

Valtteri Harmainen

**TIETEELLISET LASKENTASOVELLUKSET JA
PILVIPALVELUT – ERITYISTARKASTELUSSA AWS**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS
2014

TIIVISTELMÄ

Harmainen, Valteri

Tieteelliset laskentasovellukset ja pilvipalvelut – erityistarkastelussa AWS

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2014, 32 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Leppänen, Mauri

Perinteisesti IT-resurssien hankinta on tapahtunut hankkimalla laitteistoa ja ohjelmistoja omaan tai organisaation omistukseen. Näiden resurssien käyttö on yleensä tarkoittanut merkittäviä investointeja laitteistoihin, ohjelmistoihin ja näiden ylläpitoon. Suuressa organisaatiossa kalliiden IT-resurssien käyttöönotto voi olla joissain tapauksissa hyvinkin byrokraattinen prosessi. Tieteellinen laskenta edellyttää usein erittäin suurta laskenta- ja tallennuskapasiteettia. Tutkijat hyötyisivät raskaaseen laskentaan vaadittavien IT-resurssien hankkimisesta palveluna, jolloin usein niukat resurssit voitaisiin keskittää vaadittavan laitteiston hankkimisen ja ylläpidon sijaan ydinongelman tutkimiseen.

Tämän tutkielman pyrkimyksenä on luoda kirjallisuuskatsaus tieteellisiin laskentasovelluksiin sekä pilvipalveluihin. Tarkoituksena on tunnistaa, mitä keskeisiä piirteitä tieteellisillä laskentasovelluksilla on ja miten pilvipalvelut soveltuvat tieteellisten laskentasovellusten alustaksi käyttäen esimerkkinä erityisesti Amazon Web Services -pilvipalveluita.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää pilvipalveluiden mahdollisuuksien ja heikkouksien arvioinnissa tieteellisten laskentasovellusten tapauksessa. Tutkimus auttaa hahmottamaan, mihin tieteellisten laskentasovellusten piirteisiin pilvipalvelut pystyvät tarjoamaan mahdollisia ratkaisuja.

Asiasanat: tieteellinen laskenta, pilvipalvelut, Amazon Web Services

ABSTRACT

Harmainen, Valtteri

Scientific Applications and Cloud Computing – Focus on AWS

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2014, 32 p.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Leppänen, Mauri

IT resources are traditionally acquired by buying hardware and software that the organization needs for its own purposes. This often means great investments on the IT infrastructure and maintenance resources which also brings unnecessary bureaucracy. Small organizations have usually not been able to handle such investments. In most cases scientific applications require huge computational power and storage capacity. Researchers would benefit from acquiring the needed IT resources as a service instead of spending their limited resources on owning and maintaining those resources.

The aim of this study is to perform a literature review on scientific applications and cloud computing in order to evaluate how cloud computing answers to problems and characteristics of scientific applications by using Amazon Web Services as an example of a cloud computing service provider.

The results of this study can be exploited to evaluate the possibilities and drawbacks of cloud computing in the case of a scientific application. The study helps to perceive the characteristics of scientific applications to which cloud computing can be beneficially applied.

Keywords: scientific computing, cloud computing, Amazon Web Services

KUVIOT

KUVIO 1: TIETEELLINEN LASKENTA SUHTEESSA TIETOTEKNIikkaAN JA MATEMATIIKKAAN.....	8
KUVIO 2: SIMULAATIO "VIIMEISENÄ VAIHTOEHTONA"	11
KUVIO 3: TIEDONLOUHINNAN PERUSTA.....	13
KUVIO 4: PILVIMALLIT.....	18
KUVIO 5: PILVIPALVELUMALLIT	20

TAULUKOT

TAULUKKO 1 TIEDONLOUHINNAN TEHTÄVÄT.....	14
TAULUKKO 2 PILVIPALVELUIDEN OMINAISPIIRTEET.....	17
TAULUKKO 3 IAAS:N EDUT JA HAITAT.....	21
TAULUKKO 4 PAAS:N EDUT JA HAITAT.....	22
TAULUKKO 5 SAAS:N EDUT JA HAITAT.....	22

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

TAULUKOT

1 JOHDANTO.....	6
2 TIETEELLISET LASKENTASOVELLUKSET.....	8
2.1 Määritelmä ja taustaa.....	8
2.2 Tieteellisiä laskentasovellusalueita.....	10
2.2.1 Simulaatiot.....	10
2.2.2 Data-analytiikka.....	13
2.2.3 Optimointi.....	14
2.3 Yhteenveto.....	14
3 PILVIPALVELUT – ERITYISTARKASTELUSSA AWS.....	16
3.1 Määritelmä ja yleisiä piirteitä.....	16
3.2 Pilvimallit.....	18
3.3 Palvelumallit.....	19
3.4 Riskit, heikkoudet ja uhkakuvat.....	23
3.5 Amazon Web Services.....	24
3.5.1 Taustaa ja yleistä tietoa.....	24
3.5.2 EC2.....	26
3.5.3 S3.....	26
3.5.4 Elastic Map Reduce.....	26
3.6 Yhteenveto.....	27
4 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	28
LÄHTEET.....	30

1 JOHDANTO

Perinteisesti raskaaseen laskentaan vaadittavien IT-resurssien hankinta on tapahtunut hankkimalla laitteistoa ja ohjelmistoja omaan tai organisaation omistukseen. Näiden resurssien hankinta ja käyttö on yleensä tarkoittanut merkittäviä investointeja laitteistoihin ja ohjelmistoihin sekä niiden ylläpitoon. Suuressa organisaatiossa kalliiden IT-resurssien käyttöönotto voi olla joissain tapauksissa hyvinkin byrokraattinen prosessi. Erityisesti tutkijat hyötyisivät raskaaseen laskentaan vaadittavien IT-resurssien hankkimisesta palveluna. Resurssit voitaisiin valjastaa ja vapauttaa silloin kun niitä tarvitaan. Mikäli laitteiston ja ohjelmistojen ylläpidosta ei tarvitsisi huolehtia, usein niukat resurssit voitaisiin keskittää vaadittavan laitteiston hankkimisen ja ylläpidon sijaan ydinongelman tutkimiseen.

Pilvilaskenta (cloud computing) tarkoittaa mallia, jossa palveluntarjoaja tarjoaa käyttäjän tarpeiden mukaan verkon kautta saavutettavia ja konfiguroitavissa olevia resursseja, joiden käyttöönotto vaatii mahdollisimman vähän toimia käyttäjältä tai palveluntarjoajalta (Mell & Grance, 2009). Pilvipalvelut tarjoavat käytännössä lähes rajattomasti skaalautuvia resursseja raskaan laskennan suorittamiseen sekä laskennan tuloksena syntyvien datamassojen tallentamiseen. Pilvipalveluiden tarjoamat mahdollisuudet ja edulliset kustannusmallit houkuttelevatkin siirtämään raskasta laskentaa ja suurta tallennuskapasiteettia vaativat prosessit suoritettaviksi ja varastoitaviksi pilveen (Huang, Yu & Yu, 2013; Srirama, Ivanistsev, Jakovits & Willmore, 2013). Käyttäjän ei tarvitse investoida ja ylläpitää omia laskenta- ja tallennusresursseja, mikäli niihin vaadittava infrastruktuuri voidaan ulkoistaa (Brian ym., 2012).

Amazon Web Services (AWS) on Amazonin pilvipalvelualusta, joka tarjoaa IT-resursseja käytön mukaisella hinnoittelulla (Krause, 2013). AWS koostuu kattavasta joukosta pilvilaskentaan ja pilvi-infrastruktuuriin liittyviä palveluita, kuten automaattisesti skaalautuvat EC2-virtuaalitietokoneet, S3-tietovarasto sekä SQS-viestijonotuspalvelu ("AWS | What is AWS - Cloud Computing with Amazon Web Services", 2014).

Tieteellisillä laskentasovelluksilla tarkoitetaan sovelluksia, jotka ratkaisevat tieteellisiä, yhteiskunnallisia tai teknisiä ongelmia matemaattisten mallien ja numeeristen ratkaisutekniikoiden avulla (Vecchiola, Pandey & Buyya, 2009). Viime aikoina on havahduttu huomaamaan pilvipalveluiden edut myös tieteellisille sovelluksille. Tällaiset sovellukset tarvitsevat tyypillisesti erittäin paljon laskentatehoa, jotta laskenta pystytään suorittamaan kohtuullisessa ajassa. Esimerkkejä tällaisista sovelluksista ovat tähtitieteessä käytettävät,

kosmologisia malleja laskevat sovellukset sekä biologiassa käytetyt geenisekvensoijat. Tieteellisiä sovelluksia ajetaan tyypillisesti paikallisilla palvelimilla tai supertietokoneilla. Valitettavasti tutkijoilla harvoin on tietotaitoa, joka mahdollistaisi pilvipalveluiden tarjoamien mahdollisuuksien hyödyntämisen (Srirama ym., 2013).

Pilvilaskentaa ja pilvipalveluita on tutkittu hyvin monipuolisesti aina vuodesta 2007 lähtien, jolloin pilvi-termiä alettiin käyttää (Zhang, Zhang, Chen & Huo, 2010). Tieteellisen (tietokoneella tapahtuvan) laskennan juuret ulottuvat nykyaikaisen tietokoneen keksimiseen 1940-luvulle (Nash, 1990, ss. 11–14), ja sitä on tutkittu siitä lähtien runsaasti. Tämän tutkimuksen kannalta oleellisia ovat ne tutkimukset, jotka käsittelevät niitä tieteellisen laskennan asettamia haasteita, joihin pilvipalvelut pystyvät vastaamaan.

Tutkimuksen tutkimusongelma on ”Millaisia vaatimuksia tieteellinen laskenta asettaa sovelluksille ja kuinka pilvipalvelut soveltuvat tieteellisten laskentasovellusten tapaukseen?”. Tutkimusongelma voidaan jäsentää neljäksi tutkimuskysymykseksi:

- Mitä ovat tieteelliset laskentasovellukset?
- Mitä erityisiä piirteitä ja vaatimuksia tieteellisillä laskentasovelluksilla on?
- Mitä ovat pilvipalvelut?
- Miten pilvipalvelut soveltuvat tieteellisten laskentasovellusten alustaksi?

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää pilvipalveluiden mahdollisuuksien ja heikkouksien arvioinnissa tieteellisten laskentasovellusten tapauksessa. Tutkimus auttaa hahmottamaan, mihin tieteellisten laskentasovellusten piirteisiin pilvipalvelut pystyvät tarjoamaan mahdollisia ratkaisuja.

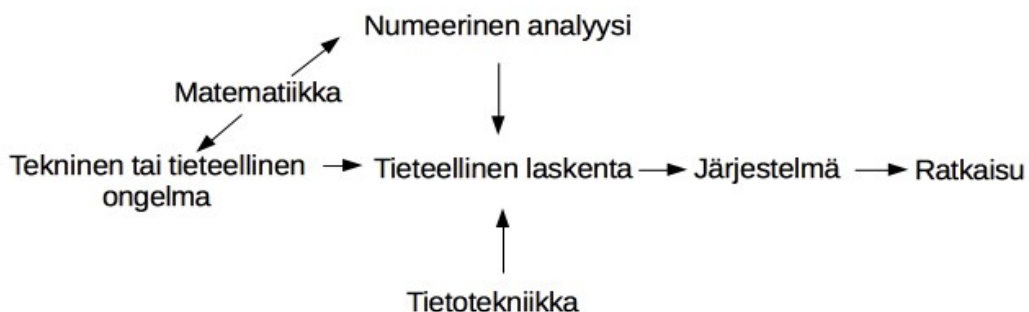
Tutkielma on jäsennetty neljään lukuun. Luvussa 2 laaditaan kirjallisuuskatsaus tieteellisiin laskentasovelluksiin. Aluksi esitetään määritelmä tieteelliselle laskentasovellukselle, ja sen jälkeen tarkastellaan tieteellisiä laskentasovelluksia simulaatioiden, data-analytiikan ja optimoinnin näkökulmasta. Luvussa 3 laaditaan puolestaan kirjallisuuskatsaus pilvipalveluista. Aluksi tarkastellaan pilvipalveluiden määritelmää ja yleisiä piirteitä. Toiseksi esitellään yleisesti tunnistettuja pilvimalleja. Kolmanneksi esitellään NIST-määritelmän mukaiset pilvipalvelumallit. Neljänneksi arvioidaan pilvipalveluiden mahdollisia riskejä, heikkouksia ja uhkakuvia. Lopuksi tarkastelussa keskitytään erityisesti Amazon Web Services-palveluntarjoajaan. Luvussa 4 pyritään vastaamaan näiden kirjallisuuskatsauksien tietoja yhdistelemällä esitettyihin tutkimuskysymyksiin ja sitä kautta valottamaan alkuperäistä tutkimusongelmaa.

2 TIETEELLISET LASKENTASOVELLUKSET

Tässä luvussa määritellään tieteellisen laskentasovelluksen käsite ja esitetään kirjallisuuden avulla katsaus näiden sovellusten yleisistä piirteistä sekä esitellään muutamia yleisimpiä tieteellisen laskennan sovellustyyppisiä.

2.1 Määritelmä ja taustaa

Tieteellisellä laskentasovelluksella tarkoitetaan tämän tutkielman yhteydessä tietokoneohjelmaa, joka suorittaa tieteellistä laskentaa yhdellä tai useammalla tietokoneella. *Tieteellisellä laskennalla* (scientific computing) tarkoitetaan tietokoneella suoritettavaa laskentaa, jossa pyritään matemaattisten mallien avulla ratkaisemaan tieteellisiä ongelmia (Golub, 1992, s. 1; Vecchiola ym., 2009). Tieteellisessä laskennassa pyritään tietotekniikan ja matematiikan avulla löytämään paras mahdollinen ratkaisu johonkin tieteelliseen ongelmaan. Kuvio 1 havainnollistaa tietotekniikan, matematiikan ja tieteellisen laskennan välisiä suhteita. Tieteistä ja tekniikasta kumpuavien ongelmien ratkaisemiseksi kehitetään matemaattisia malleja, joista laaditaan tieteellisiä laskentasovelluksia numeerisen analyysin ja tietotekniikan keinoin. Tuloksena syntyvä järjestelmä tuottaa mahdollisen ratkaisun tieteelliselle ongelmalle.



KUVIO 1: Tieteellinen laskenta suhteessa tietotekniikkaan ja matematiikkaan (Golub, 1992, s. 3)

Tieteellistä laskentaa on suoritettu tietokoneilla niin kauan kuin nykyaikaisia tietokoneita on ollut olemassa. Yleisesti on katsottu, että ensimmäiset nykyaikaiset tietokoneet kehitettiin toisen maailmansodan aikana laskemaan ammusten ballistisia ratoja, ja sodan jälkeen esim. ENIAC-tietokone valjastettiin satunnaislukujen tutkimiseen, tuulitunnelien suunnitteluun ja sään ennustamiseen (Ruttimann, 2006).

Olennaisin syy tietokoneiden käyttämiseen laskentatehtävissä on niiden suunnaton tehokkuus verrattuna ihmiseen. Tietokoneiden ylivoimaista laskentatehoa suhteutettuna ihmisen suorittamaan mekaaniseen laskentaan kuvastaa hyvin esimerkki piin likiarvon määrittämisen historiasta. 1500-luvulla saksalainen matemaatikko van Ceulen vietti suurimman osan elämästään laskien piin likiarvoa, ja saikin 4 611 686 018 427 387 904-sivuisen monikulmion avulla määritettyä piin 35 desimaalin tarkkuudella. Vuoteen 1945 mennessä piin likiarvo oli saatu kehittyneempien matemaattisten menetelmien avulla selvitettyä jo 620 desimaalin tarkkuudella. Vuoden 1947 jälkeen matemaatikot alkoivat käyttää tietokoneita piin desimaalien laskemiseen, ja uusien desimaalien löytymistähti kasvoikin räjähdysmäisesti. Esimerkiksi vuonna 1999 Hitachi SR8000 -supertietokone laski 206 158 430 000 desimaalia, mikä on lähes 6 miljardia kertaa enemmän kuin van Ceulen kykeni laskemaan mekaanisesti koko elämänsä aikana. Nykyisin kotitietokoneetkin pystyvät laskemaan biljoonia piin desimaaleja sekunneissa. (Bentley, 2008, ss. 146–149.)

Tieteellinen laskenta edellyttää usein hyvin suurta laskentatehoa tietokoneelta (Tsaftaris, 2014). Suuren mittakaavan tutkimukset vaativat monesti useiden tietokoneiden valjastamista laskennan rinnakkaista suorittamista varten (Vecchiola ym., 2009). Useat matemaattiset ratkaisumenetelmät fyysikaalisen todellisuuden teorioiden tuottamiin ongelmiin ovat luonteeltaan sellaisia, että niiden ratkaiseminen edellyttää raskasta laskentaa (Golub, 1992, s. 9).

Suurta laskentakapasiteettia tarvitaan siihen, että laskentatehtävät pystytään suorittamaan järkevässä ajassa. Ratkaisun tehokkuuteen vaikuttavat myös ongelmanratkaisuun laaditut algoritmit. 1960-luvulta lähtien tutkijat ovat olleet tietoisia siitä, että pelkkä algoritmisen ratkaisun olemassaolo ei tarkoita sitä, että ongelma voitaisiin vain antaa tietokoneelle ja se tuottaisi ennen pitkää ratkaisun. Tietokoneessa on aina rajallinen määrä muistia ja laskentatehoa, mikä asettaa fyysikaaliset rajoitteet algoritmin suorittamiselle (Hromkovi, 2004, s. 169).

Koska tieteelliset ongelmat vaativat runsaasti laskentatehoa, tulisi myös tietokoneen kyetä suorittamaan algoritmeja mahdollisimman tehokkaasti. Tähän voidaan vaikuttaa muun muassa optimoinnilla (optimization) sekä sovelluksen ohjelmointikielen valinnalla. Perinteisesti tieteellisten laskentasovellusten käytetyin kieli on ollut Fortran, mutta myös C- ja C++-kielillä on tehty paljon tieteellisiä laskentasovelluksia (Golub, 1992; Zachary, 1998). Matemaattisten ja tieteellisten ongelmien ratkaisua varten on laadittu erityisiä ohjelmointikieliä, kuten kaupallinen MATLAB ja avoimen lähdekoodin R. Nykyisin myös Python on suosittu kieli tieteellisten laskentasovellusten laatumiseen (Day, 2014).

Useat tieteen laskennalliset ongelmat ovat luonteeltaan sellaisia, että ne voidaan jakaa algoritmisesti pienempiin osiin, jolloin osaongelmat voidaan laskea samaan aikaan usealla eri prosessorilla joko yhdellä tai useammalla tietokoneella. Tätä kutsutaan *rinnakkaiseksi laskennaksi* (parallel computing). Rinnakkaisessa laskennassa prosessointikuorma jaetaan useammalle laskevalle instanssille, jolloin laskentatehoa voidaan kasvattaa lisäämällä instanssien

määrää. Rinnakkaisesta laskennasta on tullut tärkeä osa tieteellisiä laskentasovelluksia, sillä sitä apuna käyttäen on pystytty muun muassa selvittämään ihmisen genomi, luomaan uusia materiaaleja sekä käsittelemään avaruusteleskooppien tuottamia valtavia datamassoja. (Grama, 2003.)

2.2 Tieteellisiä laskentasovellusalueita

Tässä alaluvussa esitellään muutamia keskeisiä tieteellisten laskentasovellusten sovellusalueita. Erilaisia tieteellisiä laskentasovelluksia on valtava määrä, joten tässä käsitellään laskentasovelluksia kolmen sovellusalueen avulla. Nämä sovellusalueet ovat simulaatiot, data-analytiikka ja optimointi. Simulaatioita käsitellään yleisellä tasolla havainnollistaen, mistä simulaatioissa on kysymys, sekä selittäen miksi simulaatioita ylipäänsä laaditaan. Data-analytiikkaa lähestytään erityisesti tiedonlouhinnan näkökulmasta. Optimointi esitellään hyvin lyhyesti, koska tämän tutkielman puitteissa optimoinnin matemaattiseen perustaan ei ole syytä syventyä, mutta merkittävyytensä vuoksi sitä ei haluta jättää mainitsemattakaan.

2.2.1 Simulaatiot

Seuraavaksi esitellään tietokoneella tehtävien simulaatioiden yleisiä piirteitä Lawin ja Keltonin (2000) mukaan. Muita lähteitä käytetään täydentävästi.

Tietokoneella tehtävässä simulaatiossa pyritään jäljittelemään jotain todellisen maailman havaittua tai hypoteettista ilmiötä hyvin laadittua matemaattista mallia käyttäen (Heermann, 1990, s. 8; Law & Kelton, 2000). Winsberg (2014) mainitsee simulaatioiden käytännöllisiksi tarkoituksiksi sellaisen datan tuottamisen, jota ei ole saatavilla, sekä ymmärryksen lisäämisen siitä datasta, joka on jo olemassa.

Simulaatiossa tarkastelun kohteena on jonkin järjestelmän (system) oletettu toiminta. Oletettu toiminta ilmenee matemaattisina tai loogisina vuorovaikutussuhteina, jotka muodostavat mallin (model), jonka avulla pyritään kasvattamaan ymmärrystä järjestelmän toiminnasta. Mikäli vuorovaikutussuhteet ovat riittävän yksinkertaisia, voidaan algebran, differentiaali-, integraali- ja todennäköisyyslaskennan avulla johtaa analyttisesti eksaktia tietoa kiinnostuksen kohteena olevasta ilmiöstä. Suurin osa todellista maailmaa kuvastavista malleista on kuitenkin liian monimutkaisia, jotta niiden analyttinen tarkastelu olisi realistista. Tällöin mallia tutkitaan simulaatioiden avulla. Simulaatiossa mallille tuotetaan arvoja numeerisesti tietokoneen avulla ja kerätään simulaation tuottamaa dataa, jonka perusteella arvioidaan mallin todellisia ja odotettuja ominaisuuksia. (Law & Kelton, 2000.)

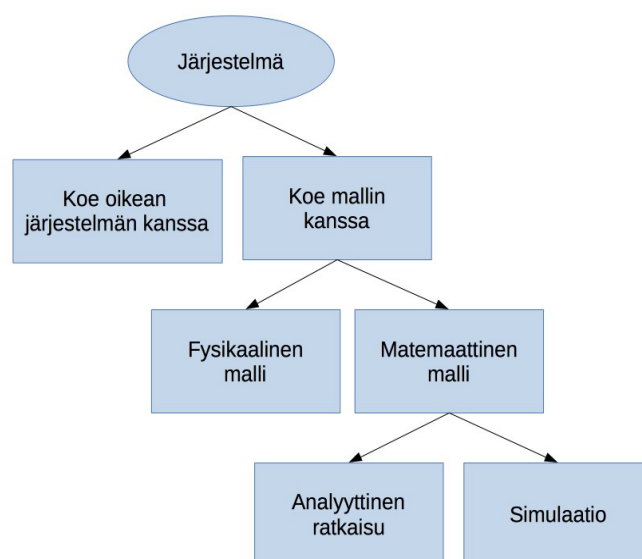
Järjestelmä (system) muodostuu joukosta entiteettejä, joiden toiminta ja vuorovaikutus johtavat johonkin loogiseen lopputulemaan (Schmidt & Taylor, 1970). Entiteetit (entity) ovat tarkastelun kannalta järkeviä yksiköitä kohteena olevasta ilmiöstä riippuen. Mikäli kiinnostuksen kohteena on esimerkiksi pankkijärjestelmä ja halutaan tarkastella erityisesti kysymystä ”paljonko konttorissa tarvitaan virkailijoita”, on mielekästä sisällyttää malliin ainakin entiteetit konttori, asiakas ja pankkivirkailija. Laajempaa kokonaisuutta tutkiva

malli voi sisältää myös muita entiteettejä, kuten tili, raha, parkkipaikka jne. Järjestelmän tilalla (state) tarkoitetaan joukkoa muuttujia, jotka tarvitaan kuvaamaan järjestelmää tietyssä ajanhetkenä. Järjestelmä voidaan luokitella joko diskreetiksi tai jatkuvaksi. Diskreetissä järjestelmässä tilaa kuvaavat muuttujat voivat saada ainoastaan diskreettejä arvoja, eli toisin sanoen muuttujien tila muuttuu ajan edetessä välittömästi tilasta toiseen ilman välivaiheita. Esimerkiksi pankkijärjestelmässä tilille tehtävä talletus saa tilin saldon muuttumaan välittömästi esimerkiksi arvosta 0 arvoon 100 ilman, että käydään läpi arvoja 0,00...1-99,999... . Jatkuvassa järjestelmässä tilamuuttujien arvot voivat muuttua jatkuvasti ajan edetessä. Esimerkiksi ilmassa lentävä lentokone ei liiku hyppäyksittäin paikasta toiseen, vaan paikkamuuttujat voivat saada jatkuvasti muuttuvia arvoja ajan edetessä. Järjestelmä on harvoin kokonaisuutena joko täysin jatkuva tai diskreetti, mutta yleensä toinen näistä piirteistä esiintyy järjestelmässä selkeästi hallitsevana, minkä vuoksi järjestelmiä on mielekästä luokitella tätä jaottelua käyttäen. (Law & Kelton, 2000, s. 3.)

Tutkimuksen validiteetin kannalta paras ratkaisu olisi tutkia todellista järjestelmää, mutta aina se ei ole mahdollista tai järkevää. Järjestelmää tutkitaan simulaatioiden avulla, kun seuraavat ehdot toteutuvat osittain tai kokonaan:

- Todellisen järjestelmän tutkiminen on liian kallista, monimutkaista tai mahdotonta.
- Fysikaalisen mallin rakentaminen järjestelmästä on liian kallista, monimutkaista tai mahdotonta.
- Järjestelmästä laaditun matemaattisen mallin analyttinen ratkaiseminen ei ole mahdollista (ainakaan järkevässä ajassa).

Simulaatiota voidaan pitää "viimeisenä vaihtoehtona", kun järjestelmän tarkastelu on muutoin liian monimutkaista tai mahdotonta (kuvio 2). Todellisuudessa simulaatioon joudutaan turvautumaan hyvin usein, koska reaali maailman ilmiöiden pohjalta laaditut matemaattiset mallit ovat monesti hyvin monimutkaisia ratkaistavaksi. (Law & Kelton, 2000, ss. 3–5.)



KUVIO 2: Simulaatio "viimeisenä vaihtoehtona" (Law & Kelton, 2000, s. 4)

Simulaatio eroaa analyttisestä tarkastelusta siten, että analyttinen tarkastelu tuottaa eksakteja tuloksia, mutta simulaatiossa mallille syötetään muuttujien arvoja (input) ja tutkitaan näiden syötteiden arvojen tuottamia muutoksia mallin tuottamiin tuloksiin (output). (Law & Kelton, 2000, s. 5.)

Järjestelmän matemaattisen mallin pohjalta laaditaan simulaatiomalli. Näitä simulaatiomalleja voidaan tarkastella Lawin ja Keltonin (2000, ss. 5–6) mukaan kolmessa eri ulottuvuudessa:

1. staattiset vs. dynaamiset simulaatiomallit
2. deterministiset vs. stokastiset simulaatiomallit
3. jatkuvat vs. diskreetit simulaatiomallit.

Staattinen simulaatiomalli kuvaa järjestelmää jonain tiettyinä ajanhetkenä tai edustaa kuvausta järjestelmästä, jossa ajalla ei ole merkitystä. Monte Carlo -simulaatiot ovat esimerkkejä staattisesta simulaatiomallista. Monte Carlo -simulaatioissa suoritetaan determinististä laskentaa suurelle määrälle syötteenä käytettäviä satunnaislukuja, jotka on generoitu ongelmakohteen syötemuuttujien todennäköisyysjakauman avulla (Binder & Heermann, 2010, ss. 7–8). Esimerkiksi pii voidaan määrittää Monte Carlo -simulaatiolla siten, että piirretään paperille neliö, jonka sisään piirretään ympyrä. Sen jälkeen heitetään suuri määrä (vaikkapa 30 000) hiekanjyviä paperin päälle ja oletetaan niiden jakautuvan siten, että $\pi/4$ hiekanjyvistä laskeutuu piirretyn ympyrän sisään; tällaista asetelmaa tutkivaa simulaatiota kutsuttaisiin nimellä "Monte Carlo -simulaatio piin määrittämiseksi" (Winsberg, 2014). Dynaaminen simulaatiomalli puolestaan kuvastaa järjestelmää, jonka tila kehittyy ajan kuluessa, kuten esimerkiksi malli, joka kuvaa liukuhihnan etenemistä tehtaassa. (Law & Kelton, 2000, s. 6.)

Simulaatiomallia, jossa satunnaisuudella ei ole minkäänlaista roolia, kutsutaan deterministiseksi simulaatiomalliksi. Stokastisessa simulaatiomallissa ainakin osa syötteestä on satunnaistettua, minkä seurauksena myös simulaation tulos on aina jossain määrin satunnainen, ja siksi tulosta tulee käsitellä vain arviona mallin todellisesta luonteesta. Hyvin usein ainakin osaa syötemuuttujista täytyy käsitellä satunnaisina. Tämä on myös yksi simulaatioiden merkittävimmistä heikkouksista. (Law & Kelton, 2000, s. 6.)

Jatkuvan ja diskreetin mallin ero käsiteltiin edellä järjestelmien yhteydessä, mutta tässä yhteydessä on merkillepantavaa, että esimerkiksi luonteeltaan diskreetin järjestelmän kuvaamiseen ei välttämättä käytetä aina diskreettiä simulaatiomallia ja vastaavasti jatkuvalla simulaatiomallilla ei aina kuvata jatkuvaa järjestelmää. Valinta tehdään tutkimuksen tavoitteisiin perustuen. Esimerkiksi moottoriteliikenteen simulaatiomalli voi olla diskreetti, mikäli halutaan tarkastella yksittäisten autojen piirteitä ja liikkumista. Toisaalta moottoritien liikenteestä voidaan laatia myös jatkuva malli, jossa esimerkiksi liikenteen virtaa käsitellään differentiaaliyhtälöinä. (Law & Kelton, 2000, s. 6.)

Simulaation verifiointi on prosessi, jossa päätellään, ovatko simulaation tuottamat arviot todellisia ratkaisuja alkuperäisen mallin määrittämille differentiaaliyhtälöille. Simulaation validointi on puolestaan prosessi, jossa pohditaan, onko valittu malli riittävän hyvä representaatio todellisesta maailmasta tutkimuksen tarpeisiin nähden. (Winsberg, 2014.)

Simulaatiot ovat tärkeä osa tieteellisiä laskentasovelluksia. Tietokoneellista simulaatiota merkittävästi hyödyntäviä tieteenaloja ovat Winsbergin (2014)

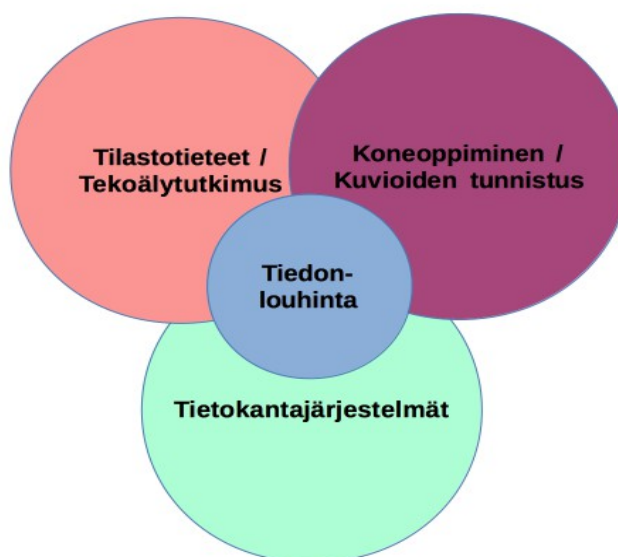
mukaan muun muassa astrofysiikka, hiukkasfysiikka, materiaalitieteet, tekniikka, virtausmekaniikka, ilmastotutkimus, evoluutiobiologia, ekologia, taloustieteet, päätöksentekoteoria, lääketiede, sosiologia sekä epidemiologia.

2.2.2 Data-analytiikka

Tietokoneiden valtava laskentateho mahdollistaa datan analysoimisen monimutkaisten matemaattisten ja tilastollisten menetelmien avulla, jotka olisivat liian aikaavieviä ratkaistavaksi perinteisiä mekaanisia laskumenetelmiä käyttäen (Efron & Tibshirani, 1990). Tiedonlouhinta (data mining) pyrkii tuottamaan uutta tietoa etsimällä toistuvia ilmiöitä (patterns) olemassa olevasta suuresta datamassasta (Tan, Steinbach & Kumar, 2005, s. 2).

Dataa kerätään nykyisin valtavia määriä kaupallisista ja tieteellisistä syistä. Suuria datamassoja tieteellistä tutkimusta varten tuottavat muun muassa ilmakkehä tarkkailevat satelliitit, avaruutta kartoittavat teleskoopit, geneettistä dataa tuottavat DNA-sirut sekä tietokoneella ajettavat simulaatiot. Suuret datamassat kätkevät usein sisäänsä tietoa, joka ei ilmene datasta suoraan tarkasteltuna. Suurten datamäärien analysointi voi viedä ihmiseltä viikkoja, ja suurta osaa datasta ei tutkitakaan koskaan. Tiedonlouhinnassa pyritään automaattisesti tai puoliautomaattisesti tunnistamaan suuresta datamäärästä merkityksellisiä kaavoja (pattern). (Tan ym., 2005, s. 2.)

Tiedonlouhinta yhdistää ajatuksia tilastotieteestä, tekoälytutkimuksesta, koneoppimisesta, mallien tunnistuksesta sekä tietokantajärjestelmistä (kuvio 3). Tiedonlouhintamenetelmät ovat muodostuneet, koska perinteisin menetelmin ei ole pystytty käsittelemään valtavia moniulotteisia ja heterogeenisiä datamassoja riittävän tehokkaasti. Tiedonlouhinnan on mahdollistanut tietokoneiden laskentatehon ja tallennuskapasiteetin kasvu sekä kustannusten tippuminen. (Tan ym., 2005, s. 6.)



KUVIO 3: Tiedonlouhinnan perusta (Tan ym., 2005)

Tiedonlouhinnan menetelmät voidaan jakaa ennustaviin ja kuvaaviin menetelmiin. Ennustavissa menetelmissä pyritään joidenkin muuttujien avulla ennakoimaan muiden muuttujien arvoja (jotka ovat joko tunnettuja tai tuntemattomia) tulevaisuudessa. Kuvaavat menetelmät keskittyvät havaitsemaan datamassasta inhimillisesti tulkittavia kaavoja, jotka kuvaavat dataa. Seuraava taulukko käsittää tiedonlouhinnan keskeiset tehtävät näihin menetelmäluokkiin jaoteltuna (taulukko 1). (Tan ym., 2005, s. 7.)

TAULUKKO 1 Tiedonlouhinnan tehtävät (Tan ym., 2005, s. 7)

Luokka	Tehtävä
Ennustava	Luokittelu (classification)
Ennustava	Regressioanalyysi
Ennustava	Hajonnan tunnistus
Kuvaava	Ryhmittely (clustering)
Kuvaava	Assosiaatiosääntöjen havaitseminen
Kuvaava	Kaavantunnistus (pattern discovery)

Tiedonlouhinta yhdistää perinteisiä tilastomenetelmiä, koneoppimista ja tietokantajärjestelmiä kokonaisuudeksi, jonka avulla on mahdollista tunnistaa valtavassa datamassassa piileviä kuvioita, jotka antavat merkittävästi lisää tietoa datan luonteesta.

2.2.3 Optimointi

Optimoinnissa (optimization) pyritään määrittämään parhaat ratkaisut tietyille matemaattisesti määritellyille ongelmille, jotka ovat usein malleja fysikaalisesta todellisuudesta. Ennen nykyaikaisen tietokoneen keksimistä useita muuttujia sisältävien funktioiden numeerisia optimointimenetelmiä oli käsitelty hyvin vähän, mutta 1940-luvulla digitaalisen tietokoneen kehittäminen sysäsi optimoinnin tutkimuksen liikkeelle toden teolla, ja 1960-luvun alussa kyettiin jo ohjelmoimaan 100 muuttujan ongelmia lyhyessä ajassa ratkaisevia sovelluksia. (Fletcher, 2013, s. 3.)

Optimointimenetelmien sovellusalueet kattavat lähes kaiken toiminnan, jossa käsitellään numeerista informaatiota. Optimointia hyödynnetään muun muassa luonnontieteissä, tekniikassa, taloustieteissä ja mainonnassa. Optimointia sovelletaan lisäksi muihin numeerisen analyysin haaroihin, kuten datan sovittamiseen ei-lineaarisiin osittaisdifferentiaaliyhtälöihin. (Fletcher, 2013, s. 4.)

Optimoinnilla voidaan vaikuttaa ennen kaikkea siihen, kuinka tehokkaita algoritmeja pystytään käyttämään ongelman ratkaisemiseksi. Tehokkaammat algoritmit vaativat luonnollisesti vähemmän resursseja ohjelman suorittamiseen, mikä voi vaikuttaa merkittävästi myös tutkimuksen kustannuksiin.

2.3 Yhteenveto

Fysikaalisen maailman toimintaa selittävät teoriat nojaavat matemaattisiin malleihin, ja näiden mallien numeeriset ratkaisut edellyttävät usein raskasta

laskentaa. Tieteelliset laskentasovellukset ovat tietokoneohjelmia, jotka laskevat tällaisia ratkaisuja. Jotta pystyttäisiin suoriutumaan yhä monimutkaisemmista laskentatehtävistä järkevässä ajassa, tarvitaan jatkuvasti suurempia määriä nopeampia tietokoneita ja tehokkaampia algoritmeja. Tällöin myös tehtävän tutkimuksen rahallinen resurssientarve ja energiankulutus kasvavat. Optimoinnin avulla pyritään kehittämään tehokkaampia algoritmeja numeeristen ongelmien ratkaisemiseksi. Rinnakkainen laskenta valjastaa useampia prosessoreita ratkaisemaan ositettavissa olevia ongelmia. Tieteellisessä laskennassa joudutaan myös usein käsittelemään valtavia datamassoja. Havaintolaitteet ja simulaatiot voivat tuottaa erittäin suuria määriä dataa, jonka käsittelyyn, analysointiin ja tulkitsemiseen tarvitaan yhä enemmän tallennuskapasiteettia ja prosessointitehoa.

3 PILVIPALVELUT – ERITYISTARKASTELUSSA AWS

Tässä luvussa esitellään aluksi tiivistetysti pilvipalveluiden määritelmä ja pilvipalveluiden keskeisiä piirteitä. Tämän jälkeen esitellään, millaisia yleisesti tunnistettuja pilvimalleja ja pilvipalvelumalleja on olemassa. Suurimmassa osassa pilvipalveluita koskevaa tutkimusta on keskitytty kuvaamaan pilvipalveluiden mahdollisuuksia ja liiketoimintamallia yritysten näkökulmasta, mutta tämän tutkielman yhteydessä keskitytään pilvipalveluihin erityisesti tietentekijöiden näkökulmasta. Lopuksi pilvipalveluita lähestytään erityisesti AWS (Amazon Web Services) -pilvipalveluita esimerkkinä käyttäen.

3.1 Määritelmä ja yleisiä piirteitä

Pilvi-sanan käyttö pilvipalveluissa juontanee juurensa siihen, kun pilvisymbolia alettiin käyttää 1980-luvulla kuvaamaan asiakkaan ja puhelinoperaattorin vastuulla olevien laitteiden välistä rajapintaa. Jo vuonna 1961 John McCarthy oli esittänyt ajatuksen tietokonekapasiteetin hankkimisesta sähkön tai veden kaltaisesti, eli silloin kun niitä tarvitaan. (Heino, 2010, ss. 32–33.)

Pilvipalveluiden varsinainen nousu alkoi kuitenkin vasta 2000-luvun puolivälissä, kun suuret palveluntarjoajat alkoivat tarjota laskentakapasiteettiaan ja muuta IT-infrastruktuuriaan palveluina internetin välityksellä. Nousun taustalla oli pilvipalveluiden pohjana toimivien keskeisten teknologioiden, eli virtualisoinnin, tietoliikenteen, tallennuksen ja rinnakkaisen laskennan, kypsyminen yhdessä palveluntarjoajien tuottamien erilaisten sovellusten selainrajapintojen kanssa. (Brian ym., 2012, s. 4; Zhang ym., 2010.)

Pilvipalvelu on laaja käsite, eikä sen määrittely ole täysin yksiselitteistä (Zhang ym., 2010). Salon (2010) mukaan pilvi (cloud) on kielikuva, joka viittaa internetiin, ja pilvipalvelu on malli, jossa tietotekniikkaresursseja tarjotaan verkon välityksellä asiakkaan käyttöön. Nykyisin useimpia web-palveluita nimitetään pilvipalveluiksi, monesti puhtaasti markkinointisyistä (Brian ym., 2012, s. 6). Kattavan ja yleisesti käytetyn määritelmän pilvipalveluille on laatinut National Institute of Standards and Technology (NIST), jonka mukaan pilvipalvelu määrittyy viiden ominaispiirteen mukaan (taulukko 2). Ominaispiirteet ovat itsepalvelullisuus (on-demand self-service), pääsy

palveluihin eri laitteilla, resurssien yhteiskäyttö, nopea joustavuus ja käytön tarkka mittaaminen.

TAULUKKO 2 Pilvipalveluiden ominaispiirteet (Brian ym., 2012, s. 7; Mell & Grance, 2009), suomennuksessa käytetty (Salo, 2010).

Ominaisuus	Selite
Itsepalvelullisuus	IT-resurssit ovat haluttaessa saatavissa palveluna ilman manuaalista interventiota.
Pääsy palveluihin eri laitteilla	Palvelu on saavutettavissa verkon välityksellä riippumatta käyttäjästä ja päätelaitteesta.
Resurssien yhteiskäyttö	Palveluntarjoaja jakaa tarvittavat resurssit useiden käyttäjien kesken esim. virtualisointia apuna käyttäen.
Nopea joustavuus	Tarvittavien resurssien hankkiminen ja vapauttaminen on mahdollista nopeasti ilman manuaalista interventiota.
Käytön tarkka mittaaminen	Palvelun käyttöön tarvittavien resurssien määrän on oltava tarkasti mitattavissa, jotta kulutuksen mukainen laskuttaminen on mahdollista.

Pilvipalveluille erityisiä piirteitä ja etuja ovat Brianin ym. (2012) mukaan kustannusten hillintä (cost containment), innovaationopeus (innovation speed), saavutettavuus (availability), skaalautuvuus (scalability) ja tehokkuus (efficiency). Zhang ym. (2010) lisäävät tähän joukkoon käsitteet virtualisointi (virtualization), luotettavuus (high reliability) sekä erittäin suuren mittakaavan (ultra-large scale).

Pilvipalveluita käyttämällä voidaan välttyä oman IT-infrastruktuurin hankkimiselta ja ylläpidolta, kun tarvittava infrastruktuuri ja sovellukset ovat verkon kautta saavutettavissa ja niistä maksetaan käytön mukaan. Infrastruktuuriin ja sen ylläpitoon varatut resurssit voidaan tällöin kohdentaa ydintoimintaan. IT-resurssit eivät myöskään seiso tyhjän panttina silloin kun niitä ei tarvita. (Brian ym., 2012, s. 7.)

Perinteisiin IT-projekteihin verrattuna pilvipalvelut voidaan ottaa käyttöön hyvin nopeasti. Palveluntarjoajan tehtävänä on taata, että resurssit ovat otettavissa käyttöön välittömästi verkon välityksellä. Perinteisellä mallilla hankittujen IT-resurssien käyttöönotto voi kestää viikkoja tai jopa kuukausia (Brian ym., 2012, s. 7). Zhang ym. (2010) korostavat virtualisoinnin merkitystä resurssien nopean käyttöönoton mahdollistavana tekijänä. He käyttävät pilvipalveluista vertausta virtuaalisena palvelinkeskuksena, jossa käyttäjä voi konfiguroida tarvitsemansa resurssit internetin välityksellä.

Suuret pilvipalveluntarjoajat pystyvät tarjoamaan korkean saavutettavuuden skaalautumiskykynsä ansiosta (Brian ym., 2012, s. 7). Saavutettavuus on tärkeä huolenaihe sekä palveluntarjoajan että palvelun käyttäjien kannalta. Forbes-lehden arvion mukaan vuonna 2013 Amazon menetti tuloja yli 66 000 Yhdysvaltain dollaria jokaista minuuttia kohden, kun sen AWS-pilvipalvelut olivat käyttäjien saavuttamattomissa (Clay, 2013). On kuitenkin eriteltävä, että suunniteltu saavuttamattomuus on sekä palveluntarjoajalle että asiakkaalle huomattavasti vähemmän haitallista kuin suunnittelematon saavuttamattomuus (Wee, 2011). Zhangin ym. (2010) mukaan pilvipalveluiden piirteisiin lukeutuvat varmistusmenetelmät tekevät pilvipalveluista paikallista tietokonetta luotettavamman.

Pilvipalveluiden joustavuus ja skaalautuvuus mahdollistavat nopean ja joissain tapauksissa jopa automaattisen reagoinnin muuttuviin IT-resurssitarpeisiin (Brian ym., 2012, s. 7). On erittäin kustannustehokasta, että

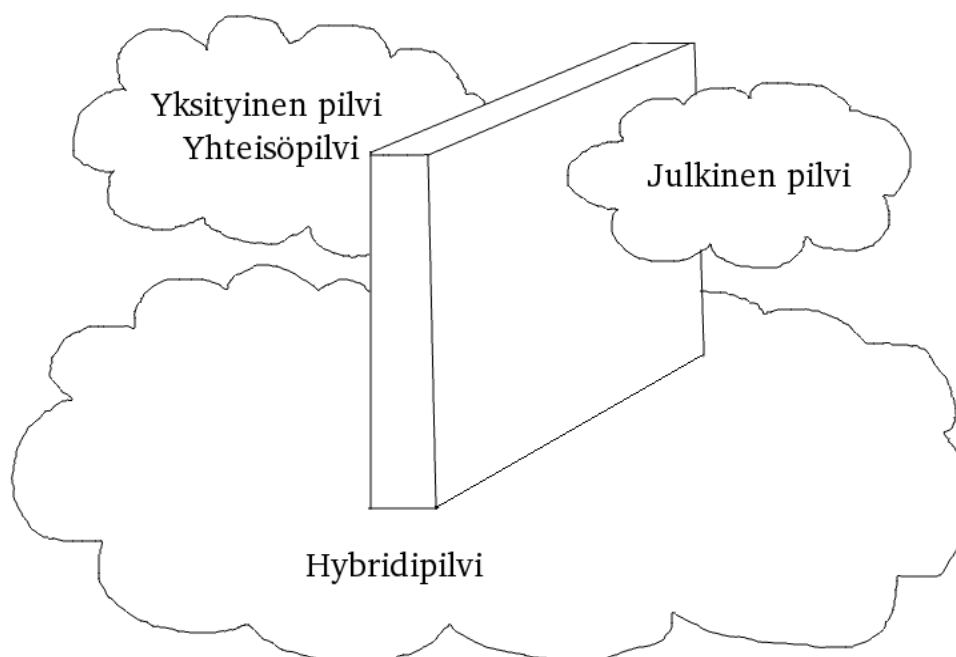
resursseja voidaan ottaa käyttöön silloin ja vain silloin kun niitä todella tarvitaan, koska tällöin resursseja ei mene hukkaan. Zhangin ym. (2010) mukaan pilvipalvelut ovat luonteeltaan ”äärimmäisen edullisia” verrattuna perinteisiin järjestelmiin, joissa laitehankinnat ja ylläpito syövät suuren osan resursseista.

Elastisuudella tarkoitetaan pilvipalveluiden kykyä adaptoitua korkeisiin kuormapiikkeihin sekä myös mahdollisuutta suojautua luonnonkatastrofeilta. Tämä on mahdollista siten, että palveluntarjoajalla on palvelinkeskuksia useissa eri maantieteellisissä sijainneissa, jolloin resursseja voidaan jakaa näiden palvelinkeskusten välillä ja kriittiset toiminnot voidaan peilata useaan maantieteelliseen sijaintiin. Tällöin yhden keskuksen tuhoutuessa peilatut resurssit voivat jatkaa toimintaansa toisessa fyysisessä sijainnissa. (Brian ym., 2012, s. 7.)

Pilvipalveluiden tarjoamat mahdollisuudet ja edulliset kustannusmallit houkuttelevatkin siirtämään raskasta laskentaa ja suurta tallennuskapasiteettia vaativat prosessit suoritettaviksi ja varastoitaviksi pilveen (Huang, Yu, & Yu, 2013; Srirama, Ivanistsev, Jakovits, & Willmore, 2013). Toisaalta tekijänoikeuskysymykset ja tietoturva herättävät kysymyksiä pilvipalveluiden tapauksessa (Salo, 2010). Tässä tutkielmassa keskitytään pilvipalveluiden tarjoamiin mahdollisuuksiin tieteentekijöille, joten liiketoiminnan kannalta kriittisempiä tietoturva- ja tekijänoikeusseikkoja käsitellään vain pintapuolisesti.

3.2 Pilvimallit

Pilvipalveluita voidaan ottaa käyttöön usealla eri mallilla (Brian ym., 2012, s. 11). NIST-määritelmän mukaiset pilvimallit ovat yksityinen pilvi (private cloud), yhteisöpilvi (community cloud), julkinen pilvi (public cloud) sekä hybridipilvi (hybrid cloud). Hybridipilvi voidaan ajatella sekoituksena julkista ja yksityistä pilveä, ja yhteisöpilvi voidaan katsoa yksityisen pilven erikoistapaukseksi (kuvio 4).



KUVIO 4: Pilvimallit

Yksityinen pilvi (private cloud) tarkoittaa sitä, että pilvi-infrastruktuuri on organisaation LAN-lähiverkon tai muun luotetun verkon kautta käytettävissä ilman tarvetta erilliselle tietoliikenneyhteydelle (Heino, 2010, s. 55). Yksityinen pilvi voi olla organisaation itsensä omistama tai vuokrattu kokonaan sen omaa käyttöä varten kolmannelta osapuolelta (Brian ym., 2012, s. 11). Yksityisessä pilvessä kaikki kustannukset kohdentuvat pilveä käyttävälle organisaatiolle (Heino, 2010, s. 55).

Käytännön näkökulmasta yksityinen pilvi pitää sisällään LAN-verkon järjestelyitä, palvelimia, tallennuskapasiteettia, kuormantasauksen, klusteroinnin, VDI-järjestelmän virtuaalisten työasemien mahdollistamiseksi sekä sovellusohjelmia. Kaikki edellä mainitut toiminnot myös varmistetaan ja monistetaan. Näiden toimintojen paketointi palveluiksi sekä pilven autonominen tai lähes autonominen toiminta (hallinnan helppous) tekevät yksityisestä pilvestä houkuttelevamman vaihtoehdon kuin perinteinen konesaliratkaisu. (Heino, 2010, ss. 209–210.)

Pilvipalveluiden kaikkia etuja ei voida hyödyntää yksityisessä pilvessä, ja palveluiden muokattavuus voi olla rajoittunutta (Brian ym., 2012, s. 11). Yksityinen pilvi on myös suuri investointi, joten organisaation tulisi pystyä korvaamaan sillä lähes kaikki tietojenkäsittelytarpeensa, jotta yksityisen pilven hankkiminen olisi kannattavaa (Heino, 2010, s. 211).

Yhteisöpilvessä (community cloud) yksityinen pilvi avataan myös muille käyttäjille, jotka kuuluvat johonkin määriteltyyn ryhmään eli yhteisöön (Brian ym., 2012, s. 11). Useampi organisaatio omistaa yhteisöpilven, ja sen käytöstä koituvat kustannukset jaetaan näiden organisaatioiden kesken (Heino, 2010, s. 56). Palveluntarjoajia voi olla useita, ja tarvittava pilvi-infrastruktuuri voi sijaita yhteisöön kuuluvien organisaatioiden tiloissa tai sen ulkopuolella (Brian ym., 2012, s. 11; Salo, 2010, s. 19).

Julkisen pilven (public cloud) palvelut ovat kaikkien halukkaiden saatavilla yhden palveluntarjoajan toimesta (Brian ym., 2012, s. 11). Julkista pilvipalvelua käytetään internetyhteyden kautta, ja palveluntarjoaja tarjoaa asiakkaalle palveluiden lisäksi niiden käyttöön tarvittavat osoite- ja nimipalveluresurssit (Heino, 2010, ss. 54–55). Asiakas maksaa julkisen pilven käytöstä kuukausi-, tunti-, tai muun aikaan tai kapasiteettiin perustuvan hinnoittelun mukaisesti (Heino, 2010, s. 55). Julkisessa pilvessä skaalautuvuudesta ja resurssien yhteiskäytöstä voidaan saavuttaa suurin hyöty (Brian ym., 2012, s. 11).

Hybridipilvi yhdistää ominaisuuksia julkisesta ja yksityisestä (tai yhteisö-) pilvestä siten, että osa pilven toiminnoista on yksityisiä ja osa julkisia. (Salo, 2010, s. 19). Tämä mahdollistaa sen, että arkaluontoinen data voidaan säilyttää yksityisen pilven puolella, kun taas julkinen data ja sovellukset voidaan pitää julkisessa pilvessä (Brian ym., 2012, s. 11).

3.3 Palvelumallit

Pilvipalveluarkkitehtuuri voidaan jakaa NIST-määritelmän mukaisesti kolmeen eri kerrokseen (Mell & Grance, 2009):

1. IaaS – infrastruktuuri palveluna (Infrastructure as a Service)
2. PaaS – sovellusalusta palveluna (Platform as a Service)

3. SaaS – sovellukset palveluna (Software as a Service)

Infrastruktuurikerros (IaaS) toimii palvelualustan (PaaS) pohjana, jonka päälle rakennetaan sovelluksia (SaaS) (Salo, 2010, s. 22). Kuvio 5 havainnollistaa eri kerrosten sijoittumista toisiinsa nähden, sekä mitä vastuuta ja toimintoja milläkin kerroksella on. Kuviossa esiintyy vertailun vuoksi myös perinteinen IT-infrastruktuuri. Kuvassa vihreällä merkityt tasot ovat organisaation operoimia ja punaisella merkityt palveluntarjoajan tarjoamia palveluita.

Perinteinen IT	IaaS	PaaS	SaaS
Sovellukset	Sovellukset	Sovellukset	Sovellukset
Ajoympäristö	Ajoympäristö	Ajoympäristö	Ajoympäristö
Väliohjelmisto	Väliohjelmisto	Väliohjelmisto	Väliohjelmisto
Käyttöjärjestelmä	Käyttöjärjestelmä	Käyttöjärjestelmä	Käyttöjärjestelmä
Virtualisointiympäristö	Virtualisointiympäristö	Virtualisointiympäristö	Virtualisointiympäristö
Infrastruktuuri	Infrastruktuuri	Infrastruktuuri	Infrastruktuuri

	Organisaation vastuu
	Palveluntarjoajan vastuu

KUVIO 5: Pilvipalvelumallit (Brian ym., 2012, s. 8; Mell & Grance, 2009)

Palvelumallien mahdolliset vastuut ja toiminnot ovat:

- sovellukset (applications), jotka ovat organisaation johonkin erityiseen tarkoitukseen käyttämiä sovelluksia
- ajoympäristö (runtime), joka on ympäristö, jossa sovelluksia suoritetaan
- väliohjelmisto (middleware), joka hoitaa viestintää eri sovelluksien, tietokantojen ja käyttöjärjestelmän välillä
- käyttöjärjestelmä (OS), joka hallitsee ja tarjoaa virtualisointiympäristön tarjoamia järjestelmäresursseja käyttäjälle
- virtualisointiympäristö (hypervisor), joka on virtualisointitaso, joka tarjoaa virtualisoituja infrastruktuuriresursseja käyttöjärjestelmälle
- infrastruktuuri, joka koostuu fyysisistä laitteista, kuten palvelimista, prosessoreista, tiedontallennuslaitteista ja tietoliikenneverkosta. (Brian ym., 2012, ss. 8–9.)

Infrastruktuuri palveluna (Infrastructure as a Service) tarkoittaa sitä, että käyttäjän on mahdollista ottaa käyttöön prosessointia, tiedon varastointia, tietoverkkoja sekä muita perustavanlaatuisia IT-resursseja, joihin käyttäjä voi asentaa ja ajaa mielivaltaisia ohjelmistoja, mukaan lukien käyttöjärjestelmiä ja sovelluksia (Mell & Grance, 2009, s. 8). IaaS:ssa resurssit ovat yhteiskäytössä, käyttöönotto,- ylläpito,- ja skaalautuvuustoiminnot ovat pitkälle automatisoituja ja käyttäjä maksaa infrastruktuurista käyttöperusteisesti (Salo, 2010, s. 25). Palvelun ylläpitäjä lohkoo resurssit etukäteen määrittelyiksi ja

hinnoitelluiksi tuotteiksi, jotka asiakas valjastaa käyttönsä ja asentaa näihin käyttöjärjestelmänsä ja sovelluksensa (Heino, 2010, ss. 52–53). Käyttäjä ei siis hallitse käyttöjärjestelmätason alapuolella olevia resursseja, kuten fyysisiä laitteita ja virtualisointiin vaadittavaa infrastruktuuria (Mell & Grance, 2009, s. 8), mutta käyttöjärjestelmätasosta ylöspäin käytännössä kaikki resurssit ovat käyttäjän hallittavissa.

Brian ym. (2012, s. 9) ovat listanneet IaaS:n etuja ja haittoja verrattuna siihen, että organisaatio omistaisi itse kaiken vaadittavan IT-infrastruktuurin (taulukko 3). Taulukosta voidaan todeta, että IaaS tarjoaa pilvipalveluiden edut asiakkaan käyttöön joustavasti, mutta juuri joustavuuden vuoksi asiakkaan vastuulle jää myös huomattava osuus turvallisuuteen liittyvistä seikoista.

TAULUKKO 3 IaaS:n edut ja haitat (Brian ym., 2012, s. 9)

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> • Todellisiin tarpeisiin perustuva korkea skaalautuvuus. • Omaa erillistä tietovarastoa ei tarvita. • Datan käytön ja tallennuksen varastoinnin fyysinen erottelu. • Infrastruktuurin pystyttäminen ja ylläpito on palveluntarjoajan vastuulla. • Ei investointikuluja infrastruktuuriin. • Käyttöön perustuva laskutus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Datan sijainti ei ole aina identifioitavissa julkisissa ja yksityisissä pilvissä. • Riippuvuus infrastruktuurin saavutettavuudesta ja tietoliikenneyhteyksistä. • Puuttuva tai riittämätön datan prosessoinnin eristäminen eri käyttäjien välillä. • Väärinkonfigurointi voi mahdollistaa pääsyn dataan, jonka pitäisi olla suojattua. • Ei aukottomia takeita luottamuksellisuudesta, turvallisuudesta tai datan yhtenevyydestä. Kenelle vastuu kuuluu rikkeen tapahtuessa?

Sovellusalusta palveluna (Platform as a Service) tarjoaa alustan, jonka päälle käyttäjä voi rakentaa sovelluksia ja jossa voidaan tehdä sovellusten testaus-, ylläpito- ja kehitystoimia (Salo, 2010, s. 28). Palvelusta hyötyvät käyttäjät, jotka pystyvät kehittämään sovelluksensa itse, mutta haluavat valmiin ylläpidetyn ja tarpeen mukaan skaalautuvan ympäristön sovelluksilleen (Heino, 2010, s. 51). Riskinä PaaS-ratkaisussa on lukittautuminen johonkin tiettyyn palveluntarjoajaan, sillä standardoinnin puuttuessa eri palveluntarjoajilla voi olla keskenään yhteensopimattomia ratkaisuja (Brian ym., 2012, s. 11; Salo, 2010, s. 28).

Brian ym. (2012) ovat listanneet PaaS:n käytön etuja ja haittoja verrattuna tilanteeseen, jossa käyttäjä omistaa ja hallinnoi itse sovellusalustansa (taulukko 4). Taulukosta voidaan havaita, että PaaS soveltuu tilanteisiin, joissa infrastruktuuria ei ole tarpeellista ylläpitää, mutta sovellukset halutaan kehittää itse. Toisaalta PaaS ei ole yhtä joustava vaihtoehto kuin IaaS, ja riski lukittautua palveluntarjoajaan sekä ohjelmistojen lisenssiehdot saattavat olla esteinä PaaS-palveluiden käytölle.

TAULUKKO 4 PaaS:n edut ja haitat (Brian ym., 2012, s. 10)

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> • Vähemmän ylläpitoa, kun infrastruktuuria ei tarvitse itse ylläpitää. • Maantieteellisesti hajautettu kehittäminen on mahdollista. • Yhden alustan käyttäminen standardoi sovelluksia ja vähentää kuluja. • Sovellusalustan pystyttäminen ja ylläpito on palveluntarjoajan vastuulla. • Ei investointikuluja infrastruktuuriin. • Käyttöön perustuva laskutus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Palveluntarjoajaan lukittautuminen <ul style="list-style-type: none"> ◦ heikentää siirrettävyyttä ◦ heikentää yhteensopivuutta ◦ standardeja ei ole. • Riittämätön joustavuus. • Mahdolliset erityiset vaatimukset yksinoikeudella valmistettujen sovellusten ja kehitysympäristöjen tapauksessa.

Sovellukset palveluna (Software as a Service) tarkoittaa kokonaisia sovelluksia, joita käyttäjä voi käyttää internetselaimen kautta ja joista palveluntarjoaja laskuttaa käyttöperusteisesti (Brian ym., 2012, ss. 9–10). SaaS:ssa toteutuu monikäyttäjäisyys (multi tenancy), eli sama sovellus on laajemman käyttäjäkunnan käytössä, mutta asiakas saa silti sovelluksesta yksilöllisen käyttökokemuksen (Salo, 2010, s. 29). Palveluntarjoajat pystyvät tarjoamaan sovelluksia käyttäjille edullisesti, sillä virtualisoinnin, skaalautuvuuden ja jaettujen resurssien ansiosta palveluntarjoajalle ei koidu merkittäviä lisäkustannuksia sovelluksen käyttäjämäärän lisääntymisestä (Heino, 2010, ss. 53–54).

Brian ym. (2012) ovat listanneet SaaS:n käytön etuja ja haittoja verrattuna tilanteeseen, jossa käyttäjä omistaa ja hallinnoi itse sovelluksiaan (taulukko 5). Taulukosta voidaan todeta, että SaaS on asiakkaan näkökulmasta yksinkertaisin pilvipalveluiden käyttömuoto, mutta vastaavasti se on myös vähiten joustava.

TAULUKKO 5 SaaS:n edut ja haitat (Brian ym., 2012, s. 10)

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> • Monikäyttäjäisyys. • Ylläpitoa ei tarvita, kun infrastruktuuria tai sovellusalustaa ei tarvitse itse ylläpitää. • Nopea sovellusten käyttöönotto. • Ei investointikuluja infrastruktuuriin. • Käyttöön perustuva laskutus. • Mobiilius ja sijainnista riippumattomuus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oikean palveluntarjoajan valinta. • Siirrettävyyden puute. • Huonompi integroitavuus olemassa oleviin sovellusympäristöihin. • Vähemmän sovitushäviöitä. • Vasteajat voivat olla normaalia suuremmat. • Turvallisuus. • Käyttö vaatii internetyhteyden

Yhteenvedonä eri pilvimalleista voidaan todeta, että SaaS-palvelut ovat pilvipalveluita, joita käytetään, PaaS-palveluihin rakennetaan sovelluksia ja IaaS-palveluihin siirrytään. IaaS on palvelumalleista joustavin, mutta vastaavasti IaaS-palvelun käyttö vaatii käyttäjältä eniten vastuuta. SaaS-palvelut vaativat puolestaan vähiten käyttäjän aktiivisuutta, mutta ne sisältävät myös eniten rajoituksia. PaaS:ssa käyttäjän vastuut sijoittuvat IaaS:n ja SaaS:n välimaastoon. Kaikissa pilvipalvelumalleissa yhteistä on pyrkimys piilottaa

infrastruktuurin monimutkaisuutta käyttäjän näkymättömiin, jotta käyttäjä voi keskittyä oleellisiin ongelmiin. Tätä IaaS, PaaS ja SaaS tekevät eri tasoilla. Se, mitä palvelumallia käyttäjän kannattaa kulloinkin käyttää, riippuu täysin käyttäjän tavoitteista ja tarpeista. (Salo, 2010, ss. 26, 36.)

3.4 Riskit, heikkoudet ja uhkakuvat

Pilvipalvelut eivät ole täydellinen ratkaisu kaikkiin tietohallinnon ongelmiin. Pilvipalvelumalli aiheuttaa myös useita erilaisia haittoja, jotka voivat joissain tapauksissa realisoitua hyötyjä suuremmiksi tekijöiksi. Pilvipalveluun siirtymisessä tulee puntaroida myös mallin mahdollisia heikkouksia. Tässä tutkielmassa keskitytään mahdollisiin heikkouksiin tieteellisen laskennan kannalta, eikä painoa aseteta juurikaan kaupallisiin seikkoihin.

Pilvipalveluiden *tietoturva* on käyttäjien mielikuvissa suurin huolenaihe ja este pilvipalveluihin siirtymiselle (Salo, 2010, s. 36). Todellisuudessa pilvipalveluiden tekninen ympäristö on usein suojattu monilla menetelmillä, joita käytetään myös perinteisissä konesaliratkaisuissa, kuten tietojen salauksen, palomuurien ja tunkeilijoiden havaitsemisjärjestelmien avulla (Heino, 2010, s. 93). Käyttäjillä on usein paljon kokemusta perinteisten konesalien tietoturvaratkaisuista, ja pilveen siirtymistä epäröidään, koska teknologia on suhteellisen nuorta ja asiantuntijoiden määrä on vähäisempi verrattuna perinteisiin ratkaisuihin (Salo, 2010, s. 103). Palveluntarjoajalla voi olla pilvipalvelumallista riippuen hyvinkin merkittävä rooli palveluiden tietoturvan teknisessä toteutuksessa, ja tämä edellyttää suurta luottamusta asiakkaan ja palveluntarjoajan välillä (Salo, 2010, s. 103).

Toinen realistinen huolenaihe on pilvipalveluiden *suorituskyky*. Pilvipalvelumallin mahdollistava virtualisointi aiheuttaa sen, että laitteiston suorituskyvystä osa joudutaan aina uhraamaan virtualisoinnin tarpeisiin, vaikkakin virtualisoinnin avulla muisti- ja prosessoriresurssit saadaan jaettua tehokkaasti (Armbrust ym., 2010). Pilvipalveluilla saavutettavien kustannusentujen suhdetta mahdolliseen suorituskyvyn menetykseen tulee arvioida, mikäli pilvessä suoritettavat tehtävät ovat luonteeltaan sellaisia, että suorituskyky nousee kriittiseksi tekijäksi (Vecchiola ym., 2009). Virtualisoinnin aiheuttamasta suhteellisesta suorituskyvyn menetyksestä oltiin huolestuneita varsinkin pilvipalveluiden alkuaikoina, mutta monet palveluntarjoajat ovat kuroneet virtualisoinnin aiheuttamaa eroa kiinni useilla teknisillä ratkaisuilla, ja nykyisin virtualisoinnin aiheuttama tehonmenetyks saadaan pääasiassa hallittua optimoimalla (Xu, Liu, Jin & Vasilakos, 2014).

Merkittävä pullonkaula pilvipalveluissa on tiedonsiirto. Laskenta- ja tallennusresurssit sijaitsevat yleensä fyysisesti kaukana käyttäjästä, ja tietoa täytyy siirtää näiden välillä molempiin suuntiin. Mikäli IT-ratkaisu edellyttää valtavien datamäärien siirtämistä pilveen ja sieltä pois, muodostuu internetin rajallinen tiedonsiirtonopeus hyvin nopeasti pullonkaulaksi (Armbrust ym., 2010).

Myös tiedonsiirto pilven sisällä eri virtuaalitietokoneiden välillä voi muodostua pullonkaulaksi, erityisesti mikäli käsitellään erittäin suuria datamääriä (big data). Useilla palveluntarjoajilla on nykyisin saatavilla vaihtoehtoisia teknologioita nopeisiin tiedonsiirtomenetelmiin virtuaalikoneiden ja konesalien välillä. Big dataa käsittelevien sovellusten

tietovuon tulisi olla hyvin suunniteltu ja mallinnettu, jotta saadaan tietoa sovelluksen tiedonsiirtovaatimuksista ja voidaan arvioida, pystyykö palveluntarjoaja tarjoamaan vaatimukset täyttävän infrastruktuurin. (Branch, Tjeerdsma, Wilson, Hurley & McConnell, 2014.)

Pilvipalveluiden toteutuksesta ei ole olemassa virallisia standardeja, joten eri palveluiden toteutustavat vaihtelevat palveluntarjoajien välillä. Palveluntarjoajaan *lukittautuminen* (vendor lock-in) on merkittävä huolenaihe pilvipalvelua harkitsevalle käyttäjälle (Armbrust ym., 2010; Brian ym., 2012, ss. 8–9, 14). Yhteen pilvipalveluun luotu sovellus ei välttämättä toimi sellaisenaan, kun se siirretään toisen palveluntarjoajan pilveen. Tämä voi olla erityisen kiusallista, mikäli pilvipalvelun toiminta päättyy jostain odottamattomasta syystä. Palveluiden jatkuvuus voi olla joskus kyseenalaista varsinkin pienempien toimijoiden tapauksessa. Open Grid Forumin kaltaiset tahot ovat kuitenkin alkaneet toimia lukittumisuuhkaa vastaan laatimalla standardeja, joiden tarkoitus on yhdenmukaistaa palveluntarjoajien ohjelmointirajapinnat (Salo, 2010, s. 114).

Armbrust ym. (2010) nimittävät saavutettavuuden ja palveluiden jatkuvuuden merkittävimmäksi esteeksi pilvipalveluihin siirtymiselle, vaikkakin he toteavat, että vain harvoissa perinteisissä IT-ratkaisuissa saavutettavuus ja jatkuvuus on turvattu paremmin kuin pilvipalveluissa. Ratkaisuksi he ehdottavat palveluiden hankkimista useammalta palveluntarjoajalta. Palveluiden käyttökatoilta voi suojautua parhaiten valitsemalla palveluntarjoajan, joka mahdollistaa toimintojen peilauksen useaan maantieteelliseen sijaintiin. Palvelun jatkuvuus on sitä taatumpaa, mitä suuremmalta palveluntarjoajalta palvelut on hankittu. Tämä tosiasia toisaalta myös vaikeuttaa pienten toimijoiden penetraatiota markkinoille.

3.5 Amazon Web Services

Tässä osiossa tarkastellaan erilaisia pilvipalveluiden tarjoamia mahdollisuuksia Amazon Web Servicesiä esimerkkinä käyttäen. Amazonin toimintaa esitellään yleisellä tasolla siten, että keskiössä ovat sellaiset palvelut ja piirteet, jotka ovat tieteellisen laskennan kannalta relevantteja.

3.5.1 Taustaa ja yleistä tietoa

Amazon Web Services (AWS) on kokoelma palveluntarjoaja Amazonin tarjoamia pilvipalveluita (Jinesh & Sajee, 2014; Krause, 2013). Amazon on elektroniseen kaupankäyntiin keskittyvä yritys, joka aloitti toimintansa vuonna 1994 kirjakauppana, mistä toiminta sittemmin laajentui kaikkien tavaroiden verkkokaupaksi (Heino, 2010, ss. 105–106). Amazon oli kehitellyt erilaisia keskitettyjä IT-ratkaisuja mm. massiivista verkkokauppaansa varten 1990-luvun puolivälistä lähtien, mikä johti lopulta siihen, että Amazon alkoi myydä kehittämäänsä infrastruktuuria palveluna muille käyttäjille, ja tähän tarkoitukseen lanseerattu AWS käynnistikin toimintansa vuonna 2006 (Jinesh & Sajee, 2014). Vuotta 2006 pidetään pilvitoiminnassa merkittävänä virstanpylväänä nimenomaan AWS:n toiminnan alkamisen johdosta (Heino, 2010, s. 34). Nykyisin AWS palvelee satojatuhansia asiakkaita ympäri maailman.

Amazonin pilvipalveluvalikoimaan kuuluu kattava joukko IaaS- ja PaaS-palveluita. Käytännössä IaaS mahdollistaa minkä tahansa sovellusalan käyttämisen, mutta AWS:n yhteydessä PaaS-palveluilla tarkoitetaan valmiiksi konfiguroituja ja tuotteistettuja palveluja, jotka käyttäjä voi ottaa sellaisenaan käyttöönsä. AWS:n palveluvalikoimaan kuuluu tuotteita seuraavista kategorioista:

- tietokannat (database)
- laskenta ja verkot (compute and networking)
- sisällönvälitys (content distribution)
- tiedontallennus ja -jako (storage & content delivery)
- käyttöönotto (deployment)
- sovelluspalvelut (application services)
- tuki ja hallinta (support & management). (Jinesh & Sajee, 2014.)

Amazon pyrkii oman visionsa mukaan erottumaan kilpailijoistaan joustavuuden, kustannustehokkuuden, skaalautuvuuden ja elastisuuden sekä turvallisuuden ja kokemuksen avulla (Jinesh & Sajee, 2014). AWS:n palveluja, kuten muitakin IaaS-palveluja, voi käyttää hyvin monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Kirjallisuudessa esiintyy monia tieteellistä laskentaa soveltavia tutkimuksia ja projekteja, joissa on käytetty hyväksi AWS:n palveluita. Tässä muutamia esimerkkejä:

- "1000 genomia" -projekti, jossa 200 TB geenitutkimusdataa pystyttiin prosessoimaan ja pystytään edelleen jakamaan tutkijoille ympäri maailman käyttäen EC2-virtuaalikonepalvelua ja S3-tietovarastopalvelua (Huang ym., 2013).
- "Freesurfer.net"-projekti, jossa on EC2-virtuaalikoneita on valjastettu aivokuvausten analysointiin ja käsittelyyn (Tsaftaris, 2014).
- NASA:n Kepler satelliitin tuottaman kuvadatan analysointi (Juve, Rynge, Deelman, Vöckler & Berriman, 2013).
- Astrologisen, seismologisen, sekä bioinformatiikan workflow-tyyppisten sovellusten ajaminen EC2-virtuaalikoneilla (Juve ym., 2010).
- Röntgen-spektroskopian mallinnus EC2-virtuaalikoneilla (Rehr, Vila, Gardner, Svec & Prange, 2011).

Amazonin itsensä mukaan AWS:ää on käytetty lisäksi muun muassa hiukkasfysiikan simulaatioihin, bioinformatiikkaan, molekyylien mallintamiseen, tekoälytutkimukseen, lääkkeiden kehittämiseen sekä tieteelliseen yhteystyöhön ja tieteellisen datan hallintaan ("Scientific Computing with EC2 Spot Instances", 2011).

Nykyisin on olemassa myös pilvialustoja, joihin tutkijat voivat asentaa ja konfiguroida omat ohjelmistonsa ja työkulkunsa sekä julkaista sen jälkeen sovelluksensa palveluna, mutta ainakin toistaiseksi nämä palvelut kärsivät monimutkaisuudesta ja keskeneräisyydestä (Cook, Milojevic, Kaufmann, & Sevinsky, 2012; Mendez ym., 2013). Osa näistä palveluista käyttää hyväkseen AWS:n pilvi-infrastruktuuria. Esimerkki AWS:n resursseja hyödyntävästä tieteellisen laskennan palvelusta on Cycle Computing, jossa on mahdollista

luoda edullisten EC2-spot-instanssien avulla jopa 30 000 prosessoriytimen laskentaklustereita ("Scientific Computing with EC2 Spot Instances", 2011).

Eucalyptus on vapaa avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jonka avulla voidaan rakentaa AWS:n kanssa yhteensopivia yksityisiä ja hybridipilviä. Hybridipilven tapauksessa Eucalyptus hallitsee pilven yksityistä puolta, joka kommunikoi AWS:n kanssa, joka edustaa pilven julkista osaa. Vapaa ja avoin alusta vähentää huomattavasti palveluntarjoajaan lukittumisen riskiä. Toisaalta Eucalyptus ei tue kaikkia AWS:n palveluita, mutta keskeisimmät infrastruktuuripalvelut ovat täysin yhteensopivia, mukaan lukien EC2, S3 sekä automaattisen skaalauksen ja kuormantasauksen palvelut ("Eucalyptus and Amazon Web Services Compatibility", 2014).

3.5.2 EC2

Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) on verkkopalvelu, joka tarjoaa skaalautuvaa laskentakapasiteettia pilvessä. Käyttäjä luo EC2 instansseja valitsemalla esiasennetun virtuaalikoneen levykuvan (AMI, Amazon Machine Image) tai luomalla itse oman virtuaalikoneensa palveluun. EC2-koneita saa käyttöönsä joko hinnaston mukaisella tuntiveloituksella, joka perustuu instanssin kokoon ja valittuun käyttöjärjestelmään, tai vaihtoehtoisesti spottihinnoittelulla, jolla Amazon pyrkii myymään muuten käyttämättä jäävän kapasiteetin normaalia huomattavasti edullisemmalla hinnalla (Salo, 2010, ss. 119–120).

3.5.3 S3

Amazon Simple Storage (S3) on tarkoitettu tiedon pitkäaikaiseen tallennukseen. Palvelun kapasiteetti näkyy käyttäjälle yksinkertaistettuina hakemistoina, joista tietoja voidaan hakea suoraan HTTP:n avulla jokaiselle tiedostolle luotavan URL-osoitteen kautta. Palvelussa voidaan määrittää, kenellä on pääsy tiedostoihin. Amazon takaa talletetuille tiedoille yli 99,99 %:n säilyvyyden vuodeksi (Heino, 2010, ss. 107–108).

Eri maissa (erityisesti EU:n ja Yhdysvaltojen välillä) poikkeavien lainsäädäntöjen vuoksi Amazon takaa, että esimerkiksi Irlannissa sijaitseville AWS-palvelimille S3-palveluun talletettuja tietoja ei koskaan varastoida EU:n ulkopuolelle, mikäli käyttäjä niin haluaa (Salo, 2010, s. 121).

3.5.4 Elastic Map Reduce

Amazon Elastic Map Reduce (EMR) on palvelu valtavien datamäärien prosessointiin. EMR käyttää avoimen lähdekoodin HADOOP-viitekehystä, joka jakaa datan osiin, jotta halutun kokoinen EC2-klusteri voi prosessoida osat yhtäaikaaisesti. Amazonin käyttäjät ajavat miljoonittain EMR-klustareita vuosittain, ja sen käyttökohteiden sovellusalueita ovat muun muassa koneoppiminen, talousanalyysi, tieteelliset simulaatiot ja bioinformatiikka. (Jinesh & Sajee, 2014)

3.6 Yhteenveto

Pilvipalvelut mahdollistavat monenlaisia kustannustehokkaita ja käyttäjäystävällisiä ratkaisuja infrastruktuurin, ohjelmistoalustojen ja sovellusten toimittamiseen asiakkaalle palveluna. Erityisesti runsaasti laskentatehoa vaativa tieteellinen laskenta voi hyötyä huomattavasti pilvipalveluiden mahdollisuuksista. Pilvipalveluita onkin hyödynnetty monissa tieteellisissä sovelluksissa ja kokeissa. Amazon Web Services on yksi suurimmista pilvipalveluntarjoajista, joka tarjoaa monipuolisia IaaS- ja PaaS-palveluita asiakkaiden käyttöön. Monissa tieteellisissä tutkimuksissa on käytetty erityisesti AWS:n EC2-virtuaalikoneita tieteellisten sovellusten suorittamiseen.

4 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää, millaisia vaatimuksia tieteellinen laskenta asettaa sovelluksille ja kuinka pilvipalvelut soveltuvat tieteellisten laskentasovellusten tapaukseen. Työssä on asetettu tavoitteeksi vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä ovat tieteelliset laskentasovellukset?
- Mitä erityisiä piirteitä ja vaatimuksia tieteellisillä laskentasovelluksilla on?
- Mitä ovat pilvipalvelut?
- Miten pilvipalvelut soveltuvat tieteellisten laskentasovellusten alustaksi?

Tieteellisillä laskentasovelluksilla on pitkä historia, joka ulottuu aivan digitaalisen tietokoneen alkuaikoihin. Monet numeeriset ongelmat ovat luonteeltaan sellaisia, että niiden ratkaisut vaativat erittäin suurta laskentatehoa. Fysikaalisen maailman toimintaa selittävät teoriat nojaavat matemaattisiin malleihin, ja näiden mallien numeeriset ratkaisut edellyttävät usein raskasta laskentaa. Tieteelliset laskentasovellukset ovat tietokoneohjelmia, jotka laskevat tällaisia ratkaisuja. Jotta pystyttäisiin suoriutumaan yhä monimutkaisemmista laskentatehtävistä järkevässä ajassa, tarvitaan jatkuvasti suurempia määriä nopeampia tietokoneita ja tehokkaampia algoritmeja. Tällöin myös tehtävän tutkimuksen rahallinen resurssien tarve ja energiankulutus kasvavat. Optimoinnin avulla pyritään kehittämään tehokkaampia algoritmeja numeeristen ongelmien ratkaisemiseksi. Rinnakkainen laskenta valjastaa useampia prosessoreita ratkaisemaan ositettavissa olevia ongelmia. Tieteellisessä laskennassa joudutaan myös usein käsittelemään valtavia datamassoja. Havaintolaitteet ja simulaatiot voivat tuottaa erittäin suuria määriä dataa, jonka käsittelyyn, analysointiin ja tulkitsemiseen tarvitaan yhä enemmän tallennuskapasiteettia ja prosessointitehoa. Valtavat tietomassat asettavat oman haasteensa tiedon varastoinnille ja jakelulle. Tietokoneiden laskentateho ja tallennuskapasiteetti onkin kehittynyt – ja kehittyä jatkuvasti – valtavalla vauhdilla, mutta tutkijoilla vaikuttaa aina olevan tarvetta tehokkaammille ratkaisuille.

Pilvipalvelu on malli, jossa tietotekniikkaresursseja tarjotaan verkon välityksellä asiakkaan käyttöön. Pilvipalvelu voi olla julkinen, yksityinen tai näiden kahden välimuoto. Asiakkaan näkökulmasta pilvipalveluiden

pääasiallinen hyöty on se, että oman IT-infrastruktuurin hankkimiselta ja ylläpidolta voidaan välttyä, kun infrastruktuuri hankitaan verkon kautta palveluina. Pilvipalvelumallit jaotellaan yleensä infrastruktuuri-, sovellusalusta- ja sovelluspalveluihin riippuen siitä, mitkä toiminnallisuudet ovat asiakkaan ja mitkä palveluntarjoajan vastuulla.

Pilvipalvelut vaikuttavat erittäin lupaavalta ratkaisulta tieteellisen laskennan vaatimukselle valtavasta laskentatehosta ja erittäin suuresta tallennuskapasiteetista. Pilvipalvelut mahdollistavat monenlaisia kustannustehokkaita ja käyttäjäystävällisiä ratkaisuja infrastruktuurin, ohjelmistoalustojen ja sovellusten toimittamiseen asiakkaalle palveluna. Erityisesti runsaasti laskentatehoa vaativa tieteellinen laskenta voi hyötyä huomattavasti pilvipalveluiden mahdollisuuksista. Monissa tieteellisissä tutkimuksissa ja sovelluksissa onkin hyödynnetty pilvipalveluita viimeisten vuosien aikana. Amazon Web Services on yksi suurimmista pilvipalveluntarjoajista, jonka valikoimaan kuuluu kattava joukko IaaS- ja PaaS-palveluita. Kirjallisuudesta löytyy runsaasti esimerkkejä, joissa AWS-pilvipalveluita on hyödynnetty tieteellisten laskentasovellusten tapauksessa. Infrastruktuurin ulkoistamisessa on myös omat riskinsä, joita tulee puntaroida, mikäli pilveen aiotaan siirtyä.

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi pohjatietona projekteihin, joissa harkitaan pilvipalveluiden käyttämistä tieteellisten sovellusten tapauksessa. Tutkielmassa on määritelty tieteellisten laskentasovellusten ja pilvipalveluiden yleiset piirteet, joiden avulla voidaan arvioida pilvipalveluihin siirtymisen hyödyllisyyttä.

Tässä tutkielmassa ei ole painotettu pilvipalveluiden liiketoimintanäkökulmaa, joka on olennainen osa pilvipalvelumallia. Painotuksen poisjättäminen on tehty sillä oletuksella, että tieteellisessä sovelluksessa liiketoiminnalliset seikat ovat usein toissijaisia. Toisaalta pilvipalvelumalli mahdollistaisi myös uusien liiketoimintamallien hyödyntämisen tieteellisten laskentasovellusten tapauksessa, mutta tämä näkökulma on rajattu pois tästä tutkimuksesta. Tutkielma rajattiin myös keskittymään vain yhteen pilvipalveluntarjoajaan. Laajemman näkökulman saamiseksi olisi hyödyllistä vertailla useampaa erityyppistä palveluntarjoajaa. Tässä tutkielmassa tehtiin tietoinen ratkaisu keskittyä tieteellisessä tutkimuksessa paljon hyödynnettyyn Amazonin pilvipalvelutarjontaan.

Jatkossa olisi syytä tutkia, mitä tieteellisten laskentasovellusten siirtäminen pilvipalveluihin edellyttäisi ja miten siirto voitaisiin toteuttaa käytännössä. Voidaanko laskentasovellukset siirtää sellaisenaan pilvipalveluun? Mikä on sopivin pilvipalvelumalli tieteellisille laskentasovelluksille? Voitaisiinko tieteellisistä laskentasovelluksista itsestään mahdollisesti tehdä pilvipalveluita?

LÄHTEET

- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I. & Zaharia, M. (2010). A View of Cloud Computing. *Commun. ACM*, 53, 50–58.
- AWS | What is AWS - Cloud Computing with Amazon Web Services. (2014). Amazon Web Services, Inc. Noudettu 14.9.2014 osoitteesta <http://aws.amazon.com/what-is-aws/>
- Bentley, P. (2008). *The Book of Numbers: The Secret of Numbers and How They Changed the World*. Richmond Hill, Ont: Firefly Books.
- Binder, K. & Heermann, D. (2010). *Monte Carlo Simulation in Statistical Physics: An Introduction*. Springer Science & Business Media.
- Branch, R., Tjeerdsma, H., Wilson, C., Hurley, R. & McConnell, S. (2014). Cloud Computing and Big Data: A Review of Current Service Models and Hardware Perspectives. *Journal of Software Engineering and Applications*, 07, 686–693.
- Brian, O., Brunschweiler, T., Dill, H., Christ, H., Falsafi, B., Fischer, M., Grivas, S., Giovanoli, C., Gisi, R., Gutman, R. & others. (2012). Cloud Computing. *White Paper SATW*. Noudettu 14.9.2014 osoitteesta https://www.satw.ethz.ch/organisation/tpf/tpf_ict/box_feeder/2012-11-06_2_SATW_White_Paper_Cloud_Computing_EN.pdf
- Clay, K. (2013). *Amazon.com Goes Down, Loses \$66,240 Per Minute*. *Forbes*. Noudettu 21.10.2014 osoitteesta <http://www.forbes.com/sites/kellyclay/2013/08/19/amazon-com-goes-down-loses-66240-per-minute/>
- Day, C. (2014). Python Power. *Computing in Science Engineering*, 16, 88–88.
- Efron, B. & Tibshirani, R. (1990). *Statistical data analysis in the computer age*. University of Toronto, Department of Statistics. Noudettu 21.10.2014 osoitteesta <https://statistics.stanford.edu/sites/default/files/EFS%20NSF%20379.pdf>
- Eucalyptus and Amazon Web Services Compatibility*. (2014). *Eucalyptus*. Noudettu 24.10.2014 osoitteesta <https://www.eucalyptus.com/aws-compatibility>
- Fletcher, R. (2013). *Practical Methods of Optimization*. John Wiley & Sons.
- Golub, G. H. (1992). *Scientific Computing and Differential Equations: An Introduction to Numerical Methods*. Academic Press.
- Grama, A. (2003). *Introduction to Parallel Computing*. Pearson Education.
- Heermann, P. D. D. W. (1990). Computer-Simulation Methods. Teoksessa *Computer Simulation Methods in Theoretical Physics* (ss. 8–12). Springer Berlin Heidelberg.
- Heino, P. (2010). *Pilvipalvelut*. Helsinki: Talentum.
- Hromkovi, J. (2004). *Theoretical Computer Science: Introduction to Automata, Computability, Complexity, Algorithmics, Randomization, Communication, and Cryptography*. Springer Science & Business Media.
- Huang, Z., Yu, J. & Yu, F. (2013). Cloud processing of 1000 genomes sequencing data using Amazon Web Service. Teoksessa *2013 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)* (ss. 49–52).

- Jinesh, V. & Sajee, M. (2014). Overview of Amazon Web Services. Amazon Web Services. Noudettu 21.10.2014 osoitteesta https://media.amazonwebservices.com/AWS_Overview.pdf
- Juve, G., Deelman, E., Vahi, K., Mehta, G., Berriman, B., Berman, B. P. & Maechling, P. (2010). Data Sharing Options for Scientific Workflows on Amazon EC2. Teoksessa *High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC)*, 2010 International Conference for (ss. 1–9).
- Juve, G., Rynge, M., Deelman, E., Vockler, J.-S. & Berriman, G. B. (2013). Comparing FutureGrid, Amazon EC2, and Open Science Grid for Scientific Workflows. *Computing in Science Engineering*, 15, 20–29.
- Krause, S. (2013). Tutorial: Hands on Introduction to Amazon Web Services. Teoksessa *2013 IEEE/ACM 6th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC)*.
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modelling and Analysis* (3rd edition.). Boston: McGraw Hill Higher Education.
- Mell, P. & Grance, T. (2009). The NIST definition of cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*, 53, 50.
- Nash, S. G. (toim.). (1990). *A History of Scientific Computing*. New York, NY, USA: ACM.
- Rehr, J., Vila, F., Gardner, J., Svec, L. & Prange, M. (2011). Scientific Computing in the Cloud. *Computing in Science Engineering, Early Access Online*.
- Ruttimann, J. (2006). 2020 computing: Milestones in scientific computing. *Nature*, 440, 399–405.
- Salo, I. (2010). Cloud computing-palvelut verkossa. *Jyväskylä: WSOYpro Oy*.
- Schmidt, J. W. & Taylor, R. E. (1970). *Simulation and Analysis of Industrial Systems*. Richard D. Irwin.
- Scientific Computing with EC2 Spot Instances*. (2011). Noudettu 24.10.2014 osoitteesta <http://aws.amazon.com/blogs/aws/scientific-computing-with-ec2-spot-instances>
- Srirama, S. N., Ivanistsev, V., Jakovits, P. & Willmore, C. (2013). Direct migration of scientific computing experiments to the cloud. Teoksessa *2013 International Conference on High Performance Computing and Simulation (HPCS)* ss. 27–34.
- Tan, P.-N., Steinbach, M. & Kumar, V. (2005). *Introduction to Data Mining, (First Edition)*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Tsaftaris, S. (2014). A Scientist's Guide to Cloud Computing. *Computing in Science Engineering*, 16, 70–76.
- Vecchiola, C., Pandey, S. & Buyya, R. (2009). High-Performance Cloud Computing: A View of Scientific Applications. Teoksessa *2009 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks (ISPAN)* ss. 4–16.
- Wee, S. (2011). Debunking Real-Time Pricing in Cloud Computing. Teoksessa *2011 11th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)* ss. 585–590.
- Winsberg, E. (2014). Computer Simulations in Science. Teoksessa E. N. Zalta (toim.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2014.). Noudettu 24.10.2014 osoitteesta <http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/simulations-science/>

- Xu, F., Liu, F., Jin, H. & Vasilakos, A. V. (2014). Managing Performance Overhead of Virtual Machines in Cloud Computing: A Survey, State of the Art, and Future Directions. *Proceedings of the IEEE*, 102, 11–31.
- Zachary, J. L. (1998). An introduction to scientific programming. *IEEE Computational Science Engineering*, 5, 6–10.
- Zhang, S., Zhang, S., Chen, X. & Huo, X. (2010). Cloud Computing Research and Development Trend. *Teoksessa Second International Conference on Future Networks, 2010. ICFN '10* ss. 93–97.