Tampereen yliopisto

Samu Toljamo

PILVIPALVELUIDEN KÄYTTÖMALLIEN VERTAILU

Kandidaatintutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Huhtikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Samu Toljamo: Pilvipalveluiden käyttömallien vertailu
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma
Huhtikuu 2024

Pilvipalveluiden käyttömallin valinta on tärkeä osa pilvipalveluiden käyttöönottoa. Valinta käyttömallien välillä tulee tehdä huolellisesti, sillä käyttömallin vaihtamisesta aiheutuu merkittävästi kustannuksia. Tässä kandidaatintutkielmassa vertaillaan kolmea eri käyttömallia, jotka ovat julkinen pilvi, yksityinen pilvi sekä hybridipilvi. Käyttömalleja verrataan käyttäen neljää parametriä, jotka ovat kustannukset, tietoturvallisuus, skaalautuvuus ja luotettavuus. Työn tavoitteena on selvittää, miten eri parametrit vaikuttavat käyttömallin valintaan.

Tässä kandidaatintutkielmassa käydään ensin läpi pilvipalveluita yleisellä tasolla, jonka jälkeen on varsinainen käsittelyosa. Pääasiallisina lähteitä käytettiin tieteellisiä artikkeleita, mutta myös muulla kirjallisuudella täydennettiin aineistoa. Käsittelyosan jokaisessa luvussa pyrittiin hyödyntämään tieteellisiä julkaisuja mahdollisuuksien mukaan, mutta tätä edeltävässä osiossa hyödynnettiin lähinnä kirjallisuutta. Lähteiden hakemiseen käytettiin Google Scholar sekä Andor-palveluja.

Tämä kandidaatintutkielma osoittaa, ettei yksikään käyttömalli ole toista käyttömallia yksiselitteisesti parempi. Käyttömallia valitessa organisaation tulee ottaa huomioon organisaation nykyiset resurssit ja valita organisaatiolle itselleen tärkeät parametrit. Lisäksi organisaation olemassa olevat resurssit vaikuttavat myös siihen, kuinka sopivia eri käyttömallit ovat tietyn parametrin näkökulmasta katseltuna. Julkinen pilvi soveltuu erityisesti tilanteisiin, jossa organisaatiolla ei ole intressejä tehdä suurempia investointeja, laskentakapasiteetin kysyntä vaihtelee ja muut parametrit eivät rajaa julkisen pilven käyttöä pois. Yksityinen pilvi soveltuu tilanteisiin, joissa organisaatiolla on vakaa laskentakapasiteetin kysyntä, olemassa olevia laskentaresursseja tai tiukemmat vaatimukset muiden parametrien suhteen. Hybridipilvi mahdollistaa muiden käyttömallien tuomien etujen yhdistämisen, mutta toisaalta järjestelmän monimutkaisuus kasvaa.

Avainsanat: pilvipalvelut, julkinen pilvi, yksityinen pilvi, hybridipilvi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. AINEISTON KERUU 2
3. PILVIPALVELUT 3
3.1 Pilvipalveluiden avainominaisuudet 3
3.2 Palvelumallit 4
3.3 Käyttömallit 5
3.3.1 Yksityinen pilvi 5
3.3.2 Yhteisön pilvi 5
3.3.3 Julkinen pilvi 6
3.3.4 Hybridipilvi 6
3.4 Pilvipalveluiden trendejä 6
4. KÄYTTÖMALLIEN VERTAILUA 8
4.1 Kustannukset 8
4.2 Tietoturvallisuus 9
4.3 Skaalautuvuus 10
4.4 Luotettavuus 11
5. YHTEENVETO 13
LÄHTEET 14

1. JOHDANTO

Pilvipalvelut ovat kasvattaneet suosiotaan, sillä ne tarjoavat suuren määrän laskentaresursseja internetin välityksellä palveluna, joka laskutetaan käytön perusteella (Thakur ym., 2022). Mahdollisuus käyttää laskentaresursseja omistamatta niitä tekee pilvipalveluista houkuttelevan yritykselle (Li ym., 2013). Tällä tavalla yritykset voivat keskittyä ydinosaamiseensa. Erään markkinatutkimuksen mukaan pilvipalvelumarkkinan odotetaan kasvavan 1,44 biljoonaan dollariin vuoteen 2029 mennessä, mikä vastaa 16,4 %:n vuosittaista kasvua. Kasvua vauhdittavat esimerkiksi big data, tekoäly sekä koneoppiminen. (Mordor Intelligence, 2024)

Kun pilvipalvelut ottaa käyttöön, pitää valita käyttömalli. Käyttömalli on tärkeää valita hyvin, sillä vaihtaminen toiseen käyttömalliin on hankalaa. Tämän takia käyttömallien vertailu on mielekästä, jotta päätöksen tekeminen näiden välillä on mahdollisimman yksinkertaista. Tässä työssä tarkastellaan erilaisia pilvipalveluiden käyttömalleja ja vertaillaan niitä erilaisten parametrien avulla. Työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Miten käyttömallit eroavat kustannuksiltaan?
- Miten tietoturvallisuus toteutuu eri käyttömalleissa?
- Miten skaalautuvia eri käyttömallit ovat?
- Miten luotettavia eri käyttömallit ovat?

Tämän työn aihe on rajattu yleisempiin käyttömalleihin, jotka ovat julkinen pilvi, yksityinen pilvi sekä hybridipilvi. Monipilvi ja yhteisön pilvi ovat jätetty vertailusta pois, sillä ne ovat edellä olevien käyttömallien alatyyppejä, joten ne jakavat myös ominaisuuksia ylätyyppiensä kanssa. Vertailu toteutetaan pohtimatta niitä toteuttavan organisaation tyyppiä tai kokoa, mutta vertailu on hyödyllisin keski- tai suurikokoisille organisaatioille, sillä pienet organisaatiot hyödyntävät useimmiten julkista pilveä yksityisen pilven sijaan (Attaran ym., 2019).

Luvussa 2 käsitellään tutkimusmenetelmä, jossa käydään läpi, miten työssä käytetty aineisto on haettu sekä minkälaista aineisto on. Luvussa 3 tarkastellaan pilvipalveluita yleisesti sekä määritellään työn kannalta oleelliset käsitteet. Luvussa 4 vertaillaan eri parametrien avulla pilvipalveluiden käyttömalleja. Luvussa 5 tehdään yhteenveto työn tuloksista eli luvussa 4 esitetyistä vertailuista.

2. AINEISTON KERUU

Tämä työ suoritettiin kirjallisuuskatsauksena. Työ koostuu kahdesta erilaisesta luvusta, joiden lähteiden hakuun käytettiin erilaisia menetelmiä. Luku 3 käsittelee pilvipalveluita yleisellä tasolla sekä määrittelee työn kannalta olennaiset käsitteet, kun taas luvussa 4 käsitellään tutkimuskysymykset.

Luvussa 3 päälähteinä on käytetty Yhdysvaltain standardisointi- ja teknologiainstituutin määritelmää sekä kahta kirjaa, jotka on haettu Andor-palvelun avulla. Tietoa haettiin ”cloud computing”-, ”cloud computing overview”- sekä ”cloud services” -hakusanoilla. Kirjat valittiin niiden kattavuuden mukaan, mikä tapahtui vertailemalla hakutuloksien sisällysluetteloita. Laadun varmistamiseksi työssä käytettyjä kirjoja vertailtiin valintaprosessin aikana myös muihin kirjoihin, jotta sisältö olisi mahdollisimman luotettavaa. Tämä luku ei ottanut kantaa tutkimuskysymyksiin, joten tieteellisiä julkaisuja ei tässä kohtaa priorisoitu.

Luvussa 4 olevat lähteet on haettu Andor- ja Google Scholar -palveluiden avulla. Käytetyt hakusanat noudattavat seuraavaa mallia: ”(”private cloud” OR "hybrid cloud" OR "public cloud") AND parametri”. Esimerkissä oleva parametri-sana on korvattu käsiteltävän parametrin englanninkielisellä vastikkeella. Lähteitä haettiin myös hakusanalla ”cloud deployment model comparison”. Saaduista tuloksista priorisoitiin ensisijaisesti vertaisarvioidut lehdet, joita karsittiin abstraktin sekä sisällysluettelon perusteella. Myös muita kirjallisuus- sekä internetlähteitä hyödynnettiin, mutta näitä käytettiin lähinnä yksittäisiin nostoihin sekä niitä tarkasteltiin kriittisemmin kuin tieteellisiä julkaisuja.

3. PILVIPALVELUT

Yhdysvaltain standardisointi- ja teknologiainstituutti (eng. National Institute of Standards and Tecnology, NIST) määrittelee pilvipalveluiden olevan malli, joka mahdollistaa pääsyn kaikkialta jaettuihin mukautettaviin laskentaresursseihin, jotka on helppo ottaa käyttöön ja pois käytöstä minimaalisella hallinnointivaivalla sekä palveluntarjoajan vuorovaikutuksella. Laskentaresursseja ovat verkot, palvelimet, tallennustilat, sovellukset sekä palvelut. (Grance & Mell, 2011)

3.1 Pilvipalveluiden avainominaisuudet

Pilvipalvelut koostuvat viidestä avainominaisuudesta, jotka ovat tyypillisiä kaikille pilvipalveluille (Grance & Mell, 2011). Jotta palvelua voidaan kutsua pilvipalveluksi, sen tulee täyttää kaikki nämä pilvipalveluiden tunnusmerkit. Esimerkiksi selainpohjainen applikaatio ei automaattisesti täytä pilvipalveluiden määritelmää. (Rountree & Castrillo, 2014) Tässä alaluvussa käydään läpi kaikki viisi avainominaisuutta, jotka NIST määrittelee.

Ensimmäinen avainominaisuus on palveluiden saatavuus tarpeen vaatiessa itsepalveluna. Kuluttaja voi tarpeen vaatiessa saada laskentaresursseja käyttöönsä ilman ihmisten välistä vuorovaikutusta palveluntarjoajien kanssa (Grance & Mell, 2011). Palvelut tarjotaan tyypillisesti portaalin kautta, jota asiakkaat voivat käyttää itsenäisesti. Joissain tapauksissa on tarpeellista käyttää räätälöityä portaalia, mutta useimmiten palveluntarjoajien portaalit ovat riittäviä. Portaalin sijaan on monesti mahdollista hyödyntää palveluiden käyttämiseen rajapintoja, jotka mahdollistavat palvelun käytön automaation. (Rountree & Castrillo, 2014)

Toinen avainominaisuus on laaja pääsy verkon kautta. Pilvipalvelut ovat saatavilla verkon välityksellä ja niihin pääsee käsiksi standardoidulla mekanismeilla, jotka tukevat erilaisten alustojen, kuten mobiililaitteiden tai työasemien, käyttöä. (Grance & Mell, 2011) Eri alustojen tukeminen on kuitenkin kallista, joten ratkaisuja kannattaa suunnitella niin, etteivät ne vaadi asiakasohjelmaa (Rountree & Castrillo, 2014).

Kolmas avainominaisuus on pilvipalveluiden tarjoamien resurssien jakaminen. Palveluntarjoajan resurssit on jaettu eri kuluttajien välillä automaattisesti käytön perusteella. Kuluttaja ei välttämättä tiedä tarkalleen, missä resurssit ovat, mutta kuluttaja saattaa tietää resurssien sijainnin korkeammalla tasolla. Pilvipalvelun tarjoaja saattaa paljastaa esimerkiksi resurssien maan, osavaltion tai yksilöidyn datakeskuksen. (Grance & Mell, 2011) Resurssien jakaminen mahdollistaa palvelutarjoajalle kustannusten optimoinnin

sekä palvelun tarjoamisen suuremmalle määrälle asiakkaita, sillä asiakkaatkin käyttävät palveluita vain tarpeen vaatiessa. Resurssien jakaminen toteutetaan usein virtualisoinnin avulla. Pelkästään samalla fyysisellä järjestelmällä on mahdollista palvella monia eri asiakkaita, sillä fyysinen järjestelmä on jaettu moneen eri virtuaaliseen ympäristöön. (Rountree & Castrillo, 2014)

Neljäs avainominaisuus on nopea joustavuus. Pilvipalveluita voidaan ottaa käyttöön ja vapauttaa erittäin joustavasti sekä mahdollisesti myös automaattisesti vastatakseen nopeasti vaihtelevaan kysyntään. Lähtökohtaisesti asiakkaan näkökulmasta resursseja on saatavilla loputtomasti ja resursseja voi saada käyttöön, kuinka paljon tahansa minä tahansa aikana. (Grance & Mell, 2011) Pilviapplikaatioilla on tyypillistä pystyä vastaamaan myös kysyntäpiikkeihin, jotka ovat moninkertaisia tavalliseen käyttöön nähden. Ilman pilvipalveluita yrityksien IT-infrastruktuurin pitäisi olla tarpeeksi suuri, jotta kysyntäpiikkiin voitaisiin vastata. (Rountree & Castrillo, 2014) Tämä on kuitenkin epätehokasta, sillä normaalikäytössä IT-infrastruktuurin koko on tällöin liian suuri, mikä tekee ratkaisusta kalliin.

Viides avainominaisuus on palvelujen mittaus. Resurssien käyttöä mitataan, ohjataan ja optimoidaan hyödyntämällä jonkinlaista mittaria, joka riippuu resurssin tyypistä. Kuluttajaa veloitetaan näiden mittarien avulla, mikä tekee pilvipalveluista käytöstä hyvin läpinäkyvää niin kuluttajan kuin palveluntarjoajan näkökulmasta. (Grance & Mell, 2011) On tärkeää, että kuluttajat ymmärtävät, miten kustannukset muodostuvat. Turhaan käytössä olevat resurssit nostavat kustannuksia. (Derrick, 2014)

3.2 Palvelumallit

NIST määrittelee kolme erilaista palvelumallia, joilla pilvipalveluita tarjotaan. Näitä ovat Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS) ja Infrastructure as a Service (IaaS). Mallit eroavat toisistaan niiden abstraktiotasolla. Korkeimmalla abstraktiotasolla ohjelmisto tarjotaan palveluna ja matalimmalla abstraktiotasolla tarjotaan yksittäisiä laskentaresursseja. (Grance & Mell, 2011)

NIST määrittelee, että SaaS-mallissa kuluttajalle tuotettu kyvykkyys on palveluntarjoajan applikaatio, joka käyttää pilvi-infrastruktuuria. Tässä kontekstissa pilvi-infrastruktuurilla tarkoitetaan fyysisten laitteiden sekä ohjelmistojen muodostamaa kokonaisuutta, joka täyttää luvussa 3.1 käydyt pilvipalveluiden tunnusmerkit. Applikaatio on saatavilla joko kevyen asiakasohjelman, kuten selaimen tai ohjelmiston, kautta. Tämä on abstraktiota-

soista korkein eli kuluttaja ei hallinnoi alla olevaa pilvi-infrastruktuuria, mutta on mahdollista, että kuluttajat pystyvät muokkaamaan käyttäjäkohtaisia asetuksia rajoitetusti. (Grance & Mell, 2011)

NIST määrittelee, että PaaS-mallissa kuluttajalle tuotettu kyvykkyys on mahdollisuus ottaa käyttöön kuluttajan luomia tai hankkimia applikaatioita, jotka ovat tehnyt ohjelmointikielillä, kirjastoilla, palveluilla ja työkaluilla, joita palveluntarjoaja tukee. Tässäkään mallissa käyttäjä ei hallinnoi alla olevaa pilvi-infrastruktuuria, vaan palveluntarjoaja hoitaa alemman abstraktiotason resursseja, kuten palvelimia tai niiden käyttöjärjestelmiä. Kuluttaja kuitenkin hallinnoi käyttöönotettua applikaatiota ja mahdollisesti kuluttaja voi myös asettaa applikaatiokohtaisia asetuksia. (Grance & Mell, 2011)

NIST määrittelee, että IaaS-mallissa kuluttajalle tuotettu kyvykkyys on prosessointi, tallennustila, verkko ja muita olennaisia laskentaresursseja, joita kuluttaja pystyy käyttämään vapaasti. Myöskään tässä mallissa kuluttaja ei hallinnoi fyysisiä resursseja, jotka tuottavat nämä palvelut. Kuluttaja kuitenkin hallitsee esimerkiksi käytettävää käyttöjärjestelmää. (Grance & Mell, 2011)

3.3 Käyttömallit

NIST määrittelee neljä käyttömallia, jotka ovat yksityinen pilvi, yhteisön pilvi, julkinen pilvi sekä hybridipilvi. Käyttömallit eroavat toisistaan siten, että eri käyttömalleissa asiakkaat ovat rajattu eri tavoin. (Grance & Mell, 2011)

3.3.1 Yksityinen pilvi

NIST määrittelee yksityisen pilven olevan pilvi-infrastruktuuri, joka on tarkoitettu vain yhden organisaation käyttöön. Organisaation sisällä voi olla kuitenkin monia eri kuluttajia. Esimerkiksi yritys saattaa koostua eri liiketoimintayksiköistä. Pilvi-infrastruktuuri voi olla omistettu, hallittu sekä operoitu samaisen organisaation, kolmannen osapuolen tai näiden yhdistelmän puolesta. Pilvi-infrastruktuuri voi olla rakennettu joko yrityksen omiin tiloihin tai niiden ulkopuolelle. (Grance & Mell, 2011)

3.3.2 Yhteisön pilvi

NIST määrittelee, että yhteisön pilvi on pilvi-infrastruktuuri, joka on tarkoitettu samankaltaisten huolien jakavien organisaatioiden yhteisön käyttöön. Organisaatioilla voi olla esimerkiksi samankaltainen missio, turvallisuusvaatimukset, käytännöt tai säädökset, joita

niiden tulee noudattaa. Kuten yksityisessä pilvessä, pilvi-infrastruktuuri voi olla omistettu, hallittu sekä operoitu yhteisön, kolmannen osapuolen tai näiden yhdistelmän puolesta ja pilvi-infrastruktuuri voi joko sijaita yhteisön tiloissa tai niiden ulkopuolella. (Grance & Mell, 2011) Yhteisön pilvi on siis hyvin samankaltainen kuin yksityinen pilvi, mutta yksittäinen organisaatio on korvattu monista organisaatioista koostuvalla yhteisöllä.

3.3.3 Julkinen pilvi

NIST määrittelee, että julkisella pilvellä tarkoitetaan pilvi-infrastruktuuria, joka on tarkoitettu suuremman yleisön vapaaseen käyttöön. Pilvi-infrastruktuuri voi olla omistettu, halittu ja operoitu yrityksien, akateemisen toimijan, valtiollisen toimijan tai näiden yhdistelmän puolesta. Pilvi-infrastruktuuri kuitenkin sijaitsee pilvipalveluiden tarjoajan tiloissa. (Grance & Mell, 2011)

Mikäli yritys käyttää monia eri pilvipalvelun tarjoajia, käyttömallia kutsutaan monipilveksi (Jamshidi ym., 2017). Kompleksisuus lisääntyy, kun hyödynnetään monia eri pilvipalvelun tarjoajia. Toisaalta riippuvuus yksittäiseen pilvipalvelun tarjoajaan vähentyy ja kuluttaja voi hyödyntää erilaisia ominaisuuksia eri pilvipalvelun tarjoajilta.

3.3.4 Hybridipilvi

Hybridipilvi on käyttömalli, jossa hyödynnetään vähintään kahta edellä mainittua käyttömallia. Eri pilvi-infrastruktuurit toimivat omina entiteetteinä, mutta ne on sidottu jonkin teknologian avulla, joka mahdollistaa tiedon sekä sovelluksen siirrettävyyden. Esimerkiksi sovelluksen kuormaa voidaan jakaa eri infrastruktuurien välille. (Grance & Mell, 2011)

3.4 Pilvipalveluiden trendejä

Pilvipalvelut eivät ole pelkästään tapa ulkoistaa IT-infrastruktuuri kolmannelle osapuolelle, vaan se on vaikuttanut tapaan suunnitella sekä toteuttaa sovelluksia. Sovelluksista, jotka on suunniteltu pilvipalveluita varten, käytetään termiä pilvinatiivi-sovellus. Pilvinatiivit sovellukset tyypillisesti hyödyntävät esimerkiksi tapahtumapohjaista mikropalveluarkkitehtuuria. Tällöin sovellus koostuu monista pienemmistä palveluista, jotka reagoivat toisien palveluiden luomiin tapahtumiin ja kommunikoivat toistensa kanssa asynkronisesti. (Goniwada, 2022)

Reunalaskenta tarkoittaa tiedon käsittelyä mahdollisimman lähellä tiedon lähdettä sen sijaan, että tieto lähetettäisiin pilveen ja käsiteltäisiin pilvessä. Reunalaite, joka kerää tietoa, voi olla esimerkiksi IoT-sensori, drone tai mobiililaite. Tässä mallissa pilveen lähetetään ainoastaan palvelun kannalta oleelliset asiat. Esimerkiksi drone, joka havannoi jotain aluetta, lähettää pilveen sen tunnistamat kohteet alueelta itse kuvien sijasta, joiden perusteella tieto analysoitiin. (Goniwada, 2022)

Palvelimeton laskenta on myös tyypillistä erityisesti pilvinatiiveissa sovelluksissa. Tässä mallissa kehittäjiltä piilotetaan palvelininfrastruktuuri, mikä mahdollistaa lähes täydellisen saatavuuden ja dynaamisen skaalautuvuuden. Sovelluksien kehittäjät voivat keskittyä liiketoiminnalliseen logiikkaan, sillä palvelininfrastruktuuri on täysin pilvipalvelun tarjoajan vastuulla. (Goniwada, 2022)

Virtualisointi on myös tärkeä osa pilvipalveluita. Erityisesti konttien (eng. container) käyttö on yleistynyt pilvipalveluiden myötä. Konttiin on paketoitu sekä sovelluksen koodit että sen kaikki riippuvuudet, joten sovellus toimii tällöin luotettavasti, sillä se ei ole riippuvainen sen isännän ympäristöstä. Kontit ovat virtuaalikoneita huomattavasti kevyempiä suorittaa, sillä virtualisointi tapahtuu vasta käyttöjärjestelmätasolla. Konttien etuja on muun muassa mahdollisuus suorittaa monia kontteja saman järjestelmän sisällä, lyhyt käynnistysaika, siirrettävyys ympäristöjen välillä, skaalautuvuus sekä laaja tuki. (Goniwada, 2022)

Pilvipalveluiden myötä on myös syntynyt low-code ja no-code työkaluja, joilla on mahdollista tehdä rajoitetusti sovelluksia joko ilman koodausosaamista tai hyvin vähäisellä koodausosaamisella. Näillä työkaluilla on mahdollista tehdä sovelluksia hyvin nopeasti. Pilvipalveluiden avulla näitä on mielekästä toteuttaa, sillä palveluntarjoajin tekemät työkalut mahdollistamat manuaalisten tehtävien automatisoinnin, sillä ne voivat vuorovaikuttaa pilvipalveluissa olevien tietojen ja palveluiden kanssa. (Goniwada, 2022)

4. KÄYTTÖMALLIEN VERTAILUA

Tässä luvussa tarkastellaan pilvipalveluiden käyttömalleja neljästä eri näkökulmasta, jotka ovat kustannukset, tietoturvallisuus, skaalautuvuus sekä luotettavuus.

4.1 Kustannukset

Luvussa 3.3 käsiteltyjen määritelmien mukaan käyttömallit eroavat toisistaan pilvi-infrastruktuurin omistajuuden suhteen. Pilvi-infrastruktuurin omistajuus vaikuttaa siihen, miten kustannukset syntyvät eri käyttömalleissa. Julkisessa pilvessä kustannukset tulevat palvelun ostamisen myötä. Yksityisen pilven määritelmä ei rajoita pilvi-infrastruktuurin omistajuutta ainoastaan sitä käyttävään yhtiöön. Kustannukset voivat siis muodostua joko itse infrastruktuurista, ostetusta palvelusta, mikäli infrastruktuurin omistaa kolmas osapuoli, tai näistä molemmista. (Grance & Mell, 2011) Esimerkiksi pilvipalvelun tarjoaja Amazon AWS jakaa yksityisen pilven kolmeen osaan, jotka ovat itse ylläpidetty yksityinen pilvi, kolmannen osapuolen ylläpitämä yksityinen pilvi sekä virtuaalinen yksityinen pilvi, jota tarjoavat julkiset pilvipalveluntarjoajat (AWS, 2024). Tässä luvussa ei tarkastella virtuaalista yksityistä pilveä, sillä sen kustannusprofiili on samankaltainen kuin julkisessa pilvessä.

Yleisesti ottaen omassa omistuksessa oleva yksityinen pilvi on halvempi kuin julkinen pilvi, kun laskentatehon kysyntä on suhteellisen vakaa tai hyvin suurta. Toisaalta yksityisen pilven vaatima suuri rahallinen investointi ei ole kannattava, mikäli kysyntä on hyvin vaihtelevaa tai pientä. Hybridiratkaisu, jossa hyödynnetään sekä julkista että yksityistä pilveä, on teoreettisesti halvempi, mikäli sekä julkisen että yksityisen pilven laskentateholle oletetaan kiinteä hinta. Tämä johtuu siitä, että hybridiratkaisussa omaa kapasiteettiä voidaan hyödyntää suurella käyttöasteella ja kysyntäpiikeistä vastaa julkinen pilvi. Mikäli laskentakapasiteetin hintaa ei oleta kiinteäksi, voi hybridiratkaisu tulla kuitenkin kalliimmaksi. Kun laskentakapasiteettia ostetaan suurempi määrä, laskentakapasiteetin yksikköhinnan laskevat. (Mazhelis & Tyrväinen, 2012) Toisaalta voidaan myös pohtia kustannusten vaikutusta eri käyttömallien suosioon. Yksityisen ja hybridipilven suosion kasvaessa julkisen pilven palveluntarjoajat saattavat alentaa hintojaan, mikäli julkisen pilven infrastruktuurin käyttöaste laskee. Samalla tavalla alemmat hinnat saattavat kannustaa pilvipalveluiden kuluttajia välttämään yksityistä pilveä. (Jain & Hazra, 2019)

Toisaalta on tärkeä ymmärtää, että edellä mainittu tutkimus sekä vastaavat tutkimukset mallintavat kysyntää kysyntäfunktion avulla. Vaikka kysyntäfunktio ottaa huomioon vaihtelevan kysynnän, niin todellisuudessa kysyntäfunktio voi myös muuttua, mikä johtaisi optimaalisen oman infrastruktuurin sekä julkisen pilven suhteen muutokseen. Lisäksi julkisen pilven käytössä syntyvä hävikki aliarvioidaan (Lee, 2019). Organisaation, joka valitsee pilvipalveluiden käyttömallia, kannattaa ymmärtää teoreettisten kustannusten lisäksi, mitkä tekijät voivat vaikuttaa todellisiin kustannuksiin.

Voidaan todeta, että kustannuksien kannalta on tärkeää ymmärtää ratkaisujen kokonaiskustannukset koko käytön ajalta. Mikäli organisaatio investoi omaan laskentakapasiteettiin, kustannukset painottuvat alkuun. Julkisessa pilvessä kustannukset riippuvat suoraan käytöstä, joten suurempia investointeja ei tarvita. Organisaation tulee ottaa edellä mainittujen näkökulmien lisäksi huomioon organisaation nykyiset resurssit niin henkilöstön kuin laskentakapasiteetin kannalta.

4.2 Tietoturvallisuus

Erityisesti julkiseen pilveen kohdistuu monia tietoturvallisuushuolia, jotka johtuvat siitä, että pilvi-infrastruktuurin omistaa jokin kolmas osapuoli. Toisaalta pilvipalveluntarjoajat käyttävät edistyneitä suojausmekanismeja. Julkinen pilvi on kuitenkin jaettu ympäristö, joten kuluttajia huolettaa, miten tämän kaltaisessa ympäristössä tietoturvallisuus voidaan taata. Kuluttajia ei ole tyypillisesti eroteltu mitenkään fyysisesti, vaan kuluttajat hyödyntävät samoja fyysisiä laitteita, mikä saattaa mahdollistaa esimerkiksi toisen käyttäjän muistin tilan lukemisen. Kun tallennustila on myös jaettu, on tärkeää, että käyttäjät voivat lukea vain niille kuuluvaa tietoa. Esimerkiksi poistetuista tiedoista saattaa jäädä jotain jälkiä tallennustilaan, jota jokin toinen käyttäjä voi hyödyntää myöhemmin. Myös tiedon sijainti aiheuttaa tietoturvallisuushuolia käyttäjälle, sillä tietoa voidaan siirtää hyvin nopeasti paikasta toiseen. Käyttäjä ei välttämättä tiedä, missä tieto tarkalleen sijaitsee, ja tietoturvalait saattavat vaihdella eri sijainneissa. (Alashoor 2014; Singh ym., 2016)

Edellä mainittujen ongelmien lisäksi lähtökohtaisesti ongelmana on, että organisaation, joka käyttää julkista pilveä, on pakko luottaa kolmanteen osapuoleen. Kyse ei ole pelkästään tietoturvasta vaan myös yhtiön maineen asettamista toisen yhtiön varaan. Tämä on erityisen tärkeää organisaatioille, joiden liiketoiminnan kannalta on oleellista pystyä suojelemaan asiakkaiden tietoja, liiketoimintasalaisuuksia tai muita salassa pidettäviä tietoja. Toisaalta pienelle yhtiölle, jolla on rajoitetut resurssit, tiedot saattavat olla paremmin turvassa julkisessa pilvipalvelussa kuin yhtiön itse hallinnoimilla palvelimilla. (Hofmann & Woods, 2010)

Moni organisaatio on valinnut yksityisen pilven julkisen sijaan tietoturvallisuushuolien takia. Pilvi-infrastruktuurin hallinta ei kuitenkaan takaa sen tietoturvallisuutta. (Singh & Jangwal, 2012) Yksityistä pilveäkin pitää pystyä hallinnoimaan tehokkaasti tietoturvallisuus näkökulmat huomioiden. Mikäli organisaation tulee noudattaa tiettyjä tietoturvallisuus säännöksiä, niin niiden täyttämisestä tulee vastata itse. (Balasubramanian & Aramudhan, 2012)

Hybridipilvessä on lähtökohtaisesti samat tietoturvallisuushuolet kuin julkisessa pilvessä sekä yksityisessä pilvessä, sillä hybridipilvi koostuu näiden yhdistelmästä. Toisaalta hybridipilvessä voidaan hyödyntää julkista tai yksityistä pilviä sovelluskohtaisesti eli korkeampaa tietoturvallisuutta vaativat sovellukset voivat hyödyntää vain yksityistä pilviä, jolloin sen osalta julkisen pilvipalveluiden tietoturvahaittoja ei ole. Hybridipilven kompleksisuuden takia hybridipilvellä on myös sille ominaisia tietoturvallisuusongelmia. Tietoturvallisuus säännöksien täyttäminen on hankalampaa, sillä julkisen pilvipalveluntarjoajan sekä yksityisen pilven lisäksi myös näiden välinen kommunikaation tulee olla säännösten mukaisia. Monimutkainen järjestelmä tekee myös tietoturvallisuusriskien hallinnasta merkittävästi monimutkaisempaa. Tällöin työntekijöiltä vaaditaan parempaa osaamista. Identiteetin hallinta on myös monimutkaisempaa, sillä samojen identiteettien tulee toimia molemmissa ympäristöissä. Identiteetin hallinta voidaan joko toteuttaa molempiin pilviympäristöihin, tai ne voivat käyttää yhteistä identiteetinhallintapalvelua. (Balasubramanian & Aramudhan, 2012)

Turvallisuutta pohtiessa organisaation tulee siis pohtia, minkälaisia rajoitteita organisaatiolla on turvallisuuden suhteen nykyhetkessä sekä tulevaisuudessa. Turvallisuusrajoitteet mahdollisesti rajaavat julkisen pilven pois käytettävistä vaihtoehdoista. Toisaalta tulee myös arvioida organisaation kykyä hallinnoida omaa infrastruktuuria, jotta tietoturvallisuus toteutuu myös itsehallinnoidussa yksityisessä pilvessä.

4.3 Skaalautuvuus

Skaalautuvuus on pilvipalveluiden avainominaisuus. Skaalautuvuus voidaan jakaa kahteen tyyppiin, jotka ovat vertikaalinen skaalaus sekä horisontaalinen skaalaus. Vertikaalinen skaalaus tarkoittaa, että parannetaan olemassa olevia resursseja. Esimerkiksi palvelimien prosessorien päivittäminen sen nopeuttamiseksi on vertikaalista skaalausta. Horisontaalinen skaalaus tarkoittaa olemassa olevien resurssien määrän lisäämistä saman tehtävän suorittamiseen. Esimerkiksi palvelimien määrän lisääminen tarkoittaa horisontaalista skaalausta. (Dar & Ravindran, 2016) Tässä luvussa käsitellään horisontaalista skaalausta.

Lähtökohtaisesti yksityinen pilvi skaalautuu horisontaalisesti heikommin, sillä laskentaresurssien määrä on rajattu. Julkisessa pilvessä resursseja voidaan ottaa käyttöön tarpeen mukaan, mikä mahdollistaa horisontaalisen skaalautumisen. (Gopalakrishnan & Maheswari, 2019) Mikäli yksityinen pilvi on itse omistettu, niin vertikaalista skaalautumista on toki mahdollista tehdä investoimalla suurempaan kapasiteettiin. Tämän kaltainen vertikaalinen skaalautuvuus ei kuitenkaan ole nopeaa, mikä on mahdollista julkisessa pilvessä. Lisäksi skaalautuminen alaspäin on huomattavasti hankalampaa.

Hybridipilvi määritelmänsä mukaisesti hyödyntää vähintään kahta muuta pilvipalveluiden käyttömallia, joten hybridipilvi jakaa edellä mainitut skaalautumisominaisuudet sekä julkisen että yksityisen pilven kanssa. Horisontaalista skaalautuvuutta saadaan julkisen pilven kautta, sillä yksityisen pilven antamaa kapasiteettiä voidaan täydentää julkisella pivellä. (Mazhelis & Tyrväinen, 2011) Yksityisen pilven kapasiteetti rajoittaa tässä mallissa skaalautuvuuden alaspäin, mutta skaalautuvuus ylöspäin on mahdollista yhtäläisesti kuin julkisessa pilvessä.

4.4 Luotettavuus

Luotettavuus tarkoittaa tässä kohtaa todennäköisyyttä, jolla palvelu pystyy toimimaan kuten sen pitäisikin tietyissä olosuhteissa tietyn aikaa. Pilvipalveluissa tämä tarkoittaa sitä, miten hyvin pilvipalvelun tarjoaja kykenee tuottamaan palveluita, kun useampi komponentti, joista pilvipalvelusysteemi koostuu, epäonnistuu. (Kaur & Kumar, 2015)

Julkisessa pilvessä olevia haasteita ovat esimerkiksi kapasiteetin ylittyminen sekä vioittuneet fyysiset laitteet. Kun kapasiteetti ylittyy, niin kuluttajat eivät pysty varaamaan resurssia tarpeidensa mukaan, vaan niiden tekemät pyynnöt resurssien varaamiseksi aikakatkaistaan, jos resurssin varaamiseen menee liian kauan. (Kaur & Kumar, 2015) Pilvipalveluntarjoajilta puuttuu myös hyvin määritellyt palvelutasosopimukset. Esimerkiksi palvelutasosopimuksissa voidaan luvata jopa 99,999 %:n luotettavuus ilman, että infrastruktuuri on suunniteltu tätä varten. Kuluttajat saavat alennusta, mikäli tähän ei päästä ennalta määritetyllä aikavälillä. Tässä tapauksessa pilvipalveluntarjoaja kokee, että on järkevämpää antaa alennusta kuluttajille, jotta pilvipalveluntarjoaja voi väittää, että heidän palvelullansa on korkea luotettavuus. (Hofmann & Woods, 2010)

Haetusta aineistosta ei löytynyt yksiselitteistä vastausta yksityisen pilven luotettavuuteen liittyen, mutta monissa internet lähteissä mainitaan, että yksityisen pilven etu on sen luotettavuus (Digital Ocean, 2024; CoreSite 2024). Tämä on odotettua, sillä itse hallinnoidun yksityisen pilven luotettavuus riippuu sen toteuttavasta organisaatiosta. Valitut internet

lähteet taas haluavat myydä yksityisen pilven luotettava vaihtoehtona julkiselle pilvelle. Yksityinen pilvi voi siis olla luotettavampi kuin julkinen pilvi.

Sillä hybridipilvi koostuu tässä kontekstissa julkisesta pilvestä sekä yksityisestä pilvestä, hybridipilvi jakaa luotettavuus ominaisuutensa näiden kahden käyttömallin kanssa. Julkiseen pilveen verrattaessa hybridipilvi pilven voidaan ajatella toimivan luotettavammin, mikäli yksityinen pilvi, jota ratkaisussa käytetään, on luotettavampi kuin julkinen pilvi. Toisaalta hybridipilven voidaan ajatella olevan yksityistä pilveä luotettavampi, sillä yksityinen pilven lisäksi käytössä on myös julkinen pilvi, jolle osa kysynnästä on ulkoistettu.

Luotettavuutta arvioidessa tulee määrittää organisaation rajoitteet luotettavuuden suhteen. Mikäli luotettavuusvaatimukset ylittävät julkisen pilven tarjoamat vaihtoehdot, tulee harkita joko hybridipilveä tai yksityistä pilveä.

5. YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa verrattiin pilvipalveluiden käyttömalleja neljän eri parametrin avulla. Tulokset on kirjattu taulukkoon 1, jossa jokaista käyttömallista ja parametristä muodostuvaa paria arvioitiin kolmiportaisella sanallisella asteikolla.

Taulukko 1. *Tutkielman tulosten yhteenveto*

Parametri	**Julkinen pilvi**	**Yksityinen pilvi**	**Hybridipilvi**
Kustannukset, jatkuvat	Suuret	Pienet	Keskivertoiset
Kustannukset, välittömät	Pienet	Suuret	Keskivertoiset
Tietoturvallisuus	Keskivertoinen	Suuri	Keskivertoinen
Skaalautuvuus	Suuri	Pieni	Suuri
Luotettavuus	Keskivertoinen	Suuri	Suuri

Tulokset ei kuitenkaan kuvaa, että yksikään käyttömalli olisi yksiselitteisesti parempi. Lisäksi on tärkeää ymmärtää, etteivät taulukon 1 tulokset täysin kuvaa totuutta, sillä esimerkiksi yksityisen pilven luotettavuus on pitkälti kiinni sen toteuttavasta organisaatiosta, vaikka sitä voidaankin pitää luotettavana. Tuloksia on siis tärkeää katsoa parametrejä oman organisaation näkökulmasta, sillä organisaation koko sekä olemassa olevat resurssit määrittävät myös, mikä käyttömalli sopii organisaatiolle parhaiten.

Julkinen pilvi sopii tilanteisiin, joissa luotettavuus- sekä tietoturvallisuuskriteerit eivät rajaa sitä pois ja organisaatiolla ei joko ole tarkempaa käsitystä tarvittavasta kapasiteetista tai organisaatiolla ei ole ennalta laskentaresursseja tai niihin ei kyetä investoimaan. Vastaavista yksityinen pilvi sopii tilanteisiin, joissa luotettavuus- sekä turvallisuuskriteerit rajaavat julkisen pilven pois tai laskentakapasiteetin kysyntä on suhteellisen vakaata. Olemassa oleva kapasiteetti puoltaa yksityisen pilven käyttöönottoa. Hybridipilvi on hyödyllinen, mikäli organisaatio haluaa optimoida kustannuksia pitkällä aikavälillä, sillä hybridipilvi voi hyödyntää julkisen pilven skaalautuvuutta ja saada korkean käyttöasteen organisaation omille laitteille. Vastaavasti mikäli organisaation tarpeet luotettavuuden tai tietoturvallisuuden suhteen kohdistuvat vain osaan tarvittavasta laskentakapasiteetistä, hybridipilvi mahdollistaa näiden keskittämisen yksityiseen pilveen sekä julkisen pilven hyödyntämisen niissä applikaatioissa, joissa vaatimukset eivät ole yhtä rajoittavia.

Tulevaisuudessa olisi kiinnostavaa tutkia, miten erilaiset organisaatioon liittyvät parametrit vaikuttavat eri käyttömalleissa. Näitä parametrejä ovat esimerkiksi organisaation koko, henkilöstön osaaminen sekä olemassa oleva laskentakapasiteetti. Käyttömallin valitseminen hyvin on monimutkainen prosessi ja siihen vaikuttavat itse käyttömallien lisäksi myös organisaatioon liittyvät tekijät, joten tarkastelemalla myös niitä voitaisiin löytää konkreettisia tuloksia, jotka auttavat yksittäisiä organisaatioita.

LÄHTEET

Alashoor, T. (2014). Cloud computing: a review of security issues and solutions. International Journal of Cloud Computing, 3(3), 228-244.

Attaran, M., & Woods, J. (2019). Cloud computing technology: improving small business performance using the Internet. Journal of Small Business and Entrepreneurship, 31(6), 495–519. https://doi.org/10.1080/08276331.2018.1466850

AWS (2024). What is a Private Cloud? Saatavissa: https://aws.amazon.com/what-is/private-cloud/ [Viitattu: 26.3.2024]

Balasubramanian, R., & Aramudhan, M. (2012). Security Issues: Public vs Private vs Hybrid Cloud Computing. International Journal of Computer Applications, 55(13), 35–41. https://doi.org/10.5120/8818-2808

CoreSite (2024). Public Cloud Vs. Private Cloud: What's Best? Saatavissa: https://www.digitalocean.com/resources/article/private-cloud-vs-public-cloud [Viitattu 27.3.2024]

Dar, A. R., & Ravindran, D. (2016). Survey On Scalability In Cloud Environment. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), 5(7), 2124-2128.

Digital Ocean (2024). Private cloud vs. public cloud: what's the difference? Saatavissa: https://www.digitalocean.com/resources/article/private-cloud-vs-public-cloud#5-performance-and-reliability [Viitattu 27.3.2024]

Goniwada, S. R. (2022). Cloud-native architecture and design: a handbook for modern day architecture and design with enterprise-grade examples. Apress.

Gopalakrishnan, P., & Maheswari, U. (2019). Research on enterprise public and private cloud service. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 8(6S4), 1453-1459.

Hofmann, P., & Woods, D. (2010). Cloud Computing: The Limits of Public Clouds for Business Applications. IEEE Internet Computing, 14(6), 90–93. https://doi.org/10.1109/MIC.2010.136

Jain, T., & Hazra, J. (2019). Hybrid Cloud Computing Investment Strategies. Production and Operations Management, 28(5), 1272–1284. https://doi.org/10.1111/poms.12991

Jamshidi, P., Pahl, C., & Mendonça, N. C. (2017). Pattern-based multi-cloud architecture migration. Software, Practice & Experience, 47(9), 1159–1184. https://doi.org/10.1002/spe.2442

Kaur, G., & Kumar, R. (2015). A review on reliability issues in cloud service. International Journal of Computer Applications, 975, 8887.

Lee, I. (2019). An optimization approach to capacity evaluation and investment decision of hybrid cloud: a corporate customer's perspective. Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications, 8(1), 1–13. https://doi.org/10.1186/s13677-019-0140-0

Li, Z., Zhang, H., O'Brien, L., Cai, R., & Flint, S. (2013). On evaluating commercial cloud services: A systematic review. Journal of Systems and Software, 86(9), 2371-2393.

Mazhelis, O., & Tyrväinen, P. (2012). Economic aspects of hybrid cloud infrastructure: User organization perspective. Information Systems Frontiers, 14(4), 845–869. https://doi.org/10.1007/s10796-011-9326-9

Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing.

Mordor Intelligence (2024). Cloud Computing Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029). Saatavissa: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cloud-computing-market [Viitattu: 26.3.2024].

Rountree, Derrick., & Castrillo, I. (2014). The basics of cloud computing: understanding the fundamentals of cloud computing in theory and practice (H. Jiang, Ed.; 1st edition). Syngress.

Singh, S., & Jangwal, T. (2012). Cost breakdown of Public Cloud Computing and Private Cloud Computing and Security Issues. International Journal of Computer Science and Information Technology, 4(2), 17–31. https://doi.org/10.5121/ijcsit.2012.4202

Singh, S., Jeong, Y.-S., & Park, J. H. (2016). A survey on cloud computing security: Issues, threats, and solutions. Journal of Network and Computer Applications, 75, 200–222. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.09.002

Thakur, N., Singh, A., & Sangal, A. L. (2022). Cloud services selection: A systematic review and future research directions. Computer Science Review, 46, 100514-. https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2022.100514