

Harri Erme

**TIETOKANNAN HALLINTAJÄRJESTELMIEN HINNOITTELU
PILVIPALVELUISSA**

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2023

TIIVISTELMÄ

Erme, Harri

Tietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelu pilvipalveluissa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2023, 28 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Marttiin, Pentti

Tässä kandidaatintutkielmassa tutkitaan tietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelua järjestelmällisesti pilvipalveluiden hinnoittelun arviointimallia hyödyntäen. Tutkielmassa perehdytään ensin tietokannan hallintajärjestelmiin ja niiden luonteeseen pilvipalveluissa, sekä pilvipalveluiden kontekstiin johdettuun hinnoittelun arviointimalliin. Pilvitietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelu valikoitui tarkastelun kohteeksi niiden perustavanlaatuisen tärkeyden vuoksi modernissa informaatioteknologiassa. Tutkielmassa pyritään saamaan ymmärrys siitä, millaisia hinnoittelumalleja suurilla pilvipalveluntarjoajilla on käytössä ja havaitsemaan niissä eroja, jotka mahdollisesti vaikuttavat asiakkaan lopullisesti maksamaan hintaan. Tutkielmassa havaittiin hinnoittelun arviointimallia hyödyntämällä, että vaikka palveluntarjoajien hinnoittelumallit ovat korkealla tasolla samanlaisia, niin yksityiskohtainen tarkastelu hinnoittelun eri ulottuvuuksissa paljastaa eroja mm. hinnoittelun rakeisuudessa. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena.

Asiasanat: DBaaS, DBMS, tietokannan hallintajärjestelmä, tietokanta, pilvipalvelu, hinnoittelu

ABSTRACT

Erme, Harri

Pricing of database management systems in cloud services

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2023, 28 pp.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Marttiin, Pentti

This bachelor's thesis examines pricing of cloud database management systems with pricing evaluation model developed for cloud services. Thesis first explores cloud database management systems and the cloud service pricing evaluation model in general before delving into evaluating pricing models of three major cloud service providers. The goal of the thesis is to gain understanding of pricing models used and find differences that might affect the price. Thesis finds that even though the pricing models are similar in the big picture, further investigation reveals subtle differences in different pricing dimensions. This thesis has been conducted as a literature review.

Keywords: DBaaS, DBMS, database management system, database, cloud service, pricing

KUVIOT

KUVIO 1 Pilvipalveluiden hinnoittelun arviointimalli, johon sijoitettu PaaS-tarjonta Laatikainen ym. (2013) mukailten	16
KUVIO 2 Kolme palveluntarjoajaa sijoitettuna Laatikainen ym. (2013) mukailtuun malliin.....	18

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

1 JOHDANTO	6
2 TIETOKANNAN HALLINTAJÄRJESTELMÄT PILVIPALVELUISSA	8
2.1 Tietokannat ja tietokannan hallintajärjestelmät	8
2.2 Pilvipalvelu	10
2.3 Tietokannan hallintajärjestelmät pilvipalveluissa	11
3 PILVITIETOKANNAN HALLINTAJÄRJESTELMIEN HINNOITTELU	15
3.1 SBIFT-malli pilvipalveluiden kontekstissa	15
3.2 Pilvitietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelun analysointia	20
4 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

Monet organisaatiot ovat siirtyneet tai suunnittelevat siirtymistä pilvipalveluihin. Siirtymä pilvipalveluihin herättää kuitenkin organisaatioissa huolta mm. turvallisuuden ja datan sijainnin suhteen (Tan ym, 2019). Tästä huolimatta merkittävät taloudelliset säästöt ja helposti skaalautuva IT-infrastruktuuuri vetävät organisaatiot pilvipalveluiden puoleen (Tan ym, 2019). Syynä merkittävään kustannusten alenemiseen on pilvipalveluiden suuri skaalaetu, sillä pilvipalveluntarjoajat kykenevät ottamaan käyttöön miljoonia palvelimia (Tan ym, 2019). Lisäksi organisaatiot voivat keskittää resurssinsa ydinliiketoimintaan, eikä niiden tarvitse ylläpitää monimutkaista IT-infrastruktuuria (Lehner & Sattler, 2010).

Yksi tärkeimmistä pilvipalveluntarjoajan, sekä myös asiakkaan liiketoiminnan kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä on pilvipalvelun selkeä ja läpinäkyvä hinnoittelu (Laatikainen ym., 2013). Toisin sanottuna pilvipalvelun käytön kustannukset tulee olla mahdollisimman hyvin ennakoitavissa. Hyvä ja harkittu hinnoittelu vaatii monen sidosryhmän panosta ja kattavaa data-analyysiä (Saltan & Smolander, 2019). Tästä syystä hinnoittelu on IT-tuotteissa ja -palveluissa hyvinkin hankala ja alihallittu prosessi (Saltan & Smolander, 2019).

Pilvipalveluntarjoajilla on lukuisia tuotteita aina virtuaalikoneista koneoppimiseen. Tässä tutkielmassa keskitytään erityisesti kolmen suuren pilvipalveluntarjoajan (Google Cloud, Amazon Web Services ja Microsoft Azure) pilvitietokannan hallintajärjestelmien (DBaaS) hinnoitteluun ja niiden vertailuun. Tutkielman aihe rajataan tietokannan hallintajärjestelmiin, koska tietokantojen hallinta on yksi keskeinen tehtävä modernissa informaatioteknologiassa ja ymmärrys niiden hinnoittelusta olisi oleellista monille organisaatiolle (Lehner & Sattler, 2010). Tietokannan hallintajärjestelmiä on myös lukuisia erilaisia erityispiirteineen ja -ominaisuuksineen, joten vertailukelpoisuuden parantamiseksi tutkielma keskitetään relaatiotietokannan hallintajärjestelmien tarkasteluun. Nämä rajaukset rajaavat myös tarkasteltavia palveluntarjoajia. Google Cloud, Azure ja AWS valikoituivat sen takia, että he ovat ainoat, jotka tarjoavat tarjoavat joko MySQL:n tai PostgreSQL:n asiakkaan käyttöön ilman ylimääräisiä ominaisuuksia ja palveluita. Muilla

palveluntarjoajilla on relaatiotietokannan hallintajärjestelmän käytön mahdollistavia palveluita, mutta niiden mukana tulee ylimääräisiä jatkokehitettyjä ominaisuuksia. Esimerkiksi Oraclen MySQL HeatWave:ssa mukana tulee koneoppimista ja ETL-prosesseja tukevia ominaisuuksia. Taustoituksen ja rajausten pohjalta tutkielmalle syntyi seuraavat tutkimuskysymykset:

- Miten pilvipalveluntarjoajat hinnoittelevat tietokannan hallintajärjestelmät.
- Miten hinnoittelumallit eroavat eri pilvipalveluntarjoajien välillä.

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena Jyväskylän yliopistossa. Tutkielman lähdeaineisto on kerätty kansainvälisistä tieteellisistä julkaisuista hyödyntäen Google Scholar-, IEEE Xplore Digital Library, ACM Digital Library- ja JYKDOK-tietokantoja. Käytettyjä hakusanoja on mm. *cloud computing pricing models*, *DBaaS pricing* ja *cloud database*. Aineisto hinnoittelumallien vertailuun on kerätty mainittujen pilvipalveluntarjoajien virallisilta verkkosivuilta.

Tutkielman rakenne on muodostettu seuraavalla tavalla. Luvussa 2 käsitellään ydinkäsitteet ja muodostetaan ymmärrys tietokannan hallintajärjestelmien toiminnasta pilvipalveluissa. Luvussa 3 analysoidaan kolmen suuren palveluntarjoajan relaatiotietokantojen hinnoittelua pilvipalveluihin sovelletun SBIFT-arviointimallin avulla. Luvussa 4 esitetään tutkielman yhteenveto.

2 TIETOKANNAN HALLINTAJÄRJESTELMÄT PILVIPALVELUISSA

Tässä luvussa määritellään tutkielman kannalta keskeisimmät käsitteet, sekä havainnollistetaan niiden suhdetta toisiinsa. Käsiteltävät käsitteet ovat tietokanta, tietokannan hallintajärjestelmä, sekä pilvipalvelu. Luvun lopuksi käsitteet yhdistetään ja tarkastellaan tietokannan hallintajärjestelmiä pilvipalveluissa. Luvun tavoitteena on luoda yleiskuva tietokannan hallintajärjestelmistä pilvipalveluissa, jotta ymmärrämme minkä palvelun hinnoittelua tutkielman myöhemmissä luvuissa pyritään analysoimaan.

2.1 Tietokannat ja tietokannan hallintajärjestelmät

Tietokanta on itseään kuvaava kokoelma integroituja tietueita (Berg ym., 2013). Havainnollistetaan määritelmää jakamalla se osiin. Tietokannan itseään kuvaavuus tarkoittaa, että se sisältää kuvauksen sen omasta rakenteesta (Berg ym., 2013). Tätä kuvausta kutsutaan metadataksi. Tietokannan palanen eli tietue sen sijaan sisältää dataa, mikä kuvaa jotakin fyysistä tai konseptuaalista reaali maailman objektia (Berg ym., 2013; Elmasri & Navathe, 2016). Lopuksi, integroidut tietueet tarkoittavat sitä, että tietokanta sisältää itse datan, jonka lisäksi se määrittää sisältämiensä tietueiden suhteet toisiinsa (Berg ym., 2013). Näin ollen esimerkiksi tieto vaateen hinnasta, materiaalista ja valmistusmaasta voivat muodostaa tietokannan. Tarkemmin ottaen kolmen Elmasrin & Navathen (2016) määrittelemän ehdon tulee täytyä, jotta tietokannasta voidaan puhua oikeaoppisesti. Ensinnäkin tietokannan tulee kuvastaa jotakin reaali maailman osa-aluetta, kuten edellä mainittua vaatekappaletta. Muutokset reaali maailmassa heijastetaan myös tietokantaan esimerkiksi silloin, kun vaatekappaleen hinta nousee. Toiseksi, tietokannan tulee olla loogisesti johdonmukainen kokoelma dataa, jolla on selvä merkitys. Satunnaisesta ja epämääräisestä tietoaaineistosta ei voi muodostaa tietokantaa. Kolmanneksi, tietokanta on rakennettu jotakin tiettyä tarkoitusta varten. Tietokannalla on käyttäjäkunta, joka pyrkii hyödyntämään tietokantaa vähintään yhteen sovellukseen. Tämä käyttäjäkunta voi olla vaatekappale-esimerkin tapauksessa vaikkapa vaatekaupan myyjä tai asiakas.

Elmasrin & Navathen (2016) mukaan tietokanta voidaan luoda ja ylläpitää manuaalisesti tai sitten se voidaan tietokoneistaa. Elmasrin ja Navathen (2016) antama esimerkki manuaalisesta tietokannasta on kirjastojen vanha korttiluettelojärjestelmä, jossa kirjaston teoksia etsittiin fyysisistä luettelokorteista esimerkiksi kirjailijan, aiheen tai tyylin mukaan.

Tietokoneistettu tietokanta voidaan luoda ja ylläpitää joko erikseen tiettyä tarkoitusta varten luodulla kokoelmalla tietokoneohjelmia, tai sitten tietokannan hallintajärjestelmällä (Elmasri & Navathe, 2016), joihin tässä tutkielmassa keskitytään.

Tietokannan hallintajärjestelmä, eli database management system (DBMS) on yleiskäyttöön soveltuva ohjelmistojärjestelmä, joka helpottaa tietokantojen määrittelyä, rakentamista, käsittelyä, jakamista ja ylläpitämistä (Elmasri & Navathe, 2016). Tämän lisäksi tietokannan hallintajärjestelmät voivat kehittäjistä riippuen pystyä myös suojelemaan tietokantaa laitteiston tai ohjelmistojen vioilta, sekä hallitsemaan tietoturvallisuutta, varmuuskopioita ja niiden palauttamista, eheyttämistä, tietokantakielen ja ohjelmointikielen rajapintaa, sekä käyttöliittymää, jolla tietokannan hallintajärjestelmän kanssa ollaan vuorovaikutuksessa (Berg ym., 2013; Elmasri & Navathe, 2016).

Nykyään tietokannat suunnitellaan yleisesti ottaen kahteen eri tarkoitukseen. Online Transactional Processing (OLTP) ympäristöt käyttävät tietokantateknologiaa datan transaktioihin ja noutamiseen (Conn, 2005). OLTP-ympäristöt tukevat organisaatioiden päivittäistä toimintaa ja operationaalisia tarpeita (Conn, 2005). Käyttötarkoituksia on loputtomasti, mutta Plattner (2009) antaa esimerkiksi tilausten ja henkilöstön tietojen hallinnan. Toinen korkean tason käyttötarkoitus on Online Analytical Processing (OLAP), eli tiedon analysointiin ja louhintaan suunniteltu ympäristö, jonka tarkoituksena on tuottaa organisaatioille tietoa päätöksenteon tueksi (Conn, 2005). Data-analytiikkaan ja tiedon louhintaan erikoistuneet OLAP-tietokannat vaativat yleensä erilaista tietorakennetta ja teknologiaa toimiakseen, kuin OLTP-tietokannat.

Tietokannan hallintajärjestelmäteknologioita on useanlaisia, mutta pilvipalveluissa yleisimmin käytetyt ovat relaatiotietokannan hallintajärjestelmät (RDBMS) ja NoSQL-tietokannat (Bhatti & Rad, 2017; Zheng 2018). RDBMS:t ovat vuosikymmeniä vanha idea, jossa on tiukasti määritelty arkkitehtuuri, joka perustuu skeemaan eli tauluhin, sarakkeisiin, indekseihin ja taulujen välisiin suhteisiin (Arora & Gupta, 2012). RDBMS:ssä data varastoidaan tauluihin, jotka ovat ennalta määritellyssä suhteessa toisiin tauluihin (Arora & Gupta, 2012). Relaatiotietokannan hallintajärjestelmissä kyselyt tehdään SQL-kyselykielellä (Elmasri & Navathe, 2016). Näiden kyselyiden nopeuttamiseksi sarakkeille voidaan asettaa indeksejä (Arora & Gupta, 2012). RDBMS:t soveltuvat näiden ominaisuuksien myötä erityisesti OLTP:n tarpeisiin, mutta niillä on myös rajallinen kyky suorittaa joitakin OLAP-tehtäviä hyödyntämällä koostefunktioita (Elmasri & Navathe, 2016). NoSQL (Not only SQL)-tietokannat sopivat käyttötarkoituksiin, joissa relaatiotietokannat osoittautuisivat liian jäykiksi (Elmasri & Navathe, 2016). NoSQL-tietokannat ovat joustavampia, sillä datan ei tarvitse taipua tiettyyn relationaaliseen skeemaan (Stonebraker, 2010). NoSQL-tietokannat soveltuvat mainiosti OLTP:n tarpeisiin, mutta niiden erityinen vahvuus on se, että niitä voidaan hyödyntää myös muihin tietovarastoinnin tarpeisiin, kuten dokumenttien säilytykseen (Stonebraker, 2010). NoSQL-tietokannat tarjoavatkin monipuolisesti OLAP-mahdollisuuksia erilaisten tietovarastointitapojen

ansiesta (Scabora ym., 2016). NoSQL-tietokantojen muita etuja relaatiotietokantoihin nähden ovat parempi skaalautuvuus, saatavuus ja tietojen palauttaminen (Zheng, 2018). Toisaalta niiden heikkoudet relaatiotietokantoihin verrattuna ovat datan yhtenäisyyden puute, sekä monimutkaisten kyselyiden suorittaminen (Zheng, 2018).

2.2 Pilvipalvelu

Sana "pilvi" on vertauskuva tietoverkolle, joka toimii tilana jossa tietokoneiden laskentakyky on heti saatavilla palvelun muodossa (Sadiku, Musa & Momoh, 2014). Pilvessä on valmiina jaettavaksi käyttäjien kesken käyttöjärjestelmät, sovellukset, tallennustila, data ja laskentateho (Sadiku ym., 2014). Tätä tietokoneiden kommunikaatioverkkojen välityksellä tapahtuvaa hajautettujen laskentaresurssien hyödyntämistä kutsutaan pilvilaskennaksi (Sadiku ym., 2014). Tiivistetysti pilvestä tai pilvipalvelusta voidaan puhua datakeskuksen ja sen ohjelmistojen yhdistelmänä (Armbrust ym., 2015). Tässä tutkielmassa pilvi tai pilvipalvelu viittaa niin kutsuttuun julkiseen pilveen. Julkisella pilvellä tarkoitetaan pilvipalvelua, joka on asetettu saataville suurelle yleisölle yleensä käytön perusteella laskutettavana (Armbrust ym., 2015). Yksityinen pilvi on puolestaan jätetty tutkielman ulkopuolelle, sillä se viittaa organisaatioiden omiin datakeskuksiin, joihin yleisöllä ei ole pääsyä (Armbrust ym., 2015).

Laitteiston puolesta pilvipalvelut mahdollistavat kolme uutta asiaa, joihin organisaatioiden omat tietokoneet tai palvelimet eivät pysty (Armbrust ym., 2015). Pilvipalvelut luovat näennäisesti loputtomat resurssit, joiden käyttöä voidaan välittömästi skaalata tarpeen mukaan (Armbrust ym., 2015). Näin ollen käyttäjien ei tarvitse ennakoida tarvetta resurssille pitkällä aikavälillä (Armbrust ym., 2015). Toisekseen pilvipalveluiden käyttäjiltä ei vaadita sitoutumista esimerkiksi tiettyyn tallennustilan määrään etukäteen (Armbrust ym., 2015). Kolmas pilvipalveluiden vahvuus on puhtaasti käytön määrään perustuva laskutus (Armbrust ym., 2015). Käytön mukaan tehtävä laskutus eli pay-as-you-go-laskutus palkitsee käyttäjiä säännöstelevästä resurssien kulutuksesta, jolloin ylimääräiset resurssit vapautuvat muille käyttäjillä, kun niitä ei enää tarvita (Armbrust ym., 2015).

Pilvipalvelut voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin, joista asiakas voi valita omiin tarpeisiinsa sopivimman (Vaquero, Rodero-Merino, Caceres & Lindner, 2009). Nämä ovat Infrastructure-as-a-Service (IaaS) eli infrastruktuuri palveluna, Platform-as-a-Service (PaaS) eli alusta palveluna, sekä Software-as-a-Service (SaaS) eli ohjelmisto palveluna.

IaaS on edellä mainituista pilvipalvelumalleista yksinkertaisin (Sadiku ym., 2014). IaaS mahdollistaa käyttäjälle pääsyn laskentaresursseihin etänä (Sadiku ym., 2014). IaaS-tarjoajat hallinnoivat suurta määrää laskentaresursseja, kuten tallennustilaa ja prosessoreita (Vaquero ym., 2014). Virtualisoinnin avulla IaaS-tarjoajat pystyvät pilkkomaan ja jakamaan dynaamisesti resursseja asiakkaan tarpeita vastaaviksi järjestelmiksi (Vaquero ym., 2014). Virtualisointitekniologia jakaa fyysisen palvelimen useisiin eristettyihin

ympäristöihin ottamalla käyttöön Virtual Machine Manager- tai hypervisor-kerroksen laitteiston tai käyttöjärjestelmän päälle (Zhang ym., 2018). Jokaisella ympäristöllä eli virtuaalikoneella pyörii oma käyttöjärjestelmä ja kokoelma sovelluksia (Zhang ym., 2018). IaaS-malli tarjoaa ainoastaan laitteiston, joten asiakkaat asentavat, ottavat käyttöön ja ylläpitävät itse tarvitsemansa ohjelmistot (Vaquero ym., 2014).

PaaS tarjoaa infrastruktuurin lisäksi valmiin ohjelmistoalustan, eli joukon pilvisovelluksia tukevia ohjelmistoja asiakkaan käytettäväksi (Vaquero ym., 2014). PaaS malli syntyi, koska IaaS voi olla etenkin web-sovelluksissa epäoptimaalinen ratkaisu (Sadiku ym., 2014). PaaS-ohjelmistojen laskentaresurssien kulutus tuodaan tuodaan asiakkaille läpinäkyvästi esille, sekä resursseja on edelleen mahdollista skaalata asiakkaan tarpeen mukaan (Vaquero ym., 2014). PaaS-markkinoilla käydään erityisen kovaa kilpailua, sillä suuret yritykset kuten Google, Amazon ja Microsoft pyrkivät saavuttamaan johtavan markkinaosuuden (Sadiku ym., 2014).

SaaS on vaihtoehto paikallisilla laitteilla ajettaville ohjelmistoille ja sovelluksille (Vaquero ym., 2014). SaaS tarjoaa palvelun, joka on suoraan loppukäyttäjän käytettävissä internetin välityksellä (Sadiku ym., 2014). Tämä tarkoittaa, että pilvipalvelumalleista SaaS:lla on laajin käyttäjäkunta, mikä puolestaan selittää SaaS-palveluiden suurta määrää (Sadiku ym., 2014). Hyvä esimerkki SaaS-sovelluksesta lienee tekstinkäsittelyohjelma Microsoft Word, joka on nykyään saatavilla pilvipalveluna (Sadiku ym., 2014).

2.3 Tietokannan hallintajärjestelmät pilvipalveluissa

Pilvipalveluissa toimivista tietokannan hallintajärjestelmistä käytetään termiä database-as-a-service (DBaaS) (mm. Arora & Gupta, 2012; Zheng, 2017; Bhatti & Rad, 2017). DBaaS:t luokitellaan Platform-as-a-Service-pilvipalvelutyyppeihin, sillä tietokannan hallintajärjestelmät lukeutuvat palveluihin, jotka esiintyvät mm. NIST:n PaaS-palvelun määritelmässä, joka on kuluttajalle tarjottu kyky ottaa käyttöön pilvi-infrastruktuuriin kuluttajien luomia tai hankkimia sovelluksia, jotka ovat luotu tai hankittu palveluntarjoajan tukemilla ohjelmointikielillä, kirjastoilla, palveluilla ja työkaluilla. DBaaS tarjoaa kaikki tietokannan hallintajärjestelmän ominaisuudet asiakkaalle internetin välityksellä joustavasti käytön mukaan laskutettuna (Arora & Gupta, 2012).

Ennen DBaaS:ien yleistymistä, organisaatiot olivat monimutkaisen haasteen äärellä, kun tietokannan hallintajärjestelmän käyttöönotto oli ajankohtaista (Floratou ym. 2012). Jo suunnitteluvaiheessa tuli arvioida tietokannan koko, kyselyiden laatu, sekä vaadittu suorituskyky (Floratou ym. 2012). Organisaatioiden itse ylläpitämät palvelimet ja tietokannat vaativat myös suunnitelman pitkälle aikavälille mm. lisenssien, ylläpidon ja muiden kustannusten osalta (Floratou ym. 2012). Organisaatiot joutuvat siis tekemään suuren alkuinvestoinnin laitteistoon, asennukseen, sekä jatkamaan investointeja ylläpidollisiin tehtäviin, kuten ohjelmistojen ja laitteistojen päivityksiin koko järjestelmän elinkaaren ajan, jos perinteinen vaihtoehto omasta on-premise

tietokannasta päätetään ottaa käyttöön (Floratou ym. 2012). Näistä suurista alkuinvestoinneista kärsivät etenkin aloittelevat yritykset, kuten Agrawal ym. (2009) toteaa. DBaaS:t tuovat ratkaisun kustannus-, skaalaus-, ja ylläpitokysymyksiin muiden pilvipalveluiden tapaan, mutta alaa mullistavista hyödyistä huolimatta DBaaS:t eivät ole täydellisiä ja niihin liittyy muitakin mielenkiintoisia seikkoja. Tästä syystä tarkastellaan seuraavaksi DBaaS:ien käyttöönottoa ja toistaiseksi ratkaisemattomia haasteita.

Kun organisaatio on valinnut ja tehnyt tilauksen pilvipalveluntarjoajalta, alkaa datamigraatio (data migration) organisaation vanhasta tietokannasta pilvipalveluntarjoajan hallinnoimaan ympäristöön (Vodomin & Andročec, 2015). Tämän prosessin aikana datan tulee pysyä eheänä eli sitä ei saa kadota eikä se saa muuttua (Vodomin & Andročec, 2015). Pilvipalveluiden tarjoamat tietokantajärjestelmät ja on-premise tietokannat eroavat kuitenkin usein toisistaan, joten on mahdollista, että muutoksia joudutaan tai halutaan tehdä tietokannan rakenteeseen esimerkiksi tehokkuuden lisäämiseksi (Vodomin & Andročec, 2015). Muutoksia ei kuitenkaan aina jouduta tekemään, sillä kuten Vodomin & Andročec (2015) huomauttavat, jokaisella datamigraatiolla on omat vaatimuksensa sekä erityispiirteensä järjestelmissä joista ja joihin tietoa siirretään.

Datamigraatio on vaikea prosessi, joka vaatii huolellista suunnittelua datan eheyden säilymisen varmistamiseksi (Vodomin & Andročec, 2015). Onnistuneelle datamigraation prosessille ja sen eri vaiheille on useita malleja, sekä suosituksia käytännön toimenpiteille (Balobaid & Debnath, 2018). Vodomin & Andročec (2015) esittävät prosessin, joka koostuu kahdeksasta vaiheesta. Kyseiset vaiheet ovat migraation laajuuden määrittäminen, tietoturvan varmistaminen, palveluntarjoajan valitseminen, siirrettävän datan kartoittaminen, migraation aikataulut, siirtotyökalun valinta tai siirtokomentojen kehittäminen, testaaminen, sekä lopuksi tietojen siirtäminen. Vodomin & Andročec (2015) eivät kuitenkaan esitä toimenpiteitä tiedonsiirron lopuksi toisin kuin Balobaid & Debnath (2018). Balobaid & Debnath (2018) suosittelevat tiedonsiirron jälkeen varmistamaan tietokannan siirron onnistumisen monitoroimalla tietokantaa pilvipalveluntarjoajien työkaluilla. Tämän lisäksi Balobaid & Debnath (2018) suosittelevat testaamaan myös pilvipalveluntarjoajan tuki- ja viestintäinfrastruktuurin mahdollisia myöhempiä hätätilanteita varten.

Vodominin & Andročecin (2015) mallia voidaan soveltaa kaikkiin tietovarastoinnin tyypeihin, mutta he mainitsevat erikseen tarkemman prosessin relaatiotietokantojen siirtämiseen, joka koostuu kolmesta vaiheesta. Ensimmäinen vaihe on tietokannan skeeman siirtäminen, jossa tietokannan taulut, indeksit ja näkymät siirretään pilvipalveluun. Toinen vaihe on datan siirtäminen työkalujen tai siirtokomentojen avulla. Pilvipalveluntarjoajilta löytyy usein valmiit työkalut tähän tarkoitukseen, kuten MySQL Workbench, SQL Server Management Studio ja AWS Snowball (Vodomin & Andročec, 2015; Balobaud & Debnath, 2018). Kolmannessa vaiheessa tietokantaan sisällytetyt toiminnot kuten triggerit siirretään uuteen pilvitietokantaan.

Viime vuosina datamigraatioiden alalla on noussut trendiksi siirtojen automatisointi algoritmien ja tekoälyn avulla (Balobaud & Debnath, 2018).

Hwang ym. (2016) ovat esittäneet viitekehyksen näille niin kutsutuille CMO:ille (Cloud Migration Orchestrator). CMO:iden tehtävänä on automatisoida ja organisoida tietojärjestelmien migraatio pilvipalveluihin aina analysoinnista migraation konfigurointiin ja toteutukseen hyödyntäen automaatio-ohjelmistoja, sekä liiketoiminnallisia prosesseja (Hwang ym., 2016). CMO:n prosessit pitävät sisällään siirrettävän tietojärjestelmän analysoinnin ja arvion sen sopivuudesta pilvikontekstiin, kohde ympäristön provisioinnin hyödyntäen erilaisia rajapintoja, verkon konfiguraation, siirron toteutuksen ja lopuksi viimeiset konfiguraatiot ja laadun varmistuksen (Hwang ym., 2016).

Tietokantojen ja muidenkin resurssien siirrossa etenkin kahden pilvipalveluntarjoajan välillä suurimpana haasteena on toimittajaloukku (data lock-in) (Vodomin & Andročec, 2015). Toimittajaloukku johtuu siitä, että pilvipalveluntarjoajat saattavat varastoida ja prosessoida dataa hyvinkin eri tavalla, joten ilman tarkkaa dokumentaatiota tiedonsiirto on-premisestä pilveen tai pilvestä toiseen voi olla erittäin hankalaa ja kallista (Opara-Martins ym. 2016). Tämä johtaa siihen, että asiakkaat jäävät ”jumiin” tietyn pilvipalveluntarjoajan teknologiaan (Opara-Martins ym. 2016). Zhang ym. (2018) mainitsevat, että toimittajaloukku on merkittävin syy miksi organisaatiot jättävät pilvipalvelut valitsematta. Kuten aiemmin mainittu, pilvipalveluntarjoajat tarjoavat työkaluja tietokantojen siirron helpottamiseksi, mutta ne toimivat yleisesti ottaen vain suosituimpien tietokannan hallintajärjestelmien kanssa (Vodomin & Andročec, 2015). Joten, jos asiakkaalla on ennestään käytössä harvinaisempi tietokannan hallintajärjestelmä, todennäköisyys tietojen lukkiutumisoingelman kohtaamiseen kasvaa (Zhang ym. 2018).

Pilvitietokannoilla on ongelmia ja puutteita myös tiedonsiirtoprosessin ohellakin. DBaaS:ien suurimpia haasteita ovat pitkät kehityssykli, korkeat kustannukset sekä turvallisuus- ja yksityisyysongelmat (Zheng, 2018). Pilvisovellusten tuottama massiivinen datan määrä, sekä tarve useiden käyttäjien samanaikaiselle pääsulle tietokantaan tuottaa hankaluuksia tietokannan skeemaan suunnittelulle (Zheng, 2018). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tietokannasta tulee hyvin nopeasti monimutkainen, mikä hidastaa kehitys- ja ylläpitotehtäviä (Zheng, 2018). Jopa pienet muutokset skeemaan joudutaan tekemään hyvin varovaisesti, mikä vie organisaation resursseja, laskee palvelutasoa ja lisää häiriöaikaa (Zheng, 2018). Toinen Zhengin (2018) esittämä merkittävä haaste on korkeat kustannukset. On totta, että pilvipalvelut tulevat usein halvemmiksi kuin on-premise ratkaisut, mutta kuten myös seuraavassa luvussa havaitaan, pilvipalveluiden hinnoittelu voi usein vaikuttaa edulliselta ja triviaalilta, mutta todelliset kustannukset voivat nousta selvästi odotettua suuremmiksi, jos kustannusten arviointia ei ole toteutettu huolellisesti (Zheng, 2018). Viimeiseksi merkittäväksi ongelmaksi Zheng (2018) nostaa huolen tietoturvallisuudesta ja yksityisyydestä. Myös monet muut tutkimukset ovat todenneet tietoturvallisuuden olevan yksi merkittävistä huolista, mitä tulee datan säilyttämiseen pilvipalveluissa (mm. Arora & Gupta, 2012; Tan ym., 2019).

Ongelmistaan huolimatta DBaaS:t ovat pätevä ratkaisu luotettavaan ja joustavaan tietovarastointiin (Zheng, 2018). Teknologisten hyötyjen, kuten

tavanomaista korkeamman saatavuuden, skaalautuvuuden ja suorituskyvyn lisäksi DBaaS:t ovat on-premise-ratkaisuja kustannustehokkaampia pilvipalveluiden mittakaavaedun myötä (Arora & Gupta, 2012; Tan ym., 2019). Lisäksi pilvipalveluntarjoajat huolehtivat infrastruktuurin ylläpidosta, kuten DBaaS:ien ohjelmistojen päivityksistä ja tarjoavat asiakkaille uusia ominaisuuksia (Zheng, 2018). Näistä syistä tietokannan hallintajärjestelmien siirto pilvipalveluihin todennäköisesti säilyy houkuttelevana vaihtoehtona myös tulevaisuudessa. Seuraavassa luvussa paneudutaan tarkemmin pilvipalveluiden merkittävimpään etuun eli kustannuskysymyksiin.

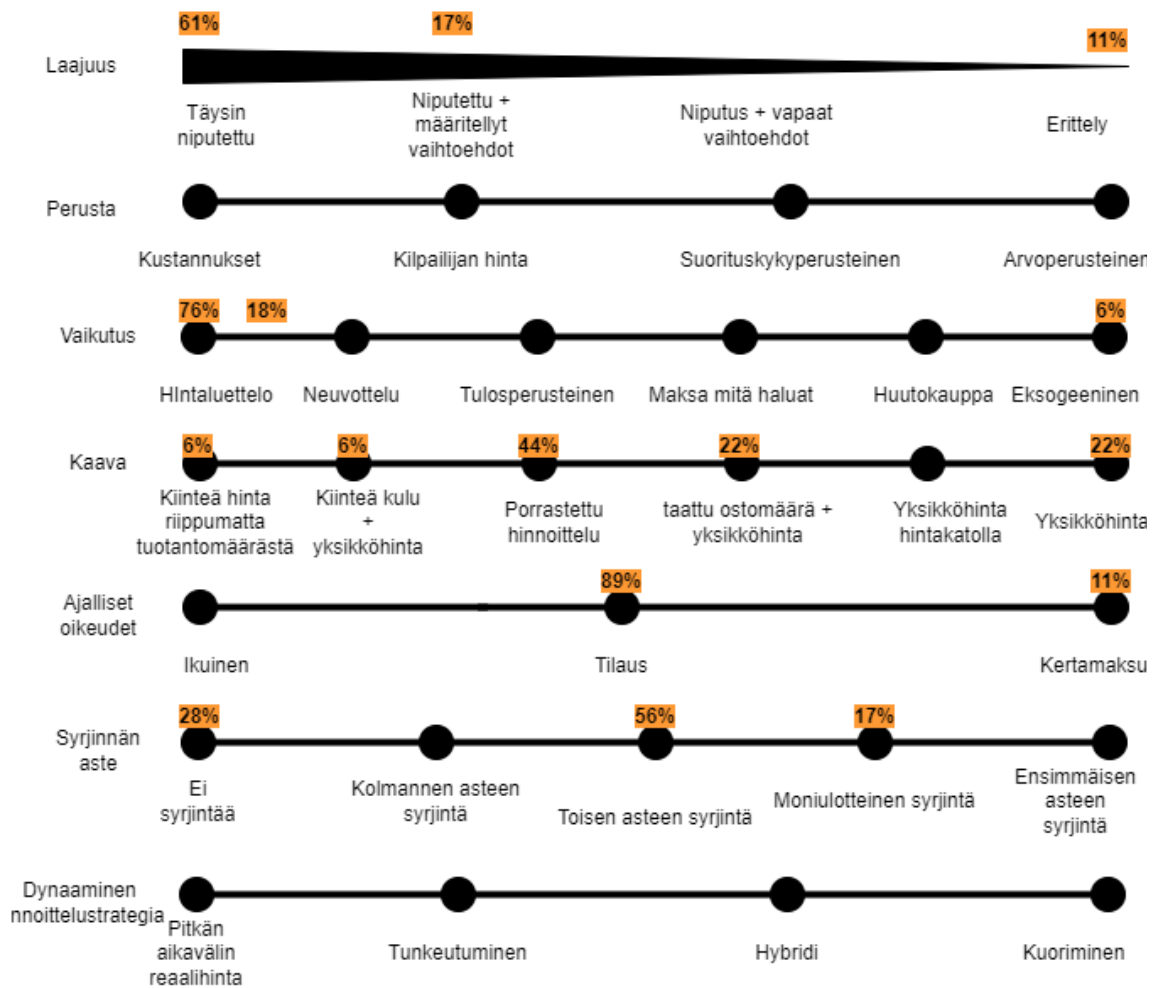
3 PILVITIEKANNAN HALLINTAJÄRJESTELMIEN HINNOITTELU

Tässä luvussa tutustutaan pilvitietokannan hallintajärjestelmien hinnoitteluun. Hinnoittelumalleja analysoidaan Laatikaisen ym. (2013) pilvipalveluiden eri hinnoittelutapoja kuvaavan arviointimallin avulla. Luvussa avataan ensin kyseinen Laatikaisen ym. (2013) hinnoittelun arviointimalli, jonka jälkeen siihen sijoitetaan kolmen suuren pilvipalveluntarjoajan relaatiotietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelumallit ja tarkastellaan niiden yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia.

3.1 SBIFT-malli pilvipalveluiden kontekstissa

Kun organisaatio on päättänyt ottaa käyttöön pilvipalvelun perustuen sen teknologisiin ja organisationaalisiin hyötyihin, nousee vielä esille vaikea päätös kustannuksista (Hsu ym., 2014). Hinnoittelun läpinäkyvyys on hyödyksi kaikille pilvipalveluiden ekosysteemissä toimijoille, jossa paisunut tarjonta hinnoittelumalleista hankaloittaa niin asiakkaiden, kuin myös palveluntarjoajien, liikekumppaneiden ja kilpailijoiden päätöksentekoa (Laatikainen ym., 2013). Tämän ongelman ratkaisemiseksi ja läpinäkyvyyden lisäämiseksi on esitetty teorioita, joita voidaan käyttää hinnoittelun luokitteluun, kuin myös työkaluna hinnoittelutapojen kehittämiseen ja viestimiseen.

Alunperin Iverothin ym. (2013) kehittämä perinteisten tuotteiden ja palveluiden hinnoittelun kategorisoimisen ja kuvaamisen SBIFT-malli on johdettu pilvipalveluiden hinnoittelun kontekstiin Laatikaisen ym. (2013) toimesta lisäämällä alkuperäiseen viiteen kaksi uutta "ulottuvuutta", joiden eri pisteisiin palveluntarjoajien hinnoittelupäätös sijoittuu (ks. kuvio 1). Iverothin ym. (2013) alkuperäiset viisi ulottuvuutta ovat laajuus (scope), perusta (base), vaikutus (influence), kaava (formula) ja ajalliset oikeudet (temporal rights). Laatikaisen ym. (2013) lisäämät ulottuvuudet ovat syrjinnän aste (Degree of discrimination), sekä dynaaminen hinnoittelustrategia (dynamic pricing strategy).



KUVIO 1 Pilvipalveluiden hinnoittelun arviointimalli, johon sijoitettu PaaS-tarjonta Laatikainen ym. (2013) mukailten

Laajuus viittaa tarjouksen hinnoittelun rakeisuuteen (Iveroth ym., 2013). Ulottuvuutta voidaan ajatella liukusäätimenä, jonka toisessa päässä on yksittäinen ominaisuus ja toisessa päässä paketti (Laatikainen ym., 2013). Liukusäädin voidaan asettaa mitta-asteikolla sen mukaan, pitääkö esitetty tarjous sisällään myyjän määrittelemän kokoelman tuotteita tai ominaisuuksia, joille on asetettu yksi tietty hinta, vai onko tarjouksen sisältämät yksittäiset tuotteet tai ominaisuudet asiakkaan valittavissa ja hinnoiteltu erikseen. Pilvipalveluiden kontekstissa etenkin SaaS-palvelut sijoittuvat ääripäähän pakettihinnoittelun puolelle (85%), mutta myös IaaS- ja PaaS-palvelut sijoittuvat suurimmalta osin (noin 60%) samaan kohtaan (Laatikainen ym., 2013). Käytännössä ero voidaan huomata muun muassa tarkasteltaessa suosittuja SaaS- ja PaaS-pilvipalveluita. Esimerkiksi Microsoftin Office 365:llä on selkeästi yhteen niputettu hinta, sillä tarjous sisältää useita eri tuotteita kuten sähköpostin, tallennustilan, tekstinkäsittelyohjelman jne. tiettyyn erottelemattomaan hintaan (Microsoft, 2022). IaaS- ja PaaS-palveluissa asiakkaalla on enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa palvelun lopulliseen hintaan, sillä palveluntarjoajat usein sallivat asiakkaan muokkaavan palvelun parametreja, joista osa on hinnoiteltu erikseen. Asiakas voi esimerkiksi

vaikuttaa Microsoftin Azure SQL Databasen käytön hintaan muokkaamalla erikseen hinnoiteltuja parametreja, kuten palvelutasoa, laitteistoa ja redundanssia (Microsoft, 2022).

Perustalla Iveroth ym. (2013) viittaavat tietopohjaan (information base), joka hallitsee hinnoittelupäätöstä. SBIFT-mallissa on kolme vaihtoehtoa perustan tyypille: kustannukset, kilpailijan hinta ja asiakkaan kokema arvo. Lisäksi Laatikainen ym. (2013) lisäsivät pilvipalveluiden kontekstiin neljännen vaihtoehdon: suorituskykyperusteinen hinnoittelu (performance based pricing). Kustannukset, kilpailijoiden hinta, asiakkaan kokema arvo, sekä suorituskyky voivat kaikki osaltaan vaikuttaa yrityksen päätökseen asettaa hinta, mutta useimmiten jollakin näistä parametreista on selvästi hallitsevin vaikutus (Iveroth ym., 2013; Laatikainen ym., 2013).

Kustannusperusteinen hinnoittelu on yleisin ja klassinen tapa asettaa tuotteelle tai palvelulle hinta (Laatikainen ym., 2013). Siinä myyjän asettama hinta perustuu kehitys-, tuotanto-, jakelu- ja myyntikulujen muodostamaan hintalattiaan (Iveroth ym. 2013).

Toinen tapa asettaa hinta on kilpailijoiden vastaavanlaisen tuotteen tai palvelun hinnan perusteella (Iveroth ym., 2013). Tällaista tapaa hinnoitella käytetään erityisesti mm. konsultointipalveluihin, sekä teknologian aloilla, jossa kehityskustannukset ovat suuria, mutta tuotanto edullista, kuten ICT- ja tietoliikennealoilla (Iveroth ym., 2013).

Kolmas SBIFT-mallissa esitetty tapa on arvoperusteinen hinnoittelustrategia, jossa hinta asetetaan asiakkaan kokeman arvon mukaan (Iveroth ym., 2013).

Suorituskyky perusteisessa hinnoittelussa palveluntarjoaja takaa tietyn suoritustason asiakkaalle tiettyyn hintaan (Bonnemeir ym., 2010). Jos palveluntarjoaja pystyy pitämään lupauksensa, asiakas maksaa sovitun hinnan (Bonnemeir ym., 2010). Muussa tapauksessa palveluntarjoaja joutuu maksamaan sakkoa asiakkaalle, sekä kärsimään mainehaitoista (Bonnemeir ym., 2010; Serrano ym., 2016).

Pilvipalveluiden kontekstissa laajimmin käytetty tapa on suorituskyky perusteinen hinnoittelu (Laatikainen ym., 2013). Suorituskykyperusteinen hinnoittelu on pilvipalveluissa merkittävässä roolissa, sillä kaikilla pilvipalveluntarjoajilla on SLA (Service Level Agreement)-sopimus asiakkaan välillä, jossa on sovittu palvelun laatu, suorituskyky ja saavutettavuus (Serrano ym., 2016). Sopimuksen rikkomisesta palveluntarjoaja joutuu korvaamaan ennalta sovitun rahasumman asiakkaalle (Serrano ym., 2016). Pilvipalveluiden kontekstissa useimmat palveluntarjoajat sitoutuvat lähinnä laitteiston suorituskyvyn ja saatavuuden varmistamiseen, mutta jättävät muut palvelun laatuun ja suorituskykyyn vaikuttavat tekijät, kuten palvelun vasteajan ja verkon kaistanleveyden epämääräisen ”yritämme parhaamme” lupauksen nojaan (Serrano ym., 2016).

Vaikutus-ulottuvuudessa kuvataan ostajan ja myyjän kykyä vaikuttaa hinnoitteluun (Iveroth ym., 2013). Ostajan mahdollisuudet vaikutukseen ovat hyvin sidottu toimialaan ja siellä vallitseviin valtasuhteisiin myyjän ja ostajan välillä (Iveroth ym., 2013). Hintaluettelo (price list) on äärimmäisin vaihtoehto, jossa hinta sanellaan asiakkaalle ilman mahdollisuutta tinkimiseen (Iveroth

ym., 2013). Kaikki pilvipalvelutyypit sijoittuvat ulottuvuudessa vähintään suurimmilta osin hintaluettelon kohdalle (Laatikainen ym., 2013). Seuraava vaihtoehto on neuvottelu (negotiation), jossa lähtökohtana on myyjän esittämä hintaluettelo, mutta asiakkaalla on mahdollisuus yrittää neuvotella suotuisimmat ehdot (Iveroth ym., 2013). Tulosperusteiseen hintaan (result-based price) ostajalla on jo enemmän vaikutusvaltaa, mutta tämä on melko harvinainen tapa sopia hinnoittelusta (Iveroth ym., 2013). Siinä hinta asetetaan tuotteen tai palvelun käytön tuloksen mukaan sovitun mittarin ja sen monitoroinnin avulla. Neljäs vaihtoehto on esimerkiksi hyväntekeväisyysjärjestöjen suosima maksa-mitä-haluat-malli (pay-what-you-want), jolla tarkoitetaan osallistavaa hinnoittelumekanismia, jossa hinta on täysin asiakkaan päätettävissä (Kim ym., 2009; Iveroth ym., 2013). Kiinnostavaksi tämän vaihtoehdon tekee se, että useat tutkimukset ovat osoittaneet tämän parantaneen tuottavuutta esimerkiksi musiikkiteollisuudessa suuresta hyväksikäytön riskistä huolimatta (Kim ym., 2009). Kyseisten tutkimusten toimialat olivat tosin hyvin rajalliset, joten tämän mallin valinnassa myyjän on noudatettava perinpohjaista harkintaa. Viides vaihtoehto on huutokauppa (auction). Huutokaupassa mahdolliset ostajat määrittävät hinnan suhteessa siihen mitä muut mahdolliset ostajat ovat valmiita maksamaan (Iveroth ym., 2013). Myyjällä on mahdollisuus vaikuttaa ainoastaan hyväksymällä tai kieltäytymällä korkeimmasta tarjotusta hinnasta (Iveroth ym., 2013). Viimeinen vaihtoehto ja toinen ääripää on eksogeeninen hinnoittelu (exogenous pricing), eli hinnan määrittelee myyjästä ja ostajasta riippumattomat tekijät, kuten jokin sovittu indeksi, johon hinnoittelu on sidottu (Iveroth ym., 2013).

Kaava-ulottuvuudessa hinnoittelut lajitellaan niiden käyttämän kaavan mukaan, jolla ne määrittelevät hinnan suhteen tuotantomäärään (Iveroth ym., 2013). Mahdolliset vaihtoehdot ovat pilvipalveluiden konteksti mukaan lukien kiinteä hinta riippumatta tuotantomäärästä (fixed price regardless of volume), kiinteä kulu + erillinen yksikköhinta (fixed fee + per unit price), porrastettu hinnoittelu (tiered pricing), taattu ostomäärä + yksikköhinta (Assured purchase volume plus per unit price rate), yksikköhinta hintakaton kanssa (Per unit rate with a ceiling), sekä yksikköhinta (per unit price) (Laatikainen ym., 2013). Esimerkki kiinteästä hinnasta riippumatta tuotantomäärästä on teleoperaattoreiden tarjous rajattomista puheluista kiinteään kuukausihintaan (Iveroth ym., 2013). Kaava jossa lasketaan yhteen kiinteä kulu ja erillinen yksikköhinta voi esimerkiksi olla puhelinliittymä, jossa on pohjana kiinteä kuukausihinta, mutta lisäksi käyttäjä maksaa tietyn hinnan per minuutti puheluista (Iveroth ym., 2013). Kolmas vaihtoehto, eli porrastettu hinnoittelu, on Laatikaisen ym. (2013) lisäämä vaihtoehto pilvipalveluille. Sillä tarkoitetaan kaavaa, jossa käyttäjän on vaihdettava eri hintaiseen, vähemmän rajoitettuun tarjoukseen, jos hän haluaa enemmän kapasiteettia ja toiminnallisuuksia (Laatikainen ym. 2013). Tämän kaavan tarkoituksena on paketoita palvelut tai tuotteet siten, että niiden hintatasot kohtaisivat mahdollisimman laajasti eri käyttäjäryhmien tahdon ja kyvyn maksaa niistä (Laatikainen ym. 2013). Tämä on ehdottoman olennainen lisäys, sillä pilvipalvelut laskuttavat usein juuri laitteisto tai verkkokapasiteetin perusteella (Lee ym. 2021). Kaava-ulottuvuuden

keskellä on taattu ostomäärä + yksikköhinta. Käytännön esimerkki tästä on puhelinliittymä, jossa on kiinteä hinta sadalle tekstiviestille, mutta jos asiakas lähettää ylimääräisiä viestejä, hän joutuu maksamaan ylimääräisistä viesteistä kappalehinnan. Neljäs kaava on hintakatollinen yksikköhinta, eli asiakas maksaa kappalehintaa kunnes tietty raja saavutetaan, jolloin asiakasta ei enää veloiteta (Iveroth ym., 2013). Viimeinen kaava on yksikköhinta, eli tuotteen tai palvelun hinta on aina sama riippumatta tuotantomäärästä (Iveroth ym., 2013).

Kaava-ulottuvuus on siitä mielenkiintoinen, että pilvipalvelut hajaantuvat akselille suhteellisen laajasti kuten kuviosta 1 nähdään. Porrastettu hinnoittelu on kuitenkin selkeästi suosituin PaaS-palveluista puhuttaessa. Pilvipalveluntarjoajat, kuten Google ja Amazon, tarjoavat pilvialustoillaan porrastettua hinnoittelua, eli kynnyksittäistä volyymialennusta asiakkaan käytön määrän lisääntyessä (Lee, 2019). Esimerkiksi Google tarjoaa asiakkailleen parhaimmillaan 30% alennuksen tietyistä palveluinstansseista, jotka ovat käynnissä koko laskutuskauden ajan (Lee, 2019).

Ajalliset oikeudet-ulottuvuudessa Iveroth ym. (2013) viittaavat aikaväliin, jossa asiakkaalla on oikeus käyttää tuotetta tai palvelua. Alkuperäinen SBIFT-malli sisältää viisi vaihtoehtoa ajalliselle oikeudelle: ikuinen (perpetual), leasing, vuokra (rent), tilaus, sekä pay-per-use, eli maksu jokaisesta käyttökerrasta. Laatikainen ym. (2013) ovat yhdistäneet leasingin ja vuokran tilaus-käsitteen alle, sillä pilvipalveluissa näiden raja on hyvin häilyvä. Tilauksella tarkoitetaan oikeutta käyttää palvelua/tuotetta tietyn ajan (pilvipalveluissa yleensä kuukausi kerrallaan), jonka aikana asiakas saa myös päivityksiä, parannuksia ja uutta sisältöä (Laatikainen ym. 2013; Iveroth ym., 2013). Suurin osa, eli noin 80-90% kaikista pilvipalveluista toimivat tilaus-mallilla ja noin 10-15% veloittavat jokaisesta käyttökerrasta.

Ensimmäinen Laatikaisen ym. (2013) esittämä ulottuvuus on syrjinnän aste. Syrjinnän asteella Laatikainen ym. (2013) tarkoittavat, että samaa tuotetta tai palvelua myydään eri käyttäjille eri hintaan. Lehmann & Buxmann (2009), ovat osoittaneet, että tämä strategia on erityisen tärkeä digitaalisten tuotteiden tarjoajille. Tämä johtuu siitä, että vaikka IT-alan kehityskustannukset ovat suuria, niin marginaaliset tuotantokustannukset mahdollistavat myynnin myös edulliseen hintaan asiakkaille, joilla on matala tahto maksaa tarjotusta tuotteesta tai palvelusta (Lehmann & Buxmann, 2009). Mahdolliset kategoriat syrjinnän aste-ulottuvuudessa ovat seuraavat: ei syrjintää (no discrimination), kolmannen asteen syrjintä (third degree discrimination), toisen asteen syrjintä (second degree discrimination), moniulotteinen syrjintä (multi-dimensional discrimination), sekä ensimmäisen asteen syrjintä. Kolmannen asteen syrjintä on joko henkilökohtaista tai aluekohtaista (Lehmann & Buxmann, 2009). Microsoftin tarjoamat opiskelija-alennukset ovat esimerkki henkilökohtaisesta syrjinnästä (Lehmann & Buxmann, 2009; Microsoft 2022). Aluekohtainen syrjintä voi näkyä pilvipalveluissa siten, että eurooppalaiset asiakkaat joutuvat maksamaan enemmän Pohjois-Amerikassa sijaitsevan datakeskuksen käytöstä, kuin pohjoisamerikkalaiset asiakkaat. Toisen asteen syrjinnällä tarkoitetaan joko määrällistä, ajallista tai laadullista syrjintää (Lehmann & Buxmann, 2009). Määrällinen syrjintä tarkoittaa kappalehintojen eroa ostomäärästä johtuen, kun taas laadullinen syrjintä tarkoittaa hintojen eroa tuotteen tai palvelun

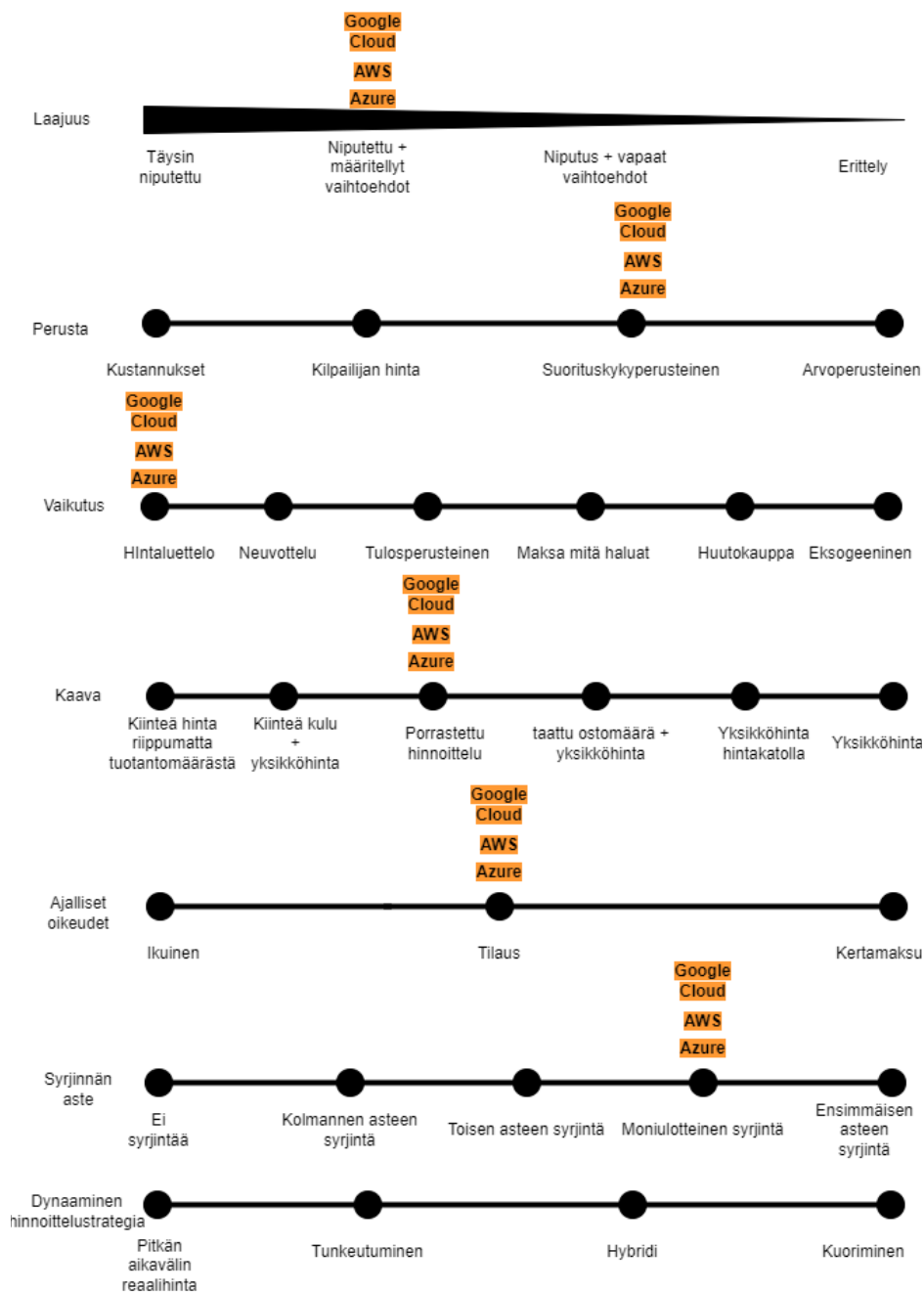
variantista riippuen (Laatikainen ym. 2013; Varian, 1996). Ajallinen syrjintä puolestaan viittaa hintojen eroon ajankohdasta riippuen (Laatikainen ym. 2013). Ensimmäisen asteen syrjinnällä tarkoitetaan hintojen eroa eri asiakkaiden välillä ilman edellä mainittuja perusteita (Laatikainen ym. 2013). Moniulotteinen syrjintä puolestaan tarkoittaa, että hintasyrjintää esiintyy useissa eri ulottuvuuksissa (Laatikainen ym. 2013). Hieman yli puolet PaaS-palveluista syrjivät toisen asteen kriteerein. Hieman vähemmän käytetyt kategoriat ovat ei syrjimistä (28%) ja moniulotteinen syrjiminen (17%) (Laatikainen ym. 2013).

Toinen Laatikaisen ym. (2013) esittämä ulottuvuus on dynaaminen hinnoittelustrategia. Tämä ulottuvuus perustuu siihen, että Anandasivan ym. (2009) ovat osoittaneet, että hintojen asettaminen dynaamisesti voi vaikuttaa hintasensitiivisten asiakkaiden kysyntään. Tämän lisäksi mm. Lehmann & Buxmann (2009), sekä useat muut tutkimukset sen jälkeen (kuten Chun ym., 2013; Li, 2019) ovat havainneet dynaamisen hinnoittelun olevan yleinen käytäntö pilvipalveluissa. Dynaamisella hinnoittelulla tarkoitetaan strategiaa, jossa hinnat eivät pysy samana suhteellisen pitkää aikaa, vaan myyjä nostaa tai laskee niitä aktiivisesti perustuen aikaan, kysyntään ja tarjontaan (Laatikainen ym., 2013). Ensimmäinen vaihtoehto tässä ulottuvuudessa on pitkän aikavälin reaalihintastrategia (Long-term real price strategy). Siinä hinnat pidetään samana pitkään ja niitä muokataan vain jos on tarvetta ilman erityistä strategiaa (Laatikainen ym., 2013). Toinen vaihtoehto on tunkeutuminen (penetration strategy), jossa myyjät hyödyntävät matalia hintoja tunkeutuakseen nopeasti markkinoille, jonka jälkeen he nostavat hintojaan ajan myötä (Laatikainen ym., 2013). Kolmas vaihtoehto on skimming, eli vapaasti suomeksi käännettynä päältä kuoriminen, viittaa strategiaan, jossa myyjä asettaa hinnat aluksi korkealle, jonka jälkeen hän laskee niitä vähitellen houkutellessaan useampia markkinasegmenttejä (Laatikainen ym., 2013). Hybridihinnoittelustrategiat yhdistävät edellä mainittuja strategioita, joista voi muodostua hyvinkin monimuotoisia konsepteja, kuten mobiilipeleille tyypillinen freemium-malli (Laatikainen ym., 2013).

3.2 Pilvitietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelun analysointia

Tarkastellaan seuraavaksi kolmen suosituksen pilvipalveluntarjoajan tietokannan hallintajärjestelmätuotteita. Tavoitteena on analysoida niiden hinnoittelua ja peilata niitä Laatikaisen ym. (2013) hinnoittelun arviointimalliin, joka on esitetty kuviossa 1. Tarkoituksena on myös havainnoida eroja tuotteiden hintojen välillä ja pohtia mahdollisia syitä hinnoittelun eroavaisuuksille. Pilvipalveluntarjoajia on useita, eikä niiden kaikkien läpikäyminen ole kandidaatintutkielman puitteissa tarkoituksenmukaista, joten tarkasteltaviksi pilvipalveluntarjoajiksi valikoitui kolme merkittävää toimijaa, jotka ovat Google Cloud, Microsoft Azure, sekä Amazon Web Services (AWS). Jokainen näistä pilvipalveluntarjoajista myyvät useita eri tietokannan hallintajärjestelmiä palveluna. Vertailukelpoisuuden vuoksi valitaan jokaiselta palvelu, joka tarjoaa

asiakkaan käyttöön MySQL- ja Postgresql-tietokannan hallintajärjestelmät. Googlen Cloudin tapauksessa palvelu on Cloud SQL, joka tarjoaa mahdollisuuden käyttää joko MySQL- tai PostgreSQL-tietokannan hallintajärjestelmää. Microsoft Azure on puolestaan eriyttänyt nämä Azure Database for MySQL- ja Azure Database for PostgreSQL-palveluiksi. AWS:n vastaava tuote on Amazon Aurora, joka tarjoaa yhteensopivuuden myös molemmille tietokannan hallintajärjestelmille. Palveluntarjoajien sijoittuminen Laatikaisen ym. (2013) arviointimalliin on havainnollistettu kuviossa 2.



KUVIO 2 Kolme palveluntarjoajaa sijoitettuna Laatikainen ym. (2013) mukailtuun malliin

Laajuus ulottuvuudessa kaikki kolme pilvitietokannan hallintajärjestelmää voidaan sijoittaa bundling + predefined options tienoille. Jokainen palvelu pitää sisällään parametreja, jotka ovat hinnoiteltu erikseen, mutta niputettu yhteen. Parametreille asiakas valitsee itselleen sopivan arvon eri hintaisista ja ennalta määritellyistä vaihtoehtoista. Palveluntarjoajien välillä on eroja erikseen hinnoiteltujen parametrien välillä ja mitä asetuksia parametreille on tarjolla. Kaikille yhteisiä parametreja, jotka ovat hinnoiteltu erikseen, on itse instanssi, sekä tietovarastointi, eli datan säilyttäminen kovalevyillä. Eroavaisuuksia löytyy mm. tiedonsiirron suhteen. AWS ja Google laskuttavat tietyissä tapauksissa suurien tietomäärien siirrosta ulos heidän palvelimiltaan. Tässä on luultavasti kyse palveluntarjoajan vaihtamisen kynnyksen nostamisesta eli toimittajaloukusta, kuten Vodomin & Andročec (2015) myös vihjaavat. Microsoftilla ei ole erikseen tällaista kuluja, mutta se saattaa olla sulautettuna muihin kuluihin, kuten muita hieman suurempiin instanssimaksuihin.

Laajuus ulottuvuuden yhteydessä on hyvä käsitellä myös MySQL:n ja PostgreSQL:n valinnan vaikutus hinnoitteluun. MySQL on lisensoitu tuote eli sen käytöstä pilvipalveluntarjoajat joutuvat maksamaan lisenssimaksun. PostgreSQL:ssä on puolestaan avoin lähdekoodi, eikä sen tarjoamisesta seuraa palveluntarjoajalle lisenssointikuluja. Se miten MySQL:n kulut näkyvät tai siirtyvät asiakkaalle vaihtelee selvästi pilvipalveluntarjoajien välillä. AWS hinnoittelee instanssinsa MySQL:n ja PostgreSQL:n kanssa erikseen, mutta käytännössä tällä valinnalla ei ole merkitystä hintaan. Microsoft hinnoittelee myöskin MySQL- ja PostgreSQL-instanssit erikseen. Microsoftin tapauksessa MySQL instanssi on aavistuksen eli noin 3% kalliimpi. Google puolestaan ei tee mitään eroa MySQL:n ja PostgreSQL:n välille, joten hinta molemmille vaikuttaa olevan sama.

Kaikkien kolmen pilvipalveluntarjoajan tietokannan hallintajärjestelmäpalvelut vaikuttaa olevan hinnoiteltu vähintään osittain suorituskyky perusteisesti. Palveluntarjoajat maksavat asiakkaalle sakkoja, jos palvelutasoa ei saavuteta. Sakkoja maksetaa portaittain sen mukaan kuinka kauan palvelut eivät ole asianmukaisesti saatavilla. AWS ja Microsoft hyvittävät 100% kuukausittaisista kuluista, jos palveluiden saatavuus alittaa 95%. Google hyvittää tällaisessa tapauksessa vain 50%. Pienemmistä palvelutason alituksista kaikki kolme palveluntarjoajaa hyvittävät yhtä suuria osuuksia kuukausilaskusta eli joko 10% tai 25% riippuen alituksen suuruudesta.

Yksikään palveluntarjoaja ei vaikuta antavan asiakkaalle mahdollisuutta vaikuttaa minkään parametrin hintaan tinkimällä tai muuten neuvottelemalla. Niinpä voidaan todeta kaikkien kolmen pilvipalveluntarjoajan sijoittuvan vaikutus-ulottuvuudessa hintaluettelon kohdalle.

Kaava-ulottuvuudessa kyseiset pilvitietokannan hallintajärjestelmien hinnoittelu voidaan sijoittaa portaittaiseen hinnoitteluun. Porrastus perustuu ennalta varattuun ja maksetun käytön määrään. Laskennallisesti kalleimman hinnan joutuu maksamaan, jos hyödyntää pay-as-you-go-mallia. Microsoftilla portaittain hinnoittelu toteutuu siten, että sitoutumalla tiettyyn käytön määrään vuoden ajaksi voi säästää 34% ja sitoutumalla kolmeen vuoteen voi säästää 55%. Google Cloudissa sitoutuminen vuodeksi voi tuottaa noin 37% säästöt ja sitoutuminen vuodeksi 55% säästöt. AWS:ssä voi myös sitoutua

yhdeksi tai kolmeksi vuodeksi, mutta ainoastaan tiedot hinnoista vuoden sitoutumisesta oli saatavilla. Alennus vuodeksi sitoutumisesta pyöri instanssista riippuen 17% ja 35% välillä, mikä on kiinnostava ero Microsoftiin ja Googleen, jossa alennusprosentti on vakio instanssista riippumatta.

AWS, Google Cloud ja Microsoft Azure toimivat tilausperusteisesti, joten ajalliset oikeudet ulottuvuudessa ne sijoittuvat keskelle tilaus-mallin kohdalle.

Syrjinnän asteen ulottuvuudessa pilvipalveluiden tarjoajat voidaan sijoittaa moniulotteiseen syrjintään, sillä ne muuttavat hintoja siten, että se täyttää Laatikaisen ym. (2013) kolmannen ja toisen asteen syrjinnän määritelmät. Microsoft antaa alennuksia tai nostaa hintoja tapauskohtaisesti yrityksille ja yksityishenkilöille. Esimerkiksi start-upit voivat saada jopa 150 000 euron ja opiskelijat 100 euron edestä ilmaiseksi Microsoftin pilvipalveluita. Lisäksi kaikkien pilvipalveluntarjoajien hinnat riippuvat siitä, missä maassa asiakkaan valitsema datakeskus sijaitsee. Nämä mainitut edut sisältävät Laatikaisen ym. (2013) määritelmään kolmannen asteen syrjinnästä, sillä ne ovat joko henkilö-, yritys-, tai aluekohtaisia. Pilvipalvelut myös laskevat hintojaan, jos asiakas sitoutuu ajallisesti tai määrällisesti tiettyyn käytön määrään. Kuten kaava- ulottuvuutta käsiteltäessä todettiin, niin pilvipalveluista saa alennusta sitoutumalla yhdeksi tai kolmeksi vuodeksi palveluun näin täyttäen määritelmän toisen asteen syrjinnästä.

Dynaamisen hinnoittelun strategia on hankala selvittää yritysakohtaisesti, sillä se vaatisi oman empiirisen tutkimuksensa eikä sellaisia löytynyt tutkielman kirjoitushetkellä. Laatikainen ym. (2013) ei myöskään spekuloinut tai ottanut muuten kantaa miten pilvipalvelut sijoittuisivat tälle ulottuvuudelle.

4 YHTEENVETO

Hinnoittelun ymmärtäminen pilvipalveluita hankittaessa on tärkeää, jotta niiden käytöstä aiheutuvia kustannuksia voidaan ennakoida tarkasti. Tutkielmassa keskityttiin erityisesti pilvitietokannan hallintajärjestelmiin, joiden merkitys esiteltiin luvussa 2. Hinnoittelun arviointi on syytä toteuttaa järjestelmällisesti, mitä varten on kehitetty arviointimalleja, kuten Laatikaisen ym. (2013) pilvipalveluiden kontekstiin johdettu SBIFT-malli, joka esiteltiin luvussa 3. Kyseisessä arviointimallissa hinnoittelua tarkastellaan eri ulottuvuuksista, jonka avulla voidaan havaita eroavaisuuksia palveluntarjoajien välillä esimerkiksi palveluiden niputtamisessa tai paljousalennuksissa. Tarkemmin ottaen on seitsemän ulottuvuutta, joista pilvipalveluiden hinnoittelua voidaan tarkastella: laajuus eli hinnoittelun rakeisuus, hinnoitteluperusta, asiakkaan vaikutusmahdollisuus hintaan, hinnoittelun laskukaava, ajalliset oikeudet, syrjinnän aste, sekä dynaaminen hinnoittelustrategia.

Tutkielmassa sovellettiin kyseistä mallia kolmen suuren alustatarjoajan pilvitietokannan hallintajärjestelmien hinnoitteluun. Tietokannan hallintajärjestelmät ja tarkemmin ottaen relaatiotietokannan hallintajärjestelmät valikoituvat tarkastelun kohteeksi niiden perustavanlaatuisen luonteen informaatioteknologiassa ja vertailukelpoisuuden vuoksi. Eri palveluntarjoajien hinnoittelua arvioitaessa havaittiin, että niiden hinnoittelut noudattavat arviointimallin tasolla samankaltaista kaavaa (Kuvio 2). Eroavaisuuksia kuitenkin löytyy, kun jokaista palveluntarjoajan hinnoittelua tarkastellaan yksityiskohtaisemmin eri ulottuvuuksilla. Merkittäviä eroja löytyy mm. laajuus-ulottuvuudesta, jossa tarkastellaan hinnoittelun rakeisuutta. Eroavaisuuksia löytyy esimerkiksi siitä, kuinka MySQL:n lisenssimaksu siirretään asiakkaalle, eli laskutetaanko MySQL:stä suoraan enemmän, vai upotetaanko lisenssimaksu muihin kuluihin ja pidetään palvelut saman hintaisina. Tällaisten yksityiskohtien löytäminen helpottuu, kun hinnoittelu käydään järjestelmällisesti läpi arviointimallia hyödyntäen.

Tutkielman merkittävämmäksi puutteeksi jäi yhden hinnoittelun arviointimallin ulottuvuuden hyödyntäminen hinnoittelun analyysissä. Kyseinen ulottuvuus oli dynaaminen hinnoittelustrategia. Laatikaisen ym. (2013) tutkimuksissa ei löydetty dataa, jonka avulla eri pilvipalveluntarjoajia voitaisiin sijoittaa tälle ulottuvuudelle. Myöskään muista lähteistä ei löytynyt tähän sopivaa aineistoa. Siispä tarvitaan lisää syvällisempää tutkimusta pilvipalveluntarjoajien dynaamisesta hinnoittelustrategiasta, jotta asiakkaiden olisi tulevaisuudessa helpompi arvioida merkittäviä muutoksia pilvipalveluiden hinnoittelussa.

LÄHTEET

- Agrawal, D., Abbadi, A. E., Emekci, F., & Metwally, A. (2009). Database Management as a Service: Challenges and Opportunities. *2009 IEEE 25th International Conference on Data Engineering*, 1709–1716.
<https://doi.org/10.1109/ICDE.2009.151>
- Anandasivam, A., Buschek, S., & Buyya, R. (2009). A Heuristic Approach for Capacity Control in Clouds. *2009 IEEE Conference on Commerce and Enterprise Computing*, 90–97. <https://doi.org/10.1109/CEC.2009.20>
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., & Zaharia, M. (ei pvm.). *Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing*. 25.
- Arora, I., & Gupta, A. (2012). Cloud Databases: A Paradigm Shift in Databases. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 9(4), 77–83.
- Balobaid, A., & Debnath, D. (2018). Cloud Migration Tools: Overview and Comparison. Teoksessa A. Yang, S. Kantamneni, Y. Li, A. Dico, X. Chen, R. Subramanyan, & L.-J. Zhang (Toim.), *Services – SERVICES 2018* (ss. 93–106). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-94472-2_7
- Berg, K. L., Seymour, T., & Goel, R. (2013). History Of Databases. *International Journal of Management & Information Systems (IJMIS)*, 17(1), Art. 1. <https://doi.org/10.19030/ijmis.v17i1.7587>
- Bhatti, H. J., & Rad, B. B. (2017). Databases in Cloud Computing: A Literature Review. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 9(4), 9–17. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2017.04.02>
- Bonnemeier, S., Burianek, F., & Reichwald, R. (2010). Revenue models for integrated customer solutions: Concept and organizational implementation. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 9(3), 228–238. <https://doi.org/10.1057/rpm.2010.7>
- Bridging the state-of-the-art and the state-of-the-practice of SaaS pricing: A multivocal literature review | Elsevier Enhanced Reader.* (ei pvm.).
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106510>
- Chun, S.-H., & Choi, B.-S. (2014). Service models and pricing schemes for cloud computing. *Cluster Computing*, 17(2), 529–535.
<https://doi.org/10.1007/s10586-013-0296-1>

- Conn, S. S. (2005). OLTP and OLAP data integration: A review of feasible implementation methods and architectures for real time data analysis. *Proceedings. IEEE SoutheastCon, 2005.*, 515–520.
<https://doi.org/10.1109/SECON.2005.1423297>
- Editor, C. C. (ei pvm.). *Platform as a Service (PaaS) – Glossary* | CSRC. Noudettu 7. marraskuuta 2022, osoitteesta
https://csrc.nist.gov/glossary/term/platform_as_a_service
- Elmasri, R., & Navathe, S. (2016). *Fundamentals of database systems* (Seventh edition). Pearson.
- Floratos, A., Patel, J. M., Lang, W., & Halverson, A. (2012). When Free Is Not Really Free: What Does It Cost to Run a Database Workload in the Cloud? Teoksessa R. Nambiar & M. Poess (Toim.), *Topics in Performance Evaluation, Measurement and Characterization* (Vsk. 7144, ss. 163–179). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-32627-1_12
- Hsu, P.-F., Ray, S., & Li-Hsieh, Y.-Y. (2014). Examining cloud computing adoption intention, pricing mechanism, and deployment model. *International Journal of Information Management*, 34(4), 474–488.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.04.006>
- Hwang, J., Bai, K., Tacci, M., Vukovic, M., & Anerousis, N. (2016). Automation and orchestration framework for large-scale enterprise cloud migration. *IBM Journal of Research and Development*, 60(2–3), 1:1-1:12. <https://doi.org/10.1147/JRD.2015.2511810>
- Iveroth, E., Westelius, A., Petri, C.-J., Olve, N.-G., Cöster, M., & Nilsson, F. (2013). How to differentiate by price: Proposal for a five-dimensional model. *European Management Journal*, 31(2), 109–123.
<https://doi.org/10.1016/j.emj.2012.06.007>
- Kim, J.-Y., Natter, M., & Spann, M. (2009). Pay what you Want: A New Participative Pricing Mechanism. *Journal of Marketing*, 73(1), 44–58.
<https://doi.org/10.1509/jmkg.73.1.044>
- Laatikainen, G., Ojala, A., & Mazhelis, O. (2013). Cloud Services Pricing Models. Teoksessa G. Herzworm & T. Margaria (Toim.), *Software Business. From Physical Products to Software Services and Solutions* (Vsk. 150, ss. 117–129). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-39336-5_12
- Lee, I. (2019). Pricing schemes and profit-maximizing pricing for cloud services. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 18(2), 112–122.
<https://doi.org/10.1057/s41272-018-00179-x>

- Lee, I. (2021). Pricing and Profit Management Models for SaaS Providers and IaaS Providers. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3390/jtaer16040049>
- Lehmann, S., & Buxmann, P. (2009). Pricing Strategies of Software Vendors. *Business & Information Systems Engineering*, 1(6), 452–462. <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0075-y>
- Lehner, W., & Sattler, K.-U. (2010). Database as a service (DBaaS). *2010 IEEE 26th International Conference on Data Engineering (ICDE 2010)*, 1216–1217. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2010.5447723>
- Opara-Martins, J. (2018). Taxonomy of Cloud Lock-in Challenges. Teoksessa M. Khatib & N. Salman (Toim.), *Mobile Computing – Technology and Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74459>
- Opara-Martins, J., Sahandi, R., & Tian, F. (2016). Critical analysis of vendor lock-in and its impact on cloud computing migration: A business perspective. *Journal of Cloud Computing*, 5(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s13677-016-0054-z>
- Plattner, H. (2009). A common database approach for OLTP and OLAP using an in-memory column database. *Proceedings of the 2009 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, 1–2. <https://doi.org/10.1145/1559845.1559846>
- Sadiku, M. N. O., Musa, S. M., & Momoh, O. D. (2014). Cloud Computing: Opportunities and Challenges. *IEEE Potentials*, 33(1), 34–36. <https://doi.org/10.1109/MPOT.2013.2279684>
- Saltan, A., & Smolander, K. (2021). Bridging the state-of-the-art and the state-of-the-practice of SaaS pricing: A multivocal literature review. *Information and Software Technology*, 133, 106510. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106510>
- Scabora, L. C., Brito, J. J., Ciferri, R. R., & Ciferri, C. D. de A. (2016). Physical Data Warehouse Design on NoSQL Databases. *Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems*, 111–118. <https://doi.org/10.5220/0005815901110118>
- Serrano, D., Bouchenak, S., Kouki, Y., de Oliveira Jr., F. A., Ledoux, T., Lejeune, J., Sopena, J., Arantes, L., & Sens, P. (2016). SLA guarantees for cloud services. *Future Generation Computer Systems*, 54, 233–246. <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.03.018>
- Stonebraker, M. (2010). SQL databases v. NoSQL databases. *Communications of the ACM*, 53(4), 10–11. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721659>

- Tan, J., Ghanem, T., Perron, M., Yu, X., Stonebraker, M., DeWitt, D., Serafini, M., Aboulnaga, A., & Kraska, T. (2019). Choosing a cloud DBMS: Architectures and tradeoffs. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 12(12), 2170–2182. <https://doi.org/10.14778/3352063.3352133>
- Vaquero, L. M., Rodero-Merino, L., Caceres, J., & Lindner, M. (2009). A break in the clouds: Towards a cloud definition. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1), 50–55. <https://doi.org/10.1145/1496091.1496100>
- Varian, H. R. (1996). Differential Pricing and Efficiency. *First Monday*. <https://doi.org/10.5210/fm.v1i2.473>
- Vodomin, G., & Androcec, D. (2015). Problems during Database Migration to the Cloud. *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, 11–16. <https://www.proquest.com/docview/1759330934/abstract/A0BB2F9E1755473CPQ/1>
- Zhang, F., Liu, G., Fu, X., & Yahyapour, R. (2018). A Survey on Virtual Machine Migration: Challenges, Techniques, and Open Issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(2), 1206–1243. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2794881>
- Zheng, X. (2018). Database as a Service—Current Issues and Its Future. *arXiv:1804.00465 [cs]*. <http://arxiv.org/abs/1804.00465>