

Immanuel Grönlund

Pilvipalvelut

Opinnäytetyö

Syksy 2011

Tekniikan yksikkö

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Sovellustuotanto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Tietojenkäsittely

Suuntautumisvaihtoehto: Sovellustuotanto

Tekijä: Immanuel Grönlund

Työn nimi: Pilvipalvelut

Ohjaaja: Erkki Koponen

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 54

Liitteiden lukumäärä:0

Opinnäytetyön aiheena on pilvipalvelut. Pilvipalveluiden tarkoituksena on muodostaa tietoteknisistä laitteisto- ja ohjelmistoresursseista koostuva kokonaisuus, jota tarjotaan loppukäyttäjille yhtenäisenä palvelukokonaisuutena internetin välityksellä. Pilvipalveluiden levinneisyys ja tarjonta ovat vahvassa kasvussa toteutustapojen vakiintuessa ja potentiaalisten asiakkaiden kiinnostuksen kasvaessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli määritellä pilvipalvelut käsitteenä ja esittää tarjolla olevista ratkaisuista käytännön esimerkkejä. Käsitettä oli tarkoitus lähestyä erityisesti suunnittelijan näkökulmasta.

Menetelmänä käytettiin eri tietolähteisiin perehtymistä sekä pilvipalveluihin tutustumista käytännössä. Löydetyn tiedon perusteella kuvattiin pilvipalvelutarjonnan nykytilaa ja analysoitiin kuvattua kokonaisuutta esimerkkien avulla.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin yhtenäinen käsitemalli, joka kuvaa pilvipalveluiden eri osa-alueiden ominaisuuksia ja keskinäisiä suhteita. Käsitemallia voidaan hyödyntää pilvipalvelukokonaisuuden käyttöönottoa suunniteltaessa.

Avainsanat: pilvipalvelut, virtualisointi, ontologia, sovelluskehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Business Information Technology

Specialisation: Application Production

Author: Immanuel Grönlund

Title of thesis: Cloud computing

Supervisor: Erkki Koponen

Year: 2011

Number of pages: 54

Number of appendices: 0

The subject of the thesis is cloud computing. The idea of cloud computing is to form an ensemble from computational hardware and software resources, which is offered to end users via the internet as a consistent service. The distribution and supply of cloud computing is expanding rapidly due to established execution and growing interest of potential customers.

The object of this thesis was to define cloud computing as a concept and present practical examples of available solutions. The concept was approached especially from the designer's perspective.

The scientific method used was to familiarize with different repositories and explore cloud computing in practice. The present state of cloud computing was represented based on the found information and the ensemble was analysed by using examples.

As a result of this thesis a continuous conceptual definition of cloud computing was created. It describes characteristics of cloud computing's different sectors and their mutual relationships. Conceptual definition can be utilized in deploying a cloud computing scheme.

Keywords: cloud computing, virtualization, ontology, application development

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO	13
2 TIETOTEKNIIKAN KEHITTYMINEN KOHTI PILVIPALVELUJA....	15
2.1 Modernin tietotekniikan synty	16
2.2 Virtualisoinnin historia	17
3 PILVIPALVELUIDEN MÄÄRITELMÄ JA LUOKITTELU.....	20
3.1 Ominaispiirteet	21
3.2 Palvelumallit	23
3.3 Käyttöönottomallit.....	25
3.4 Pohdintaa.....	26
4 PILVIPALVELUIDEN KOOSTUMUS JA ULOTTUVUUDET	28
4.1 UCSB-IBM:n pilviontologia.....	28
4.2 Jericho Forumin pilvikuutiomalli	32
5 PALVELUNTARJOAJAT JA PALVELUIDEN KÄYTTÖÖNOTTO ..	36
5.1 Pilvipalveluiden riskit	37
5.2 Palvelutasosopimukset	40
5.3 Palveluntarjoajat.....	41
5.4 Sovellusalustat	45
6 PÄÄTÄNTÖ.....	49
LÄHTEET	51

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Yleisimmät syyt virtualisoinnin käyttöönottamiseksi 2008 (Ruest & Ruest 2009).....	19
Kuvio 2. UCSB-IBM:n pilviluokittelumalli (Youseff ym.2008).....	29
Kuvio 3. Jericho Forumin pilvikuutiomalli (Jericho 2009).	33
Kuvio 4. Pilvipalvelumarkkinoiden kokonaiskuva (Salo 2010).....	36
Taulukko 1. Tietohallintojohtajien top 10 liiketoiminta- ja teknologiaprioriteetit (Gartner 2011).	19
Taulukko 2. Palvelutaso (SLA) lukuina (mukaillen Salo 2010).....	40
Taulukko 3. Amazonin instanssien hinnat Euroopassa (mukaillen Amazon.com 2011a).....	42

Käytetyt termit ja lyhenteet

Amazon.com	Verkkokaupastaan tunnettu teknologiayritys. Yksi suurimmista pilvipalveluntarjoajista.
API	Application Programming Interface. Ohjelmointirajapinta.
AppScale	Avoimeen lähdekoodiin perustuva hybridipilvialusta.
AMI	Amazon Machine Image. Amazonin virtuaalipalvelininstanssi.
AWS	Amazon Web Services. Amazonin pilvipalvelutuoteperhe.
AppFabric	Microsoftin pilvipalvelun yhteyksien hallinta.
Beta	Ohjelmiston kehitysversiosta käytetty nimitys.
BINAC	Binary Automatic Computer. Maailman ensimmäinen kaupalliseen käyttöön suunniteltu digitaalinen tietokone.
Bing	Microsoftin hakukone.
Bureau of Census	Yhdysvaltain kauppaministeriön alaisuudessa toimiva, väestönlaskennasta vastaava virasto.
BSD	Berkeley Software Licence. Avoimen lähdekoodin lisenssi.
C#	Korkean tason ohjelmointikieli.
C++	Korkean tason ohjelmointikieli.
CaaS	Communication as a Service. Yhteys palveluna.
CISO	Chief Information Security Officer. Tietoturvapääällikkö.
Citrix	Virtualisointitekniikkaan erikoistunut teknolgiayritys.
Cloud	Pilvi. Yleisesti internetin kuvaamiseen käytetty symboli.

Cloud Bursting	Automatisoitu tiedonsiirto pilvipalveluiden välillä.
Cloud computing	Pilvipalvelut. Informaatioteknologian palveluiden tarjoamisen liiketoimintamalli.
Cloud Cube Model	Pilvikuutiomalli. Pilvipalveluiden käyttöönottomalleja kuvaava käsitelmä.
Cloud Formation	Pilvimuodostelma.
Cloud Ontology	Pilviontologia. Pilvipalveluiden palvelumalleja kuvaava käsitelmä.
COA Framework	Collaboration Oriented Architecture Framework. Yhteistyökeskeinen arkkitehtuuri. Jericho Forumin määrittelemä rajapinta ei-rajattujen pilvimuodostelmien yhteistyön mahdollistamiseksi.
CSI	Cloud Software Infrastructure. Pilviontologiassa käytetty nimi IaaS-palvelumallille.
Cloudwashing	Pilvipalvelu-termin liittäminen vanhoihin tuotteisiin markkinoinnin edistämiseksi niiden pintapuolisen uudistamisen jälkeen.
DaaS	Data-Storage as a Service. Tallennustila palveluna.
Data Sync	Microsoftin tarjoama työkalu, jonka avulla voidaan synkronoida pilvipalvelussa sijaitseva tietokanta sen ulkopuolella sijaitsevassa ympäristössä olevan tietokannan kanssa.
DevPay	Amazonin asiakkailleen tarjoama ohjelmointirajapinta dynaamisen laskutuksen käyttöönottamiseksi.
EBS	Elastic Block Store. Amazonin pilvipalveluna tarjoama tallennuskapasiteetti instanssien käsittelemän tiedon säilyttämiseen.

EC2	Elastic Compute Cloud. Amazonin palvelinvirtualisointipalvelu.
ECC	Electronic Control Company. ENIAC-tietokoneen suunnittelijoiden, John Mauchlyn ja John Presper Eckertin, vuonna 1946 perustama yritys. Osakeyhtiöksi rekisteröinnin yhteydessä nimettiin EMCC:ksi.
Elisa	Suomalainen tietoliikenneoperaattori.
EMCC	Eckert-Mauchly Computer Corporation. Rekisteröitiin osakeyhtiöksi 22. joulukuuta 1947. Ensimmäinen tietokoneita suunnitellut yhtiö. Myytiin Remington Randille 15 helmikuuta 1952.
ENIAC	Electronic Numerical Integrator And Computer. Ensimmäinen täysin elektroninen yleiskäyttöinen tietokone. Julkistettu 1946.
ENIAC II	Kts. UNIVAC.
Facebook	Sosiaalisen median palvelustaan tunnettu teknologiayritys.
FPS	Flexible Payments System. Amazonin tarjoama työkalu, joka mahdollistaa Amazonin verkkokaupan asiakkaiden asiointiin pilvipalveluasiakkaan kanssa.
GAE	Google App Engine. Googlen pilvipalveluna tarjoama sovellusala.
GMail	Google Mail. Googlen kuluttajakäyttöön ilmaiseksi tarjoama sähköposti- ja kalenteriohjelmisto.
Go	Korkean tason ohjelmointikieli.
Google	Internetin hakukoneestaan tunnettu teknologiayritys. Yksi suurimmista pilvipalveluntarjoajista.

Google Apps	Googlen pilvipalveluna tarjoama toimisto-ohjelmistopaketti.
HaaS	Hardware as a Service. Laitteisto palveluna.
HLL	High-Level Language. Korkean tason ohjelmointikieli. Esim. Java, C#.
Hyper-V	Microsoftin kehittämä virtualisointitekniikka.
Hypervisor	Virtuaalikoneita hallitseva käyttöjärjestelmä tai sen osa.
IA-32	Intelin suorittimissa käytettävä käskykanta, joka muuttaa korkean tason ohjelmointikielellä (kts. HLL) kirjoitetun ohjelmakoodin konekieliseksi.
IaaS	Infrastruktuuri palveluna. Yksi pilvipalvelun luokituksen mukaisista palvelumalleista.
IBM	Tietokonevalmistaja. Tarjoaa laitteistovirtualisointiratkaisuja.
Java	Korkean tason ohjelmointikieli.
Jericho Forum	Kansainvälinen tietoverkkojen verkottumista ja avoimuutta edistämään pyrkivä järjestö.
KRP	Keskusrikospoliisi.
Lacoste	Ranskalainen urheiluvaatemerkki.
Microsoft	Käyttöjärjestelmistään tunnettu teknologiayritys. Yksi suurimmista pilvipalveluntarjoajista.
Multiprogramming	Lomittaiskäsitteily. Muistinkäsittelyyn liittyvä virtualisointitekniikka.
NASA	National Aeronautics and Space Administration. Yhdysvaltojen avaruusohjelmasta vastaava virasto.

NIST	National Institute of Standards and Technologies. Yhdysvaltain elinkeinoministeriön teknologian standardeista vastaava virasto.
Northrop Corporation	Amerikkalainen lentoalan yritys. Nykyään osa aseiteollisuuskonserni Northrop Grummania.
Office 365	Microsoftin pilvipalveluna tarjoama toimisto-ohjelmistopaketti.
OS Virtualization	Käyttöjärjestelmävirtualisointi.
PaaS	Sovellusalusta palveluna. Yksi pilvipalvelun luokituksen mukaisista palvelumalleista.
PATRIOT Act	Provide Appropriate Tools Required to Intercept and Obstruct Terrorism. Yhdysvaltojen terrorismin vastainen laki.
Remington Rand	EMCC-yrityksen 1952 ostanut, aiemmin kirjoituskoneiden valmistamisesta tunnettu amerikkalainen yhtiö. Nykyään osa Unisysia.
Sandbox	Virtuaalinen hiekkalaatikko. Mahdollistaa sovellusten ajamisen virtuaalisen kehyksen sisällä.
S3	Simple Storage Service. Amazonin pilvipalveluna tarjoama tallennuskapasiteetti tietojen varmistamiseen.
SaaS	Ohjelmisto palveluna. Yksi pilvipalvelun luokituksen mukaisista palvelumalleista.
SDK	Software Development Kit. Sovelluskehitystyökalu
Simple Data Storage	Microsoftin pilvipalveluna tarjoama tallennuskapasiteetti.
SLA	Service Level Agreement. Palvelutasosopimus
SLO	Service Level Object. Palvelutasotavoite. Osa palvelutasosopimusta.

SOA	Service Oriented Architecture. Palvelukeskeinen arkkitehtuuri. Ohjelmistosuunnittelussa käytetty tekniikka.
Software Kernel	Ohjelmistoydin.
SQL Azure	Microsoftin pilvipalveluna tarjoama tietokantaohjelmisto.
SPI	Software Platform Infrastructure. Yksinkertainen yleisluokitus pilvipalveluiden palvelumalleista.
STUK	Säteilyturvakeskus.
Target	Yhdysvaltain toiseksi suurin vähittäiskauppaketju.
Timesharing	Osituskäyttö. Suoritinajan jakamiseen liittyvä virtualisointitekniikka.
The Open Group	Avoimia, toimittajariippumattomia standardeja ja sertifikaatteja kehittävä järjestö.
UCSB	University of California, Santa Barbara. Kalifornian yliopiston Santa Barbaran kampus.
UCSB-RACE Lab	Research on Adaptive Compilation Environments. Kalifornian yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksen tutkimuslaboratorio.
UNIVAC	Universal Automatic Computer. ENIAC-tietokoneeseen perustunut, ensimmäinen magneettista nauhaa tietojenkäsittelyssä hyödyntänyt. tietokone. Laitteistoja valmistettu 46 niin valtioiden kuin yritystenkin käyttöön. Ensimmäinen käyttöönotto 1951 maaliskuussa.
Visual Basic	Korkean tason ohjelmointikieli.
Visual Studio	Microsoftin tarjoama sovelluskehitin.
VMWare	Virtualisointitekniikkaan erikoistunut teknologiayritys.

VPC	Virtual Private Cloud. Amazonin tarjoama työkalu VPN-yhteyden muodostamiseen Amazonin pilvipalvelun ja asiakkaan oman ympäristön välille.
VPN	Virtual Private Network. Virtuaalinen salattu yhdyskäytävä internetiin.
vSphere	VMWaren virtuaalikoneiden hallintakäyttöjärjestelmä.
Windows Azure Platform	
	Microsoftin pilvipalveluna tarjoama sovellusalusta.
x86	Yleiskielinen nimitys Intelin IA-32-käskykannasta.
Yahoo!	Hakukoneestaan tunnettu teknologiayritys.
YouTube	Nykyään Googlen omistama suosittu videoiden jakeluun tarkoitettu ilmaispalvelu.

(Amazon.com 2011; Google 2011; Microsoft 2011; Heino 2010; WordNet2011)

1 JOHDANTO

Tietotekniikka on viime vuosina arkipäiväistynyt. Nykyään jokaisen on muodostettava oma suhteensa ympäröivään laitepaljouteen, sillä tietoteknisiä ratkaisuja on kaikkialla ympärillämme. Näin on toki ollut jo pidemmän aikaa; videolaitteistojen yleistyminen 1980-luvulla toi ohjelmoitavat elektroniikkalaitteet jokaisen kuluttajan tietoisuuteen. Tietoverkkojen saatavuuden räjähdysmäinen kasvu 1990-luvun alussa yhdessä World Wide Webin keksimisen ja gsm-puhelimien yleistymisen kanssa teki tavallisille kuluttajille taloudellisesti mahdolliseksi olla vuorovaikutuksessa keskenään, ajasta tai paikasta riippumatta. Tietoyhteiskunta oli syntynyt.

Internetiin ja tietoverkkoihin yhteydessä olevien laitteiden määrä on jatkuvasti lisääntynyt vapaan markkinatalouden siivittämänä. Tämä on tuonut mukanaan myös ongelmia: ilman yhteisesti sovittuja, sitovia standardeja laitteiden yhteensopimattomuus ja sen myötä olematon käytettävyys aiheuttaa paitsi suuria aineellisia, myös mittaamattomia aineettomia menetyksiä. Yhteensopivuusongelmien ratkaisemiseksi on muodostettu erilaisia standardisointeja suunnittelevia järjestöjä ja organisaatioita, jotka ovat tehneet hartiavoimin töitä pitääkseen yllä laitteiden keskinäistä yhteensopivuutta tekniikan kehittyessä valtavasti harppauksin.

Kannettavien, jatkuvasti internetiin yhteydessä olevien päätelaitteiden yleistyessä on kehityksen pullonkaulaksi muodostumassa laitteilla käytettävien palveluiden eli sovellusten kehitys: ohjelmistotuotannon määrä on voimakkaassa kasvussa, mutta samalla tietojärjestelmien ja sovellusten optimointi laahaa perässä. Tämä ei ollut ongelma niin kauan, kun ohjelmistoja käytettiin pääasiassa kannettavilla tai pöytäkoneilla, joista tuli markkinoille joka vuosi entistä tehokkaampia malleja. Uusien laitetyyppien ja käyttötarkoitusten sekä tietoverkon kattavuuden ja kapasiteetin lisääntyessä myös ohjelmistojen yhteensopivuus ja mobiilien päätelaitteiden suhteellisesti alhaisempi laskentateho tulisi huomioida suunnittelussa entistä paremmin. Viime aikoina paljon puhutut pilvipalvelut pyrkivät ratkaisemaan tämän ongelman.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, mitä nämä pilvipalvelut oikeastaan ovat ja mistä ne koostuvat. Yksittäisen loppukäyttäjän kannalta palvelujen teknisellä toteutuksella ei ole väliä, sillä pilvipalveluiden tarkoituksena on muodos-

taa tietoteknisistä laitteisto- ja ohjelmistoresursseista koostuva kokonaisuus, jota tarjotaan loppukäyttäjille yhtenäisenä palvelukokonaisuutena internetin välityksellä. Yrityksissä tai organisaatioissa pilvipalveluiden käyttöönottoa suunniteltaessa on taas tarpeellista ymmärtää, mitä pilvipalvelu käsitteenä tarkoittaa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on määritellä pilvipalvelut käsitteenä sekä kuvaata niiden rakennetta eri näkökulmista käytännön esimerkkejä hyödyntäen. Tarkoitus on keskittyä suunnittelijan kannalta merkityksellisiin osa-alueisiin sekä niitä yhdistäviin rajapintoihin, joiden avulla voidaan muodostaa yksilöllisiä kokonaisuuksia yhteensopivuudesta tinkimättä.

Menetelmänä käytetään eri tietolähteisiin perehtymistä sekä pilvipalveluihin tutustumista käytännössä. Tietolähteinä on käytetty alan kirjallisuuden lisäksi useita eri tutkimuslaitosten ja järjestöjen julkaisuja, laite- ja ohjelmistoyritysten julkisia koulutusmateriaaleja sekä aihetta käsitteleviä, ajankohtaisia aikakaus- ja sanomalehtiarikkeleita.

Toisessa luvussa lukija johdatellaan pilvipalveluiden maailmaan tekemällä lyhyt katsaus modernin tietotekniikan syntyyn sekä pilvipalvelujen toteutuksessa olennaisen virtualisointiteknologian kehittymiseen.

Kolmannessa luvussa esitellään pilvipalveluiden määritelmä sekä niiden tunnistettavimmat ominaispiirteet. Lisäksi luvussa käydään lävitse pilvipalveluiden luokittelu palvelu- ja käyttöönottomalleittain.

Neljännessä luvussa syvennetään ensin pilvipalveluiden palvelumallien luokittelua kuvaamalla niiden keskinäistä liitettävyyttä toisiinsa pilviontologian avulla. Tämän jälkeen vertaillaan eri käyttöönottomallien toteutustapojen hyviä ja huonoja puolia kuutiomallin avulla.

Viidennessä luvussa pohditaan aluksi pilvipalveluiden käyttöönottoon liittyviä riskejä tavanomaiseen tietojärjestelmäarkkitehtuurin verrattuna. Ennen markkinoiden tunnetuimpiin palveluntarjoajiin ja niiden palveluihin tutustumista käsitellään pilvipalvelun käyttöönoton yhteydessä palvelutasoon liittyviä käytänteitä.

Kuudennessa luvussa opinnäytetyön tuloksista esitetään yhteenveto ja pohditaan pilvipalveluiden tulevaisuudennäkymiä.

2 TIETOTEKNIIKAN KEHITTYMINEN KOHTI PILVIPALVELUJA

Tietotekniikkaa on nykyaikana kaikkialla ympärillämme. Se on arkipäiväistynyt siinä määrin, että aikuistuvaan ikäluokkaan kuuluvan on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta kuvitella elämää ilman kännyköitä tai kaikille avointa tietoverkkoa, internetiä. Perinteiset tiedonvälitys- ja hankintatavat ovat enenevässä määrin vaihtuneet sähköisiin välineisiin: enää ei kirjoiteta kirjeitä käsin tai mennä kirjastoon etsimään haluttua tietoa tietosanakirjan hakemistosta. Kyseiset toimintatavat ovat korvautuneet sähköpostilla ja internetin hakukoneilla. Elämäntapamme on muuttunut todella nopeasti, sillä vielä 1980-luvulla sähköinen kommunikointi oli harvojen etuoikeus. Vaikka kotitietokoneita oli saatavilla, niiden välinen tiedonsiirto tapahtui pääasiassa fyysisiä tallennusvälineitä käyttäen. Kännykätkin käyttivät vielä analogista NMT-verkkoa.

Tietotekniikan kehitys on ollut huimaa myös ennen viime vuosikymmeninä tapahtunutta tiedonvälityksen mullistusta: loppujen lopuksi monikäyttöisten tietoteknisten laitteiden kehityskaari on lyhyt ajanjakso ihmisen historiassa. Tietotekniikan kehityksen hidastumista ei vielä toistaiseksi ole näköpiirissä, ja uusia käyttötapoja ja sovellutuksia keksitään jatkuvasti. Tällä hetkellä megatrendi vaikuttaisi olevan tiedonkäsittelyn siirtyminen kohti keskitettyjä konesaleja, joista sovelluksia etäkäytetään internetin välityksellä. Ratkaisu vähentää yksilön tarvetta ymmärtää käytettävien palvelujen teknisiä ratkaisuja, jolloin aikaa jää tarjottujen palvelujen hyödyntämiseen. Työelämässä tämän uskotaan parantavan tuottavuutta, sillä työntekijät pystyvät keskittymään paremmin työtehtäviensä vaatiman asiaosaamiseen. Toisaalta vapaa-ajan lisääntyessä kuluttajalle pystytään tarjoamaan helposti lähestyttäviä palveluelämyksiä, joiden käyttöä ei rajoita teknisen osaamisen puute. Tätä megatrendiä kutsutaan yleisesti nimellä pilvipalvelut. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tuon käsitteen määrittelyyn ja rakenteisiin. Aluksi tehdään lyhyt katsaus historiaan, sillä uudenlaisen tietoteknisen ajatusmallin mahdollistavat ideat ja perustechnologiat juontavat juurensa tietotekniikan kehityksen alkuvaiheisiin.

2.1 Modernin tietotekniikan synty

Tietotekniikan, kuten monen muunkin teknologian, kehitys on alun perin lähtöisin sotilaallisista tarpeista ja tarkoituspelistä. Ensimmäinen yleiskäyttöinen elektroninen tietokone, **ENIAC**, esiteltiin vuoden 1946 helmikuussa (Kotilainen 2006), siis lähes 66 vuotta sitten. Laskentatehon yleiskäyttöisyyden vuoksi sitä pidetään ensimmäisenä varsinaisena elektronisena tietokoneena, vaikka sitä ennen oli valmistettu mekaanisista releistä koostuvia tietokoneita ja elektronisia laskukoneita (Kotilainen 2006).

ENIAC:n kehitys aloitettiin toisen maailmansodan kuluessa vuonna 1943 Pennsylvanian yliopiston tutkijan John Mauchlyn tutkimuksiin perustuen (Ceruzzi 2003, 10; Bellis [viitattu 31.10.2011]). ENIAC:n pääasiallinen käyttötarkoitus oli tykistön ballististen ammusten lentoratojen laskeminen. ENIAC:n suunnittelu kesti vuoden ja rakentaminen 18 kuukautta, joten sen käyttöönotto tapahtui vasta sodan päätyttyä. Yhdysvaltain armeijalla kuitenkin riitti käyttökohteita sen laskentakapasiteetille: sitä käytettiin muun muassa vetypommin suunnitteluun, sääennusteiden laatimiseen, kosmisen säteilyn ja satunnaislukujen tutkimiseen sekä tuulitunnelisuunnitteluun. (Bellis, [viitattu 31.10.2011].)

ENIAC:n rakenne, koko ja laskentakapasiteetti vaikuttavat nykypäivänä lähes absurdeilta: sen toiminta perustui transistoreiden sijaan tyhjiöputkiin, joita se sisälsi 17,468. Laitteeseen kuului lisäksi 70 000 vastusta, 10 000 kondensaattoria, 1 500 relettä ja 6 000 manuaalista kytkintä, joiden toisiinsa liittämiseen tarvittiin viisi miljoonaa juotosta. Laitteiston käyttöpinta-ala oli 167 neliometriä, paino 30 tonnia ja sähkönkulutus 160 kilowattia. ENIAC:n laskentateho oli 5 000 yhteenlaskua, 357 kertolaskua tai 38 jakolaskua sekunnissa. Suorituskyky kuulostaa vaatimattomalta, mutta ENIAC oli aikanaan tuhat kertaa edeltäjiään nopeampi. Laitteiston uudelleenohjelmointi vei viikkoja, ja lämmönvaihteluille alttiiden tyhjiöputkien vaihtaminen uusiin tiesi pitkiä huoltoseisokkeja. (Bellis, [viitattu 31.10.2011].)

ENIAC:n rooli tietotekniikan kehityksessä on sikäli merkittävä, että sen kehittäjät John Mauchly ja John Presper Eckert perustivat vuonna 1946 **Electronic Control Company**n, joka rekisteröitiin osakeyhtiöksi 22. joulukuuta 1947 nimellä **Eckert-Mauchly Computer Corporation**. Eckert ja Mauchly päätyivät kaupallisen yrityk-

sen perustamiseen yliopiston vaadittua tutkijoita allekirjoittamaan sopimuksen keksintöjään koskevien immateriaalioikeuksien luovuttamisesta työnantajalleen. Yhtiö ehti suunnitella suhteellisen pienen tietokonelaitteiston, **BINAC**:n, amerikkalaiselle lentokonevalmistaja **Northrop Corporation**ille. Laitteisto selvisi valmistajan testeistä, mutta turvallisuusnäkökohtiin vedoten Northrop Corporation ei päästänyt EMCC:n teknikoita tiloihinsa kokoamaan laitteistoa vaan palkkasi vastavalmistuneen insinöörin tekemään työn. Tämän seurauksena laitteisto ei koskaan toiminut tilaajan toivomalla tavalla. Suurin kehitysprojekti oli **ENIAC II**:sen, myöhemmin **UNIVAC**-nimen saaneen järjestelmän kehittäminen muun muassa yhdysvaltain väestönlaskennasta vastaavan viraston (**Bureau of Census**) tarpeisiin. UNIVAC:n valmistuessa oli koko olemassaolonsa ajan talousongelmissa paininut yritys kuitenkin jo myyty **Remington Rand**ille. Myöhempien yrityskauppojen seurauksena UNIVAC:n teknologia päättyi osaksi **Unisys**iä, joka toimii alalla edelleen. (Norberg 2005, 73–85.)

UNIVAC oli aikansa tekninen mestariteos, mutta sen valmistukseen käytetty tekniikka oli liian hidas ja kallis kaupalliseen tuotantoon. Sen kilpailija **IBM** onnistui kehittämään 50-luvun puoleen väliin mennessä vastaavia tuotteita, joiden valmistus pystyttiin siirtämään tuotantolinjoille. Laitteita saatiin toimitettua useammalle asiakkaalle huomattavasti nopeammin, mikä johti kaupalliseen menestykseen. (Ceruzzi 2003, 14.)

2.2 Virtualisoinnin historia

Virtualisointi sinällään ei ole teknologiana kovinkaan uusi tuttavuus, ensimmäiset virtualisointia hyväkseen käyttävät keskustietokoneet otettiin käyttöön jo 1960-luvun lopulla (Singh 2004; Milberg 2009, 2). Laitteet olivat hinnaltaan ja fyysisiltä mittasuhteiltaan niin suuria, että laitteiston taloudellista käyttöä varten koneiden kapasiteettia piti jakaa useammalle käyttäjälle. Laskentaresurssien jakamiseen kehitettiin **lomittaiskäsitteeksi (multiprogramming)** kutsuttu tekniikka, joka perustuu laitteiston **osittaiskäyttöön (timesharing)** ja mahdollistaa fyysisen muistin jakamiseen käyttäjäkohtaisiksi kokonaisuuksiksi (WordNet 2011).

Tietotekniikan kehittyessä laitekanta siirtyi vaiheittain käyttämään Intelin **IA-32**-käskykantaan – johon usein viitataan epämuodollisesti myös **x86**-nimikkeellä – perustuvia suoritintyyppisiä ja käyttöjärjestelmiä. Laitteiden samanaikaisen fyysisen koon radikaalin kutistumisen johdosta teknologia unohdettiin vuosiksi tarpeettomana. Tilanne muuttui vuosituhannen lopun lähetessä laitteiden käytettävissä olevan laskentakapasiteetin määrän kasvaessa tarvetta suuremmaksi. (Singh 2004; Smith & Nair 2005, 2–8.)

Sähköisten tietojärjestelmien korvattaessa vanhoja toimintatapoja ja -kulttuureja on käsiteltävän tiedon määrä lisääntynyt valtavasti. Tietokoneiden lasketakapasiteetin kasvun pysyminen Mooren lain viitoittamalla polulla on tarjonnut ohjelmistosuunnittelijoille mahdollisuuden yhä raskaampien ja monimutkaisempien ohjelmistojen suunnitteluun; vielä 1990-luvun jälkipuoliskolla kuvan- ja videonkäsittely oli kallista ja aikaavievää puuhaa, eikä kovin moni harrastelijakuvaaja unelmoinutkaan digitaalisesta jälkikäsittelystä kotikoneellaan. Nykyään käytännössä minkä tahansa kuluttajakäyttöön suunnatun mikrotietokoneen lasketakapasiteetti riittää hyvin vähintään lomavideoiden leikkaamiseen ja koostamiseen. Valtaosa tietotekniikan peruskäyttäjistä ei kuitenkaan tarvitse kuin murto-osan käytettävissään olevasta lasketakapasiteetista. Näin ollen yhä enenevä osa lisääntyneestä kapasiteetista on suuren osan ajasta virtaa tyhjäkäynnillä kuluttava menoerä.

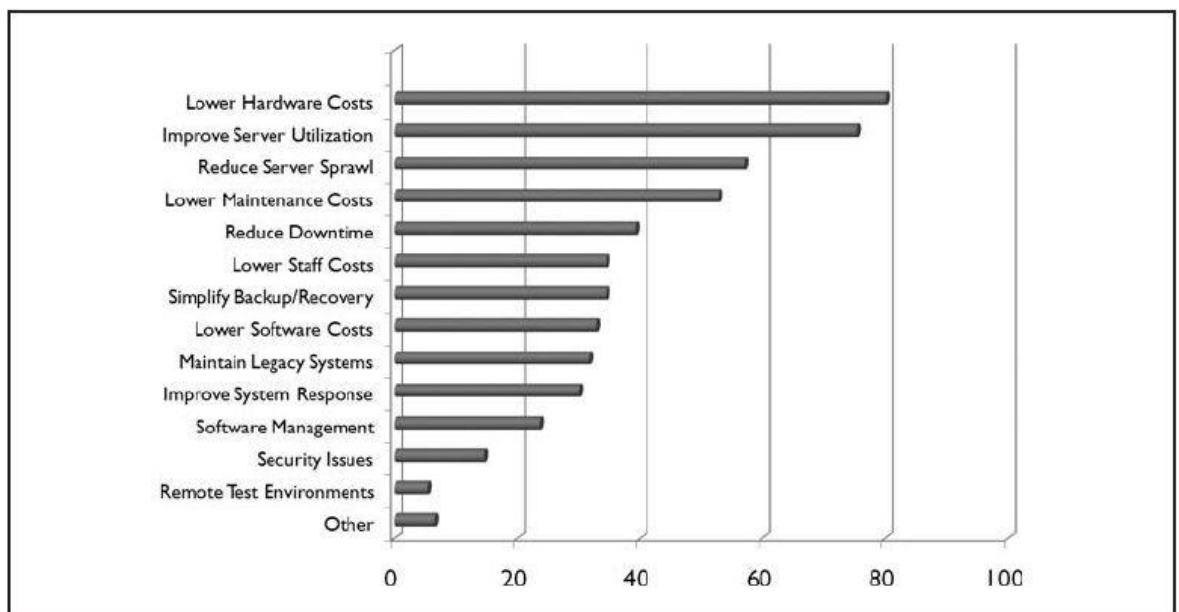
Kyseiseen ilmiöön, eli lasketakapasiteetin vajaakäyttöön, on havahduttu myös suurempien järjestelmien ja palveluiden ylläpidossa, sillä kerrannaisvaikutuksineen kyse on melko suurista summista; tutkimusyhtiö Gartnerin mukaan vuonna 2008 peräti 70 prosenttia it-budjeteista käytettiin infrastruktuuriin (Ruest & Ruest 2009, 5).

Saman tutkimusyhtiön vuosittain tietohallintojohtajille tekemän kyselyn lehdistötiedotteiden mukaan juuri nyt on käynnissä organisaatioiden siirtyminen virtualisointiin perustuvan infrastruktuurin käyttöönottoon; osassa tutkimukseen osallistuneista organisaatioista on edetty jo niin pitkälle, että kehitys- ja suunnittelupanostusta ollaan siirtämässä infrastruktuurin uudistamisen sijaan virtualisointiin perustuviin, uusiin ja asiakkaille lisäarvoa tuottaviin liiketoimintamalleihin sekä pilvipalveluihin (taulukko 1).

Taulukko 1. Tietohallintojohtajien top 10 liiketoiminta- ja teknologiaprioriteetit (Gartner 2011).

<i>1.1.1.1.1 Top 10 Business Priorities</i>	Ranking	Top 10 Technology Priorities	Ranking
Increasing enterprise growth	1	Cloud computing	1
Attracting and retaining new customers	2	Virtualization	2
Reducing enterprise costs	3	Mobile technologies	3
Creating new products and services (innovation)	4	IT management	4
Improving business processes	5	Business intelligence	5
Implementing and updating business applications	6	Networking, voice and data communications	6
Improving technical infrastructure	7	Enterprise applications	7
Improving enterprise efficiency	8	Collaboration technologies	8
Improve operations	9	Infrastructure	9
Improving business continuity, risk and security	10	Web 2.0	10

Ruest ja Ruestin (2009, 6) esittelemän Ziff-Davis Researchin tutkimuksen tulokset tukevat edellä mainittua kehityssuuntaa; vuoden 2008 pääpaino on ollut infrastruktuuria uudistamalla saaduissa taloudellisissa säästöissä (kts. kuvio 1).



Kuvio 1. Yleisimmät syyt virtualisoinnin käyttöönottamiseksi 2008 (Ruest & Ruest 2009).

3 PILVIPALVELUIDEN MÄÄRITELMÄ JA LUOKITTELU

Pilvipalvelut (**Cloud computing**) on käsitteenä vielä kohtalaisen vakiintumaton, eikä sillä toistaiseksi ole yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää (Salo 2010, 16). Monet verkkopohjaisia ratkaisuja tarjoavat yritykset liittävät termin tuotteisiinsa, vaikka kyseessä olisi perinteisen palvelun näennäinen uudistaminen pilvipalvelumalliin soveltuvaksi. Kriitikot kutsuvat kyseistä ilmiötä **cloudwashingiksi** (Heino 2010, 20). Toisaalta jotkut tavallisille kuluttajille suunnatut ilmaispalvelut ovat olleet käytössä jo verrattain kauan, eivätkä niiden käyttäjät osaa edes mieltää niitä varsinaisiksi pilvipalveluiksi; esimerkkinä mainittakoon **Googlen** palveluista **Gmail** ja **YouTube**.

Eri lähteissä cloud computing on suomennettu eri tavalla näkökulmasta riippuen; Salo (2010, 16) käyttää kirjassaan käännoästä pilvipalvelut, kun taas Heino (2010, 34) kääntää sen muotoon pilvitoimintamalli. Heinon teoksessa pilvitoimintamallin tosin luokitellaan välineeksi pilvipalveluiden tarjoamiseen, hankkimiseen ja toteuttamiseen, joten yksinkertaistamisen vuoksi tässä tekstissä noudatetaan Salon käännoästä. Pilvi (**Cloud**) on puhelinoperaattoreiden 1980-luvulla käyttöönottama termi ja symboli kuvaamaan rajapintaa palveluntarjoajan ja asiakkaan välillä. Sama symboli on sittemmin vakiintunut kuvaamaan kaikkia tietoliikenneverkkoja. (Heino 2010, 32–33; Salo 2010, 16.)

Pilvipalveluiden määrittelemisen lähtökohtana voidaan pitää yhdysvaltalaisen, sikäläisen elinkeinoministeriön alaisuudessa toimivan **National Institute of Standards and Technologiesin (NIST)** julkistamia määriytyksiä, sillä useat lähde- teokset (Heino 2010, 39; Salo 2010, 17) viittaavat niihin; lisäksi tulee ottaa huomioon, että useat alan suurimmista toimijoista ovat amerikkalaisia monikansallisia yrityksiä. NIST:n määritelmä on myös yhdenmukainen **SPI-pilviluokituksen** (Ahson & Ilyas 2011, 2-4) kanssa. SPI-luokituksessa pilvipalvelut luokitellaan kolmeen ryhmään, jotka ovat Software, Platform ja Infrastructure. Nämä ryhmät vastaavat NIST:n palvelumalleja, jotka esitellään luvussa 3.2. Useammassa lähde- teoksessa (Heino 2010, 39; Reese 2009, 2) mainitaan myös RedMonkin analyytikon James Governorin 15 nyrkkisääntöä, joita soveltamalla voidaan erottaa tosiasiat myynti- puheesta. Governorin (2008) lista soveltuu jokaisen peruskäyttäjän apuvälineeksi

tilanteissa, joissa nopean yleiskuvan luominen tilanteesta on tarpeen. Kyseessä on kuitenkin vain lista väittämiä, joiden avulla voidaan sulkea pois tarjottuja vaihtoehtoja, kun taas NIST:n määrittely (Mell & Grance 2009) soveltuu paremmin pilvipalveluiden luonteen selvittämiseen. NIST:n määrittely kuuluu seuraavasti:

Cloud computing is a model for enabling convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction. This cloud model promotes availability and is composed of five essential **characteristics**, three **service models**, and four **deployment models**.

Salon käänös (Salo 2010, 17) NIST:n määritelmästä on lyhyen ytimekkäästi: ”Cloud Computing on toimintamalli, joka mahdollistaa pääsyn vapaasti konfiguroitaviin ja skaalautuviin tietotekniikkaresursseihin, jotka voidaan ottaa käyttöön tai poistaa käytöstä helposti ja nopeasti”. Salo luettelee myös pilvipalveluiden keskeiset ominaispiirteet, mutta palvelu- ja käyttöönottomallien kohdalla hän siteeraa välillä **Microsoftia** ja välillä **Jericho Forumia** (Salo 2010, 18–19). Heino taas koostaa pilvipalveluiden ominaisuudet yhdistelemällä NIST:n määritelmää Reesen tulkintaan ja Governorin teeseihin (Heino, 39). Johdonmukaisuuden vuoksi tässä luvussa esitellään pilvipalveluiden ominaispiirteet sekä palvelu- ja käyttöönottomallit NIST:n määritelmän rakenteen mukaisesti.

3.1 Ominaispiirteet

Seuraavaksi käsitellään pilvipalveluita kuvaavat ominaispiirteet. Pilvipalveluiden ominaispiirteitä ovat itsepalvelullisuus, laaja saavutettavuus verkon välityksellä, resurssien yhteiskäyttö, nopea joustavuus sekä käytön tarkka mitattavuus.

Itsepalvelullisuus (*On-demand self-service*). Itsepalvelullisuus tarkoittaa asiakkaan mahdollisuutta ottaa tarvittaessa käyttöönsä tietoteknisiä resursseja, kuten esimerkiksi palvelinaikaa tai verkkolevytilaa, automaattisesti ottamatta yhteyttä palveluntarjoajan myynti- tai tekniseen tukihenkilöstöön. Myös palveluiden käytön lopettaminen onnistuu verkon välityksellä. Palveluista laskutetaan vain käyttöajan mukaan, joten kulujen kertymiseen voi vaikuttaa suoraan. (Mell & Grance 2009.)

Laaja saavutettavuus verkon välityksellä (*Broad network access*). Palvelut ovat saatavilla verkon välityksellä ja niiden käyttö perustuu standardisoiuihin mekanismeihin, jotka tukevat päätelaiteriippumatonta käyttöä. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakas voi käyttää palvelua missä tahansa ja millä laitteella tai käyttöjärjestelmällä tahansa, kunhan hänellä on internet-yhteys käytettävissä. (Mell & Grance 2009.)

Resurssien yhteiskäyttö (*Resource pooling*). Palveluntarjoajan tietojenkäsittelyresurssit on yhdistetty usean asiakkaan palvelemiseksi. Fyysisiä ja virtuaalisia resursseja osoitetaan asiakkaan käyttöön dynaamisesti tarpeen mukaan. Asiakas ei voi kontrolloida eikä tietää tarkkaan, missä hänen käyttämänsä resurssit sijaitsevat. Joissakin tapauksissa voi olla tarpeen tietää käytettävän palvelun sijainti yleisemmällä tasolla, esimerkiksi maanosan, maan tai datakeskuksen tarkkuudella. Esimerkkejä yhteiskäytössä olevista resursseista ovat levytila, laskentateho, muisti, kaistanleveys ja virtuaalikoneet. (Mell & Grance 2009.)

Nopea joustavuus (*Rapid elasticity*). Palveluntarjoajan voimavarojen käyttöönotaminen ja vapauttaminen on usein automatisoitu, joten palveluiden skaalaus sujuu nopeasti ja joustavasti. Asiakkaan näkökulmasta hankittavissa olevat resurssit vaikuttavat kapasiteetiltaan rajattomilta ja ovat otettavissa käyttöön mihin aikaan ja miten suurissa erissä tahansa. (Mell & Grance 2009.)

Käytön tarkka mittattavuus (*Measured Service*). Pilvipalvelujärjestelmät valvovat ja optimoivat resurssien käyttöä automaattisesti sekä mittaavat kulutusta kyseisen palvelun kannalta sopivalla tasolla. Palvelun käyttöastetta voidaan seurata halutulla tarkkuudella ja tiheydellä (esimerkiksi aktiivisten käyttäjätilien tai käytetyn kaistanleveyden perusteella). Resurssien kulutukseen perustuvan laskutuksen tiedot ovat läpinäkyvästi sekä palveluntarjoajan että asiakkaan käytettävissä. (Mell & Grance 2009.)

Ominaispiirteitä tarkastelemalla on helppo erottaa pilvipalvelut perinteisistä verkkopalveluista: puhtasoppisessa pilvipalvelussa ne toteutuvat kaikilta osin, kun taas yhden tai useamman ominaisuuden puuttuminen on merkki tuotteistamalla pilvipalveluksi naamioidusta sovelluksesta. Käytännössä kuluttajille suunnatut pilvipalvelut eivät koskaan ole täysin määritelmän mukaisia, sillä niiden perusominais-

suuksiin kuuluu harvoin rajaton kapasiteetti ja käytön mittaaminen tarkasti. Loppukäyttäjän kannalta olennaisempaa on se, että useimmiten maksimikapasiteetti on määritelty enemmän kuin riittäväksi peruskäytön kannalta: esimerkiksi Google Mail (Gmail) tarjoaa käyttäjälleen tällä hetkellä yli 7,5 gigatavun kokoisen sähköposti-laatikon. Yleisesti pilvipalveluna voidaan pitää palvelua, joka täyttää kolmen ensiksi mainitun ominaispiirteen määritelmän.

3.2 Palvelumallit

Seuraavaksi käsitellään pilvipalveluiden palvelumallit. Palvelumalleja ovat ohjelmisto palveluna, sovellusalusta palveluna ja infrastruktuuri palveluna.

Ohjelmisto palveluna (*Software as a Service, SaaS*). SaaS on palveluntarjoajan pilvipalveluinfrastruktuurissa ajettava sovellusalustalla toimiva sovellus, jota asiakas voi käyttää verkkoyhteydellä varustetulla päätelaitteella. Yleensä laitteen tyyppillä ja käyttöjärjestelmällä ei ole väliä, kunhan siitä löytyy tuettu yhteysohjelma (yleensä verkkoselain). Asiakkaalla ei ole mahdollisuutta tarkkailla tai muuttaa sovelluksen taustalla olevaa pilvipalveluinfrastruktuuria tai sillä toimivia palveluja, kuten esimerkiksi palvelimia, käyttöjärjestelmiä, levytilaa tai edes yksittäisen sovelluksen ominaisuuksia. Mahdollisen poikkeuksen tästä tekee rajoitettujen käyttäjäkohtaisten muutosten tekeminen. (Mell & Grance 2009.)

Sovellusalusta palveluna (*Platform as a Service, PaaS*). PaaS on palveluntarjoajan pilvipalveluinfrastruktuurissa ajettava sovellusalusta, johon asiakas voi siirtää tarjotuilla ohjelmointityökaluilla tehtyjä omia tai kolmannelta osapuolelta hankkimiaan sovelluksia. Asiakkaalla ei ole mahdollisuutta tarkkailla tai muuttaa sovellusalustan taustalla olevaa pilvipalveluinfrastruktuuria tai sillä toimivia palveluja, kuten esimerkiksi palvelimia, käyttöjärjestelmiä tai levytilaa, mutta asiakas hallitsee sovellusalustalle siirtämiään sovelluksia sekä mahdollisesti sovellusten ajonaikaiseen ympäristöön liittyviä asetuksia. (Mell & Grance 2009.)

Infrastruktuuri palveluna (*Infrastructure as a Service, IaaS*). IaaS on palveluntarjoajan pilvipalveluinfrastruktuuri, josta asiakas voi ottaa käyttöönsä laskenta-aikaa, levytilaa, verkkoyhteyksiä ja muita tietojenkäsittelyn kannalta olennaisia re-

sursseja, joita tarvitsee haluamiensa ohjelmistojen käyttöönottamiseksi. Ohjelmistojen kokoa, tyyppiä tai määrää ei ole rajoitettu. Asiakkaalla ei ole mahdollisuutta tarkkailla tai muuttaa taustalla toimivaa pilvipalveluinfrastruktuuria, mutta asiakas hallitsee asentamiaan käyttöjärjestelmiä ja ohjelmistoja, varaamaansa levytilaa sekä mahdollisesti rajallista määrää valikoituja verkkokomponentteja (esimerkiksi **host firewall** isäntäpalomuuuri). (Mell & Grance 2009.)

Palvelumallien perusteella pilvipalvelut voidaan jakaa eri käyttötarkoitusten mukaisiin kerroksiin. Useimmiten jo palvelun yleisesittelyyn tutustuttaessa voidaan rajata toiselle käyttäjäkohderyhmälle suunnatut palvelut ulos tarkastelujoukosta perehtymättä niiden palvelukuvauksien yksityiskohtiin sen tarkemmin.

SaaS-palveluiden kohderyhmä on loppukäyttäjä eli kuluttaja tai toimistotyöntekijä, ja niiden tarkoituksena on joko korvata erikseen työpöytäkoneelle asennettava ohjelmisto tai tarjota kokonaan uusi lähestymistapa vanhalle toimintamallille. Suuremmissa organisaatioissa ja yrityksissä niiden käyttöönotto on verrattain hidasta, sillä prosessi noudattelee perinteisen ohjelmiston käyttöönoton kaavaa tarpeellisuusarvioineen ja kilpailutuksineen. Pk-yrityksille tai yksittäiselle kuluttajalle SaaS-palveluista tekee houkuttelevan vaihtoehdon niiden alhaisten aloituskustannusten lisäksi osaamiskynnyksen mataluus ja käytön joustavuus: palvelun käyttöönotto ja sulkeminen sujuvat minuuteissa ja laskutus perustuu toteutuneeseen käyttömäärään, ei määräaikaisiin sopimuksiin tai kalliisiin lisenssimaksuihin.

Paas-palveluiden kohderyhmään kuuluvat sovelluskehittäjät ja järjestelmäsuunnittelijat, sillä niiden tarkoituksena on toimia itse rakennettujen ohjelmistojen toimintaympäristönä. Alustalla pyörivien sovellusten käyttö on usein toteutettu SaaS-palveluna.

IaaS-palveluiden kohderyhmään kuuluvat ensisijaisesti organisaatioiden ja yritysten tietoteknisiä ratkaisuja suunnittelevat sekä niitä toteuttavat tahot. IaaS-palvelut käsittävät yleensä esimerkiksi palvelinvirtualisointia ja kahdennettuja levyjärjestelmiä.

3.3 Käyttöönottomallit

Seuraavaksi käsitellään pilvipalveluiden käyttöönottomalleja. Käyttöönottomalleja ovat yksityinen pilvi, yhteisöllinen pilvi, julkinen pilvi sekä hybridipilvi.

Yksityinen pilvi (*Private cloud*). Yksittäisen organisaation käytössä oleva pilvipalveluinfrastruktuuri. Ylläpidosta vastaa joko organisaation oma tekninen tuki tai se voi olla ulkoistettu kolmannelle osapuolelle. Laitteisto voi sijaita organisaation tai kolmannen osapuolen tiloissa. (Mell & Grance 2009.)

Yhteisöllinen pilvi (*Community cloud*). Pilvipalveluinfrastruktuuri on usean organisaation yhteinen ja tukee organisaatioille yhteisiä erityistarpeita, esimerkiksi turvallisuusvaatimuksia. Ylläpidosta vastaa joko organisaation oma tekninen tuki tai se voi olla ulkoistettu kolmannelle osapuolelle. Laitteisto voi sijaita organisaation tai kolmannen osapuolen tiloissa. (Mell & Grance 2009.)

Julkinen pilvi (*Public cloud*). Pilvipalveluarkkitehtuuri on tarjolla tavallisille kuluttajille tai suurelle yritysryhmälle. Sen omistaa ja ylläpidosta vastaa pilvipalveluja ulkopuolisille myyvä organisaatio. (Mell & Grance 2009.)

Hybridipilvi (*Hybrid cloud*). Pilvipalveluarkkitehtuuri, jossa yhdistellään yhtä tai useampaa yllä mainittua pilvimallia niin, että jokainen niistä säilyy omana kokonaisuutenaan, mutta on yhdistetty keskenään joko standardisoidulla tai patentoidulla teknologialla, joka takaa datan ja sovellusten siirrettävyyden (esimerkiksi **Cloud bursting** pilvien välillä). (Mell & Grance 2009.)

Käyttöönottomalleista ylivoimaisesti käytetyin on tällä hetkellä julkinen pilvi, sillä pelkästään sosiaalisen median jättiläisellä **Facebookilla** on omien mittaustensa mukaan yli 800 miljoonaa käyttäjää, joista jopa yli 50 prosenttia kirjautuu palveluun päivittäin. Tilanne kuitenkin tasaantuu yritysten ja organisaatioiden siirtäessä enenevässä määrin liiketoimintakriittisiä sovelluksiaan pilveen: niiden toimintavarmuudesta sekä tietoturvasta huolehtimista ei voi täysin ulkoistaa kolmansille osapuolille liikesalaisuuksien ja luottamuksellisten asiakassuhteiden paljastumisen pelossa. Monissa organisaatioissa siirtymä kuitenkin hoidetaan vaiheittain nykyisen laitteistokannan elinkaaren saavuttaessa päätepisteensä. Todennäköisesti kehitys johtaa

hybridipilviverkoston syntyminen, sillä lisäkapasiteettia tullaan tarvitsemaan ainakin hetkellisten kysyntäpiikkien aikana.

3.4 Pohdintaa

Pilvipalveluiden perusominaisuuksien käyttäminen on usein käyttäjälle näennäisen ilmaista ansaintalogiikan perustuessa käyttäjätietojen hyödyntämiseen. Esimerkiksi hakukoneissa itse hakujen suorittaminen on ilmaista, mutta jokaisen tulostuksen aluksi esitellään varsinaisten asiakkaiden maksamia hakusanan, kielen ja internet-yhteyden maantieteellisen sijainnin perusteella kohdennettuja mainoksia. Mainoksien kohdentamiseen ja niiden tehokkuuden seuraamiseen käytettävien työkalujen perusominaisuudet ovat toki vapaasti hyödynnettävissä vaikkapa omien internet-sivujen näkyvyyden parantamiseksi, mutta vasta maksava asiakas pääsee hyödyntämään niiden ominaisuuksia täysin.

Ilmaiskäytössä olevat palvelut ovat usein myös maksullisten sovellusten perusominaisuuksien julkisia **beta**-testejä: palvelun toimiessa odottamattomasti tai hävitäessä tietoja ei kuluttaja yleensä ole oikeutettu saamaan minkäänlaista hyvitystä – tai edes selitystä – palveluntarjoajalta. Palveluntarjoajan kannalta ilmaiskäyttäjä on arvokas resurssi: käyttäjätietojensa luovuttamisen lisäksi hän osallistuu myös maksullisen palvelun vikojen poishiomiseen ilman erillistä korvausta ja omalla vastuullaan.

Loppukäyttäjän kannalta palveluiden käyttäminen on kuitenkin melko turvallista, sillä käyttäjätietojen väärinkäytön estäminen ja palvelun tietoturvasta ja sulavasta toiminnasta huolehtiminen on myös palveluntarjoajan etu: tuskin kovin moni organisaatio edes harkitsee maineensa menettäneen palvelun maksulliseen versioon siirtymistä.

Yrityksissä hybridipilvien mahdollisuudet tultaneen hyödyntämään, kunhan aika siihen on kypsä. Oman yksityisen pilven rakentamista lykätään joissakin tapauksissa yleisesti hyväksytyjen ja laajalle levinneiden standardien sekä yhdenmukaisen lainsäädännön puutteen vuoksi, sillä halutaan varmistaa oman pilven laajennettavuus kapasiteetin tarpeen kasvaessa uusien pilveen siirrettävien sovellusten

myötä. Varsinkin useilla aikavyöhykkeillä toimivat yritykset tulevat säästämään paljon rahaa erikoisohjelmien kalliiden lisenssien tehostamisen myötä.

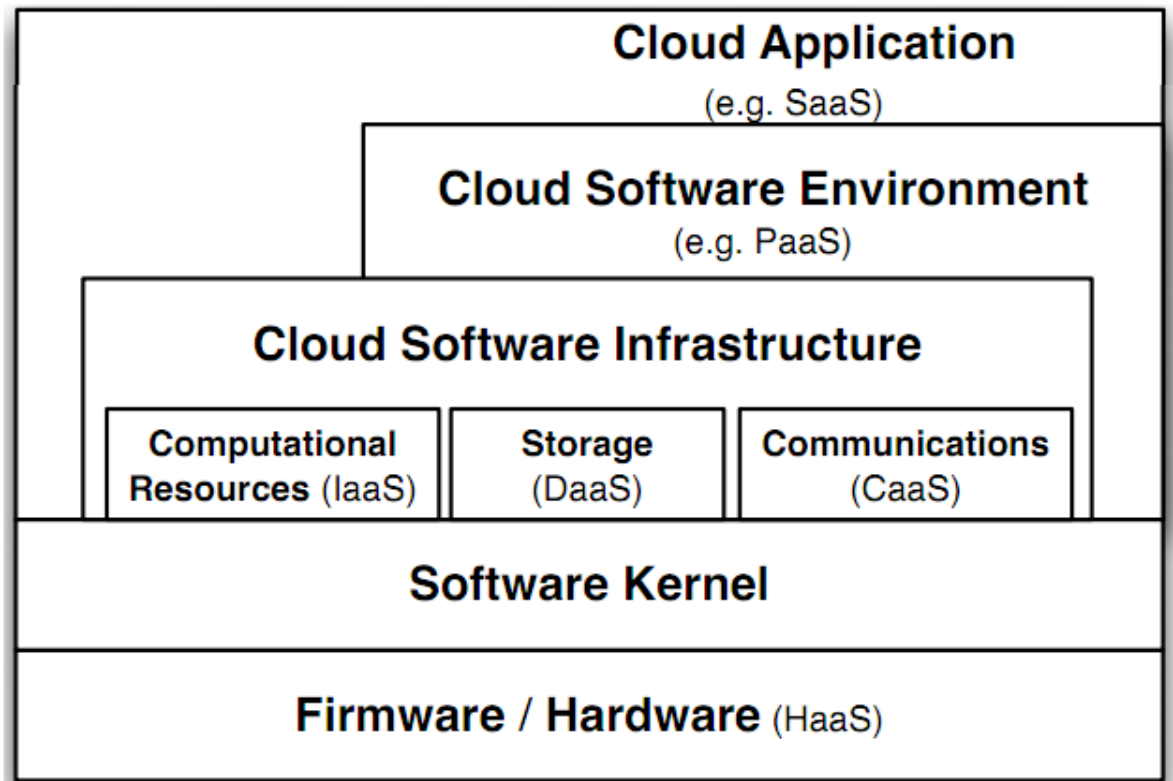
Julkisella sektorilla on puolestaan loistava mahdollisuus it-palveluiden tehostamisen suhteen, mikäli se osataan käyttää oikein: yhteisöllisen pilven muodostaminen eri julkishallinnon alojen laitteistoresurssihankintojen keskittämällä yhteisiin palvelinkeskuksiin toisi valtavat säästöt. Asiantuntevan suunnittelun ja ylläpidon avulla vältettäisiin myös nolot palvelinten kaatumiset ja hätäratkaisut äkillisten kysyntäpiikkien aikana; esimerkkeinä kuluvalta vuodelta 2011 mainittakoon Säteilysuojakeskuksen (**STUK**) (Lehto 2011) ja Keskusrikospoliisin (**KRP**) sivustojen kaatumiset juuri silloin, kun niiden välittämä informaatio olisi ollut tarpeellista. Jälkimmäisessä tapauksessa kaatuivat myös Rajavartiolaitoksen ja Sisäministeriön sivustot (Helsingin sanomat 2011).

4 PILVIPALVELUIDEN KOOSTUMUS JA ULOTTUVUUDET

Määritelmänsä mukaisesti pilvipalvelut tarjoavat loppukäyttäjän kannalta helposti käyttöönotettavan ja ylläpidettävän palvelukokonaisuuden. Ideaalitapauksessa loppukäyttäjällä ei ole tarvetta tietää käytettyjen laitteistoresurssien sijaintia tai ohjelmistojen teknistä toteutustapaa; riittää, että käyttökokemus on tilauksen mukainen. Käytännössä pilvipalveluiden käyttöön siirtyminen vaatii kuitenkin jonkinasteista perehtymistä palveluiden koostumukseen ja keskinäiseen yhteensopivuuteen, mikäli tavoitteena on rakentaa aidosti pilven eri ominaisuuksia ja osa-alueita hyödyntävä kokonaisratkaisu. Palveluiden luonteen selvittämistä ja niiden keskinäisten suhteiden hahmottamista varten on tarkoituksenmukaista tutustua **UCSB-IBM:n pilviontologiaan** (Youseff, Butrico & Da Silva 2008; Ahson & Ilyas 2011, 4) ja **Jericho Forumin** pilvikuutiomalliin (Jericho 2009; Salo 2010, 19). Näiden käsitelmien avulla organisaation johto voi suunnitella käyttöönotettavaa kokonaisratkaisua yleisemmällä tasolla, ilman laaja-alaista teknistä asiantuntemusta.

4.1 UCSB-IBM:n pilviontologia

UCSB-IBM:n pilviontologia on syntynyt Kalifornian yliopiston ja IBM:n tutkijoiden yhteistyönä. Tarkoituksena on ollut yhtenäisen käsiterakenteen luominen helpottamaan pilvipalveluiden eri osa-alueiden keskinäisten suhteiden hahmottamista ja niihin tutustumista (Ahson & Ilyas 2011, 4). Malli on rakennettu nykyaikaisesta ohjelmistosuunnittelusta tutun palvelukeskeisen arkkitehtuurin (**SOA, Service Oriented Architecture**) periaatteiden mukaisesti kerroksista siten, että ylemmät kerrokset voidaan koostaa alempien kerrosten palveluista. Palveluiden sisäisillä rakennemuutoksilla ei ole vaikutusta ulkoiseen liitettävyyteen, sillä niiden hyödyntämiseen käytettävät rajapinnat säilyvät ennallaan. Tässä yhteydessä ei ole tarpeen perehtyä SOA:n rakenteeseen yksityiskohtaisesti.



Kuvio 2. UCSB-IBM:n pilviluokittelumalli (Youseff ym.2008).

UCSB-IBM:n pilviontologia (kuvio 2) tarkoittaa NIST:n palvelumalleja koskevaa luokitusta infrastruktuurin (IaaS) osalta jakamalla sen kolmeen rinnakkaiseen komponenttiin. Infrastruktuurikerroksen alapuolelle on lisätty omat kerroksensa virtualisoitujen ympäristöjen hallitsemiseen ja tarkkailuun käytetyille työkaluille (**Software Kernel**) ja fyysisille laitteille (**Firmware/Hardware (HaaS)**). Luokituksen tarkennus on tarpeen erilaisten palveluiden eroavaisuuksien hahmottamiseksi.

Alimmainen kerros (HaaS, **Hardware as a Service**) sisältää kaikki fyysiset komponentit, joita tarvitaan palveluiden luomiseksi sekä niiden sisäiset, toimintaa ohjaavat ohjelmistot: näihin lukeutuvat esimerkiksi konesalissa sijaitsevat palvelimet ja levyjärjestelmät sekä palvelinkeskuksen ulkomaailmaan liittävät verkkoyhteydet. (Youseff ym. 2008, 6-7; Ahson & Ilyas 2011, 9–10.)

Ohjelmistoydinkerrokseen (software kernel) kuuluvat virtuaalikoneiden ja muiden virtualisoitujen resurssien hallintaan ja valvontaan tarkoitettut hallintaohjelmistot (**hypervisor**). Käytännössä suurimmassa osassa nykyaikaisista palvelinhuoneissa hyödynnetään tätä kerrosta jossakin määrin. Laiterympäristöjen virtualisointi mah-

dollistaa resurssien tehokkaamman käytön ja keskitetyn ylläpidon. (Youseff ym. 2008, 6; Ahson & Ilyas 2011, 9.)

Kaksi alimmaista kerrosta kuvaavat pilvipalveluiden rakentamisen mahdollistavia konesaliympäristöjä sekä niiden hallintaan tarvittavia virtualisointitekniikoita. Yrityksen tai organisaation asiantuntijoiden tulee pohtia, onko oman laitteistoympäristön rakentaminen välttämätöntä vai voidaanko fyysiset resurssit hankkia oman organisaation ulkopuolelta palveluntarjoajan konesalista. Tähän asiaan palataan Jerichon pilvikuutiomallin esittelyn yhteydessä.

Kolmas kerros, **Cloud Software Infrastructure**, vastaa NIST:n määrittelyn IaaS-kerrosta. UCS-IBM:n pilviontologiassa kerros on jaettu kolmeen rinnakkaiseen komponenttiin, joiden avulla virtualisoitu laitteisto valjastetaan varsinaisten pilvipalveluiden käyttöön. Kerroksen komponentit ovat laskentaresurssit (**Computational Resources**, IaaS), tallennustila (**Storage, DaaS**) ja yhteydet (**Communications, CaaS**). Palveluntarjoajana toimii organisaation oma it-osasto, jos organisaatio on päätenyt oman konesalin rakentamiseen.

Laskentaresursseilla tarkoitetaan useimmiten virtuaalikoneiden tarjoamista palveluna loppukäyttäjälle. Käyttöjärjestelmävirtualisointia (**OS Virtualization**) voidaan hyödyntää esimerkiksi uusia asetuksia ja ohjelmistoja testattaessa sekä normaalissa päivittäisessä käytössä. Loppukäyttäjälle voidaan antaa tavanomaista laajemmat käyttöoikeudet käyttöympäristönsä, sillä vakavan virheen – esimerkiksi virustartunnan – sattuesssa virtuaalikoneen palauttaminen oletustilaansa onnistuu nopeasti. Lisäksi virheen leviämisen riski muiden käyttäjien järjestelmiin voidaan ehkäistä tehokkaasti. Virtualisoidun käyttöjärjestelmän palautuminen virheestä sekä riskien leviäminen muihin järjestelmiin estetään siten, että loppukäyttäjien käyttöympäristö on järjestelmän ylläpitäjän käyttäjäkohtaisesti monistama kopio alkuperäisestä virtuaalikoneesta. Kopion vikaantuessa ylläpitäjä yksinkertaisesti lopettaa vikaantuneen kopion ajamisen palvelinsalissa ja monistaa käyttäjälle uuden, vahingoittumattoman kopion. Käyttäjän tekemät viimeisimmät muutokset käyttöympäristöön menetetään, mikä luonnollisesti aiheuttaa myös virhetilanteen poistumisen. Virtualisoitua käyttöjärjestelmää käyttämällä voidaan siis lisätä tuotavuutta, sillä ongelmatilanteissa yksittäisen käyttäjän järjestelmän palauttaminen alkutilanteeseen voidaan toteuttaa minuuteissa perinteisen vian selvittelyprosessin

sijaan: yleensä it-tuki poistaa vikaantuneen järjestelmän tai päätelaitteen kokonaan käytöstä vian selvittämiseksi, minkä johdosta varastossa pitää olla laitteita varalla väliaikaista käyttöä varten. Pahimmassa tapauksessa loppukäyttäjä joutuu odottamaan, että vika saadaan korjattua, mikäli korvaavaa työvälinettä ole saatavilla. (Youseff ym. 2008, 5; Ahson & Ilyas 2011, 8.)

Käyttöympäristön nopeasta palautumisesta ei kuitenkaan ole hyötyä, mikäli kaikki käsitellyt tiedostot häviävät alkutilanteeseen palauttamisen yhteydessä. Ratkaisu on tiedostojen tallentaminen virtuaalisesta käyttöympäristöstä riippumattomaan ulkopuoliseen tallennusmediaan. Tähän tarkoitukseen soveltuvat palvelut sisältyvät UCSB-IBM:n ontologian mukaan DaaS-komponenttiin (**Data-Storage as a Service**). Tallennustila on tavoitettavissa verkon välityksellä missä ja milloin tahansa, eivätkä sinne tallennetut tiedostot ole riippuvaisia käytetystä päätelaitteesta tai käyttöjärjestelmästä. Näin ollen tiedostojen käsittelyä voidaan jatkaa välittömästi virtualisoidun käyttöympäristön palauttamisen jälkeen tai millä tahansa soveltuvalla päätelaitteella. DaaS-komponentin mukaisia palveluita voidaan myös yhdistää suoraan SaaS- ja PaaS-palveluihin, jolloin sovelluksia ajavien palvelinten resurssien käyttö voidaan optimoida itse sovellusten pyörittämiseen, käsiteltävien tiedostojen sijaitessa omilla palvelimillaan. (Youseff ym. 2008, 5; Ahson & Ilyas 2011, 8.)

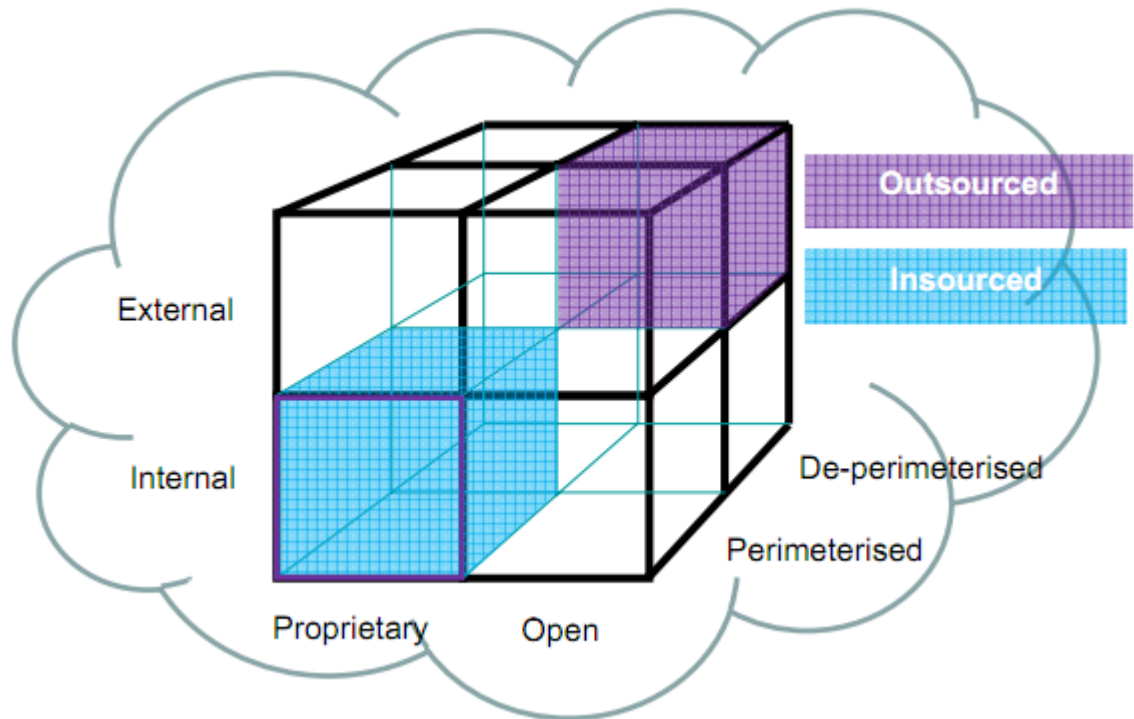
Yhteydet-komponentti (**CaaS, Communication as a Service**) on toistaiseksi jäänyt vähemmälle huomiolle julkisessa keskustelussa ja kaupallisissa pilviympäristöissä, vaikka se on pilvi-infrastruktuurin kannalta välttämätön. Pilvipalveluiden käytön yleistyessä palveluntarjoajien verkkoyhteyden hallintaan liittyvien työkalujen merkitys kasvaa: pilvessä olevien resurssien saatavuutta eri käyttäjäryhmille pyritään valvomaan ja priorisoimaan siten, että tärkeimmät palvelut ja käyttäjäryhmät ovat etusijalla. Esimerkiksi liiketoimintakriittisille sovelluksille tarvitaan toimintavarmuuden takaamiseksi riittävän suuri, pelkästään niiden käyttöön osoitettu osuus tilatusta kaistanleveydestä. Vaaditun tasoinen yhteys taataan ajamalla tarvittaessa alas vähemmän tärkeitä sovelluksia joko osittain tai kokonaan. Tärkeimpien sovellusten tiedonsiirrossa verkkoyhteyden käyttöä tarkkaillaan tavallista tarkemmin ja käytetään vahvempaa salausta tietojen väärinkäytön ehkäisemiseksi. (Youseff ym. 2008, 5-6; Ahson & Ilyas 2011, 8.)

Pilvipalveluita hyödyntävään liiketoimintamalliin siirtymisen yhteydessä kannattaa ottaa huomioon, että palvelukokonaisuuden voi koostaa usean eri palveluntarjoajan tarjoamia vaihtoehtoja yhdistelemällä tai toteuttamalla osan palveluista organisaation omassa ympäristössä, mikäli palveluntarjoajien valikoimista ei löydy organisaation kriteereitä täyttävää tai tarpeeksi kustannustehokasta vaihtoehtoa. Palveluja yhdisteltäessä pitää kuitenkin tutustua tarkemmin niiden teknisiin ratkaisuihin ja palvelusopimusehtoihin yhteensopivuuden varmistamiseksi.

4.2 Jericho Forumin pilvikuutiomalli

Jericho Forum on kansainvälinen organisaatio, joka pyrkii edistämään tietojärjestelmien verkottumista ja avoimuutta (Salo 2010, 19). Sen perusti vuonna 2004 ryhmä globaalien suuryritysten tietoturvasta vastaavia johtajia (**CISO, Chief Information Security Officer**). Nykyään sen jäsenenä on niin suuryrityksiä kuin yliopistojakin. Suomalaisista organisaatioista jäsenlistalta löytyy ainoastaan Aaltoyliopisto, tosin mukana on myös Nokian Iso-Britannian toimisto (Jericho 2011b, 1). Jericho Forum toimii avoimia, toimittajariippumattomia standardeja ja sertifikaatteja kehittävän **The Open Groupin** tuella. (Jericho 2011a.)

Jericho Forum on laatinut kolmiulotteisen pilvikuutiomallin (**Cloud Cube Model**) kuvaamaan pilvipalveluiden käyttöönottovaihtoehtoja (kuvio 3). Mallia voidaan hyödyntää organisaation suunnitellessa pilvipalveluihin perustuvaan toimintamalliin siirtymistä. Kuutio sisältää neljä eri ulottuvuutta, joiden avulla saadaan määritettyä kahdeksan pilvimuodostelmaa (**cloud formation**). (Jericho 2009, 3.)



Kuvio 3. Jericho Forumin pilvikuutiomalli (Jericho 2009).

Pystyakseli sisäinen–ulkoinen (**Internal (I) / External (E)**) määrittää tietoaineiston fyysisen sijainnin: säilytetäänkö aineisto organisaation omissa tiloissa, vai sijoitetaanko se palveluntarjoajan tiloihin. Esimerkiksi organisaation omassa palvelin-keskuksessa sijaitseva virtualisoitu levyjärjestelmä kuuluu sisäiseen pilvimuodostelmaan, kun taas **Amazon SC3**-tallennuspalvelu kuuluu ulkoiseen pilvimuodostelmaan. (Jericho 2009, 3).

Vaaka-akseli suljettu–avoin (**Proprietary (P) / Open (O)**) määrittää pilvipalvelun toteuttamiseen käytetyn teknologian omistussuhteen: suljettu pilvimuodostelma perustuu palveluntarjoajan tarjoamaan ympäristöön, mikä rajoittaa muodostelmaan siirrettyjen ohjelmistojen yhteensovittamista toisten palveluntarjoajien muodostelmissa toimivien palveluiden kanssa. Avoimessa pilvimuodostelmassa käytetään avoimeen, vapaasti käytettävään teknologiaan perustuvia ratkaisuja, minkä johdosta palveluiden yhteensopivuus muiden palveluntarjoajien muodostelmien kanssa kasvaa. (Jericho 2009, 4).

Syvyysakseli rajattu–ei-rajattu (**Perimeterised (Per) / De-perimeterised (D-p)**) määrittää tietoaineiston käytön rajat: rajatussa pilvimuodostelmassa tietoaineisto pysyy täysin koskemattomana, vaikka organisaatio väliaikaisesti ottaisi käyttöön

lisää laskentatehoa ulkoiselta palveluntarjoajalta. Rajaus toteutetaan yhdistämällä ulkoiselta palveluntarjoajalta hankittu kapasiteetti **VPN**-yhteydellä (**Virtual Private Network**) organisaation omaan järjestelmään. Tämän seurauksena ulkoinen lisäkapasiteetti kasvattaa virtuaalisesti organisaation omaa järjestelmää. Ulkoisen palveluntarjoajan pilvipalvelussa sijaitsevien eri asiakkaiden tietoaaineistojen välillä ei ole minkäänlaista rajapintaa yhteyden muodostamista varten, joten tiedot ovat turvassa ulkopuolisilta. Tämä tosin estää myös tietoaaineiston jakamisen yhteistyöorganisaatioiden kanssa. Ei-rajatussa pilvimuodostelmassa tietoaaineisto – tai sen osat – on kapseloitu meta-datan ja suojamekanismien sisälle. Näiden tunnistetietojen perusteella tiedoston käyttö sallitaan vain siihen käyttöoikeuden saaneille tahoille. Tällöin tietoaaineisto voi sijaita vapaasti minkä tahansa yhteistyöorganisaation pilviarkkitehtuurin sisällä mahdollistaen tietoaaineistojen ja laskentakapasiteetin yhteiskäytön. Jericho Forum on määritellyt ei-rajatun pilvimuodostelman kuvauksen mukaisen yhteiskäytön turvallisesti mahdollistavan rajapinnan, jonka se on nimennyt yhteistyökeskeiseksi arkkitehtuurikehykseksi (**COA Framework, Collaboration Oriented Architecture Framework**). COA Frameworkin tekninen määrittelmä koostuu useista eri suunnitteluperiaatteista, joiden yksityiskohtainen esittely ei kuulu tämän opinnäytetyön piiriin. (Jericho 2009, 5.)

Neljäs ulottuvuus, itse tuotettu-ulkoistettu (**Insourced / Outsourced**), kuvataan Jericho Forumin kuutiomallissa väreihin. Kaikilla kahdeksalla pilvimuodostelmalla Per(IP,IO,EP,EO) sekä D-p(IP,IO,EP,EO) on kaksi tilaa: joko palvelu on kolmannen osapuolen tai oman henkilöstön tarjoama ja valvoma. Kyseessä ei ole tekninen vaan liiketoiminnallinen ratkaisu, ja se määritellään palveluntarjoajan kanssa tehtävässä palvelusopimuksessa. (Jericho 2009, 6.)

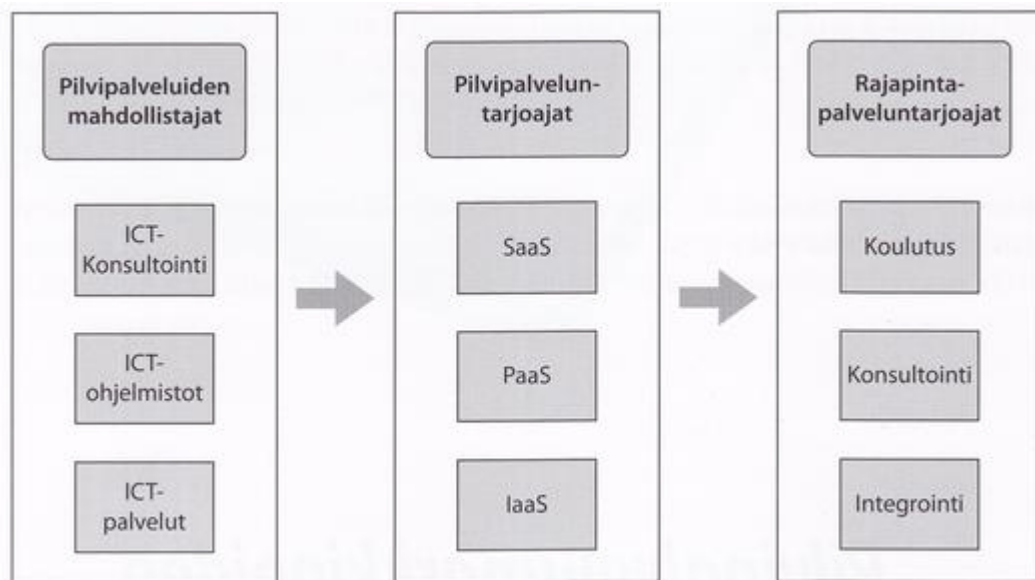
Kuutiossa vasemmassa alanurkassa sijaitseva pilvimuodostelma ”sisäinen - suljettu - rajattu - itse tuotettu” tarjoaa suurimman turvallisuustason, mutta turvallisuuden myötä ulkoinen integroitavuus ja yhteistyömahdollisuudet ovat hankalimmin toteutettavissa. Oikeassa ylänurkassa sijaitseva ”ulkoinen - avoin - ei rajattu - ulkoistettu” pilvimuodostelma taas tarjoaa parhaimman yhteensopivuuden yhteistyöorganisaatioiden ja ulkoisten järjestelmien kanssa, mutta avoimuuden mukanaan tuomat turvallisuushaasteet ovat vastaavasti suurimmat. Nykyään käytetyin pilvi-

muodostelma on ensiksi mainittu, mutta pitkällä tähtäimellä pilvipalvelut ovat siirtymässä kohti jälkimmäistä. (Salo 2010, 20.)

Pilvikuutiomallin ensisijainen käyttötarkoitus pilvipalveluita hyödyntävään liiketoimintamalliin siirtymistä suunniteltaessa on eri käyttönottomallien mukaisten ratkaisujen keskinäisen yhteensopivuuden, tietoaineistojen siirrettävyyden ja palvelun joustavan mukautumisen organisaation tarpeisiin kartoittaminen ilman suuritöistä teknistä vaatimusmäärittelyä. Palveluiden sijoittaminen kuutiomallin ulottuvuuksien rajaamiin pilvimuodostelmiin antaa yleiskuvan kyseisen palvelun soveltuvuudesta suunniteltuun käyttötarkoitukseen.

5 PALVELUNTARJOAJAT JA PALVELUIDEN KÄYTTÖNOTTO

Pilvipalveluiden tarjonta lisääntyy tasaisesti kysynnän kasvaessa. Kysynnän kasvu perustuu pilvipalveluiden luotettavuuden kehittymiseen ja palveluntarjoajien nimikkäiden referenssiasiakkaiden lukumäärän lisääntymiseen: jos palvelu pystytään toimittamaan sovittujen kriteerien mukaisena suurasiakkaalle ja kyseiset kriteerit koskevat palveluiden toimittamista myös pienemmille toimijoille, palvelun käyttöönotossa ilmenevien ongelmien riski on miltei olematon. Kuvion 4 mukaan markkinoilla toimii varsinaisten pilvipalveluntarjoajien lisäksi myös niiden tuotteita ja palveluita välittäviä yhteistyökumppaneita sekä pilvipalveluiden käyttöönottoon ja integrointiin koulutusta ja tukea tarjoavia yrityksiä (Salo 2010, 118).



Kuvio 4. Pilvipalvelumarkkinoiden kokonaiskuva (Salo 2010).

Pilvipalveluiden mahdollistajat ovat tyypillisesti tietoliikenneoperaattoreita, joiden rooli pilvipalveluiden toimittamisessa on välttämätön: pilvipalveluiden käyttö ilman luotettavasti toimivaa verkkoyhteyttä ei ole mahdollista. Tähän kategoriaan kuuluvat myös virtualisointiin erikoistuneet teknologiayritykset, kuten **VMWare** tai **Citrix**. Rajapintapalveluntarjoajat taas tarjoavat koulutus-, konsultointi- ja integrointipalveluja pilvipalveluiden teknisten ratkaisujen toteuttamiseksi. Tässä luvussa tutustutaan lyhyesti muutamaun tunnetuimpaan varsinaiseen pilvipalveluntarjoajaan sekä

tärkeimpiin niiden tarjoamiin palveluihin. Ennen palveluntarjoajiin tutustumista on kuitenkin syytä pohtia pilvipalvelujen riskitekijöitä.

5.1 Pilvipalveluiden riskit

Pilvipalvelut mahdollistavat määritelmänsä mukaan niitä käyttäville organisaatioille edullisen, luontoa säästävän ja huolettoman tietojärjestelmärakenteen. Tämä on vain osatotuus, sillä määritelmän mukaan toimiessaan palveluiden kuvauksesta on pyritty eliminoimaan kaikki riskitekijät. Käytännössä palveluiden jatkuva virheetön toiminta ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä fyysiset laitteet ovat edelleen luonnonlakien vaikutuksen piirissä. Lisäksi monimutkaisia tietojärjestelmiä ohjaavat edelleen ihmiset. Pilvipalveluiden pitkälle viety automaatio ja vikasietoisuus toki vähentävät edellä mainittuja riskitekijöitä, mutta vastaavasti virhetilanteen sattuessa ongelmat vaikuttavat laajempaan käyttäjäkuntaan. Useimpien pilvipalveluntarjoajien teknologiat ja toimintamallit ovat vielä kehitysvaiheessa, joten tietynasteinen varovaisuus niiden käyttöön otossa on suotavaa.

Heino viittaa teoksessaan (2010, 95) tutkimusyhtiö Gartnerin listaamiin keskeisimpiin huolenaiheisiin koskien pilvipalveluita. Näiden riskien olemassaolo on syytä tiedostaa, sillä niiden poissulkeminen kokonaan on mahdotonta. Asiakkaan pohdittavaksi jää, voiko riskiin varautua riittävän hyvin vai onko se liian suuri.

Ensimmäisenä riskinä mainitaan tietoliikenneyhteyksiin liittyvä vika. Etenkin tämä tulisi ottaa vakavasti, mikäli pilveen on tarkoitus siirtää liiketoimintakriittisiä sovelluksia. Useimmilla organisaatioilla on käytössään vain yksi ulkoinen tietoliikenneyhteys; vaikka toimittajia olisi useampia, saattavat näiden käyttämät fyysiset kaapelit ja keskittimet olla samat. Tähän voi oikeastaan varautua vain hankkimalla varayhteyden mobiililaitteille varattuun verkkoon. Varmistukseen ei välttämättä auta mikäli vika ei ole paikallinen; tietoliikenneyhteys voi olla poikki mistä tahansa kohdasta asiakkaan ja palveluntarjoajan välillä. Todennäköisesti katkoksia siis sattuu välillä, mutta ainakin kehittyneemmän infrastruktuurin maissa tietoliikenneviat saadaan korjattua nopeasti.

Toisena riskinä mainitaan pilvipalveluntarjoajan päässä tapahtuva virhe joko laiterikon, ohjelmistovian tai inhimillisen virheen seurauksena. Kyseisenkaltaisen virheen syyn selvittämiseen ja korjaamiseen voi mennä pahimmassa tapauksessa päiviä. Tuore esimerkki koskee Tiedon konesalia (Vaalisto 2011a). Riskin toteutuminen on todennäköinen, mutta toisaalta vastaava virhetilanne voi sattua myös organisaation omassa ympäristössä. Toistaiseksi suurimpien pilvipalveluntarjoajien palveluissa tietoja ei kuitenkaan ole menetetty pysyvästi (Heino 2010, 97). Tarpeeksi hyvin suunniteltu tiedon varmennus eli varmuuskopiointi on ainoa ratkaisu tähän ongelmaan: varmennukseen kannattaa käyttää mahdollisuuksien mukaan useamman eri palveluntarjoajan ja oman varmistuksen yhdistelmää.

Kolmantena riskinä pidetään palveluntarjoajan toiminnan loppumista. Suurempien toimijoiden tapauksessa toiminnan loppumisesta saadaan kuitenkin tieto tarpeeksi ajoissa tietojen siirtämiseen johonkin toiseen palveluun. Pienempien, pörssiin listattamattomien yritysten kohdalla toiminnan loppuminen saattaa kuitenkin tulla eteen nopeasti. Palveluntarjoajan valintaan kannattaa siis kiinnittää huomiota, mikäli tietoja ei ole varmennettu palvelun ulkopuolelle.

Neljäntenä listassa ovat niin sanotut force majeure -tilanteet; luonnonmullistukset, sotatila tai joku muu niihin verrattavissa oleva tapahtuma, johon palveluntarjoaja ei voi vaikuttaa. Palveluntarjoajan palvelun toteuttamiseen käyttämän konesalin sijainnilla on keskeinen merkitys tämän ongelma kannalta: palvelu kannattaa hankkia mahdollisimman vakaasta kohteesta.

Palvelun jatkuvuuden ja tietojen turvaamisen kannalta riskeihin varautuminen onnistuu siis perinteisin keinoin, sillä itse riskit ovat samat myös perinteisissä tietojärjestelmissä. Tietoliikenneyhteyksien varmistamisen tarve korostuu, sillä pilvipalvelumalliin nojaavissa tietojärjestelmissä yhteyskatkos pysäyttää kaikki palveluita hyödyntävät toiminnot. Sen takia kannattaa miettiä tarkasti, onko järkevää luopua esimerkiksi toimisto-ohjelmistojen perinteisistä työpöytäversioista kokonaan.

Pilvipalveluihin siirtymisen yksi suurimmista haasteista liittyy tällä hetkellä salassa pidettäviä tietoja koskevaan lainsäädäntöön. Asiakkaan vastuulla on huomioida käsiteltävän tietoineiston tietosuojaa koskevat paikalliset säädökset, mikäli palveluntarjoajan konesali sijaitsee toisen kansallisvaltion alueella.

Henkilötietojen siirtämistä Suomesta maantieteellisesti Euroopan Unionin ulkopuolelle rajoitetaan henkilötietolain (L 22.4.1999/523) 22 §:ssä sekä EU:n henkilötietojen suojelua koskevan direktiivin (D 24.10.95/46/EY) 3 ja 25 artiklassa kohdassa 2 vaatimalla varmistamaan tietosuojan riittävä taso kohdemaassa. Esimerkiksi Yhdysvallat ei täytä tätä vaatimusta terrorismin vastaisia toimivaltuuksia laajentavan **PATRIOT Actin (Provide Appropriate Tools Required to Intercept and Obstruct Terrorism)** tultua voimaan vuoden 2001 lopulla, sillä se antaa viranomaisille muun muassa oikeuden tarkkailla internet-liikennettä ja käyttää sähköisiä rekistereitä tutkintamateriaalina ilman erillistä ilmoitusta (Krutz & Vines 2010, 136). Henkilötietojen siirto Suomesta ulkomaille vaikeutuisi huomattavasti, jos Ruotsi eroaisi EU:sta, sillä myös Ruotsissa viranomaisten oikeuksia tietoliikenteen salakuunteeluun on laajennettu (Lahdensivu 2008). Todennäköisesti tästä syystä henkilötietolain (L 22.4.1999/523) 23 §:ssä säädetään poikkeusperusteista, joita noudattamalla ja käyttämällä henkilötietodirektiivissä (D 24.10.95/46/EY) esiteltyjä mallisopimuslausekkeita tiedonsiirto voidaan toteuttaa laillisesti (Heino 2010, 100). Henkilötietolain (L 22.4.1999/523) luvussa 7 (32–35 §) puolestaan säädetään henkilörekisterien pitäjien velvollisuuksista suojata tiedot ulkopuolisilta ja hävittää tiedot asianmukaisesti niiden käytyä rekisterinpitäjän kannalta tarpeettomiksi.

Heino (2010, 99) nostaa esiin myös muutaman muun pilvipalveluiden tietosuojaan vaikuttavan lain, joihin sensitiivisen tiedon siirtämistä pilvipalveluihin suunnittelevien kannattaa tutustua. Laki tietoyhteiskunnan palvelujen tarjoamisesta (L 5.6.2002/458) koskee Euroopan sisäisiä palveluntarjoajia koskevien rajoitusten säätämistä. Lex Nokiana tunnetussa sähköisen viestinnän tietosuojalaissa (L 16.6.2004/516) käsitellään sähköisen viestinnän yksityisyyttä ja luottamuksellisuutta, esimerkiksi paikannustietojen käyttöä (17 §). Laki yksityisyyden suojasta (L 13.8.2004/759) mahdollistaa muun muassa työnantajalle poikkeuspääsyn työntekijän sähköpostiin tämän ollessa estynyt käsittelemään työnantajan kannalta olennaista tietoa. Sähköpostin sijaitessa pilvipalvelussa maan rajojen ulkopuolella sikälinen lainsäädäntö saattaa vastaavasti estää kyseisen toiminnon.

5.2 Palvelutasosopimukset

Palvelun käyttöönoton yhteydessä solmittuun sopimukseen sisältyy usein **SLA-sopimus (Service Level Agreement, palvelutasosopimus)**, jonka mukaan palveluntarjoaja sitoutuu toimittamaan tilatut palvelut ennalta sovitun tasoisina. Yksinkertaisimmillaan SLA-sopimuksessa annetaan käytettävyyyslupaus prosentteina. Alla olevassa taulukossa on esimerkkejä palvelutasoista ja niiden mukaisista käyttökatkoista.

Taulukko 2. Palvelutaso (SLA) lukuina (mukaillen Salo 2010).

Palvelutaso	Palvelu poissa käytöstä / vuosi	Palvelu poissa käytöstä / kuukausi	Palvelu poissa käytöstä / päivä
100,00 %	0 h 0 min	0 h 0 min	0 min 0 s
99,99 %	0 h 53 min	0 h 4 min	0 min 8,8 s
99,95 %	4 h 38 min	0 h 22 min	0 min 43,8 s
99,90 %	8 h 46 min	0 h 44 min	1 min 27,6 s
99,00 %	87 h 36 min	7 h 18 min	14 min 36,0 s

Useimmiten SLA-sopimus kuitenkin sisältää **palvelutasotavoitteita (SLO, Service Level Objective)**, joissa määritellään erikseen esimerkiksi sovittujen tai sopimattomien käyttökatkojen ajankohta ja kesto sekä teknisen tuen taso ja saataavuus. Palveluntarjoajan on saavutettava vähintään palvelutasotavoitteissa sovitut raja-arvot noudattaakseen palvelutasosopimusta. SLA-sopimuksen noudattamatta jättäminen saattaa johtaa sanktiomenettelyyn, mikäli sellainen on sopimukseen kirjattu.

SLA-sopimuksista ja niiden ehdoista käyttöpalveluntarjoajan kanssa neuvoteltaessa on otettava huomioon, että käyttöpalveluntarjoajan edustaja pyrkii laatimaan sopimuksen edustamansa yrityksen kannalta mahdollisimman kannattavaksi. Heino (2010, 36–37) mainitsee esimerkkitapauksena sanktioiden laskemisen osaksi palvelusta syntyvää kustannusta:

Asiakas edellyttää sanktiota, jotta palveluntoimittaja rakentaisi korkean käytettävyyden ympäristön. Entä jos toimittaja laskeekin sanktiot etukäteen rakennuskustannuksiin sisään?

Esimerkki: Palvelu tarvitsisi ympäristön, jonka hinta on 150 yksikköä. Sen sijaan toimittaja käyttää 100 yksikön arvoisia laitteita, ja lisäksi arvioi maksavansa sopimusaikana sanktioita 50 yksikköä. Palvelun hinta asiakkaalle lasketaan siten, että ympäristön rakennuskustannus on 150 yksikköä. Ympäristö voi siis olla hyvinkin köykäinen, ja mikä parasta, asiakas maksaa joka kuukausi itse haluamansa sanktiot. (Heino 2010, 36–37.)

Vuonna 2011 on lehdissä ollut paljon uutisia **VR**:n lippujärjestelmän uudistuksen käyttöönotossa ilmenneistä ongelmista. Lippu-uudistuksen toteutuksessa ohjelmistoista vastannut **Accenture** ja käyttöympäristön toimittanut **Tieto** ovat tiedotteissaan vedonneet muun muassa itse konsulttipalveluna määrittelemänsä ja rakentamansa tietojärjestelmän monimutkaisuuteen ja monitoimittajahankkeeseen liittyviin ongelmiin sekä asiakkaan liian alhaiseksi ilmoittamaan tietoliikennekapasiteetin tarpeeseen (Aamulehti 2011). VR taas on järjestelmän toimintakuntoiseksi saattamisen jälkeen pohtinut mahdollisesti esittävänsä korvausvaatimuksia kyseisille käyttöpalveluntarjoajille (Vaalisto 2011). Pilvipalvelumallin mukaisesti toteutetuna järjestelmän laskentateho ja tietoliikennekapasiteetti olisivat skaalautuneet automaattisesti asiakkaan määrittelemään maksimiarvoon (esim. päiväkohtainen kulukatto) asti. Mikäli palveluntarjoajan resurssit eivät olisi tähän riittäneet, koituneet kustannukset hyvitetäisiin asiakkaalle SLA-sopimuksessa määriteltyjen ehtojen mukaisesti. Kolmannelta osapuolelta ostetun lippujärjestelmän suunnittelun mahdollisten virheiden korjaus ja korvausvastuu olisi oma lukunsa.

5.3 Palveluntarjoajat

Ensimmäisenä suurista palveluntarjoajista pilvipalveluita ryhtyi tarjoamaan **Amazon.com** (Salo 2010, 118). Alun perin vuonna 1994 perustettu ja seuraavana vuonna verkkokirjakauppansa avannut Amazon.com on myöhemmin laajentanut toimintaansa, ja nykyään Amazon on maailman suurin verkkokauppa. Amazon

myy verkkokauppapalveluja myös muille yrityksille: asiakkaina sillä on muun muassa Yhdysvaltojen toiseksi suurin vähittäiskauppaketju **Target** sekä ranskalainen vaatemerkki **Lacoste**. Amazonin pilvipalvelukokonaisuus on nimeltään **AWS (Amazon Web Services)**. Alun perin se on käynnistynyt jo vuonna 2002, mutta sen keskeisin osa, **EC2 (Elastic Compute Cloud)**, on ollut julkisessa käytössä vuodesta 2006 lähtien (Heino 2010, 106). AWS EC2 tarjoaa asiakkaalle mahdollisuuden käyttää Amazonin konesaleissa ajettavia virtuaalipalvelimia, jotka Amazon on nimennyt AMI:ksi (**Amazon Machine Image**). AMI:sta käytetään myös nimitystä instanssi, sillä käyttöönotetut AMI:t ovat alkuperäisen virtuaalikoneen kopioita. Asiakas voi joko valita esiasennetun AMI:n tai luoda tarvittaessa tarkoitukseensa sopivan virtuaalikoneen. Räätelöidyt AMI:t voi halutessaan jakaa muiden käyttäjien kanssa: tällä hetkellä valmiita virtuaalikoneita on tarjolla 1052 (Amazon.com 2011b). AMI-instanssi voi olla joko Windows- tai Linux-pohjainen, ja käyttäjä voi tarvittaessa ottaa käyttöönsä useamman identtisen instanssin. Tarjolla on usean kokoisia instansseja, joista voi valita käyttötarkoitukseensa sopivimman vaihtoehdon. Taulukossa 3 on listattu tällä hetkellä Euroopassa voimassa oleva instanssien hinnasto.

Taulukko 3. Amazonin instanssien hinnat Euroopassa (mukaillen Amazon.com 2011a).

Instanssin tyyppi	Hinta Käytön mukaan (Linux/Windows)	Hinta Varattu 1 vuosi (Linux/Windows)	Hinta Varattu 3 vuosi (Linux/Windows)
Pieni (Small)	(0,095 / 0,12) \$ / tunti	227,50 \$ + (0,04 / 0,06) \$ / tunti	350 \$ + (0,04 / 0,06) \$ / tunti
Suuri (Large)	(0,38/0,48) \$/tunti	910\$ + (0,16 / 0,24) \$ / tunti	1 400 \$ + (0,16 / 0,24) \$ / tunti
Erittäin suuri (Extra Large)	(0,76 / 0,96) \$ / tunti	1 820 \$ + (0,32 / 0,48) \$ / tunti	2 800 \$ + (0,32 / 0,48) \$ / tunti
Mikro (Micro)	(0,025 / 0,035) \$ / tunti	54 \$ + (0,01 / 0,016) \$ / tunti	82 \$ + (0,01 / 0,016) \$ / tunti
Lisätty muisti (High-Memory)	(0,57 / 0,62) \$ / tunti	1 325 \$ + (0,24 / 0,32) \$ / tunti	2 000 \$ + (0,24 / 0,32) \$ / tunti
Lisätty laskenta-kapasiteetti (High-CPU)	(0,19 / 0,29) \$ / tunti	455\$ + (0,08 / 0,145) \$ / tunti	700 \$ + (0,08 / 0,145) \$ / tunti

Kuten taulukosta käy ilmi, saa määräaikaisella sopimuksella tuntuva alennuksen tuntihinnoitteluun, mutta varausmaksu on maksettava etukäteen. Hinnaston perusteella voi verrata pilvipalveluna toteutetun palvelinkeskuksen ja oman konesalin kustannuksia keskenään. Oman konesalin kustannuksia laskettaessa tulee huomioida palvelinten hankintahinta, niiden sijoituspaikkana toimivan kiinteistön vuokra, niiden ylläpitoon käytetty työaika ja sähkönkulutus sekä palvelinohjelmistojen lisenssimaksut. Pilvipalveluna toteutettavassa järjestelmässä tarjottujen AMI:en käyttöön liittyvät lisenssimaksut on laskettu tuntihinnoittelun sisään. (Amazon.com 2011a.)

Uusi instanssien hankintatapa on ns. spot-instanssi (spot Instances), jossa asiakas ilmoittaa etukäteen haluamansa instanssien koon, lukumäärän ja konesalin sijainnin sekä hinnan, jonka on valmis maksamaan palvelusta (Heino 2010, 108). Mikäli Amazonin ilmoittama spot-hinta on alempi tai sama kuin asiakkaan tarjous, palvelu otetaan käyttöön. Palvelu pysyy käytössä siihen asti kuin asiakas lopettaa sen käytön tai kun spot-hinta nousee tarjousta suuremmaksi, jolloin palvelu ajetaan automaattisesti alas. Spot-hinta määräytyy Amazonin oman kapasiteetin tarpeen mukaan, eli palvelu on käytössä vain silloin kun valitussa konesalissa on ylikapasiteettia. Spot-instanssit eivät siis sovellu liiketoimintakriittisten palvelujen ajamiseen, mutta kiireettömiä, laskentaintensiivisiä tehtäviä suoritettaessa kustannussäästö saattaa olla merkittävä. (Salo 2010, 119–120.)

Amazon tarjoaa pilvipalveluna myös tallennuskapasiteettia. Instanssit itsessään sisältävät jonkin verran tallennuskapasiteettia mikro-instanssia lukuun ottamatta, mutta lisäkapasiteetti on hankittava erikseen. Instanssin sisältämä kapasiteetti on myös sidottu kyseisen instanssin elinkaareen, eli poistettaessa instanssi käytöstä siihen tallennettu tieto menetetään. **EBS**-palvelun (**Elastic Block Store**) kautta hankittu tallennuskapasiteetti on tarkoitettu sovellusten ja muiden jatkuvasti käytettävien tiedostojen tallennukseen, kun taas **S3**-osapalvelu (**Simple Storage Service**) on tarkoitettu pitempiaikaiseen tallennukseen, kuten esimerkiksi instanssien sisältämän tiedon varmistukseen. EBS-levyalueet ovat automaattisesti replikoituja Amazonin konesalin sisällä, joten käytännössä niille tallennettujen tiedostojen katoaminen vaatisi käytetyn konesalin vakavan vikaantumisen. S3-palveluun tallen-

netuille tiedostoille Amazon lupaa 99,999999999 prosenttien säilyvyyden vuoden ajaksi. (Heino 2010, 107–108.)

Amazon tarjoaa lisäksi työkalut palveluiden yhdistämiseen asiakkaan muihin tietojärjestelmiin VPN-yhteyden avulla (**VPC, Virtual Private Cloud**) sekä Amazonin oman maksujärjestelmän hyödyntämiseen liiketoiminnassa. **FPS-rajapintaa (Flexible Payments System)** käyttämällä tavoitetaan Amazonin miljoonat verkko-kauppa-asiakkaat, kun taas **DevPay-rajapintaa** hyödyntämällä voidaan SaaS-palveluna myytävän sovelluksen laskutus toteuttaa dynaamisesti käytön mukaan. Amazon perii maksun loppukäyttäjältä ja tilittää tuoton ohjelmiston tekijälle. Näin ohjelmistoyritys välttyy oman maksujärjestelmän rakentamisen kustannuksilta. (Heino 109–110.)

Amazon laskuttaa erikseen instansseihin kuulumattomasta tallennuskapasiteetista ja tietoliikenteestä. EBS-palvelussa tallennuskapasiteetin hinta on 0,11\$ kuukaudelta gigatavua kohden sekä 0,11\$ miljoonaa I/O-pyyntöä kohti. S3-palveluun varmistetut AML:t maksavat 0,14\$ kuukaudessa gigatavulta. EC2-palveluun saapuva tietoliikenne on maksutonta, kuten myös samassa konesalissa sijaitsevien EC2:n ja muiden AWS-palveluiden välinen tiedonsiirto. Mikäli tiedonsiirto tapahtuu samalla alueella (Regional Data Transfer), laskutetaan 0,01\$ gigatavulta. Palvelinkeskusten sijaitessa eri alueilla tiedonsiirrosta laskutetaan palvelusta ulospäin tapahtuvan tiedonsiirron hinnaston mukaan. Lähtevän liikenteen hinnoittelu perustuu kuukausittaiseen liikenteen määrään: ensimmäinen gigatavu on ilmainen, jonka jälkeen hinta on 0,12\$ gigatavulta kymmeneen teratavuun asti. Tätä suuremmista liikennemääristä saa alennusta. Valvontatyökalujen perusominaisuudet sisältyvät palvelun hintaan, mutta kehittyneempien toimintojen käytöstä peritään erillinen käyttömaksu käytettyjen lisätoimintojen perusteella. (Amazon.com 2011a.)

Loput AWS-osapalvelut, kuten valvontatyökalut ja tietokantapalvelut, on rajattu tämän opinnäytetyön aihealueen ulkopuolelle.

Muista pilvipalveluntarjoajista esitellään Google ja Microsoft niiden koon ja palveluiden kilpailuasetelman takia: molemmat tarjoavat muun muassa SaaS-palveluna toteutettavan sähköposti- ja toimisto-ohjelmistopakettien sekä

sovelluskehityksen kannalta olennaisen PaaS-sovellusalustan. Yritysten internet-palveluvalikoimasta on muitakin yhtäläisyyksiä; Google on tullut tunnetuksi ensisijaisesti hakukoneestaan, jonka markkinaosuutta Microsoft yrittää horjuttaa omalla **Bing**-hakukoneellaan. Bingin tueksi Microsoft on toistuvasti suunnitellut kilpailevan **Yahoo!**:n ostamista (Kotilainen 2011). Tässä opinnäytetyössä esitellään lyhyesti kyseisten palveluntarjoajien SaaS-palveluna tarjottavia ratkaisuja ja vertaillaan niiden PaaS-sovellusalustoja.

Perinteisissä sähköposti- ja toimisto-ohjelmistoissa Microsoftilla on selkeä etulyöntiasema niin yksityis- kuin yritysasiakkaidenkin puolella, sillä MS Office-paketti on helppo valinta Windows-ympäristöön. Pilvipalvelumarkkinoiden kasvun myötä asema on kuitenkin tukalampi, sillä **Google Apps** on kerännyt vuoden 2010 loppuun mennessä jo yli kolme miljoonaa yritys- ja organisaatioasiakasta (Girouard 2010). Microsoft julkaisi oman vastineensa, **Office 365**:n, virallisesti vasta kesäkuussa 2011 (Antman 2011). Microsoft luottaa palvelunsa yleistymisessä vahvaan yhteistyökumppaniverkkoonsa: Suomessa muun muassa **Elisa** tarjoaa Office 365:tä Elisa Toimisto 365 -nimellä (Elisa 2011). Molemmista toimistopaketeista tarjotaan perusominaisuudet loppukäyttäjille osana ilmaisia sähköpostipalveluja. Tarjolla on myös lisäominaisuuksia eri kokoisille organisaatioille (Google Apps 2011; Microsoft 2011a).

5.4 Sovellusalustat

Google AppEngine (GAE) ja Microsoftin **Windows Azure Platform** ovat molemmat PaaS-tyyppisiä palveluita, jotka tarjoavat mahdollisuuden testata ja ajaa omia sovelluksia pilvessä sijaitsevalla sovellusalustalla. Niissä ajettavien sovelluksien on oltava nimenomaan kyseiselle alustalle suunnattuja. Molemmat esiteltävät sovellusalustat sijoittuvat Jericho Forumin kuutiomallin mukaan vasempaan ylänurkkaan, sillä sovellusalustan ohjelmointirajapinnat (API) on toteutettu palveluntarjoajan teknologiaa hyödyntäen. Niille suunnitellut sovellukset eivät ole tällä hetkellä virallisesti siirrettävissä muille alustoille. Sovellusten yhteensopimattomuus muiden palveluntarjoajien ympäristöjen kanssa aiheuttaa lukittumisongelman (Vendor Lock), mutta toisaalta johtavien ohjelmistotalojen omien ohjelmointi-

rajapintojen hyödyntäminen laskee ohjelmistoprojektin kustannuksia sekä nopeuttaa kehityskaarta ideasta julkaistuksi sovellukseksi huomattavasti. Tämä mahdollistaa pienten, ketterien ohjelmistoyritysten ja yksittäisten sovelluskehittäjien pääsyn markkinoille hyvin pienin investoinnein: periaatteessa ei tarvita kuin kannettava tietokone ja internet-yhteys menestyvän tuotteen luomiseen. (Heino 2010, 116–118; Salo 2010, 114, 122–123.)

Google tarjoaa ohjelmistokehittäjille tällä hetkellä ohjelmiston kehitystyökalut (**GAE SDK, Google App Engine Software Development Kit**) kolmelle ohjelmointikielelle: **Go, Java** ja **Python**. Go on tällä hetkellä kehitysvaiheessa oleva avoimen lähdekoodin **BSD**-lisenssin alla julkaistava Googlen oma ohjelmointikieli (Google 2011a). GAE:n lukittumisongelman voi välttää hyödyntämällä avoimeen lähdekoodiin perustuvaa **AppScale**-hybridialustaa, jonka kehittämisestä vastaa **UCSB-RACE Lab** (Heino 2010, 118; Chohan 2011).

GAE:ssa ajettavat sovellukset suoritetaan jokainen omassa hiekkalaatikossaan (**sandbox**). Sandbox-termillä tarkoitetaan virtuaalista kehikkoa, joka erottaa sovelluksen fyysisestä laitteistosta sekä käyttöjärjestelmästä, jossa sovellus suoritetaan. Sovelluksen tarvitsemat palvelut tuotetaan sandboxin sisällä. Sovelluksen ja muiden tietokoneiden välille pystyy muodostamaan yhteyden vain http- tai https-pyyntöjen välityksellä. (Heino 2010, 117.)

GAE:sta on tarjolla kaksi versiota, tavallinen ja yritysversio. Tavallinen versio on ilmainen tiettyyn rajaan asti. Sovellus lakkaa vastaamasta palvelupyyntöihin sen käytön saavuttaessa ilmaisen kapasiteetin minkä tahansa raja-arvon. Loppukäyttäjälle tämä ilmenee sovelluskehittäjän muokkaamana virheilmoituksena palvelun väliaikaisesta käyttökatkosta. Sovellukselle voi ostaa ilmaiset käyttörajat ylittävää kapasiteettia kulloinkin voimassa olevan hinnaston mukaisesti. Mikäli sovellus on testattu toimivaksi ja sen käyttö ylittää säännöllisesti ilmaiset käyttörajat, on GAE:sta tarjolla myös yrityskäyttöön suunnattu versio. Yritysversiossa hinnoittelu perustuu käyttäjäkohtaiseen kuukausimaksuun, joka joulukuussa 2011 on 8 \$. Sovelluskohtainen maksimihinta on kuitenkin 1000 \$, eli käyttäjäkunnan kasvaessa yritysversioon siirtyminen on tehty erittäin kannustavaksi. Yritys saa sovellukselleen myös SLA-sopimuksen mukaisen 99,9 prosentin käytettävyyyslupauksen. (Heino 2010, 117; Salo 2010, 123; Google 2011b.)

Microsoftin Windows Azure Platform julkaistiin alun perin PaaS-tyyppisenä sovelluslustedana, mutta Microsoft kaavailee siitä kilpailijaa IaaS-tyyppisille Amazonin EC2:lle ja VMWaren **vSphere**-tuoteperheelle. Microsoft on tietoisesti valinnut strategian, jonka mukaisesti se antaa muiden ensin luoda markkinat ja tarkkailee niiden kehityssuuntaa valitakseen itselleen sopivimman markkinasegmentin yhdistelemällä muiden toimijoiden ideoita ja rakentamalla ratkaisun puhtaasti omien teknologioidensa varaan (Salo 2010, 125).

Ohjelmistopuolella Microsoftilla löytyy oma käyttöjärjestelmäperhe niin työpöytä- kuin palvelinkäyttöön. Sovelluslustedan sydän, Windows Azure Hypervisor, perustuu Microsoftin kehittämään laite- ja palvelinvirtualisoinnin mahdollistavaan **Hyper-V**-teknologiaan. Hyper-V on Windows Server 2008-käyttöjärjestelmän osa, mutta on nykyään saatavilla myös itsenäisenä ilmaisversiona. Windows Azure Platformin referenssiasiakkaista löytyy muun muassa lentokonevalmistaja **Boeing** sekä Yhdysvaltain avaruusohjelmasta vastaava **NASA (National Aeronautics and Space Administration)** (Microsoft 2011b).

Virtuaalikoneiden hallintaan käytetyn hypervisor-ohjelman lisäksi sovelluslustedasta koostuu **Simple Data Storage**-tallennuspalvelusta, yhteyksien hallinnasta vastaavasta **AppFabricista** sekä **SQL Azure**-relaatiotietokantapalvelusta. SQL Azure voidaan synkronisoida asiakkaan ympäristössä sijaitsevan SQL-tietokannan kanssa käyttämällä **Data Sync**-työkalua. Yhdistettyjen tietokantojen tiedonsiirto onnistuu molempiin suuntiin. Sen avulla voidaan siirtää olemassa olevan tietojärjestelmän tietokantamuotoinen sisältö Microsoftin pilvipalveluun siellä ajettavien sovellusten käyttöön tai siirtää sovelluslustedalla toimivan ohjelman keräämiä tietoja mihin tahansa tietokantaja tukevaan ympäristöön. Tietosisällön pystyy siis siirtämään tietorakenteen eheyttä vaarantamatta muiden pilvipalveluntarjoajien ympäristöihin, vain tietokannan käsittelyn käyttöliittymänä toimiva sovellus kuuluu lukittumisongelman piiriin. (Heino 2010, 122.)

Windows Azure Platform -ympäristössä ajettavaksi suunniteltujen sovellusten rakentamiseen käytettävät ohjelmointikieliset ja -rajapinnat sekä työkalut ovat sovelluskehittäjille tuttuja windows-ympäristöstä. Sovellukset käyttävät joko .NET- tai ASP.NET-kehysiä ja ohjelmointikielinä voidaan käyttää esimerkiksi **C#**:ia, **Visual**

Basicia, C++:aa tai Javaa. Sovelluskehitystyökaluna voidaan käyttää Microsoftin **Visual Studiota**. (Heino 2010, 121; Salo 2010, 126–127; Microsoft 2011b.)

6 PÄÄTÄNTÖ

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli määritellä pilvipalvelu käsitteenä ja kuvaata pilvipalveluiden käyttöönottoon liittyviä toimintamalleja. Teoreettisen yleisesityksen pohjalta oli tarkoitus tutustua markkinoilla toimiviin palveluihin ja esittää niistä käytännön esimerkkejä. Aiheen taustoittamiseksi oli lisäksi tarkoitus esitellä pilvipalveluiden toiminnan kannalta tärkeiden teknologioiden kehitystä.

Tavoitteet saavutettiin osittain; eri tahojen pilvipalveluita koskevien tutkimuksien ja raporttien perusteella laadittiin yhtenäinen kuvaus, jossa pilvipalveluiden eri osa-alueita käsitellään joko olemassa olevien tai kehitteillä olevien standardien pohjalta. Pilvipalveluiden keskinäisiä yhteyksiä ja sisäistä toimintalogiikkaa pyrittiin selvittämään yleisellä tasolla siten, ettei laaja-alaista teknistä asiantuntemusta tarvittaisi raportin sisällön ymmärtämiseen. Pilvipalveluiden toiminnan kannalta olennaisten teknologioiden, kuten virtualisoinnin ja tietoliikennetekniikan kehittyneiden ominaisuuksien esittely jäi kuitenkin pintaraapaisuksi. Tämän hetkiseen palvelutarjontaan tutustuminen jäi myös muutaman suurimman pilvipalvelutoimijan teknologioiden yleisen kuvauksen asteelle.

Käytännön esimerkkinä oli ensisijaisesti tarkoitus esitellä PaaS-palvelumallin mukaisten sovelluskehitykseen suunnattujen sovellusalustojen toimintaa. Tämän tavoitteen osalta sovelluskehitykseen tarjottujen työkalujen ja ohjelmistorajapintojen kokeileminen ja esittelemine jäi lopulta pois lopullisesta raportista aikataulullisista syistä.

Henkilökohtainen kiinnostus hyödyntää sovellusalustojen tarjoamia työkaluja kasvoi työn edetessä, sillä sovelluksen julkinen testaus ja julkaisu täysinmittaiseen käyttöön alustojen palveluvalikoiman ja hinnoittelun huomioiden tarjoaa loistavan mahdollisuuden kehittyä sovelluskehittäjänä. Alkuinvestointien tarvetta ei ole, sillä esimerkiksi GAE:n koekäytön ilmaisuus tarjoaa mahdollisuuden saattaa sovellus kaupalliseksi tuotteeksi aidossa käyttöympäristössä. Käyttäjämäärien kasvaessa sovelluksen tarvitsemaa kapasiteettia saadaan lisättyä lähes reaaliaikaisesti pienin kustannuksin.

Pilvipalveluiden merkitys koko tietotekniikka-alan kehitykselle on suuri ja tulee mielestäni kasvamaan entisestään tulevaisuudessa. Pilvipalveluihin liittyvien standardien ja lakien yhdenmukaistuminen tarjoaa tulevaisuudessa miltei vapaan liitettävyyden eri palveluntarjoajien ratkaisujen välille, jolloin varsinkin julkinen sektori pystyy luomaan turvallisesti ja tehokkaasti toimivia, kansalaisille suunnattuja palvelukokonaisuuksia. Luonnollisesti edellä kuvattu kehityskulku vie aikaa, ja todennäköisesti välillä kehitys saattaa pysähtyä pidemmäksikin aikaa. Markkinoiden kasvava kiinnostus pilvipalvelumallin mahdollistamaan ansaintalogiikkaan takaa kuitenkin kehityksen jatkuvuuden pidemmällä aikavälillä. Monikansallisten teknologiayritysten keskenään tekemä yhteistyö sekä yliopistojen ja standardeja laativien virastojen mukaan ottaminen avointen rajapintojen luomiseksi valaa uskoa siihen, että myös kuluttajat pääsevät nauttimaan syntyvistä ratkaisuista.

Aidon tietoyhteiskunnan syntymisen esteenä voi nähdä globaalisti kiristyvän poliittisen ilmapiirin: lakien ja standardien yhdenmukaistamisen hidastaminen saattaa olla joidenkin toimijoiden etu, mikäli nykyinen hajaannus tuottaa niille suurempaa etua kuin yhteensopivuus. Terrorismin siirtyminen verkkoon saattaa myös pysäyttää yhtenäistymiskehityksen, mikäli teknisten ratkaisujen turvallisuuteen ei panosteta tarpeeksi. Fyysisen infrastruktuurin kahdentaminen on myös ehdottoman tärkeää pilvipalveluiden toimivuuden kannalta, sillä yksittäisen verkon solmukohdan tai maiden välisen kaapeloinnin vikaantuminen lamaannuttaa tehokkaasti tietoverkkojen toiminnan laajoilta alueilta.

LÄHTEET

- Aamulehti 20.9.2011. IT-firmalla uskomaton selitys lippukaaoksesta: "monitoimittajahanke". [Verkkolehtiartikkeli]. Tampere: Kustannus Oy Aamulehti. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.aamulehti.fi/Kotimaa/1194697496099/artikkeli/it-firmalla+uskomaton+selitys+vr+n+lippukaaoksesta+monitoimittajahanke+.html>.
- Ahson, S. A. & Ilyas, M. (toim.) 2011. Cloud computing and software services: theory and techniques. Boca Raton, Fla.: CRC; London: Taylor & Francis.
- Amazon.com. 29.11.2011. Amazon EC2 Pricing. [Verkkosivusto]. Seattle: Amazon.com. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://aws.amazon.com/ec2/pricing/>.
- Amazon.com. 28.11.2011. Amazon Machine Images (AMIs). [Verkkosivusto]. Seattle: Amazon.com. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://aws.amazon.com/amis>.
- Antman, A. 3.6.2011. Office 365 julkaistaan virallisesti 28.6.2011. [Verkkosivusto]. Helsinki: Sulava. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.sulava.com/2011/06/office-356-julkaistaan-virallisesti-28-6-2011/>.
- Bellis, M. Ei päiväystä. The History of ENIAC Computer. [Verkkosivusto]. New York Times: About.com Inventors. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/Eniac.htm>.
- Ceruzzi, P. E. 2003. History of Modern Computing (2. painos). [Verkkokirja]. Cambridge, MA, USA. MIT Press. [Viitattu 31.10.2011]. Saatavana Ebrary-tietokannasta: Vaatii käyttöoikeuden.
- Chohan, N. 2011. AppScale. [Verkkosivusto]. University of California, Santa Barbara: Department of Computer Science. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://appscale.cs.ucsb.edu/>.
- D 24.10.95/46/EY. Direktiivi yksilöiden suojelusta henkilötietojen käsittelyssä ja näiden tietojen vapaasta liikkuvuudesta. Saatavana: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1995:281:0031:0050:FI:PDF>.
- Elisa. 2011. Joustavuutta työntekoon. [Verkkosivusto]. Helsinki: Elisa Oyj. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.elisa.fi/365/>.
- Gartner Newsroom. 21.1. 2011. Gartner Executive Programs Worldwide Survey of More Than 2,000 CIOs Identifies Cloud Computing as Top Technology Priority

- for CIOs in 2011. [Lehdistötiedote]. Stamford: Gartner. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1526414>.
- Girouard, D. 20.9.2010. Three million businesses have gone Google: celebrating growth, innovation and security. [Verkkosivusto]. California: The Official Google Blog. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://googleblog.blogspot.com/2010/09/three-million-businesses-have-gone.html>.
- Google. 2011. AppEngine Go Overview. [Verkkosivusto]. California: Google. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://code.google.com/intl/fi-FI/appengine/docs/go/overview.html>.
- Google. 2011. AppEngine Quotas. [Verkkosivusto]. California: Google. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://code.google.com/intl/fi-FI/appengine/docs/quotas.html>.
- Google Apps. 2011. Google Apps: Compare editions. [Verkkosivusto]. California: Google. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.google.com/apps/intl/en/index.html>.
- Governor, J. 13.3.2008. 15 Ways To Tell It's Not Cloud Computing [Verkkosivusto]. Seattle, Yhdysvallat: RedMonk. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.redmonk.com/jgovernor/2008/03/13/15-ways-to-tell-its-not-cloud-computing/>.
- Heino, P. 2010. Pilvipalvelut. Helsinki: Talentum Media.
- Helsingin sanomat. 7.11.2011. Poliisin ja sisäministeriön sivut kaatuivat. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Sanoma News. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.hs.fi/kotimaa/Poliisin+ja+sis%C3%A4ministeri%C3%B6n+verkkosivut+kaatuivat/a1305548874366>.
- Jericho Forum. 21.11.2011. About: Vision-Mission. [Verkkosivusto]. The Open Group. [Viitattu 14.12.2011]. Saatavana: <https://www.opengroup.org/jericho/about.htm>
- Jericho Forum. Huhtikuu 2009. Cloud Cube Model: Selecting Cloud Formations for Secure Collaboration. [Verkkosivusto]. The Open Group. [Viitattu 14.12.2011]. Saatavana: https://www.opengroup.org/jericho/cloud_cube_model_v1.0.pdf.
- Jericho Forum. 19.10.2011. Jericho Forum Member List. [Verkkosivusto]. The Open Group. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: http://reports.opengroup.org/membership_report_jericho_forum.pdf.
- Kotilainen, S. 2006. Ensimmäinen tietokone täytti 60 vuotta: Eniac oli ensimmäinen elektroninen tietokone. [Verkkolehtiartikkeli]. Tietokone 14.2.2006. [Viitattu

4.12.2011]. Saatavana:

[http://www.tietokone.fi/uutiset/2006/ensimmainen tietokone taytti 60 vuotta](http://www.tietokone.fi/uutiset/2006/ensimmainen_tietokone_taytti_60_vuotta).

Kotilainen, S. 2011. Ja taas mennään: Microsoft neuvottelee Yagoon ostosta. [Verkkolehtiartikkeli]. Tietokone 24.11.2011. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: [http://www.tietokone.fi/uutiset/ja taas mennaan microsoft neuvottelee yahoo n ostosta](http://www.tietokone.fi/uutiset/ja_tuas_mennaan_microsoft_neuvottelee_yahoon_ostosta).

Krutz, R. L. & Vines, R. D. 2010. Cloud security: a comprehensive guide to secure cloud computing. Indianapolis, IN: Wiley, cop.

L 22.4.1999/523. Henkilötietolaki. Saatavana:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990523>.

L 5.6.2002/458. Laki tietoyhteiskunnan palvelujen tarjoamisesta. Saatavana:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020458?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=laki%20tietoyhteiskunnan%20palvelujen%20tarjoamisesta>

L 16.6.2004/516. Sähköisen viestinnän tietosuojalaki. Saatavana:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20040516?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=s%C3%A4hk%C3%B6isen%20viestinn%C3%A4n%20tietosuojalaki>.

L 13.8.2004/759. Laki yksityisyyden suojasta työelämässä. Saatavana:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20040759?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=laki%20yksityisyyden%20suojusta%20ty%C3%B6el%C3%A4m%C3%A4ss%C3%A4>.

Lahdensivu, M. 19.6.2008. Ruotsi aloittaa tietoliikenteen laajamittaisen salakuuntelun. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Sanoma News Oy/ Taloussanommat. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.digitoday.fi/tietoturva/2008/06/19/ruotsi-aloittaa-tietoliikenteen-laajamittaisen-salakuuntelun/200816595/66>.

Lehto, T. 2011. STUK selvittää sivustonsa kaatumisen syytä. [Verkkolehtiartikkeli]. Tietokone 15.3.2011. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana:

[http://www.tietokone.fi/uutiset/stuk selvittaa sivustonsa kaatumisten syyta](http://www.tietokone.fi/uutiset/stuk_selvittaa_sivustonsa_kaatumisten_syyta).

Mell, P. & Grance, T. 7.10.2009. The NIST Definition of Cloud Computing. [Verkkojulkaisu]. Information Technology Laboratory: National Institute of Standards and Technology. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana:

<http://www.nist.gov/itl/cloud/upload/cloud-def-v15.pdf>.

Microsoft. 2011. Microsoft Office 365: Palvelupaketit. [Verkkosivusto]. Washington: Microsoft. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.microsoft.com/fi-fi/office365/plans.aspx>.

- Microsoft 2011. Windows Azure. [Verkkosivusto]. Washington: Microsoft. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.microsoft.com/windowsazure/>.
- Milberg, K. 29.9.2009. IBM and HP virtualization: A comparative study of UNIX virtualization on both platforms. [Verkköjulkaisu]. DeveloperWorks: IBM. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana <http://public.dhe.ibm.com/software/dw/aix/au-aixhvirtualization-pdf.pdf>.
- Norberg, A. L. 2005. Computers and commerce: a study of technology and management at Eckert-Mauchly Computer Company, Engineering Research Associates, and Remington Rand, 1946-1957. Cambridge: MIT Press.
- Reese, G. 2009. Cloud application architectures: [building applications and infrastructure in the cloud]. Sebastopol, Calif: O'Reilly.
- Ruest, D. & Ruest, N. 2009. Virtualization: A Beginners Guide. [Verkkokirja]. New York, NY, USA: McGraw-Hill. [Viitattu 1.2.2011]. Saatavana Ebrary-tietokannasta: Vaatii käyttöoikeuden.
- Salo, I. 2010. Cloud computing: palvelut verkossa. Helsinki: WSOY pro.
- Singh, A. tammikuu 2004. An Introduction to Virtualization. [Verkkosivu]. Mountain View, California, Yhdysvallat : Amit Singh. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.kernelthread.com/publications/virtualization/>.
- Smith, J. E. & Nair, R. 2005. Virtual Machines: Versatile Platforms for Systems and Processes. Amsterdam; Boston: Morgan Kaufmann.
- Vaalisto, H. 29.11.2011. Tilanne vakava: Tiedon konesali yhä nurin Ruotsissa [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Sanoma News Oy/ Taloussanomat. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.itviikko.fi/ratkaisut/2011/11/29/tilanne-vakava-tiedon-konesali-yha-nurin-ruotsissa/201117904/7>.
- Vaalisto, H. 20.9.2011. VR mieltii laskun lähettämistä Tiedolle ja Accenturelle. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Sanoma News Oy/ Taloussanomat. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.itviikko.fi/ratkaisut/2011/09/20/vr-mieltii-laskun-lahettamista-tiedolle-ja-accenturelle/201113349/7>.
- WordNet. 3.2.2011. WordNet: The lexical database for English. [Verkkotietokanta]. Department of Computer Science: Princeton University. [4.12.2011]. Saatavana: <http://wordnet.princeton.edu/>.
- Youseff, L., Butrico, M. & Da Silva, D. 17.11.2008 . Toward a Unified Ontology of Cloud Computing. [Verkköjulkaisu]. University of California, Santa Barbara: Department of Computer Science. [Viitattu 4.12.2011]. Saatavana: <http://www.cs.ucsb.edu/~lyouseff/CCOntology/CloudOntology.pdf>.