan round robin – tyyppisellä ratkaisulla yhteyksien kesken.

Mittausaineisto siirretään nykyisessä e-VLBI-ratkaisussa käyttäen UDP-protokollaa. Tähän ratkaisuun on päädytty mittausaineiston luonteesta ja reaaliaikavaatimuksesta johtuen. Pieni määrä pakettihukkaa on hyväksyttävissä, kunhan siirrossa ei ole viiveitä. Aiemmissa

ratkaisuissa pyrittiin käyttämään TCP:tä, mutta sen virheenkorjaus aiheutti ongelmia reaaliaikaisuusvaatimuksesta johtuen.

[14]

### **3.1.2 Metsähovin radiotutkimusasema**

Suomessa e-VLBI-tutkimukseen osallistuu Kirkkonummella Kylmälän kylässä sijaitseva Metsähovin radiotutkimusasema. Sen radioteleskooppi on halkaisijaltaan 13,7 m ja se on sijoitettu suojakuvun sisälle. Metsähovissa mittausdata puskuroidaan paikalliseen tallennusjärjestelmään ennen siirtämistä korrelaattorille, mutta myös reaaliaikainen siirto olisi mahdollista järjestää [15]. Tutkimusaseman käytössä on oma 10 Gbit/s reititetty yhteys Funet-runkoverkkoon. [16]

## **3.2 Tapausesimerkki: fyysikoiden verkot**

TKK:n sovelletun fysiikan laitoksen ympäristö koostuu useista eri tarkoituksia varten rakennetuista verkoista. Käytössä on laaja kirjo mittauksissa ja laskennassa käytettävää kalustoa. Osa sovelluksista asettaa tiukkoja vaatimuksia verkolle suorituskyvyn suhteen. Lisäksi käytössä on eri aikoina valmistettua mittauslaitteistoa, joka vaatii erityistä verkkokalustoa toimiakseen. [17]

### **3.2.1 Kirjavien laitteistojen asettamat haasteet**

Osa käytettävistä mittalaitteista perustuu vanhoille tekniikoille, joiden valmistus ja tuki on päättynyt. Laitteajureita ja ohjelmistoja ei ole saatavilla kuin vanhoille käyttöjärjestelmäversioille tai verkkoliitännät noudattavat sellaisia standardeja, joita nykyään ei rakenneta. Laitteiden uusiminen nykyiseen ympäristöön paremmin sopivaksi voi kuitenkin tuottaa merkittäviä kustannuksia. Laitteiden uusimista on siis harkittava tarkasti varsinkin tapauksissa, joissa vanhoja laitteita on edelleen mahdollista käyttää mittauksissa.

Uudempien laitteistojen ylläpito on helpompaa varaosien ja ohjelmistojen paremman saatavuuden osalta. Haasteita aiheuttavat kehittyvien tekniikoiden aiheuttamat vaatimukset. Esimerkkinä uudemmista laitteista ovat digitaaliset kamerat, joilla kuvia otetaan suurilla taajuuksilla. Pakkaamaton kuva-aineisto lähetetään suoraan kamerasta Ethernet-verkkoon, josta tietokone kerää sen massamuistille. Jos aineisto halutaan siirtää yhteisessä käytössä olevan verkon läpi, on huolehdittava verkkoresurssien riittävydestä. Suurtaajuuskameroita



voidaan käyttää esimerkiksi paperikonetekniikkaan liittyvässä tutkimuksessa. Paperiarkkiin kohdistetaan mekaaninen voima, jonka suuruutta kasvatetaan kunnes arkki repeää. Tapahtuma kuvataan suurtaajuuskameralla. Kuvamateriaalin avulla saadaan tietoa, jota voidaan hyödyntää uusien paperilaatujen kehityksessä.

[17]

### 3.2.2 Vanhat tekniikat

Vanhoiden tekniikoiden käyttö asettaa verkkosuunnittelulle rajoituksia. Vanhojen käyttöjärjestelmien mahdollisiin tietoturva-aukkoihin ei enää julkaista paikkauksia, joten käyttöjärjestelmää ei ole mahdollista tehdä riittävän turvalliseksi tavanomaista verkkokäyttöä varten. Lisäksi laitteita ei ehkä voida liittää nykyisiin TCP/IP-pohjaisiin verkkoihin sopivien ajuriohjelmistojen puutteesta johtuen. Mittausaineisto on kuitenkin siirrettävä muihin työasemiin käsittelyä varten. Tätä varten ylläpidetään vielä IPX-verkkoa, johon on liitetty vanhempia mittalaitteita. Näitä laitteita ohjaavat tietokoneet ovat tyypillisesti 386- tai 486-sukupolvien PC-laitteita, joiden verkkokortit käyttävät ISA-väylää. Näistä verkoista ei ole suoraa pääsyä Internetiin, mutta aineisto voidaan siirtää verkon kautta tutkijoiden työasemaverkkoon käsittelyä varten. Näin ulkoiset riskit voidaan minimoida säilyttäen kuitenkin samalla mahdollisuus laitteiden käyttöön.

Keskeiseksi haasteeksi vanhojen laitteiden osalta nousee fyysisen kaluston ylläpito. Yhteensopivan tietokone- ja verkkolaitteiston saatavuus heikkenee jatkuvasti, sillä uusia laitteita ei monessa tapauksessa ole ollut saatavilla vuosikausiin.

### 3.2.3 Työasemien virtualisointi ja thin client -ratkaisut

Fyysinen työasema omalla työpöydällä ei enää ole elintärkeä kaikkien töiden hoidossa. Virtuaalikoneilla voidaan toteuttaa riittävän suorituskykyisiä työasemia toimistotöiden hoitoa varten. Mahdollinen ratkaisu on käyttää thin client -tyyppistä terminaalilaitteistoa käyttäjän työpöydällä. Varsinainen laskenta tehdään palvelimessa. Nykyiset kokemukset osoittavat, että useimmat tavanomaiset sovellukset toimivat riittävän nopeasti, kunhan terminaalipalvelimen ja verkon suorituskyky ovat riittävät. Esimerkiksi kuvankäsittelyä varten tarvitaan kuitenkin käytännössä vielä erillinen työasema.

Virtuaalityöasemien etu paikalliseen työasemaan nähden on laitekannan yksinkertaistuminen. Thin client -laitteistolla ei ole juurikaan merkitystä käyttäjän kokeman suorituskyvyn kannalta,

joten tätä osaa kalustosta ei välttämättä tarvitse päivittää kovin usein. Haittapuolena on se, ettei työasema ole lainkaan käytettävissä, jos verkko ei toimi. Vastaavia rajoituksia voi kuitenkin syntyä perinteisilläkin työasemilla, jos käyttäjien profiili on haettava verkosta jokaisen kirjautumisen yhteydessä.

[17]

### 3.2.4 Grid-laskenta

Monia vaativimmista laskennallisista tehtävistä suoritetaan grid-laskentana. Tämä tarkoittaa, että laskentaan osallistuu monia tietokoneita, jotka ovat yhteydessä toisiinsa verkon välityksellä. Laskentatyö jaetaan koneiden välillä käyttäen erityistä ohjelmistoa. Grid-ohjelmistojen tekniset ratkaisut voivat erota toisistaan merkittävästi käyttötarkoituksesta riippuen. Grid-tekniikkaa käsitellään yleisemmin kappaleessa 5.3.

### 3.2.5 M-grid

M-grid (Material Science Grid) on CSC:n, seitsemän suomalaisen yliopiston ja HIP:n yhteinen grid-infrastrukturi, jossa kaikkien osapuolten laskentakapasiteettia jaetaan yhteiseen käyttöön. Sitä käytetään materiaalitutkimuksen tarpeisiin [18].

Teknillisen fysiikan laitos osallistuu tällä hetkellä M-gridin laskentaan 192 prosessoriytimen Kvartsi-nimisellä klusterilla. Kvartsin laskentakapasiteetista varataan jatkuvasti 20 % M-gridin käyttäjiä varten. Lisäksi M-grid voi hyödyntää Kvartsin käyttämättä jäävää kapasiteettia. Vastaavasti Otaniemessä voidaan hyödyntää M-gridin laskentakapasiteettia. Kvartsi on liitetty kolmeen verkkoon; laskentatehtäviin liittyvä liikenne kulkee omassa 1 Gbit/s verkossaan, tallennusliikenne omassa 1 Gbit/s verkossaan ja klusterin hallintaan liittyvä liikenne omassa 100 Mbit/s verkossaan. Yhteydet M-gridiin käyttävät TKK:n yhteisiä Funet-yhteyksiä.

Kvartsin kapasiteetin lisäämiseksi koko järjestelmä on uusittava. Riittävän kapasiteetinlisäyksen saavuttamiseksi tarvitaan 4- tai 5-kertainen määrä ytimiä nykyiseen verrattuna. Myös verkkoratkaisuihin tarvitaan parannusta, sillä nykyiset verkot muodostaisivat pullonkaulan tulevien järjestelmien laskennassa. Tarvetta tulee todennäköisesti 10 Gbit/s sisäverkoille. Lisäksi erillinen Funet-yhteys laskentakäyttöä varten tulee kysymykseen.

CSC on mukana grid-laskennan kansainvälisissä yhteistyöhankkeissa. Näistä kenties merkittävin on EGI (European Grid Initiative), jonka tarkoituksena on rakentaa yhteiseurooppalainen grid-infrastruktuuri. Se ulottunee tulevaisuudessa myös Otaniemeen samaan tapaan kuin M-grid. [19]

### 3.2.6 Työasemien käyttö hajautetussa laskennassa

Työasemien prosessoriaikaa jää tyypillisesti runsaasti käyttämättä, koska tavanomaiset sovellukset eivät kuormita laitteita jatkuvasti. Jos työasemia on käytettävissä suurehko määrä, niiden yhteenlaskettu laskentakapasiteetti voi muodostaa merkittävän laskentaresurssin. Käyttämätöntä kapasiteettia voidaan hyödyntää ottamalla käyttöön grid-ohjelmisto, joka jakaa laskennallisia tehtäviä koneille silloin kun niillä ei ole muuta työtä. Ratkaisun etuihin kuuluvat matalat kustannukset prosessoriydintä kohden, sillä ratkaisu ei edellytä suuria investointeja laitteistoon.

Teknillisen fysiikan laitoksella hyödynnetään Condor-ohjelmistoa, joka on yhdysvaltalaisen Wisconsin-Madison yliopiston avoimeen lähdekoodiin perustuva tuote. Sitä käytetään noin kahdessasadassa Linux-käyttöjärjestelmällä varustetussa työasemassa niille sopivien laskentasovellusten ajoon. Condor-palvelin toimii virtuaalikoneessa ja se ottaa vastaan jonoon lähetetyt työt. Palvelin jakaa laskentatehtävän gridiin liitetyille koneille. Verkkotoiminnan kannalta oleellista on, että laskentaa varten tarvitaan riittävä määrä nopeasti saavutettavaa tallennustilaa – tallennuspalvelimen ja verkon nopeus voi sovelluksesta riippuen rajoittaa laskentatyön nopeutta. Condor tarjoaa monipuoliset mahdollisuudet laskentaverkon valvontaan ja töiden käsittelyyn [20]. Sen avulla voidaan yhdistää myös eri aliverkkoihin sijoitettuja koneita.

IT-palvelukeskus ylläpitää suurehkoa määrää työasemia, joita käytetään ainoastaan päiväsaikaan. Tällaisia koneita ovat esimerkiksi luokkien opiskelijatyöasemat. Suuri osa luokista on suljettuna öisin. Osaa koneista voi käyttää myös yöaikaan etäyhteyden välityksellä, mutta jäljelle jää silti joukko työasemia, joita opiskelijat eivät voi käyttää öisin. Jos työasemien käyttöjärjestelmät eivät sovellu sellaisenaan haluttuun klusteriratkaisuun, voidaan niihin asentaa tätä varten erillinen laskentaan erikoistunut minimalistinen käyttöjärjestelmä. Laitteet voidaan ohjelmoida käynnistymään automaattisesti uudelleen illalla laskentaa varten. Aamulla ne käynnistetään uudelleen päivittäiskäyttöä varten.

Osaa TKK:n työasemista on käytetty yksittäisissä laskentaprojekteissa aiemmin. Aalto-yliopiston yhdistymisen myötä myös muiden kampusten laitekannan hyödyntäminen laskentatyössä voi olla mahdollista. Tällä tavoin yliopiston resursseja voitaisiin käyttää tehokkaammin.

### 3.3 Verkkotutkimuksen tarpeet

Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitoksella pidetään erityisen tärkeänä autonomisuutta tietoverkkojen suunnittelussa ja ylläpidossa. Koska verkot ovat laitoksen keskeinen opetuksen ja tutkimuksen aihe, korostuu itsenäisyyden merkitys niitä koskevissa asioissa.

#### 3.3.1 Laboratorioverkot

Tutkimuslaboratorion keskusreitittimen toimintoja hyödynnetään siten, että tutkijat voivat WWW-pohjaisen käyttöliittymän kautta tehdä muutoksia virtuaalilähiverkkojen (VLAN) asetuksiin. Näin reititystä voidaan ohjata etäyhteyttä käyttäen ja rakentaa testiympäristö tarpeen mukaan. Laitteiden määrä laboratorioverkossa on laskentatavasta riippuen noin 100.

Opiskelijoiden laboratoriotöitä varten on rakennettu erillinen verkko, jonka reitityksiä hallitaan niin ikään WWW-pohjaisesta käyttöliittymästä. Laboratoriotöitä varten tässä verkossa pidetään tarkoituksellisesti haavoittuvia koneita, joilla demonstroidaan käyttöjärjestelmien virheistä johtuvia tietoturvaongelmia. Osassa koneista käytetään myös vanhoja käyttöjärjestelmäversioita. Näin ollen on tärkeää, ettei julkisesta Internetistä ole pääsyä laboratorioverkkoon. Opiskelijat voivat kuitenkin tiettyjen koneiden kautta siirtää tiedostoja muualla TKK:n verkossa oleville koneille.

[21]

#### 3.3.2 Paikallinen tutkimusverkko

Käytössä on uusi tutkimusverkkoratkaisu, jota varten on hankittu CSC:ltä oma CWDM-valopolkuyhteys Funet-verkkoon. Aiemmin on käytetty TKK:n yhteisiä Funet-yhteyksiä, mutta näihin liittyy tiettyjä rajoituksia. Omaa yhteyttä käyttäen tutkijoilla on laajemmat mahdollisuudet kerätä tietoa Internetin reitityksen toiminnasta, sillä tutkimusverkon reititin on suoraan yhteydessä Funetin reitittimeen. Aiemmissa verkkoratkaisuissa Funetin ja tutkimusryhmien välillä on ollut TKK:n reititin. Erillinen Funet-yhteys takaa myös täyden 1 Gbit/s siirtokapasiteetin tutkimusverkon ja Funetin välillä.

Tutkimusverkon on tarkoitus pysyä eristettynä laitoksen muista verkoista, mutta tarvittaessa voidaan järjestää mahdollisuus käyttää VPN-yhteyttä tai muuta vastaavaa tekniikkaa, jolla sisäverkosta voidaan ottaa yhteys tutkimusverkossa sijaitsevaan koneeseen. Yhteydet tutkimusverkkoon kulkevat kuitenkin fyysisesti Funet-verkon kautta, sillä suoraa yhteyttä verkkojen välillä ei ole.

Tutkimusverkon ja Internetin välillä käytetään reititintä. Lisäksi tietoa kerätään liikenneanalyysilaitteella.

[21]

### 3.4 Ohjelmistotutkimusta: P2PFusion

P2PFUSION on kansainvälinen projekti, joka kehittää Fusion-ohjelmistojärjestelmää. Tuote toimii apuna audiovisuaalisessa luovassa toiminnassa. Sen avulla käyttäjä voi luoda, käyttää ja jakaa verkossa tuottamaansa ääni- ja kuvamateriaalia ilman tarvetta kalliille palvelinkalustolle ja niiden hallinnassa tarvittavilla monimutkaisille järjestelmille. Aineiston jako verkossa tapahtuu käyttäen vertaisverkkotekniikkaa. Lisäksi tuote yhdistää hajautettujen semanttisten tietokantojen käyttöä, sosiaalisen median ominaisuuksia ja audiovisuaalisen tuotannon työkaluja. Suomesta projektiin osallistuu TaiKin ARKI-ryhmän tutkijoita ja HIITin (Helsinki Institute of Information Technology) tutkijoita. Projektin koordinaattoriosapuolena toimii TaiK. Projekti on osittain EU-rahoitteinen. [22]

Verkko-ohjelmistojen tutkimuksessa tuotetaan verkkoon liikennettä, jolla voi olla vaikutuksia verkon muiden laitteiden toimintaan. Kehitys- ja testausvaiheessa liikennettä voi syntyä ennakoimattomia määriä.

### 3.5 WWW-kyselyn tulokset

WWW-kyselyyn vastasi yhteensä 11 henkilöä. Näistä kaksi henkilöä jätti kyselyn kesken vastaamatta varsinaisiin kysymyksiin. Kaksi vastaajaa totesi olevansa väärä henkilö vastaamaan kysymyksiin, mutta pyysi toista henkilöä vastaamaan kyselyyn. Yksi henkilö ilmoitti, että hänen edustamansa yliopisto ei tarjoa erillisiä verkkopalveluita tutkimuskäyttöä varten.

Kysymyksiin vastanneet henkilöt toimivat asiantuntijoina ja tutkijoina yliopistoissa, kansallisissa tutkimusverkko-organisaatioissa ja tutkimuslaitoksissa.

Yliopistojen ja tutkimuslaitosten tutkimusverkot on pääosin toteutettu erottamalla yksi tai useita VLAN-verkkoja muusta paikallisesta verkkoympäristöstä. Liikenteen eristyksessä käytetään erilaisia menetelmiä reititinten tilattomasta suodatuksesta tilallisiin palomureihin ja IPS-järjestelmiin (Intrusion Prevention System) sekä näiden yhdistelmiin. Lisäksi mainittiin kerroksittaisten palomuurijärjestelyjen käyttö verkkojen jakamisessa osiin. Kansallisissa tutkimusverkoissa käytetään tyypillisimmin verkkojen fyysistä eristämistä ja valopolkutekniikoita (CWDM ja DWDM). Verkkojen välillä käytetään erillisiä reitittämiä ja palomuuritoimintoja. Myös VLAN-ratkaisuja hyödynnetään tarvittaessa. Kansalliset tutkimusverkot voivat tarjota tutkimusryhmille erillisiä verkkoyhteyksiä, jolloin tutkimusverkkojen ja isäntäorganisaation verkot voidaan eristää toisistaan täysin.

Useimmissa tapauksissa tutkimusverkon ja ulkomaailman välistä yhteyttä ei juurikaan rajoiteta sisällön tai liikennetyyppien perusteella. Poikkeuksena mainitaan erityistarkoitukseen varattu tutkimuslaitoksen verkko, jossa myös verkkoon liittymistä varten on käytössä autentikointitekniikoita. Muissa verkoissa liittyminen perustuu lähinnä paikallisuuteen. Kansalliset tutkimusverkot ovat mukana eduroam-federaatiossa, jonka avulla tiettyihin verkkoihin voidaan liittyä. Kansalliset tutkimusverkot jättävät vastuun verkon liikenteestä pääasiassa asiakkailleen, mutta käyttömääriä ja liikennettä seurataan tietoturvasyistä ja palveluiden toimivuuden varmistamiseksi.

Yliopistoissa tutkimusverkon käyttäjäksi voi päästä kirjallisella hakemuksella. Yhdellä tutkimuslaitoksella käyttöoikeus liittyy alan virtuaaliorganisaatioihin, jotka hallinnoivat pääsyä grid-palveluihin. Kansallisten tutkimusverkkojen asiakkaat ovat yhteisöjä, joiden käyttöoikeus riippuu valtiollisista säännöistä ja kansallisten tutkimusverkkojen omista käytösäännöistä. Joissain maissa kansalliset tutkimusverkot tarjoavat verkkoyhteyksiä esimerkiksi kouluille. Suomessa kunnat hoitavat näiden yhteyksien järjestämisen.

Yliopistot ja tutkimuslaitokset tarjoavat tutkimusverkkokäyttäjille useimmiten DHCP- ja DNS-palveluita sekä Internet-yhteyttä. Yhdessä kansallisessa tutkimusverkossa mainitaan tarjottavan samaa palvelua kaikille asiakkaille. Funetin tarjoamia palveluita kuvataan kappaleessa 2.5. Toisaalla palvelujoukko on rajoittuneempi, sisältäen Internetin peruspalveluita sekä valikoituja ylemmän tason palveluita.

Tutkimusverkkojen kehittäminen ja palveluiden suunnittelu vaihtelee riippuen verkon laajuudesta ja käyttäjämäärästä. Pienemmille käyttäjämäärille suunnatuissa verkoissa luotetaan pääosin käyttäjien aktiivisuuteen ja toisaalta ylläpitäjien harkintaan. Yhden kampusverkon osalta mainitaan tutkimusverkon käyttäjien postituslista, jolla käyttäjät voivat keskustella verkkoon liittyvistä asioista. Yhden kansallisen tutkimusverkon yhteydessä on kehitteillä projektinhallintarakenne, johon liittyy mm. käyttäjien haastatteluita.

Kaikkiin tutkimusverkkoihin liitetään laitteita, joihin käyttäjillä on peruskäyttäjää laajemmat käyttöoikeudet. Nämä voivat olla työasemia tai palvelimia, joihin käyttäjillä on ylläpito-oikeudet. Yliopistojen verkoissa ylläpitäjät ovat vastuussa laitteistaan kirjallisen sopimuksen perusteella. Yhdestä yliopistosta todetaan, että käyttösääntöjen rikkominen tai ylläpidon laiminlyönti voi johtaa tutkimusverkon käyttöoikeuden poistamiseen käyttäjältä.

Kansalliset tutkimusverkot eivät ensisijaisesti tarjoa tukipalveluita paikallisten tutkimusverkkojen loppukäyttäjille. Yliopistoista ja tutkimuslaitoksista osa tarjoaa paikallisia tukipalveluita. Yksi yliopisto ei ole järjestänyt varsinaista tutkimusverkkoon liittyvää tukea.

Tulevaisuuden teknisistä näkymistä mainitaan IPv6-tekniikoiden lisääminen kansallisen tutkimusverkon tasolla. Kansallisen tutkimusverkon ja tutkimuslaitoksen käyttöön kaavailaan virtuaaliverkkoihin liittyviä palveluita. Yksi tutkimuslaitos mainitsee tavoitteekseen laskentapilven perustamisen sisäistä käyttöä varten siten, että koneiden liittäminen ja irrottaminen pilvestä olisi nopeaa. Pilvessä olisi eri käyttöön valmisteltuja valmiita virtuaalikoneiden kuvia. SSL-palveluiden (Secure Sockets Layer) toteutuksen helpottamiseksi toivotaan yksinkertaista tapaa sertifikaattien luontiin.

### **3.6 Tapausesimerkki: TUT Research Network**

Tampereen teknillinen yliopisto on toiminut Suomessa edelläkävijänä tutkimuksen kampusverkkojen kehityksessä. Korkeakoulun tarjoaman tutkimusverkkoympäristön käyttö on suunnattu projekteille, joissa tutkimusaihe liittyy protokolliin tai verkkoihin. Lisäksi tutkimusverkkoon kytketään sellaiset tutkimusprojektien käyttämät palvelimet, joita ylläpitää joko laitos tai projektin omat työntekijät. Tutkimusverkko on eristetty TTY:n sisäverkosta VLAN-tekniikalla. TTY:n verkon reunareitittimet välittävät tutkimusverkon liikenteen tutkimusverkon omille reitittimille.

Tutkimusprojektit voivat hakea tutkimusverkon käyttöoikeutta kirjallisella hakemuksella, johon vaaditaan laitoksen johtajan tai tutkimusryhmän esimiehen allekirjoitus. Hakemukseen on liitettävä tiedot projektin osapuolista sekä nimettävä hallinnolliset ja tekniset yhteys- ja vastuuhenkilöt. Teknisen yhteyshenkilön vastuulla on huolehtia verkkoon liitettävistä laitteista ja niiden tietoturvasta. Myös verkkoon kohdistuvista palvelu- ja kapasiteettitarpeista sekä verkon käyttötavoista vaaditaan selvitys. Tutkimusverkon ylläpito tarkastaa hakemuksen ja tekee päätöksen tutkimusverkon käyttöoikeudesta. Toistaiseksi hakemuksia ei ole hylätty, mutta niihin on pyydetty tarkennuksia ennen käyttöluvan myöntämistä. Tutkimusverkon käyttäjät voivat osallistua tutkimusverkon kehitykseen esimerkiksi yhteisen sähköpostilistalla käytävien keskustelujen kautta.

Hakemuksessa annettujen tietojen perusteella avataan reititinten pääsilystoista tarvittavat portit projektin käyttämään virtuaalilähiverkkoon. Erikoistapauksissa voidaan sallia myös täysin avoimen verkkoalueen käyttö. Virtuaalilähiverkot ovat pääasiassa projektikohtaisia. Lisäksi käytössä on DMZ-aliverkko (Demilitarized Zone) yksittäisiä palvelimia varten. Tilaton pakettisuodatus on nähty toistaiseksi riittävänä ratkaisuna, joten tilallista palomuuria ei ole nähty tarpeellisenä. Verkossa tarjotaan DHCP- ja DNS-palveluita. Suunnitelmissa on ottaa käyttöön myös VPN-palvelu.



## 4 Tutkimuksen verkkosovelluksia

Tutkimustyön apuvälineinä voidaan käyttää erilaisia verkossa toimivia sovelluksia. Osa näistä voi olla palveluita, joihin on pääsy suoraan julkisesta Internetistä. Esimerkiksi sähköposti-, wiki- ja yhteisösivustoja voidaan toteuttaa julkisina palveluina, joita käytetään joko WWW-selaimeen tai muuhun sovellukseen perustuvan käyttöliittymän kautta. Osa palveluista taas on syytä toteuttaa rajoitetuissa verkoissa, joihin pääsy edellyttää joko fyysistä liityntää paikalliseen verkkoon tai etäyhteyttä VPN:n tai muun vastaavan ratkaisun välityksellä. Lisäksi palveluita voidaan toteuttaa julkisessa tai rajoitetussa verkossa rajoitetulle käyttäjäryhmälle. Tällöin on järjestettävä tekninen ratkaisu käyttäjän tunnistamiseksi.

### 4.1 Aineiston varastointi ja tallennuspalvelut

Tutkimusaineisto voi sisältää alasta riippuen tekstiä, kuvia, videota, äänitiedostoja, erilaisia binaaritiedostoja sekä mittausdataa binaari- tai tekstimuodossa. Tallennustilan tarve voi vaihdella runsaasti projekteittain. Media-alan tutkijoiden kuva- ja videotiedostojen tilantarve kasvaa nopeasti. Tämän syynä on aiempaa suurempien tallennustarkkuuksien käyttö.

Tyypillinen monia tutkimusaloja koskeva ongelma on aineiston varastointi siten, että sen eheys ja saatavuus on turvattu. Lisäksi aineistolla voi olla eritasoisia luottamuksellisuusvaatimuksia – esimerkiksi sairauksiin liittyvä tutkimusdata voi sisältää tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden henkilökohtaisia terveystietoja. Aineistoihin saattaa sisältyä muitakin henkilötietoja. Suomen laki edellyttää näiden tietojen luottamuksellisuuden suojaamista.

Käytännön tasolla tutkimusaineistoa säilytetään erilaisissa varastoissa kuten henkilökohtaisten tietokoneiden kiintotallennusilla sekä erilaisilla siirrettävillä medioilla, kuten muistitikuilla, USB-kiintolevyillä, optisilla medioilla, jne. Nämä tallennusvälineet sopivat käyttötarkoituksiin, joissa aineistoa käsitellään, muokataan ja siirretään. Kuitenkin ainoastaan systemaattisesti ylläpidetty ja varmennettu tiedostopalvelu voi täyttää kaikki aineistolle tallennukselle asetettavat vaatimukset. Näitä ovat riittävä tallennuskapasiteetti sekä tietoturvallisuuteen liittyvät asiat. Turvallisuuden osa-alueita ovat tiedostojen saatavuus, luottamuksellisuus ja eheys [23]. Verkkotallennuspalveluita voidaan toteuttaa lukuisilla eri tavoilla aina yksittäisistä varmentamattomista verkkoon liitettävistä laitteista hajautettuihin grid-tallennuspalveluihin asti. Tutkimusaineiston varastoinnissa tulisi pyrkiä käyttämään varmistettuja ratkaisuja, jotta aineiston menetykseltä vältettäisiin ongelmatilanteissa.

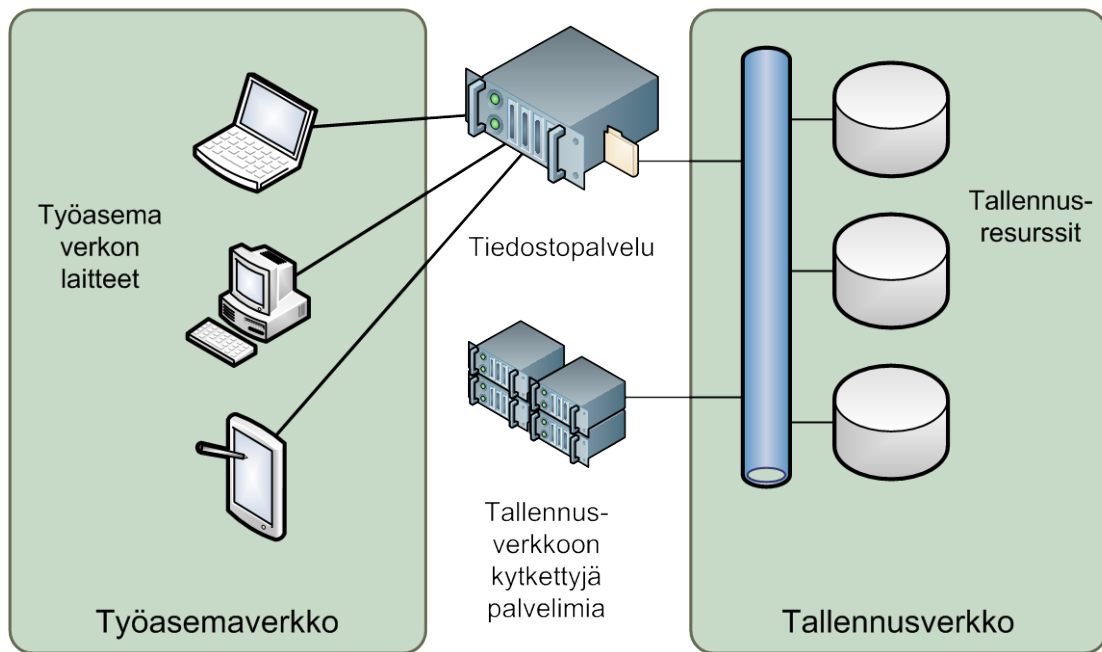
Tärkeä osa-alue turvallisuustavoitteiden saavuttamisessa on tallennuspalvelun tekninen luotettavuus, joka perustuu palvelun vikasietoisuuteen ja varmuuskopioiden tekoon. Saavutettavuuden kannalta oleellista on sekä palvelun, että verkkoyhteyksien vikasietoisuus. Palvelun vikasietoisuuteen voidaan pyrkiä esimerkiksi käyttämällä RAID-järjestelmää tiedostojen turvaamiseksi. Se ei kuitenkaan suojaa tiedostoja käyttäjän tahallisia tai tahattomia toimia vastaan. Tästä syystä RAID:n lisäksi tulisi käyttää myös nauhavarmennusta tai muuta sopivaa varmuuskopiointivälinettä.

Markkinoilla on erilaisia verkkoon liitettäviä tallennuspalvelimia, jotka tarjoavat suurehkoa tallennuskapasiteettia hyvin alhaiseen hintaan. Osa näistä ratkaisuista tarjoaa mahdollisuuden RAID5-tason vikasietoisuuteen. Tämä ei kuitenkaan yksin riitä tärkeän aineiston turvaamiseksi, sillä RAID5 suojaa materiaalia ainoastaan yksittäisten kiintolevyjen vikaantumista vastaan. Esimerkiksi käyttäjän tai laitteen ohjelmiston virhe voi aiheuttaa aineiston menetyksen. Aineisto tulisi varmuuskopioida täysin erilliseen tallennus- tai nauhajärjestelmään. Varmuutta voi lisätä sillä, että varmuuskopiot tallennetaan maantieteellisesti etäälle työstettävien dokumenttien tallennuspaikasta.

#### **4.1.1 Tallennusverkot**

Datan tallennusta varten voidaan rakentaa erillinen SAN-verkko (Storage Area Network). Tällaisia verkkoja on käytössä varsinkin suurissa tietokonekeskuksissa. Tallennuskapasiteettia käyttäviä laitteita voidaan kytkeä suoraan tallennusverkkoon erityisesti tähän tarkoitettulla verkkokortilla. Tällöin laitteet voivat käyttää tallennusverkon resursseja samaan tapaan kuin paikallista levyä.

Jos tallennusverkossa sijaitsevia resursseja halutaan jakaa työasemaverkossa, voidaan käyttää NAS-ratkaisua (Network Attached Storage). Tallennuspalvelu toimii siis yhdyskäytävänä erityyppisten verkkojen välillä. Palvelua voi tarjota yksittäinen palvelinlaite tai joukko palvelimia, jotka yhdessä muodostavat virtuaalisen resurssin. Tallennusverkkoratkaisun periaate esitetään kuvassa 6.



Kuva 6. Tallennusverkko ja työasemaverkko

#### 4.1.2 Tallennuspalvelun kustannukset

Tallennuspalvelun hinta riippuu käytettävän laitteiston laadusta, tekniikoista ja tallennustilan käyttötavoista. Kahdennetun ja nauhavarmennetun Fibre Channel-pohjaisen tallennusjärjestelmän ja edustapalvelimen välitön hankintakustannus nousee IT-palvelukeskuksen uusimpien hankintatietojen perusteella yli kolmeen euroon gigatavua kohden. Aalto-yliopiston järjestelmissä on yhteensä noin 25 000 käyttäjätunnusta mukaan lukien henkilökunta ja opiskelijat. Käyttäjätunnuksia on enemmän kuin järjestelmiä käyttäviä henkilöitä, sillä samalla käyttäjällä voi olla tunnus eri kampusten järjestelmissä. Jokaisella käyttäjätunnuksella on kuitenkin tarjottava sama määrä tallennustilaa. Näin ollen varmennetun nettotallennustilan tarjoaminen 10 Gigatavun kotihakemistoiksi käyttäjää kohden maksaisi arviolta 600 000 euroa, jos tätä varten hankitaan uudet laitteet ja ohjelmistot. Käytännössä suurin osa käyttäjistä ei täytä kotihakemistojaan ylärajaan saakka. Tilankäyttöä ennakoimalla palvelu voidaan siis toteuttaa pienemmällä nettolevymäärällä.

Jos tallennuslaitteiston laatuvaatimuksista voidaan tinkiä, suuriakin tallennustiloja voidaan toteuttaa hyvin alhaisin kustannuksin. Myös tällaisille ratkaisuille voi olla tarvetta esimerkiksi työtilana tai ei-kriittisen aineiston väliaikaisena varastona.

## 4.2 Teknisiä palveluita

Tässä kappaleessa kuvataan eräitä verkkopalveluita, joita TaiKin Medialaboratorion ARKI-tutkimusryhmän tutkijat ovat toivoneet käyttöönsä. Näitä palveluita käytettäisiin rajoitetussa tutkimusverkossa siten, ettei niiden toiminta vaikuta tuotantoverkon palveluihin.

Usean palvelun kohdalla eräs toiveista oli, että tutkijat voisivat huolehtia itse palvelinten konfiguroinnista, mutta laitteistolle pitäisi kuitenkin tarjota ylläpito korkeakoulun puolesta. Ylläpidolla tarkoitetaan tässä tapauksessa ohjelmisto- ja tietoturvapäivitysten asentamista ja mahdollisesti käyttötukea.

Tässä mainittujen palveluiden lisäksi todettiin, että projektikohtaisesti olisi tarvetta IPv6-yhteyksille. Lisäksi varmuuskopiointimahdollisuutta pidettiin tärkeänä palveluna.

### 4.2.1 DNS

Tutkijoiden tarpeisiin kuuluu erilaisten domain-nimien hallinnointi. Toiveena esitettiin mahdollisuus tehdä muutoksia nimipalveluun alidomainien osalta. Tärkeänä pidettiin järjestelmään käyttöliittymän helppokäyttöisyyttä.

### 4.2.2 Sähköposti

Tutkijat toivoivat käyttöönsä sähköpostipalvelinta, jonka konfiguroinnista he voisivat vastata itse. Tällä tavoin heillä olisi mahdollisuus luoda esimerkiksi projektikohtaisia ja väliaikaisia sähköpostitunnuksia ja määrittää niiden jakelua muuttuvien tarpeiden pohjalta.

### 4.2.3 Tunnistuspalvelu

Yleiskäyttöistä tunnistuspalvelinta pidettiin tarpeellisena työkaluna useimmille projekteille. Palvelu voidaan toteuttaa esimerkiksi LDAP-tekniikalla (Lightweight Directory Access Protocol). Tätä voitaisiin hyödyntää erilaisten palveluiden käyttöoikeuksien hallinnassa.

### 4.2.4 WWW- ja Wiki-palvelut, jne.

Tutkijat toivoivat käyttöönsä WWW-palvelimia, joissa olisi mahdollista käyttää useita erilaisia siirtotekniikoita. Näitä ovat esimerkiksi HTTP (Hypertext Transfer Protocol) ja sen turvallisuustoiminnoilla laajennettu versio HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure). Näitä palveluita tutkijoilla on käytössään nykyäänkin, mutta toiveita esitettiin myös korkeakoulun tarjoamille palvelimille, joita voitaisiin käyttää sisäiseen ja ulkoiseen viestintään.

#### 4.2.5 Streaming media-palvelin

ARKI-ryhmän tutkimukseen kuuluu suurehkojen media-aineistojen käsittelyä. Tutkijat halusivat käyttää ja jakaa aineistoja myös streaming-tekniikoiden avulla. Palvelulle toivottiin käyttöoikeuksien hallintamahdollisuutta. Ratkaisun toivottiin toimivan siten, että aineistoja voi tutkia WWW:n kautta. Lisäksi tutkijat itse toivoivat mahdollisuutta vaikuttaa palvelimen toimintaan ohjelmointirajapinnan kautta.

#### 4.2.6 Tekstiviestiyhdyskäytävä, ääniyhdyskäytävä matkapuhelinverkkoon

Osassa tutkimusprojekteista tutkijoilla olisi tarvetta kommunikoida korkeakoulun verkossa sijaitsevien laitteiden kanssa matkapuhelinverkosta käsin. Erillisinä tarpeina mainittiin tekstiviestiyhteydet ja puheviestintä.

#### 4.2.7 Tuotettujen palveluiden siirtäminen testikäytöstä tuotantokäyttöön

Tutkimusryhmät tuottavat projekteissaan sähköisiä palveluita erilaisiin tarpeisiin. Esimerkki tällaisesta palvelusta on WWW-sivusto, jota varten on kehitetty erityisohjelmistoa ja aineistoa. Tutkimusprojektin aikana palvelua ylläpitävät projektin tutkijat. Tällaiset palvelut voivat olla hyödyllisiä tai tarpeellisia myös projektin päätyttyä, mutta käytettävissä ei ole yleistä järjestelmää palvelun ylläpidon jatkamiseksi. Onkin esitetty toive, että yliopisto voisi ottaa ylläpidettäväkseen tällaisia palveluita projektin päätyttyä.

### 4.3 Kirjastopalvelut

Yliopistojen kirjastoilla on ilmeisen tärkeä rooli tutkimuksen tukipalveluiden tarjoajana. Nykyaikaisissa yliopistokirjastoissa aineistoa tarjotaan painetun materiaalin lisäksi sähköisessä muodossa. Sähköisen aineiston jakelu vaikuttaa kirjastojen verkkotarpeisiin.

Kirjastopalveluihin kuuluvat myös erilaiset tietokannat. Tutkimusaineistoja kuvataan HSE:n RESCAT-tietokannassa ja TaiKin ReseDa-tietokannassa. TKK:n aineistoja puolestaan kuvataan tietokannoissa TKKtutkii, TKKjulkaisee, TKKtoimii. Nämä tietokannat ovat julkisesti luettavissa WWW-sivustojen kautta. On ehdotettu, että vastaavat tiedot olisivat tulevaisuudessa saatavilla Aalto-yliopiston yhteisen tietokannan kautta. Suunnitteilla olevasta järjestelmästä käytetään nimeä CRIS-IR (Current Research Information System and Institutional Repository). [3]

### 4.3.1 Sähköiset palvelut ja aineistot

Painetun aineiston tutkiminen vaatii tutkijalta yleensä käyntiä kirjastossa. Kirjastot tarjoavat kuitenkin myös laajaa kokoelmaa sähköisiä aineistoja käyttäjilleen. Niiden lukemiseen liittyvät oikeudet riippuvat kirjastojen tekemistä lisenssisopimuksista. Osa lisensseistä edellyttää käyttäjän läsnäoloa kirjaston tiloissa, osa taas sallii tunnistautuneelle käyttäjälle aineiston lukemisen myös Internetin välityksellä. Lisäksi saatavilla on vapaasti jaettavia aineistoja. Fyysistä läsnäoloa vaativien lisenssien lukuoikeuksia on usein rajoitettu IP-osoitteisiin perustuvalla suodatuksella.

Tutkijan työn sujuvuuden kannalta olisi tärkeää, että kirjastopalveluiden käyttö on mahdollisimman vaivatonta. Tämä on huomioitava myös tutkimuksen verkkoratkaisuja suunniteltaessa. Esimerkiksi Metsähovin radiotutkimusaseman tutkijat ovat joutuneet pitkähköstä maantieteellisestä välimatkasta riippumatta käyttämään tiettyjä kirjaston palveluita TKK:n Otaniemen tiloissa, koska tutkimusaseman omasta verkosta ei ole pääsyä tarvittaviin aineistoihin [15]. Pääsyn järjestäminen on mahdollista sekä lisenssien, että tekniikan näkökulmasta.

## 4.4 Julkinen WWW-palvelu erityissovelluksella

Julkisia WWW-palveluita voidaan käyttää tutkimusaineiston keräämiseen erilaisilla tavoilla. Kyselyiden teko WWW-lomaketta käyttäen on tyypillinen esimerkki tällaisesta tiedonkeruumenetelmästä. Tämän tyyppistä käyttöä varten on saatavilla erilaisia valmiita työkaluja, eikä projektikohtaisten erikoissovelluksien kehittäminen yleensä ole tarpeellista. Tutkijoilla voi kuitenkin olla tarvetta kehittää muita WWW-pohjaisia sovelluksia omiin tarpeisiinsa.

Esimerkki uudemmassa tavasta hyödyntää WWW:tä on University of Michiganissa kehitetty sovellus FunSAT, jonka tarkoituksena on kerätä tietoa logiikkafunktioiden käyttäytymisestä (Boolean Satisfiability Problem). Sivustolla on Java-sovelluksena toteutettu ongelmanratkaisupeli, jota pelaamalla käyttäjät antavat tutkijoille tietoa siitä, millä syötteillä funktio saa positiivisen arvon. Pelin visualisointitapa auttaa ihmispelaajaa hahmottamaan funktion käyttäytymistä tehokkaasti. Suurelta pelaajamäärältä voidaan kerätä dataa, jonka laskemiseen tarvittaisiin merkittävä määrä laskentakapasiteettia. [24]

Erikoistuneiden WWW-sovellusten kehittämistä varten tarvitaan tarkoitukseen sopivat palvelimet ja verkkoalueet, joissa niiden käyttö on turvallista. Palvelut voidaan kehityksen edettyä riittävästi siirtää tuotannossa oleville palveluille tarkoitettuihin verkkoympäristöihin. Tämä edellyttää kuitenkin ylläpidon järjestämistä näille palveluille.

## 4.5 Yleiskäyttöiset palvelimet ja virtuaalipalvelimet

Osa tutkimusprojekteista tarvitsee palvelimia, joissa voidaan ajaa useita palveluita siten, että tutkijat voivat vapaasti vaikuttaa niiden konfiguraatioihin ja asennettuihin ohjelmistoihin. Esimerkkejä näistä tarpeista on esitetty kappaleessa 4.2. Tutkijoiden monipuolisten ja muuttuvien tarpeiden täyttämiseksi käytössä voisi olla erityisesti tutkimusverkkoon sijoitettuja palvelimia, joiden käyttöoikeuksista sovittaisiin erikseen IT-palvelukeskuksen ja tutkimusryhmien välillä.

Erytiesi matalaa kuormitustasoa tuottavat palvelimet voidaan toteuttaa yksittäisten fyysisten laitteiden sijaan virtuaalikoneissa. Tällaisen ratkaisun etuja ovat joustavuus ja mahdollisuus ottaa käyttöön uusia koneita nopeasti ilman erillistä laitteistohankintaa. Joitakin tutkijoiden tarvitsemia yksittäisiä palveluita voitaisiin tarjota siten, että tutkijat toimivat virtuaalikoneen ylläpitäjinä. Varsinaisen fyysisen laitteen ylläpito olisi IT-palvelukeskuksen hallinnassa. Virtuaalitoteutus laajentaa ylläpitäjien mahdollisuuksia palvelimen etäylläpitoon, sillä virtuaalikoneita voidaan hallinnoida etäkäyttöliittymästä käsin. Jos virtualisointialusta toimii klusterissa, virtuaalikoneet voivat jatkaa toimintaansa myös klusterin jäsenkoneen vikaantuessa.

Virtuaalipalvelinten heikkoutena on suorituskyvyn rajoitukset verrattuna erilliseen palvelimeen. Lisäksi virtualisointi tuo ylimääräisen ohjelmistokerroksen myötä monimutkaisuutta kokonaisjärjestelmään. Runsaasti suorituskykyä vaativien palveluiden toteuttaminen on järkevämpää fyysisessä palvelimessa suorituskyvyn maksimoimiseksi.

### 4.5.1 Virtuaalikoneiden kustannukset

Koska yksittäisessä palvelimessa tai klusterissa voidaan ajaa suurtakin joukkoa matalan kuorman virtuaalipalvelimia, voidaan virtualisoinnin kautta säästää laitteistokustannuksissa. Virtuaalikoneiden ylläpidon ja ohjelmistolisenssien kustannuksissa ei päästä yhtä selviin säästöihin kuin laitteiston osalta. Itse virtualisointijärjestelmän hinta riippuu valmistajasta ja

tuotteesta. Markkinoilla on maksuttomia vapaan lähdekoodin tuotteita, maksuttomia suljetun lähdekoodin tuotteita ja maksullisia kaupallisia tuotteita.

Esimerkiksi yleisesti käytetyn VMWare-tuotteiden laajempiin järjestelmiin tarkoitettut versiot ovat maksullisia. Lisäksi on huomioitava jokaisessa yksittäisessä virtuaalikoneessa ajettavien ohjelmistojen lisenssit – tältä osin kustannus on sama, kuin yksittäisiä palvelimia käytettäessä. Maksuttomia käyttöjärjestelmiä, kuten Linux- tai BSD-pohjaisia järjestelmiä voidaan asentaa myös virtuaalikoneisiin rajoituksetta. Windows-käyttöjärjestelmille Aalto-yliopistolla on kampuslisenssi, jonka kattavuus virtuaalikoneiden kannalta on syytä huomioida. OS X-käyttöjärjestelmää puolestaan ei myydä erillisenä asennettavaksi virtuaalikoneisiin, joten mahdolliset tarpeet OS X-palvelimille on edelleen toteutettava erillisissä palvelimissa.



## 5 Verkkoympäristön tekniikat

Tietoverkkoja voidaan hyödyntää tutkimuskäytössä lukuisilla tavoilla. Useimmat tutkijat alasta riippumatta hyödyntävät Internetiä yhteydenpidon ja tiedonhankinnan apuvälineenä. Verkkotekniikkaan liittyvässä tutkimuksessa taas niitä käytetään sekä työvälineenä että tutkimuskohteena. Lisäksi on monenlaisia välimuotoja näistä. Suurteholaskentasovelluksissa verkot ovat kiinteä osa käytettävien laitteiden toimintaa. Myös ohjelmistoihin liittyvät tutkimusprojektit käyttävät verkkoresursseja erilaisin tavoin riippuen sovellusten luonteesta – suuri osa käytettävistä sovelluksista hyödyntää tietoverkkoja. Erikoistarpeita aiheuttavat myös laskenta- ja mittausjärjestelmät. Tässä luvussa kuvataan verkkotekniikoiden kytkeytymistä tutkimuksen työvälineisiin ja erikoistuneisiin sovelluksiin. Samalla huomioidaan Aalto-yliopiston verkkojen nykytila tekniikoiden toteutusalueena.

### 5.1 Verkon infrastruktuuri

Tietoverkon infrastruktuuri koostuu fyysisistä osista, joista verkko rakennetaan. Näitä ovat kaapelit ja verkkolaitteet. Optisessa verkossa kaapelit koostuvat optisista kuiduista, sähköisissä puolestaan kuparikaapeleista. Langattomissa verkoissa radiotie korvaa kaapeloinnin. Aktiivisia verkkolaitteita ovat esimerkiksi kytkimet, reitittävät laitteet sekä middleware-laitteet, kuten palomuurit. Passiivisia verkkolaitteita ovat ristikytkentäpaneelit ja optisissa CWDM-verkoissa käytettävät multiplekserit.

Aalto-yliopiston kampusverkot on toteutettu pääosin Ethernet-tekniikalla. Runkoyhteydet ja Funet-yhteydet ovat optisia yhteyksiä, kun taas liityntäverkot on kaapeloitu kuparikaapelein. Kaapeloinnin ja laitteiston standardit, ikä ja kunto vaihtelevat sekä kampuskohtaisesti, että kampusten sisällä. Aalto-yliopistoa varten on kuitenkin vuodesta 2008 tehty yhteistä verkkosuunnittelua käytäntöjen yhtenäistämiseksi.

### 5.2 Langattomat verkot

Langattomat verkot liittyvät Aalto-yliopistoissa tutkimukseen sekä työkaluina, että tutkimuskohteena. Langattomat verkot (WLAN) ovat tyypillisissä korkeakoulujen ratkaisuisa jatke langalliselle verkolle. Niiden pääasiallinen tarkoitus on toimia liityntätapana langalliseen verkkoon, josta on pääsy Internetiin ja tiettyihin sisäverkon palveluihin. WLAN-verkon avulla käyttäjät voivat liittää työasemansa verkkoon riippumatta paikallisten fyysisten

verkkopisteiden saatavuudesta. He voivat myös liikkua verkon kuuluvuusalueella ilman verkkoyhteyden katkeamista.

### 5.2.1 Langattomuuteen liittyviä haasteita

Langattomuus tuo lisähaasteita tekniseen toteutukseen. Koska verkkoon liittyminen ei edellytä konkreettista kytkentää fyysiseen verkkopisteeseen, voivat epätoivotut käyttäjät liittyä verkkoon. Lisäksi radiotien salakuuntelu on usein helpompaa kuin kaapeliliikenteen salakuuntelu. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi langattomissa verkoissa voidaan käyttää erilaisia tekniikoita käyttäjän tunnistamiseksi ja liikenteen salaamiseksi. Lisäksi avoimissa verkoissa voidaan käyttää VPN-yhteyttä käyttäjän kotiorganisaatioon liikenteen salaamiseksi.

Nykyisten WLAN-verkkojen suorituskyky riittää yleensä tavanomaisten työasemien tarpeisiin kampusverkkoon liittymiseksi. WLAN-käyttäjillä verkon taajuuskaista ja siten siirtokapasiteetti on kuitenkin jaettu useiden käyttäjien kesken. WLAN-verkkojen todellinen siirtonopeus on vain noin 30-40 % nimellisestä siirtonopeudesta, kun langallisissa verkoissa päästään vastaavasti yli 90 % tehokkuuteen [25]. WLAN-verkkojen kuuluvuus vaihtelee sisätiloissa paikallisesti riippuen tukiasemien sijoituspaikoista, ulkoisista radiotien häiriöistä sekä rakennuksen seinistä ja muista rakenteista. Radiotie on jaettu media, jossa käyttäjien määrä vaikuttaa suoraan yksittäisen käyttäjän kokemaan suorituskykyyn. Lisäksi 1-kanavaisella radiotien resurssien jako rajoittaa todellista käytössä olevaa siirtokapasiteettia. Näin ollen nykyiset langattomat verkot eivät riitä korvaamaan langallisia verkkoyhteyksiä niissä tapauksissa, joissa verkon suorituskyvylle asetetaan korkeita vaatimuksia.

### 5.2.2 Aalto-yliopiston langattomat verkot

HSE:n, TaiKin ja TKK:n langattomat verkot on rakennettu korkeakoulukohtaisten tarpeiden pohjalta. Näin ollen kirjautumiseen ja teknisiin järjestelyihin liittyvät ratkaisut poikkeavat toisistaan. Aalto-yliopistossa käytäntöjä yhtenäistetään.

Aalto Open on Otaniemen kampuksen paikallinen opiskelijoille, vierailijoille ja henkilökunnalle tarkoitettu langaton verkko. Käyttäjän tunnistusta tai salaustekniikoita ei käytetä, joten liittyminen verkkoon on täysin vapaata. Verkon kattavuutta levitetään Otaniemen kampuksen alueella. Aalto Openin ja Internetin välillä liikenne on pääosin rajoittamatonta, sen sijaan Otaniemen sisäverkkoihin ei ole suoraa pääsyä. Avoin langaton verkko käyttää erityisesti tätä tarkoitusta varten kaupalliselta operaattorilta hankittua erillistä Internet-yhteyttä. Tähän

ratkaisuun on päädytty, koska avoimen verkon käyttäjät halutaan erottaa korkeakoulun omista käyttäjistä esimerkiksi DNS-palvelussa. Avoimen verkon tarjoaminen on katsottu hyväksyttäväksi ratkaisuksi myös Otaniemen sijainnin vuoksi. Alueella on vähemmän muita asukkaita ja satunnaisia kävijöitä, kuin muilla kampuksilla.

Töölön ja Arabian kampuksille tulee käyttöön kirjautumista vaativat langattomat verkot, joihin liittyvät toimintatavat yhtenäistetään. Vierailijoille tarjotaan väliaikaisia käyttäjätunnuksia, joiden avulla he voivat liittyä verkkoon. Tunnuksia jaetaan mm. IT-palvelupisteessä. Internet-yhteyksiin käytetään yliopiston Funet-yhteyksiä. Pääsyä sisäverkkoihin rajoitetaan pakettisuodatuksella.

Edellä mainittujen verkkojen lisäksi kaikilla kampuksilla otetaan käyttöön eduroam. Siihen voivat liittyä sekä korkeakoulun oman organisaation, että muiden eduroamia tarjoavien organisaatioiden käyttäjät omilla käyttäjätunnuksillaan. Eduroamia kuvataan tarkemmin kappaleessa 6.2.1.

### 5.3 Klusterit ja gridit

Suurteholaskennan tehokkuutta on lisätty kasvattamalla laskentaan osallistuvien prosessoriytimien määrää. Tähän on erilaisia tapoja – voidaan lisätä yksittäisen prosessorin ytimien määrää, lisätä prosessoreita, tai liittää useita tietokoneita yhteen klusteriksi. Klusterin jäsenet voivat olla moniprosessorisia ja/tai moniytimisiä. Paikallisen klusterin etuja ovat muun muassa se, että sen ohjelmistoista ja hallinnasta voidaan päättää itse. Mahdolliset ongelmat ja huollot hoidetaan paikallisesti. Haasteena on puolestaan laajentamisen kalleus – laskentatehon kaksinkertaistaminen edellyttäisi kaluston kaksinkertaistamista. Tämä merkitsee periaatteessa kaksinkertaista laitteistokustannusta.

Laskentakapasiteetin kokonaistehon lisäämiseksi on kehitetty erilaisia hajautettuja ratkaisuja, joilla laskentatyö voidaan jakaa maantieteellisesti toisistaan erossa olevien koneiden kesken. Etäisyydet voivat vaihdella saman rakennuksen sisäisistä koko maailman kattaviin. Hajautetun laskentajärjestelmät jäsenkoneet muodostavat gridin. Sen organisointi riippuu suuresti tutkimussovelluksesta – analysoitavan aineiston koon suhde laskentakapasiteetin tarpeeseen. Grid-laskennan verkkokapasiteetille osoittamat tarpeet riippuvat yleensä juuri tästä suhteesta.

### 5.3.1 Pilvilaskenta

Pilvilaskennassa laskenta on hajautettu joukolle tietokoneita Internetin välityksellä. Luonteenomaista on, että pilven koko muuttuu dynaamisesti riippuen siihen liittyneiden koneiden määrästä. Pilven laskentaresursseja voidaan hyödyntää esimerkiksi tarjoamalla virtuaalista resurssia erilaisten tehtävien ratkaisemiseksi. Kaupalliset toimijat käyttävät pilviratkaisuja erilaisten verkkopalveluiden tarjoamiseksi. Esimerkiksi verkkotallennus-, varmuuskopiointi- ja laskentapalveluita tarjotaan erilaisin käyttöön perustuvien hinnoittelumallein. Varsinkin pienehkössä käyttötarpeessa tällainen hinnoittelu voi johtaa pienempiin kustannuksiin, kuin oman erikoistuneen laitteiston hankinta.

Pilvilaskennan tekniikoita voidaan hyödyntää myös laskentakapasiteetin vaihdossa jopa eri puolilla maailmaa toimivien tutkimusryhmien kesken. Tällöin hajautuksessa käytettävä ohjelmisto ja varsinainen laskentasovellus määrittävät verkolle aiheutuvat erityistarpeet. Tutkimusverkoissa tällaisten sovellusten käytölle tulee tarjota mahdollisuus.

### 5.3.2 Esimerkitapaus: Folding@home

Eräs merkittävimmistä hajautetun laskennan sovelluksista on Stanfordin yliopistossa alkunsa saanut tutkimusprojekti Folding@home. Se on tutkimusprojekti, jonka kohteena on proteiinien käyttäytyminen. Tarkoituksena on löytää sairauksien hoidossa tarvittavaa tietoa.

Folding@home on eräs maailman suuritehoisimmista hajautetuista laskentaklustereista. Sen kapasiteetista valtaosa perustuu tavanomaisiin henkilökohtaisiin tietokoneisiin, sillä kuka tahansa voi osallistua projektiin asentamalla tietokoneeseensa pienikokoisen asiakasohjelman. Projektin palvelimet jakavat laskentatehtävän Internetin välityksellä pieninä osina sadoille tuhansille koneille, joissa asiakasohjelma on käytössä. Asiakasohjelma on saatavilla monille erilaisille käyttöjärjestelmille, joten yksittäiset gridin jäsenet voivat vaihdella vaatimattomista pientietokoneista aina supertietokoneisiin asti. Määrä korvaa tässä tapauksessa laadun, sillä suuri joukko vaatimattomia koneita pystyy hoitamaan laskentatehtävän siinä missä yksittäinen suurtietokonekin.

Folding@homen valttina on valtavan laskentakapasiteetin alhainen hinta. Uusia vapaaehtoisia käyttäjiä liittyy jatkuvasti mukaan, sillä prosessoriajan lahjoittaminen tutkimusprojektille ei konkreettisesti maksa käyttäjälle mitään. Lisäksi menestyksen taustalla on tutkimuskohteen luonne. Aineiston laajuuden ja laskentakapasiteetin tarpeen välinen suhde on riittävä

alhainen, jotta kotikäyttäjien Internet-yhteydet eivät ruuhkaudu laskennan aiheuttamasta liikenteestä. Vastaava hajautettu ratkaisu ei tuota yhtä tehokkaita tuloksia sellaisissa laskentatehtävissä, joissa aineiston määrä on hyvin suuri.

[26]

### 5.3.3 Tutkimuksen grid-yhteistyöhankkeet

CSC:llä on Suomessa tärkeä tieteellisen laskennan koordinoijan ja kehittäjän rooli. Se tarjoaa omia laskentapalveluitaan ja toimii yliopistojen kanssa yhteistyöhankkeissa. Tärkeä kansallinen laskentayhteistyöhanke on M-grid (Material Science Grid). M-gridin toimintaa kuvataan myös kappaleessa 3.2.5. M-grid hyödyntää NorduGrid-yhteistyöprojektissa kehitettyä väliohjelmistoa [27]. Lisäksi CSC on mukana pohjoismaisessa Nordic DataGrid Facility – yhteistyössä. Sen tarkoituksena on varmistaa Pohjoismaiden tutkimusyhteisöille mahdollisuus osallistua laajempiin laskennallisiin haasteisiin, kuin mihin kansallisen tason tutkimusryhmillä olisi mahdollisuus [28].

## 5.4 Virtuaaliorganisaatiot

Tutkijoiden ja elinkeinoelämän verkostoituminen kansallisella ja globaalilla tasolla edistävät poikkitieteellisten innovaatioiden syntymistä. Tärkeitä verkostoitumisen välineitä ovat erilaiset virtuaaliorganisaatiot, jotka vähentävät paikkasidonnaisuutta ja helpottavat informaation käsittelyä ja jakamista. Virtuaaliorganisaatioiden toiminta ylittää usein perinteiset korkeakoulujen organisaatorajat. Esimerkiksi joukko eri alojen tutkijoita voi muodostaa virtuaaliorganisaation tietyn tutkimusaihepiirin ympärillä. Virtuaaliorganisaatioilla on yhteys erilaisten verkkoresurssien käyttöön, kuten avoimiin ja suljettuihin verkkoyhteisöihin. Myös grid-järjestelmien käyttöoikeuksien hallinnassa hyödynnetään aiheeseen liittyviä virtuaaliorganisaatioita. Tällaisia organisaatioita ovat suomalainen materiaalitutkimuksen grid-infrastruktuuria hallinnoiva M-grid, sekä EU-rahoitteiset grid-yhteistyöorganisaatiot EGEE (Enabling Grids for E-sciencE) ja DEISA (Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications).

[29]

## 5.5 Virtuaaliverkot

Virtuaalikonetekniikka yleistyy nopeasti erilaisissa tietoteknisissä sovelluksissa. Erityisesti kevyesti kuormitettujen palvelimien toteutus virtuaalikoneina on järkevää sekä hankintakustannusten että ylläpidettävyyden kannalta. Palvelinten ja työasemien lisäksi virtuaalikonetekniikan avulla voidaan toteuttaa jopa koko koneiden välinen verkkoinfrastruktuuri. Tällaista verkkoa kutsutaan virtuaaliverkoksi.

### 5.5.1 Virtuaaliverkot tutkimusalustoina

Virtuaalisia verkkoympäristöjä voidaan hyödyntää silloin, kun ei ole mahdollisuutta luoda riittävän laajaa infrastruktuuria fyysisten laitteiden pohjalta. Laajoja verkkoja tutkittaessa on myös hyödyllistä, että verkkoon voidaan helposti luoda suuriakin määriä keskenään kommunikoivia virtuaalikoneita varsin pienellä vaivalla.

Ääriesimerkki laajan verkkoympäristön virtuaalitoteutuksesta on Kaliforniassa toimivan Sandia National Laboratories:n hanke, jossa supertietokoneita ja virtualisointitekniikkaa yhdistämällä toteutetaan jopa miljoona tietokonetta käsittävä verkkoympäristö. Ympäristön on tarkoitus mahdollisimman tarkasti jäljitellä Internetiä, jotta tutkijat voisivat havainnoida botnet-ohjelmistojen käyttäytymistä. [30]

Virtuaaliverkkoja voidaan perustaa tarvekohtaisesti projekteja varten. Tällöin käytettävissä on oltava infrastruktuuri, jonka päälle virtuaaliverkkoja voidaan rakentaa. Tarvittava kalusto voi vaihdella yksittäisestä melko vaatimattomastakin palvelimesta aina laajaan supertietokoneverkkoon saakka.

Esimerkkinä laajemmasta infrastruktuurista on yhteiseurooppalaisessa FEDERICA-hankkeessa toteutettu ympäristö, jossa tarjotaan tutkimuskäyttöä varten virtualisointipalveluita. Tavoitteena on luoda monipuolinen ja skaalautuva infrastruktuuri, joka ei rajoita käytettäviä tekniikoita. Tutkimusryhmä voi hakea FEDERICA-verkosta käyttöönsä ”siivua” (engl. slice), jolle voidaan rakentaa haluttu virtuaaliverkko. Virtuaaliverkon osat voivat fyysisesti sijaita eri puolille Eurooppaa sijoitetuissa palvelimissa ja niiden väliset virtuaaliset linkit on rakennettu kansallisten tutkimusverkkojen ja GÉANT:n tarjoaman fyysisen infrastruktuurin päälle. Käyttäjälle verkko näyttää tavanomaiselta fyysiseltä verkolta. [31]

Toinen merkittävä esimerkki laajasta virtuaaliverkkojärjestelmästä on PlanetLab. Se on eräs vanhimmista järjestelmistä laajissaan. PlanetLabiin kuuluu laitteita, jotka sijaitsevat fyysisesti eri

puolilla maailmaa. Yhdessä ne muodostavat virtuaalisen verkkokerroksen, josta käyttäjäryhmille voidaan jakaa ”siivuja” kokeita varten. Koska PlanetLabin koneet on aidosti hajautettu suurten välimatkojen päähän toisistaan, siinä voidaan testata todellisten yhteyksien vaikutusta verkkoliikenteeseen. Tässä suhteessa se vastaa aidosti Internetin olosuhteita. PlanetLabissa testataan erilaisia globaalien suuruusluokan palveluita, kuten tiedostonjakoa, hajautettua tiedostojen varastointia, sisällönjakoverkkoja, reitityksen ja ryhmälähetyksen (multicast) tekniikoita ja toimintahäiriöiden havaitsemista verkoissa. [32]

## 5.6 Kolmansien osapuolten tarjoamat verkkopalvelut

Internetissä toimii laaja kirjo yrityksiä, jotka tarjoavat verkossa käytettäviä palveluita. Kunkin palvelun hinta riippuu palveluntarjoajan liiketoimintamallista ja palvelun luonteesta. Tyypillisesti varsinkin tukipalveluista maksetaan tehtyjen sopimusten mukaisesti. Samalla tarjolla on jatkuvasti kasvava valikoima palveluita, jotka ovat loppukäyttäjälle maksuttomia. Näihin palveluihin ja niiden lisenssiehtoihin liittyy kuitenkin ongelmia, jotka ovat toistaiseksi ratkaisemattomia.

### 5.6.1 Maksuttomat verkkopalvelut

Maksuttomia verkkopalveluita ovat mm. lukuisat sähköpostipalvelut, kalenteri- ja toimistosovellukset, tiedostojenjakopalvelut, puhelupalvelut, jne. Suuria ja menestyksekkäistä yrityksiä tällä alalla ovat mm. Google, Microsoft, Skype ja Yahoo. Monet tutkijat käyttävät yhtiöiden tarjoamia maksuttomia palveluita työssään. Näiden palveluiden kautta heillä on käytössään tiettyjä resursseja, joihin verrattavaa palvelua yliopistot eivät tällä hetkellä tarjoa. Esimerkiksi Skype mahdollistaa puhe- ja videoviestinnän yhteistyökumppanien kanssa ympäri maailmaa käytännössä ilman kustannuksia. Skypen käyttö on myös levinnyt erittäin laajalle, joten lähes kuka tahansa Internetin käyttäjä voi hyödyntää sitä halutessaan.

Aalto-yliopiston tutkimustarpeita kuvaavassa raportissa todetaan, että maksuttomien palveluiden, kuten Skypen, Second Life:n, Google Docs:n ja Gmail:in käyttöä ei tulisi rajoittaa, vaan kehittää ja rohkaista Aalto-yliopistossa [3]. Näiden palveluiden käyttöehtoihin liittyy tekijöitä, jotka voivat olla yliopistomaailman kannalta ongelmallisia. Esimerkiksi Googlen sovellusten käyttöehdoissa todetaan: *”Lähetämällä, liittämällä tai esittämällä sisältöä asiakas myöntää Googllelle pysyvän, peruuttamattoman, maailmanlaajuisen, rojaltivapaan ja ei-yksinomaisen oikeuden jäljentää, mukauttaa, muokata, kääntää, julkaista, esittää ja levittää julkisesti mitä tahansa asiakkaan Palveluissa tai niiden kautta lähettämää, liittämää tai*

*esittämää Sisältöä”* [33]. Googlelle luovutetut oikeudet rajataan koskemaan ainoastaan palvelun tuotantoon liittyvään käyttöön.

Osaan tutkimusprojekteista liittyy esimerkiksi salassapitosopimuksia, joiden suhde palveluiden käyttöehtoihin on syytä olla tiedossa. Tällaisen materiaalin siirtäminen esimerkiksi Google Docs -palveluun saattaa rikkoa salassapitosopimuksen ehtoja, vaikka palvelun käyttäjä jakaisikin aineistoa ainoastaan projektin sisäisille henkilöille.

Skype-palvelun ongelmana taas on, ettei käyttäjä voi tietää miten ohjelma käyttää työasemaa ja verkkoa. Varsinkin Skypen osalta kyseessä on merkittävä ristiriita, sillä osa tutkijoista pitää sitä erittäin tärkeänä työkalunaan. Tästä huolimatta sen käytölle on asetettu rajoituksia. Tutkimusyhteisön nimenomaisesta toivomuksesta sen käyttö on kuitenkin nyttemmin sallittu Aalto-yliopistossa [34].

### 5.6.2 Maksuttomaan sähköpostiin liittyviä kysymyksiä

Maksuttomat WWW-pohjaiset sähköpostitunnukset ovat osoittautuneet monelle käyttäjälle yliopiston sähköpostitunnusta houkuttelevammaksi vaihtoehdoksi. Eräs tärkeä syy tähän on nopeasti kehittyvä käyttöliittymä. Lisäksi nykyiset ilmaispostijärjestelmät tarjoavat käyttäjälleen huomattavasti suurempaa tallennustilaa, kuin mihin yliopistoilla on mahdollisuus.

Yritysten tarjoamiin pilvipalveluihin perustuvien sähköpostijärjestelmien käytössä on kuitenkin juridinen ongelma. Järjestelmiä ei ole suunniteltu siten, että tietoja säilytettäisiin maantieteellisesti jossain tietyssä paikassa – koko mallin ideanahan on hajauttaa toiminnot niille alueille, joilla niiden toteuttaminen on kustannustehokasta. Suomalaisia yliopistoja sitoo kuitenkin viestintäsalaisuus, joka koskee sähköpostiviestejä siinä missä kirjeitäkin. Koska palveluntarjoaja ei voi taata tietojen säilyttämistä tietyllä alueella, palvelun käyttäjällä ei ole varmuutta siitä, minkä valtion alueella ne sijaitsevat. Näin ollen asiakkaalla ei ole myöskään varmuutta siitä, minkä valtion tietosuojalain alueella aineisto sijaitsee.

Lisäksi esimerkiksi Gmailin käyttösääntöjen mukaan käyttäjä antaa järjestelmälle luvan automaattisesti lukea sähköpostien sisältöä. Luettuja tietoja käytetään kohdistettujen mainosten näyttämiseksi käyttäjän kiinnostuksen kohteiden mukaan. [35]

Tämä ja alueellisuuteen liittyvä asia on huomioitava myös tutkimusprojektien mahdollisten salassapitosopimuksen alaisten projektien kannalta. Lisenssiehdot voivat tosin olla toisenlaiset



yrittäjille myytävissä maksullisissa palveluissa. Alueellisuuteen liittyvä kysymys on kuitenkin toistaiseksi nähty esteenä sille, että sähköpostipalveluita voitaisiin ostaa yliopistolle pilvipalveluna.

Tutkimusverkko ei sinällään voi ratkaista tutkimustarpeiden ja lainsäädännön välisiä ristiriitoja. Siihen voidaan kuitenkin tuottaa palveluita, joilla pyritään korvaamaan sellaiset palvelut, joiden hankkiminen ulkoiselta palveluntarjoajalta ei ole mahdollista. Näiden palveluiden tuotannossa voidaan hyödyntää tutkijoiden asiantuntemusta. Esimerkiksi sähköpostia varten voidaan tarvittaessa perustaa projektikohtaisia tai tutkimusverkon käyttäjille tarkoitettuja palveluita.

## 5.7 Fyysinen eristys

Varmin tapa eristää verkkoja toisistaan on käyttää kokonaan erillistä fyysistä infrastruktuuria. Tällöin eristettävät verkot eivät käytä yhteisiä kaapeleita tai aktiivilaitteita. Lisäksi on huolehdittava siitä, ettei verkkoon liittyvillä laitteilla ole mahdollisuutta tahattomasti tai tahallisesti yhdistää verkkoja toisiinsa langattoman yhteyden tai Internetin välityksellä.

Fyysiseen eristykseen liittyviä haasteita ovat korkeat laitteistokustannukset ja hallinnan monimutkaisuus. Useiden rinnakkaisten infrastruktuurien ylläpitäminen voi tuottaa suuren määrän ylimääräistä työtä. Rajoitetun erityisverkon rakentaminen esimerkiksi yksittäisen kytkimen ja kaapeloinnin varaan voi kuitenkin olla perusteltua.

## 5.8 Virtuaalilähiverkot (VLAN)

Virtuaaliset lähiverkot tarjoavat mahdollisuuden segmentoida laajaa verkkoympäristöä siten, että samaa fyysistä verkkoinfrastruktuuria käyttävät laitteet ovat eristettyinä toisistaan. Verkko voidaan siis jakaa osiin, joiden välillä liikennettä ei siirretä. Tyypillisessä laajassa verkkokokonaisuudessa virtuaalilähiverkkoja hallinnoidaan keskitetysti. Virtuaalilähiverkkojen asetukset jaellaan organisaatiossa oleville kytkimille hallintaverkon välityksellä.

### 5.8.1 Dynaamiset VLAN-verkot ja 802.1X

On usein tarpeellista rajoittaa koneiden ja käyttäjien liittymistä langattomiin ja langallisiin verkkoihin. Pääsyräjoituksia voidaan suorittaa eri tasoilla aina siirtokerroksesta sovellustasolle asti. Siirtokerroksen rajoitusta varten on kehitetty IEEE:n standardoima tekniikka 802.1X, jonka tarkoituksena on todentaa porttiin liitetty laite ja päästää ainoastaan sallitut laitteet liikennöimään verkossa. [36]

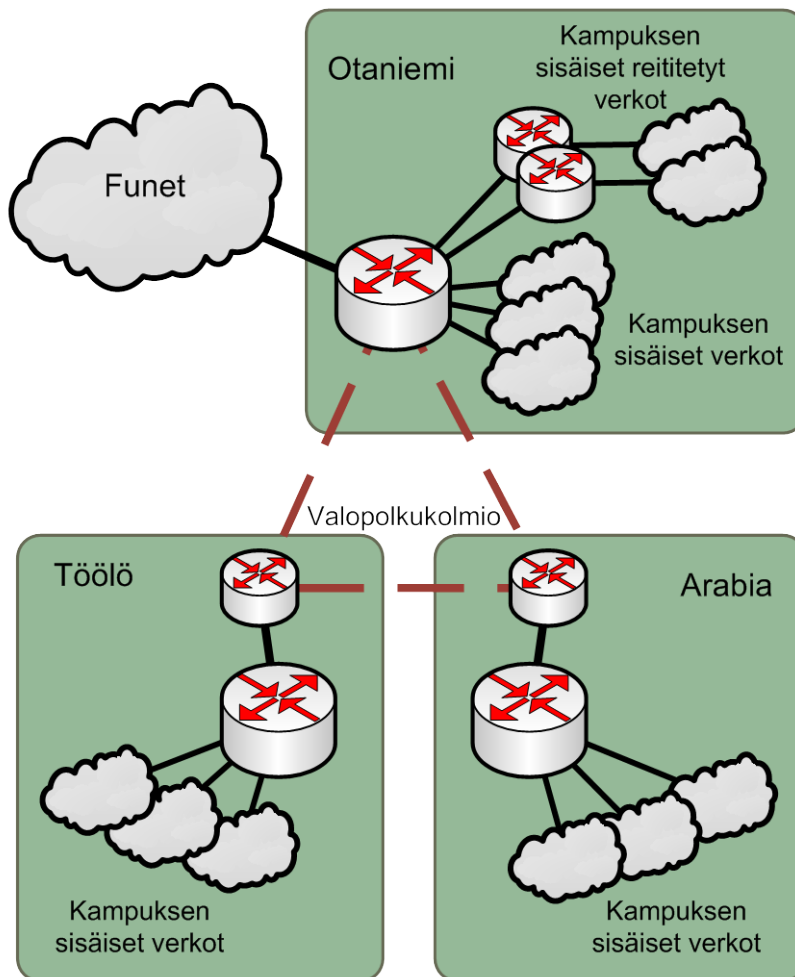
Pääsynvalvonnan lisäksi 802.1X:n laajennukset antavat mahdollisuuden jakaa virtuaalilähiverkot kytkinten porteille dynaamisesti. Virtuaalilähiverkon valinta suoritetaan automaattisesti aina kun laite kytketään porttiin. Portilla tarkoitetaan tässä tapauksessa liityntää langalliseen tai langattomaan verkkoon. Virtuaalilähiverkon valinnalle voi olla erilaisia kriteerejä, kuten laitteen MAC-osoite tai käyttäjän tunnistautumistieto. Dynaamisen virtuaalilähiverkkojaon etuna on, että tiettyyn verkkoon voidaan liittyä eri osissa organisaatiota ilman tarvetta konfiguroida portteja uudelleen. Tämä parantaa tutkijoiden mahdollisuuksia liikkua ja työskennellä kampusten alueella. Toisaalta ratkaisu edellyttää toimivaa todennuspalvelua, mikä lisää infrastruktuurin monimutkaisuutta verrattuna ratkaisuun, jossa kytkinten portit konfiguroidaan staattisesti ilman ulkoista todennusta.

Aalto-yliopiston työasemapolitiikan mukaan julkisissa tiloissa sijaitseviin verkkopisteisiin kytkettävät työasemat tunnistetaan ja sijoitetaan automaattisesti oikeaan verkkosegmenttiin [37]. Tämä toiminnallisuus voidaan toteuttaa 802.1X-järjestelmällä tai laitevalmistajakohtaisilla pääsynhallintajärjestelmillä. TaiKissa käytetään toistaiseksi Cisco VMPS-tekniikkaa VLAN-verkkojen dynaamiseen jakeluun kytkimeen liitetyn laitteen MAC-osoitteen perusteella. Muilla kampuksilla vastaavaa järjestelmää ei ole käytössä. Aalto-yliopistolle yhteistä ratkaisua ei ole vielä vahvistettu.

## 5.9 Reititysjärjestelyt

Aalto-yliopiston liittymistä Funet-verkkoon kuvataan kappaleessa 2.7. Ennen Aalto-yliopiston verkon käyttöönottoa kunkin kampuksen oma pääreititin hoitaa liikenteen reitityksen kampusverkon ja Funetin välillä. Tavoitetilassa kampuksia yhdistävät valopolut muodostavat kolmion muotoisen verkon. Aalto-yliopiston verkon ja Funetin välisestä liikenteestä huolehtivat Otaniemessä sijaitsevat reitittimet. TaiKin ja HSE:n nykyisten pääreititinten tehtäväksi jää sisäisten VLAN-verkkojen välinen reititys. Kampusten verkot toimivat edelleen toistaiseksi itsenäisinä kokonaisuuksina, mutta niiden välistä reititystä hoitavat Töölön ja Arabian kampuksilla sijaitsevat reunareitittimet. Lisäksi Otaniemen tiedekunnilla on omia verkkoja, joissa on käytössä paikallisia reitittimiä. Tavoitetilan reititystopologia esitetään kuvassa 7. Otaniemen pääreitittimen ja Funet-yhteyden kahdennus on jätetty pois kuvasta havainnollisuuden parantamiseksi. Käytännössä tavoitetilaan pääsemiseksi tarvitaan siirtymäaika, jonka kuluessa käytössä on sekä kolmiomuodostelma, että kampuskohtaiset reitit Funetiin.

Ennen Aalto-yliopiston perustamista TaiKin työasemille on jaettu pääasiassa privaattiverkon osoitteita. NAT-ratkaisun vuoksi suurin osa työasemista käyttää pientä määrää julkisia IP-osoitteita. Julkisia IP-osoitteita on jaettu työasemille tarpeen vaatiessa. TKK:n ja HSE:n tapauksessa työasemilla on pääasiassa julkiset IP-osoitteet. Aalto-yliopistossa työasemille jaetaan IP-osoitteita pääasiassa dynaamisesti DHCP-palvelun kautta. Tietty IP-osoite ja MAC-osoite voidaan tarvittaessa liittää toisiinsa pysyvästi.



Kuva 7. Aalto-yliopiston kampusten välinen reititys

## 5.10 Etätoimipaikat

Aalto-yliopistolla on etätoimipisteet Porissa, Vaasassa, Lahdessa, Mikkeliissä ja Kirkkonummen Metsähovissa. Näiden verkkoyhteyksiä on aiemmin järjestetty eri tavoin riippuen paikallisista ympäristöistä ja aiemmista hallinnollisista järjestelyistä. Porin, Lahden ja Mikkelin

etätoimipaikat yhdistetään Otaniemen kampukseen valopolkuyhteyksin Funet-verkon kautta. Tällä tavoin etätoimipaikkojen ja Otaniemen välille saadaan tarvittaessa L2-tason yhteydet. Myös tutkimusverkon levittäminen etätoimipaikkoihin on mahdollista valopolkua käyttäen. Vaasan toimipisteelle ostetaan IT-palvelut Vaasan yliopistolta. Metsähovin radiotutkimusasema tuottaa itse tarvitsemansa IT-palvelut.

### 5.11 Palomuurit ja reititinten pääsilylistat

Verkoissa hyödynnetään erilaisia ratkaisuja liikenteen suodattamiseksi. Liikennettä voidaan suodattaa tilallisen palomuurin tai tilattoman pääsilylistan avulla. Tilallinen palomuuuri säilyttää tietoa yhteyksistä eristämiensä verkkojen välillä, kun tilaton pääsilylistaperustainen suodatin tutkii ainoastaan yksittäisiä paketteja. Useisiin markkinoilla oleviin palomuuriratkaisuihin on lisätty myös monimutkaisempia sovellustasolle asti ulottuvia toimintoja liikenteen tutkimiseksi. Tilattoman suodatuksen etuna on vähäinen suorituskykyvaatimus verrattuna tilalliseen suodatukseen. Tilallisen palomuurin on pidettävä kirjaa avoimista yhteyksistä, joten siinä on oltava riittävä määrä muistia. Tilaton suodatus voidaankin usein toteuttaa reitittimen omilla toimintoilla, kun taas tilallinen yhteys edellyttää usein joko erillistä laitetta tai moduulia reitittimeen. Tilattomaan suodatukseen liittyy kuitenkin rajoituksia, sillä se ei anna mahdollisuutta tutkia liikennetilannetta kokonaisuutena – tilallinen palomuuuri voi esimerkiksi vertailla eri yhteyksien liikennettä ja toimia dynaamisesti tämän perusteella.

Tilallinen palomuuuri voi muodostaa verkossa pullonkaulan, jota voidaan hyödyntää palvelunestohyökkäyksessä. Tästä syystä käytettävän laitteen suorituskyvyn tulisi olla riittävä suhteutettuna sisäverkon ja operaattorin väliseen yhteyteen. Sama sääntö pätee myös muihin verkkojen välisiin laitteisiin, kuten WWW-välityspalvelimiin [25].

Turvallisuutta voidaan lisätä perustamalla liikenteen suodatus usean puolustuslinjan malliin. Siinä sisäverkon ja julkisen verkon (esimerkiksi Internet) välillä on pääpalomuurilaitte, jonka tarkoituksena on suojata koko sisäverkkoa ei-toivotulta liikenteeltä. Työasemissa ja palvelimissa käytetään laitekohtaisia ohjelmistopalomuuureja. Lisäksi sisäverkon alueiden välillä voidaan käyttää erillisiä palomuuureja liikenteen hallittavuuden parantamiseksi.

HSE ja TaiK käyttävät verkkojensa ulkoreunalla tilallista palomuurisuodatusta. TKK:n verkon ulkoreunalla on käytössä tilaton suodatus. Mahdollisuuksia Aalto-yliopiston verkon suojaamiseen tilallisella palomuurilla selvitetään.

## 5.12 Multicast

Multicast-tekniikoiden avulla laite voi lähettää liikennettä usealle vastaanottajalle samanaikaisesti siten, että tieto siirretään ainoastaan kerran linkkiä kohden. Tällä tavoin säästetään siirtotien kapasiteettia verrattuna tilanteeseen, jossa viesti lähetettäisiin erikseen jokaiselle vastaanottajalle.

IP-multicast-tekniikoita on kehitetty jo noin 20 vuoden ajan, mutta niiden soveltaminen on ollut hidasta. Niitä hyödynnetään organisaatioiden sisäisissä verkoissa, mutta Internetissä tekniikoiden käyttö on rajallista. Eräs multicast-lähetysistä hyötyvä palvelu on televisiokuvan siirto IP-verkossa. [25 ss. 41-45]

CSC tarjoaa Funet-verkossa Funet-Antenni-nimistä palvelua, jossa televisio-ohjelmia voidaan siirtää Funet-verkon kautta yliopistojen verkkoihin. Tavallisten TV-kanavien lisäksi Funet-Antennia voidaan käyttää myös sen käyttäjien tuottaman aineiston jakeluun. [38]

## 5.13 Verkon suorituskyky ja PERT

Tietoverkkojen suorituskyky saattaa jäädä alle odotettujen arvojen esimerkiksi TCP-protokollan asetuksista johtuen. Verkon suorituskyvyn mittaamiseksi ja ongelmien paikallistamiseksi on käytettävissä erilaisia välineitä. Näistä tavallisimmin käytettyjä ovat ohjelmat kuten ping ja traceroute, joiden avulla voidaan tarkastella verkkolaitteiden toimintaa ja reititystä. Verkon siirtokapasiteetin mittaukseen voidaan niin ikään käyttää erilaisia ohjelmistotyökaluja. Vikojen paikallistaminen voi kuitenkin olla haasteellista erityisesti organisaatioiden välisillä yhteyksillä. [25 ss. 74-77]

CSC on perustanut oman PERT-palvelun (Performance Enhancement Response Team), jonka tehtävänä on kehittää verkkojen suorituskykyä. Asiakkaat voivat hyödyntää CSC:n asiantuntemusta Funet-verkkoon liittyvissä ongelmatilanteissa. Funetin PERT toimii yhteistyössä GÉANT-verkon vastaavan ryhmän kanssa. [39]

## 6 Tulevaisuuden näkymiä

Verkkotekniikka kehittyy jatkuvasti kasvavien tarpeiden myötä. Liikenne lisääntyy jatkuvasti uusien käyttäjien ja sovellusten myötä, joten nopeuden kasvattaminen on eräs verkkotutkimuksen jatkuvista tavoitteista. Lähitulevaisuudessa yleistäviä sovelluksia ovat mm. virtuaaliverkot ja erilaiset identiteetin hallinnan ratkaisut.

### 6.1 Verkkojen siirtonopeuden kehitys

Tällä hetkellä nopeimmat laajalle levinneet runkoyhteydet toimivat 10 Gbit/s nopeudella. Liikennemäärät kasvavat jatkuvasti niin tutkimusverkoissa, kuin Internetissä yleisestikin. Tarve nopeampien verkkotekniikoiden kehittämiseen on suuri varsinkin runkoyhteyksien osalta, sillä koneiden määrät kasvavat jatkuvasti. Markkinoilla on 40 Gbit/s laitteita ja niitä otetaan käyttöön suurta kapasiteettia vaativissa runkoyhteyksissä. Esimerkiksi NORDUnet ottaa käyttöön 40 Gbit/s yhteyksiä vuonna 2009 [40]. Seuraavaksi markkinoille tulevat nopeudella 100 Gbit/s toimivat laitteet. Näihin liittyy kuitenkin vielä teknistä kehitystyötä, jota laitevalmistajat tekevät saadakseen uudet tuotteet myyntiin [25].

Työasemien liityntäyhteydet toimivat tyypillisesti joko 100 Mbit/s tai 1 Gbit/s nopeudella. Toistaiseksi 100 Mbit/s portit ovat hankintahinnaltaan edullisempia, kuin 1 Gbit/s portit. Tulevaisuuden huomioiden on kuitenkin syytä hankkia lähinnä 1 Gbit/s portteja. Työasemien nykyiset liityntäyhteydet on toteutettu lähes poikkeuksetta kuparikaapeleilla. Myös 10 Gbit/s Ethernet-verkko voidaan toteuttaa ainakin liityntäkaapeloinnin osalta kuparikaapelein. Tekniikka edellyttää kuitenkin uudemman standardin mukaista kaapelointia. Tästä syystä on mahdollista, että kaapelointia joudutaan uusimaan monin paikoin ennen kuin 10 Gbit/s työasemaliitynnät voidaan ottaa käyttöön.

#### 6.1.1 Linkkien yhdistäminen

Useita linkkejä yhdistämällä eli aggregoimalla voidaan tarvittaessa lisätä siirtonopeutta kahden laitteen välillä. Ratkaisun etuna on myös osittainen vikasietoisuus, sillä yhteys jatkaa yleensä toimintaansa yhden linkin vikaantuessa. Yhdistämistekniikoita voidaan käyttää monenlaisissa verkoissa, mutta tyypillisimpiä käyttökohteita ovat runkoverkot. Esimerkiksi useita 10 Gbit/s yhteyksiä yhdistämällä voidaan kiertää yksittäisen yhteyden nopeusrajoitusta ja lisätä suorituskykyä.

Linkkien yhdistäminen voi aiheuttaa ongelmia suuren datamäärän reaaliaikaisessa siirrossa. Yhteyksiä jaetaan useimmissa toteutuksissa yhdistetyille linkeille erilaisten algoritmien mukaan. Nämä on tavallisesti suunniteltu toimimaan parhaiten silloin, kun verkossa on käytössä suuri määrä yhteyksiä, joiden siirtonopeudet ovat pieniä verrattuna verkon kapasiteettiin. Tietyissä tutkimussovelluksissa tilanne on kuitenkin päinvastainen: verkossa on pieni määrä yhteyksiä, joiden siirtonopeus on lähellä verkon kapasiteettia. Tällöin on erityisen tärkeää, että yhteydet jakautuvat tasaisesti yhdistettyjen linkkien kesken. Radioastronomiassa käytetyn e-VLBI:n ratkaisua ongelmaan kuvataan kappaleessa 3.1.1.

Uusien verkkointensiivisten tutkimussovellusten kehityksessä pyritään yleensä välttämään ongelma jakamalla siirrot pienempiin yksittäisiin osiin. Tämä saattaa auttaa ongelman ratkaisussa, mutta vaatii myös erikoistuneita ohjelmistoratkaisuja.

### 6.1.2 WDM-tekniikat

Olemassa olevien optisten yhteyksien siirtokapasiteettia voidaan kasvattaa nopeuden kasvattamisen ohella myös ajamalla useita yhteyksiä samassa kuidussa. Tämä on mahdollista WDM-tekniikoiden avulla. Eri taajuusalueita käyttämällä yksittäisen kuidun siirtokapasiteetti voidaan moninkertaistaa. Taajuuskanavoinnilla toteutettuja päästä-päähän-yhteyksiä kutsutaan valopoluiksi. Vaikka WDM-tekniikoiden käyttö edellyttääkin erikoistunutta optista laitteistoa, kustannukset voivat olla alhaisemmat kuin kuituinfrastruktuurin uusiminen. WDM-tekniikoilla muodostettuja linkkejä voi myös yhdistää samaan tapaan kuin mitä tahansa siirtoyhteyksiä, joskin vikasietoisuus ei parane yhteyksien kulkiessa samassa kuidussa. Lisäksi valopolkujen avulla voidaan muodostaa päästä-päähän-yhteyksiä eri pisteiden välillä tarpeen mukaan. CWDM- ja DWDM-tekniikat ovat jo tuotantokäytössä esimerkiksi Funet-verkossa.

DWDM:n tapauksessa päästään erityisen tehokkaaseen taajuuskaistan käyttöön, sillä samassa kuidussa voidaan ajaa enimmillään jopa 160 kanavaa. CWDM-ratkaisuissa puolestaan voidaan käyttää passiivisia optisia laitteita, joiden hankinta- ja ylläpitokustannukset ovat DWDM-verkkoa alhaisemmat. Kanavien maksimimäärä jää kuitenkin CWDM-verkossa kahdeksantoista optista kuitua kohden. [25]

WDM-tekniikoissa seuraava askel on dynaamisten valopolkujen tarjoaminen lyhytaikaiseen tarpeeseen perustuen. Esimerkiksi nykyinen Funetin WDM-verkon muutokset edellyttävät fyysisten kuitukytkentöjen muuttamista. Kehitteillä on kuitenkin ratkaisuja, joilla valopolkujen

reittejä voitaisiin muuttaa dynaamisesti. Tulevaisuudessa esimerkiksi tutkimusryhmille voidaan tarjota mahdollisuutta tilata valopolku kahden pisteen välillä tietyksi ajaksi. WDM-verkon reittien muutokset voidaan tehdä automaattisesti tai manuaalisesti etäyhteyksiä käyttäen. Tällaisen järjestelyn etuna on palvelunlaadun takaaminen pisteestä pisteeseen, sillä käyttöön saadaan verkkoyhteys, jota ei ole jaettu muiden käyttäjien kanssa. Dynaamisesti reititettäviä valopolkuja voidaan toteuttaa erilaisin tekniikoin, joista esimerkkinä mainittakoon UCLP (User Controlled LightPaths). Alalla ei kuitenkaan vielä ole yleisiä standardeja. Valopolkujen reititys rajoittuu toistaiseksi yksittäisten organisaatioiden alueelle. [25]

## 6.2 Identiteetinhallinnan nykyhetki ja tulevaisuus

Monissa organisaatioissa käyttäjä joutuu käyttämään useita erillisiä käyttäjätunnuksia ja salasanoja. Tämän taustalla on hallinnollisia, historiallisia, teknisiä ja tietoturvaan liittyviä syitä. Käyttäjän on vaikeaa muistaa suurta määrää tunnuksia varsinkin jos niiden käyttötiheys on alhainen. Ongelma kasvaa entisestään, jos käyttäjä toimii useissa eri organisaatioissa. Jos käyttäjät eivät muista tunnuksiaan ulkoa, he tarvitsevat useammin tukea käyttääkseen palveluita. Lisäksi he saattavat kirjoittaa tunnuksiaan ja salasanojaan muistiin paikkoihin, joista ne voivat joutua vääriin käsiin.

Tunnusten kasvavan määrän vuoksi organisaatioissa siirrytään käyttämään keskitettyjä identiteetinhallintajärjestelmiä. Markkinoilla on joukko kaupallisia tuotteita, joiden avulla organisaation eri tietojärjestelmien käyttöoikeuksia voidaan hallita keskitetysti. Identiteetinhallintaan voidaan integroida myös pääsynhallintatoimintoja, jolloin puhutaan IAM-järjestelmistä (Identity and Access Management). Myös Aalto-yliopistossa siirrytään tällaisen järjestelmän käyttöön. Keskitetyn identiteetinhallinnan hyötyjä ovat manuaalisen työn ja sitä kautta virheiden väheneminen sekä tunnusten vähenevästä määrästä johtuva helpompi muistettavuus. Keskitetty hallinta voi myös parantaa tietoturvaa esimerkiksi siinä tapauksessa, että työntekijän kaikki käyttöoikeudet voidaan lopettaa automaattisesti hänen poistuessaan organisaatiosta. Keskitetyn hallinnan kautta voidaan myös helpommin ottaa käyttöön kertakirjautumisjärjestelmä (single sign-on), jossa yhdellä kirjautumisella voidaan käyttää useita tietojärjestelmiä. [25]

Eurooppalaisissa tutkimusverkko-organisaatioissa ja muissa yhteistyöelimissä on käynnissä erilaisia identiteetinhallintaan liittyviä hankkeita. Niiden tarkoituksena on rakentaa teknisiä ja hallinnollisia järjestelyjä, joilla helpotetaan käyttäjätunnusten hallintoa. Organisaatioita



yhdistäviä identiteettijärjestelmiä kutsutaan federaatioiksi. Niihin liittyy kokoelma prosesseja, standardeja ja tekniikoita, joiden avulla käyttäjän identiteettitietoja voidaan vaihtaa organisaatorajojen yli. Kunkin käyttäjän kotiorganisaatio huolehtii käyttäjän identiteettitiedoista. Federaatiossa käytettävät järjestelmät hoitavat käyttöoikeusneuvottelut automaattisesti. [25]

Suomessa on käytössä kansallinen käyttäjätunnistusjärjestelmä Haka, jonka jäsenet muodostavat Haka-federaation [41]. Kalmar2 on hanke, jonka tavoitteena on luoda yhteinen käyttäjän tunnistusjärjestelmä Pohjoismaisten yliopistojen opiskelijoille ja tutkijoille [42]. Järjestelmän avulla käyttäjät voisivat kirjautua käyttämään erilaisia WWW-pohjaisia verkkoresursseja ilman uusien tunnusten luontia. Suomesta Kalmar2-hankkeeseen osallistuu Haka-federaatio. CSC toimii luottamusverkoston operaattorina ja hallinnoi luottamusverkoston toimintaa.

### 6.2.1 Eduroam

Eduroam on identiteetinhallintaan liittyvä kansainvälinen hanke. Sen tarkoituksena on edistää tutkijoiden ja opiskelijoiden liikkuvuutta sekä yliopistojen välistä yhteistyötä. Hankkeen tuotteena on roaming-infrastruktuuri, joka mahdollistaa käyttäjän liittymisen langattomaan verkkoon hänen vieraillessaan toisessa Eduroamia tarjoavassa organisaatiossa. [43]

Käyttäjä tunnistautuu käyttäen kotiorganisaationsa käyttäjätunnuksia. Kotiorganisaatio toimii siis identiteetintarjoajana (Identity Provider, IdP). Vierailun kohteena oleva verkko puolestaan toimii palveluntarjoajana (Service Provider, SP). Se tekee päätöksen käyttöluvan myöntämisestä identiteetintarjoajan antamien tietojen perusteella. Tähän käytetään 802.1X-tekniikkaa, jota kuvataan kappaleessa 5.8.1. Eduroam-verkkoon liittyminen tapahtuu käyttäjän kannalta samalla tavalla kaikkialla missä se on käytettävissä. Tunnistautumistietojen siirrossa käytetään hierarkista RADIUS-palvelimista koostuvaa järjestelmää. Tyypillisesti paikallisen palveluntarjoajan RADIUS-palvelin on yhteydessä paikalliseen käyttäjätietokantaan ja vaihtaa tietoja kansallisen RADIUS-palvelimen kanssa. Kansallinen palvelin on kytketty Euroopan keskuspalvelimeen. [44]

Eduroamia on testattu TKK:ssa vuoden 2009 aikana. Järjestelmän laajempi käyttö Aalto-yliopistossa edellyttää käyttäjätunnusten välittymistä kaikkien kampusten käyttäjiltä eduroam-

palveluun. Eduroam otetaan tuotantokäyttöön Aalto-yliopistossa, kunhan sen taustajärjestelmät toimivat riittävän hyvin.

### 6.3 Palvelun laatu (Quality of Service)

Palvelun laadulla tarkoitetaan palvelulle ja liikenteelle asetettuja rajoja, joita sovelletaan yksittäisiin paketteihin yhteyden elinaikana. Laadun kriteerejä tietoverkossa ovat siirtonopeus, viive ja sen vaihtelu sekä pakettihukka. Nykyiset tietoverkot on pääasiassa rakennettu toimimaan Best Effort –periaatteella. Jokainen verkon käyttäjä voi oman liityntäyhteytensä asettamissa rajoissa lähettää verkkoon haluamansa määrän liikennettä. Internet ei nykymuodossaan tarjoa mahdollisuutta varata siirtokapasiteettia tiettyä tarkoitusta varten halutun palvelutason saavuttamiseksi. [45]

Tietoverkkojen palvelun laadun takaamiseksi on kehitetty useita erilaisia tekniikoita, joiden avulla edellä mainittuihin ongelmiin voidaan reagoida. Niiden toteutukset riippuvat verkkolaittevalmistajasta, eikä niitä ole yleisesti käytössä Internetissä. Organisaation sisäisessä verkossa voidaan kuitenkin nykyisillä laitteilla toteuttaa esimerkiksi kapasiteetin varaus VoIP-liikennettä varten. Esimerkiksi MPLS-tekniikalla voidaan jakaa kapasiteettia verkon eri osissa halutulla tavalla [25]. Aalto-yliopiston kampuksilla tätä ei ole toistaiseksi katsottu tarpeelliseksi, koska verkon kapasiteetti on käytännössä osoittautunut riittäväksi ilman palvelun laatutasojen määrittelyäkin.

Liikenteen priorisointi, kaistan takaaminen ja traffic engineering –tekniikat voivat olla tarpeellisia riippuen tutkimusprojektista. Näiden toteuttaminen saattaa olla mielekkäintä projektikohtaisissa rajoitetuissa verkoissa.

#### 6.3.1 Puheluiden välitys

Tietoverkossa välitettävät puhelut ovat tyypillinen sovellus, jota varten yritykset ovat toteuttaneet QoS-ratkaisuja sisäverkoissaan. Puheluiden välityksessä käytetään VoIP-tekniikkaa (Voice over Internet Protocol). Puheliikenne edellyttää verkon kannalta katsottuna lyhyttä viivettä, vähäistä viiveenvaihtelua ja yhteyksien määrästä riippuen suurtakin siirtokapasiteettia [45]. Palvelun saatavuuden ja laadun tulisi käyttäjän näkökulmasta vastata perinteisissä puhelinverkoissa koettua tasoa erityisesti niissä tapauksissa, joissa tietoverkossa välitettävät puhelut korvaavat perinteisen puhelinverkon. Tällöin verkon on pystyttävä huolehtimaan esimerkiksi hätäpuheluista erilaisissa vaaratilanteissa. Palvelun laadun

takaaminen erikoistilanteissa edellyttää asiaankuuluvia teknisiä ratkaisuja. Myös tutkimusverkkokontekstissa voi olla tarpeellista varata kapasiteettia puheluita tai muita erityisiä liikennetyyppejä varten.

## 6.4 IPv6-verkot

IPv4-protokollan ongelmat ovat olleet yleisesti tunnettuja jo monia vuosia. Keskeisin näistä on protokollan osoiteavaruuden rajallisuus. IPv4:n osoiteavaruuden käyttöä on tehostettu käyttäen erilaisia tekniikoita, joita ovat esimerkiksi CIDR (Classless Inter-Domain Routing) ja NAT. Näistä toimenpiteistä huolimatta IPv4-osoitteet ovat loppumassa.

IP-protokollan versio 6 kasvattaa verkkoliikenteessä osoitteen pituuden 32:sta bitistä 128:aan bittiin [25]. Käytännössä tämä merkitsee, etteivät IPv6-osoitteet lopu kesken minkään ennustettavissa olevan teknisen kehityksen tuloksena. Tästä huolimatta IPv6:n käyttöönotto tapahtuu maailmanlaajuisesti erittäin hitaasti [25]. Laittevalmistajat parantavat vähitellen protokollan tukea valmistamissaan laitteissa, mutta kysyntä markkinoilla ei ole pakottanut niitä kiirehtimään asiassa.

Ohjelmistopohjaisia IPv6-ratkaisuja on ollut saatavilla jo vuosikausia, eikä mikään estä niiden käyttöä rajatun laajuisissa verkoissa. Internetissä IPv6-palveluiden tarjonta on kuitenkin varsin vähäistä. Laajoissa verkoissa IPv6:n käyttöönotto edellyttää tehokasta ja ajanmukaista kalustoa, joten esimerkiksi reitityksen toteuttaminen ohjelmistopohjaisella laitteella voi aiheuttaa ongelmia. Halua tarvittavaan investointiin ei välttämättä löydy niiltä toimijoilta, joilla on jo riittävästi IPv4-osoitteita käytössään.

Aalto-yliopiston yhteisessä verkkosuunnittelussa on asetettu odottavalle kannalle IPv6:n suhteen. Laitehankinnoissa varaudutaan käyttöönottoon, mutta varsinainen toiminta on vähäistä. Tutkimusverkoissa mahdollisuus IPv6:n välittömään käyttöönottoon on kuitenkin tärkeää, sillä siihen liittyvää tutkimukseen ja sovelluskehitykseen on tarjottava mahdollisuus.

### 6.4.1 Vaihtoehdot IPv6:lle

Vaikka IPv4:n ongelmat ovat olleet yleisesti tiedossa jo pitkään, IPv6:n globaali käyttöönotto etenee hitaasti. Sen soveltamiselle on esitetty myös vaihtoehtoja. Niiden perustana on ajatus, että vaikka IPv6 ratkaiseekin osoiteavaruuden rajoituksiin liittyvän ongelman, on myös muita kysymyksiä joihin se ei tuo vastausta. Yksi nykyisen Internetin ongelmista on BGP-reititystaulujen koon kasvu, josta seuraa jatkuva tarve hankkia aiempaa tehokkaampia

reitittämiä. Tämä puolestaan aiheuttaa kustannuksia sekä laitehankintojen, että energiankulutuksen muodossa. IPv6:een liittyvä reititysmalli ei tuo muutosta tähän. Itse asiassa IPv6:n käyttöönotto jopa lisää ongelmaa ainakin väliaikaisesti, sillä organisaatiot joutuvat pitkään ylläpitämään sekä IPv4-, että IPv6-osoitteisiin perustuvaa osoitteistoa [46]. IPv6-osoitteiden pituus on nelinkertainen IPv4-osoitteisiin verrattuna, joten myös tästä johtuen muistin tarve lisääntyy [25 ss. 36-44].

Eräs tapa vastata reitityksen skaalautuvuusongelmiin on järjestelmä, jossa käytetään erillisiä osoitteita sisä- ja ulkoverkolle. Kullakin organisaatiolla on locator-osoite, jota käytetään verkkojen välisessä reitityksessä. Organisaation sisällä reititys puolestaan hoidetaan laitekohtaisella ID-osoitteella. Tällä tavoin Internetin reititystaulut käsittävät ainoastaan locator-osoitteita. Tällaiseen topologiaan perustuu esimerkiksi LISP (Locator Identifier Separation Protocol) [47]. Myös muita identifier/locator-jaotteluun perustuvia ratkaisuja on olemassa, esimerkiksi HIP (Host Identity Protocol). Nykytilanteessa on kuitenkin vielä epäselvää voiko Internet edelleen tulevaisuudessa toimia mahdollisesti modifioidun BGP:hen perustuvan reitityksen varassa, vai tarvitaanko täysin uusia ratkaisuja [25 ss. 36-44]. Tähän liittyvä työ on kuitenkin vielä alkuvaiheessa ja keskustelu mahdollisista tulevista standardeista on kesken, joten merkittäviä muutoksia Internetin rakenteessa tuskin nähdään lähivuosina. Sen sijaan lähiverkoissa voidaan helpommin soveltaa ja tutkia erilaisia vaihtoehtoisia tekniikoita.

## 7 Hallinnolliset järjestelyt

Aalto-yliopiston IT-palveluiden toteutuksesta vastaa IT-palvelukeskus. Palveluiden tilaajana toimii Tietohallinto. Tässä kappaleessa kuvataan näiden organisaatioiden rooleja ja suhdetta tutkimusverkkoon.

### 7.1 IT:n organisointi

HSE:n, TaiKin ja TKK:n IT-palvelut yhdistettiin Aalto-yliopiston valmistelua varten vuonna 2008. Uudessa organisaatiossa Tietohallinto toimii IT-palveluiden tilaajana ja IT-palvelukeskus tuottajana. Tietohallinto ohjaa IT-palveluita politiikkojen tasolla. IT-palvelukeskus hoitaa käytännön suunnittelun, teknisen työn ja tarjoaa tukipalveluita käyttäjille.

#### 7.1.1 Tietohallinnon rooli

Aalto-yliopiston tietohallinto päättää IT-toiminnan linjauksista. Se kerää tietoa asiakkaiden tarpeista ja käyttää näitä tietoja sopiessaan palvelutuotannosta IT-palvelukeskuksen tai jonkin muun toimittajan kanssa. Tietohallinnon alaisuudessa on projektisalkku, joka sisältää IT-kehitysprojekteja. Lisäksi Tietohallinnon osana toimii tietoturvaryhmä, joka osallistuu toimintatapojen kehitykseen sekä seuraa ja valvoo tietoturvatilannetta yliopistossa. [48]

Tietohallinto toimii tutkimuksen ja opetuksen asettamien vaatimusten pohjalta linjatessaan niitä koskevia IT-päätöksiä. Lisäksi päätöksenteossa on huomioitava sopimusten ja lainsäädännön asettamat rajat. Tutkimusryhmien yhteistyökumppaneina olevat yritykset voivat edellyttää tutkimukseen osallistuvilta salassapitosopimuksia tai muita erityisehtoja projektin toteuttamiseksi. Tietosuojalainsäädännön noudattamista on valvottava. Yliopiston sisäisiä rajoituksia linjauksille asettavat taloudelliset seikat ja henkilöstöasiat.

Kirjastojen sähköisten aineistojen lisenssisopimukset asettavat tietohallinnon vastuulliseen asemaan siinä tapauksessa, että lisenssiehtoja rikotaan tahallisesti tai tahattomasti. Erilaisten verkkopalveluiden väärinkäytön estämiseksi Tietohallinnossa tehdään aktiivista työtä. Näiden palveluiden turvaaminen on tärkeää, sillä väärinkäytökset voivat aiheuttaa vaikeuksia sekä tutkijoille, että kaikille muillekin korkeakoulun toimijoille.

Tietohallinto pyrkii esittämään tietoturvan palveluna, jota tarjotaan asiakkaille. Oleellista on, että käyttäjät ymmärtävät tietoturvamenettelyiden perusteet. Tietoturvatoimenpiteet eivät myöskään saa haitata työskentelyä.

Tietohallinnon toiminnan haasteisiin kuuluu kehittämisen yhteisöllistäminen. Sen toimintatapoihin lukeutuvat käyttäjä tutkimukset, verkkokyselyt ja tietojen kerääminen kampuksilta muilla tavoin. Tiedotusta kehitetään vastaamaan käyttäjien tarpeita. Tutkimusyhteisön ja Tietohallinnon välinen kommunikaatio vaatii vielä kehittämistä.

[49]

### 7.1.2 IT-palvelukeskuksen rooli

IT-palvelukeskus toimii Aalto-yliopistossa Tietohallinnon tilaamien IT-palveluiden tuottajana. Sen tehtävänä on toteuttaa tilatut palvelut teknisesti, huolehtia niiden toimivuudesta ja ylläpidosta sekä tarjota palveluihin liittyvää asiakastukea ja neuvontaa. Palveluiden käytännön tason suunnittelu ja johtaminen tapahtuu osana IT-palvelukeskuksen omaa toimintaa. Palvelutasoista sovitaan Tietohallinnon palvelusalkkuryhmän kanssa, kehitysprojektit kuuluvat Tietohallinnon projektisalkkuun ja palveluiden turvallisuutta koordinoi Tietohallinnon tietoturvaryhmä.

### 7.1.3 Työasemapolitiikka

Yksi Tietohallinnon näkyvä tapa ohjata toimintaa on Aalto-yliopiston työasemapolitiikka. Siinä määritellään työasemien hankintaan, käyttöönottoon, käyttöön, poistoon ja hallinnointiin liittyviä toimintatapoja, oikeuksia ja velvollisuuksia. Työasemapolitiikan mukaan Aalto-yliopiston keskitetysti ylläpidettyyn työasemaympäristöön on luvallista liittää ainoastaan keskitetysti ylläpidettyjä työasemia. Ylläpidosta vastaa IT-palvelukeskus. Tutkimustyössä käytettävät työasemat, joiden ylläpitoon tarvitaan käyttäjän paikallisia ylläpito-oikeuksia, ovat siis kiellettyjä IT-palvelukeskuksen työasemaympäristössä. Nämä työasemat sekä mittalaitteiden ohjaustietokoneet ja muut keskitetyn ylläpidon ulkopuolelle jäävät erikoistietokoneet on liitettävä erilliseen suojattuun tutkimusverkkoon. Tällaisia laitteita kutsutaan työasemapolitiikan terminologiassa tutkimustyöasemiksi. Tutkimusverkon hyväksyttävän suojauksen ominaisuuksien tai teknisten ratkaisujen määrittely ei kuulu työasemapolitiikan piiriin. [37]

## 7.2 ITIL

ITIL on kokoelma parhaita käytäntöjä IT-palveluiden hallinnoimiseksi. Sen taustalla on Iso-Britannian valtiohallinnossa tehty työ IT-palveluntuotannon kehityksessä. ITIL:iä käytetään kansainvälisesti tuhansissa julkishallinnollisissa ja yksityisissä organisaatioissa [50]. ITIL-

käytäntöjen mukaiset prosessit ovat käyttöönottoaiheessa IT-palvelukeskuksessa. Käytössä on ITIL versio 3.

ITIL ei sisällä yksityiskohtaisia selostuksia siitä, miten kukin palvelu ja prosessi tulisi suorittaa. Kukin organisaatio on itse vastuussa prosessiensa muodostamisesta ja toteutuksen valvonnasta. ITIL:n tarkoituksena on tarjota kehikko, joka tarjoaa mahdollisuuden systemaattiseen suunnitteluun ja toimintaan. ITIL:n nykyisen versio 3:n ydin koostuu palvelustrategiaan, palvelusuunnitteluun, palvelutransitioon, palvelutuotantoon ja jatkuvaan palvelun parantamiseen liittyvistä käytännöistä. Ytimen osat koostuvat joukosta ohjeita prosessien muodostamiseksi. Ohjeita seuraamalla toiminnasta tulee organisoitua, systemaattista ja tehokasta. [51]

Käytännön tasolla eräs ITILiä noudattavan organisaation näkyvimmistä piirteistä on Single Point of Contact –periaate, jonka mukaan käyttäjät saavat kaiken tarvitsemansa tukipalvelun yhdestä palvelupisteestä. Palvelupiste hoitaa tapahtumanhallintaa sekä toimii rajapintana asiakkaan ja taustalla toimivien tukiprosessien välillä. Näiden prosessien tehtävänä on puolestaan toteuttaa ongelmanhallintaa liittyviä toimenpiteitä, hallinnoida organisaation laitteisto- ja ohjelmistokantaa, huolehtia hallituista muutoksista organisaatiossa ja jatkuvasti parantaa organisaation prosessien toimintaa. [51]

### 7.2.1 ITIL ja tutkimusverkot

Koska IT-palvelukeskus noudattaa tulevaisuudessa ITIL-prosesseja, ne vaikuttavat myös tutkimusverkkotoimintaan. ITIL:n mukaista mallia voidaan hyödyntää tutkimusverkkopalvelun yksityiskohtaisessa suunnittelussa, toteuttamisessa, käyttöönotossa ja käytön aikaisessa jatkuvassa parantamisessa. Tähän liittyy tutkimusverkkopalveluun liittyvien prosessien määrittelyä ja seuranta.

## 7.3 Kehitysprosessi

Tutkimustyön luonteesta johtuen on tärkeää, että tutkijoilla on mahdollisuus vaikuttaa työkalujensa kehitykseen. Tutkijoiden projektit ja siten verkkotarpeet muuttuvat jatkuvasti, joten tutkimusverkkoa varten tarvitaan kehitysprosessi, jonka kautta toimintaa voidaan jatkuvasti kehittää.

### 7.3.1 Co-creation ja tutkimus

Co-creation on konsepti, jossa palvelun tuottaja tai yritys luo arvoa yhdessä asiakkaan kanssa. Sen keskeisenä ajatuksena on tehdä palvelun tuotannosta entistä läpinäkyvämpää ja avoimempaa ottamalla asiakas mukaan kehitysprosessiin ja ideointiin. Oleellista on, että jokaista asiakasta palvellaan yksilöllisesti ja asiakkaalle muodostetaan kokemus arvoa sisältävästä palvelusta. [52]

Perinteisesti IT-palveluita on tuotettu varsin itsenäisesti toimivissa yksiköissä, joissa asiakkaan tarpeiden selvittämiseen ei ole ollut käytössä yhteisiä prosesseja tai menetelmiä. Tästä johtuen tavallisuudesta poikkeavien verkkopalveluiden saamiseksi käyttöön tutkimusprojektia varten on riippunut monesta muustakin asiasta kuin todellisesta tarpeesta.

Erikoistuneiden järjestelmien rakentaminen tutkimuskäyttöä varten on ollut pitkälti tutkimusryhmien vastuulla. Tämä onkin järkevää silloin, kun käytössä on uusimpia tai kehityksen alla olevia tekniikoita, joihin liittyvää asiantuntemusta ei yliopistossa ennestään ole. On kuitenkin olemassa yleisempiä tarpeita, joiden toteutusta varten myös tutkimusyhteisö voisi nykyistä paremmin hyödyntää IT-palvelukeskuksen resursseja.

Co-creation-toiminnan perustana on tiedon jakaminen palveluntuottajan ja asiakkaan välillä. Asiakkaan osallistuminen palvelun kehitykseen ja asiakkaiden keskinäinen vuorovaikutus tuovat kehitystyöhön merkittävän resurssin varsinaisen tuottajan resurssien rinnalle. Palveluiden tuotannossa huomioidaan asiakkaiden yksilökohtaiset tarpeet ja luodaan kokemus, jollaista palveluntuottaja ei voi tarjota itsenäisesti. Palveluiden tuotanto ei perustu valmiiseen ennalta määriteltyyn portfolioon, vaan asiakkaan oma panos tuo osansa kokemukseen. [53]

Työkalujen saatavuutta voidaan parantaa tarjoamalla tutkijoille paremmat mahdollisuudet vaikuttaa verkkoympäristön kehittämiseen. Yksi tapa parantaa tilannetta on co-creation-toiminta, jossa rajaa asiakkaan ja palvelua tuottavan organisaation välillä pyritään madaltamaan.

### 7.3.2 Co-creation: asiakkaan ja palveluntuottajan roolit ja toimintatavat

Asiakkaan ja palveluntuottajan välisen yhteistyön tarkoituksena on tuottaa arvoa molemmille osapuolille [54]. Tämä arvo merkitsee tutkimusverkkojen yhteydessä asiakkaan kannalta parempia työkaluja ja siten parempia edellytyksiä tutkimustyön tekemiseen. Kaupallisessa



ympäristössä palveluntuottaja tavoittelee ensisijaisesti taloudellista hyötyä, mutta yliopiston sisäisen palvelun tuotannossa tavoitteena on mahdollisimman hyödyllisen palvelun tuottaminen käytettävissä olevilla resursseilla. Yhteistyön tavoitteena on siis palveluntuottajan kannalta resurssien käytön tehostaminen. Yhteistyö antaa mahdollisuuden ymmärtää asiakkaan tarpeita paremmin, jolloin resursseja ei haaskata tarpeettomaan työhön.

IT-palvelukeskus ei ole nykyisessä organisaatiomallissa palveluiden tarjoajana tasavertaisessa kilpailuasemassa kaupallisten toimijoiden kanssa. Sen ensisijaisena tarkoituksena ei ole tuottaa voittoa omistajalleen, joten toiminnan taloudellinen ohjaus poikkeaa yksityisen sektorin toiminnasta. IT-palveluita voidaan kuitenkin ostaa myös kaupallisilta toimijoilta – esimerkiksi Taideteollisen korkeakoulun historiassa näin on tehty, vaikkakin IT-palvelut siirrettiin myöhemmin takaisin yliopiston sisäiseksi toiminnoksi. Oikeuttaakseen asemansa IT-palvelukeskuksen on siis voitava tarjota palveluitaan kustannustehokkaasti ja asiakkaan tarpeet huomioiden. Co-creation-toimintaan perustuvat yhteistyötavat voisivat antaa IT-palvelukeskukselle nykyistä paremmat mahdollisuudet toimintansa kehittämiseen. Kilpailuasetelmassa yhteisöllisyys ja asiakkaiden sitouttaminen ovat tapoja, joilla kehittämismahdollisuuksia voidaan tunnistaa ja hyödyntää [55].

Palveluntuottajan tehtävä on tarjota olosuhteet ja resurssit, joiden avulla asiakas itse tuottaa arvoa itselleen. Palveluntuottaja ei siis yksinään voi tuottaa arvoa, vaan ainoastaan tarjota arvonluontimahdollisuuksia asiakkaille. Palveluntuottaja voi kuitenkin oikeissa olosuhteissa olla asiakkaan kanssa sellaisessa kanssakäymisessä, että molemmat vaikuttavat toistensa prosesseihin. Edellytyksenä tälle on, että palveluntuottajan ja asiakkaan prosessit yhdistyvät kokonaisprosessiksi, jossa molemmat osapuolet ovat aktiivisia, oppivat toisiltaan ja vaikuttavat toisiinsa. Tätä kautta palveluntuottaja voi epäsuorasti toimia asiakkaan kanssa co-creation-suhteessa. [54 ss. 17-18]

Yhteisessä toiminnassa voidaan hyödyntää erilaisia teknisiä työkaluja, kuten WWW-sovelluksia, joiden avulla käyttäjät voivat vaihtaa tietoa. Voidaan myös järjestää erityisiä työpaja- tai koulutustilaisuuksia, joiden avulla yhteistyötä asiakkaiden kanssa tiivistetään. [56]

### **7.3.3 Tutkimusyhteisön asiantuntemuksen hyödyntäminen**

Co-creation perustuu palvelun tuottajan ja käyttäjän väliseen yhteistyöhön. Lisäksi tutkimusverkkojen kehityksessä voidaan hyödyntää myös muuta asiantuntemusta alalta.

Yhteistyötä voidaan tehdä muiden yliopistojen kampusverkkoja ylläpitävien henkilöiden kanssa sekä teknisellä tasolla, että tiedon ja ideoiden vaihdon muodossa. Funetin kautta on mahdollista saada tietoa erilaisista käytettävissä olevista tekniikoista ja ratkaisuista. Funetin ja kansainvälisten tutkimusverkko-organisaatioiden tapahtumissa jaetaan informaatiota myös vielä uudemmissa tekniikoista ja tutkimushankkeista, jotka koskevat myöhemmin tuotantokäyttöön saatavia tekniikoita. Näillä organisaatioilla on sekä sähköisiä, että painettuja julkaisuja, joiden kautta voidaan kerätä tietoa hyödyllisistä ratkaisuista.

#### **7.4 Tutkimuksen vaatimukset IT:lle (RSNRI-raportti)**

Aalto-yliopiston tutkimusyhteisön nykyisiä ja tulevia tarpeita käsitellään raportissa ”Research Service Needs and Research Infrastructure (RSNRI) in Aalto University”. Raporttia työstäneeseen työryhmään kuului edustajia HSE:stä, TaiKista ja TKK:sta. Raportissa työryhmä antaa joukon suosituksia tutkimustoimintaan liittyvien palveluiden ja infrastruktuurin toteuttamiseksi siten, että ne palvelisivat tutkimusyhteisöä mahdollisimman tehokkaasti. Raportti sisältää useita suosituksia, jotka liittyvät suoraan tai epäsuorasti IT-palveluihin.

Raportissa tutkimustyötä kuvataan nelivaiheisena prosessina, jonka jokaisessa vaiheessa hyödynnetään IT-palveluita. Vaiheita ovat taustatiedon etsintä, aineiston tuottaminen mittauksilla tai laskennallisesti, aineiston analyysi ja kommunikaatio. Taustatietoja voidaan hakea esimerkiksi Internetistä, julkaisuista, patenttiasiakirjoista ja erilaisista tietokannoista. Mittauksissa voidaan hyödyntää erikoistuneita ohjelmistotyökaluja ja simulaatioissa erilaisia laskentaresursseja. Analyysityökalut vaihtelevat tutkimusaiheesta riippuen yleiskäyttöisistä matemaattisista ohjelmistoista nimenomaan tiettyä tutkimustarkoitusta varten rakennettuihin ohjelmistoihin. Kommunikaatiolla tarkoitetaan tässä yhteydessä julkaisujen kirjoittamista, verkkojulkaisuja ja henkilöiden välistä yhteydenpitoa. Kaikkiin näihin tarpeisiin voidaan käyttää IT-työkaluja.

Tutkimuksen projektinhallinnassa tarpeellisiksi työkaluiksi mainitaan talouden ja henkilöstöhallinnon sovellukset, kommunikaatiosovellukset sekä laaja joukko tukipalveluita vaikutusanalyysiin, patenttien hakemiseen, lisensointiin ja aineettomaan omaisuuteen liittyen.

Nykytilan kuvauksessa esitetään joukko nykyisten IT-palveluiden ongelmakohtia tutkijoiden kannalta. Esimerkkeinä tutkimustyötä vaikeuttavista rajoituksista mainitaan sähköpostilaatikon

vaatimaton koko ja verkkoliikenteen suodatus, joka estää esimerkiksi videokonferenssisovellusten käytön. Maksuttomien palveluiden käyttöä työvälineinä tulisi raportin mukaan rohkaista. Esimerkkeinä palveluista mainitaan Skype, SecondLife, Google Docs, Gmail. Muita nimettyjä ongelmia ovat rajoittavat tietoturvakäytännöt liian monine salasanoineen ja erilaisten käytettäväksi määrättyjen hallinnollisten sovellusten vaikeakäyttöisyys. Erityisesti kritisoidaan käytäntöä, jossa IT-järjestelmien valinnat määrätään ylhäältä käsin huomioimatta käyttäjien tarpeita.

Raportissa esitellään visio vuoden 2020 IT-palveluiden toteutukselle. Visiossa kuvataan mallia, jossa aineistoa on saatavilla keskitetyistä tietokannoista, mutta siihen liittyvät käyttöliittymät ovat vapaasti räätälöitävissä käyttäjäkohtaisesti. IT-järjestelmien loppukäyttäjät ovat osa järjestelmien kehitystiimiä. Avoimen lähdekoodin mallia ja Aallon sisäistä osaamista hyödynnetään. IT-tuki on hyvin organisoitu ja halukas tukemaan yhteisöä.

IT-palveluille esitetään joukko parannusehdotuksia. Ulkopuolisilta toimijoilta tilattujen järjestelmien käytettävyyteen ja joustavuuteen tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Tämän katsotaan johtuvan liiallisesta erottelusta palvelun tuottajien ja käyttäjien välillä. Tilannetta voitaisiin parantaa suunnittelemalla palvelut alhaalta ylöspäin. Tähän liittyy parhaiden käytäntöjen tutkiminen, järjestelmien räätälöinti tarpeiden mukaisesti, loppukäyttäjien osallistuminen kehitystyöhön sekä käyttäjäkeskeinen suunnittelu- ja hankintaprosessi.

[3]

## 7.5 Talous

Vuoden 2008 tilastojen perusteella HSE:ssä, TaiKissa ja TKK:ssa on yhteensä n. 16500 perus- ja jatko-opiskelijaa. Henkilökuntaan kuuluu runsaat 4300 henkilöä. Korkeakoulujen budjetti on yhteensä n. 318 miljoonaa euroa. IT-palvelukeskuksen henkilökunnan vuosittainen työpanos on noin 110 henkilötyövuotta, joista tietoliikennepalveluryhmän osuus on noin 10 %. IT-palvelukeskuksen budjetti vuodelle 2010 on n. 8,4 miljoonaa euroa, josta suurimman osuuden muodostavat henkilöstökulut. IT-palvelukeskuksen osuus yliopiston koko budjetista on näiden tietojen pohjalta noin 2,6 %. Lisäksi Tietohallinnon toimintaan käytetään vuodessa noin 25 henkilön työpanos.

Muiden toimijoiden IT-budjettien osuus liikevaihdosta riippuu toimialasta ja IT:n organisoinnista. Esimerkiksi vuonna 2006 tehdyn selvityksen mukaan maailman 20 suurimman

## Aalto-yliopiston tutkimusverkon vaatimukset ja ratkaisut

lääkealan yrityksen IT-budjettien osuudet vaihtelivat välillä 2,5 % ... 5,5 %, keskiarvon ollessa 3,61 % [57]. Vuonna 2007 arvioitiin, että Yhdysvaltain ja Kanadan yritysten vastaavan osuuden mediaani oli vain 1,8 % [58].

Vertailua tehtäessä on huomattava, että Aalto-yliopisto käyttää CSC:n tarjoamia Funet-palveluja, joiden kustannuksista osan maksaa Opetusministeriö. Säästöjä kertyy myös ohjelmisto- ja laitteistotoimittajien erityisesti oppilaitoksille tarjoamista alennuksista. Lisäksi Hanselin keskitetyt kilpailutuskäytännöt voivat tuoda säästöjä. Johtopäätösten tekeminen IT-budjetin riittävydestä edellyttäisi laajempaa selvitystä aiheesta. Vertailua tulisi tehdä erityisesti kansainvälisesti menestyvien yliopistojen ja Aalto-yliopiston välillä.

## 8 Ratkaisut

Tässä luvussa käsitellään tutkimusyhteisön tunnistettuihin tarpeisiin ja hyviin käytäntöihin perustuvat ratkaisuehdotukset. Lähtökohtana käytetään työasemapolitiikan linjausta, jonka mukaan keskitetyn ylläpidon ulkopuolisia työasemia voidaan käyttää suojatussa tutkimusverkkoympäristössä [37]. Lisäksi pohjana on käytetty Aalto-yliopiston verkon perustamiseen liittyviä suunnitelmia ja uusien verkkojärjestelyjen tarjoamia mahdollisuuksia. Toiminnan suuntaviivojen suunnittelussa on pyritty jatkuvasti huomioimaan verkon käyttötarpeiden nopeat muutokset. Tästä syystä huomiota on kiinnitetty verkon käyttäjien vaikutusmahdollisuuksiin.

Ratkaisuehdotukset esitellään taulukkomuodossa liitteessä 2. Taulukko sisältää ehdotuksen toimenpiteistä, jotka ehdotetaan suoritettavaksi alkuvaiheessa vuoden 2010 aikana ja pidemmällä aikavälillä vuosina 2010-2012. Liitteessä 3 esitellään tunnistettujen tarpeiden, hyvien käytäntöjen ja kehitysideoiden suhdetta ehdotettuihin ratkaisuihin. Liitteen 3 ratkaisujen numerot viittaavat liitteen 2 taulukkoon. Ratkaisuehdotuksiin liittyy kustannuksia, joiden laskelmat ja tarkemmat selvitykset ovat tämän työn rajauksen ulkopuolella. Nämä asiat on selvitettävä ennen varsinaiseen toteutukseen ryhtymistä.

### 8.1 Turvallisuus

Informaation turvallisuuteen liitetään yleisesti tekijät luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus. Luottamuksellisuudella tarkoitetaan informaation saatavuuden rajoittamista vain siihen oikeutetuille tahoille. Eheydellä tarkoitetaan informaation säilymistä muuttumattomana ja saatavuudella sitä, että informaatio on käytettävissä silloin, kun sitä tarvitaan. [23]

Tietoturvallisuutta toteutetaan OSI-mallin eri kerroksissa aina fyysisen tason eristyksestä erilaisiin sovellustason ratkaisuihin saakka. Tietoverkkojen kannalta keskeisiä ovat erityisesti tasojen 1-3 toimet. Esimerkiksi palvelinverkkojen liikenteen luottamuksellisuutta voidaan parantaa näiden tasojen turvatoimilla. Sovellusdatan käsittelyssä luottamuksellisuuden takaaminen jätetään viime kädessä sovellusten ja niiden salaustoimintojen vastuulle.

Eheyden takaaminen ja luotettava tiedonsiirto riippuvat myös sovelluskohtaisista ratkaisuista. IP-protokolla ei tätä toiminnallisuutta tarjoa, mutta ylemmällä tasolla sovelluksen suunnittelija voi valita käytettäväksi TCP- tai UDP-protokollan riippuen luotettavuuden tarpeesta.

Verkkoliikenteen kannalta keskeiseksi turvallisuuden osa-alueeksi nousee saatavuuden takaaminen. Verkkojen toimivuus on edellytys kaikkien sähköisten etäpalveluiden käytölle ja vaikuttaa ratkaisevasti monien käyttäjien työskentelymahdollisuuksiin. Samalla kuitenkin tietoverkkojen ja erityisesti vapaan Internet-verkon hyödyntäminen avaa suurelle joukolle tuntemattomia tahoja mahdollisuuden IT-järjestelmien tahalliseen tai tahattomaan väärinkäyttöön. Saatavuuden takaaminen erilaisissa poikkeustilanteissa on haaste, joka on huomioitava verkon suunnittelun ja ylläpidon kaikissa vaiheissa. Turvallisuusratkaisujen tulee kuitenkin olla tarkoituksenmukaisia, eikä niiden pidä rajoittaa verkon luvallista käyttöä [13].

Tutkimusverkon kannalta on oleellista keskittyä laajojen käyttömahdollisuuksien tarjoamiseen tutkijoille. Tähän perustuen ehdotan verkkotason turvallisuustoimenpiteiksi lähinnä tutkimusverkon eristämistä yliopiston muista verkoista. Lisäksi tutkimusverkko jaetaan toisistaan eristettyihin osiin. Näitä aiheita käsitellään kappaleessa 8.4. Pääsyä tutkimusverkkoon rajoitetaan siten, että siihen voivat liittyä ainoastaan sitä tarvitsevat tutkijat. Tällä tavoin varmistetaan, että tutkimusverkon kapasiteetti on varattu tutkimuskäyttöä varten. Tutkimusverkon laitteita ylläpitävien tahojen on edelleen huolehdittava ylläpitämiensä laitteiden tietoturvallisuudesta. Tätä aihetta käsitellään myös kappaleessa 8.10.

## 8.2 Ethernet-verkko

Ethernet-tekniikka useine variaatioineen on nykyisin yleisin lähiverkkojen L2-tason tekniikka [25 ss. 19-23]. Myös Aalto-yliopiston nykyiset kampusverkot on toteutettu pääosin Ethernet-tekniikoilla. Poikkeuksina tästä ovat tallennusverkoissa käytettävä Fibre Channel –tekniikka ja mahdolliset laboratoriolaitteiden erityisratkaisut. Myös Funetin tarjoamat verkkoyhteydet perustuvat pääasiassa Ethernet-pohjaisiin ratkaisuihin. Tällä hetkellä ei ole nähtävissä korvaavaa tekniikkaa Ethernetille, vaan nopeammilla yhteyksilläkin käytetään uusia versioita Ethernetistä. Näin ollen ehdotan, että myös tutkimusverkko toteutetaan Ethernet-verkkona, johon liitytään ensisijaisesti kuparipohjaisten fyysisten verkkopisteiden kautta.

EARNEST:n raportin suositukseen [13] perustuen ehdotan, että tutkimusverkon käyttäjiä varten hankitaan vähintään 1 Gbit/s nopeudella toimivia Ethernet-kytkimiä aina, kun kytkinkalustoa uusitaan. Myös nykyisten kytkinten uusimistahtia tulee nopeuttaa niillä alueilla, joilla tutkimustyö kuormittaa verkkoa runsaasti.

### 8.3 Langaton verkko

Tutkimusverkon käytössä lähdetään tarpeesta tarjota mahdollisimman hyvää suorituskykyä sisäverkon käyttäjille. Parhaaseen suorituskykyyn päästään liittymällä suoraan Ethernet-verkkoon. Tutkijoiden liikkuvuuden kannalta voi kuitenkin olla tarpeellista tarjota pääsyä tutkimusverkkoon myös langattomasti.

Tutkimusverkkoon voidaan liittyä VPN-yhteyden avulla Internetin välityksellä. Näin ollen kaikki Aalto-yliopistoihin liittyvät käyttäjät voivat liittyä siihen yliopiston langattomien verkkojen kautta. Tässä tapauksessa yhteydet eivät kulje suorinta reittiä tutkimusverkkoon, mutta palvelut ovat käytettävissä yliopiston eri kampuksilta. Jos myöhemmin siirrytään käyttämään erillistä Funet-yhteyttä, VPN-yhteydet kulkevat Funet-verkon kautta.

Erillisen langattoman infrastruktuurin perustaminen tutkimusverkkoa varten ei vaikuta tällä hetkellä tarpeelliselta. Myöhemmin voidaan kuitenkin punnita tarvetta tarjota pääsyä tutkimusverkkoon pienehköjä alueita kattavilla yksittäisillä langattomilla verkoilla. Tällaisia voisi olla tutkimusryhmien omissa kiinteissä tiloissa. Toinen mahdollisuus on tutkimusverkon oman SSID:n käyttöönotto Aalto-yliopiston nykyisessä infrastruktuurissa. Tämän tarpeellisuutta voidaan myös punnita myöhemmin.

### 8.4 Tutkimusverkon eristäminen muusta kampusverkosta

Rajoitetuilla alueilla käytettäviä laboratorioverkkoja voidaan eristää tuotantoverkon infrastruktuurista fyysisesti. Tämä on varmin tapaa pitää verkkojen liikenne erotettuna toisistaan, mutta rajoittaa samalla verkon käyttömahdollisuuksia. Erillisen infrastruktuurin rakentaminen pienen maantieteellisen alueen käyttötarkoitusta varten voi olla hyödyllistä, mutta Aalto-yliopiston kampuksia laajemmin kattavan erillisen verkkoinfrastruktuurin rakentaminen nykyisten verkkojen rinnalle edellyttäisi mittavaa investointia. Paikallisten laboratorioverkkojen infrastruktuureja voidaan kuitenkin liittää tutkimusverkkoon. Tässä tapauksessa voidaan hyödyntää sekä fyysisen eristyksen, että VLAN-tekniikan tuomia etuja. Lisäksi voidaan harkita yksittäisten kytkinten tai reititinten hankkimista alueille, joilla tarvitaan erityisen paljon paikallista siirtokapasiteettia esimerkiksi tutkimustyöasemien ja erityispalvelinten välille. Tutkimusverkon kautta laboratorioverkoille voidaan tarjota myös väliaikaisia tai pysyviä yhteyksiä Funet-verkkoon ja Internetiin, mikäli tähän ilmenee tarvetta.

Näin tutkijoilla on mahdollisuus esimerkiksi demonstroida laboratorioverkkojen laitteiden toimintaa muille tutkijoille paikallisen verkon ulkopuolella.

Ehdotan tutkimusverkon erottamista kampusen tuotantoverkoista VLAN-tekniikan avulla. Näin voidaan hyödyntää jo käytössä olevaa infrastruktuuria ja levittää tutkimusverkkoa niille alueille, joilla sitä tarvitaan. Nykyisten verkkojärjestelyiden puitteissa VLAN-verkot jaellaan kytkimille erilaisin kampuskohtaisin järjestelyin, joten tutkimusverkon käyttöönotto vaatii tilakohtaisia järjestelyitä. Tarvittavien muutosten tekemisestä vastaa IT-palvelukeskuksen Tietoliikennepalvelut-ryhmä. Työasemapolitiikka kuitenkin edellyttää osalle kytkinten porteista mahdollisuutta valikoida verkkoympäristö sen mukaan, mikä laite porttiin on kytketty [37]. Tätä käytäntöä voidaan hyödyntää myös tutkimustyöasemien kohdalla siten, että työasema liitetään automaattisesti tutkimusverkkoon riippumatta siitä, mihin fyysiseen verkkopisteeseen se on kytketty.

Myös tutkimusverkko on syytä jakaa osiin. Ehdotan nämä osat toteutettavaksi erillisinä VLAN-verkkoina, joista osa perustuu laitteiden käyttötarkoitukseen ja osa projektikohtaiseen tarpeeseen: projektin sisäiset laitteet näkevät lähiverkossa ainoastaan toisensa. VLAN ID-tunnukset on valittava siten, että niitä voidaan tarvittaessa levittää kampusten välillä häiritsemättä paikallisia järjestelyitä. VLAN ID-tunnusten rajallisesta määrästä johtuen Aalto-yliopiston laajuisesti levitettävien VLAN-verkkojen käyttöön liittyvät asiat on käsiteltävä tapauskohtaisesti käyttöoikeutta haettaessa.

## 8.5 Reititys

Aalto-yliopiston reititysjärjestelyjä esitellään kappaleessa 5.9. Yliopistojen yhdistymisen myötä käyttöön tulee järjestely, jossa kaikki kolme kampusta on yhdistetty toisiinsa valopolkuyhteyksin. Tämän järjestelyn myötä joukko VLAN-verkkoja levitetään kampusten välillä. Näihin verkkoihin liitetään mm. Aalto-yliopiston yhteiseen toimialueeseen kuuluvat työasemat. Osa verkoista on varattu palveluiden ylläpitoa varten. Näiden ratkaisujen myötä myös tutkimusverkkoa varten voidaan varata VLAN-verkkoja, joihin tutkijat voivat liittyä eri kampuksilla.

### 8.5.1 Virtuaalilähiverkkojen välinen liikenne

VLAN-verkkojen välinen liikenne edellyttää L3-tason reititystä. Tämä hoidetaan kunkin kampusen pääreitittimessä. Sisäisten verkkojen välinen liikenteensuodatus hoidetaan



toistaiseksi reititinten pääsilystojen avulla. Näin huolehditaan siitä, ettei tutkimusverkon sisäinen liikenne sekoitu tuotantoverkon liikenteeseen. Tutkimusverkko ja tuotantoverkko hyödyntävät siis yhteisiä runkoyhteyksiä, mutta eivät samoja liityntäportteja.

Tutkimusverkkoon voidaan tutkimustarpeiden perusteella tehdä verkkoalueita, joihin sijoitetaan erillisiä reititinlaitteita. Nämä reitittimet toimivat oman alueensa paikallisena reitittimenä ja välittävät liikennettä muihin tutkimusverkon osiin. Reititinten hallinta riippuu käyttökohteesta, mutta projektikohtaisten verkkojen reitityksestä vastaa oletuksellisesti projektin oma henkilökunta.

Koska tutkimusverkon ja tuotantoverkon välinen liikenne on tarkoitus estää kokonaan, voidaan eristys toteuttaa reititinten omien toimintojen avulla. Tutkimusverkon sisäisten VLAN-verkkojen välille voidaan avata pääsy tarpeen mukaan perustuen IP-osoitteisiin sekä TCP:n ja UDP:n portteihin. Tarvittaessa voidaan ottaa käyttöön myös VLAN-verkkojen välisiä tilallisia palomureja. Tutkimusverkon ja ulkomaailman välistä liikennettä ei oletusarvoisesti rajoiteta.

### 8.5.2 Yhteydet Internetiin ja Funetiin

Ehdotan, että tutkimusverkko käyttää toistaiseksi Aalto-yliopiston yhteisiä Internet-yhteyksiä. Tällöin reitityksessä käytetään lähtökohtaisesti samoja laitteita, jotka hoitavat muidenkin Aalto-yliopiston verkkojen reititystä. Verkon ulkoreunalla reitityksestä vastaavat Otaniemessä sijaitsevat pääreitittimet.

Mikäli tutkimusverkon siirtokapasiteetin tarve osoittautuu suureksi, tutkimusverkkokäyttöä varten voidaan myöhemmin hankkia erillinen Internet-yhteys. Tällöin tutkimusverkon käyttäjät eivät kuormita yliopiston yhteistä Funet-yhteyttä. Erillinen yhteys tulisi olla CSC:n tarjoama Funet-yhteys, sillä tutkijoilla tulee olla mahdollisimman suora yhteys muihin yliopistoihin ja tutkimuskeskuksiin. CSC:n omien palveluiden tulee myös olla verkossa mahdollisimman luotettavan yhteyden päässä. Omaa yhteyttä varten tutkimusverkko tarvitsee myös oman reunareitittimen, johon voidaan siirtää myös VLAN-alueiden välinen reititys.

Funet-verkossa yhteydet voidaan toteuttaa joko erillisinä optisina kuituyhteyksinä tai WDM-tekniikoiden avulla. Esimerkiksi Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitoksen tutkimusverkon Funet-yhteys on toteutettu CWDM-valopolkuna. Tarvittaessa voidaan myös muodostaa valopolkuyhteyksiä muihin tutkimusverkkoihin.

### 8.5.3 IP-osoitteet

Pääosa Aalto-yliopiston työasemista saa DHCP-palvelusta julkiset dynaamiset IP-osoitteet. Tutkimusverkon laitteilla voi olla muita koneita useammin tarve kiinteään IP-osoitteen käyttöön.

Tutkimusverkko on eristetty muista yliopiston verkoista, joten siihen liitetyt laitteet eivät voi olla suoraan yhteydessä muiden verkkojen palveluihin. Näin ollen ehdotan peruspalveluita, kuten DHCP:tä, toteutettavaksi erikseen tutkimusverkossa. Näin osoitteiden jako voidaan järjestää tarpeen mukaan. Kaikille kiinteää osoitetta tarvitseville laitteille voidaan määrätä IP-osoite samalla, kun käyttäjälle myönnetään verkon käyttöoikeus. Kiinteät osoitteet jaetaan DHCP-palvelusta. DHCP-palvelin voidaan toteuttaa joko fyysisenä palvelimena tai virtuaalipalvelimena.

Niin kauan kuin tutkimusverkon käyttäjät hyödyntävät Aalto-yliopiston yhteisiä Funet-yhteyksiä, myös IP-osoitteiden tulee olla CSC:ltä Aalto-yliopiston käyttöön hankittuja osoitteita. Tätä varten voidaan rajata tietty alue Aalto-yliopiston nykyisestä osoiteavaruudesta tutkimusverkkokäyttöä varten. Vaihtoehtoisesti CSC:ltä voidaan hakea joukko osoitteita tätä tarkoitusta varten. Tässä tapauksessa verkkojen eristäminen on yksinkertaista, koska toimistoverkon ja tutkimusverkon osoitteita voidaan käsitellä joukkoina, joiden välillä ei ole päällekkäisyyttä.

Tutkijat käyttävät työssään aktiivisesti kirjastojen sähköisiä palveluita. Osa sähköisten aineistojen tarjonnasta on rajoitettu IP-osoitteiden perusteella. On siis varmistettava, että tutkimusverkossa käytettävät julkiset IP-osoitteet ovat yliopiston kirjastojen tiedossa.

Koska tutkimusverkko käyttää Aalto-yliopiston verkkoinfrastruktuuria, myös tutkimusverkossa käytettävät tekniikat ovat riippuvaisia infrastruktuurin tarjoamista mahdollisuuksista. Aalto-yliopistossa ei toistaiseksi ole otettu laajasti käyttöön IPv6-tekniikkaa, vaikka IPv6-osoitteita onkin varattu Aalto-yliopistolle ja mm. Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitokselle. Tutkimusverkossa sille voi kuitenkin olla suurempi käytännön tarve, kuin muissa yliopiston verkoissa. Tästä syystä tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, että tutkimusverkon käyttäjillä on mahdollisuus halutessaan ottaa käyttöön IPv6-palveluita.

## 8.6 Tutkimusverkkoon liittyminen ja liikkuvuus kampuksilla

Aalto-yliopistoon siirtyminen lisää tutkijoiden mahdollisuuksia työskennellä eri kampuksilla. Tämän tukemiseksi ehdotan tutkimusverkon toteuttamista siten, että liikkuminen kampuksilla

on mahdollisimman joustavaa. Ratkaisu perustuu kampuksia sisältävän valopolkukolmion hyödyntämiseen.

Ensivaiheen ratkaisuksi ehdotan tutkimusverkon VLAN-verkkojen levittämistä kaikille kampuksille siten, että verkkopisteitä voidaan kytkeä niihin tarpeen mukaan. Yksittäisten verkkopisteiden jatkuva konfigurointi edellyttää kuitenkin runsaasti manuaalista työtä, joten tulevaisuudessa asetusten automatisointi vähentäisi järjestelyn aiheuttamaa työtaakkaa. Jatkossa tämä voidaan toteuttaa 802.1X-tekniikalla. Otaniemessä tutkimusverkko voidaan ulottaa kaikille IT-palvelukeskuksen hallinnassa oleville verkkoalueille. Nykyisin suuri enemmistö Otaniemen rakennuksista on IT-palvelukeskuksen hallitsemien verkkojen piirissä.

Liikkuvista käyttäjistä moni työskentelee kannettavien tietokoneiden kanssa, joten myös langaton liittyminen tutkimusverkkoon tulee olla käytettävissä. Langattomassa verkossa 802.1X tulee käyttöön eduroam-verkon käyttöönoton yhteydessä. Samaa tekniikkaa voidaan hyödyntää myös langattomassa liittymisessä tutkimusverkkoon.

Ehdotan, että ulkopuolelta tutkimusverkkoon otettavia etäyhteyksiä varten perustetaan VPN-palvelu, joka sijoittaa käyttäjän oikeaan VLAN-alueeseen. Lisäksi tutkijat voivat halutessaan itse perustaa VPN- tai SSH-palveluita, joiden kautta liikennettä voidaan tunneloida haluttuun tutkimusverkon osaan. Aalto-yliopisto kohtelee näitä yhteyksiä kuin ne tulisivat julkisesta Internetistä, vaikka yhteys olisikin otettu esimerkiksi yliopiston omasta langattomasta verkosta.

## 8.7 Palveluiden tuottaminen tutkimusverkkoon

Tutkimusverkossa on IT-palvelukeskuksen tarjoamia peruspalveluita, jotka on tarkoitettu yleisesti tutkimusryhmien käyttöön. Verkkoa hyödyntävät projektiryhmät puolestaan voivat ajaa erilaisia palveluita omiin tarpeisiinsa omissa palvelimissaan tai IT-palvelukeskuksen tarjoamissa palvelimissa, esimerkiksi virtuaalikoneissa. Jos sekä IT-palvelukeskus, että tutkimusryhmä osallistuvat saman palvelimen ylläpitoon, suosittelen käytännöksi kirjallista sopimista palvelimeen liittyvistä vastuukysymyksistä.

IT-palvelukeskuksen tarjoamia palveluita verkossa tulisi olla peruspalvelut, kuten DHCP, DNS, yhteys Funetiin ja verkkoinfrastrukturi. Näiden lisäksi suosittelen tarjottavaksi tallennuspalvelua, jonka osia jaetaan tutkimusprojekteille perustellun tarpeen mukaisesti, sekä virtuaalipalvelinratkaisua, josta voidaan tarjota projektien käyttöön virtuaalikoneita

projektikohtaisten palveluiden tuotantoa varten. Alkuvaiheessa peruspalveluiden tuottamiseksi riittää sopivan palvelimen hankinta, sillä infrastruktuuri ja Funet-yhteys ovat jo nyt käytettävissä. Verkkotallennuspalvelun osalta tulee selvittää kuinka suurta tallennuskapasiteettia tarvitaan hyödyllisen palvelun tarjoamiseksi. Kustannusten suuruusluokka on kymmeniätuhansia euroja. Myös virtuaalikonetratkaisun kustannus riippuu vaadittavasta suorituskyvystä ja nousee vähintään kymmenientuhansien eurojen suuruusluokkaan. Tarpeita on arvioitava huolellisesti ennen hankintaesitysten tekemistä.

Etäyhteyksiä varten suosittelen verkossa toteutettavaksi VPN-palvelun, jonka kautta tutkimusverkon käyttäjät voivat ottaa yhteyden tutkimusverkkoon Internetistä käsin. Kevyempiä etäyhteystarpeita varten voidaan käyttää SSH-terminaalipalvelimia, joiden kautta saadaan pääteyhteyks tutkimusverkossa olevaan laitteeseen.

Ehdotan, että IT-palvelukeskus ryhtyy tarjoamaan säännöllistä ja määriteltyä työasemaklusteripalvelua laskennallista tutkimustyötä varten. IT-palvelukeskuksen keskitetyt ylläpitämät työasemia ei ole sijoitettu tutkimusverkkoon, joten palvelu ei suoranaisesti kuulu tutkimusverkon piiriin. Ehdotan kuitenkin, että palvelu toteutettaisiin yhteistyössä tutkimusverkon virtuaaliorganisaation kanssa, jotta tutkijoiden asiantuntemusta voidaan käyttää apuna suunnittelutyössä. Voidaan odottaa, että monet työasemaklusterin käyttäjät ovat myös tutkimusverkon käyttäjiä, joten tiedon siirtämiseksi tutkimusverkon ja työasemaklusterin välillä tulee kehittää sopivat menetelmät. Tällainen voi olla esimerkiksi gateway-laite, jonka kautta voidaan rajoitetusti siirtää dataa verkkojen välillä.

Tutkijoiden ilmaisema tarve siirtää projektien kehittämiä palveluita tuotantokäyttöön kuvataan kappaleessa 4.2.7. Tällaisia palveluita voidaan ajaa tutkimusverkkoon sijoitetuissa IT-palvelukeskuksen palvelimissa. Haasteena on kuitenkin erikoistuneiden ohjelmistojen asiantuntemus. IT-palvelukeskuksella ei ole resursseja ylläpitää suurta joukkoja sellaisia erityistä perehtymistä vaativia palveluita. Palveluiden tietoturvallisuus vaatii seurantatyötä, joka vaatii myös resursseja. Näitä palveluita tulee kuitenkin tarkastella tapauskohtaisesti. Jos ylläpitopalvelu on toteutettavissa, palvelulle laaditaan määräaikainen ylläpitosopimus.

### 8.7.1 Tukipalvelut

Tutkimusverkolle on ominaista, että siinä käytettävistä laitteista suuri osa on käyttäjien, tutkimusryhmien ja laitosten itse ylläpitämiä. IT-palvelukeskus ei pääsääntöisesti tarjoa

tukipalveluita tällaisille laitteille. Mikäli tutkimusverkkoon on käyttötarkoituksen asettamista vaatimuksista johtuen liitetty keskitetyn ylläpidon alainen työasema, sitä koskee sama tukipalvelu, kuin muitakin IT-palvelukeskuksen ylläpitämiä työasemia. IT-palvelukeskuksen hallinnassa olevaa verkkoinfrastruktuuria ja palvelimia koskevat IT-palvelukeskuksen yleiset tukikäytännöt.

## 8.8 Käyttöoikeudet

Tutkimusverkkoon liittymisen tulee perustua tutkimustyön aiheuttamiin vaatimuksiin. Nämä tarpeet on kuvattava käyttöoikeutta haettaessa. Käyttäjien tulee olla tekemisissä Aalto-yliopiston tutkimusprojektien kanssa.

Tutkimustyöhön kuuluu runsaasti yhteistoimintaa sekä suomalaisten, että kansainvälisten tutkimusta suorittavien organisaatioiden kanssa. Tutkimusverkkoa käyttäville projekteille tulee tarjota mahdollisuutta liittää tutkimusverkkoon myös sellaisia tutkimustyöhönsä liittyviä laitteita, jotka eivät sijaitse pysyvästi Aalto-yliopiston tiloissa. Näitä ovat erityisesti kannettavat työasemat, mutta myös muita laitteita voidaan siirrellä tarpeen mukaan eri tiloihin. Verkkoon liittyviä järjestelyitä hallitaan virtuaaliorganisaation kautta.

### 8.8.1 Virtuaaliorganisaatio

Käyttöoikeuksien hallintaan liittyvien tarpeiden täyttämiseksi ehdotan perustettavaksi Aalto-yliopiston tutkimusverkon virtuaaliorganisaatioita, johon kaikki tutkimusverkon käyttäjät liitetään. Virtuaaliorganisaation tulee olla hallinnollisesti kevyt kokoelma toimintoja, jotka liittyvät verkon käyttöön ja toimintaan. Sen perustana on käyttäjärekisteri, joka sisältää tiedot käyttäjistä ja ryhmistä sekä käyttöoikeuksista ja niiden ajallisesta kestosta. Rekisterin tulee olla yhteydessä verkon pääsyä hallitseviin järjestelmiin. Rekisteriin kerätään ainoastaan verkon käytön kannalta oleellisia tietoja, eikä niitä julkaista esimerkiksi Internetissä. Käyttäjillä on kuitenkin mahdollisuus saada yhteys toisiinsa ja käyttää virtuaaliorganisaatiota verkostoitumisvälineenä eri alojen asiantuntijoiden kesken. Lisäksi on selvitettävä voidaanko tutkimusverkon käyttäjähallintaa integroida Aalto-yliopiston keskitettyyn käyttäjähallintaan.

Virtuaaliyhteisön käyttäjille tarjotaan heidän omien toiveidensa mukaisia viestintävälineitä ja työkaluja. Tällaisia voivat olla esimerkiksi sähköpostilistat, wiki-sivustot ja muut verkossa toimivat yhteistyövälineet. Virtuaaliyhteisöön voidaan liittää erityisstatuksella myös Aalto-yliopiston ulkopuolisia käyttäjiä, jos he toimivat Aalto-yliopistoon liittyvissä

tutkimusprojekteissa. Lisäksi virtuaaliorganisaatioon voidaan kutsua CSC:n Funet-verkon asiantuntijoita, joiden asiantuntemusta voidaan hyödyntää myös kampuksen tutkimusverkossa. Funet-yhteistyö avaa mahdollisuuksia myös yhteistoimintaan muiden yliopistojen tutkimusverkkojen kanssa. Ehdotan, että IT-palvelukeskus tarjoaa virtuaaliorganisaation teknisen toteutuksen vaatiman laitteiston.

### 8.8.2 Asiantuntijaryhmä

Virtuaaliorganisaatio kattaa kaikki henkilöt, joilla on käyttöoikeus tutkimusverkkoon. Koko käyttäjäryhmällä on mahdollisuus esittää toiveita ja kehitysideoita verkolle ja sen palveluille. Lisäksi ehdotan perustettavaksi pienempää asiantuntijaryhmää, joka koostuu tutkimustyön ja tutkimuksen hallinnollisten asioiden asiantuntijoista sekä IT-palvelukeskuksen edustajasta. Tämä ryhmä kokoontuu tarvittaessa ja valitsee tutkimusverkon sisäisten palveluiden kehityssuunnan käyttäjäyhteisön tarpeiden perusteella. Ryhmän edustajat edistävät tutkimusverkkoon liittyviä asioita yliopiston organisaatiossa ja hyödyntävät tutkimuksen asiantuntemustaan päätöksenteossa. Asiantuntijaryhmä päättää tarvittaessa varojen hakemisesta Aalto-yliopistolta tai muilta tutkimusyhteistyökumppaneilta tutkimusverkkoa varten.

## 8.9 Riippumattomuus

Tutkimustyössä on tärkeää, että verkkoympäristöä voidaan kehittää joustavasti vastaamaan muuttuvia tarpeita. Näin ollen on hyödyllistä, jos käytössä oleviin järjestelmiin voidaan vaikuttaa paikallisesti. Tämän selvityksen myötä ei ole tullut esille tarpeita palveluille, joita tulisi ostaa valmiina ulkopuolisilta toimijoilta, jos ei oteta huomioon Funet-palveluita. Näin ollen ehdotan yleiseksi periaatteeksi palveluiden tuottamista yliopiston omilla resursseilla. Tällä tavoin palveluiden valitseminen, käyttö ja muokkaaminen eivät riipu tietystä palveluntarjoajasta tai laitteistotyypistä.

Tulevaisuudessa voidaan harkita esimerkiksi pilvipalveluina toteutettavien palveluiden ostamista kaupallisilta tarjoajilta. Nämä palvelut on tyypillisesti suunniteltu toimimaan riippumatta käyttäjän paikallisesta verkkoympäristöstä, joten palvelut eivät välttämättä liity suoranaisesti tutkimusverkkoon. Jos niitä kuitenkin tarjotaan nimenomaisesti tutkimusverkon käyttäjille, niiden käyttöoikeuksia voidaan hallinnoida virtuaaliorganisaation puitteissa.

## 8.10 Tutkimusverkon ylläpito

Aalto-yliopiston tutkimusverkon perusinfrastruktuuri on IT-palvelukeskuksen hallinnassa, ja sitä ylläpitää IT-palvelukeskuksen Tietoliikennepalvelut-ryhmä. Työasemapolitiikan mukaisesti tutkimusverkkoon sijoitetaan tutkimustyöasemia, joiden ylläpito ei kuulu IT-palvelukeskuksen Päätelaitteiden asennus- ja tukipalvelut -ryhmälle. Tutkimustyöasemien ylläpidosta vastaavat niiden käyttäjät sekä laitteet omistavat laitokset.

Tutkimusverkkoon sijoitetaan palvelimia, jotka tarjoavat palveluita tutkimusverkon käyttäjille. Ehdotan, että IT-palvelukeskus hoitaa omistamiensa laitteiden ylläpidon. Laitosten tai tutkimusryhmien omistamat palvelimet ja erityislaitteet ovat lähtökohtaisesti tutkimusryhmien hallinnassa. Muista järjestelyistä voidaan sopia erikseen. Lisäksi tutkijat voivat osallistua myös IT-palvelukeskuksen palveluiden konfigurointiin, mikäli tämä osoittautuu tarpeelliseksi. Tästä sovitaan aina tapauskohtaisesti.

Kukin tutkimusverkkoa käyttävä ryhmä nimeää verkon käyttäjäksi hakeutumisen yhteydessä teknisen yhdyshenkilön, jonka kanssa IT-palvelukeskus asioi tutkimusverkon laitteisiin liittyvissä asioissa. Tekninen yhteyshenkilö on vastuussa ryhmän ylläpitämien laitteiden ja palveluiden tietoturvasta ja yleisestä käytettävyydestä.

## 8.11 Verkon ja toiminnan kehittäminen

Ehdotan, että tutkimusverkon tekninen kehittäminen otetaan osaksi Aalto-yliopiston tietoliikenteen kehitystä. Tutkimusverkon tulee näkyä osana yliopiston verkkopolitiikkaa. Näin siihen liittyvää infrastruktuuria voidaan kehittää samalla, kun muitakin yliopiston verkkoja kehitetään. Kehityksen suuntia valittaessa tulee huomioida tutkimusverkon käyttäjien tarpeet ja kehitysideat, joita he voivat esittää virtuaaliorganisaation kautta ja asiantuntijaryhmän välityksellä. Tarve tähän on ilmaistu mm. Aalto-yliopiston tutkimuksen tarpeita raportissa [3]. Tutkimusverkon tulisi olla Aalto-yliopiston verkoista se, jossa uusia tuotantoon tulevia tekniikoita otetaan ensimmäisenä käyttöön. Tällaisia tekniikoita ovat esimerkiksi IPv6 ja palvelun laatuun liittyvät tekniset ratkaisut. Lisäksi tutkimusverkosta voidaan edistää erillisiä aliverkkoja tekniikoiden pilotointia ja testausta varten.

Co-creation-periaatteen mukaisesti toimintaa kehitetään siten, että palvelun tuottaja ja käyttäjät työskentelevät yhdessä saman päämäärän saavuttamiseksi [52]. Päämäärä on tuote, joka palvelee mahdollisimman hyvin yksittäisen käyttäjän tarpeita. Tämä edellyttää avointa

tiedon jakamista IT-palvelukeskuksen ja tutkimusverkon käyttäjien välillä. Samalla verkon käyttäjiä kannustetaan jakamaan tietoa keskenään ja keksimään uusia tapoja parantaa verkkoa. Tässä työssä hyödynnetään virtuaaliorganisaatiota ja sen yhteydessä toteutettavia työkaluja.

EARNEST:n raporttiin [13] perustuen ehdotan tutkimusverkolle suoritettavaksi vuosittaisia katselmuksia, joissa sen suorituskykyä arvioidaan. Kerättyjä tietoja käytetään pullonkaulojen tunnistamiseksi ja yleisen suorituskyvyn parantamiseksi käyttäjien tarpeet huomioiden. Suorituskykyä arvioitaessa ja erityisesti siihen liittyvien ongelmien ilmetessä voidaan hyödyntää Funet PERT-palvelua. Näitä toimintoja käsitellään kappaleessa 5.13. EARNEST:n raportti rohkaisee muutenkin lisäämään yhteistyötä kampuksen verkkotoimijoiden ja kansallisen tutkimusverkon välillä.

## 8.12 Dokumentaatio ja palvelukuvaukset

Ehdotan tutkimusverkkoa liitettäväksi IT-palvelukeskuksen palveluluetteloon. Siihen liittyvät peruspiirteet tulee kuvata vastaavalla mallilla, kuin muutkin tarjottavat palvelut. Palvelukuvauksen tulisi sisältää kuvaus palvelusta perustasolla puuttumatta jatkuvasti muuttuviin yksityiskohtiin.

Käytännön tason toiminnan dokumentointiin ehdotan valittavaksi työkalua, jota kaikki verkon käyttöön osallistuvat tutkijat voivat hyödyntää ja päivittää. Tällainen voisi olla virtuaaliorganisaation yhteyteen perustettava wiki-palvelu, jonka luku- ja kirjoitusoikeuksia rajoitetaan tarpeen mukaan. Ehdotan, että IT-palvelukeskus tarjoaa tähän tarkoitukseen tarvittavan kaluston. Virtuaaliorganisaatiota kuvataan kappaleessa 8.8.1.

## 8.13 Tiedottaminen

Tutkimusverkon käyttäjien välisen viestinnän tulee olla kaksisuuntaista kommunikaatiota, jotta tutkijoilla on mahdollisuus keskustella ja ottaa kantaa verkon kehitykseen liittyviin asioihin. Suosittelen tätä toteutettavaksi virtuaaliorganisaation yhteyteen perustettavilla työkaluilla. Tällaisia voivat olla sähköpostilistat, wiki-sivustot ja erilaiset verkossa toimivat työryhmäsovellukset. Näiden työkalujen valinnasta tulee keskustella verkon käyttäjiksi liittyvien tutkijoiden kanssa, jotta voidaan hyödyntää heidän asiantuntemustaan. Työkalujen valinnassa on huomioitava ohjelmistolisenssit ja niihin liittyvät ehdot ja kustannukset.



Ulkoisen viestinnän välineinä voidaan ainakin osittain hyödyntää samoja WWW-pohjaisia viestintävälineitä, joita käytetään myös sisäisessä viestinnässä. Esimerkiksi julkisesti luettavissa olevilla wiki-sivuilla voidaan tarjota yleistä tietoa tutkimusverkosta ja sitä käyttävistä projekteista. Lisäksi projekteilla on mahdollisuus perustaa omia palveluitaan omia tiedotustarpeitaan varten.

Tutkimusverkon perustamisvaiheessa on otettava yhteys kaikkiin Aalto-yliopiston yksiköihin ja pyrittävä tavoittamaan kaikki tutkijat, joilla voisi olla tarvetta tutkimusverkon käytölle. Näitä henkilöitä tulee rohkaista osallistumaan verkon kehitykseen. Tässä voidaan hyödyntää korkeakoulujen nykyisiä tutkimukseen liittyviä organisaatioita. Tiedote tutkimusverkosta palveluna annetaan yliopiston tavanomaisia viestintäväyliä käyttäen. Tällaisia ovat yliopiston wiki-sivustot, WWW-sivustot ja muut viestintävälineet.

## 9 Yhteenveto

Tässä diplomityössä selvitettiin tutkimustoiminnan asettamia vaatimuksia tietoverkoille. Aiheen taustojen ymmärtämiseksi selvitettiin tutkijoiden tarpeita, kerättiin muiden tutkimusverkkojen ylläpitäjien kokemuksia hyvistä käytännöistä ja kerättiin kehitysideoita tutkimusverkon toteutukselle. Näiden tarpeiden, käytäntöjen ja ideoiden pohjalta laadittiin joukko ehdotuksia, joiden pohjalta Aalto-yliopiston tutkimusverkko voidaan perustaa vuoden 2010 aikana. Lisäksi ehdotuksiin liittyy pidemmän aikavälin kehityssuuntia, joita seuraamalla tutkimusverkko voidaan kehittää tutkimusverkon tekniikkaa ja toimintaa vuodesta 2010 alkaen. Ehdotuksen osa-alueita ovat verkon infrastruktuuri ja tekninen toteutus, verkon palvelut, virtuaaliorganisaatio, työasemaklusteri sekä Funet-yhteistyö.

Tekninen ratkaisu perustuu VLAN-tekniikan hyödyntämiseen. Alkuvaiheessa ratkaisu perustuu Aalto-yliopiston verkkoinfrastruktuurin ja Funet-yhteyden hyödyntämiseen, mutta jatkossa voidaan hankkia verkkokalustoa ja Funet-yhteyksiä vaativien tutkimusprojektien tarpeisiin. Palveluiden osalta ratkaisu lähtee alkuvaiheessa perustasolta, kuten nimi- ja DHCP-palvelusta. Myöhemmin siirrytään vaativampiin palveluihin, kuten tallennuspalvelun ja virtuaaliympäristön tarjoamiseen.

Virtuaaliorganisaatiolla tarkoitetaan tutkimusverkon käyttäjien yhteisöä, jonka kautta hallinnoidaan verkon käyttöoikeuksia ja verkkoon liitettäviä laitteita. Lisäksi virtuaaliyhteisöön liitetään erilaisia viestintä- ja yhteistyövälineitä, joiden kautta käyttäjillä on mahdollisuus vaikuttaa verkon kehitykseen ja palveluihin.

Työasemaklusteri on palvelu, joka ei rajoitu ainoastaan tutkimusverkon sisäisiin toimintoihin. Tarkoituksena on tarjota IT-palvelukeskuksen hallinnoimien työasemien käyttämätöntä laskentakapasiteettia tutkimuksen laskentakäyttöön.

Funet-yhteistyön lisääminen merkitsee tutkimusverkon tapauksessa CSC:n asiantuntemuksen hyödyntämistä ja osallistumista organisaatioita yhdistäviin hankkeisiin. Funetin palveluita voidaan käyttää tutkimusverkon kehityksessä.

## 10 Viitteet

1. **Lery, Thibaut ja Bressler, Patrick.** *EARNEST Report on Researchers' Requirements*. s.l. : TERENA, 2007. ISBN 978-90-77559-10-9.
2. **Hull, Elizabeth; Jackson, Ken ja Dick, Jeremy.** *Requirements Engineering*. s.l. : Springer-Verlag London Berlin Heidelberg, 2004. ISBN 1-85233-577-7.
3. **Paalanen, Mikko;ym.** *Research Service Needs and Research Infrastructure (RSNRI) in Aalto University*. s.l. : RSNRI Working Group, 2009.
4. **Webropol.** Tuotteemme. *Helppokäyttöinen kysely- ja tiedonkeruusovellus*. [Online] Webropol, 2009. [Viitattu: 11. Marraskuu 2009.] <http://w3.webropol.com/finland/tuotteemme>.
5. **NORDUnet.** NORDUnet - About NORDUnet. *NORDUnet - Home*. [Online] 16. Syyskuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [http://www.nordu.net/ndnweb/about\\_nordunet.html](http://www.nordu.net/ndnweb/about_nordunet.html).
6. **DANTE.** About Us: DANTE. *DANTE*. [Online] DANTE, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.dante.net/server/show/nav.13>.
7. **GÉANT.** About GÉANT. *GÉANT*. [Online] DANTE, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.geant.net/server/show/nav.2317>.
8. **TERENA.** About TERENA. *TERENA*. [Online] TERENA, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.terena.org/about/>.
9. **Ahonen, Paavo.** *Funet - Suomen tie Internetiin*. s.l. : CSC - Tieteen tietotekniikan keskus Oy, 2008. ISBN: 978-952-5520.
10. **Kuusisto, Harri.** Tietoliikenneasiantuntija, CSC. *Haastattelu*. 29. Toukokuu 2009.

11. **Taideteollinen korkeakoulu.** Tutkimushankkeet. *ReseDa Taideteollisen korkeakoulun tutkimustietokanta.* [Online] Taideteollinen korkeakoulu, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <https://reseda.taik.fi/Taik/jsp/taik/BrowseResearch.jsp?type=0>.
12. **Olesen, Dorte;ym.** *EARNEST Summary Report. Innovation, Integration and Deployment - Challenges for European research and education networking.* s.l. : TERENA, 2008. ISBN 978-90-77559-18-5.
13. **Le Guigner, Jean-Paul;ym.** *EARNEST Report on Campus Issues.* s.l. : TERENA, 2008. ISBN 978-90-77559-15-4.
14. **Boven, Paul.** Worldwide Networking for e-VLBI. *Terena Networking Conference 2009 Presentations.* [Online] 10. Kesäkuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [http://tnc2009.terena.org/schedule/presentations/show.php?pres\\_id=59](http://tnc2009.terena.org/schedule/presentations/show.php?pres_id=59).
15. **Wagner, Jan.** Tutkija, Metsähovin radiotutkimusasema. *Haastattelu.* 18. Kesäkuu 2009.
16. **Metsähovin radiotutkimusasema.** Metsähovin radiotutkimusasema. *TKK - Metsähovin radiotutkimusasema.* [Online] 5. Joulukuu 2008. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.metsahovi.fi/fi/>.
17. **Laakso, Antti.** Laboratory Manager. *Haastattelu.* 6. Huhtikuu 2009.
18. **CSC.** M-grid, the Finnish national grid infrastructure. CSC. [Online] 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [http://www.csc.fi/english/research/Computing\\_services/grid\\_environments/mgrid](http://www.csc.fi/english/research/Computing_services/grid_environments/mgrid).
19. **Rauhansalo, Katja.** EGI luo pysyvän grid-infrastruktuurin Euroopan tutkimusalueelle. *Tietoyhteys.* 2007, 4/2007.
20. **Condor Team.** What Is Condor? *Condor Project Homepage.* [Online] University of Wisconsin-Madison, 9. Lokakuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.cs.wisc.edu/condor/description.html>.

21. **Peuhkuri, Markus.** *Laboratorioinsinööri, TKK - Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos.* 18. Joulukuu 2008.
22. **P2PFUSION.** Project - P2PFUSION. *Home - P2PFUSION.* [Online] 13. Elokuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://p2p-fusion.org/project/project-description/>.
23. **Horton, Mike ja Mugge, Clinton.** *Hack Notes Network Security Portable Reference.* s.l. : McGraw-Hill / Osborne, 2003. ISBN 0-07-222783-4.
24. **DoOrio, Andrew ja Bertacco, Valeria.** *Human Computing for EDA.* 2009.
25. **Maynell, Kevin;ym.** *EARNEST Report on Technical Issues.* s.l. : TERENA, 2008. ISBN 978-90-77559-14-7.
26. **Pande, Vijay.** Folding@home Main. *Folding@home.* [Online] Stanford University, 2008. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://folding.stanford.edu/>.
27. **NorduGrid Steering Committee.** NorduGrid | General Information. *NorduGrid.* [Online] NorduGrid, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.nordugrid.org/about.html>.
28. NGDF - Nordic DataGrid Facility - About NGDF. *NGDF - Nordic DataGrid Facility - Home.* [Online] [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [http://www.ndgf.org/ndgfweb/about\\_ndgf.html](http://www.ndgf.org/ndgfweb/about_ndgf.html).
29. **Nieminen, Risto;ym.** *Suomen eScience-ohjelma.* s.l. : Opetusministeriö - Koulutus- ja tiedepolitiikan osasto, 2007. ISBN 978-952-485-301-9.
30. **Markoff, John.** Researchers Try to Stalk Botnets Used by Hackers . *The New York Times.* [Online] 28. Heinäkuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [http://www.nytimes.com/2009/07/28/science/28comp.html?\\_r=2](http://www.nytimes.com/2009/07/28/science/28comp.html?_r=2).
31. **FEDERICA.** FEDERICA Infrastructure. *FEDERICA - Federated E-infrastructure Dedicated to European Researchers Innovating in Computing network Architectures.*

[Online] 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.fp7-federica.eu/infrastructure/infrastructure.php>.

32. **The Trustees of Princeton University** . About PlanetLab. *PlanetLab - An open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services*. [Online] 2007. [Viitattu: 6. Marraskuu 2009.] <http://www.planet-lab.org/about>.

33. **Google**. Googlen käyttöehdot. *Googlen käyttöehdot*. [Online] Google, 16. Huhtikuu 2007. [Viitattu: 12. Marraskuu 2009.] <http://www.google.com/accounts/TOS?hl=fi>.

34. **Tietohallinto**. Skypeen käyttö Aalto-yliopistossa. *Aaltoyliopisto.info*. [Online] Aalto-yliopisto, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.aaltoyliopisto.info/fi/view/content/skypen-k-ytt-aalto-yliopistossa>.

35. **Google**. Gmail Privacy Notice. *Gmail Privacy Notice*. [Online] Google, 2009. [Viitattu: 12. Marraskuu 2009.] <http://gmail.google.com/mail/help/privacy.html>.

36. **Jeffrey, Tony; Congdon, Paul ja Sala, Dolors**. *802.1X IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Port-Based Network Access Control*. New York : IEEE, 2004. ISBN 0-7381-4529-7 SS95298.

37. **Salin, Timo**. *Aalto-yliopiston työasemapolitiikka v1.0*. s.l. : Tietohallinto, 2009.

38. **CSC**. Funet-antenni - CSC. CSC. [Online] CSC, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.csc.fi/hallinto/funet/video/Funet-Antenni>.

39. —. PERT-toiminta - CSC. CSC. [Online] CSC, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [http://www.csc.fi/hallinto/funet/palvelut/pert/index\\_html/?searchterm=pert](http://www.csc.fi/hallinto/funet/palvelut/pert/index_html/?searchterm=pert).

40. **Breach, Tony**. The Road towards 100G Transmission – An Overview. *NORDUnet Conference 2009 - Tony Breach*. [Online] 17. Syyskuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <https://register.nordu.net/speakers/files/Nordunet%202009%20-%20Tony%20Breach%20-The%20Road%20towards%20100G%20Transmission.pdf>.

41. **CSC.** Haka-käyttäjätunnistusjärjestelmä. *Haka-käyttäjätunnistusjärjestelmä*. [Online] 2009. [Viitattu: 2009. 12 2.] <http://www.csc.fi/hallinto/haka>.
42. **Kalmar2.** Kalmar2 is open. *Kalmar2*. [Online] 2009. [Viitattu: 2009. 12 2.] [http://www.kalmar2.org/kalmar2web/kalmar2\\_is\\_open.html](http://www.kalmar2.org/kalmar2web/kalmar2_is_open.html).
43. **eduroam.** What is eduroam? *eduroam*. [Online] TERENA, 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.eduroam.org/>.
44. **Winter, S.;ym.** Deliverable DJ5.1.5,3: Inter-NREN Roaming Infrastructure and Service Support Cookbook - Third Edition. [Online] 29. Lokakuu 2008. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.eduroam.org/index.php?p=europe&s=docs>.
45. **Luoma, Marko.** Quality and/or Differentiation. *Quality of Service in Internet*. [Online] 1. Marraskuu 2006. [Viitattu: 25. Marraskuu 2009.] <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s383180/2007/luentokalvot/L1.pdf>.
46. **Fuller, Vince.** Scaling the Internet routing and addressing system . *NORDUnet Conference 2009 - Vince Fuller*. [Online] 17. Syyskuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] [https://register.nordu.net/speakers/files/Vince Fuller - Scaling of routing.pdf](https://register.nordu.net/speakers/files/Vince%20Fuller%20-%20Scaling%20of%20routing.pdf).
47. **Meyer, David.** The Locator/Identifier Separation Protocol (LISP) . *LISP Interworking*. [Online] 10. Kesäkuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.lisp4.net/lisp/>.
48. **HSE, TKK, TaiK.** Tietohallinto. *Aalto-yliopisto*. [Online] 2009. [Viitattu: 5. 11 2009.] <http://www.aaltoyliopisto.info/fi/view/content/tietohallinto>.
49. **Kuula, Markku.** Tietohallintojohtaja. *Haastattelu*. 9. April 2009.
50. **Office of Government Commerce.** ITIL Home. [Online] 28. Lokakuu 2009. [Viitattu: 5. Marraskuu 2009.] <http://www.ital-officialsite.com/>.
51. **Wakaru.** *ITIL v3 Foundations*. s.l. : Wakaru Partners, 2008.
52. **Prahalad, C. K. ja Ramaswamy, Venkat.** *The Future of Competition*. s.l. : Harvard Business School Publishing, 2004. ISBN 1-57851-953-5.

53. —. Co-creation Experiences: The Next Practice in Value Creation. *Journal of Interactive Marketing*. 2004, Vuosik. 18, 3.

54. **Grönroos, Christian**. *Towards Service Logic: The Unique Contribution of Value Co-Creation*. Helsinki : Hanken School of Economics, 2009. ISBN 978-952-232-070-4.

55. **Rowley, Jennifer;Kupiec-Teahan, Beata ja Leeming, Edward**. Customer community and co-creation: a case study. *Marketing Intelligence & Planning*. s.l. : Emerald Group Publishing Limited, 2007. Vuosik. 25, 2. ISSN 0263-4503.

56. **Russo, Angelina ja Watkins, Jerry**. *Digital Cultural Communication: tools and methods for community co-creation*. s.l. : Queensland University of Technology, 2005.

57. **Enterprise Analysis Corporation (EAC)**. IT Spending Study At Major Pharma Companies. *Research And Markets*. [Online] 2006. [Viitattu: 25. Helmikuu 2010.] [http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?report\\_id=312163&t=e&cat\\_id=](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?report_id=312163&t=e&cat_id=)

.

58. **Business Wire**. IT Budgets Are Lagging behind Corporate Revenues, Says Computer Economics. *Business Wire*. [Online] 10. Kesäkuu 2007. [Viitattu: 25. Helmikuu 2010.] [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0EIN/is\\_2007\\_July\\_10/ai\\_n27300433/pg\\_2/?tag=content;col1](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_2007_July_10/ai_n27300433/pg_2/?tag=content;col1).



## Liite 1: WWW-kyselyn materiaali

### Research Network Environments in Universities and Institutes

My name is Hannu-Pekka Poikonen and I work as a Network Specialist at University of Art and Design Helsinki. I am also about to complete my Master of Science (Technology) degree at Helsinki University of Technology.

I have made a web questionnaire that is intended for network specialists that maintain computer networks in universities and institutes. Also other people who know the field of computer networks in research environments are very welcome to answer the questionnaire. The scope is not only limited to the research of telecommunication technology, but also other fields that somehow benefit from computer networks. I would greatly appreciate it, if you took a few moments to answer these questions!

Please answer in English or Finnish.

The purpose of this questionnaire is to collect information about local or campus-area research network solutions in universities and institutes. The data will be used as background material for my Master's thesis. The purpose of the thesis work is to find computer network related services to offer for researchers in Helsinki University of Technology, Helsinki School of Economics, and University of Art and Design Helsinki.

Questions? Please contact me by email: [hannu-pekka.poikonen@taik.fi](mailto:hannu-pekka.poikonen@taik.fi)

*Network Services for Researchers in Universities and Institutes (1/5)*

Please answer in English or Finnish - voit vastata myös suomeksi.

Please enter the following information:

1. Your Name:
2. Your Professional Title:
3. Your Email Address:
- 1.4 The University / Institute that you represent:
4. City:
5. Country:

About privacy: None of the collected data will be openly published. It will be reviewed only by myself, the director of my thesis work and network specialists at the universities mentioned above. The collected information will be as background material for the thesis text.

*Computer Networks for Research Purposes (2/5)*

1. Does Your University / Institute offer separate computer network environments for research use? For what kinds of purposes are they offered?
2. If separate network environments are offered, how are they isolated from other networks (physical isolation by separate infrastructure, VLAN technology, firewalls, other techniques)?
3. What kind of security systems are used in the research network environment? Is the network "wild and open" or is the usage more controlled?

*Research Network User Access (3/5)*

1. How do the users get a permission to use the research network(s)? How is it determined who is allowed to use the network(s)? Who decides about usage permissions?
2. Which technical methods are used to limit network access?

*Services in Research Networks (4/5)*

1. Some research networks contain only a bare network infrastructure, perhaps an Internet connection. Others offer various different services such as DHCP, DNS, file storage services, and application layer services.
2. What kind of technical services are offered in the research network(s)?
3. Who decides what services and technologies are offered in the network(s)? How do they find out what the users actually need?
4. Is it expected that the network users maintain services or infrastructure in the network by themselves? How is this arranged in practice?
5. What kind of non-technical services does your University / Institute offer for the research network users (for example user support, maintenance services)?

*Further Ideas (5/5)*

Please provide any feedback, ideas, and comments about the subject.

1. Are there any future plans in your University / Institute for new network environments for research? What other ideas do you have, that could improve the working environment of researchers? What kind of networks and services would you offer if you had the chance?
2. What other thoughts do you have on the subject?  
Also comments about the questionnaire itself are very welcome.

**Liite 2: Ratkaisut taulukkomuodossa**

	2010	2010-2012
1	Ethernet-verkko, jonka hankinnoissa suositaan vähintään 1 Gbit/s liityntänopeuksia	Kaikille tutkimusverkon käyttäjille vähintään 1 Gbit/s liityntämahdollisuus, erikoistapauksissa nopeammat yhteydet
2	VLAN-tekniikalla eristetty verkko	Alueellisia verkkoja, joissa erillistä infrastruktuuria
3	VLAN-verkkojen jakelu staattisella konfiguraatiolla	VLAN-verkot jaellaan dynaamisesti (esimerkiksi 802.1X)
4	Aalto-yliopiston yhteinen Funet-yhteys	Tarvittaessa erillinen Funet-yhteys
5	Aalto-yliopiston yhteiset reitittimet	Tarvittaessa erilliset reitittimet
6	Peruspalveluita käyttöön: DNS, DHCP, VPN, SSH	Edistyneitä palveluita: tallennuspalvelu, virtuaaliympäristö Tarvittaessa: IPv6-palvelut, QoS
7	Perustetaan virtuaaliorganisaatio	Kehitetään virtuaaliorganisaatiota ja sen työkaluja
8	Virtuaaliorganisaatioon liitetään työkalut tutkimusverkon pääsynhallintaa varten	
9	Virtuaaliorganisaatioon liitetään rekisteri tutkimusverkkoon liitettävistä laitteista	
10	Suunnitellaan IT-palvelukeskuksen työasemaklusteripalvelu	IT-palvelukeskus tarjoaa työasemaklusteripalvelua
11	Lisätään yhteistyötä CSC:n Funet-asiantuntijoiden kanssa	Lisätään yhteistyötä CSC:n Funet-asiantuntijoiden kanssa

### Liite 3: Tarpeet, hyvät käytännöt ja kehitysideat suhteessa ratkaisuehdotuksiin

	Tarve / hyvä käytäntö / kehitysidea	Lähde	Ratkaisu
1	Keskitetyn ylläpidon ulkopuoliset laitteet saatava erilliseen, suojattuun tutkimusverkkoon	Tietohallinto / työasemapoliitikka	1, 2
2	Tutkimusverkon oltava suojattu		2
3	Tarvitaan laskentatehoa analyysiin ja simulaatioihin	RSNRI-raportti	10
4	Tarvitaan kommunikaatiotyökaluja		7
5	Sähköpostipalvelu riittämätön (postilaatikon koko)		6
6	Verkkosuodatus poistettava		2
7	Maksuttomien pilvipalveluiden käyttöä suosittava		2, 6
8	Loppukäyttäjät osallistumaan kehitykseen		7
9	DNS-palvelu, johon tutkijat voivat tehdä muutoksia	Tutkimusryhmät	6
10	HTTP-, ja sähköpostipalvelut, joihin tutkijat voivat tehdä muutoksia		6
11	LDAP-palvelu, johon tutkijat voivat tehdä muutoksia		6
12	P2P-liikenteen käyttö		2
13	SMS-gateway		2
14	DNS, DHCP	WWW-kysely	6
15	Hakemukset käyttöoikeuden saamiseksi		7, 8, 9
16	NREN-palveluiden hyödyntäminen		11
17	Vähintään 1 Gbit/s	EARNEST Report on Campus Issues	1
18	Aikaisten omaksujien ja tehokäyttäjien tunnistaminen, tarpeiden huomointi		1, 2, 3, 7
19	Rajoittamaton Internet-yhteys sitä tarvitseville		2
20	Ei "peitto-kieltoja" tekniikoille koko verkossa		2
21	IPv6-, QoS, ym. Tekniikat oltava saatavilla tarvitseville		2, 3, 6
22	Käyttäjien tarpeet selvitettävä ja huomioitava		7
23	Tutkimusaneiston jakamista ja julkaisua helpotettava	EARNEST Report on Researchers' requirements	7
24	Aineiston vaihtoa kollegoiden kanssa helpotettava		7
25	Simulaatioiden tekoon tarjottava välineitä		2, 10
26	Tarjottava yhteyksiä grideihin		2, 4
27	Mittaus/valvontaverkot voitava yhdistää grideihin		2, 3, 4, 5
28	Gridien resurssit vapaasti käytettäväksi		4
29	Resurssien virtualisointi		7, 10
30	Palveluiden laatua ja käyttäjäystävällisyyttä parannettava sekä lisättävä tietoisuutta		7