Tampereen yliopisto

Enna Augustin

5G-TEKNOLOGIAN TUOMIA VAIKUTUKSIA PILVILASKENTAPALVELUILLE

Kandidaatintyö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastaja: Hannele Väyrynen
Joulukuu 2022

TIIVISTELMÄ

Enna Augustin: 5G-teknologian tuomat vaikutukset pilvilaskentapalveluille
Impact of 5G technology for cloud computing services
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tietojohtamisen tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2022

Nykypäivän yhteiskunnassa mobiiliviestintä on erottamaton osa ihmisten arkipäivää. Mobiiliviestimien määrän kasvu on luonut tarpeen entistä paremmille mobiiliverkkoyhteyksien ominaisuuksille. Tätä tarvetta täyttämään on tullut viidennen sukupolven mobiiliverkko 5G. 5G-verkon ominaisuuksia ovat suurempi kaistanleveys, matalampi viive, parempi datansiirtokyky sekä mahdollisuuden liittää mobiiliverkon kautta yhteen yhä useampia laitteita. 5G-teknologialla on useita käyttökohteita ja se mahdollistaa myös uudenlaisia teknologioita. Tyypillisiä 5G-teknologian käyttökohteita ovat esineiden internet, virtuaalinen todellisuus sekä pilvilaskenta.

Pilvipalvelut ovat verkossa toimivia palveluita, jotka tarjoavat käyttäjälle erilaisia palveluita palvelumallinsa mukaan. Pilvipalvelut jaetaan kolmeen malliin, jotka ovat IaaS (Infrastructure as a Service), SaaS (Software as a Service) ja PaaS (Platform as a Service). Pilvipalveluiden etuina on se, että ne ovat joustavia, tarpeen vaatiessa käyttöönotettavia sekä käytön suhteen paikkariippumattomia. Pilvipalveluiden erityistapaus on pilvilaskenta, joka tarkoittaa laskentakapasiteetin tarjoamista palveluna, joka sijaitsee verkossa. Pilvilaskentapalvelut ovat kasvattaneet suosiotaan 5G-teknologian käyttöönoton myötä. Pilvilaskentapalveluiden hyötyinä on helppokäyttöisyys, skaalautuvuus sekä käytettävän järjestelmän kapasiteetin kasvattaminen. Pilvilaskentapalveluiden mahdollisina haasteina ovat turvallisuus, energiatehokkuus sekä resurssien kohdennuksen onnistuminen.

Tämä tutkimus suoritettiin kirjallisuuskatsauksena seitsemän kohdan mallin mukaisesti. Tutkimusaineistoa etsittiin useista tietokannoista monia hakualgoritmeja- ja kriteereitä hyödyntämällä. Keskeisinä hakutermeinä olivat pilvilaskenta ja 5G-teknologia. Tutkimusaineistoksi valikoitui tieteellisiä artikkeleita, kirjoja sekä tutkimuksia. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää 5G-teknologian tuomia vaikutuksia pilvilaskentapalveluille. Tavoitteena ei ollut löytää pelkästään positiivisia vaikutuksia vaan pyrkiä havaitsemaan myös mahdollisia riskejä ja haasteita.

Tutkimus osoittaa, että 5G-teknologia on kasvattanut pilvilaskentapalveluiden suosiota. 5G-teknologia parantaa pilvilaskentapalveluiden datan prosessointikykyä, vähentää viivettä sekä skaalautuvuutta. Nämä ominaisuudet mahdollistavat pilvilaskentapalveluiden käyttämisen laajemmalla skaalalla kuin ennen. 5G kuitenkin tuo pilvilaskennalle haasteita turvallisuudelle, resurssien kohdentamiselle sekä kuorman tasapainottamiselle. Pilvilaskentapalveluiden hyödyntämisessä 5G-verkossa tulee huomioida haasteiden minimoiminen, jotta pilvilaskentapalvelun palvelun laatu ei kärsi liikaa.

Avainsanat: 5G-teknologia, pilvilaskenta, pilvipalvelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena Tampereen yliopiston tietojohtamisen tutkinto-ohjelmaan syksyllä 2022. Työni aihe tuli mieleeni täysin sattumalta tietoliikennetekniikan luennolla istuessani, mutta olen ollut siihen erittäin tyytyväinen, sillä se yhdistää molemmat kandidaatintutkintoni sivuaineet: tietoliikennetekniikan sekä datateknologiat. Koen aiheeni olevan kiinnostava sen ajankohtaisuuden ja eri mielenkiinnonkohteitani yhdistelevän luonteensa vuoksi.

Haluan kiittää kandidaatintyöni ohjaajaa Hannele Väyrystä läpi syksyn saaduista kehitysehdotuksista ja kannustavista sanoista. Haluan myös kiittää opiskelijakollegoitani antamastaan vertaistuesta ja -palautteesta. Lopuksi haluan vielä kiittää perhettäni ja ystäviäni saamastani kannustuksesta sekä murheiden kuuntelemisesta silloin kun sitä olen tarvinnut. Kandidaatintyöni lopputuloksen haluan omistaa pilvien päälle Riitta-mummolleni, joka varmasti olisi haljennut ylpeydestä työn valmistuttua.

Tampereella, 30.11.2022

Enna Augustin

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite 1
1.2 Tutkimusongelma ja rajaus 3
2. TUTKIMUSMENETELMÄN JA -AINEISTON ESITTELY 4
2.1 Tutkimusmenetelmä 4
2.2 Tutkimusaineisto 7
3. PILVIPALVELUT 8
3.1 Pilvipalveluiden palvelumallit 9
3.2 Pilvilaskenta ja sen toteutus 10
3.3 Pilvilaskentapalveluiden hyötyjä ja haasteita 11
3.4 Pilvilaskenta 4G-teknologian avulla 12
4. 5G-TEKNOLOGIA 14
4.1 5G:n ominaisuuksia ja osa-alueita 14
4.2 5G-teknologian käyttökohteita 15
4.3 5G-teknologian tarve 16
5. 5G-MOBIILIVERKON VAIKUTUKSIA PILVILASKENTAPALVELUILLE 18
5.1 5G-teknologian tuomia mahdollisuuksia pilvilaskennalle 18
5.2 5G-teknologian tuomia haasteita pilvilaskennalle 19
6. YHTEENVETO 21
6.1 Tutkimuksen tulokset 21
6.2 Tulosten arviointi ja jatkotutkimusmahdollisuudet 22
LÄHTEET 24
LIIITTEET 28

LYHENTEET JA MERKINNÄT

3G	engl. 3rd generation mobile communication, kolmannen sukupolven mobiiliteknologia, joka mahdollisti Internetin käyttämisen matkapuhelimella
4G.	engl. 4th generation mobile communication, neljännen sukupolven mobiiliteknologia, jonka uusina ominaisuuksina edeltäjäänsä verrattuna tuli nopeampi yhdistettävyys, korkeampi datan huippunopeus, alhaisempi viive sekä parempi kapasiteetti
5G	engl. 5th generation mobile communication, viidennen sukupolven mobiiliteknologia, jonka ominaisuuksina on entistä nopeampi datansiirtonopeus, alhaisempi viive sekä parempi laitteiden yhdistämisen tukeminen
IaaS	engl. Infrastructure as a Service, pilvipalvelumalli, joka tarjoaa käyttäjälle ydintoimintoja kuten datan varastointia sekä prosessointi- ja laskentakykyä
IoT	engl. Internet of Things, esineiden internet, laitteita, jotka ovat yhteydessä verkkoon, jonka kautta ne voivat lähettää, tallentaa ja käsitellä dataa
IT	engl. Information technology, tietotekniikan ja tietoliikenteen parissa toimiva tieteenala
M2M	engl. Machine-to-Machine, laaja termi, joka kuvaa mitä tahansa teknologiaa, jonka avulla mobiiliverkon kautta yhteydessä olevat laitteet voivat vaihtaa tietoja ja suorittaa toimintoja ilman ihmisten apua
PaaS	engl. Platform as a Service, pilvipalvelumalli, joka tarjoaa käyttäjälle alustan, jolla asiakas voi ottaa käyttöön luomiaan tai hankkimiaan sovelluksia
SaaS	engl. Software as a Service, pilvipalvelumalli, joka tarjoaa käyttäjälle verkossa toimivia sovelluksia

1. JOHDANTO

Viidennen sukupolven mobiiliverkko 5G on viime vuosien aikana lisännyt suosiotaan ja on väistämätön trendi mobiiliviestinnässä 2020-luvulla (Sicari et al. 2020; Cheng 2021). 5G mahdollistaa yhä useampien laitteiden sujuvan keskinäisen tiedonsiirron, mikä on tuonut lisätarpeen pilvipalveluiden hyödyntämiselle esimerkiksi datan varastoinnissa (Sicari et al. 2020). Tässä työssä tutkitaan 5G-teknologian tuomia vaikutuksia pilvilaskentapalveluille sekä verrataan niitä pilvilaskennan ominaisuuksiin ja hyödyntämiseen vanhemman mobiiliverkkosukupolven aikakaudella. Tässä luvussa esitellään tutkimuksen tausta, tavoite ja tutkimusongelma sekä sen rajaukset. Lisäksi asetetaan pää- ja alatutkimuskysymykset. Lopuksi esitellään tutkimuksen rakenne.

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite

2010-luvun alussa neljännen sukupolven mobiiliverkko 4G esiteltiin maailmalle (Rahman et al. 2022). Verrattuna aikaisempaan 3G-mobiiliverkkoon 4G-verkon erityisominaisuuksina mobiiliviestintään tuli nopeampi yhdistettävyys, korkeampi datan huippunopeus, alhaisempi viive sekä parempi viestintäjärjestelmän kapasiteetti (Mitra & Agrawal 2015; Abu-Lebdeh et al. 2016). 4G on yrittänyt pysyä teknologian ja laitteiden välisen M2M-teknologioiden kehityksen mukana, mutta 4G-teknologian rajoitukset datan siirtonopeudelle ovat luoneet tarpeen uudemmalle mobiiliverkkoteknologialle (Huseien & Shah 2022; Khanh et al. 2022).

5G-teknologia on uuden sukupolven matkapuhelin- ja tiedonsiirtoverkko, joka tarjoaa muun muassa entistä nopeamman tiedonsiirron sekä luotettavammat yhteydet (Sicari et al. 2020; Siedler et al. 2021). 5G-teknologia on tullut suosituksi nopeasti, sillä se mahdollistaa miljardien laitteiden reaaliaikaisen yhteydenpidon, jolloin tiedon kerääminen ja jakaminen verkon välityksellä on viiveettömämpää ja turvallisempaa kuin 4G-teknologian aikakaudella (Nassef et al. 2022). Viiveettömyyden ja turvallisuuden lisääntymisen takia 5G-järjestelmiltä vaaditaan kykyä selviytyä massiivisen datan ja verkkoon liitettyjen laitteiden määrästä (Cheng 2021).

Pilvilaskentapalvelut ovat IT-alalla kasvava hitti (Jyoti et al. 2020; Murad et al. 2020). Pilvilaskenta tarkoittaa laskentakapasiteetin tarjoamista palveluna (Cheng 2021). Keskeinen piirre pilvilaskennalle on, että laskentainfrastruktuuri sijaitsee verkossa, jolloin

saadaan yhdistettyä useita käyttäjiä (Akherfi et al. 2018; Siedler et al. 2021). Pilvilaskentapalvelut ovat lisänneet suosiotaan organisaatioiden työkaluna halvan infrastruktuurinsa, kätevän datankäsittelykapasiteettinsa, automaationsa sekä paikkariippumattomuutensa ansiosta (Siedler et al. 2021; Murad et al. 2022). Palvelujen kätevyydestä huolimatta pilvipalveluiden käyttöönotto on ollut ennen 5G-teknologian aikakautta hidasta organisaatioiden turvallisuuteen ja sen hetkisen teknologian asettamiin rajoituksiin liittyvien kysymyksien vuoksi (Rountree & Castrillo 2013). 5G-teknologian nopean yleistymisen ja kehittymisen myötä, voi myös pilvilaskennan yleisyys kasvaa. Lisäksi, koska 5G-teknologia on tekniseltä näkökannalta edeltäjäänsä tehokkaampi ja luotettavampi, voi tämä vaikuttaa positiivisesti organisaatioiden asenteisiin pilvilaskentaa kohtaan.

Tietojohtamisen alalla tieto jaotellaan yleisesti dataan, informaatioon ja tietämykseen. Näistä tiedon tasoista alhaisin on data, joka tarkoittaa rakenteettomia tosiasioita kuten esimerkiksi lukuja. Kun dataan yhdistetään tulkinta, saadaan informaatiota. Informaatio sen sijaan jalostuu eteenpäin tietämykseksi, kun sitä tulkitaan analyyttisesti ja yhdistetään kokemukseen. (Laihonen et al. 2013, s.17–19) Pilvilaskentapalvelut mahdollistavat datan käsittelyn, jolloin dataa voidaan jalostaa korkeammille tiedon tasoille. Tietojohtamisen prosessimalleissa tiedon jalostamista seuraa tiedon jakelu (Laihonen et al. 2013, s.25–28). Pilvilaskentapalveluiden ansiosta tiedon jakelu helpottuu, sillä kaikki tieto on yhdessä paikassa ja pilvipalveluiden paikkariippumattomuuden ansiosta tietoon pääsy on yksinkertaista.

5G-teknologiaa verrattaessa 4G-teknologian ominaisuuksiin, 5G:stä puhutaan pääasiallisesti positiiviseen ja ylistävään sävyyn ja keskustelussa nostetaan lähes poikkeuksetta esiin 5G:n erinomainen datansiirtokyky (Ahmed et al. 2020). Toisaalta keskustelussa harvemmin korostuu kyseisen teknologian mukanaan tuomia mahdollisia riskejä esimerkiksi 5G-verkossa toimivan esineiden internetin turvallisuudesta (Sicari et al. 2020).

Tämän tutkimuksen keskeisimpänä tarkoituksena on löytää vastaus tutkimusongelmaan. Tutkimuksen tutkimusongelma on, ettei voida olla varmoja onko 5G-teknologia vaikuttanut pilvilaskentapalveluiden toimintaan tai käyttöön 4G-verkossa suoritettuun pilvilaskentaan verrattuna. Tähän ongelmaan vastaus löydetään vastaamalla alatutkimuskysymykseen. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaisia vaikutuksia 5G-teknologian yleistyminen on tuonut tai tulee tuomaan pilvilaskentapalveluille. Tavoitteena ei ole löytää pelkästään positiivisia vaikutuksia, vaan myös huomioida teknologian mahdollisia aiheuttamia riskejä. Työn tarkoituksena ei ole kuitenkaan tarjota ratkaisuja mahdollisiin havaittuihin riskeihin.

1.2 Tutkimusongelma ja rajaus

Tutkimusongelmaan etsitään vastausta päätutkimuskysymyksen avulla. Päätutkimuskysymykseksi tässä työssä valikoitui seuraava:

- Mitä vaikutuksia 5G-teknologialla on pilvilaskentapalveluille?

Päätutkimuskysymykseen haetaan vastausta alatutkimuskysymyksen avulla, joka tässä työssä on seuraavat:

- Millaista pilvilaskenta on ollut 4G-teknologian aikakaudella?

5G-teknologian tuomia vaikutuksia pilvipalveluille tutkitaan yleisimpien ominaisuuksien kannalta, jotka liittyvät esimerkiksi laskentakapasiteettiin tai datansiirtoon. Tässä työssä ei syvennytä 5G-teknologian toteutuksen teknisiin yksityiskohtiin tai siihen, miten 5G vaikuttaa laskentapalveluiden taustalla toimiviin prosesseihin. Tutkimuksessa ei myöskään käsitellä, miten pilvilaskentapalveluita hyödyntävien organisaatioiden tulisi huomioida 5G-teknologian käyttöönotto toiminnassaan.

Tämä tutkimus on jaettu kuuteen lukuun. Luvussa 2 esitellään tutkimuksessa käytetty tutkimusmenetelmä ja -aineisto eli käydään läpi, miten tutkimus on toteutettu. Luvussa 3 aloitetaan valikoituihin tutkimusaineistoihin pohjautuva tutkimus esittelemällä pilvipalveluiden teoriaa sekä yleisellä tasolla että yksityiskohtaisemmin pilvilaskennan tasolla. Lisäksi tutustutaan pilvilaskennan hyötyihin, haasteisiin ja siihen, millaista pilvilaskenta on ollut 4G-teknologian aikakaudella.
Luvussa 4 käsitellään 5G-teknologian ominaisuuksia, osa-alueita ja käyttökohteita. Lisäksi pohditaan nykypäivän asettamia tarpeita 5G-teknologialle. Tutkimuksen tulososassa eli luvussa 5 luodaan kahden edellisen luvun sisältöjen tueksi synteesi tutkimuksessa havaituista 5G:n pilvilaskentapalveluille tuomista mahdollisuuksista ja haasteista. Luvussa 6 tiivistetään tutkimuksen tulokset ja arvioidaan niitä. Lisäksi esitetään tutkimuksessa havaitut mahdolliset jatkotutkimuskohteet.

2. TUTKIMUSMENETELMÄN JA -AINEISTON ESITTELY

Tämä työ suoritettiin kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuksen päätutkimuskysymykseen etsitään vastausta luotettaviksi ja laadukkaiksi todettujen kirjallisten aineistojen pohjalta. Tässä luvussa käsitellään tutkimuksessa käytettävä tutkimusmenetelmä sekä esitellään aineiston keräämisessä käytettyjä tietokantoja ja hakulausekkeita. Lisäksi luvussa esitellään käytettyä aineistoa.

2.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus suoritettiin kirjallisuuskatsauksena, joka pohjautuu tutkimuksen aihetta käsitteleviien aiempien tutkimusten ja julkaisujen tuloksiin. Tutkimuksessa kerättiin aineistoja eri tietokannoista ja eri tekijöiltä. Lisäksi tutkimuksessa yhdisteltiin ja vertailtiin valittujen aineistojen sisältöjä ja tuloksia toisiinsa. Tämän tavoitteena oli löytää vastaus päätutkimuskysymykseen. Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmenetelmänä hyvä, sillä se on systemaattinen, laaja, täsmällinen ja helposti toistettavissa (Fink 2019, s.5). Tutkimuksen toteuttamisessa hyödynnettiin Finkin (2019, s.5–7) seitsemän kohdan prosessimallia, jonka mukaan systemaattisen kirjallisuustutkimuksen toteutetaan seuraavien vaiheiden mukaisesti:

1. tutkimuskysymyksien asettaminen
2. tietokantojen ja muiden tietolähteiden valitseminen
3. hakutermien määrittäminen
4. käytännön seula: hakukriteerien asettaminen
5. metodologinen seula: lähteiden tieteellisen laadun varmistaminen ja sopivuus
6. hakutulosten arviointi
7. synteesin luominen aineistosta.

Seitsemän kohdan mallin ensimmäisessä vaiheessa asetetaan tutkimuskysymykset. Päätutkimuskysymykseksi tässä työssä valikoitui: Mitä vaikutuksia 5G-teknologialla on pilvilaskentapalveluille? Alatutkimuskysymykseksi työhön valikoitui: Millaista pilvilaskenta on ollut 4G-teknologian aikakaudella?

Mallin toisen kohdan mukaan tutkimuksessa valitaan käytettävät tietokannat. Tässä työssä käytetyt tietokannat ovat Andor, Scopus sekä ScienceDirect. Kyseiset tietokannat valittiin tutkimukseen, koska niiden sisältämien aineistojen sisältöjen voidaan varmistaa olevan tieteellisesti oikeita. Lisäksi tietokantojen antamia hakutuloksia voidaan helposti suodattaa hakukriteereitä mukauttamalla. Hakukriteerien avulla tietokantojen tuloksien laatua voidaan myös parantaa rajoittamalla hakutuloksia esimerkiksi vertaisarvioituihin aineistoihin.

Finkin (2019) mallin kolmannessa vaiheessa muodostetaan käytettävät hakualgoritmit, jotka pohjautuvat pää- ja alatutkimuskysymyksiin. Tutkimusaineistojen hauissa käytettävät hakusanat keskittyivät tutkimusaiheen otsikossa esiintyviin termeihin ”pilvilaskenta” ja ”5G”. Tutkimusaineiston kattavuuden takaamiseksi hakuihin sisällytettiin myös termi ”4G”. Kun käytettäviä hakutermejä mietittiin, otettiin huomioon valittujen hakusanojen mahdolliset synonyymit. Englanninkielisessä kirjallisuudessa esimerkiksi pilvilaskennasta käytetään sekä termejä ”cloud” että ”cloud computing”, joten nämä molemmat sisällytettiin hakualgoritmeihin. Lisäksi pilvilaskennasta voidaan myös puhua pilvipalvelumallin ”PaaS” nimellä, joten tämäkin sisällytettiin hakuihin. 4G-teknologiaan liittyvissä hauissa käytettiin termin ”4G” lisäksi myös 4G-teknologian toista nimitystä ”LTE”. Hakualgoritmien muodostamisessa hyödynnettiin Boolen operaattoreita ”AND” ja ”OR”. Taulukossa 1 on esitettynä käytetyt hakutermit ja niiden antamat tulokset Andorista, Scopuksesta ja ScienceDirectistä.

Taulukko 1. *Hakutulosten lukumäärät tietokannoissa*

Hakulauseke	Andor	Scopus	ScienceDirect
("cloud computing" OR cloud) AND 5G*	15 677	4 843	6 437
5G* AND PaaS	139	67	707
(” cloud computing” OR cloud) AND (5G OR “mobile networks”)	20 278	5 886	8 734
"cloud computing"	613 510	103 136	32 133
5G*	351 537	85 893	72 841
4G* OR LTE*	409 372	79 052	107 792
(4G* OR LTE*) AND ("cloud computing" OR cloud)	10 569	2 203	7 190

Taulukon 1 tuloksista nähdään, että tutkimuksen aiheesta on saatavilla runsaasti aineistoa. Hakutuloksista voidaan päätellä tutkimusaiheen olevan ajankohtainen ja paljon tutkittu. Hakuja yritettiin tehdä englanninkielisten termien lisäksi myös suomeksi, mutta hyvin pian huomattiin lähteiden painottuvan määrällisesti englanninkielisiin hakutuloksiin. Täten potentiaalinen tutkimusaineisto rajattiin englanninkielisten hakujen tuloksiin.

Seitsemän kohdan mallin neljännessä vaiheessa asetetaan hakukriteerit. Hakukriteerejä määritetään, jotta tietokannoista saatavat hakutulosten määrät pienenisivät, jolloin tutkimusaineiston valitseminen olisi helpompaa. Ensimmäiseksi haut rajattiin koskemaan vertaisarvioituja lehtiä, jotka ovat avoimesti saatavilla, ja jotka ovat julkaistu aikaisintaan vuonna 2018. Vuosi 2018i valittiin hakukriteeriksi, jotta tutkimusaineisto olisi mahdollisimman ajankohtaista. Haun rajoittaminen vain vertaisarvioituihin julkaisuihin auttaa lähteiden tieteellisen laadun varmistamisessa Finkin (2014) mallin viidennen kohdan mukaisesti. Tämän vaiheen jälkeen hakutulokset rajattiin koskemaan artikkeleita, lehtiä, kirjojen lukuja, konferenssijulkaisuihin ja verkkoaineistoihin. Lisäksi Scopuksessa valittiin julkaisun tasoksi ”final”. Nämä kriteerit valittiin, koska tutkimuksen toteuttamiselle oli rajattu aika, ja kyseisiin aineistotyyppeihin perehtyminen on nopeampaa kuin esimerkiksi kokonaisten kirjojen lukeminen. Taulukossa 2 on esitettynä hakualgoritmien tulokset tietokannoissa hakukriteerien asettamisen jälkeen.

Taulukko 2. *Hakutulosten lukumäärät hakukriteerien asettamisen jälkeen*

Hakulauseke	Andor	Scopus	ScienceDirect
("cloud computing" OR cloud) AND 5G*	1 230	1 169	1 058
5G* AND PaaS	22	27	90
(” cloud computing” OR cloud) AND (5G OR “mobile networks”)	1 386	1 285	1 323
"cloud computing"	16 631	12 245	4 145
5G*	13 545	14 939	6 692
4G* OR LTE*	7 440	6 916	5 836
(4G* OR LTE*) AND ("cloud computing" OR cloud)	340	331	740

Finkin (2019) mallin viidennessä kohdassa varmistetaan aineiston tieteellisen laadun lisäksi myös aineiston sopivuus tutkimukseen. Saadut hakutulokset järjestettiin vuosiluvun perusteella uusimmasta vanhimpaan, jotta tutkimusaineisto olisi mahdollisimman ajankohtaista. Tällä tavoin vältettiin myös riski vanhentuneen tiedon päätymisestä tutkimusaineistoon. Saaduista hakutuloksista lopullisen aineiston kerääminen aloitettiin tutkimalla ensin aineistoehdokkaita otsikkotasolla, minkä jälkeen edettiin syvällisempään aineiston laadukkuuden ja osuvuuden tutkimiseen tarkastelemalla muun muassa aineistojen alaotsikoita ja tiivistelmiä.

Seitsemän kohdan mallin kuudes kohta on hakutulosten arviointi. Jos hakutulosten aineistojen otsikot, tiivistelmät ja väliotsikot vihjasivat aineiston vastaavan tutkimuskysymyksiin, voitiin aineistoa lukea syvällisemmin. Jos aineisto vielä tämänkin vaiheen jälkeen vastasi tutkimuskysymyksiin ja pysyi tutkimusaiheen rajauksen sisällä, hyväksyttiin se tutkimusaineistoon. Aineistoon syvennyttiin lukemalla siitä tutkimuskysymykselle olennaisimpia kohtia, jotka liittyivät esimerkiksi 5G-teknologian ominaisuuksiin. Tutkimusaineistoa lähdettiin tästä vielä kasvattamaan helmenkasvatusmenetelmällä. Helmenkasvatusmenetelmässä uutta aineistoa etsitään aiheeseen sopivan aineiston lähdeluettelosta (Schlosser

et al. 2006). Tutkittavan aineiston lähdeluettelosta etsittiin lähteitä, jotka itse aineistossa viittasivat tutkimuskysymyksen kannalta kiinnostavaan kohtaan. Viitattu aineisto valittiin tutkimusaineistoksi, jos se sisälsi aiemmin valittua aineistoa täydentävää tietoa ja jos se oli julkaistu aikaisintaan 2018. Toisaalta tutkimusaineistoon valittiin myös tätä aikaisemmin julkaistuja aineistoja, jos niiden sisältämät tiedot olivat tutkimusaiheen perusteoriaan perustuvia. Finkin (2019) mallin viimeinen vaihe on synteesin luominen aineistosta. Tätä vaihetta toteutti tutkimuksen kirjoittaminen valikoidun tutkimusaineiston pohjalta ja tutkimuskysymyksiin vastauksien etsiminen.

2.2 Tutkimusaineisto

Kun tutkimuksen aineistoa etsittiin, tavoitteena oli löytää tieteellistä, vertaisarvioitua ja tutkimuksen aiheeseen liittyvää aineistoa, jonka avulla tutkimuksen tutkimuskysymykseen löydettäisiin vastaus. Tämän tutkimuksen tutkimusaineisto koostuu 24 tieteellisestä artikkelista ja yhdeksästä kirjallisesta tutkimuksesta. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin kahta kirjaa. Rountreen ja Castrillon (2013) kirja antaa kattavan katsauksen pilvipalveluiden ja -laskennan perusteisiin, vaikka se onkin julkaistu viisi vuotta aikaisemmin kuin hakukriteereissä asetettu vuosiluku. Laihosen et al. (2013) teos on perusteos tietojohtamisen kentästä. Tutkimukselle keskeisimmät aineistot ja niiden kirjoittajat ovat esitettynä liitteessä A. Liitteessä esitetään myös lyhyen kuvaukset jokaisen aineiston sisällöstä.

3. PILVIPALVELUT

Termillä ”pilvipalvelu” viitataan palvelimiin, joita käytetään Internetin kautta (Chen et al. 2015). Näillä palvelimilla toimivat palvelun ohjelmistot ja tietokannat (Mell & Grance 2011; Stergiou & Psannis 2022). Pilvipalveluilla tarkoitetaan siis joukkoa palveluita, jotka sijaitsevat verkossa. Palvelu ei välttämättä ole pilvipalvelu, vaikka se sijaitsisikin verkossa, sillä pilvipalvelun tulee toteuttaa viisi pääpiirrettä (Rountree & Castrillo 2013, s.1-2). Nämä piirteet ovat:

1. tarpeen mukaan saatavilla oleva itsepalvelu
2. laaja verkkoyhteys
3. resurssien yhteiskäyttö
4. nopea joustavuus
5. mitattu palvelu (Mell & Grance 2011).

Tarpeen mukaan saatavilla oleva itsepalvelu tarkoittaa, että käyttäjä voi itsenäisesti hyödyntää palvelua ilman tarvetta olla yhteydessä palvelimen ylläpitäjän kanssa. Laaja verkkoyhteys tarkoittaa, että palvelut ovat saatavilla verkossa ja niihin pääsy on mahdollista käyttäjän omalta laitteelta kuten esimerkiksi tietokoneelta tai matkapuhelimelta. (Mell & Grance 2011) Lisäksi pilvipalveluille on olennaista, että niiden käyttäminen on paikkariippumatonta eli niitä voidaan hyödyntää lähes mistä tahansa paikasta ilman erityisiä vaatimuksia käyttäjän laitteiston ominaisuuksille kuten esimerkiksi suorituskyvylle (Stergiou & Psannis 2022). Paikkariippumattomuus auttaa tiedon jakamista palvelun käyttäjien kesken. Tiedon jakamisen helpottuminen nopeuttaa tiedon jalostumista, sillä tietoa pääsee käsittelemään yhä useampi henkilö. Dataan myös summautuu tällöin tulkintaa eri näkökulmista, mikä tarkoittaa tiedon laadun paranemista.

Pilvipalveluiden tapauksessa resurssien yhteiskäyttö tarkoittaa, että palveluntarjoajan resurssit yhdistetään palvelemaan useita käyttäjiä. Resurssit kohdennetaan käyttäjille heidän tarpeiden ja vaatimusten mukaan. Resursseja tässä yhteydessä ovat esimerkiksi varastointi, muisti ja verkon kaistanleveys. (Mell & Grance 2011; Siedler et al. 2021) Resurssien yhteiskäyttö lisää käyttäjän tunnetta paikkariippumattomuudesta (Mell & Grance 2011). Pilvipalveluiden tulee olla myös nopeasti joustavia, mikä tarkoittaa, että resursseja voidaan tarjota automatisoidusti ja skaalautuvasti käyttäjän kysynnän mukaan. Mitattu palvelu tarkoittaa, että pilvijärjestelmät hallitsevat ja optimoivat resurssien

käytön itse. Pilvipalveluiden läpinäkyvyyden takaamiseksi resurssien käyttöä siis seurataan, hallitaan ja raportoidaan. (Mell & Grance 2011; Siedler et al., 2021)

3.1 Pilvipalveluiden palvelumallit

Pilvipalvelut jaetaan yleisesti kolmeen palvelumalliin. Nämä mallit ovat SaaS (Software as a Service), IaaS (Infrastructure as a Service) ja PaaS (Platform as a Service). (Mell & Grance 2011; Rountree & Castrillo 2013, s.49.; Akherfi et al. 2018) Nämä mallit tarjoavat erilaisia mahdollisuuksia sekä palveluntarjoajalle että käyttäjälle (Stergiou & Psannis 2022).

Alkuperäisenä pilvipalveluiden palvelumallina pidetään SaaS-mallia (Rountree & Castrillo 2013, s.49). Kyseisessä mallissa palveluntarjoaja tarjoaa asiakkailleen verkossa toimivia sovelluksia. SaaS-palvelua käyttääkseen asiakkaan ei tarvitse tietää, kuinka palvelun infrastruktuuri toimii. (Mell & Grance 2011; Hamd et al. 2021) SaaS-mallissa kaikki vastuu palvelun infrastruktuurista on palveluntarjoajalla (Mell & Grance 2011; Rountree & Castrillo 2013, s.51). Palvelun infrastruktuuriin lukeutuvat muun muassa palvelimet, käyttöjärjestelmät ja sovelluskohtaiset ominaisuudet (Mell & Grance 2011) Tunnettuja esimerkkejä SaaS-palvelumallista ovat Google Drive ja Outlook -sovellukset (Rountree & Castrillo 2013, s.55). Etuna SaaS-mallissa on se, että käyttäjän ei tarvitse asentaa sovellusta omalle päätelaiteelleen, sillä sovellus toimii verkossa (Oredo & Dennehy 2022).

Kung et al. (2018) mukaan PaaS-mallin markkinat ovat pilvipalveluista pienimmät, mutta ne luovat suuren ympäristön käyttäjille ja sovelluskehittäjille. Tässä ympäristössä käyttäjät helposti luoda, käyttää, kehittää ja kustomoida omia sovelluksiaan (Kung et al. 2018). PaaS-mallissa palvelun käyttäjät voivat siis ottaa käyttöön luomiaan tai hankkimiaan sovelluksia. Käyttäjä ei hallinnoi palvelun taustalla toimivaa pilvi-infrastruktuuria vaan pelkästään hallussaan olevia sovelluksia. (Mell & Grance 2011; Rountree & Castrillo 2013, s.62) Esimerkiksi Windowsin Azure-palvelu on PaaS-palvelu (Rountree & Castrillo 2013, s.66). Eri PaaS-palveluiden sisällä on eroja, millaisia ominaisuuksia ne tarjoavat (Abu-Lebdeh et al. 2016). PaaS-mallin etuna on, että palvelu tarjoaa käyttäjille kirjastoja ja työkaluja sovellustensa kehittämiseen ja käyttöönottoon ilman, että ympäristö sijaitsisi käyttäjän omalla päätelaitteella (Hamd et al. 2021; Oredo & Dennehy 2022).

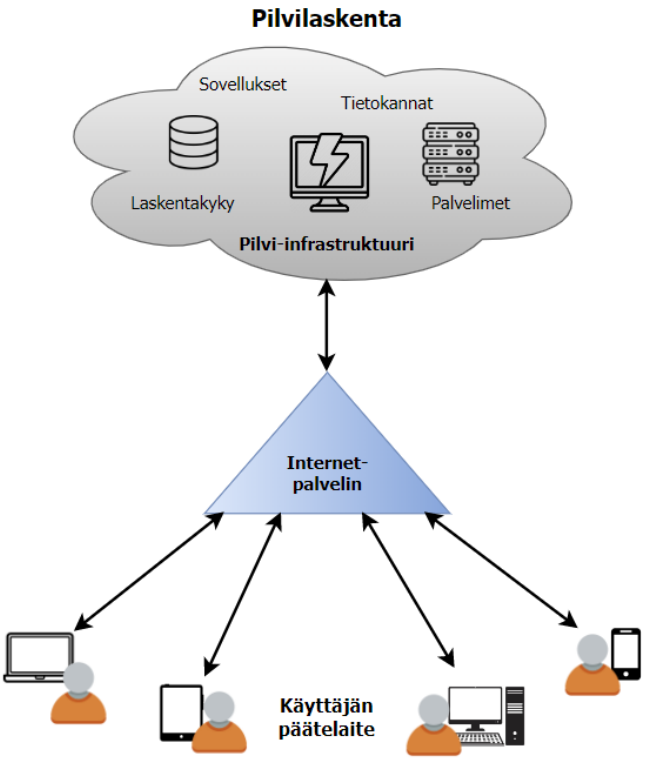
IaaS-mallissa käyttäjä voi hyödyntää ydintoimintoja kuten laskenta- ja prosessointikykyä sekä tallennustilaa. Käyttäjä voi rakentaa oman ympäristönsä näiden toimintojen päälle. Nimestään huolimatta IaaS-mallissakaan käyttäjä ei hallinnoi pilvi-infrastruktuuria. (Mell & Grance 2011; Rountree & Castrillo 2013, s.72) Infrastruktuuri tässä tilanteessa voidaan

nähdä virtuaalisena infrastruktuurina, jossa asiakkaat voivat käyttää resursseja missä ja milloin tahansa (Hamd et al. 2021). Eräs tunnettu IaaS-palvelu on Amazon Elastic Compute Cloud. IaaS-mallin etuna on, että organisaatiot voivat helposti kasvattaa datankäsittelykapasiteettiaan esimerkiksi uuden datakeskuksen rakentamisen sijasta. (Rountree & Castrillo 2013, s.73)

3.2 Pilvilaskenta ja sen toteutus

Pilvilaskenta on tapa tarjota laskentaresursseja ja -palveluita. Se tarkoittaa tarpeen mukaan saatavilla olevaa infrastruktuuria, jonka avulla käyttäjät voivat käyttää laskentaresursseja lähes missä ja milloin tahansa. (Akherfi et al. 2018) Yksinkertaisesti ilmaistuna pilvilaskenta tarkoittaa laskentakapasiteetin tarjoamista palveluna (Cheng 2022). Pilvilaskentapalvelut toteuttavat pilven piirteet ja noudattavat pilvipalvelumallien periaatteita (Hamd et al. 2021; Siedler et al. 2021).

Kuvassa 1 on esitettynä yksinkertaistettu kuvaus pilvilaskennan toteutuksen infrastruktuurista.



Kuva 1. *Pilvilaskennan infrastruktuuri (mukaillen Liu et al. 2019 ja Sicari et al. 2020)*

Pilvi-infrastruktuurissa keskeistä on, että reitti pilveen kulkee Internetin kautta (Akherfi et al. 2018). Päästäkseen Internettiin käyttäjä tarvitsee oman päätelaitteen kuten esimerkiksi tietokoneen (Murad et al. 2022). Pilvilaskentainfrastruktuurissa informaation siirto tapahtuu mobiiliterminaalin ja päätelaitteen välillä mobiiliverkossa (Liu et al. 2019). Mobiiliverkon kautta data kulkee monimutkaisia reittejä pitkin datakeskuksille, joissa laskenta tapahtuu. Pilvilaskennassa laskenta siis tapahtuu täysin mobiililaitteet ulkopuolella. (Akherfi et al. 2018) Perinteinen pilvilaskentatekniikka mobiiliverkoille on etäpilvi (remote cloud). Etäpilvessä mobiililaitteet toimivat palvelun käyttäjinä ja ne saavat laskenta- ja varastointiresursseja mobiiliverkon kautta. Toinen pilvilaskentatekniikka on paikallinen pilvi (local cloud), jossa eri mobiililaitteet yhdistetään verkostoksi, jossa ne voivat jakaa resursseja. Kolmas pilvilaskentatekniikka on hybridipilvi (hybrid cloud). Hybridipilvessä mobiililaite voi purkaa laskennan paikalliseen pilveen, minkä jälkeen paikallinen pilvi purkaa laskennan etäpilveen. (Chen et al. 2015)

3.3 Pilvilaskentapalveluiden hyötyjä ja haasteita

Pilvilaskennan etuina mainitaan yleisimmin sen helppokäyttöisyys, skaalautuvuus, joustavuus, järjestelmien kapasiteetin kasvattaminen ja tarpeen vaatiessa käyttöön otettavuus (Rountree and Castrillo 2013, s.2-6; Liu et al. 2019; Cheng 2022). Satyanarayana ja Abdullah Said (2019) nimeävät artikkelissaan pilvilaskennan tuovan yrityksille kolme pääetua. Ensimmäinen etu pilvilaskennalla on sen tarjoamat suuret laskentaresurssit, joita voi käyttää tarpeen vaatiessa. Käyttäjä voi helposti käyttää palvelun tarjoamia resursseja, milloin itse toiminnassaan niitä tarvitsee. (Satyanarayana & Abdullah Said 2019) Suuret laskentaresurssit auttavat datan jalostamisessa informaatioksi, sillä organisaatiot ovat yhä suuremman tietotulvan ympäröimänä (Laihonen et al. 2013, s. 14). Tietotulva voi lamauttaa organisaation toiminnan, jos tietojärjestelmien prosessointikyky ei ole riittävä tiedon määrään verrattuna (Laihonen et al. 2013, s.43). Suuret laskentaresurssit siis helpottavat tietomäärän hallintaa ja täten myös parantavat tiedon jalostamista. Pilvilaskennan tarjoamat laskentaresurssit helpottavat myös palvelun omien resurssien kohdentamista, sillä ne osaavat ohjata resurssit sinne missä niitä tarvitaan ja poistamaan resursseja sieltä missä toimintaa ei ole (Chen et al. 2015).

Toinen pilvilaskennan tarjoama etu on se, että palvelusta maksetaan vain käytön määrän perusteella (Satyanarayana & Abdullah Said 2019). Käytön määrän perusteella maksaminen alentaa organisaation kustannuksia, sillä verkkopohjaisten palveluiden käyttämisestä maksaminen on halvempaa kuin omien laitteistojen hankkiminen ja ylläpitäminen (Liu et al. 2019; Jyoti et al. 2020; Xu et al. 2022). Kolmantena pilvilaskennan etuna Satyanarayana ja Abdullah Said (2019) nimeävät IT-toimintojen ylläpidon ja hallinnoinnin

yksinkertaistumisen. IT-toimintojen yksinkertaistuminen tarkoittaa, että koska laskentaan tarvittavat resurssit sijaitsevat verkossa, ei käyttäjä tarvitse monimutkaisia tietojärjestelmiä tai suuritehoisia fyysisiä laitteita. Käyttäjän laskenta- ja varastointiresurssit ovat sijoitettuna yhteen paikkaan eli pilveen. (Abu-Lebdeh et al. 2016; Stergiou and Psannis 2022; Xu et al. 2022)

Liu et al. (2019) mainitsevat artikkelissaan erään pilvilaskennan haitan olevan se, että pilvessä sijaitsevat tiedot ovat vähemmän turvassa kuin mitä pelkästään fyysisellä laitteella sijaitsevat tiedot olisivat. Tämän lisäksi pilveen yhteydessä olevat mobiililaitteetkin ovat helpommin jäljitettävissä sekä alttiimpia tietoturvahyökkäyksille, koska ne ovat jatkuvasti yhteydessä verkkoon (Sicari et al. 2020). Toinen pilvilaskennan haaste on sen kuormituksen hallinta. Jos pilvi-infrastruktuurin resurssien kohdennus on heikkoa, johtaa se joidenkin resurssien ylikuormitukseen, kun taas toiset resurssit ovat alikuormittuneita. (Jyoti et al. 2020) Heikko resurssien kohdennus johtuu siitä, että pilvilaskentapalveluiden perinteiset resurssien kohdentamisalgoritmit eivät ole pysyneet ajan tasalla uudemmista kohdentamisen keinoista.

Kolmas pilvilaskennan haaste on, että palvelun resurssien tulisi olla saatavilla täysiaikaisesti. Tämän takaaminen on kuitenkin haastavaa, sillä palvelulle tulevien laskentapyyntöjen määrän on luonteeltaan arvaamaton. Tällöin palveluntarjoaja ei osaa arvioida saapuvan datan ja tarvittavien laskentaresurssien määriä, jolloin resurssien saatavuus on uhattuna. (Murad et al. 2022) Neljäs haaste pilvilaskennalle on sen energiatehokkuus. Datakeskukset, joilla on korkea laskentateho kuluttavat paljon energiaa, jolloin energiatehokkuus voi olla uhattuna. (Murad et al., 2022; Stergiou and Psannis, 2022) Tämä on kuitenkin korjaantumassa, sillä on olemassa datakeskuksia, jotka ovat energiatehokkaampia, mutta joilla kuitenkin on korkea laskentateho (Stergiou and Psannis, 2022).

3.4 Pilvilaskenta 4G-teknologian avulla

4G-teknologia toi markkinoille suuremman kaistanleveyden, nopeamman datan siirtonopeuden, alhaisen viiveen sekä mahdollisuuden yhdistää useampia laitteita (Mitra and Agrawal 2015; Deivakani et al. 2021). Murad et al. (2022) mukaan pilvilaskennan käyttäjien tyytyväisyys on suoraan riippuvainen siitä, kuinka tehokkaasti resurssit ovat kohdennettu, mikä puolestaan on vaikuttaa suoraan palvelun suorituskykyyn. Täten pilviasiakkaat hyötyvät lisääntyneestä kaistanleveydestä, nopeammista suoritusajoista ja nopeammista vasteajoista (Murad et al. 2022).

4G-teknologia toi mukanaan mahdollisuuden käyttää pilvilaskentaa 4G-verkon kautta (Stergiou & Psannis 2022). 4G siis mahdollisti pilvilaskennan käyttämisen mobiililaitteilla

(Ericsson n.d.). Nykypäivän teknisien yksityiskohtien takia 4G-teknologia ei kuitenkaan enää pysty tukemaan tärkeän informaation siirtämistä (Huseien & Shah 2022; Khanh et al. 2022). Lisäksi, Abu-Lebdeh et al. (2016) mukaan 4G-teknologian aikana pilvilaskennan hyödyntäminen on ollut hintavaa, sillä kustannustehokkuus ei ollut 4G-teknologian kehityksessä yhtä tärkeää kuin esimerkiksi kaistanleveyden laajentaminen.

4G-teknologian ja pilvilaskennan yhdistäminen voi kuitenkin olla haasteellista, sillä suuri datan ja palvelupyyntöjen määrä laskee 4G-teknologian suorituskykyä. Tämä alentaa asiakkaille annettua lupausta palvelun laadusta. Palvelun laadun ja suorituskyvyn säilyttämiseksi voidaan 4G-verkon pilvilaskennassa hyödyntää kuormituksen tasapainotuksen mekanismeja, jotka jakavat saapuvan kuorman palvelimiensa kesken ruuhkia aiheuttamatta. (Hamd et al. 2021)

Perinteisesti tietoa on jaettu organisaatioissa fyysisissä tiloissa (Laihonen et al. 2013), tiedon jalostamisen näkökulmasta 4G-teknologia mahdollisti tiedon entistä tehokkaamman jalostamisen. Tiedon jalostaminen tehostui, sillä sen ansiosta tiedon jakaminen oli mahdollista käyttäjän paikasta riippumatta. 4G-teknologian potentiaali tiedon jalostamisen apuvälineenä ei kuitenkaan täysin täyttynyt lisääntyneen tietomäärän takia. Suuren tietomäärän aiheuttama palvelun laadun lasku saattoi myös aiheuttaa käyttäjille epämukavuutta palvelun käyttämisessä. Tämä puolestaan mahdollisesti vaikeutti tiedon jakamista, sillä palvelun käytön epämukavuus saattaa aiheuttaa sen, että palvelua ei käytetä, jolloin myöskään tietoa ei jaeta.

4. 5G-TEKNOLOGIA

5G-teknologia otettiin ensimmäisen kerran laajasti käyttöön vuonna 2019 (Rahman et al. 2022). Tämän jälkeen 5G on ollut tärkein liikkeellepaneva voima mobiiliviestinnän parantamiseksi (Nassef et al. 2022). Pääasialliset tavoitteet 5G-mobiiliverkon kehittämisessä ovat olleet laajempi kaistanleveys ja alhaisempi viive (Mitra and Agrawal 2015).

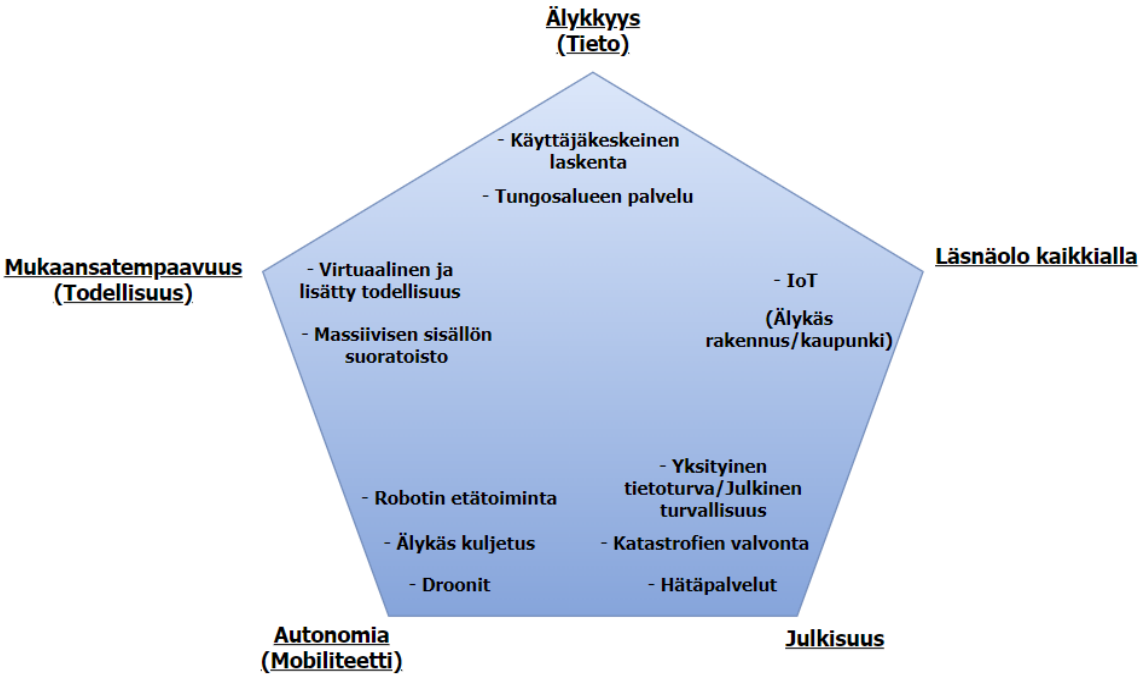
4.1 5G:n ominaisuuksia ja osa-alueita

5G-teknologialla tarkoitetaan uusimman sukupolven mobiiliverkkoja, joiden tyypillisimpinä piirteinä voidaan tunnistaa nopeammat ja luotettavammat yhteydet, mukautuvampi elinympäristö sekä kattavampi datansiirtokyky (Sicari et al. 2020; Siedler et al. 2021). Muita 5G-teknologialle tyypillisiä ominaisuuksia ovat alhaisempi viive ja parempi prosessointikyky (Ferrag et al. 2018; Cheng 2022; Khanh et al. 2022). 5G-teknologian väitetään myös olevan 4G-teknologiaa turvallisempi, energiatehokkaampi sekä vähentävän datankäsittelyn virheitä (Mitra & Agrawal 2015; Deivakani et al. 2021). Nämä ominaisuudet tekevät 5G-teknologian palvelun laadusta 4G-teknologiaa paremman (Ahmed et al. 2020).

Rahman et al. (2022) jakavat 5G:n kolmeen osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat parannettu mobiililaajakaista, erittäin luotettava matalan viiveen viestintä sekä massiivinen konetyyppinen viestintä. Parannettu mobiililaajakaista viittaa 5G-teknologian suurempaan kaistanleveyteen verrattuna 4G-teknologiaan (Siedler et al. 2021; Rahman et al. 2022). Suuremman laajakaistan ansiosta mahdollisen verkossa siirrettävän datan määrä kasvaa. Erittäin luotettava matalan viiveen viestintä viittaa 5G-teknologian ominaisuuteen, jonka ansiosta datansiirrossa esiintyy erittäin matalaa viivettä (Mitra & Agrawal 2015; Rahman et al. 2022). Massiivinen konetyyppinen viestintä viittaa 5G-teknologian kykyyn yhdistää äärettömän määrän laitteita esimerkiksi esineiden internetin, IoT:n (Internet of Things) toteutuksia varten (Siedler et al. 2021; Khanh et al. 2022; Rahman et al. 2022).

5G-teknologian ominaisuudet parantavat tiedon jalostumista, sillä dataa saadaan jaettua käyttäjille entistä nopeammin ja luotettavammin. Datankäsittelyn virheiden väheneminen parantaa datan laatua, minkä ansiosta johdon päätöksenteon tueksi jalostuva tieto on myös entistä laadukkaampaa. Täten organisaatioissa voidaan tehdä parempia päätöksiä, jotka perustuvat jalostettuun tietoon.

Toisin kuin Rahman et al. (2022), Yu et al. (2017) jaottelevat artikkelissaan 5G:n viiteen osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat esitettynä kuvassa 2.



Kuva 2. *5G-teknologian osa-alueita (mukaillen Yu et al. 2017)*

Yu et al. (2017) mukaan 5G-teknologia voidaan jakaa osa-alueisiin, jotka ovat älykkyys, läsnäolo kaikkialla, julkisuus, autonomia ja mukaansatempaavuus. Näiden osa-alueiden alle kuuluu erilaisia käyttökohteita 5G:lle.

4.2 5G-teknologian käyttökohteita

5G-teknologian ominaisuudet mahdollistavat sille monia käyttökohteita. Yu et al. (2017) luokittelun mukaan älykkyyden osa-alueeseen kuuluvia käyttökohteita ovat käyttäjäkeskeinen laskenta sekä tungosalueen palvelu. Tungosalueen palvelu tarkoittaa esimerkiksi konserttien ja stadionien mobiiliverkon vakauden varmistamista. Käyttäjäkeskeisessä laskennassa käyttäjä saa sisältöä, joka pohjautuu datapohjaiseen tietoon. Käyttäjäkeskeinen laskenta on pohjana esimerkiksi henkilökohtaisessa terveydenhuollossa ja psykoterapiassa. (Yu et al. 2017) Käyttäjäkeskeiseen laskentaan liittyy läheisesti pilvilaskenta, joka on yksi keskeisistä 5G-teknologian käyttökohteista (Yu et al. 2017; Siedler et al. 2021).

Kaikkialla läsnäolon osa-alueeseen keskeisin 5G:n käyttökohde on IoT (Yu et al. 2017). IoT:ssä suuri määrä laitteita on kytkettynä verkkoon, jonka kautta ne voivat lähettää, tallentaa ja käsitellä dataa (Bhardwaj 2020; Deivakani et al. 2021). 5G mahdollistaa reaaliaikaisen kontrollin laitteista, joten IoT on helpommin saatavilla kaikkialla (Mitra & Agrawal 2015). Tulevaisuuden IoT-laitteet pystyvät myös M2M-kommunikointiin ja pelkkien laitteiden lisäksi tulevaisuuden IoT-toimintaan lukeutuu myös esimerkiksi älykäs terveydenhuolto, älykkäät rakennukset ja kaupungit sekä älykäs kuljetus (Huseien & Shah 2022; Khanh et al. 2022). Näistä älykäs kuljetus lukeutuu myös autonomian osa-alueeseen (Yu et al. 2017). Älykkäästä kuljetuksesta puhutaan itseohjautuvien kulkuneuvojen kohdalla. Autonomiaan lukeutuvat myös droonit ja robottien etätoiminta. (Yu et al. 2017; Elsayed et al. 2022) Robottien etätoiminta mahdollistaa esimerkiksi leikkauksien suorittamisen etänä mobiiliverkon välityksellä (Rahman et al. 2022). Terveydenhuollon 5G-teknologiasta saamien mahdollisuuksien lisäksi myös esimerkiksi sotilasjärjestelmät hyötyvät 5G-teknologian tuomista mahdollisuuksista (Bhardwaj 2020).

Julkisuuden osa-alueeseen kuuluvia 5G:n käyttökohteita ovat esimerkiksi katastrofien valvonta ja hätäpalvelut. Hätäpalveluihin kuuluvat mahdollisuus antaa lääketieteellistä hoitoa etänä mobiiliverkon välityksellä. Lisäksi hätätilanteessa, joka tapahtuu syrjäisessä paikassa, on mahdollista lähettää paikanpäälle ensiapurobotteja antamaan hoitoa. Katastrofien valvontaan keskeisimpänä kuuluvat sensorit, jotka antavat tietoa esimerkiksi meristä ja tulivuorista, jolloin mahdollisten luonnonkatastrofien ennustaminen ja niihin valmistautuminen on helpompaa. (Yu et al. 2017)

Viides osa-alue Yu et al. (2017) artikkelissa on mukaansatempaavuus. Mukaansatempaavuuteen kuuluu keskeisesti virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden sovellukset (Chen et al., 2021; Yu et al., 2017). Kyseiset sovellukset tarjoavat uudenlaisia, todentuntuisempia, mahdollisuuksia esimerkiksi videopelaamiseen ja terveydenhuoltoon (Huseien and Shah 2022; Rahman et al. 2022). Toinen mukaansatempaavuuden osa-alueeseen kuuluva käyttökohde on sisällön suoratoisto. Mobiililaitteiden yleistyminen ihmisten arkipäiväisessä elämässä on kasvattanut suoratoiston määrää mobiiliverkossa. (Yu et al. 2017; Cheng 2022) Suoratoistossa hyödynnetään yhä edistyneempiä teknologioita kuten esimerkiksi kolmiulotteisuutta, joita 5G-teknologia tukee (Yu et al. 2017).

4.3 5G-teknologian tarve

Mobiililaitteiden kysynnän puhkeaminen loi taakan olemassa oleville mobiiliverkoille (Ahmed et al. 2020). Tätä ongelmaa ratkaisemaan kehitettiin 5G-teknologia. (Ahmed et al. 2020; Huseien & Shah 2022) Ihmisten elämästä on tullut mobiiliviestinnästä riippuvaista, mikä on luonut valtavan datan lisääntymisen verkkoliikenteessä (Ahmed et al. 2020).

Dataliikenteen kiihtyminen jatkuu edelleen, jolloin mobiiliverkon on kyettävä selviytymään massiivisesta datan määrästä (Cheng 2022). Koska ihmiset ovat entistä riippuvaisempia tietotekniikan antamasta avusta tietotarpeiden täyttämisessä, vaaditaan mobiiliverkkojen palveluilta korkeaa laatua. Korkeaan laatuun liittyvät läheisesti korkea datansiirtonopeus ja alhainen viive. (Sicari et al. 2020; Dahlman et al. 2021) Nämä seikat huomioiden 5G-teknologian ominaisuudet ovat tulevaisuuden mobiiliviestinnälle otolliset. (Cheng 2022)

5G-teknologian tuomista mahdollisuuksista huolimatta 5G on kokenut myös vastustusta, sillä sen on väitetty aiheuttavan ihmisille terveyshaittoja. 5G:tä on esimerkiksi syytetty COVID-19 pandemian synnystä. (Ahmed et al. 2020; Rahman et al. 2022) Kuitenkin nyky-yhteyskunnan tavoitteet mobiiliviestinnälle ja esimerkiksi esineiden internetille, ajavat 5G-teknologian kehitystä eteenpäin kohti seuraavaa mobiiliteknologian sukupolvea (Chen et al. 2021; Dahlman et al. 2021).

Organisaatioiden tiedon jakamisen ja jalostamisen näkökulmasta 5G-teknologialle on kysyntää. Organisaatioiden kokeman tietotulvan myötä organisaatiot tarvitsevat entistä tehokkaampia työkaluja tiedonhallintaan, joten 5G-teknologian ominaisuudet saattavat helpottaa tietotulvan haastetta. Esimerkiksi laajempi kaistanleveys mahdollistaa suuremman datamäärän kuljettamisen mobiiliverkon kautta käyttäjille, mikä voi nopeuttaa tiedon jalostumista. Toisaalta käyttäjien vastaanottama suurempi datamäärä voi tuntua käyttäjästä kuormittavalta, jolloin käyttäjien tekemä tiedon jalostaminen voi hidastua.

5. 5G-MOBIILIVERKON VAIKUTUKSIA PILVILASKENTAPALVELUILLE

Mobiiliviestinnän määrän lisääntyminen on tuonut mobiiliverkkoihin mukanaan lisääntyneen datan määrän (Sicari et al. 2020). Tätä dataa halutaan päästä käsittelemään ja jalostamaan joustavasti. 5G-teknologia on 2020-luvun väistämätön ilmiö, joka on tuonut mukanaan mahdollisuuksia uusien teknologioiden käyttöönotolle sekä paremmalle hyödyntämiselle. Yksi näistä teknologioista on pilvilaskenta, jonka palvelun laatu hyötyy 5G:n ominaisuuksien tuomista eduista. (Cheng 2022)

5.1 5G-teknologian tuomia mahdollisuuksia pilvilaskennalle

5G-teknologia toi mukanaan virtualisoinnin, mikä mahdollisti pilvilaskennan käyttöönoton suurella skaalalla. Tämä teki pilvilaskennasta entistä skaalautuvamman. (Kuaban et al. 2021) 5G-teknologian käyttöönoton myötä suurimman osan mobiililaitteista odotetaan liittyvän pilveen (Yu et al. 2017). Rahman et al. (2022) mukaan vuoteen 2025 mennessä, 5G-pilven odotetaan kattavan kolmasosan maailman väestöstä, mikä tarkoittaisi 1,8 miljardia yhteyttä. Entistä paremman mobiililaitteiden yhdistettävyyden voidaan olettaa parantavan tiedon jakamista, sillä sen ansiosta suurempi osa käyttäjiä pääsee käsiksi pilvessä sijaitsevaan tietoon. Kun enemmän ihmisiä pääsee käsittelemään tietoa, nopeutuu myös tiedon jalostuminen datasta organisaatioiden toiminnan kannalta hyödylliseksi tietämykseksi.

5G-teknologian keskeisiä ominaisuuksia ovat suurempi kaistanleveys, alhaisemmat viiveet, suurempi luotettavuus ja mahdollisuus liittää yhä enemmän laitteita yhteen (Siedler et al. 2021). Verrattuna 4G-teknologiaan 5G on siis parantanut pilvilaskentapalveluiden laatua, sillä 4G-verkkoja ei ollut suunniteltu suurten datamassojen hallitsemiseen. Kun suuret datamassat täyttivät pilvipalvelun kapasiteetin, pilvilaskennan suorituskyky laski. 5G-teknologian keskeiset ominaisuudet sen sijaan ovat tuoneet pilvilaskennalle huomattavia mahdollisuuksia (Nassef et al. 2022).

5G:n takaama suuri kaistanleveys mahdollistaa entistä suuremman datan määrän viemisen pilveen. 5G:llä on myös äärettömän suuri prosessointikyky, mikä omalta osaltaan voi parantaa pilvilaskennan laskentakykyä. Lisäksi tämä voi auttaa energiatehokkuuden ongelman suhteen. (Nassef et al. 2022) 5G-teknologian rajaton prosessointikyky voi parantaa tiedon jalostumista organisaatioissa, sillä sen avulla dataa voidaan käsitellä en-

tistä nopeammin ja varmemmin. Varmempi datankäsittely parantaa myös käsittelyn tuottaman, jalostetun tiedon laatua. Kaikki yllä mainitut tekijät vaikuttavat positiivisesti pilvilaskennan palvelun laatuun (Chen et al. 2015; Sicari et al. 2020).

5G-teknologia mahdollistaa datansiirron reaaliaikaisesti eli pienemmällä viiveellä. Tämä pienentää myös pilvilaskennan datansiirron viivettä. (Siedler et al. 2021) 5G-verkossa toimivan pilvilaskentapalvelun palvelun laatua kasvattaa se, kuinka 5G mahdollistaa mobiiliviestimien kuten älypuhelimien käyttämisen laskentalaitteistoina (Sicari et al., 2020; Deivakani et al., 2021). Tämä vaadittujen laitteistojen määrän pieneneminen yhdistettynä 5G-teknologian energiatehokkuuteen voi laskea pilvilaskennan kuluja entistä alhaisimmiksi. (Satyanarayana & Abdullah Said 2019; Nassef et al. 2022) 4G-teknologian aikakaudella pilvilaskennan kustannustehokkuus ei ollut pääasiallinen tavoite, vaan keskeisempää oli mobiiliverkon ominaisuuksien kuten kaistanleveyden parantaminen.

Laihonen et al. (2013) mukaan tieto- ja viestintäteknologia on keskeinen osa datan ja informaation analysointia, varastointia ja jakamista. Tieto- ja viestintäteknologian kehittyminen on myös mahdollistanut uusia mahdollisuuksia tiedon jalostamiseksi ja jakamiseksi (Laihonen et al. 2013, s.6). Tietotekniikan kehittyminen on esimerkiksi mahdollistanut koulutuksiin tai seminaareihin osallistumisen verkossa, jolloin tietoa voidaan jakaa reaaliaikaisesti ja paikkariippumattomasti (Laihonen et al. 2013, s.75). Nämä seikat huomioon ottaen voidaan todeta 5G-teknologian pilvilaskentapalveluille tuomien hyötyjen mahdollistavan organisaatioille entistä paremman tiedolla johtamisen kulttuurin omaksumisen. Tiedolla johtamisen kulttuuri vahvistuu, kun tiedon jakaminen, analysointi ja varastointi tulevat saumattomaksi osaksi organisaatioiden toimintaa. Saumaton tiedolla johtamisen kulttuuri parantaa myös organisaatioiden päätöksentekoa, sillä tällöin tieto jalostuu tehokkaammin ja jalostetun tiedon laatu on parempi kuin organisaatioissa, joissa kyseistä kulttuuria ei olla omaksuttu.

5.2 5G-teknologian tuomia haasteita pilvilaskennalle

Keskeisin haaste pilvilaskennassa 5G-verkossa on turvallisuus. Pilvilaskentapalveluissa on lukuisia laitteita yhteydessä toisiinsa pilvi-infrastruktuurin välityksellä, jolloin pilvi altistaa laitteet alttiiksi esimerkiksi hyökkäyksille. (Bhardwaj 2020; Sicari et al. 2020) Laitteiden yhteydessä oleminen vaikuttaa myös käyttäjän ja datan yksityisyyden hallintaan, sillä 5G-pilvessä lukuisien käyttäjien ollessa yhteydessä toisiinsa ei voida olla varmoja, kuinka paljon kukin tietää toisten käyttäjien tietoja (Bhardwaj 2020; Sicari et al. 2020). Toisaalta, koska pilvilaskentapalveluissa data on keskitettynä yhteen paikkaan, ei se välttämättä pysty takaamaan tietojen avoimuutta (Huseien & Shah 2022). Pilvilaskennan

turvallisuudesta 4G-verkon aikana ei tässä tutkimuksessa ollut saatavilla aineistoa. Voidaan kuitenkin olettaa, että vaikka turvallisuus on 5G-teknologian aikakauden pilvilaskennassa suuri haaste, on se kuitenkin keskimäärin parempi kuin 4G-teknologian pilvilaskennassa. Pilvilaskenta 5G-teknologian avulla on todennäköisesti turvallisempaa kuin 4G-teknologian avulla, koska pilvilaskennassa 4G:n aikana keskityttiin pääasiassa teknisten ominaisuuksien kuten datansiirtonopeuden parantamiseen ja esimerkiksi kustannustehokkuus jäi vähemmälle huomiolle. Täten voidaan olettaa myös turvallisuuteen keskittymisen jääneen taka-alalle.

Toinen keskeinen 5G-teknologian kasvattama haaste pilvilaskennalle on suuri datan määrä. Mobiiliviestinnän määrä on ollut kasvussa jo ennen 5G-teknologiaa, mutta viidennen sukupolven mobiiliverkon myötä määrä on kasvamassa yhä enemmän. (Mitra & Agrawal 2015) Tämä puolestaan tarkoittaa, että verkossa liikkuvan datan määrä kasvaa myös. Mitä enemmän dataa pilven läpi liikkuu, sitä enemmän laskentatehoa pilvi-infrastruktuurilta vaaditaan. Suuri datan määrä oli myös 4G-mobiiliverkon aikana pilvilaskennassa suuri haaste. Toisaalta 5G-teknologia on kasvattanut mobiililaitteiden ja verkossa liikkuvan datan määrää, joten datan suuri määrä saattaa olla 5G-teknologian pilvilaskennassa suurempi haaste kuin 4G-teknologian aikana.

5G-teknologia on yleistämässä esineiden internetin toteutuksia. (Yu et al. 2017) Toisaalta myös pilvipalveluiden yleistyminen ja mahdollisuus tietoresurssien keskittämiselle on lisännyt IoT:n yleisyyttä (Huseien & Shah 2022). 4G-mobiiliverkko ei tukenut esineiden internetin toteutuksia. IoT-laitteiden sensorit ja lukijat ovat mobiiliverkon kautta yhteydessä pilveen, mikä puolestaan lisää pilven datamäärää entisestään (Deivakani et al. 2021; Siedler et al. 2021). Lisääntynyt datan määrä asettaa myös haasteita resurssien kohdentamiselle ja kuorman tasapainottamiselle (Bhardwaj 2020; Jyoti et al. 2020). Resurssien kohdentaminen ja kuorman tasapainotus olivat keskeisiä haasteita myös 4G-teknologian aikakauden pilvilaskennassa.

6. YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli löytää 5G-teknologian tuomia vaikutuksia pilvilaskentapalveluille. Tarkoituksena oli löytää positiivisten vaikutusten lisäksi myös mahdollisia haittavaikutuksia. Tässä luvussa kootaan yhteen tutkimuksen tärkeimmät tulokset ja päätelmät. Luvussa myös arvioidaan tutkimuksen toteutusta sekä esitellään jatkotutkimusmahdollisuudet.

6.1 Tutkimuksen tulokset

Tutkimus tarkasteli 5G-teknologian tuomia vaikutuksia pilvilaskentapalveluille. 5G-teknologia on tuonut IT-maailmaan entistä parempia ominaisuuksia ja mahdollistaa uusien teknologioiden helpomman käyttöönoton. Yksi näistä teknologioista on pilvilaskenta, joka on 5G-teknologian ilmestymisen jälkeen kasvattanut suosiotaan yleisessä käytössä. 4G-teknologia ei tuonut mukanaan yhtä suuria määriä uusia teknologioita kuin 5G, mutta pilvilaskennan kannalta sen ilmestyminen oli olennaista, sillä 4G mahdollisti pilvilaskennan toteuttamisen mobiililaitteilla. Pilvilaskennan palvelun laatu kuitenkin jäi 4G-teknologian aikana vielä alhaiseksi, sillä 4G-teknologian aikana kehityksessä keskityttiin pääasiassa kaistanleveyden ja datansiirtokyvyn parantamiseen.

5G-teknologian pilvilaskennalle tuomia hyötyjä on parantunut datansiirtokyky, pienempi viive ja parempi skaalautuvuus. Näistä hyödyistä voidaan päätellä 5G-teknologian parantavan pilvilaskennan palvelun laatua verrattuna 4G-teknologian aikakauden palveluun. Parantuneen palvelun laadun voidaan olettaa kasvattavan pilvilaskentapalveluiden suosiota vielä entisestään. Parantunut palvelun laatu voi myös parantaa tiedolla johtamista organisaatioissa, sillä käyttäjät jakavat tietoa mieluummin laadultaan hyvässä palvelussa. Korkeampi tiedon jakamisen taso tarkoittaa nopeampaa ja parempaa tiedon jalostumisen tasoa. Mitä paremmin ja korkeammalle tasolle tieto jalostuu, sitä laadukkaampaa tietoa organisaation johto saa päätöksenteon tueksi.

5G-teknologia ei kuitenkaan tuo pelkästään hyötyjä pilvilaskennalle. Tutkimuksessa havaittiin 5G-teknologian tuovan pilvilaskennalle haasteita, jotka liittyvät turvallisuuteen ja systeemin datansietokykyyn. Pilvilaskentapalveluun on yhteydessä lukuisia laitteita, jotka mobiiliverkkoyhteyden myötä ovat alttiimpia tietoturvaongelmille. Lukuisat laiteyhteydet ja 5G-verkon lisääntynyt datansiirto kasvattavat myös pilvilaskentapalveluiden datan määrää. Kasvanut datan määrä kuormittaa palvelua, jolloin voi esiintyä ongelmia kuorman hallinnassa sekä resurssien kohdistamisessa. Haasteista huolimatta voidaan

todeta pilvilaskentapalveluiden palvelun tason olevan korkeampi 5G-teknologian aikana verrattuna 4G-teknologian pilvilaskentaan.

Kaikki 5G-teknologian pilvilaskennalle tuomat vaikutukset huomioon ottaen voidaan todeta 5G-teknologian olevan pilvilaskentapalveluille positiivinen asia. Pilvilaskentapalveluiden palvelun laatu kasvaa parantuneen datansiirtokyvyn ja laskentakapasiteetin myötä. Palveluiden toteuttajien tulee kuitenkin huomioida turvallisuuteen ja kuorman tasapainotukseen liittyvät ongelmakohdat esimerkiksi palomuurien ja tasapainotusmekanismien avulla. 5G-teknologian kehittymisen myötä voidaan olettaa myös näiden ongelmien parantuvan ajan mittaan.

6.2 Tulosten arviointi ja jatkotutkimusmahdollisuudet

Tutkimuksen alatutkimuskysymys oli, millaista pilvilaskenta on ollut 4G-teknologian aikakaudella. Alatutkimuskysymys tuki päätutkimuskysymykseen vastaamista. Alakysymykseen löydettiin melko kattavasti esimerkkejä, jolloin kysymykseen saatiin muodostettua vastaus. 4G-teknologiaan liittyvää tutkimusaineistoa löytyi hyvin, mutta 4G-teknologian vaikutuksista pilvilaskentaan liittyvää aineistoa oli rajallisemmin. Tämän seurauksena tulokset jäivät hieman vajavaisiksi. Erityisesti pilvilaskennan haasteista 4G-teknologian aikakaudella olisi ollut hyvä saada enemmän esimerkkejä. Pilvilaskentaan sekä 5G-teknologiaan liittyvien teoriataustojen tutkimiseen löytyi hyvin aineistoa ja kyseiset luvut taustoittavat tutkimusta erinomaisesti.

Päätutkimuskysymykseen saatiin muodostettua kohtalaisen hyvä vastaus. Kuitenkin, koska tutkimusaineistoon kuuluvat artikkelit olivat suurilta osin matemaattisiin malleihin perustuvia, oli niistä tutkimuskysymykseen vastaavan tiedon löytäminen ajoittain haastavaa. Pilvilaskentapalveluiden saamien hyötyjen lista vastasi hyvin oletettua. Mahdollisten haasteiden lista sen sijaan oli hieman lyhyt, vaikka pilvilaskennalla on vielä nykypäivänä varmasti muitakin kehitys- tai haastekohtia.

Tutkimus oli kokonaisuudessaan onnistunut, sillä molempiin tutkimuskysymyksiin löydettiin vastaukset ja tutkimuksen tavoitteisiin päästiin. Tutkimuksen aiheeseen saatiin myös hyvin yhdistettyä tietojohtamisen teoreettista taustaa, vaikka tutkimuksen aihe olikin näkökulmaltaan keskimääräistä tietojohtamisen kandidaatintyötä teknisempi. Tietojohtamisen näkökulman mukaan tuominen tutkimukseen syvensi tutkimuksen analyysia.

Aiheeseen liittyvien tulevien tutkimusten kannattaa suurimmilta osin säilyttää tämän tutkimuksen rajaus. Pilvilaskentapalveluiden saamia vaikutuksia voidaan noin viiden vuoden päästä alkaa tutkia kuudennen sukupolven mobiiliverkon 6G:n tuomien vaikutusten

näkökulmasta. Siihen asti 5G:n tuomia vaikutuksia voidaan tutkia esimerkiksi mobiilipilvilaskennan näkökulmasta, sillä tutkimusta suoritettaessa vastaan tuli useampia kyseiseen aiheeseen liittyviä artikkeleita. Aiemmat aiheeseen liittyvät tutkimukset liittyivät pääosin pilvilaskennan ja 5G-teknologian teknisten ominaisuuksien tutkimiseen, joten kolmas mahdollinen jatkotutkimusmahdollisuus voisi olla 5G-teknologian pilvilaskennalle tuomien vaikutusten tutkiminen tiedolla johtamisen näkökulmasta. Täten tämän tutkimuksen pohdintoja voitaisiin syventää vielä enemmän.

LÄHTEET

Abu-Lebdeh, M., Sahoo, J., Glitho, R. & Tchouati, C.W. (2016). Cloudifying the 3GPP I multimedia subsystem for 4G and beyond: A survey. IEEE Commun. Mag. 54, 91–97. https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7378432

Ahmed, W., Vidal-Alaball, J., Downing, J. & López Seguí, F. (2020). COVID-19 and the 5G Conspiracy Theory: Social Network Analysis of Twitter Data. J. Med. Internet Res. 22, e19458. https://doi.org/10.2196/19458.

Akherfi, K., Gerndt, M. & Harroud, H. (2018). Mobile cloud computing for computation offloading: Issues and challenges. Appl. Comput. Inform. 14, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.aci.2016.11.002.

Bhardwaj, A. (2020). 5G for Military Communications. Procedia Comput. Sci. 171, 2665–2674. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.289.

Chen, M., Zhang, Y., Hu, L., Taleb, T. & Sheng, Z. (2015). Cloud-based Wireless Netw ork: Virtualized, Reconfigurable, Smart Wireless Network to Enable 5G Technologies. Mob. Netw. Appl. 20, 704–712. https://doi.org/10.1007/s11036-015-0590-7.

Chen, X., Ng, D.W.K., Yu, W., Larsson, E.G., Al-Dhahir, N. & Schober, R. (2021). Massive Access for 5G and Beyond. IEEE J. Sel. Areas Commun. 39, 615–637. https://doi.org/10.1109/JSAC.2020.3019724.

Cheng, Y. (2022). 5G Mobile Virtual Reality Optimization Solution for Communication and Computing Integration. Mob. Netw. Appl. 27, 912–925. https://doi.org/10.1007/s11036-021-01812-7.

Dahlman, E., Mildh, G., Parkvall, S., Persson, P., Wikström, G. & Murai, H. (2021). 5G Evolution and Beyond. IEICE Trans. Commun. E104.B, 984–991. https://doi.org/10.1587/transcom.2020FGI0001.

Deivakani, M., Neeraja, B., Reddy, K.S., Sharma, H. & Aparna, G. (2021). Core Technologies and Harmful Effects of 5G Wireless Technology. J. Phys. Conf. Ser. 1817, 012006. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1817/1/012006.

Elsayed, M.M., Hosny, K.M., Fouda, M.M. & Khashaba, M.M. (2022). Vehicles communications handover in 5G: A survey. ICT Express S2405959522000054. https://doi.org/10.1016/j.icte.2022.01.005.

Ericsson. (n.d.). 5G vs 4G. URL https://www.ericsson.com/en/5g/5g-vs-4g (viitattu 28.11.22).

Ferrag, M.A., Maglaras, L., Argyriou, A., Kosmanos, D. & Janicke, H. (2018). Security for 4G and 5G cellular networks: A survey of existing authentication and privacy-preservi ng schemes. J. Netw. Comput. Appl. 101, 55–82. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.10.017.

Fink, A. (2019). Conducting research literature reviews: from the Internet to paper, 4th ed. Thousand Oaks Calif. : Sage.

Hamd, R.J., Ali Yahiya, T. & Kirci, P. (2021). Multicellular 4G and load balancing over cloud computing. Concurr. Comput. Pract. Exp. 33. https://doi.org/10.1002/cpe.6294.

Huseien, G.F. & Shah, K.W. (2022). A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore. Energy AI 7, 100116. https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100116.

Jyoti, A., Shrimali, M., Tiwari, S. & Singh, H.P. (2020). Cloud computing using load balancing and service broker policy for IT service: a taxonomy and survey. J. Ambient Intell. Humaniz. Comput. 11, 4785–4814. https://doi.org/10.1007/s12652-020-01747-z.

Khanh, Q.V., Hoai, N.V., Manh, L.D., Le, A.N. & Jeon, G. (2022). Wireless Communication Technologies for IoT in 5G: Vision, Applications, and Challenges. Welcoming. Mob. Comput. 2022, 1–12. https://doi.org/10.1155/2022/3229294.

Kuaban, G.S., Atmaca, T., Kamli, A., Czachórski, T. & Czekalski, P. (2021). Performance Analysis of Packet Aggregation Mechanisms and Their Applications in Access (e.g., IoT, 4G/5G), Core, and Data Centre Networks. Sensors 21, 3898. https://doi.org/10.3390/s21113898.

Kung, H., Kuo, T., Chen, C. & Hsu, Y. (2018). Two-stage cloud service optimisation model for cloud service middleware platform. J. Eng. 2018, 155–161. https://doi.org/10.1049/joe.2017.0824.

Laihonen, H., Hannula, M., Helander, N., Ilvonen, I., Jussila, J., Kukko, M., Kärkkäinen, H., Lönnqvist, A., Myllärniemi, J., Pekkola, S., Virtanen, P., Vuori, V. & Yliniemi, T. (2013) Tietojohtaminen. Tampereen teknillinen yliopisto, Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos.

Liu, X., Shi, G. & Fan, J. (2019). Design of remote security control system based on 4G. J. Phys. Conf. Ser. 1176, 052026. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1176/5/052026.

Mell, P. & Grance, T. (2011). Cloud computing. The NIST Definition of Cloud Computing. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145.

Mitra, R.N. & Agrawal, D.P. (2015). 5G mobile technology: A survey. ICT Express 1, 132–137. https://doi.org/10.1016/j.icte.2016.01.003

Murad, S.A., Muzahid, A.J.M., Azmi, Z.R.M., Hoque, M.I. & Kowsher, M. (2022). A review on job scheduling technique in cloud computing and priority rule based intelligent framework. J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci. 34, 2309–2331. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.03.027.

Nassef, O., Sun, W., Purmehdi, H., Tatipamula, M. & Mahmoodi, T. (2022). A survey: Distributed Machine Learning for 5G and beyond. Comput. Netw. 207, 108820. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108820.

Oredo, J. & Dennehy, D. (2022). Exploring the Role of Organizational Mindfulness on Cloud Computing and Firm Performance: The Case of Kenyan Organizations. Inf. Syst. Front. https://doi.org/10.1007/s10796-022-10351-9.

Rahman, M.M., Khatun, F., Sami, S.I. & Uzzaman, A. (2022). The evolving roles and impacts of 5G enabled technologies in healthcare: The world epidemic COVID-19 issues. Array 14, 100178. https://doi.org/10.1016/j.array.2022.100178.

Rountree, D. & Castrillo, I. (2013). The Basics of Cloud Computing: Understanding the Fundamentals of Cloud Computing in Theory and Practice. Elsevier Science & Technology Books.

Satyanarayana, D. & Abdullah Said, A.K. (2019). A Compression based Energy Efficient Protocol for Mobile Cloud Computing. Int. J. Eng. Adv. Technol. 8, 77–81. https://doi.org/10.35940/ijeat.F1013.0986S319.

Schlosser, R.W., Wendt, O., Bhavnani, S. & Nail-Chiwetalu, B. (2006). Use of information-seeking strategies for developing systematic reviews and engaging in evidencebased practice: the application of traditional and comprehensive Pearl Growing. A

review, International Journal of Language & Communication Disorders. Vol. 41(5), s. 567– 582.

Sicari, S., Rizzardi, A. & Coen-Porisini, A. (2020). 5G In the internet of things era: An overview on security and privacy challenges. Comput. Netw. 179, 107345. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107345.

Siedler, C., Mertes, J., Yi, L., Glatt, M., Schellenberger, C., Schotten, H.D. & Aurich, J.C. (2021). 5G as an enabler for cloud-based machine tool control. Procedia CIRP 104, 235–240. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.040.

Stergiou, C.L. & Psannis, K.E. (2022). Digital Twin Intelligent System for Industrial IoT-based Big Data Management and Analysis in Cloud. Virtual Real. Intell. Hardw. 4, 279–291. https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.05.003.

Xu, C., Du, X., Fan, X., Giuliani, G., Hu, Z., Wang, W., Liu, J., Wang, T., Yan, Z., Zhu, J., Jiang, T. & Guo, H. (2022). Cloud-based storage and computing for remote sensing big data: a technical review. Int. J. Digit. Earth 15, 1417–1445. https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2115567.

Yu, H., Lee, H. & Jeon, H. (2017). What is 5G? Emerging 5G Mobile Services and Network Requirements. Sustainability 9, 1848. https://doi.org/10.3390/su9101848.

LIIITTEET

Liite A: Kirjallisuuskatsauksen keskeisimmät tutkimusaineistot

Julkaisija(t)	Julkaisuvuosi	Julkaisu	Julkaisun keskeinen sisältö
Akherfi et al.	2016	Mobile cloud computing for computation offloading: Issues and challenges	Artikkelissa esitellään nykyisiä datanpurkukehyksiä ja laskennan purkutekniikoita sekä analysoidaan niitä. Lisäksi tutkitaan erilaisia kehysten toteutukseen liittyviä parametreja kuten esimerkiksi purkamismenetelmiä.
Chen et al.	2015	Cloud-based Wireless Network: Virtualized, Reconfigurable, Smart Wireless Network to Enable 5G Technologies.	Artikkelissa esitellään neljästä komponentista koostuva, pilvipohjainen, langaton mobiiliverkkoarkkitehtuuri.
Cheng	2021	5G Mobile Virtual Reality Optimization Solution for Communication and Computing Integration	Artikkelissa esitellään hierarkkinen hajautettu pilvipalveluverkkomalli. Lisäksi esitellään algoritmi tehtävän purkamiseksi pienisoluisessa pilviskenaariossa.
Mell & Grance	2011	Cloud computing	National Institute of Science and Technology:n määritelmä pilvilaskennalle.
Murad et al.	2022	A review on job scheduling technique in cloud computing and priority rule based intelligent framework	Artikkeli arvioi koulutukseen perustuvia työn ajoitusalgoritmeja pilvessä. Lisäksi artikkeli antaa käsityksen algoritmin resurssien allokointisysteemien eduista ja haitoista.
Rahman et al.	2022	The evolving roles and impacts of 5G enabled technologies in healthcare: The world epidemic COVID-19 issues	Artikkeli antaa katsauksen 5G-teknologian ja sen sovellusteknologioiden kuten tekoälyn ja koneoppimisen mahdollisuuksista terveydenhuollossa.
Rountree & Castrillo	2013	The Basics of Cloud Computing: Understanding the Fundamentals of Cloud Computing in Theory and Practice.	Kyseinen kirja on perusteos pilvipalveluista ja pilvilaskennasta.
Sicari et al.	2020	5G In the internet of things era: An overview on security and privacy challenges	Artikkeli analysoi 5G-teknologian turvallisuus- ja yksityisyysratkaisujen nykytilaa. Lisäksi artikkelissa pohditaan 5G:n tulevaisuuden turvallisuusratkaisuja.
Siedler et al.	2021	5G as an enabler for cloud-based machine tool control	Artikkeli tutkii verkkopohjaisten koneiden ohjausjärjestelmien vaatimuksia ja mahdollisuuksia.