

Niilo Lahtinen

**PILVIPALVELUT JA NIIDEN KÄYTTÖTAPAUKSET**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2020

# TIIVISTELMÄ

Lahtinen, Niilo

Pilvipalvelut ja niiden käyttötapaukset

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 36 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatin tutkielma

Ohjaaja: Jorma Kyppö

Tämä tutkielma käsittelee pilvipalveluita ja niiden käyttötapauksia. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena vertaisarvioitua tieteellistä aineistoa ja kirjallisuutta hyödyntäen. Pilvipalvelut ovat saavuttaneet viimeisen vuosikymmenen kuluessa suurta suosiota niin kuluttajien, kuin yritystenkin keskuudessa. Kasvava suosio on saanut aikaan sen, että yhä useampaan käyttötapaukseen on olemassa jonkinlaista pilvipalvelua hyödyntävä kilpailukykyinen toteutus. Erilaisiin tarkoituksiin räätälöidyt pilvipalvelut eroavat toisistaan monin eri tavoin: joissain tapauksissa palveluita yhdistää ainoastaan toteutustekniikka. Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää minkälaisiin käyttötapauksiin mitään pilvipalvelutyyppejä on kannattavaa hyödyntää, jotta saavutettaisiin sekä taloudellista että tuotannollista hyötyä.

Tutkielmassa tarkastellaan pilvilaskentaa käsitteenä ja vertaillaan sitä samankaltaisiin laskentaparadigmoihin, erityisesti hajautettuun laskentaan. Lisäksi perehdytään pintapuolisesti pilvipalveluiden tekniseen toteutukseen. Tutkielma esittelee kolme pilvipalvelutyyppeä ja pilvipalveluiden käyttöönottomallit. Kolmelle palvelumallille esitellään muutamia käyttötapauksia ja esimerkkitoteutuksia, joiden avulla opastetaan lukijaa yhdistämään oikeanlainen pilvipalvelutoteutus oikeaan käyttötapaukseen.

## **ABSTRACT**

Lahtinen, Niilo

Cloud services and their use cases

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 36 pp.

Information systems, bachelor's thesis

Supervisor: Kyppö, Jorma

This thesis addresses cloud services and their use cases. It is implemented as a literature review using peer-reviewed scientific material and literature. Over the past decade, cloud services have gained popularity among both consumers and businesses. The growth in popularity has resulted in a competitive cloud based implementation for nearly any use case imaginable. Cloud services that have been tailored for a specific use case differ in many ways: sometimes the only similarity between two services is their implementation technique. This thesis surveys cloud computing and compares it to similar computing paradigms, especially distributed computing. In addition, the technical implementation of cloud services will be superficially studied. The thesis then presents three types of cloud services and cloud service deployment models. For the three service models, a few use cases and example implementations are introduced to guide the reader in combining the right kind of cloud service implementation with their use case.

## KUVIOT

KUVIO 1: NIST-määritelmän mukainen taksonomia pilvilaskennalle (Lee, 2012). .....	10
KUVIO 2: Pilvilaskennalla saavutettavia hyötyjä (Carroll ym., 2011).....	13
KUVIO 3: Pilvipalvelumallit (Buyya ym., 2010). ....	14
KUVIO 4: Pilvipalveluiden käyttöönottomallit (Buuya ym., 2010). ....	17
KUVIO 5: Esimerkki CI/CD-putkesta.....	22
KUVIO 6: Openstackin esimerkkiklusteri.....	27
KUVIO 7: Openstack-Ansible asennuksen työnkulku, Openstack Documentation (2020). ....	29

## TAULUKOT

TAULUKKO 1: Ominaispiirteiden samankaltaisuudet ja eroavaisuudet pilvilaskennan ja hajautetun laskennan välillä (Gong ym., 2010). ....	9
---	---

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	6
2	PILVILASKENTA .....	7
	2.1 Pilvilaskenta käsitteenä.....	7
	2.2 Pilvilaskennan määritelmä ja ominaispiirteet .....	9
3	PILVIPALVELUT JA PILVIPALVELUMALLIT.....	12
	3.1 Pilvipalvelut ja niiden tyypit.....	12
	3.1.1 SaaS (Software as a Service).....	14
	3.1.2 PaaS (Platform as a Service).....	15
	3.1.3 IaaS (Infrastructure as a Service).....	15
	3.2 Pilvipalveluiden käyttöönottomallit.....	16
4	PILVIPALVELUIDEN KÄYTTÖTAPAUKSET .....	18
	4.1 Software as a Service-pohjaiset palvelut .....	18
	4.1.1 Asiakkuuksienhallinta.....	19
	4.2 Platform as a Service-ohjelmointialustat .....	21
	4.2.1 Platform as a Service-palvelun valintaprosessi .....	22
	4.3 Infrastructure as a Service-pilvipalvelut .....	24
	4.3.1 Yksityinen Openstack-pilvipalvelu .....	25
	4.3.2 Openstackin arkkitehtuuri.....	26
	4.3.3 Ansible ja Openstackin käyttöönotto .....	27
5	YHTEENVETO .....	30

# 1 JOHDANTO

Pilvipalvelut ovat lähivuosina vakiinnuttaneet asemaansa yritysmaailman työkaluina. Niiden avulla on mahdollista saavuttaa kiistattomia hyötyjä ja säästöjä, jotka kuitenkin toteutuvat ainoastaan, mikäli yritys onnistuu valitsemaan omaan käyttötapaukseensa sopivan palvelun. Valintaprosessin onnistumiseksi asiakasorganisaation tulee ymmärtää pilviparadigmaan liittyvät perusteet, sekä tunnistaa erilaiset pilvipalvelutyypit ja niiden käyttöönottomallit. Tässä tutkielmassa valotetaan päätöksentekoprosessia vastaamalla tutkimuskysymykseen ”Mitkä seikat vaikuttavat pilvipalvelun valintaan organisaatiotasolla?”

Tutkielmassa käsitellään aluksi pilvilaskentaa käsitteenä, sekä vertaillaan sen ominaispiirteitä muihin samankaltaisiin tietojenkäsittelyparadigmoihin, erityisesti hajautettuun laskentaan. Lisäksi ensimmäisessä sisältöluvussa esitellään muutama pilvilaskennan määritelmä. Niistä vakiintuneimman ja siteeratuimman pohjalta esitellään seuraavassa sisältöluvussa kolme pilvipalvelumallia: Software as a Service, Platform as a Service, sekä Infrastructure as a Service. Tämän lisäksi esitellään pilvipalveluiden käyttöönottomallit. Edellä mainittu pilvipalveluiden kolmijako on vakiintunut laajalti käyttöön niin kirjallisuudessa, kuin yritysmaailmassakin. Viimeisessä sisältöluvussa esitellään jokaiselle kolmijaon mukaiselle pilvipalvelumallille muutamia yleisimmistä käyttötapauksista ja perehdytään pinnallisesti niiden laskutusmalleihin.

Tutkielman tarkoituksena oli perehdyttää lukijansa pilvilaskennan perusteisiin, sekä esitellä erilaiset pilvipalvelumallit ja yleisluontoinen pilvilaskennan taksonomia. Viimeisin luvun esimerkkien avulla pyrittiin luomaan mahdollisimman kattava kuva pilvipalveluiden luomista mahdollisuuksista ja siitä, millaista organisaatiotason lisäarvoa niiden avulla voidaan luoda. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, vertaisarvioitua tieteellistä lähdeaineistoa hyödyntäen. Tiedonhankinta suoritettiin pääasiassa Google Scholaria hyödyntäen, sekä paikoittain teknistä dokumentaatioita seuraten. Tutkielman päätutkimuskysymystä olivat tukemassa seuraavat apukysymykset:

- ”Millaisia hyötyjä organisaatiot voivat saavuttaa pilvipalveluiden avulla?”
- ”Minkälaisia ovat yleisimmät pilvipalveluiden käyttötapaukset organisaatiotasolla?”

## 2 PILVILASKENTA

Tässä luvussa käsitellään pilvilaskentaa- ja palveluita käsitteenä, sekä tutustutaan niiden ominaispiirteisiin, muihin määrittäviin tekijöihin ja tuleviin visioihin. Lisäksi luvussa listataan pilvilaskennalla saavutettavia hyötyjä sekä kartoitetaan niihin liittyviä riskitekijöitä. Tämän jälkeen luvussa käsitellään samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia pilvilaskennan ja muiden tietojenkäsittelyparadigmojen, erityisesti hajautetun laskennan välillä. Luvussa myös määritellään eri pilvipalvelu- ja käyttöönottomallit sekä paneudutaan tärkeimpiin pilvilaskennan toteutustekniikoihin.

### 2.1 Pilvilaskenta käsitteenä

Pilvilaskennalla tarkoitetaan skaalautuvien ja dynaamisten virtualisoitujen resurssien, kuten tietoverkkojen, laskentatehon, tallennustilan, sovellusten tai palveluiden käyttöä hajautetuissa ympäristöissä internet-yhteyden välityksellä. Kim (2009) ehdottaa yksinkertaisimmaksi toimivaksi määritelmäksi pilvilaskennalle sitä, että asiakas pääsee käsiksi kolmannen osapuolen ylläpitämiin tiedostoihin, dataan, ohjelmiin ja palveluihin web-selaimen ja internetin välityksellä, maksaen vain käyttämistään laskentaresursseista ja palveluista. Marston, Li, Bandyopadhyay, Zhang & Ghalsas (2010) huomauttavat omassa määritelmässään, ettei pilvilaskentaa välttämättä tarjoa kolmas osapuoli, vaan myös organisaatioiden omia palvelimia voidaan hyödyntää palveluiden tuottamiseksi.

Termin "pilvilaskenta" voidaan sanoa vakiintuneen käyttöön viimeistään vuonna 2007 IBM:n ja Googlen julkistettua uutisen yhteistyöstä pilvilaskennan saralla (Gong, Liu, Zhang, Chen & Gong, 2010). Pilvilaskenta paradigmana on herättänyt alusta asti laajalle levinyttä kiinnostusta sekä akateemisen maailman, että teollisuuden eri alojen keskuudessa (Ali, Khan & Vasilakos, 2015). Tieto- ja viestintätekniikan viime vuosikymmenien aikana ottamien merkittävien edistysaskeleiden ansiosta visio tietojenkäsittelystä viidentenä julkisena hyödykkeenä veden, sähkön, kaasun ja puhelinyhteyksien lisäksi on yhä lähempänä toteutumistaan. Tämän vision toteuttamiseksi on ehdotettu useita eri laskentaparadigmoja, joista uusimpana pilvilaskentaa (Buyya, Yeo & Venugopal, 2008.)

Vaikka pilvilaskenta käsitteenä onkin verrattain uusi, Zhangin, Chengin & Boutaban (2010) mukaan pilvilaskenta ei ole uutta teknologiaa, vaan enemmänkin uusi toimintamalli, joka yhdistelee olemassa olevia tekniikoita uudenlaisen liiketoimintamallin saavuttamiseksi. Tätä väittämää tukevat Gong ym. (2010) mainitessaan tutkimuksessaan pilvilaskennan perustuvan useisiin muihin tietojenkäsittelyparadigmoihin, kuten virtualisointiin, tarvelähtöiseen tietojenkäsittelyyn (utility computing), hajautettuun laskentaan (grid

computing), sekä suurteholaskentaan (high performance computing). Edellä mainituista virtualisointi on tekniikka, jonka avulla toteutetaan pilvilaskennalle ominainen virtuaalinen tiedon varastointi ja laskentapalvelut: keskusmuistia ja tallennustilaa allokoidaan virtuaalisesti ylläpitäjän palvelimilta sen käyttäjille hyperviisorin avulla (Malhotra, Agarwal & Jaiswal, 2014). Hyperviisorilla tarkoitetaan ohjelmistoa tai laitetta, jonka avulla luodaan ja isännöidään virtuaalikoneita.

Erityisesti hajautetulla laskennalla (grid computing) on paljon yhteisiä ominaispiirteitä pilvilaskennan kanssa: kummankin järjestelmän peruseriaatteena on tietojenkäsittelyn hinnan laskeminen ja luotettavuuden sekä joustavuuden parantaminen. Tämä toteutetaan siirtämällä tietokoneet käyttäjän omistuksesta ja käytöstä kolmannen osapuolen operoitavaksi (AlHakami, Aldabbas & Alwada'n, 2012). Hajautetulla laskennalla tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan useiden eri tietokoneilla sijaitsevien prosessorien keskinäistä yhteistyötä. Useat palvelimet, joilla ajetaan samoja käyttöjärjestelmiä ja ohjelmistoja keskustelevat keskenään saavuttaakseen yhteisen päämäärän. Hajautetun laskennan tarkoituksena on tehostaa laskentatehoa sellaisilla alueilla, joilla tarvitaan suurta prosessointikapasiteettia (Hashemi ja Bardsiri, 2012).

Vaikka sekä hajautetun- että pilvilaskennan peruseriaatteet ovat samankaltaisia, on niiden välillä myös eroavaisuuksia. Hajautettu laskenta saavuttaa suuren käyttöasteen resursseilleen allokoimalla useita palvelimia yhden tehtävän suorittamiseen. Pilvilaskentaresurssien korkea käyttöaste taas saavutetaan hyödyntämällä palvelimien virtualisointia ja antamalla yhden palvelimen laskea useita eri tehtäviä samanaikaisesti (Zissis, Lekkas, 2010.)

Gongin ym. (2010) mukaan keskeisin hajautetun laskennan pilvilaskennasta erottava piirre on liiketoimintamalli: hajautettua laskentaa tukevat pääasiassa hallitukset sekä akateemiset tahot, kun taas pilvilaskentaa hallitsevat jättimäiset liikevoittoa tavoittelevat IT-yritykset. AlHakamin ym. (2012) mukaan infrastruktuurin jokaisen datakeskuksen homogeenisuus on suurin erottava tekijä pilvilaskennan ja hajautetun laskennan välillä. Taulukossa 1 tarkastellaan muita samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia pilvilaskennan ja hajautetun laskennan ominaispiirteiden välillä. Molemmat paradigmat ovat palvelukeskeisiä, sekä tukevat jonkin tasoista löyhää paritusta. Tällä tarkoitetaan sitä, että järjestelmän eri komponentit tietävät toisistaan mahdollisimman vähän. Pilvilaskennan virhetoleranssi on taulukon mukaan parempi kuin hajautetun laskennan järjestelmissä. Pilvilaskentaa pidetään paradigmoista myös helppokäyttöisempänä.



TAULUKKO 1: Ominaispiirteiden samankaltaisuudet ja eroavaisuudet pilvilaskennan ja hajautetun laskennan välillä (Gong ym., 2010).

Ominaispiirre	Pilvilaskenta	Hajautettu laskenta
Palvelukeskeinen	Kyllä	Kyllä
Löyhä paritus	Kyllä	Osittain
Vahva virhetoleranssi	Kyllä	Osittain
Liiketoimintamalli	Kyllä	Ei
Helppokäyttöisyys	Kyllä	Osittain
TCP/IP-pohjaisuus	Kyllä	Osittain
Korkea turvallisuus	Osittain	Osittain
Virtualisointi	Kyllä	Osittain

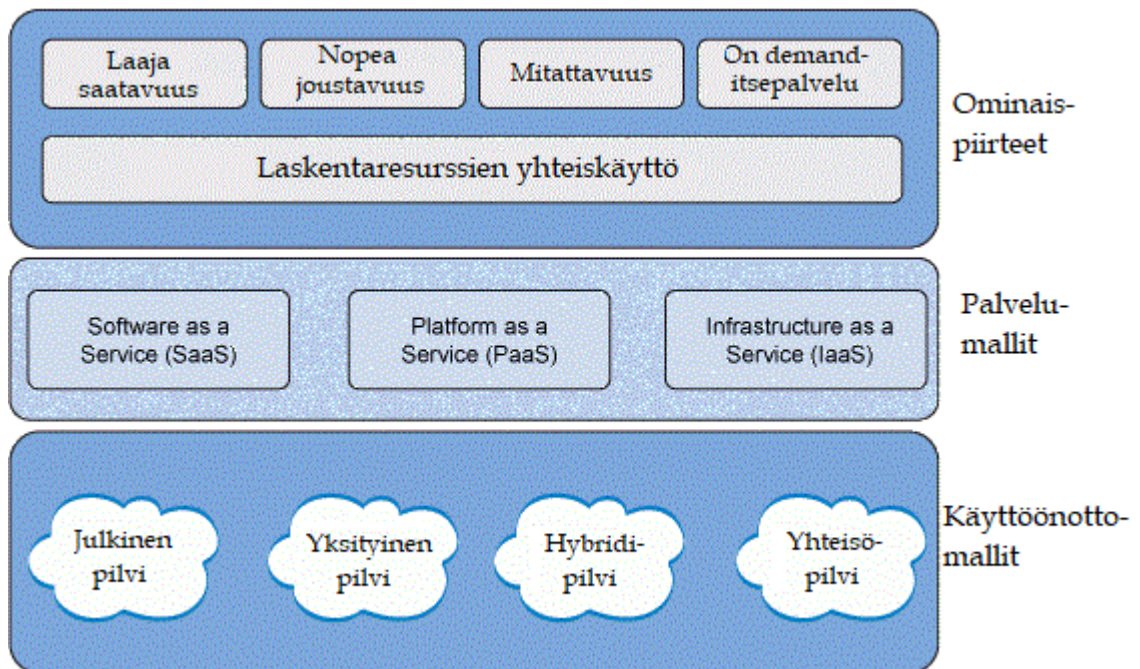
## 2.2 Pilvilaskennan määritelmä ja ominaispiirteet

Pilvilaskennan täydellisellä määritelmällä ei Gongin ym. (2010) mukaan tiettyyn pisteeseen asti ole merkitystä, kunhan siihen liittyvät ominaispiirteet pystytään tunnistamaan, ja täten erottamaan pilvilaskenta muista tietojenkäsittelytekniikoista. Pilvilaskennalle on kuitenkin ehdotettu useita määritelmiä ja taksonomioita. Tunnetuimpana määritelmänä voidaan pitää Mell:n ja Grancen (2011) kirjoittamaa NIST:n (National Institute of Standard Technologies) määritelmää pilvilaskennalle, jota on siteerattu kirjallisuudessa laajalti mm. Bottan, de Donaton, Persicon ja Pescapén (2016), sekä Zhangin ym. (2010) toimesta. Sen mukaan pilvilaskenta on malli, joka ”mahdollistaa asiakkaalleen tarvittaessa saatavilla olevan (on-demand) pääsyn konfiguroitaviin laskentaresursseihin (esim. tietoverkot, palvelimet, tallennustila, sovellukset ja palvelut). Resurssit voidaan valjastaa ja vapauttaa asiakkaan käytettäväksi minimaalisella palveluntarjoajan hallintotyöskentelyllä ja osapuolten välisellä vuorovaikutuksella.” Tästä on johdettu viisi NIST-määritelmän mukaista pilvilaskennan ominaispiirrettä: itsepalvelullisuus (on demand self-service), laaja saatavuus verkossa (broad network access), resurssien yhteiskäyttö (resource pooling), nopea joustavuus (rapid elasticity) ja käytön mitattavuus (measured service).

Pilvilaskennan itsepalvelullisuudella tarkoitetaan sitä, ettei pilvipalvelun käyttäjän tarvitse olla yhteydessä sen palveluntarjoajaan saadakseen käyttöönsä lisää resursseja tai tehdäkseni esimerkiksi muutoksia pilvi-infrastruktuuriinsa. Asiakas voi säädellä laskentaresurssien käyttöä niin halutessaan. Resursseja on saatavilla skaalautuvasti, eli asiakkaan tarpeiden kasvaessa voidaan niitä valjastaa lisää tämän käyttöön palveluntarjoajan resurssialtaasta. Kun tarve taas laskee, voidaan ylimääräiset resurssit vapauttaa käytöstä. Pilvipalveluiden laaja saatavuus merkitsee sitä, että siihen voidaan ottaa yhteys internetin välityksellä käytössä olevasta laitteistosta riippumatta.

Asiakas ja palveluntarjoaja tekevät palvelun tasoa koskevan sopimuksen (Service Level agreement) asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Siinä määritellään esimerkiksi tarjotun pilvipalvelun arkkitehtuuri ja sen elementtien minimisuorituskyky, palvelun tietoturvaan liittyvät standardit sekä vaatimusten täyttämättä jättämisestä seuraavat toimenpiteet. Pilvipalvelun mitattavuudella tarkoitetaan sitä, että asiakkaan resurssinkäyttöä ja palvelun laatua (Quality of Service) voidaan mitata tarkasti sekä asiakkaan, että palveluntarjoajan toimesta.

NIST:n määritelmässä (Mell ja Grance, 2011) luonnehditaan lisäksi yksinkertainen pilvitaksonomia (ks. Kuvio 1), joka muodostuu em. ominaispiirteiden lisäksi kolmesta eri pilvipalvelumallista ja neljästä eri käyttöönottomallista (deployment model). Määritelmässä mainittuja pilvipalvelumalleja ovat Software as a Service, Platform as a Service sekä Infrastructure as a Service. Pilvipalveluiden käyttöönottomalleja ovat julkinen ja yksityinen pilvi, sekä hybridi- ja yhteisöpilvet. Erilaisiin pilvipalvelu- ja käyttöönottomalleihin palataan tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.



KUVIO 1: NIST-määritelmän mukainen taksonomia pilvilaskennalle (Lee, 2012).

Pilvilaskennan ominaispiirteiksi ovat vakiintuneet Mell:n ja Grancen (2011) NIST-määritelmässä mainitsemien lisäksi mm. Zhangin ym. (2010), sekä Alin ym. (2015) mukaan palveluiden ubiikki saatavuus, skaalautuvuus, dynaamisuus, elastisuus, asiakkaan tarpeenmukainen itsepalvelu sekä joissain tapauksissa automaatio laskentaresurssien varaamisen ja vapauttamisen suhteen. Vaquero, Rodero-Merino, Caceres & Lindner (2008) mainitsevat skaalautuvuuden, pay-per-use-liiketoimintamallin, sekä virtualisoinnin ominaisuuksien joukkona, joka muodostaa vähimmäiskuvauksen mukaisen määritelmän pilvilaskennalle. Myös palveluntarjoajan kokonaislaskentaresurssien yhdistäminen "altaaseen" ja allokointi useille asiakkaille (resource pooling), sekä tämän mahdollistama palveluntarjoajan laskentaresurssien käyttö eri asiakkaiden toimesta samanaikaisesti (multitenancy) mainittiin tutkimuksissa pilvilaskennalle ominaisiksi. Tämä mahdollistaa optimaalisen käyttöasteen saavuttamisen palveluntarjoajan laskentaresursseille, mutta synnyttää toisaalta yhden suurimmista pilvilaskentaan liittyvistä huolenaiheista. Usean eri asiakkaan dataa tallennetaan samalle palveluntarjoajan fyysiselle tallennuslaitteelle, jossa eri asiakkaiden data erotellaan loogisesti. Tästä syystä on olemassa mahdollisuus, että jokin pilvipalvelun käyttäjä pääsee vahingossa tai tahallaan käsiksi jonkin toisen asiakkaan dataan.

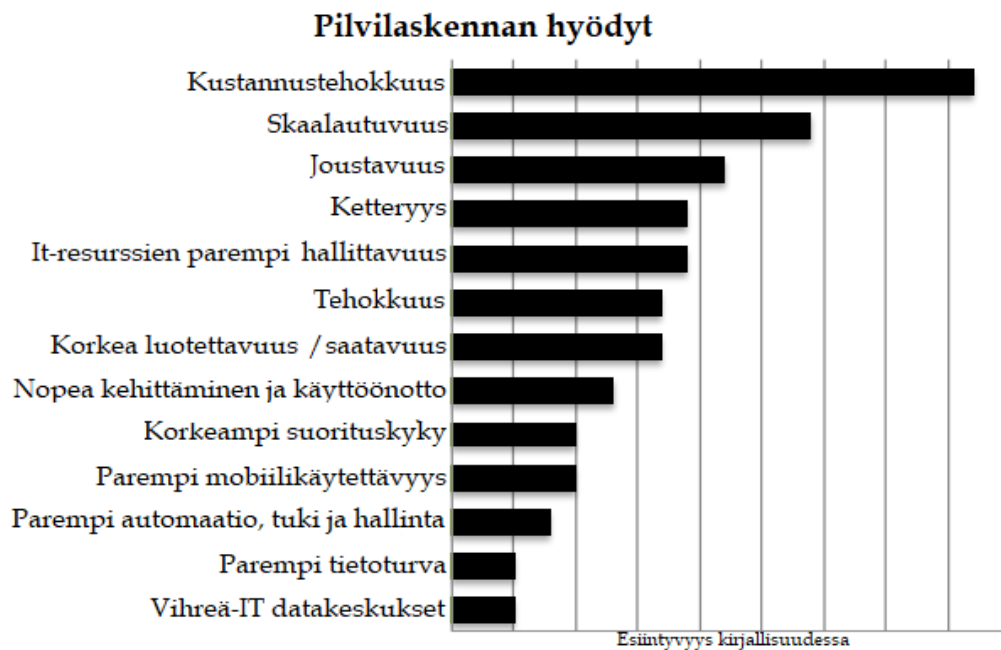
## 3 Pilvipalvelut ja pilvipalvelumallit

Tässä luvussa tutustutaan erilaisiin pilvipalveluihin ja niiden tyyppeihin, sekä pilvipalveluiden käyttöönottomalleihin. Lisäksi käydään läpi pilvipalveluista saatavia hyötyjä. Pilvipalvelut hyödyntävät pilvilaskentateknologiaa tarjotakseen kaupallisia tuotteita joko kuluttajille tai organisaatioille. Organisaatiotasolla pilvipalveluita käytetään IT-palveluiden tai kokonaisten IT-infrastruktuurin ulkoistamiseen. Pilvipalvelut voivat olla joko yleisluontoisia, tai hyvinkin räätälöityjä johonkin spesifiin käyttötarkoitukseen.

### 3.1 Pilvipalvelut ja niiden tyypit

Pilvipalveluiden alati kasvava tarjonta, sekä niiden avulla saavutettavat alhaiset kustannukset tarjoavat useille yrityksille ennennäkemättömän mahdollisuuden ja taloudellisen motivaation ulkoistaa IT-infrastruktuurinsa pilveen (Motahari-Nezhad, Stephenson & Singhal, 2009). Pilvipalveluita hyödyntämällä voidaan saavuttaa säästöjä IT-infrastruktuurin käyttöönotto-, ylläpito-, sekä operatiivisissa kustannuksissa. Sen sijaan että organisaatio rakentaisi oman IT-infrastruktuurinsa, siirtyvät kustannukset laitteiston ja ohjelmistojen hankinnasta tai kehittämisestä, sähkönkulutuksesta, jäähdytyksestä, sekä tilavuokrasta yms. juoksevista kuluista palveluntarjoajan maksettaviksi.

Kustannustehokkuus on tärkein yksittäinen pilvilaskennalla saavutettava hyöty: pilvipalveluiden elastisuuden ja skaalautuvuuden, sekä niiden käyttöasteen mitattavuuden ansiosta asiakas maksaa vain käyttämistään laskentaresursseista (Carrol, van derMerwe & Kotze, 2011.) Asiakkaiden saavuttamien säästöjen lisäksi myös palveluntarjoaja hyötyy siitä, ettei asiakkaille tarvitse varata jatkuvasti tämän maksimaalisen kuormituksen vaatimaa resurssimäärää. Palveluntarjoajan kokonaisresurssit pystytään allokoimaan tehokkaammin, kun käyttämättömiä resursseja ei ole valjastettuna. Kuviossa 2 listataan kustannustehokkuuden lisäksi keskeisimpiä pilvilaskennalla saavutettavia hyötyjä kirjallisuudessa esiintyvyyden perusteella.



KUVIO 2: Pilvilaskennalla saavutettavia hyötyjä (Carroll ym., 2011).

Skaalautuvuuden ansiosta myös pilvipalveluiden pienimmät asiakasorganisaatiot pystyvät hyödyntämään suurta laskentatehoa vaativia työkaluja ja suorittamaan laskentatehointensiivisiä tehtäviä, jotka ovat aikaisemmin olleet ainoastaan suuryritysten saavutettavissa. Tällaisille tehtäville on usein luonteenomaista tarve suurelle laskentateholle lyhyeksi aikaa, mikä on palveluiden skaalautuvuuden ansiosta helposti toteutettavissa (Marston, Li, Bandyopadhyay, Zhang & Ghalsasi, 2010).


Pilvipalveluiden asiakasorganisaatioiden kilpailukyky on muillakin osa-alueilla korkea, sillä pilvipalvelut tarjoavat äärimmäisen skaalautuvuuden lisäksi korkean suorituskyvyn resursseja, sekä luotettavasti saatavilla olevia korkealaatuisia sovelluksia ja dataa (Carroll ym., 2011). Raa'an laskentatehon lisäksi pilvipalvelut tarjoavat asiakkailleen laajan valikoiman ohjelmistopalveluita, ohjelmointirajapintoja ja kehitystyökaluja, joiden avulla voidaan rakentaa saumattomasti skaalautuvia sovelluksia pilvipalveluiden päälle (Buyya, Broberg & Goscinski, 2010).

Asiakkaiden pilvipalvelussa käynnistämät prosessit ajetaan virtualisoidussa ympäristössä, joka vuorostaan hyödyntää palveluntarjoajan fyysisiä laskentaresursseja. Useita eri asiakkaiden virtualisoituja prosesseja allokoidaan laskettavaksi samoille fyysisille koneille, mikä mahdollistaa moniasiakkuusmallin hyödyntämisen pilvilaskennassa (Ali, Khan & Vasilakos, 2015.) Moniasiakkuusmallilla (multitenancy) tarkoitetaan laskentaresurssien jakamista käyttäjien ja/tai sovellusten kesken. Yritysten yksityisissä pilvissä saattaa olla tuhansia eri käyttäjiä, jotka tyypillisesti käyttävät useita erilaisia sovelluksia ja ohjelmistoympäristöjä samanaikaisesti. Tällöin moniasiakkuusmallia toteutetaan pitämällä useat eri sovellukset ja ympäristöt valjastettuna jaettuihin resursseihin. Julkisten pilvipalveluiden tapauksessa

palveluntarjoajat pyrkivät minimoimaan ohjelmistoympäristöjen ja sovellusten määrää. Moniasiakkuusmalli kuitenkin toteutuu, kun laskentaresursseja jaetaan miljoonille käyttäjille (Motahari ym., 2009).

Loppukäyttäjän näkökulmasta pilvilaskentaan liittyen puhutaan usein erilaisista pilvilaskennan toimitusmalleista, joilla viitataan pilvilaskentainfrastruktuurin eri kerroksiin (Marston ym., 2010). Kuvio 3 kuvastaa pilvipinon (cloud stack) kerroksista rakennetta fyysisestä infrastruktuurista sovelluksiin. Arkkitehtuurissa korkeammalla olevien kerrosten palvelut voidaan muodostaa sen alla olevien kerroksien palveluista (Buyya ym., 2010.)

Höferin ja Karagianniksen (2011) mukaan tärkeimmät eroavaisuudet erilaisten pilvipalveluiden välillä liittyvät tarjottujen palveluiden tyypeihin. NIST:n määritelmä (Mell ja Grace, 2010) jakaa pilvilaskentaa tarjoavat ja hyödyntävät palvelut kolmeen eri tyyppiin: Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS) ja Infrastructure as a Service (IaaS). Tätä kutsutaan myös pilvipalveluiden SPI-malliksi (software, platform, infrastructure) (Ali ym., 2015).

Palvelu- malli	Pääasiallinen hallintatyökalu	Palvelun sisältö
 SaaS	Web-selain	<b>Pilvisovellukset</b> Toimisto-ohjelmistot, asiakkuudenhallinta, videonkäsittely
 PaaS	Kehitysympäristö pilvessä	<b>Pilvialusta</b> Ohjelmointikielet, viitekehukset, rakenteinen data
 IaaS	Virtuaalinen infrastruktuurin hallintatyökalu (VIM)	<b>Pilvi-infrastruktuuri</b> Laskentapalvelimet, datan varastointi, palomuuuri, kuormantasaus

KUVIO 3: Pilvipalvelumallit (Buyya ym., 2010).

### 3.1.1 SaaS (Software as a Service)

Software as a Service-pilvipalvelut (SaaS) ovat pilvipinon (ks. Kuvio 3) korkeimman tason palveluita, jotka tarjoavat käyttäjilleen ohjelmistoja palveluna. SaaS-ohjelmistot ovat virtuaalisia, skaalautuvia web-sovelluksia, joita useat eri asiakkaat voivat käyttää ja konfiguroida omiin tarpeisiinsa yhtäaikaaisesti. SaaS-palveluilla on joko kiinteä käyttömaksu, tai niiden

käyttämisestä laskutetaan käyttöasteen perusteella. (Laatikainen ja Ojala, 2014.)

SaaS-palveluiden suurin etu on siinä, että niitä hyödyntävien asiakkaiden ei tarvitse asentaa omille tietokoneilleen raskaita sovelluksia tai ohjelmistoja. Myös perinteisten ohjelmistojen lisenssimaksuilta vältetään, kun ohjelmistot hankitaan palveluna. SaaS-palvelun käyttöönotto on nopeaa ja yksinkertaista. SaaS-palveluiden käyttäjät pääsevät haluttuihin ohjelmistoihin ja sovelluksiin käsiksi internet-yhteyden välityksellä. Palveluun kirjaudutaan joko web-selaimen tai jonkin muun ohuen käyttöliittymän kautta, minkä jälkeen kaikki ohjelmistoon liittyvä laskentatyö tapahtuu palveluntarjoajan palvelimilla.

SaaS-palvelut ovat yleisin pilvipalvelutyypeistä. Yksinkertaisten ja yleishyödyllisten palveluiden lisäksi myös spesifimpiä, alakohtaisia SaaS-toteutuksia on saatavilla laajalti. SaaS-palveluiden asiakkailta ei ole päätäntävaltaa tai hallinto-oikeutta palvelun taustalla olevaan infrastruktuuriin tai sovellusalustaan. Ainoastaan rajoitetut ja käyttäjäkohtaiset konfiguraatiot ovat niiden suhteen mahdollisia (Höfer ja Karagiannis, 2011). Tästä aiheutuvan luottamuspuolan vuoksi jotkin organisaatiot saattavat yhä olla haluttomia ottamaan SaaS-ratkaisuja käyttöönsä, vaikka SaaS-palveluita pidetään suotuisana ratkaisuna organisaatioiden IT-suoritus- ja kilpailukykyyn parantamiseksi (Wu, Lan & Lee, 2011).

### **3.1.2 PaaS (Platform as a Service)**

Platform as a Service-pilvipalvelut tarjoavat asiakkailleen hallitun, korkean tason ohjelmistoinfrastruktuurin, jossa ohjelmistonkehittäjät kehittävät ja ajavat sovelluksia ja palveluita käyttäen palveluntarjoajan tukemia ohjelmointikieliä ja muita työkaluja tuetussa ympäristössä. PaaS-palveluihin kuuluu myös käyttöoikeus taustalla olevaan pilvi-infrastruktuuriin, mutta asiakkailta ei ole päätäntävaltaa sitä kohtaan. (Buyya ym., 2010; Höfer ja Karagiannis, 2010.)

### **3.1.3 IaaS (Infrastructure as a Service)**

Infrastructure as a Service-pilvipalvelut tarjoavat asiakkailleen virtuaalisia on demand-laskentaresursseja, kuten laskentatehoa ja tallennustilaa (Buyya ym., 2010). IaaS:ssa perinteisen IT-infrastruktuurin laitteisto (kuten palvelimet, verkko ja tallennustila), sekä niihin liittyvä ohjelmisto ulkoistetaan palveluksi. Palveluntarjoaja ei kuitenkaan datakeskuksen ylläpitämisen lisäksi puutu hallinnointiin juurikaan, vaan asiakkaiden täytyy itse huolehtia ohjelmistopalveluidensa käyttöönotosta ja hallinnoimisesta, aivan kuten heidän täytyisi omassa datakeskuksessaankin (Bhardwaj, Jain & Jain, 2010). Asiakkaalle voidaan esimerkiksi tarjota täysin kustomoitavissa olevia virtuaalipalvelimia, jotka käyttäytyvät fyysisen palvelimen tavoin. Todellisuudessa virtuaalipalvelimen laskentatehon voi tuottaa suuri fyysisten palvelinten joukko (Kushida, Murray & Zysman, 2011).

## 3.2 Pilvipalveluiden käyttöönottomallit

Pilvipalvelun käyttöönottomallit määräytyvät käytännössä sen mukaan kuka palvelua voi käyttää ja/tai kuka sen asiakas on. Vaikka pilvilaskenta on noussut lähinnä tarvepohjaisen tietojenkäsittelyn (utility computing) ilmaannuttua, on muitakin pilvilaskennan käyttöönottomalleja hyväksyty (ks. Kuvio 4). Käyttöönottomallit eroavat toisistaan fyysiseltä sijainniltaan ja levinneisyydeltään. Tässä mielessä kaikki pilvipalvelut voidaan luokitella niiden palvelumallia huomioon ottamatta joko julkiseksi-, yksityiseksi-, yhteisö tai hybridipilveksi (Buuya ym., 2010.)

Julkisella pilvellä tarkoitetaan julkiselle yleisölle saatavilla olevaa ”pay-as-you-go”-maksutyypin pilveä (Armbrust ym., 2010). Useat eri asiakkaat saavat samanaikaisesti pääsyn palveluntarjoajan palvelimiin, sovelluksiin ja palveluihin internetin välityksellä. Jokaisella asiakkaalla on käytössään omat dynaamisesti skaalautuvat virtuaaliset resurssinsa, joita kolmannen osapuolen palveluntarjoaja tarjoaa ja ylläpitää. Palveluntarjoaja pitää huolen palvelunsa turvallisuudesta ja infrastruktuurista sekä laitteistosta, joiden avulla palvelu toteutetaan. Asiakkaalla ei ole päätäntävaltaa pilvi-infrastruktuuriin liittyen, eikä tarkempaa tietoa sen arkkitehtuurista tai ylläpidollisista seikoista. Julkisen pilven tapauksessa jokaiselle käyttäjälle ei ole varattu omaa palvelinta. Palveluntarjoajan palvelimiin on useimmiten yhtä aikaa yhteydessä useita eri käyttäjiä, jotka jakavat palvelimen resurssit keskenään. Käyttäjät eivät kuitenkaan tiedä toisistaan mitään.

Yksityisellä pilvellä tarkoitetaan yrityksen tai muun organisaation yksinomaisessa käytössä olevaa ”datakeskusta”, johon julkisella yleisöllä ei ole pääsyä (Armbrust ym., 2010). Yksityisen pilven fyysinen infrastruktuuri voi sijaita joko asiakasorganisaation tiloissa tai kolmannen osapuolen palveluntarjoajan datakeskuksessa. Yksityisiä pilvipalveluita voidaan joko ostaa palveluntarjoajilta tai ylläpitää asiakasorganisaation itsensä voimin.

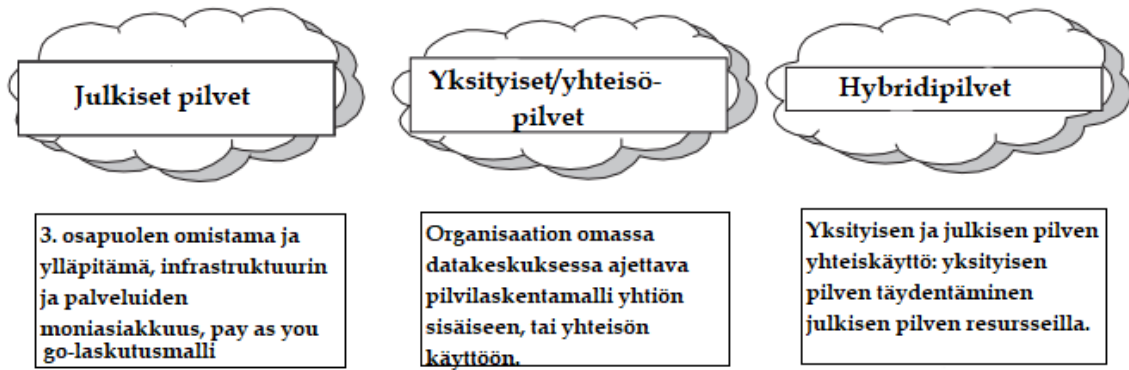
Itse infrastruktuuri voidaan toteuttaa joko ns. bare metal-tyylisesti eli varaamalla kokonaisia fyysisiä palvelimia asiakasorganisaation käyttöön tai virtualisoimalla palvelimia, joiden resurssit on varattu ainoastaan yhden asiakkaan käytettäväksi. Yksityisen pilvipalvelun asiakas pystyy vaikuttamaan siihen, miten pilveen vietyä dataa hallitaan ja millaisia tietoturvaratkaisuja sen suhteen tehdään (Carlin ja Curran, 2011). Yksityiseen pilveen liittyvistä hallinnollisista tehtävistä vastaa joko sen käyttäjäorganisaatio itse tai kolmannen osapuolen palveluntarjoaja, mikäli palvelun on tuottanut jokin muu taho kuin käyttäjäorganisaatio itse.

Yhteisöpilvi on jonkin tietyn yhteisön jäsenorganisaatioiden yhteiskäytössä oleva pilvipalvelu, joka voi yksityisen pilven tavoin olla jonkin asiakasorganisaationsa tai kolmannen osapuolen ylläpitämä.

Hybridipilvi on yksityisen/yhteisöpilven ja julkisen pilven yhdistelmä. Jokainen hybridipilven osa pysyy uniikkina, mutta ne on sidottu toisiinsa siirrettävyyden ja yhteiskäytön mahdollistavalla tekniikalla. Hybridipilviä



voidaan hyödyntää esimerkiksi tilanteessa, jossa käyttäjäorganisaation palveluun kohdistuu epäsäännöllisesti suurta raskautta, esimerkiksi eräajon tai valtavan kävijämääräpiikin seurauksena. Tällöin voidaan hyödyntää julkisen pilven lisäresursseja niin kauan, kuin niille on tarvetta. Kun tilanne normalisoituu, vapautetaan julkisen pilven resurssit.



KUVIO 4: Pilvipalveluiden käyttöönottomallit (Buuya ym., 2010).

## 4 PILVIPALVELUIDEN KÄYTTÖTAPAUKSET

Pilvipalveluiden avulla voidaan saavuttaa kiistattomia hyötyjä niin kustannustehokkuuden kuin helppokäyttöisyyden suhteen. Säästöt ja ketteryys toteutuvat kuitenkin ainoastaan, mikäli asiakasorganisaatio osaa tunnistaa tarpeensa ja löytää niitä vastaavan palvelun. Näin ollen erilaisten pilvipalveluiden- ja niiden käyttöönottomallien ymmärtäminen on organisaatioille kriittistä sen määrittämiseksi, onko tietynlaisen pilvipalvelun hyödyntäminen tai isännöinti niille taloudellisesti kannattavaa. Useimmiten asiakasorganisaation on löydettävä sopiva suhde tarvittavan hallittavuuden sekä vähentyneiden laitteisto-, kokoonpano- ja ylläpitokustannusten väliltä (Gibson, Rondeau, Eveleigh & Tan, 2012). Tässä luvussa esitellään muutamia käyttötapauksia jokaista SPI-mallin (ks. Kuvio 3) mukaista pilvipalvelumallia kohden. Lisäksi tutustutaan pilvipalveluiden laskutusmalleihin.

### 4.1 Software as a Service-pohjaiset palvelut

Yritysmailman SaaS-palvelut voivat yksinkertaisimmillaan olla yrityssähköposteja, kuten Microsoft Office 365, tallennuspalveluita kuten Dropbox, tai yhtiön sisäisen viestinnän työkaluja kuten Slack. Näiden yksinkertaisten tai jotain spesifiä tehtävää varten tuotettujen palveluiden lisäksi SaaS-pohjaiset ratkaisut ovat yleistyneet erityisesti myynnin ja markkinoinnin välineinä. Useita näistä ohjelmistoista yhdistää se, että ne eivät toteuta vain yhtä tehtävää, vaan yhteen tuotteeseen on yhdistetty useita työkaluja, joita hyödynnetään yrityksen myynnin edistämiseksi ja sen prosessin kehittämiseksi. Tällaisia SaaS-palveluita kutsutaan horisontaalisiksi. Horisontaaliset pilvipalvelut voivat löyhästi liittyä johonkin tiettyyn toimialaan tai kategoriaan, kuten markkinointiin tai viestintään. Ne eivät kuitenkaan ole tiukasti sidottu mihinkään tiettyyn toimialaan tai toimintoon. Spesifimpiä, toimialakohtaisia palveluita kutsutaan vertikaalisiksi. Ne palvelevat jonkin tietyn toimialan asiakkaita, kuten terveydenhuollon tai asuntomarkkinoiden toimijoita.

SaaS-malliin liittyy vahvasti moniasiakkuus (multitenancy). Useiden eri asiakkaiden täytyy voida olla yhteydessä SaaS-palveluun samanaikaisesti, ilman että asiakkaat tietävät toistensa olemassaolosta tai huomaavat käyttäjämäärän aiheuttavan muutoksia järjestelmän toiminnassa. Moniasiakkuus on SaaS-palveluille kriittinen toiminnallisuus, jotta sen käyttöönotolla saavutettavat keskeisimmät hyödyt voisivat toteutua. SaaS-mallin suurin vahvuus on sen helppokäyttöisyys. Yrityskäyttöön suunnatun ohjelmiston asentaminen ja ylläpitäminen paikallisella palvelimella vaatii usein erityistä laitteistoa ja asiantuntemusta. SaaS-palvelun tapauksessa asiakas saa käyttöoikeuden järjestelmään, joka on sisäänkirjautumisen jälkeen täysin käyttövalmis. Pilvijärjestelmän ylläpidosta, päivittämisestä ja turvallisuudesta pitää huolen

palveluntarjoaja.

Pilvijärjestelmien keskitetty ylläpito on mahdollistanut sen, että SaaS-palveluntarjoajat pystyvät tarjoamaan ohjelmistoja huomattavasti edullisempaan hintaan kuin perinteiset jakelumallit. Tämä selittyy mm. sillä, että ohjelmiston ei tarvitse tukea useita eri tietokonearkkitehtuureja tai versioita, kun sitä ylläpidetään pilviympäristössä. SaaS-toimialan yleisiin käytäntöihin kuuluvat käyttöasteeseen tai kausimaksuun perustuvat laskutusperiaatteet. Asiakkaalle tämä tarkoittaa mahdollisuutta matalan kynnyksen käyttöönottoon, ja palveluntarjoajalle palvelun käyttöasteeseen verrannollista, skaalautuvaa tuottoa. SaaS-palveluissa yhdistyvät helppokäyttöisyys ja madaltuneet käyttökustannukset mahdollistavat sen, että kilpailukykyisiä ohjelmistopalveluita pystytään tuottamaan yhä useampaan käyttötarkoitukseen (Allen ym., 2017.)

#### **4.1.1 Asiakkuuksienhallinta**

Yritysmailman keskittyessä yhä enemmän asiakas- kuin tuotelähtöisyyteen, on todettu, että asiakassuhteiden parantaminen johtaa kannattavaan ja kestäväan tulojen kehitykseen (Soltani, Zareie, Milani & Navimipour, 2018). Asiakkuudenhallinnalla (Customer Relationship Management, CRM) tarkoitetaan yrityskäyttöön kehitettyä järjestelmää, joka on suunniteltu parantamaan yritysten liikesuhteita ja tehostamaan niiden työskentelytapoja. Sen avulla suunnitellaan, aikataulutetaan ja johdetaan myynti-, markkinointi- ja asiakaspalvelutoimintaa. CRM-järjestelmän voidaan myös kuvitella olevan liiketoimintastrategia, jolla maksimoidaan asiakkaiden kannattavuus, tuotot ja tyytyväisyys. (Oksanen, 2010.) CRM:n avulla pystytään hallitsemaan niin nykyisiä kuin potentiaalsiakin asiakkuuksia, sekä muita yrityksen toimintoja ja projekteja. Näiden perustoimintojen lisäksi eri palveluntarjoajien tuotteissa on vaihteleva määrä kehittyneempää toiminnallisuutta. Voidaankin ajatella, että asiakkuuksienhallinta on modernin CRM:n minimivaatimus, jonka ympärille rakennetaan muut myyntiä ja markkinointia tehostavat toiminnallisuudet.

Mietittäessä CRM-järjestelmältä toivottuja ominaisuuksia, voidaan todeta, että pilvilaskennan ominaispiirteet (ks. Kuvio 1) täsmäävät erityisen hyvin CRM-palveluille asetettuihin vaatimuksiin. CRM-järjestelmän tulee olla laajalti saatavilla internet-yhteyden välityksellä laitteistosta riippumatta, sekä hyvin skaalautuva ja joustava yrityksen kasvun tai muiden äkillisten muutosten varalta. On kriittistä, että nopean kasvun hetkellä yrityksen ei tarvitse kohdistaa resurssejaan palvelun päivittämiseen, vaan se päivittyy ja skaalautuu automaattisesti tai hyvin pienin ponnistuksin. Pilvipohjaisen CRM:n käyttöönotto on pks-yritykselle melko vaivaton prosessi jo liiketoiminnan alkuvaiheessa. Asiakas saa yhteyden SaaS-palveluun jonkin ohuen käyttöliittymän kautta, jolloin asiakkaan toimesta ei vaadita raskaita ohjelmistoasennuksia. Palveluntarjoaja huolehtii siitä, että asiakkaan uniikille datalle allokoidaan tarvittava varastotila. Asiakkaan ei myöskään tarvitse

huolehtia ohjelmiston päivittämisestä, sillä palveluntarjoaja päivittää omilla palvelimillaan ajettavaa ohjelmistoa, johon asiakas on etäyhteydessä.

Salesforce ja Hubspot ovat esimerkkejä pitkälle kehittyneistä SaaS-pohjaisista CRM-palveluista, joiden ominaisuudet ovat tänä päivänä huomattavasti asiakkuudenhallintaa laajemmat. Niiden avulla erityisesti markkinointilähtöiset yritykset voivat mm. analysoida keräämäänsä käyttäjätietoa ja luoda sen perusteella asiakasprofieileja. Näille asiakasprofieille pystytään tarjoamaan personoitua markkinointisisältöä kuten asiakkaan tarpeisiin räätälöityjä tarjouksia, joiden avulla voidaan luoda lisäarvoa nykyisille asiakkuuksille. Mikäli asiakkaan tarpeet tunnistetaan oikein ja tälle kohdennetaan oikeanlaista sisältöä, voidaan kaupankäynnin jouduttamisen lisäksi esimerkiksi säilyttää lähtöä suunnittelevia asiakkuuksia.

CRM:ien avulla sisällön tuottaminen, julkaisu ja hallinta eri web-sivustoille ja sovelluksiin on mahdollista yhtä hallintatyökalua käyttämällä. Järvisen & Taimisen (2016) mukaan sisältömarkkinointi on lähivuosina levinnyt ja yleistynyt laajalti B2B-sektorilla. Pohjois-Amerikassa tehdyn tutkimuksen mukaan jopa 86 % (n=1820) Pohjois-Amerikkalaisista B2B-markkinointiyrityksistä käyttää sisältömarkkinoinnin keinoja osana strategista markkinointiaan. (Pulizzi & Handley, 2014).

Tärkeänä osana nykyaikaisia asiakkuuksienhallintajärjestelmiä ovat markkinointiautomaation työkalut. Niiden avulla voidaan tuottaa ja toimittaa asiakkaille personoitua sisältöä automatisoidusti. CRM:n käyttäjä päättää itse ehdoista, joiden täytyessä järjestelmä lähettää asiakkaille halutunlaista sisältöä. Sisältö voi olla esimerkiksi jokin personoitu viesti, joka lähetetään asiakkaalle tämän käyttäytyessä tietyllä tavalla. Myös kokonaisia mainoskampanjoita voidaan aikatauluttaa, tai määrätä käynnistymään, kun tietyt ehdot täyttyvät. Edellä mainittujen prosessien automatisoiminen säästää huomattavan määrän aikaa, sillä sisällön räätälöiminen ja toimittaminen oikeaan aikaan vaativat markkinointitiimeiltä paljon resursseja. Sekä Salesforce, että Hubspot toteuttavat markkinointiautomaatiota "Workflows"-nimisellä palvelullaan. Markkinointiautomaation lisäksi Workflow-palveluilla voidaan automatisoida mm. asiakashankintaa ja yrityksen sisäistä viestintää, kuten mahdollisten asiakkuuksien välittämistä tiimiltä toiselle.

Monet CRM-palveluntarjoajat ovat ymmärrettävästi jakaneet palveluitaan pienempiin osiin, sillä kaikkia niiden ominaisuuksista tarvitaan samassa käyttötapauksessa vain harvoin. Esimerkiksi Salesforce tarjoaa tuotteitaan modulaarisella periaatteella, eli asiakasyritys maksaa vain niistä ominaisuuksista, joista se hyötyy. Salesforce Sales tarjoaa myynnin CRM-palvelut, ja se on kehittynyt Salesforcen alkuperäisestä asiakkuudenhallintatuotteesta. Salesforce Servicen avulla hallinnoidaan asiakaspalveluun liittyvää toiminnallisuutta, kuten avataan ongelmaticettejä ja vastataan asiakaspalautteeseen. Salesforce Marketing sisältää markkinoinnin työkalut: sitä voidaan hyödyntää mainoskampanjojen aloittamiseen tai sosiaalisen median monitoroimiseen jne. Salesforce Communityn avulla voidaan luoda erilaisia verkostoja niin yritysten sisäistä kuin ulkoistakin keskustelua

varten. Anypoint Platformin avulla Salesforceen voidaan integroida dataa ja toiminnallisuutta jopa kilpailijoiden, kuten Hubspotin tai SAP:n, tuotteista. Omat palvelunsa löytyvät em. lisäksi myös bisnesanalytiikalle, sovelluskehitykselle, IoT:lle jne. Erilaisten tuotteiden lisäksi Salesforce tarjoaa pitkälle kustomoituja palveluita toimiala-spesifisti. Esimerkiksi Salesforce Healthcare on suunnattu terveydenhuollon alalle, jolloin mm. asiakkuussuhteet muuttuvat potilassuhteiksi.

Markkinoinnin, sisällönhallinnan ja viestinnän työkalujen lisäksi nykyaikaisia CRM:iä voidaan hyödyntää jopa sovelluskehityksessä. Salesforce mahdollistaa sovellusten kehittämisen App cloud-palvelullaan, jonka osana oleva Heroku luetaan useasti omaksi PaaS-palvelukseen. Esimerkiksi yrityksen sisäisen tikeointijärjestelmän avulla yritykset pystyvät seuraamaan johonkin tiettyyn projektiin tai asiakkuuteen liittyvien osatehtävien edistymistä. App cloud tukee sovelluskehitystä sekä korkealla, että matalalla tasolla. Yrityksen käyttöön räätälöityjä sovelluksia on mahdollista kehittää ohjelmoimatta riviäkään. Sovelluksia on mahdollista myös jakaa ja ladata AppExchange-palvelusta. Lisäksi useimpien CRM-palveluiden päänäkymät ja välilehdet, sekä useat muut kentät ovat käyttäjiensä kustomoitavissa ohjelmointirajapinnan kautta.

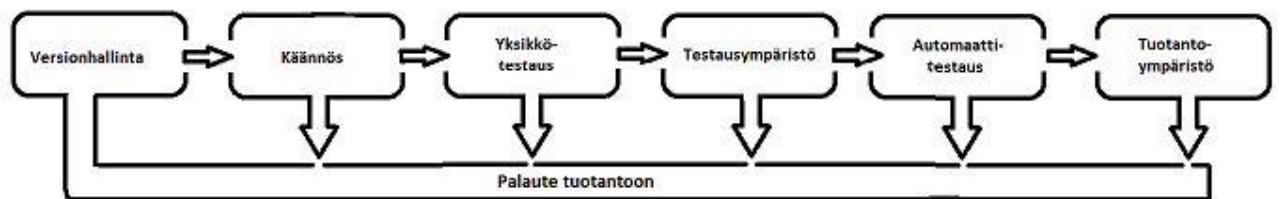
## 4.2 Platform as a Service-ohjelmointialustat

Platform as a Service-pilvipalvelut (PaaS) tuottavat kehitysalustoja palveluna. Niiden avulla palvelun käyttäjät voivat kehittää, ylläpitää ja hallita sovelluksia ja palveluita. PaaS-pilvipalveluiden pääasiallinen käyttäjäkunta koostuukin ohjelmistokehittäjistä. Suurin PaaS-palveluista saatava hyöty on se, että niiden avulla applikaatioiden ja palveluiden kehittäminen on huomattavasti perinteisiä keinoja yksinkertaisempaa, ja kehitystyö päästään aloittamaan nopeasti. Tämän mahdollistaa se, että kehittäjän ei tarvitse pystyttää kehitysympäristöään itse. Tarvittavat palvelimet, verkot, kirjastot, palvelinkomponentit ym. toimitetaan virtualisoituna palveluntarjoajan puolesta. Kehittäjien ei myöskään tarvitse panostaa infrastruktuuriin tai sen konfiguroimiseen ohjelmistokehityksen aikana, vaan kehitysalusta skaalautuu joko itsestään tai hyvin pienellä vaivannäöllä täyttämään sovellusten ja palveluiden vaatimat resurssitarpeet. Yleisin käyttötapaus PaaS:lle on lopulta strateginen: sovellusten kehittäminen, testaaminen, julkaiseminen, parantaminen ja skaalaaminen nopeasti ja kilpailukykyiseen hintaan (IBM Cloud Education, 2019).

Yksinkertaisuutensa lisäksi PaaS-palvelut ovat huokea vaihtoehto liiketoiminnan käynnistämiseksi, sillä asiakasorganisaation ei tarvitse tehdä investointeja kiinteään infrastruktuuriin tai järjestelmän ylläpitämiseen. PaaS-palveluista maksetaan lähes poikkeuksetta joko käyttöasteen perusteella, tai etukäteen sovittua kiinteää kuukausimaksua. Useat PaaS-palvelut tarjoavat lisäksi ilmaisia kokeilujaksoja. Pienille tai aloitteleville yrityksille käyttöasteperusteinen maksutapa on useimmiten taloudellisesti kannattavin.

Mikäli palvelun päälle rakennettu sovellus kuitenkin vaatii skaalautumista, nousevat käyttökustannukset hyvin nopeasti. Mikäli asiakas taas maksaa kiinteää käyttömaksua, on sovellusten skaalaaminen huomattavasti kömpelömpää. Kiinteän maksusuunnitelman ehtoihin on kirjattu enimmäismäärä resursseja, joita asiakasyritys voi saada käyttöönsä. Mikäli asiakas kuitenkin tarvitsee skaalausta yli sovitun resurssimäärän, joutuu hän maksamaan siitä ylimääräistä.

PaaS-palveluihin liittyvät vahvasti jatkuvan kehityksen (continuous integration) ja jatkuvan toimituksen (continuous delivery) periaatteet. Niistä muodostuva CI/CD-putki (CI/CD-pipeline) on suurin yksittäinen työkalu DevOps-ympäristössä. DevOpsilla tarkoitetaan joukkoa käytänteitä, jonka päämääränä on lyhentää aikaa, joka kuluu järjestelmämuutoksen tekemisestä sen käyttöönottoon tuotannossa. Samalla varmistutaan järjestelmämuutosten laadusta (Bass, Weber & Zhu, 2015). CI/CD-putken avulla automatisoidaan sovellusten kääntäminen, testaaminen ja käyttöönotto. Kuvion 5 mukaisessa esimerkissä sovelluskehitystiimin jäsen ajaa kirjoittamansa koodin versionhallintaan, minkä jälkeen uusi koodi käännetään ja uusi käännostuote tulee saataville versionhallintaan. Tämän jälkeen uusi koodi etenee CI/CD-putkessa yksikkötestausvaiheeseen, jossa se testataan virheiden varalta. Yksikkötestausvaiheesta edetään toimitusvaiheeseen, jossa koodi viedään ajettavaksi erilliseen testausympäristöön (staging). Testausympäristö vastaa esimerkiksi web-sovelluksia kehitettäessä tuotantosovellusta, mutta se on vain tuotantotiimin nähtävissä. Mikäli toimitus testausympäristöön sujuu ongelmitta, ajetaan vielä erilliset automaattitestit uudelle sovellusversiolle. Tämän jälkeen sovellus on valmis julkaistavaksi tuotantoympäristöön. Mikäli mikä tahansa putken vaiheista epäonnistuu, ilmoitetaan siitä kehitystiimille, joka tekee tarvittavat korjaukset. Tämän jälkeen uusi, korjattu versio ajetaan uudelleen versionhallintaan ja edelleen putken läpi, niin kauan että kaikki sen vaiheet on käyty onnistuneesti läpi.



KUVIO 5: Esimerkki CI/CD-putkesta.

#### 4.2.1 Platform as a Service-palvelun valintaprosessi

Vaikka PaaS-palveluiden peruseriaate onkin palveluntarjoajasta riippumatta pääosin sama, eroavat ne toisistaan useilla tavoilla. Suurimmat eroavaisuudet PaaS-palveluiden välillä liittyvät palveluiden käyttöliittymiin, joiden avulla sovelluksia kehitetään ja hallinnoidaan. Myös erot tuettujen toteutustekniikoiden välillä on osattava ottaa huomioon. Näihin kuuluvat

tulkkien, ohjelmointikielten ja ohjelmistokehysten lisäksi mm. palvelinten ja tietokantojen eri tyypit. Näitä ominaisuuksia ei useimmiten ole mahdollista ottaa käyttöön jälkikäteen, vaan käyttäjän tulee ottaa ne huomioon ennen palvelun käyttöönottoa.

Eroavaisuudet PaaS-palveluiden teknisissä työnkuluissa ja komennoissa saavat aikaan sen, että asiakas jää projektin edetessä helposti yhden palveluntarjoajan varaan. Samaisista syistä sovellusten tai kokonaisten kehitysympäristöjen siirtäminen toiseen palveluun tai yhteistoiminta eri palveluiden välillä on useimmiten erittäin vaivalloista (Röck & Kolb, 2016). Migraatioita hankaloittaa edelleen myös se, että PaaS-palveluiden API-ohjelmointirajapinnat eivät suurimmassa osassa tapauksista ole minkään standardin mukaisia. Palvelun vaihtamisen vaikeuden takia PaaS-palvelua valittaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että valittu alusta on omiin tarpeisiin soveltuva. Tärkeää on myös varmistua siitä, että alusta tulee palvelemaan käyttötarkoitustaan tyydyttävästi koko projektin elinkaaren ajan, kilpailukykyiseen hintaan.

PaaS-alustojen pääasiallisena käyttötarkoituksena pidetään laajalti sovelluskehitystä, mutta palveluntarjoajat pyrkivät erottumaan joukosta tarjoamalla erilaisia lisätoiminnallisuuksia mm. lisäosien ja integraation kautta. Esimerkiksi Herokuun, Salesforcen kehittämään PaaS-palveluun on tarjolla satoja erilaisia lisäosia, joista osa on maksullisia ja osa maksuttomia. Niiden avulla voidaan mm. ottaa käyttöön erilaisia tietokantatyyppejä, sähköpostipalveluita, muokata tietorakenteita, parannella verkkosivupalveluiden välimuistia, hoitaa poikkeustilanhallintaa, hankkia tietoturvaa palveluna jne. Monissa PaaS-palveluissa on myös sisäänrakennettu CI/CD-putkitus.

PaaS-palvelua valittaessa avainasemassa ovat huolellinen tiedonhankinta sekä projektin ulottuvuuden ja elinkaaren määrittäminen. Projektin suunniteltu kesto, valitut toteutustekniikat, alustalta tarvittavat ominaisuudet sekä migraatiomahdollisuudet vaikuttavat kaikki päätöksentekoon. Suurimmat palveluntarjoajat ovat yleisesti ottaen luotettavia ja tarjoavat liudan toiminnallisuuksia, sekä tuen lähes kaikille tunnetuimmista toteutustekniikoista. Monet markkinajätit tarjoavat mm. sertifioitua tietoturvaa ja kryptausta, suojaa palvelunestohyökkäyksiltä sekä reaaliaikaista varmuuskopiointia. Vastaavasti markkinajohtajien tuotteet tulevat kuitenkin varsinkin suureksi skaalautuvissa projekteissa kalliiksi pienempiin kilpailijoihinsa verrattuna.

Kun projektin vaatimukset ovat hyvin tiedossa, on valinta palveluntarjoajien välillä useimmiten melko yksinkertaista: valitaan se palveluntarjoaja, joka pystyy toimittamaan halutut ominaisuudet luotettavasti ja kilpailukykyisimpään hintaan. Mikäli palvelua tullaan käyttämään jonkin yksinkertaisen ohjelman tai palvelun kehittämiseen ja ajamiseen, riittää useimmiten toiminnoiltaan riisutumpi vaihtoehto. Jos taas esimerkiksi kokonainen tietoturvakriittinen ohjelmistoprojekti CI/CD-ympäristöineen tahdotaan rakentaa PaaS-palvelun ympärille, ovat sertifioidut markkinajohtajat useimmiten paras ratkaisu. Tällaisissa tilanteissa voidaan jopa harkita yksityisen

PaaS-palvelun hankkimista, jolloin käyttäjän data tallennetaan omalle fyysiselle palvelimelleen.

### 4.3 Infrastructure as a Service-pilvipalvelut

Infrastructure as a Service-pilvipalveluita voidaan pitää virtuaalisina datakeskuksina. Sen sijaan että yritys tai muu organisaatio investoisi omaan IT-infrastruktuuriinsa, hankitaan halutut laskentaresurssit virtualisoituna. Palveluntarjoaja ei puutu siihen mitä palvelimilla tehdään, vaan asiakas asentaa virtualisoiduille palvelimille haluamansa käyttöjärjestelmät ja ohjelmistot, sekä konfiguroi halutunlaisen verkkoympäristön. Muiden pilvipalvelutyyppeihin tapaan myös IaaS-palvelut ovat skaalautuvia: laskentaresursseja tai uusia virtuaalipalvelimia voidaan tarpeen mukaan varata lisää, tai vapauttaa ylimääräisiä käytöstä. IaaS-palveluiden perustoiminta on jokseenkin yksinkertaista. Asiakasorganisaatioiden päätettäväksi jää se, halutaanko virtualisoitu infrastruktuuri hankkia julkisesta pilvestä, vai sopiiko organisaation käyttötapaukseen paremmin yksityinen- tai hybridipilvi.

Julkiset IaaS-pilvipalvelut kuten Amazon Web Services, IBM Cloud ja Microsoft Azure pystyvät tarjoamaan skaalautuvia virtuaalipalvelimia muutamalla napin painalluksella. Mikäli asiakasorganisaatio on pieni, eikä palvelimia tarvita kourallista enempää, on julkisen pilven hyödyntäminen lähes aina helpoin ja kustannustehokkain ratkaisu. Tämä pätee myös, jos tarve suurelle laskentateholle on ainoastaan hetkellistä ja ajoittaista. Tällaisissa tapauksissa julkisesta pilvestä voidaan hyvin pienellä vaivalla varata lisäresursseja, jotka voidaan lisääntyneen tarpeen päättyessä vapauttaa käytöstä. Mikäli tarve suurelle määrälle palvelimia ja laskentatehoa on kuitenkin jatkuvaa, voi yksityinen pilvi olla asiakkaan kannalta kustannustehokkain ratkaisu.

Yksityisiä pilvipalveluita voidaan kuvitella olevan kahdenlaisia. Julkiset IaaS-palvelut tarjoavat usein mahdollisuutta dedikoituun virtuaalipalvelimeen, jota ajetaan laitteistolla, jolle muilla asiakkailla ei ole pääsyä. Kolmannen osapuolen lisäksi yksityisiä pilviä voidaan tuottaa myös organisaatioiden sisäisesti. Tällöin organisaatio ei säästy laitteistohankinnoista syntyviltä kuluilta, vaan joutuu hankkimaan oman pilvipalvelunsa pystyttämiseen vaadittavan laitteiston. Lisäksi organisaatio joutuu itse olemaan vastuussa palvelun ylläpidosta ja orkestroinnista.

Organisaation sisäisen toteutuksen voitaisiin kuvitella olevan relevanttia esimerkiksi jonkin suuren julkishallinnollisen organisaation, kuten yliopiston käyttötapauksessa. Tällaisissa käyttötapauksissa yhdistyvät selkeät tarpeet virtualisoitujen resurssien helpolle allokoimiselle (esimerkiksi eri tutkimusryhmille), sekä korkeat käyttökustannukset mikäli palvelut hankittaisiin kolmannelta osapuolelta. Tällaisissa käyttötapauksissa korostuu erityisen paljon organisaation sisäinen tietämys ja perehtyneisyys, sillä suurikokoisen pilvipalvelun isännöinti vaatii ylläpitäjältään paljon. Organisaation sisäinen pilvipalvelu tulee kyseeseen myös sellaisissa tapauksissa,



joissa käsiteltävä data on erityisen tarkan salassapidon alaista, mutta virtualisoituja palvelimia tarvitaan esimerkiksi sovelluskehitystyössä. Tämän luvun loppuosa käsittelee Openstackia. Openstack on avoimen lähdekoodin ohjelmistoalusta, jonka avulla voidaan mm. isännöidä edellä mainitun kaltaisia yksityisiä pilvipalveluita.

#### 4.3.1 Yksityinen Openstack-pilvipalvelu

Openstack on avoimen lähdekoodin laitteistoriippumaton ohjelmistoalusta, joka on suunniteltu pilvipalveluiden rakentamista ja hallitsemista varten. Organisaation omaan käyttöön rakennetun yksityisen pilvipalvelun käyttötapauksessa pilven ylläpitäjä hyödyntää Openstackia virtuaalipalvelinten ja resurssien provisiointiin, sekä verkkojen konfigurointiin. Openstackin heikkoutena pidetään laajalti sen jyrkkää oppimiskäyrää. Oman pilvipalvelun pystyttäminen organisaatiokäyttöön Openstackin avulla on kunnianhimoinen projekti. Ennen projektiin ryhtymistä onkin varmistuttava siitä, että organisaation sisällä on vaadittava tietämys pilvipalveluista, virtualisointitekniikoista sekä palvelinasennuksista. Jyrkän oppimiskäyrän vuoksi mm. monet konsulttiyhtiöt tarjoavat Openstack-asennuksia, jolloin projektin kustannukset kuitenkin kasvavat.

Openstack sai alkunsa NASA:n ja RackSpacen yhteistyöprojektina vuonna 2010. Nykyään Openstackin kehitystä hallinnoi voittoa tavoittelematon Openstack-säätiö, joka perustettiin vuonna 2012. Säätiöön kuuluu maailmanlaajuisesti yli 34 000 yksityishenkilöä ja 550 yritysjäsentä (mm. Intel, Huawei ja Red Hat), jotka osallistuvat projektin kehitystyöhön joko rahallisesti (yrityksille pakollista) tai kehittämällä ohjelmistoa itseään, dokumentoimalla sitä jne. Openstack Foundation julkaisee uuden ohjelmistoversion Ubuntu ja Fedoran tavoin n. puolen vuoden välein, minkä jälkeen vanhempia ohjelmistoversioita tuetaan vähintään kahden julkaisuvälin ajan.

Openstackin lähdekoodi on kirjoitettu Pythonilla, ja se asennetaan Linux-pohjaiseen palvelinkoneeseen. Tällaista fyysistä palvelinta kutsutaan "noodiksi." Suosittuja asennusaloja ovat mm. Linux-distribuutiot Ubuntu ja CentOS. Openstackin avulla voidaan ajaa sekä Linux-, että Windows-pohjaisia virtuaalikoneita. Openstackin lähdekoodin ollessa avointa, on jokaisella käyttäjällä halutessaan mahdollisuus tehdä siihen muutoksia ja jakaa tuotoksensa muun yhteisön kanssa. Avoimen lähdekoodin ansiosta Openstack välttyy lisäksi sitoutumasta minkään laite- tai ohjelmistovalmistajan tuotteisiin tai palveluihin. Tämä lisää valinnanvapautta ja takaa sen, että jos jokin infrastruktuurin osa on epätydyttävä, voidaan se vaihtaa toiseen vaivattomasti ilman että palvelun loppukäyttäjä huomaa eroa.

Openstack koostuu joukosta ohjelmistotyökaluja, joiden avulla voidaan hallita suuria määriä laskenta-, tallennus-, ja verkkoresursseja joko web-käyttöliittymän eli "dashboardin" tai Openstack API:n (Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta) välityksellä. Openstack ei ole "plug and play"-tyyppinen yksittäinen sovellus, vaan sen arkkitehtuuri on

pikemminkin modulaarinen viitekehys, joka koostuu aktiivisen yhteisön kehittämistä ja hyväksymistä projekteista, jotka tarjoavat erilaisia palveluita ja toiminnallisuutta kuten tietovarastointia, skaalautuvia verkkoja jne. Tämä mahdollistaa Openstack-pohjaisten palveluiden spesifisen räätälöinnin käyttötapauksen ja järjestelmävaatimusten mukaiseksi, sekä helpottaa vianetsintää. Yksilöityjen tuotteiden ja vapaan lähdekoodin lisäksi yksi Openstackin kilpailuvalteista on se, että se tarjoaa yhden alustan, jonka päällä toimivat rinnakkain niin virtuaalikoneet, säiliöt (container) kuin itsenäiset bare metal-palvelimetkin.

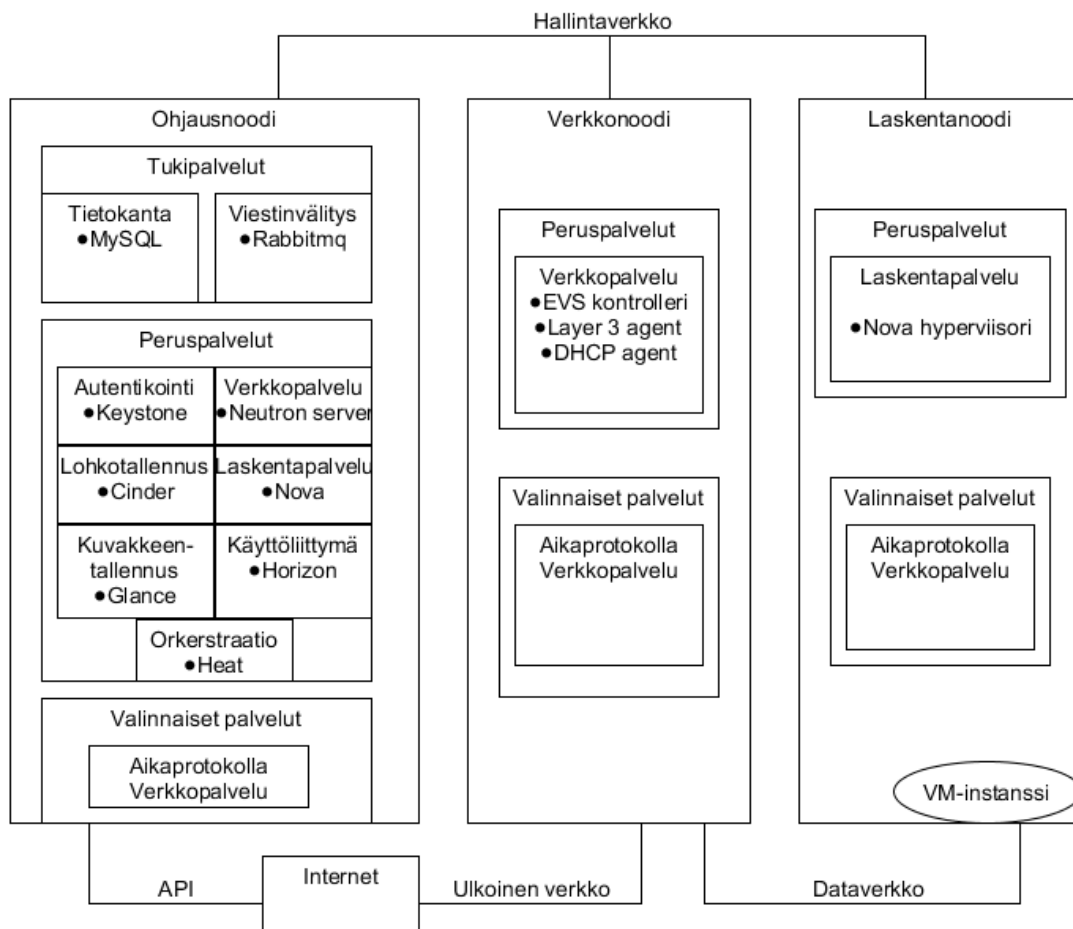
### 4.3.2 Openstackin arkkitehtuuri

Openstackin modulaarisuus ja sen konfiguroitavuus sekä laiteriippumattomuus tekevät sen arkkitehtuurin kuvaamisesta haasteellista. Jotkin seikat pysyvät kuitenkin suhteellisen samankaltaisina eri instanssien välillä: Openstack vaatii toimiakseen tietyn yhdistelmän ”ydinpalveluita”, joista jokaisella on uniikki tehtävänsä. Nova on Openstackin laskentapalvelu, jonka avulla toteutetaan palvelinvirtualisointi. Keystone hoitaa käyttäjien ja muiden palveluiden autentikoinnin. Neutron on verkkopalvelu, jonka avulla pystytetään virtuaalinen verkko. Glance vastaa levykuvakkeista, Swift on suurten tietomäärien tallennuspalvelu, kun taas Cinder on lohkotallennuspalvelu (block storage). Ydinpalveluiden lisäksi Openstack-yhteisö on kehittänyt suuren määrän muita palveluita, joita hyödyntämällä Openstack-instansseja voidaan kustomoida halutulla tavalla.

Openstackin palveluista ei ole yksinään hyötyä, vaan niiden tulee olla yhteydessä toisiinsa. Kaikki Openstack-palvelut hyödyntävät REST-ohjelmistorajapintaa (Representational State Transfer), jonka kautta resursseja tarjoavat palvelut viestivät keskenään. Rajapintaa tarvitaan myös palvelinistuntojen käynnistämiseen, levykuvien luomiseen jne. Openstackin ydinpalveluiden lisäksi tarvitaan muutama palvelu, jotka eivät kuulu Openstack-projektiin: viestinvälitysohjelma (message broker, kuten Rabbitmq) toimii välittäjänä eri palveluiden rajapintojen välillä. SQL-tietokantaan (kuten MySQL) tallennetaan palveluiden data. Kuviossa 6 on kuvattu Openstackin ydinpalvelut ja esimerkki niiden jaosta noodien välillä (eli Openstack-klusteri). Ydinpalveluiden lisäksi kuviossa nähdään muutama peruspalvelu, jotka eivät ole Openstackin toiminnan kannalta pakollisia, mutta ovat käytössä useimmissa Openstack-instansseissa. Tällaisia ovat mm. orkestrointipalvelu Heat ja Horizon-käyttöliittymä. Kuviossa 6 nähdään myös Openstack-projektin ulkopuoliset palvelut, jotka ovat kriittisiä sen toiminnan kannalta. Esimerkkiklusterin tapauksessa viestinvälitysohjelmana toimii RabbitMQ ja SQL-tietokantana MySQL.

Vaikka Openstack ei määritä tarkkoja sääntöjä palveluiden jakamiselle eri noodien välillä, on jako kolmeen eri noodityyppiin yleistä. Tässä esimerkkiklusterissa verkkonoodi (network node) sisältää nimensä mukaisesti verkkoihin liittyvät palvelut. Laskentanoodissa (compute node) ajetaan

hyperviisoria, joka hoitaa palvelinten virtualisoinnin. Ohjausnoodi (controller node) hoitaa rajapintoja, tietokantoja, viestinvälitysohjelmaa ja kaikkia ydinpalveluita, jotka eivät liity virtualisointiin. Tämäntyyppisellä jaolla saavutetaan tilanne, jossa ohjaus- ja verkkonoodit kohtaavat melko kevyttä kuormitusta, kun taas laskentanoodi on raskaimman kuormituksen alla. Järjestelmän koosta riippuen laskentanooideja tarvitaan usein jo kohtalaisen pienissäkin järjestelmissä enemmän kuin yksi, kun taas hallinta- ja verkkonooideja harvemmin tarvitaan useampia, ellei järjestelmäkoko ole todella suuri.



KUVIO 6: Openstackin esimerkkiklusteri.

### 4.3.3 Ansible ja Openstackin käyttöönotto

Openstackin monipuolisuuden ja monimutkaisuuden vuoksi sen käyttöönottoa ja ylläpitämistä on etenkin suurten pilvi-infrastruktuurien kohdalla pyrittävä yksinkertaistamaan ja helpottamaan kaikkien mahdollisuuksien mukaan. Erityisesti Openstack-palvelun pystyttäminen ja saattaminen oikean konfiguraatioon on ilman apuvälineitä ja kokemusta hyvin haastavaa.

Ansible on avoimen lähdekoodin "IT-automaatiomootori" jonka avulla voidaan automatisoida mm. pilviresurssien provisointia, konfiguraatioiden

hallintaa, sovellusten käyttöönottoa, sekä useita muita IT-tarpeita. Ansible käyttää omaa deklarativista "Playbooks"-kieltään, joka perustuu YAML-merkintäkieleen. Se hyödyntää OpenSSH-, ja WinRM-protokollia, joten ulkoisia yhteydenotto-osapuolia ei tarvita. Ansible toimii useilla UNIX:n kaltaisilla järjestelmillä ja sitä voidaan käyttää sekä UNIX:n kaltaisten, että Microsoft Windows-järjestelmien konfigurointiin. Openstackin tapauksessa Ansiblen avulla voidaan helpottaa palvelun käyttöönottoa ja myöhemmin myös hoitaa ylläpidollisia tehtäviä, kuten Openstackin versiopäivityksiä. Kuviossa 7 (Openstack Documentation, 2020) on kuvattu Openstack-Ansible asennuksen työnkulku. Ansible-Openstackin dokumentaatio (Openstack Documentation, 2020) on hyvin kattava ja yksityiskohtainen. Myös palvelun käyttöönotto on dokumentoitu tarkkaan.

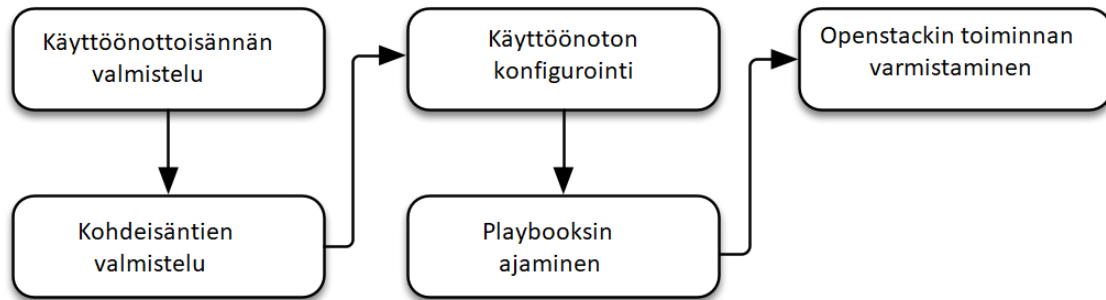
Dokumentaatio suosittelee erillisen käyttöönottoisännän käyttämistä. Käyttöönottoisäntä on palvelin, jolle on asennettu käyttöjärjestelmä (Ubuntu, CentOS tai openSUSE) sekä Ansible. Sen tehtävänä on orkestroida Ansible-Openstack asennusta sen kohdepalvelimilla, joita kutsutaan dokumentaatiossa kohdeisänniksi. Asennuksen ensimmäisessä vaiheessa käyttöönottoisäntä valmistellaan päivittämällä sen käyttöjärjestelmän ydin ja lataamalla tarvittavat paketit, kuten SSH- ja NTP-palvelut. SSH:n avulla Ansible muodostaa etäyhteyksiä käyttöönotto- ja kohdeisäntien välillä. NTP:n avulla synkronisoidaan käyttöjärjestelmän kello. Lopuksi käyttöönottopalvelimelle asennetaan uusin Openstack-Ansible versio, joka voidaan ladata suoraan kloonamalla Openstack-Ansiblen git-repositorio.

Kohdeisäntien valmistelu Openstack-asennusta varten sisältää kohdeisäntä-palvelimien käyttöjärjestelmäpäivitykset, SSH-avainten käyttöönottamisen sekä tallennustilan konfiguroimisen. Myös kohdeisäntien käyttöjärjestelmät päivitetään uusimpaan versioon ja ladataan Openstackin asennusta varten tarvittavat lisäpalvelut. Tämän jälkeen konfiguroidaan kohdeisäntien kello, virtuaalinen lähiverkko (VLAN), datan tallennuspalvelut, sekä SSH-avainten toiminta käyttöönotto- ja kohdeisäntien välillä. Ansible käyttää siltausta (network bridging) yhdistääkseen kohdeisäntien fyysiset ja loogiset verkkoliittymät virtualisoitujen säiliöiden (container) verkkorajapintoihin. Säiliöt ovat Ansiblen toiminnan kannalta erittäin kriittisiä. Tämän vuoksi on kiinnitettävä erityistä huomiota siltauksen konfiguroimiseen.

Kun sekä käyttöönotto- että kohdeisännät on valmisteltu asennusta varten, siirrytään käyttöönoton konfigurointivaiheeseen. Tässä vaiheessa tehdään useita päätöksiä pystytettävän palvelun konfiguraation ja siihen haluttujen ominaisuuksien suhteen, sekä "kuvaillaan" haluttu ohjelmistorakenne Ansiblen Playbooksia varten. Käyttöönoton konfigurointi vaihtelee siis sen mukaan, millaisessa muodossa Openstack halutaan pystyttää. Joitain konfiguraatioita on kuitenkin tehtävä jokaiselle asennukselle. Tällainen on esimerkiksi käyttöönottopalvelimella tehtävä määrittäminen siitä, mikä kohdeisännistä ajaa Openstack-Ansiblen käynnistämiä säiliöitä ja palveluita.

Kun käyttöönotto on määritelty ja konfiguroitu, voidaan ajaa "playbookit", jotka ohjaavat Ansiblea asentamaan Openstackin

kohdepalvelimille. Playbookit perustuvat YAML-merkintäkieleen ja sisältävät järjestelmäkuvauksia, sekä komentoja Ansiblelle. Openstackin tapauksessa Ansible tarvitsee asennukseen kolme playbookia. Kun playbookit on onnistuneesti ajettu, tarkistetaan Openstackin toiminta sekä ohjelmointirajapinnan, että Horizon-käyttöliittymäpalvelun kautta.



KUVIO 7: Openstack-Ansible asennuksen työnkulku, Openstack Documentation (2020).

Kun Ansible-Openstack on asennettu onnistuneesti, voidaan siirtyä testaamaan sen perustoimintoja. Openstackia voidaan käyttää joko komentoriviltä, tai Horizonin kautta. Openstack-Ansiblen dokumentaatiossa neuvotaan käyttäjiä etenemään seuraavassa järjestyksessä: ensimmäisenä luodaan virtuaalinen lähiverkko. Kun lähiverkko on luotu ja konfiguroitu halutunlaiseksi, voidaan jatkaa luomalla kuvakkeita (image), joita hyödyntämällä luodaan instansseja. Kuvakkeeseen tallennetaan tieto halutusta käyttöjärjestelmästä, tarvittavista ohjelmista sekä halutuista asetuksista. Tämän kuvakkeen pohjalta voidaan luoda instansseja, eli virtuaalipalvelimia.

## 5 YHTEENVETO

Tämän tutkielman päämääränä oli vastata tutkimuskysymykseen ”Mitkä seikat vaikuttavat pilvipalvelun valintaan organisaatiotasolla.” Tutkielma rakennettiin niin, että ensimmäisissä sisältöluvuissa käsiteltiin pilvilaskentaa- ja palveluita käsitteen ja määritelmän tasoilla. Pilvilaskenta on skaalautuvien ja dynaamisten virtualisoitujen resurssien käyttöä hajautetuissa ympäristöissä internet-yhteyden välityksellä. Pilvipalvelulla taas tarkoitetaan kaupallista tuotetta, joka hyödyntää pilvilaskentaa tuottaakseen erinäisiä palveluita.

Pilvipalveluille esiteltiin SPI-mallin mukainen kolmijako (SaaS, PaaS ja IaaS) sekä yleisluontoinen taksonomia (ks. Kuvio 1). Lisäksi esiteltiin pilvipalveluiden käyttöönottomallit (ks. Kuvio 4), sekä listattiin pilvipalveluilla saavutettavia hyötyjä (ks. Kuvio 2). Pilvilaskentaa myös vertailtiin muihin samankaltaisiin tietojenkäsittelyparadigmoihin, kiinnittäen erityisesti huomiota hajautettuun laskentaan. Pilvilaskennan erottaa muista paradigmoista lähdekirjallisuuden mukaan erityisesti se, että se ei ole niinkään uusi teknologia, vaan uusi liiketoimintamalli, joka yhdistelee vanhoja tekniikoita.

Erilaisten pilvipalveluiden ja toteutuksien ymmärtäminen on organisaatioille erityisen tärkeää. Pilvipalveluilla saavutettavat hyödyt toteutuvat ainoastaan, mikäli organisaation käytötapa osataan yhdistää oikeanlaiseen palveluun. Pilvilaskennan perusteiden lisäksi tutkielmassa esiteltiin kolmelle SPI-mallin mukaiselle pilvipalvelutyypille muutamia yleisimmistä käytötapauksista, sekä muutamia pilvipalveluita ja niiden ominaisuuksia. Erityisesti tutkielmassa kiinnitettiin huomiota SaaS-pohjaisiin asiakkuuksienhallintapalveluihin, PaaS-palveluiden hyödyntämiseen jatkuvan kehityksen ympäristössä, sekä yksityisen IaaS-palvelun käynnistämiseen ja isännöintiin.

Esimerkkien avulla pyrittiin tuomaan ilmi sitä, miten paljon samoilla tekniikoilla toteutetut pilvipalvelut voivat erota toisistaan. Yksikään pilvipalvelumalli ei ole paras mahdollinen jokaiseen IT-alan tarpeeseen, vaan pilvipalvelua harkitsevan organisaation tulee itse kartoittaa käyttötapaüksensa mahdollisimman tarkkaan. Yksittäisiä tehtäviä tai tarpeita varten kehitetyt palvelut eivät tuota lisäarvoa kohdettehtävänsä ulkopuolelta. Toisaalta jos pilvipalvelulle ei ole muuta käyttötarkoitusta, olisi monipuolisempaan palveluun sijoittaminen taloudellisesti epäkannattavaa. Mikäli taas pilvipalvelun tehtävä organisaatiossa on esimerkiksi koko IT-infrastruktuurin tai sovelluskehitysympäristön ulkoistaminen, vaikuttavat päätökseen useammat seikat. Suurimpina vaikuttimina mainittakoon palvelun lopullinen käyttötarkoitus sekä palvelun hinnoittelumalli. Lisäksi päätökseen vaikuttavat mm. palvelun käyttäjäkunta ja projektin luonne, se kuinka kauan palvelua aiotaan hyödyntää ja kuinka paljon teknistä apua tullaan tarvitsemaan.

Jatkotutkimusaiheena mainittakoon spesifien palveluna tuotettujen ratkaisujen tarjonnan kartoittaminen. Pilvipalveluiden suosion kasvun myötä on uusia palvelumuotoja ilmestynyt markkinoille kovaa tahtia. Esimerkkeinä

annettakoon Backend as a Service (backend palveluna), Containers as a Service (säiliöt palveluna), Desktop as a Service (työpöytä palveluna), Location as a Service (paikannus palveluna), Network as a Service (tietoverkot palveluna), Device as a Service (Laitte palveluna) ja Video as a Service (video palveluna).

## LÄHTEET

AlHakami H., Aldabbas, H., & Alwada'n. (2012). Comparison between cloud and grid computing: review paper. Haettu osoitteesta <http://airccse.org/journal/ijccsa/papers/2412ijccsa01.pdf>

Ali, M., Khan, S. U. & Vasilakos, A. V. (2015). Security in cloud computing: Opportunities and challenges. *Information Sciences*, 305, 357–383. doi: 10.1016/j.ins.2015.01.025, Haettu osoitteesta [http://sameekhan.org/pub/A\\_K\\_2015\\_IS.pdf](http://sameekhan.org/pub/A_K_2015_IS.pdf)

Allen, B., Ananthakrishnan, R., Chard, K., Foster, I., Madduri, R., Pruyne, J., Rosen, S. & Tuecke, S. (2017). Globus: A Case Study in Software as a Service for Scientists. doi:10.1145/3086567.3086570, Haettu osoitteesta <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3086567.3086570>

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. doi:10.1145/1721654.1721672, Haettu osoitteesta <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1721654.1721672>

Bhardwaj, S., Jain, L. & Jain, S. (2010). Cloud computing: A study of infrastructure as a service (IaaS). Haettu osoitteesta [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/7299777/cloud%20computing%20a%20study%20of.pdf?1324948502=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCloud\\_computing\\_A\\_study\\_of\\_infrastructur.pdf&Expires=1595421645&Signature=S9ii-e4eQmt3NXLDdurLGTYa172RJVXXcCVRFgGnEOmXm6bQJCQDK62~-nifN-bIBTvBfH62V0~Ls5TM4OnMen-Sqp-FMd1JOMoLusZ2LnLGGn0~jj-2GAiRdQchlaaVDHWH-LD5Dmk2iPszCJ6YgaC81qD0opEH0hvLoudgDF8~TDd7afiWypKMx8tbvhPG~WTsNHyaSYtvDA5cC~dk0s4rCorGy0fQ0kTdHq1wHnod8gM63VNrkqT~wBChYRguBfq2SSbbEg6zNjk2RuTpbxuUpVisth-v~cob8~eohopFaEVv0hke2k8tK4~yJm41Hy2ufJdrKeQlrSv42yhloA\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/7299777/cloud%20computing%20a%20study%20of.pdf?1324948502=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCloud_computing_A_study_of_infrastructur.pdf&Expires=1595421645&Signature=S9ii-e4eQmt3NXLDdurLGTYa172RJVXXcCVRFgGnEOmXm6bQJCQDK62~-nifN-bIBTvBfH62V0~Ls5TM4OnMen-Sqp-FMd1JOMoLusZ2LnLGGn0~jj-2GAiRdQchlaaVDHWH-LD5Dmk2iPszCJ6YgaC81qD0opEH0hvLoudgDF8~TDd7afiWypKMx8tbvhPG~WTsNHyaSYtvDA5cC~dk0s4rCorGy0fQ0kTdHq1wHnod8gM63VNrkqT~wBChYRguBfq2SSbbEg6zNjk2RuTpbxuUpVisth-v~cob8~eohopFaEVv0hke2k8tK4~yJm41Hy2ufJdrKeQlrSv42yhloA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Botta, A., de Donato, W., Persico, V. & Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 684–700. doi: 10.1016/j.future.2015.09.021, Haettu osoitteesta <http://iranarze.ir/wp-content/uploads/2017/03/6229-English-IranArze.pdf>

Buuya, R., Yeo, C., Venugopal, S., Broberg, J. & Brancid, I. (2008). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering



computing as the 5th utility. doi.org/10.1016/j.future.2008.12.001, Haettu osoitteesta  
<http://www.few.vu.nl/~kgr700/cloud%20computing%20and%20emerging%20it%20platforms.pdf>

Buyya, R., Broberg, J. & Goscinski, A. (2010). Cloud computing: Principles and Paradigms. Haettu osoitteesta  
[https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=S1NvRRd77rQC&oi=fnd&pg=PT22&dq=Cloud+computing:+Principles+and+Paradigms&ots=HTpcs4Yr4l&sig=RGfTHq0pyMXaFboq7PRhNyCKqnM&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Cloud%20computing%3A%20Principles%20and%20Paradigms&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=S1NvRRd77rQC&oi=fnd&pg=PT22&dq=Cloud+computing:+Principles+and+Paradigms&ots=HTpcs4Yr4l&sig=RGfTHq0pyMXaFboq7PRhNyCKqnM&redir_esc=y#v=onepage&q=Cloud%20computing%3A%20Principles%20and%20Paradigms&f=false)

Carlin, S. & Curran, K. (2011). Cloud computing security. doi: 10.4018/978-1-4666-2041-4.ch002, Haettu osoitteesta  
<http://uir.ulster.ac.uk/20675/3/ijacivol3no1.pdf>

Carrol, M., van der Merwe, A. & Kotze, P. (2011). Secure cloud computing: Benefits, risks and controls. doi: 10.1109/ISSA.2011.6027519, Haettu osoitteesta  
[https://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/handle/10204/5184/Kotze\\_4\\_2011.pdf?sequence=1](https://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/handle/10204/5184/Kotze_4_2011.pdf?sequence=1)

Gibson, J., Rondeau, R., Eveleigh, D. & Tan, Q. (2012). Benefits and challenges of three cloud computing service models. doi: 10.1109/CASoN.2012.6412402, Haettu osoitteesta  
[https://www.researchgate.net/publication/261422983\\_Benefits\\_and\\_challenges\\_of\\_three\\_cloud\\_computing\\_service\\_models](https://www.researchgate.net/publication/261422983_Benefits_and_challenges_of_three_cloud_computing_service_models)

Gong, C., Liu, J., Zhang, Q., Chen, H. & Gong, Z. (2010). The characteristics of Cloud Computing. doi: 10.1109/ICPPW.2010.45, Haettu osoitteesta  
<https://pdfs.semanticscholar.org/50fd/c8a1c04dceecd3ed9438bd36be248a32f48.pdf>

Hashemi, S. & Bardsiri, A. (2012). Cloud computing Vs. Grid Computing. Haettu osoitteesta  
<https://pdfs.semanticscholar.org/12a3/be7f1bd97bf0f5066bcb980cf66771c81c60.pdf>

Höfer, C. & Karagiannis, G. (2011). Cloud computing services: taxonomy and comparison, doi:10.1007/s13174-011-0027-x, Haettu osoitteesta  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13174-011-0027-x.pdf>

IBM Cloud Education. (2019). PaaS (Platform-as-a-Service). Haettu osoitteesta  
<https://www.ibm.com/cloud/learn/paas#:~:text=In%20the%20end%2C%20the%20most,more%20rapidly%20and%20cost%2Deffectively.>

Järvinen, J., & Taiminen, H. (2016). Harnessing marketing automation for B2B content marketing. *Industrial Marketing Management*, 54, 164-175.

doi: 10.1016/j.indmarman.2015.07.002. Haettu osoitteesta  
<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/52186/finaldraftautomationim.pdf?sequence=1>

Kim, Won. (2009). *Cloud Computing: Today and Tomorrow*. Haettu osoitteesta  
[http://www.jot.fm/issues/issue\\_2009\\_01/column4/](http://www.jot.fm/issues/issue_2009_01/column4/)

Kushida, K., Murray, J. & Zysman, J. (2011). Diffusing the Cloud: Cloud Computing and Implications for Public Policy. <https://doi.org/10.1007/s10842-011-0106-5>. Haettu osoitteesta  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10842-011-0106-5.pdf>

Laatikainen, G. & Ojala, A. (2014). SaaS architecture and pricing models. doi: 10.1109/SCC.2014.84 Haettu osoitteesta  
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/44771?locale-attribute=en>

Lee, Y. (2012). A Deployment Model for Cloud Computing using the Analytic Hierarchy Process and BCOR Analysis. Haettu osoitteesta  
[https://www.researchgate.net/publication/259972968\\_A\\_Deployment\\_Model\\_for\\_Cloud\\_Computing\\_using\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process\\_and\\_BCOR\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/259972968_A_Deployment_Model_for_Cloud_Computing_using_the_Analytic_Hierarchy_Process_and_BCOR_Analysis)

Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J. & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing-The business perspective. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.12.006>, Haettu osoitteesta  
<http://www.cs.joensuu.fi/~parkkine/LuK2015/CloudComputing-DecisionSupportSystems2011.pdf>

Malhotra, L., Agarwal, D., & Jaiswal, A. (2014). Virtualization in cloud computing. *Journal of Information Technology & Software Engineering*, 4(2) doi:10.4172/2165-7866.1000136, Haettu osoitteesta  
<http://www.davidellis.ca/wp-content/uploads/2016/05/virtualization-in-cloud-computing-2165-7866-1000136.pdf>

Mell, P. & Grance T. (2011). The NIST definition of cloud computing. *Association for Computing Machinery*. Communications of the ACM53. Haettu osoitteesta  
<http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>, s. 2.

Motahari-Nezhad, H., Stephenson, B. & Singhal, S. (2009). Outsourcing Business to Cloud Computing Services: Opportunities and Challenges. Haettu osoitteesta  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45788632/Outsourcing\\_business\\_to\\_cloud\\_computing\\_20160519-28730-14wcrur.pdf?1463702813=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DOutsourcing\\_business\\_to\\_cloud\\_computi](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45788632/Outsourcing_business_to_cloud_computing_20160519-28730-14wcrur.pdf?1463702813=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DOutsourcing_business_to_cloud_computi)

ng.pdf&Expires=1595421992&Signature=Ka~cIO6FRhNO1fNIOV97MiQqdTI7c  
OWkp~B49ekNsN4PzuaIqMnbg1wuvcv54ZOOQ7d5r6w0Q~pkxKjEdmDqJOjuF  
MwgOrVUmM080bqgFXIDoSLHIbrhX35JNFxoSRuiUIXOa92~SZqQr~MTNK  
6g5AmHBrzRPYmW20IEE1EWt14kwFfkZZeU0E3yQO5uID-  
paoRzZ6z0dga9cdV-  
IxHSEySESEN~Ej4YiDy2hLLimfOGQMrc5I0RsoA3sDd6InBJIamG0gAX5oIH3  
YiTJg6ycbdb53~6CCkVLLsDfOBzaJ-  
2IKkX65BZUXkaMARDphyA5GijEZXUSnSGDnVo4l1wwg\_\_&Key-Pair-  
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Oksanen, T. (2010). CRM ja muutoksen tuska - Asiakkuuden haltuun, Helsinki: Talentum

Openstack Documentation. openstack-ansible. (2020). Haettu osoitteesta <https://docs.openstack.org/project-deploy-guide/openstack-ansible/train/overview.html>

Pulizzi, J., & Handley, A. (2014). B2B content marketing: 2015 benchmarks, budgets, and trends - North America. Haettu osoitteesta: [https://contentmarketinginstitute.com/wp-content/uploads/2014/10/2015\\_B2B\\_Research.pdf](https://contentmarketinginstitute.com/wp-content/uploads/2014/10/2015_B2B_Research.pdf)

Rani, D & Rajiv, R. (2014). A Comparative Study of SaaS, PaaS and IaaS in Cloud Computing. Haettu osoitteesta [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49900472/cloud\\_iaas\\_saas\\_paas.pdf?1477544716=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA\\_Comparative\\_Study\\_of\\_SaaS\\_PaaS\\_and\\_IaaS.pdf&Expires=1595422124&Signature=TE92JPWLLwrf7xqr2lbHynL2vYwCn0jwKwyA9GEXELWcBeqsDNwjuyLQ1PFQYc2HuBrGQacM2AXK71qjcqNyhC6wxaeDI2~HHFxH~zRa~a7alMJByAFEVT4Xfr9xTHWKovBq7kYWWDS~yg1DRTE560Bx65dHlb5F5l0WFLjqY94OofofZtoH158woadSWZxwZojrU3LhH7ulk tArg2wj3~roVvUWNEkjF9pIprpOh-jDZB1HpzSmfW4W9adpoHub4PvuFwBXNDMUFskyjpe4-aYkRTBO09yzJOoqvlIaB35vMsA808bWA7vFgJQXr5v4RfyZjU628JwIhk86fOM3vQ\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49900472/cloud_iaas_saas_paas.pdf?1477544716=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_Comparative_Study_of_SaaS_PaaS_and_IaaS.pdf&Expires=1595422124&Signature=TE92JPWLLwrf7xqr2lbHynL2vYwCn0jwKwyA9GEXELWcBeqsDNwjuyLQ1PFQYc2HuBrGQacM2AXK71qjcqNyhC6wxaeDI2~HHFxH~zRa~a7alMJByAFEVT4Xfr9xTHWKovBq7kYWWDS~yg1DRTE560Bx65dHlb5F5l0WFLjqY94OofofZtoH158woadSWZxwZojrU3LhH7ulk tArg2wj3~roVvUWNEkjF9pIprpOh-jDZB1HpzSmfW4W9adpoHub4PvuFwBXNDMUFskyjpe4-aYkRTBO09yzJOoqvlIaB35vMsA808bWA7vFgJQXr5v4RfyZjU628JwIhk86fOM3vQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Röck, C. & Kolb, S. (2016). Nucleus - Unified Deployment and Management for Platform as a Service. Haettu osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/303640574\\_Nucleus\\_-\\_Unified\\_Deployment\\_and\\_Management\\_for\\_Platform\\_as\\_a\\_Service](https://www.researchgate.net/publication/303640574_Nucleus_-_Unified_Deployment_and_Management_for_Platform_as_a_Service)

Savolainen, E. (2012). Cloud Service Models. Haettu osoitteesta <https://docplayer.net/3310101-Cloud-service-models-seminar-cloud-computing-and-web-services-eeva-savolainen.html>

Soltani, Z., Zareie ,B., Milani, F.S. & Navimipour, N.J. (2018). The impact of the customer relationship management on the organization performance. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2018.10.001> Haettu osoitteesta <https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/11/Fardapaper-The-impact-of-the-customer-relationship-management-on-the-organization-performance.pdf>

Vaquero, L., Rodero-Merino, L., Caceres, J., Lindner, M. (2008). A break in the clouds: towards a cloud definition, doi:10.1145/1496091.1496100, Haettu osoitteesta <https://pdfs.semanticscholar.org/2b9b/4a646c5b86b0fbf0e18cd3bd0f52e06fa980.pdf>, s. 52

Wu, Wei-Wen., Lan, Lawrence W. & Lee, Yu-Ting. (2011). Exploring decisive factors affecting an organization's SaaS adoption: A case study. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2011.02.007 Haettu osoitteesta <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/14972/1/000297430000008.pdf>

Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1(1), 7-18. doi:10.1007/s13174-010-0007-6, Haettu osoitteesta <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13174-010-0007-6.pdf>

Zhu, L., Weber, I. & Bass, L. (2015). DevOps: A Software Architect's Perspective. Haettu osoitteesta [https://books.google.fi/books?hl=en&lr=&id=fcwkCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=DevOps:+A+Software+Architect%E2%80%99s+Perspective&ots=KR CtobOPP9&sig=hIAvV-lzZq\\_EP6oNstwIs5vobV0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=DevOps%3A%20A%20Software%20Architect%E2%80%99s%20Perspective&f=false](https://books.google.fi/books?hl=en&lr=&id=fcwkCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=DevOps:+A+Software+Architect%E2%80%99s+Perspective&ots=KR CtobOPP9&sig=hIAvV-lzZq_EP6oNstwIs5vobV0&redir_esc=y#v=onepage&q=DevOps%3A%20A%20Software%20Architect%E2%80%99s%20Perspective&f=false)

Zissis, D. & Lekkas, D. (2012). Addressing cloud computing security issues. doi.org/10.1016/j.future.2010.12.006, Haettu osoitteesta <http://extev.syros.aegean.gr/papers/J50.pdf>