

Juuso Järvi

**MOBIILIEEN PILVIPALVELUJEN UUSI NÄKEMYS:
TILAPÄINEN MOBIILI PILVI**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS
2014

TIIVISTELMÄ

Järvi, Juuso

Mobiilien pilvipalvelujen uusi näkemys: tilapäinen mobiili pilvi

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2014, 35 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatin tutkielma

Ohjaaja: Veijalainen, Jari

Mobiililaitteiden määrä on viime vuosina kasvanut nopeasti ja niitä käytetään yhä enemmän kaikkeen tietojenkäsittelyyn. Vaikka mobiililaitteiden teknologia on kehittynyt, eivät ne edelleenkään sovellu hyvin vaativimpiin laskentatehtäviin, kuten kuvankäsittelyyn. Tässä tutkielmassa pohdittiin, kuinka mobiililaitteiden resursseja voitaisiin tarvittaessa laajentaa hyödyntämällä tilapäistä mobiilia pilveä, jossa toistensa läheisyydessä sijaitsevat mobiililaitteet toimisivat ulkoisina resursseina. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja tarkoitus oli määritellä uuden näkemyksen mukaiset mobiilit pilvipalvelut, tarkastella millaisia haasteita niiden yleistymiselle vielä on sekä pohtia, millaisia mahdollisuuksia mobiileilla pilvipalveluilla voi tulevaisuudessa olla.

Keskeisinä tuloksina todettiin, että mobiilien pilvipalvelujen uuteen näkemykseen viitataan usein termillä tilapäinen mobiili pilvi. Siinä mobiililaitteet voivat yhdistyä paikallisen langattoman verkon tai mobiiliyhteyden avulla. Verkko on luonteeltaan ad hoc -tietoliikenneverkko, eli siinä ei ole kiinteää topologiaa, vaan verkon solmut organisoituvat itsenäisesti. Tällaisessa mobiilissa pilvessä voidaan saavuttaa perinteisen pilvipalvelun kaltainen toiminnallisuus, ilman että laitteiden tarvitsee olla yhteydessä kaukana sijaitsevaan palvelinkeskukseen. Tilapäisen mobiilin pilven yleistymisen haasteet liittyvät mobiililaitteista johtuviin ongelmiin, pilven yleisistä vaatimuksista johtuviin ongelmiin sekä käyttäjistä johtuviin ongelmiin. Tulevaisuudessa tilapäinen mobiili pilvi voi tuoda uudenlaisia mahdollisuuksia sekä käyttäjille että palveluntarjoajille. Käyttäjien mahdollisuuksia ovat ulkoisten resurssien hyödyntäminen ilman kattavia datayhteyksiä, perinteisten SaaS-, PaaS- ja IaaS-mallien siirtäminen mobiilin pilven kontekstiin ja helppo datan siirrettävyys paikallisessa verkossa. Tilapäisen mobiilin pilven sovellusten ja palveluiden yleistyessä myös laite- ja ohjelmistovalmistajat sekä teleoperaattorit voivat saavuttaa uusia liiketoiminnallisia mahdollisuuksia.

Asiasanat: pilvipalvelut, mobiililaitteet, mobiililaskenta, rakenteettomat verkot

ABSTRACT

Järvi, Juuso

A new view of mobile cloud computing: ad hoc mobile cloud

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2014, 35 p.

Information Systems Science, Bachelor's Thesis

Supervisor: Veijalainen, Jari

The number of mobile devices has grown rapidly in a few years and more and more of our computing is done with these handheld devices. However mobile devices are not the best alternative for more demanding computing tasks. The purpose of this bachelor's thesis was to study how the resources of these mobile devices could be expanded on-demand, by utilizing an ad hoc mobile cloud, where other mobile devices in each other's vicinity would act as an external resource. The aim was to define the new view of mobile cloud computing and examine what challenges and possibilities we are facing related to this concept.

The new view of mobile cloud computing is often referred to as ad hoc mobile cloud. In this view mobile devices can be pooled using a dynamic local wireless network or mobile connection. In this mobile cloud functionality similar to a traditional cloud computing service can be achieved without the need to connect to a remote server. The challenges are related to the problems with mobile devices, general requirements of the mobile cloud and problems with the users. In the future ad hoc mobile cloud could provide different possibilities to users and also to the service providers. The possibilities among users are using external resources without good data connections, transferring SaaS-, PaaS- and IaaS-models to the context of mobile cloud and ease of migrating data in local clouds. Ad hoc mobile cloud might also offer some new business possibilities to the vendors and telecommunications operators.

Keywords: cloud computing, mobile devices, mobile computing, ad hoc -networks

KUVIOT

KUVIO 1 Mobiililaite käyttää ulkoisena resurssina muualla sijaitsevaa pilveä sovellusta suorittaessaan	12
KUVIO 2 P2P-järjestelmien luokittelu	13
KUVIO 3 Virtuaalinen pilvi, joka muodostuu lähellä sijaitsevista mobiililaitteista.....	15
KUVIO 4 Esimerkki tilapäisen mobiilin pilven hyödyntämisestä tiedonsiirrossa	26

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
KUVIOT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 MITÄ OVAT MOBIILIT PILVIPALVELUT ?.....	9
2.1 Pilvipalvelut	9
2.2 Nykyinen näkemys mobiileista pilvipalveluista	11
2.3 Vertaisverkko	12
2.4 Ad hoc -verkko.....	13
2.5 Mobiilien pilvipalvelujen uusi näkemys	14
3 MITÄ HAASTEITA MOBIILEILLA PILVIPALVELUILLA ON?	18
3.1 Mobiililaitteisiin liittyvät haasteet.....	18
3.2 Tilapäisen mobiilin pilven vaatimukset	20
3.3 Käyttäjiin liittyvät haasteet.....	22
4 MITÄ MAHDOLLISUUKSIA MOBIILEILLA PILVIPALVELUILLA ON ?	25
5 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Mobiililaitteiden määrä kasvaa kovaa vauhtia maailmanlaajuisesti ja samalla ne muuttuvat yhä älykkäämmiksi. IT-alan tutkimus- ja konsulttiyritys Gartnerin (2014a) mukaan älypuhelimien myynti ohitti peruspuhelimien myynnin ensimmäistä kertaa vuonna 2013: noin 1,8 miljardista myydystä puhelimesta älypuheli-mia oli 54 %, joka tarkoittaa 43 prosentin kasvua vuoteen 2012 verrattuna. Taulutie-tokoneiden kasvu on vieläkin nopeampaa: vuonna 2014 niiden toimitusten määrä tulee kasvamaan noin 54 % verrattuna vuoteen 2013 ja vuonna 2015 taulutietoko-neiden toimitusten ennustetaan ohittavan perinteisten PC-tietokoneiden toimituk-set (Gartner, 2014c).

Vaikka älykkäiden mobiililaitteiden tulevaisuuden tarkka ennustaminen on hankalaa, voidaan olettaa, että niiden lukumäärä tulee kasvamaan entises-tään seuraavien vuosien aikana. Älypuhelimien ei ajatella enää olevan luksusta, vaan välttämättömyys. Ne muuttuvat yhä tärkeämmiksi henkilökohtaisiksi tie-donkäsittelyn työkaluiksi ja käyttäjät odottavat pystyvänsä suorittamaan kai-ken tarvitsemansa tiedonkäsittelyn mobiililaitteillaan. (Huerta-Canepa & Lee, 2010.) Vuoteen 2017 mennessä mobiilisovelluksista ennustetaan tulevan maail-man suosituimpia tiedonkäsittelyn työkaluja ja yksittäinen käyttäjä saattaa hyödyntää päivittäin jopa sataa mobiilisovellusta tai -palvelua (Gartner, 2014b). Vaikka mobiililaitteet ovatkin korvaamassa perinteiset PC-tietokoneet tiedon-käsittelyn välineenä, ei niitä ja PC-tietokoneita voida pitää täysin yhdenvertai-sina. Mobiililaitteet eivät omaa samanlaisia resursseja kuin perinteiset PC-tietokoneet (Huerta-Canepa & Lee, 2010) ja varsinkin erityisen vaativat lasken-tatehtävät, kuten kuvankäsittely, soveltuvat huonosti mobiililaitteille (Liu ym., 2013). Nämä ongelmat tulevat hyvin todennäköisesti olemaan relevantteja myös tulevaisuudessa. Gartnerin (2014c) mukaan älypuhelimien valmistajien kasvumahdollisuudet siirtyvät premium-malleista halvempiin perusmalleihin, kun kehittyvät markkinat, kuten Latinalainen Amerikka ja Afrikka, kiinnostu-vat älypuhelimista (Gartner, 2014a). Esimerkiksi vuonna 2017 yli 75 % kaikista Android-käyttäjistä saattaa olla kehittyviltä markkinoilta (Gartner, 2014a).

Edellä mainittujen tekijöiden takia on tärkeää pohtia, kuinka mobiililait-teiden rajallisia resursseja voidaan laajentaa tarvittaessa. Suurin osa nykyisistä näkemyksistä keskittyy siihen, kuinka älypuhelimet voidaan integroida osaksi

perinteistä pilvipalvelun paradigmaa (Dihal, Bouwman, de Reuver, Warnier & Carlsson, 2013). Pilvipalvelulla tarkoitetaan palvelua, jossa tietokoneen laskentatehtäviin käytetyt resurssit eivät ole käyttäjän omalla tietokoneella, vaan niihin ollaan yhteydessä Internet-yhteyden avulla (Hayes, 2008). Tässä kirjallisuuskatsauksena toteutetussa tutkielmassa pohditaan mobiilien pilvipalvelujen uutta näkemystä, jossa mobiililaitteiden omat resurssit voidaan yhdistää ja jakaa paikallisesti, jolloin laitteiden jaettuja resursseja voidaan käyttää mobiilina pilvenä.

Tutkielmassa määritellään uusi näkemys mobiileista pilvipalveluista ja verrataan sitä olemassa oleviin, jo yleisesti hyväksytyihin, näkemyksiin ja teorioihin pilvipalveluista ja vertaisverkoista. Lisäksi pohditaan millaisia haasteita ja mahdollisuuksia mobiilien pilvipalvelujen uudella näkemyksellä on. Tutkielmassa esitellään myös joitakin lähteistä poimittuja käyttötapauksia. Koska uuden näkemyksen mukaiset tekniset ratkaisut ovat vielä prototyypin asteella, pyritään tutkielmassa kuvaamaan mahdollisia teknologioita ja arkkitehtuureja melko yleisellä tasolla, eikä tarkoituksena ole esittää tarkkaa kuvausta mobiilien pilvipalveluiden teknisistä yksityiskohdista. Tutkielman tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä ovat uuden näkemyksen mukaiset mobiilit pilvipalvelut?
- Minkälaisia haasteita uuden näkemyksen mukaisille pilvipalveluille on?
- Minkälaisia mahdollisuuksia uuden näkemyksen mukaisilla pilvipalveluilla on?

Ensimmäiset kaksi kysymystä ovat tutkielman pääkysymykset. Kolmas tutkimuskysymys käsitellään tässä tutkielmassa suppeammin, sillä alan tieteellisissä julkaisuissa aiheetta on esitelty suppeasti, ja koska aiheeseen liittyvä teknologia on uutta, on suurin osa esitetyistä mahdollisuuksista tutkijoiden mielipiteitä ja omia tulkintoja. Mahdollisuudet ovat kuitenkin uuden teknologian kohdalla tärkeä motivaattori, jonka takia kolmas tutkimuskysymys on sisällytetty tutkielmaan. Aineistona tutkielmassa on käytetty pääasiassa tieteellisiä artikkelijulkaisuja, konferenssijulkaisuja sekä kirjoja, jotka on kerätty Nelli- ja Google Scholar -tietokannoista.

Mobiililaitteeksi voidaan käsittää käytännössä mikä vain liikkuva tietojenkäsittelylaite älykelloista ja älylaseista aina teknisesti kehittyneisiin autoihin, mutta tässä tutkielmassa tullaan keskittymään pääasiassa vain älypuhelimiin ja taulutietokoneisiin. Souppaya ja Scarfone (2013) ovat määritelleet yhteisiä ominaisuuksia, jotka pätevät useimpiin mobiililaitteisiin: pieni koko, ainakin yksi langaton verkkorajapinta, sisäänrakennettu tallennustila, mobiili käyttöjärjestelmä ja sovellukset, joita voidaan hankkia monella tavalla. Vaikka mobiililaitteet muuttuvat ja eroavat toisistaan yhä enemmän esimerkiksi koon suhteen, on kyseinen määritelmä hyvä lähtökohta mobiililaitteen määrittelyyn.

Tässä tutkielmassa käytetään paljon termiä laskentatehtävä, joka on käännös sen englanninkielisestä vastineesta "computing task". Englanninkielistä termiä on käytetty lähdeoteoksissa melko vapaasti, mutta tässä tutkielmassa

suomennetulla termillä tarkoitetaan jonkin ohjelman tai sen osan suoritusta prosessorilla.

Tutkielma koostuu viidestä luvusta. Luvussa kaksi esitellään mobiilien pilvipalvelujen uuteen näkemykseen liittyviä arkkitehtuureja ja teknologioita, määritellään mobiilien pilvipalvelujen uusi näkemys ja vertaillaan sitä esiteltyihin arkkitehtuureihin. Luvussa kolme pohditaan millaisia haasteita mobiileihin pilvipalveluihin liittyy, minkälaisia vaatimuksia uudelle näkemykselle on ja minkälaisia ratkaisuja haasteisiin ja ongelmiin on esitetty. Luvussa neljä esitellään uuden näkemyksen yleistymisen tuomia mahdollisuuksia. Viimeisessä yhteenvetoluvussa tehdään yhteenveto tutkielman sisällöstä ja esitellään mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

2 MITÄ OVAT MOBIILIT PILVIPALVELUT ?

Tässä luvussa määritellään uuden näkemyksen mukaiset pilvipalvelut. Seuraavissa alaluvuissa määritellään pilvipalvelut, nykyinen näkemys mobiileista pilvipalveluista, vertaisverkot ja ad hoc -verkot. Lopulta määritellään mobiilien pilvipalvelujen uusi näkemys luvussa 2.5 ja verrataan sitä edellä mainittuihin.

2.1 Pilvipalvelut

Zhangin, Chengin ja Boutaban (2010) mukaan pilvipalvelun perusajatus on vanha ja jo 1960-luvulla John McCarthy visioi, että tietokoneen laskentateho voitaisiin tarjota ihmisille julkisen palvelun tapaan. Myös termiä "pilvi" on pitkään käytetty eri kontekstissa, mutta todellista suosiota se alkoi saada vasta, kun Googlen silloinen toimitusjohtaja, Eric Schmidt, käytti sitä vuonna 2006 kuvaamaan liiketoimintamallia, jossa palveluita tarjotaan Internet-yhteyden avulla. Kirjoittajien mukaan termiä on siitä lähtien käytetty pääasiassa markkinoinnin apuna kuvaamaan eri ideoita monessa eri kontekstissa. Heidän mielestään juuri virallisen määritelmän puute on aiheuttanut sekä markkinointihypeä että skeptisyyttä ja epäselvyyttä. (Zhang ym., 2010.) Myös Vaquero, Rodero-Merino, Caceres, ja Lindner (2008) ovat samaa mieltä siitä, että pilvipalvelulle on olemassa useampi määritelmä, mutta ne kaikki keskittyvät tiettyyn tekniseen näkökulmaan.

Brian Hayesin (2008) määrittelemä pilvipalvelu on paradigma, jossa laskentaresurssit eivät sijaitse käyttäjän päätelaitteella, vaan niihin ollaan yhteydessä Internet-yhteyden avulla. Hänen mukaansa kaikille pilvipalvelun eri käsitteille on yhteistä tietokonelaskennan sijainti: käyttäjän suorittamat laskenta-tehtävät tapahtuvat tietokoneilla, jotka ovat käyttäjälle näkymättömiä ja joiden sijaintia käyttäjä ei voi tietää. Hayes kuvaa pilveä ytimenä, jossa suorituskykyiset koneet on yhdistetty toisiinsa nopeilla tietoliikenneyhteyksillä. Myös Buyya, Yeo ja Venugopal (2008) määrittelevät pilven rinnakkaisena ja jaettuna järjestelmänä, joka koostuu yhdistetyistä ja virtualisoiduista tietokoneista. IBM

(2007) kuvaa virtualisointia tekniikkana, jolla fyysisen resurssin tekniset ominaisuudet voidaan piilottaa muilta järjestelmiltä, sovelluksilta ja loppukäyttäjiltä. Yhdistämällä useamman alalla vallitsevan määritelmän, Vaquero ym. (2008) ovat määritelleet pilven yhtenä suurena virtualisoituna resurssivarastona, joka voi muodostua esimerkiksi laitteistosta, sovellusalustoista ja ohjelmistoista. Myös Armbrust ym. (2010) kutsuvat konkreettiseksi pilveksi palvelinkeskuksen laitteistoa ja ohjelmistoa, joiden joustavuus ja vaikutelma lähes loputtomasta kapasiteetista saavutetaan virtualisoinnilla. Yhteistä kaikille pilven määritelmille on siis se, että käyttäjälle tarjottavat resurssit voivat muodostua useammasta yhdistetystä ja virtualisoidusta resurssista, kuten laitteistosta, sovellusalustoista tai ohjelmistoista.

Zhangin ym. (2010) mukaan nämä resurssit ilmenevät pilven arkkitehtuurissa neljänä päällekkäisenä tasona, joista kolmea ylintä käyttäjät voivat hyödyntää palvelun tapaan. Alimpana on laitteistotaso, joka koostuu pilven fyysisistä resursseista, kuten palvelimista, reitittimistä, kytkimistä sekä virta- ja jäähdytysjärjestelmistä. Seuraava taso on infrastruktuuritaso, joka mahdollistaa fyysisien resurssien hyödyntämisen esimerkiksi tallennus- ja laskentaresursseina eri virtualisointitekniikoiden avulla. Tällöin on kyse infrastruktuurista palveluna (engl. Infrastructure as a Service, IaaS). Kolmas taso, sovellusalustataso, koostuu käyttöjärjestelmistä ja ohjelmistoviitekehyksistä. (Zhang ym., 2010.) Se tarjoaa sovelluskehittäjille ympäristön, jossa he voivat kehittää ja testata ohjelmistojaan, ilman että heidän tarvitsee tietää esimerkiksi, kuinka paljon prosessoritehoa tai muistia ohjelma vaatii (Voorsluys, Broberg, & Buyya, 2011). Tästä käytetään nimitystä sovellusalusta palveluna (engl. Platform as a Service, PaaS). Zhangin ym. (2010) määritelmässä korkein taso on ohjelmistotaso, joka koostuu varsinaisista pilvisovelluksista, jotka tarjotaan loppukäyttäjille Internet-yhteyden avulla. Kun käyttäjät hyödyntävät pilven ohjelmistotasoa, on kyse verkkosovelluspalvelusta (engl. Software as a Service, SaaS).

Käyttäjät maksavat pilvipalvelun tarjoajalle yleensä käytön mukaan ”pay-per-use” mallilla (Vaquero ym., 2008) ja jos pilvi on yleisesti käyttäjien saatavilla, on tällöin Armbrustin ym. (2010) mukaan kyse julkisesta pilvestä. Yksityinen pilvi on ainoastaan yhden yrityksen käyttöön suunniteltu pilvi, joka voi olla yrityksen itsensä rakentama tai ulkoisen palveluntarjoajan tarjoama. Hybridipilvessä osa palvelusta suoritetaan yksityisessä pilvessä ja osa julkisessa pilvessä. (Armbrust ym., 2010; Zhang ym., 2010.)

Pilvipalveluiden arkkitehtuuria voidaan määritellä myös asiakas-palvelinmallin (engl. client-server model) avulla. Siinä asiakkaat ja palvelin ovat yhteydessä jaetun tietoverkon avulla (Duchess & Chengalur-Smith, 1998). Tällöin keskitetty palvelin toimii järjestelmän suorituskykyisenä osana, joka on yhteydessä useampaan heikkotehoiseen asiakkaaseen (Schollmeier, 2001). Asiakas-palvelinmallissa kontrolli on kokonaan asiakkaan hallinnassa, sillä asiakkaan tehtävänä on lähettää palvelimelle herätteitä, joihin palvelin vastaa. Yksittäinen asiakas ei myöskään ole vuorovaikutuksessa muiden saman palvelimen asiakkaiden kanssa. (Singh, 2001.) Asiakkaan ei myöskään tarvitse jakaa omia resurssejaan palvelimen tai muiden asiakkaiden kanssa (Schollmeier,

2001). Edellä esitetyt ominaisuudet pätevät suurilta osin perinteiseen pilvipalvelun malliin, mutta asiakas-palvelinmalli ja pilvipalvelut eivät kuitenkaan ole sama asia.

Tiivistettynä voidaan todeta, että pilvipalvelut tarjoavat ulkoisia resursseja käyttäjille, jotka ovat yhteydessä pilveen Internet-yhteyden avulla. Nämä resurssit voivat olla ohjelmistoja, sovellusalustoja tai infrastruktuuria ja muita laitteita, jotka virtualisoinnin avulla ilmenevät käyttäjille lähes rajattomina kapasiteetiltaan. Palveluita voidaan tarjota julkisena, yksityisenä tai hybridipilvenä ja käyttäjät maksavat resursseista usein vain käytön mukaan.

2.2 Nykyinen näkemys mobiileista pilvipalveluista

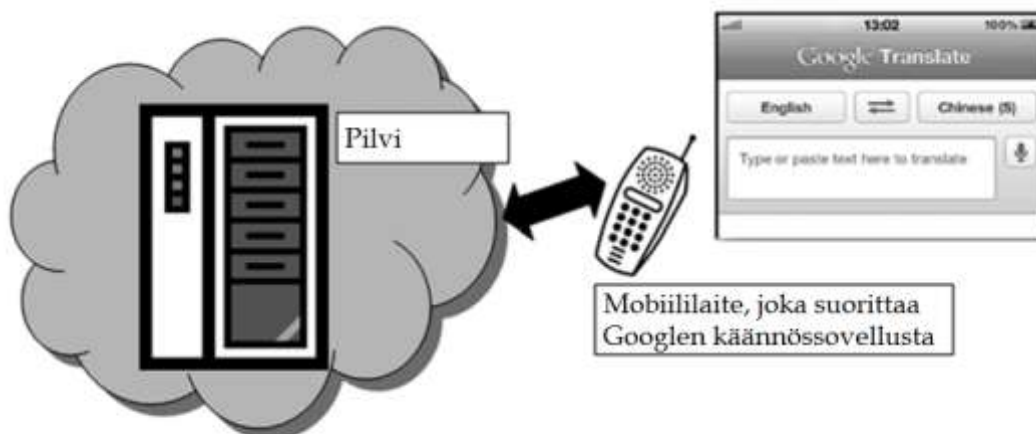
Nykyisin mobiileilla pilvipalveluilla tarkoitetaan pääperiaatteeltaan samaa kuin perinteisellä pilvipalvelulla. Erona on se, että mobiilien pilvipalvelujen käyttö tapahtuu mobiiliympäristöstä. Floresin, Sriraman ja Paniaguan (2011) mukaan pilvipalvelusta tulee mobiili, kun mobiililaitte hyödyntää pilven tarjoamia resursseja. Määritelmässään he käyttävät pilvestä termiä jaettu resurssivarasto (engl. shared pool of computing resources), joka esiintyy myös monessa perinteisen pilvipalvelun määritelmässä (Mell & Grance, 2009; Vaguero ym., 2008; Zhang ym., 2010). Tämän takia voidaan ajatella pilven olevan mobiileissa pilvipalveluissa sama kuin perinteisissä pilvipalveluissa.

Kleinin, Mannweilerin, Schneiderin, ja Schottenin (2010) mukaan mobiileilla pilvipalveluilla pyritään tuomaan perinteisten pilvipalveluiden edut mobiilikäyttäjien saataville. Fernando, Loke ja Rahayu (2013) ovat osoittaneet, että termille on olemassa useampi määritelmä, mutta yleensä sillä tarkoitetaan mobiili-sovelluksen suorittamista mobiililaitteessa käyttäen ulkoisena resurssina muualla sijaitsevaa palvelinta. Tällöin mobiililaitte toimii asiakkaana, joka on yhteydessä resursseja tarjoavaan palvelimeen mobiiliyhteyden avulla. Mobiiliyhteydellä tarkoitetaan tässä tutkielmassa mobiiliverkon, kuten 3G:n tai 4G:n, avulla muodostettua datayhteyttä, jonka teleoperaattori tarjoaa asiakkailleen. Esimerkkinä tällaisista sovelluksista ovat muun muassa Gmailin ja Twitterin mobiili-sovellukset sekä erilaiset mobiililaitteiden sääsovellukset (Fernando ym., 2013). Kuviossa 1 esitetään tämän määritelmän mukainen mobiili pilvipalvelu. Song ja Su (2011) kuvaavat mobiilia pilvipalvelua yhdistelmänä, joka yhdistää mobiililaskennan, mobiilin Internet-yhteyden ja perinteisen pilvipalvelun edut, jolloin jokainen älykäs laite voi hyödyntää pilvipalveluita langattomasti. Heidän mukaansa mobiilia pilvipalvelua voidaan tämän takia kutsua myös pilvipalveluksi mobiilissa Internetissä.

Uusimman sukupolven mobiililaitteissa tämän kaltaisia pilvipalveluja on usein sisäänrakennettuna. Tämä näkyy siinä, kuinka pilvipalveluita on nivottu osaksi mobiililaitteita. Esimerkiksi Applen iCloud tarjoaa käyttäjille tallennustilaa pilvessä, johon asiakkaalla on pääsy lähes kaikilla Internet-yhteydellä varustetuilla päätelaitteilla. (Dihal ym., 2013.) Myös muilla laite- ja ohjelmistovalmistajilla on vastaavanlaisia palveluita. Googlen Android-

käyttöjärjestelmään on esiasennettuna Googlen pilvisovellus Drive ja Microsoftin Windows Phonessa on oma pilvipalvelunsa OneDrive.

Nykyisen näkemyksen mukaisten mobiilien pilvipalveluiden perusajatus on siis sama kuin perinteisissä pilvipalveluissa. Käyttäjä saa Internet-yhteyden avulla käyttöönsä ulkoisia resursseja muualla sijaitsevasta palvelinkeskuksesta, jolloin laskenta tapahtuu pilvessä. Erona perinteiseen näkemykseen on se, että mobiileissa pilvipalveluissa käytettävä päätelaite on mobiililaite ja yhteys usein mobiiliyhteys.



KUVIO 1 Mobiililaite käyttää ulkoisena resurssina muualla sijaitsevaa pilveä sovellusta suorittaessaan (Fernando ym., 2013, 88)

2.3 Vertaisverkko

Vertaisverkko (engl. peer-to-peer, P2P) eroaa edellisistä siinä, että puhtaassa P2P-verkossa ei ole keskitettyä palvelinta tai palvelinjoukkoa, joka jakaisi resursseja käyttäjille. Sen sijaan vertaisverkon käyttäjät ovat nimensä mukaisesti toistensa vertaisia ja jakavat omia resurssejaan verkon muille jäsenille.

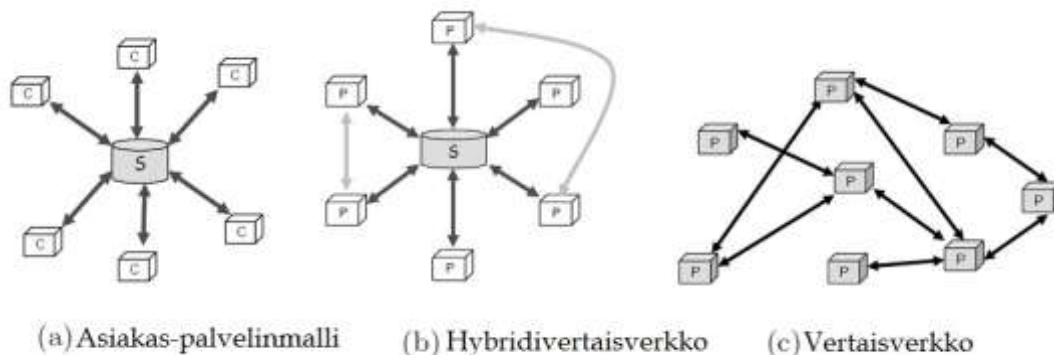
Steinmetz ja Wehrle (2005) määrittelevät puhtaan vertaisverkon täysin hajautettuna järjestelmänä, joka organisoituu itsestään ja jossa jaetaan resursseja. Nämä resurssit voivat olla esimerkiksi kaistanleveyttä, tallennustilaa tai prosessointitehoa, joita käytetään vertaisverkossa mahdollisimman tasaisesti vertaisten kesken (Steinmetz & Wehrle, 2005). Useimmiten jaettavat resurssit ovat erityyppistä dataa. P2P-verkot ovatkin olleet erityisen suosittuja ennen kaikkea tiedostojen jakamisen alustana (Nazir & Hauswirth, 2010) ja vertaisverkko on tullut kuuluisaksi Napsterin ja Gnutellan kaltaisten tiedostonjakopalveluiden ansiosta (Singh, 2001).

Resursseja hyödyntääkseen vertaisverkon käyttäjät ovat vuorovaikutuksessa suoraan toistensa kanssa jopa globaalisti ympäri maailmaa (Steinmetz & Wehrle, 2005). Singh (2001) luonnehtii vertaisverkkoa laajasti asiakas-

palvelinmallin vastakohtana, jossa ei ole keskuspalvelinta. Hänen mukaansa P2P-verkko muodostuu komponenteista, jotka toimivat verkossa yhdenvertaisina. Tätä näkökulmaa tukee Schollmeierin (2001) esittelemä termi *Servant*, joka on yhdistelmä sanoista *server* ja *client*. Termin tarkoituksena on kuvata verkon solmujen (engl. *node*) eli vertaisten kykyä toimia samaan aikaan sekä resurssien tarjoajana että niiden vaatijana.

Steinmetz ja Wehrle (2005) ovat havainneet, että vain harva järjestelmä täyttää kaikkia puhtaan vertaisverkon vaatimuksia. Verkon suorituskyvyn parantamiseksi voi olla tarpeellista sisällyttää siihen keskitettyjä elementtejä, jolloin verkosta tulee hybridivertaisverkko. Schollmeierin (2001) määritelmän mukaan vertaisverkko on hybridi, jos keskitetty elementti on tarpeellinen verkon palvelujen tarjoamiseksi. Kuviossa 2 esitetään asiakas-palvelinmallin arkkitehtuuri sekä puhtaan ja hybridivertaisverkon arkkitehtuurit.

Jaettua tietoverkkoa voidaan siis arkkitehtuuriltaan kutsua vertaisverkoksi, jos sen osalliset jakavat oman laitteensa resursseja muiden osallisten käytettäväksi. Vertaisverkon solmut ovat tasavertaisessa vuorovaikutuksessa suoraan toistensa kanssa, jolloin on kyse puhtaasta P2P-verkosta, tai keskitetyn elementin avulla, jolloin on kyse hybridivertaisverkosta.



KUVIO 2 P2P-järjestelmien luokittelu (Steinmetz & Wehrle, 2005, 11)

2.4 Ad hoc -verkko

Ad hoc on alkuperältään latinankielinen fraasi ja tarkoittaa suomeksi käännettynä "tiettyä tarkoitusta varten luotua" (Oxford Dictionaries, 2014). Termillä ad hoc -verkko tarkoitetaan itsestään organisoituvaa langatonta tietoliikenneverkkoa, joka koostuu yhteistyössä toimivista solmuista (Liu & Chlamtac, 2004). Ad hoc -verkossa nämä solmut voivat olla mitä vain mikroprosessorin sisältäviä laitteita. (Kortuem ym., 2001.) Liu ja Chlamtac (2004) määrittelevät ad hoc -verkot infrastruktuurittomana tietoverkkona, jolloin solmuilla ei ole ennalta määrättyjä rooleja, vaan solmut mukautuvat dynaamisesti verkon sen hetkiseen tilaan. Verkon perustana voi olla jokin likiverkon (engl. *Personal Area Network*, PAN) sovellus, kuten Bluetooth, langaton lähiverkko (engl. *Wireless Local Area*

Network, WLAN) tai mobiiliyhteys, kuten 3G tai 4G (Liu & Chlamtac, 2004). Verkkoja voidaan perustaa spontaanisti tarpeen mukaan, koska ne vaativat vain vähän konfiguraatiota (Kortuem ym., 2001).

Kun ad hoc -verkon solmut ovat mobiililaitteita, puhutaan mobiilista ad hoc -verkosta (engl. mobile ad hoc network, MANET). Edellisessä kappaleessa esitetyt ominaisuudet pätevät myös mobiileissa ad hoc -verkoissa. Itse asiassa juuri tällöin verkon itsenäinen organisoituminen on välttämätöntä. Liun ja Chlamtacin (2004) mukaan solmujen ollessa mobiililaitteita, ne voivat liikkua verkossa sattumanvaraisesti, jolloin verkon tulee mukautua muutoksiin usein ja ennalta arvaamatta. Voidaan myös olettaa, että solmujen liittyminen verkkoon ja siitä poistuminen on suurimmaksi osaksi sattumanvaraista.

Solmut voivat olla vuorovaikutuksessa suoraan toistensa kanssa, jos ne ovat saman verkon piirissä, mutta niiden vuorovaikutus voi myös ylittää yksittäisten verkkojen rajat, sillä mobiileissa ad hoc -verkoissa solmut toimivat myös reitittiminä. Tällöin ne voivat välittää dataa yhdeltä solmulta kohti toista solmua. (Liu & Chlamtac, 2004.) Eli jos solmu A on yhteydessä B:hen, joka on erillisessä yhteydessä C:hen, voi A välittää dataa C:lle käyttämällä apunaan B:tä. Tätä kutsutaan monen hypyn poluksi (engl. multi-hop path) (Kortuem ym., 2001). Tämä on mobiilien ad hoc -verkkojen etu, koska niitä voidaan käyttää informaation siirtämiseen myös alueilla, joilta puuttuu rakennettu infrastruktuuri. Tyypillisiä MANET:in käyttökohteita ovatkin olleet armeijan käyttöön tarkoitetut sovellukset ja katastrofialueille suunnatut sovellukset. MANET mahdollistaa joukkojen välisen kommunikaation alueilla, joissa olemassa olevat tietoyhteydet ovat vaurioituneet tai joissa ne puuttuvat kokonaan. (Goyal, Par-mar, & Rishi, 2011.)

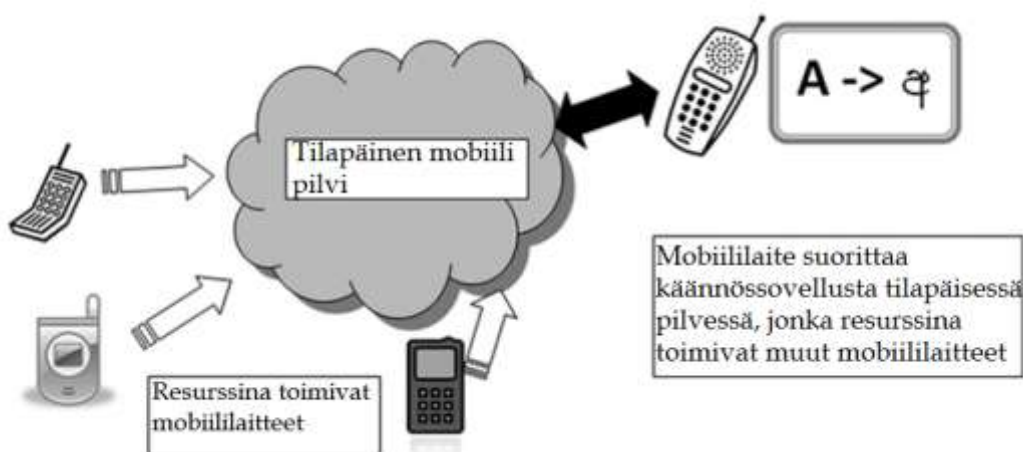
Ad hoc -verkko on siis hajautettu langaton tietoliikenneverkko, jolla ei ole kiinteää topologiaa. Siinä jokainen solmu toimii myös reitittimenä ja on vastuussa datan siirtämisestä ja välittämisestä. Verkko mukautuu dynaamisesti kun solmut liikkuvat verkossa ja uusia liittyy siihen tai vanhoja poistuu siitä. Mobiilissa ad hoc -verkossa solmut ovat mobiileja laitteita, jolloin verkon kyky reagoida dynaamisesti muutoksiin korostuu.

2.5 Mobiilien pilvipalvelujen uusi näkemys

Mobiilien pilvipalvelujen uuden näkemyksen mukaan mobiililaitteiden omat resurssit voidaan yhdistää ja jakaa paikallisesti, jolloin perinteisen pilvipalvelun toiminnallisuus saavutetaan paikallisessa verkossa. Aihetta käsittelevässä tieteellisessä kirjallisuudessa ei esiinny täysin vakiintunutta termiä uuden näkemyksen mukaisille mobiileille pilvipalveluille, mutta suuri osa tutkijoista viittaa mobiilien pilvipalvelujen uuteen näkemykseen termillä tilapäinen mobiili pilvi (engl. ad hoc mobile cloud) (Dihal ym., 2013; Huerta-Canepa & Lee, 2010; Kovachev & Klamma, 2012; Liu, ym., 2013). Näin ollen ad hoc -ilmaisun voisi tulkita kuvaavan verkon luonnetta dynaamisena langattomana verkkona, mobile-ilmaisun kuvatessa käytettävien päätelaitteiden olevan mobiililaitteita ja cloud-

termin kuvaavan kokonaisuuden toiminnallista käyttötarkoitusta, jossa mobiililaitteet jakavat omia resurssejaan muiden läheisyydessä olevien laitteiden käyttöön.

Tämän mobiilin pilvipalvelun perusajatuksena on Liun ym. (2013) mukaan se, että resursseja tarvitsevan laitteen laskentatehtäviä voidaan joustavasti siirtää läheisyydessä sijaitsevien laitteiden suoritettavaksi. Tällöin mobiililaitteiden ajatellaan toimivan pilvipalvelun tarjoajan tapaan. Näin voidaan saavuttaa pilvipalvelujen edut ilman, että käyttäjän täytyy olla yhteydessä kaukana sijaitsevaan palvelinkeskukseen. (Huerta-Canepa & Lee, 2010; Kovachev & Klamma, 2012.) Tämä näkemys esitetään kuviossa 3. Laskentatehtävien siirtämisen lisäksi tilapäinen mobiili pilvi tarjoaa myös muita hyötyjä, kuten erilaisen sensoridatan hyödyntämisen. Hyötyjä ja mahdollisuuksia tarkastellaan lähemmin luvussa 4.



KUVIO 3 Virtuaalinen pilvi, joka muodostuu lähellä sijaitsevista mobiililaitteista (Fernando ym., 2013, 88)

Pääasiassa tutkijat pitävät mobiililaitteiden läheisyyttä oleellisena tilapäisen mobiilin pilven määritelmälle (Huerta-Canepa & Lee, 2010; Kovachev & Klamma, 2012; Kristensen & Bouvin, 2010; Liu ym., 2013; Marinelli, 2009), jolloin pilvi voitaisiin perustaa käyttämällä langatonta lähiverkkoa tai likiverkkoa. DiHalin ym. (2013) mukaan tilapäinen mobiili pilvi voi muodostua myös mobiiliyhteyden avulla. Vaikka mobiiliyhteydet ovat usein kattavia, ne kuluttavat enemmän virtaa kuin WLAN-yhteydet, kuten WiFi. Testissään Cuervo ym. (2010) totesivat, että 3G-yhteys voi kuluttaa jopa 3–5 kertaa enemmän mobiililaitteen energiaa kuin WiFi. 4G-verkkojen yleistyessä on mielenkiintoista verrata myös 4G-verkkoihin lukeutuvan LTE-verkon energiankulutusta. Huang ym. (2012) toteavat, että LTE-verkko soveltuu energiankulutuksen suhteen huonosti pienten datamäärien siirtämiseen. Kun vertailtiin bittikohtaisia siirtoenergioita, LTE-verkko kulutti pienissä datamäärissä huomattavasti enemmän energiaa datan lähettämiseen kuin WiFi-verkko, mutta ero pieneni nopeasti datamäärän kasvaessa. Datan vastaanottaminen ei kuluta LTE-verkossa juurikaan enempää energiaa kuin WiFi-verkossa. Suurissa, esimerkiksi 10 megabitin datamäärien

lähettämisessä ja vastaanottamisessa WiFi- ja LTE-verkkojen ero kaventui. (Huang ym., 2012.) Tuloksia tulkitessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että ne ovat jo kaksi vuotta vanhoja ja teknologian kehittyminen on voinut muuttaa verkkojen energiankulutusta. Samoin tulisi tietää tarkasti, minkälaisia datamääriä tilapäisessä mobiilissa pilvessä siirretään. Tässä tutkielmassa tutkitaan pääosin näkökulmaa, jossa tilapäisessä mobiilissa pilvessä toimivat mobiililaitteet ovat toistensa läheisyydessä ja ne on yhdistetty langattoman lähiverkon tai likiverkon avulla. Luvussa 4 pohditaan lisää mobiiliyhteyksiin liittyviä mahdollisuuksia tilapäiselle mobiilille pilvelle.

Tilapäisen mobiilin pilven tarkka määrittely on hankalaa. Kuten edellä todettiin, tieteellisessä kirjallisuudessa ollaan pitkälti yhtä mieltä siitä, että verkon tekninen toteutus on vastaava kuin luvussa 2.4 kuvatussa ad hoc -tietoliikenneverkossa. Jos arkkitehtuuria verrataan perinteiseen pilvipalvelun arkkitehtuuriin, voidaan todeta niiden perusajatuksen olevan käänteinen: Luvussa 2.1 todettiin Hayesin (2008) kuvaavan pilveä ytimenä, jossa laskenta tapahtuu. Tällöin pilven palvelinpalvelun ajatellaan olevan arkkitehtuurin keskiössä asiakas-palvelinmallin palvelimen tapaan. Tilapäisessä mobiilissa pilvessä sen sijaan keskiössä on ulkoisia resursseja vaativa käyttäjä, joka jakaa laskentatehtäviä ympärillä sijaitsevaan pilveen. Tämä tuo haasteita resurssien käytöstä kompensoimiseen. Perinteisen pilvipalvelun kohdalla palveluntarjoajia on yksi ja käyttäjät maksavat tälle usein resurssien käytön mukaan. Tilapäisessä mobiilissa pilvessä taas palveluntarjoajia voidaan ajatella olevan useita, mikä mutkistaa kompensoitua resurssien hyödyntämisestä. (Dihal, ym., 2013.) Tätä ongelmaa pohditaan lisää luvussa 3.

Yksittäisen loppukäyttäjän kokeman hyödyn lisäksi on esitetty myös käyttötappauksia, joissa useampi samassa pilvessä toimiva käyttäjä voisi hyötyä laskentatehtävien jakamisesta. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi tilanteessa, jossa useampi museossa vieraileva käyttäjä haluaa kääntää saman tekstipätkän käännohjelman avulla. Tällöin puhelimen käännohjelman prosessointitehtävä voidaan jakaa useampaan laitteeseen suoritettavaksi ja kaikki hyötyvät tuloksesta. (Huerta-Canepa, & Lee, 2010.) Kovachev ja Klamma (2012) ovat ehdottaneet, että tilapäinen mobiili pilvi voi mahdollistaa uudentyyppisten yhteisöjen muodostumisen, jolloin laskentatehtäviä voidaan jakaa ja suorittaa yhteistyössä käyttäjien kesken. Näissä tapauksissa pilven käyttäjiä voidaan verrata vertaisverkon käyttäjiin: he toimivat verkossa yhdenvertaisina ja heillä on yhteinen tavoite, jonka eteen kaikki ovat valmiita jakamaan resurssejaan.

Yhteneväisyys vertaisverkkoihin näkyy myös tilapäisen mobiilin pilven osallisten kyvyssä toimia sekä palveluiden tarjoajana sekä vaatijana. Voidaan olettaa, että ne käyttäjät, jotka antavat oman laitteensa resurssit muiden käyttöön, voivat useimmissa tapauksissa myös halutessaan joustavasti jakaa laskentatehtäviä ympäröiviin laitteisiin. Tämä tarkoittaa Schollmeierin (2001) servanttermin olevan relevantti myös tilapäisen mobiilin pilven yhteydessä.

Perinteisten pilvipalvelujen kolme palveluna tarjottavaa tasoa voidaan siirtää myös tilapäisten mobiilien pilvien kontekstiin, jolloin SaaS-, PaaS- ja IaaS-mallit ovat mahdollisia myös tilapäisissä mobiileissa pilvissä (Dihal ym.,

2013). Niissä on kuitenkin eroja sekä mobiililaitteista johtuvia rajoitteita. Luvuissa 3 ja 4 tarkastellaan lähemmin näitä kolmea palvelumallia tilapäisen mobiilin pilven näkökulmasta.

Mobiilien pilvipalvelujen uuteen näkemykseen viitataan siis usein termillä tilapäinen mobiili pilvi. Se mahdollistaa pilvipalvelujen kaltaisen toiminnallisuuden paikallisessa pilvessä, jonka resurssina toimivat toistensa läheisyydessä liikkuvat mobiililaitteet. Pilven perustana voi olla langaton likiverkko tai lähiverkko, vaikkakin joidenkin näkemyksien mukaan pilvi voidaan myös perustaa hyödyntäen mobiiliyhteyksiä. Pilven konkreettinen arkkitehtuuri on ad hoc -tietoliikenneverkkojen kaltainen, mutta pilven toiminnallisuutta voidaan kuvaata myös vertaamalla sitä perinteiseen pilvipalveluun sekä vertaisverkkoon. Monet perinteisen pilvipalvelun hyödyt on mahdollista siirtää tilapäiseen mobiiliin pilveen, mutta mobiililaitteiden ominaisuudet sekä pilven luonne asettavat joitakin rajoituksia. Toisaalta uusi näkemys mahdollistaa myös uudenlaisia käyttötapoja, kuten paikallisesta pilvestä kerätyn sensoridatan hyödyntämisen. Tutkielman seuraavissa osissa mobiililla pilvellä ja mobiililla pilvipalvelulla viitataan tähän näkemykseen.

3 MITÄ HAASTEITA MOBIILEILLA PILVIPALVELUILLA ON?

Tilapäisten mobiilien pilvipalvelujen yleistymiselle ja kaupallistumiselle on vielä paljon haasteita. Tässä luvussa tarkastellaan haasteita tarkemmin ja samalla kerrotaan mahdollisista ratkaisuista, joita tieteellisissä julkaisuissa ja prototyypeissä on esitetty. Luvussa 3.1 esitellään mitä haasteita mobiililaitteiden käyttäminen tuo. Luvussa 3.2 pohditaan, mitä vaatimuksia mobiililaitteiden haasteet tuovat tilapäiselle mobiilille pilvelle ja mitä muita vaatimuksia sillä on. Lopuksi listataan käyttäjiin liittyviä haasteita luvussa 3.3.

3.1 Mobiililaitteisiin liittyvät haasteet

Mobiililaitteiden ominaisuudet ja niiden rajoitukset verrattuna perinteisen pilven suureen palvelinkeskukseen asettavat viisi haastetta tilapäisille mobiileille pilvipalveluille, jotka tulee ratkaista ennen kuin näiden pilvipalveluiden yleistyminen mahdollistuu.

Ensimmäinen mittava ongelma on mobiililaitteiden liikkuvuus. Mobiililaitteet liikkuvat usein omistajiensa mukana riippumatta muiden lähellä olevien käyttäjien liikkeistä. Tämän takia on tärkeää, että tilapäinen mobiili pilvi mahdollistaa käyttäjien vapaan liikkumisen, mutta tarjoaa samalla saumattoman käyttökokemuksen (Fernando ym., 2013). Pilven tulee toimia oikein vaikka laitteita lähtee siitä ja uusia tulee tilalle (Marinelli, 2009).

Verkkoyhteydet ovat toinen ongelma tilapäisessä mobiilissa pilvessä. Marinelli (2009) toteaa, että mobiililaitteiden langattomat yhteydet ovat verrattain hitaita ja katkonaisia. Vaikka mobiililaitteet tarjoavat yhä useampia verkkoteknologioita, ovat ne silti epävarmempia kuin kiinteät Internet-yhteydet, joita voidaan usein käyttää perinteisen pilvipalvelun hyödyntämiseen. Marinelli (2009) myös huomauttaa kaistanleveyden olevan rajoitettu resurssi mobiiliyhteyksissä: mitä enemmän käyttäjä kuormittaa mobiiliyhteyttä, sitä vähemmän kaistanleveyttä jää muiden, samaa tukiasemaa käyttävien, käyttäjien hyödyn-

nettäväksi. Tämä voi muodostua ongelmaksi, jos tilapäisen mobiilin pilven muodostamiseen käytetään 3G- tai 4G-verkkoa. Toisaalta sama pätee myös muissa verkkoteknologioissa – äärellisessä tilassa tapahtuvassa langattomassa tiedonsiirrossa kapasiteetti on käytännössä aina äärellinen.

Kuten todettiin luvussa 2.4, ad hoc -verkot mahdollistavat monen hypyn polun datan siirtämiseen. Niiden heikkous on kuitenkin siinä, että useampi hyppy vaatii aikaa ja kuluttaa reitin osallisena olevien resursseja (Schollmeier, 2001). Lisäksi ongelmana on datan häviäminen: koska verkosta poistuu laitteita sattumanvaraisesti, voi useamman loikan päähän toimitettu data hävitä, jos joku reitin solmuista poistuu, ennen kuin vastausdata saadaan toimitettua takaisin lähettäneelle solmulle (Kortuem ym., 2001). Näiden ongelmien takia voidaan olettaa, että tilapäisessä mobiilissa pilvessä tulisi pyrkiä siirtämään laskentatehtäviä vain suoraan toistensa läheisyydessä sijaitseviin laitteisiin, vaikkakin mobiililaitteiden liikkuvuudesta johtuen datan häviämisen ongelma ei täysin poistu tällöinkään.

Mobiililaitteiden virrankulutus ja akun tyhjeneminen ovat kolmas suurista ongelmista. Viime vuosina mobiililaitteiden kehitys on ollut nopeaa ja esimerkiksi laskentateho sekä tallennustila kasvavat jatkuvasti. Akkujen kehitys on ollut kuitenkin hidasta. (Liu ym., 2013.) Fernandon ym. (2013) mielestä tämä on ongelma, jota ei todennäköisesti tulla ratkaisemaan tulevaisuudessakaan. Varsinkin tilapäisen mobiilin pilven kannalta tämä on merkittävä, sillä Doun ym. (2011) mukaan juuri verkkoyhteydet, kuten GPS, Bluetooth ja WiFi kuluttavat paljon mobiililaitteiden energiaa ja kuten aikaisemmin todettiin, ovat 3G- ja 4G-yhteydet vieläkin suurempia virrankuluttajia mobiililaitteissa. Tämän takia laskentatehtävien siirto tulisi tapahtua niin tehokkaasti, että se ei kuluttaisi virtaa ainakaan enempää kuin laskentatehtävän prosessointi ulkoisessa pilvessä. Tällä on kuitenkin väliä vain, jos resursseja vaativa käyttäjä haluaa säästää akkuaan. Jos taas käyttäjä haluaa vain tehtävän nopeasti valmiiksi, ei virrankulutusta tarvitse pohtia. Toisaalta virrankulutus on ongelma myös resursina toimiville laitteille: voidaan olettaa, etteivät käyttäjät halua, että heidän laitteensa akku tyhjenee jonkun toisen tehtävää suorittaessa.

Mobiililaitteiden heterogeenisuus on neljäs haaste. Laitteet eroavat muun muassa, laskentatehon, työmuistin, tallennustilan ja sensoreiden suhteen (Dihal ym., 2013). Tämä voi tarkoittaa sitä, että kaikkia laskentatehtäviä ei voida jakaa ympäröiviin laitteisiin, jos niiden ominaisuudet eivät täytä laskentatehtävän tuomia vaatimuksia. Esimerkiksi jos laskentatehtävän suorittaminen vaatii tiettyä sensoria, ei sitä voida siirtää laitteeseen, jossa ei ole tätä sensoria. Tämä sama ongelma pätee myös mobiililaitteiden sovellustasolla ja ohjelmistorajapinnoilla, jotka ovat usein erilaisia eri laite- ja ohjelmistovalmistajilla.

Viides haaste tilapäisille mobiileille pilville ovat mobiililaitteisiin esiasennetut käyttöjärjestelmät. Perinteisessä pilvipalvelussa resurssit voidaan tarjota käyttäjälle ”tyhjänä” resurssina, kun taas mobiililaitteissa on käyttöjärjestelmä, joka saattaa määrittellä, miten resursseja voidaan hyödyntää (Dihal ym., 2013). Kuten mobiililaitteet, myös niiden käyttöjärjestelmät ovat heterogeeninen joukko. Käytännössä tämä aiheuttaa perustavaa laatua olevan eron perinteisen pil-

ven ja tilapäisen mobiilin pilven välille. Perinteisessä pilvipalvelussa käyttökokemus on lähtökohtaisesti aina sama tietyllä laitteella: Google Driven työpöytäversion käyttäjät saavat aina saman käyttökokemuksen jokaisella käyttökerralla, kun taas jokainen Android-optimoidun version käyttäjä saa Android-laitetta käyttäessään jokaisella kerralla saman käyttökokemuksen. Tilapäisen mobiilin pilven käyttökokemus on kuitenkin riippuvainen resursseina toimivista laitteista: Jos resursseja vaativa laite on Android-laite ja myös resurssilaitteet toimivat samalla käyttöjärjestelmällä, voidaan olettaa, että käyttökokemus on mahdollisimman hyvä. Jos taas resurssilaitteet vaihtuvat iOS-laitteiksi, eivät kaikki tarvittavat toiminnot välttämättä ole mahdollisia. Näin ollen resurssit eivät ole "tyhjiä" vaan yksittäinen käyttäjä kokee resurssien ominaisuuksien muuttuvan käyttökertojen välillä.

Sen lisäksi, että eri käyttöjärjestelmät voivat vaikeuttaa pääsyä laitteen resursseihin, ne myös priorisoivat resursseja laitteessa. Vaikka älypuhelimet ovat kehittyneet vuosien saatossa huomasti ja niitä käytetään yhä monipuolisempiin tehtäviin, on laitteiden resurssit edelleen priorisoitu niin, että perinteiset matkapuhelimen tehtävät, kuten puheluiden soittaminen ja vastaanottaminen, ovat mahdollisia missä tilanteessa tahansa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että älypuhelin esimerkiksi vastaanottaa puheluita, vaikka jokin laitteen suorittama prosessi olisi kesken. (Dou ym., 2011.)

3.2 Tilapäisen mobiilin pilven vaatimukset

Kuten edellisessä luvussa todettiin, mobiililaitteiden ollessa mobiileja on luonnollista, että laitteet poistuvat verkosta sattumanvaraisesti. Sen lisäksi mobiililaitteiden langattomat verkkoyhteydet ovat epävarmempia kuin kiinteät verkkoyhteydet. Myös akkuvirran loppuminen ja laitteistoviat voivat olla syynä laitteen poistumiseen verkosta (Fernando ym., 2013). Vaikka mobiililaitteen sisäinen priorisointi ei ehkä johda verkosta poistumiseen, voi esimerkiksi puhelun vastaanottaminen tarkoittaa kesken olevan prosessin pysäyttämistä pitkäksi aikaa. Muun muassa näiden tekijöiden takia on tärkeää, että mobiili pilvi pysyy sietämään häiriöitä (Fernando ym., 2013). Doun ym. (2011) mukaan palvelut tulee suunnitella siten, että ne sallivat keskeytykset, eivätkä estä mobiililaitteiden tavallista toimintaa. Marinellin (2009) kehittämässä Hyraxissa ongelma on pyritty ratkaisemaan päällekkäissuorituksilla: jos laskentatehtävää suorittava solmu osoittautuu epävakaaksi resurssiksi, laskentatehtävä jaetaan toiselle solmulle suoritettavaksi. Ratkaisu toimii erityisesti silloin, kuin vapaana olevia resursseja on paljon. Huerta-Canepan ja Leen (2010) esittämässä arkkitehtuurissa erillinen P2P-komponentti kerää tietoa lähellä liikkuvista resursseista. Heidän mukaansa komponentti voisi myös ennustaa laitteiden liikkumista ja muodostaa täten vakaita verkkoja esimerkiksi samaan suuntaan liikkuvien mobiililaitteiden välille.

Mobiililaitteiden, niiden käyttöjärjestelmien ja sovelluksien sekä ohjelmistorajapintojen heterogeenisyys aiheuttaa seuraavan haasteen. Koska mobiililait-

teiden joukko on monella eri tasolla heterogeeninen, muodostuu ongelmaksi se, kuinka tarjolla olevat resurssit voidaan teknisesti yhdistää. Useimmissa prototyypeissä lähtökohdaksi on otettu asennettava sovellus, jonka avulla laitteiden resursseja voidaan yhdistää ja tehtäviä voidaan jakaa laitteiden välillä (kts. Dou, Kalogeraki, Gunopulos, Mielikainen & Tuulos, 2010; Huerta-Canepa, & Lee, 2010; Kristensen & Bouvin, 2010; Marinelli, 2009). Tämä rajoittaa pilven tilapäistä luonnetta, kun vain ne laitteet, joissa sovellukset ovat esiasennettuna voivat osallistua resurssien yhdistämiseen ja jakamiseen (Fernando ym., 2013). Toisaalta lähestymistapa mahdollistaa resurssien virtualisoinnin, jolloin mobiililaitteiden heterogeenisuuden tuoma ongelma on helpommin ratkaistavissa (Huerta-Canepa & Lee, 2010).

Kolmas haaste on miten laskentatehtävien osittaminen ja siirtäminen suoritetaan. Hyvän käyttökokemuksen takaamiseksi osittamisen ja siirtämisen tulisi käyttäjän näkökulmasta tapahtua mahdollisimman nopeasti ja automaattisesti. Lisäksi sen tulisi tapahtua niin, ettei resursseja kuluisi turhaan (Huerta-Canepa & Lee, 2010). Tilapäisen mobiilin pilven prototyypeissä osittaminen ja jakaminen tapahtuvat joko resursseja vaativassa mobiililaitteessa (kts. Huerta-Canepa & Lee, 2010; Kristensen & Bouvin, 2010) tai erillisellä palvelimella (kts. Dou ym., 2010; Marinelli, 2009). Huerta-Canepan ja Leen (2010) ratkaisussa erillinen sovellus-hallintakomponentti tekee sovellukseen tarvittavat muutokset, kuten tuen etäkutsuille ja välimuistille. Kun sovelluksen suorittaminen voidaan jakaa, siirto-hallintakomponentti organisoii tehtävien lähettämisen ja vastaanottamisen muiden laitteiden välillä. Kristensenin ja Bouvinin (2010) esittelemä Scavenger pystyy automaattisesti jakamaan Python-kielellä kehitettyjä sovelluksia. Sovelluskehittäjän tulee sisällyttää sovellukseensa Scavenger-kirjasto ja sovelluksen tulee noudattaa joitakin yleisiä sääntöjä, jonka jälkeen sovelluksen suorittaminen voidaan langattomasti jakaa mobiililaitteisiin, joihin on asennettu Scavenger-palveluprosessi. Näiden prototyyppien tapaiset ratkaisut ovat parhaita tilanteisiin, jossa mobiililaitteiden käyttäjät ovat liikkeellä ja tarve mobiilille pilvelle on tilapäinen. Doun ym. (2010) kehittämä Misco ja Marinellin (2009) kehittämä Hyrax perustuvat MapReduce ohjelmointiparadigmaan, jolla voidaan prosessoida suuria datamääriä käyttäen hajautettua järjestelmää (Marinelli, 2009). Miscossa ja Hyraxissa laskentatehtävien osittamisen ja jakamisen suorittaa erillinen palvelin, johon mobiililaitteet ovat yhteydessä paikallisen WLAN-yhteyden avulla. Palvelin ei vastaa tehtävien prosessoinnista, mutta se koordinoi laskentatehtävät ja datan pilven mobiililaitteille. Tällaisen keskitetyn palvelimen käyttö laskentatehtävien jakamiseen voisi olla järkevää esimerkiksi yritysten tai yliopistojen tiloissa, joissa on usein paljon toimeentuvia mobiililaitteita toistensa lähetyvillä.

Neljäs haaste on mobiilin pilven tietoturva ja yksityisyyden suoja. Yksityisyyden merkitys korostuu, kun mobiililaitteet sisältävät yhä enemmän henkilökohtaista informaatiota (Liu ym., 2013). Käyttäjät ovat tavallisesti huolissaan yksityisyydestään, koska he tallentavat laitteisiinsa paljon vain itselleen tarkoitettua informaatiota, kuten yhteystietoja, kuvia sekä muistiinpanoja (Dou ym., 2011). Lisäksi älykkäiden mobiililaitteiden yleistyessä ne sisältävät yhä useam-

min muun muassa henkilökohtaisia sähköposteja, verkkopankkisovelluksia ja sosiaalisen median sovelluksia. Tämän takia on tärkeää, että mobiilin pilven resurssina toimivien laitteiden käyttäjät voivat varmistua siitä, että muilla laitteilla ei ole pääsyä käyttäjän yksityiseen informaatioon. Mobiilissa pilvessä ei myöskään saa esiintyä tietoturva-aukkoja, joita hyödyntämällä käyttäjien laitteille voidaan aiheuttaa haittaa. Aukkoja hyödyntämällä hyökkääjät voivat esimerkiksi tehdä jatkuvia palvelupyyntöjä uhrin laitteelle, pakottaa sen suorittamaan laskentatehtävää toistuvasti tai asentaa viruksia laitteeseen (Moyers, Dunning, Marchany & Tront, 2010). Toisaalta tietoturva ja tietosuojat eivät saisi aiheuttaa turhaa kuormitusta laitteelle, jotta resursseja ei kuluisi liikaa (Fernando ym., 2013). Huerta-Canepa ja Lee (2010) ovat arkkitehtuurissaan esittäneet ratkaisuksi komponenttia, joka suorittaa muilta laitteilta tulevat tehtävät suojatussa tilassa, jolloin on mahdollista estää pääsy muualle laitteen resursseihin. Tietoturva-komponentti voisi sopeutua ympäristön muutoksiin tai käyttäjän vaatimuksiin. Tällöin julkisissa paikoissa tietoturva olisi priorisoitu korkeammalle kuin esimerkiksi ystävien tai perheen keskuudessa. Käyttäjä voisi myös valita, haluaako kuluttaa vähemmän resursseja tietoturvaan, jos tavoitteena on esimerkiksi pienentää virrankulutusta. (Fernando ym., 2013.)

3.3 Käyttäjiin liittyvät haasteet

Tässä luvussa pohditaan millaisia käyttäjiin liittyviä haasteita mobiilissa pilvessä esiintyy. Kun ulkoisina resursseina käytetään lähistöllä sijaitsevia mobiililaitteita, riippuu käyttökokemus pitkälti käyttäjien määrästä. Tällöin esimerkiksi perinteisen pilvipalvelun IaaS-malli ei siirry samanlaisena mobiilin pilven kontekstiin: Perinteisessä pilvipalvelussa infrastruktuuri ilmenee käyttäjille lähes loputtomana resurssina. Koska käyttäjien määrä vaihtelee mobiilissa pilvessä, ei sitä voida luonnehtia resurssien suhteen loputtomana. (Dihal ym., 2013.) Mobiilin pilven tulisi myös skaalautua tehokkaasti. Tällöin lisääntyneitä käyttäjämääriä mobiilissa pilvessä tulisi pystyä hyödyntämään, ilman että esimerkiksi järjestelmän viive kasvaa liikaa (Marinelli, 2009).

Oman haasteensa asettaa myös käyttäjien kompensointi resursseina toimimisesta. Perinteisessä pilvipalvelussa käyttäjät maksavat yhdelle palveluntarjoajalle, joka omistaa pilvenä toimivan palvelinkeskuksen, usein käytön mukaan. Tilapäisessä mobiilissa pilvessä resurssien omistajia on useita, jolloin samanlaista mallia ei voida suoraan soveltaa. Laitteiden käyttäjille tulisi kuitenkin tarjota jokin kannuste resurssien lainaamiseen. Toisaalta järjestelmään tulisi sisällyttää keino, jolla voidaan estää ”vapaamatkustus”. (Fernando ym., 2013.) Dihal ym. (2013) ovat esittäneet ratkaisuksi kolmea eri mallia. Ensimmäisessä vaihtoehdossa resursseja vaativa käyttäjä kompensoisi suoraan resursseina toimivia käyttäjiä. Tämä voisi tapahtua rahallisesti, esimerkiksi mikromaksuina, mobiilimaksuina, tai vaikkapa erillisten sovelluksien sisäisten krediittien avulla. Toisessa vaihtoehdossa oletetaan, että resurssien yhdistämisen ja jakamisen suorittaa erillinen kolmas osapuoli, jolloin voidaan kompensoida tätä rahallises-

ti, samaan tapaan kuin perinteisen pilvipalvelun mallissa. Kolmas osapuoli voi Dihalin ym. (2013) mukaan olla erillinen palveluntarjoaja, teleoperaattori tai perinteisen pilvipalvelun palveluntarjoaja. He esittävät ajatuksen, jossa perinteiset pilvipalvelun palveluntarjoajat voisivat laajentaa resurssejaan kattamaan myös käyttäjien omat laitteet. Tällöin osa laskentatehtävistä voitaisiin suorittaa mobiililaitteista muodostuvassa tilapäisessä pilvessä palvelinkeskuksen sijasta. Kolmannessa vaihtoehdossa ei tarvita rahallista kompensatiota, vaan se perustuu samaan vastavuoroisuuden ajatukseen kuin vertaisverkot: vain ne käyttäjät, jotka antavat oman laitteensa resurssiksi, saavat hyödyntää muiden käyttäjien laitteita resurssina. Kuten luvussa 2.5 todettiin, on myös esitetty näkemyksiä, joissa kompensaaation sijaan arvostetaan resurssien jakamisesta syntyvää yhteistä hyötyä tai yhteisöllistä toimintaa (Huerta-Canepa & Lee, 2010; Kovachev & Klamma, 2012).

Toisaalta tilapäisen mobiilin pilven yleistymisen saattaa kohdata myös innovaatioiden yleistymiseen liittyvän haasteen. Rogers (2003) on kehittänyt teorian innovaatioiden diffuusiosta. Hän määrittelee diffuusion prosessiksi, jossa innovaatio leviää ajan kuluessa sosiaalisen järjestelmän jäsenille tiettyjä viestintäkanavia pitkin. Innovaation omaksuminen taas kuvaa eri tasojen avulla yksilön kykyä omaksua uusi innovaatio omaan käyttöönsä. Kaikista omaksujista Rogers erottaa viisi ryhmää. Hän on myös määritellyt kullekin ryhmälle prosenttiosuuden, jota kyseinen ryhmä edustaa koko omaksujien joukosta.

- Innovaattorit, jotka muodostavat 2,5 % kaikista omaksujista
- Aikaiset omaksijat (13,5 %)
- Aikainen enemmistö (34 %)
- Myöhäinen enemmistö (34 %)
- Vitkastelijat (16 %).

Nämä ryhmät eroavat omaksumisen nopeuden suhteen ja Rogersin mukaan innovaatioiden leviäminen tapahtuu aina samassa järjestyksessä, jolloin innovaatioiden omaksumisen aloittavat innovaattorit, jotka ovat aktiivisia tiedonhankijoita ja jotka ottavat riskejä ja ovat kiinnostuneita kaikesta uudesta teknologiasta. Innovaatioita omaksuvat viimeisinä vitkastelijat, jotka suhtautuvat teknologiaan skeptisesti, eivätkä usko sen helpottavan tai parantavan mitään. Tämän takia innovaatioiden diffuusio muistuttaa S-käyrää. Alkuun omaksujien määrä kasvaa hitaasti suhteessa aikaan, mutta kun aikainen ja myöhäinen enemmistö omaksuvat innovaation, nousee omaksumisen aste jyrkästi, kunnes kasvu tasaantuu ja lopulta lähtee laskemaan vitkastelijoiden omaksuessa innovaation. (Rogers, 2003.) Tilapäisen mobiilin pilven kaupallistamisen onnistumiselle on tärkeää, että käyttäjien määrä lähtee kasvuun nopeasti, koska sen käyttökokemus on pitkälti riippuvainen käyttäjien määrästä: jos käyttäjän läheisyydessä on vain vähän tai ei ollenkaan resursseina käytettäviä laitteita, ei laskentatehtäviä voida tehokkaasti jakaa paikalliseen verkkoon, mikä heikentää käyttökokemusta. Koska innovaatioiden omaksuminen alkaa aina innovaattoreista, jotka edustavat vain joitakin prosentteja koko omaksujien joukosta, on hyvin todennäköis-

tä, ettei resursseja aluksi ole saatavilla halutulla hetkellä. Jos innovaattoreiden käyttökokemukset mobiilista pilvestä ovat huonoja, eivätkä he omaksu sitä, voi se vaikeuttaa tai jopa estää tilapäisen mobiilin pilven käytön leviämisen laajemmalle yleisölle.

Edellä esitettyä käyttäjämäärään liittyvää ongelmaa voidaan tarkastella myös tilapäisen mobiilin pilven verkostovaikutuksen näkökulmasta. Verkostovaikutus on ilmiö, joka esiintyy tietyn hyödykkeen tai palvelun käyttäjien keskuudessa. Suorasta verkostovaikutuksesta on kyse silloin, kun loppukäyttäjän kokema hyöty riippuu muista verkoston jäsenistä. Tällöin yhden käyttäjän liittyminen verkostoon lisää myös muiden käyttäjien kokemaa hyötyä. (Katz & Shapiro, 1985.) Tilapäisen mobiilin pilven tapauksessa yhden uuden käyttäjän liittyessä osaksi verkostoa, kasvaa muiden käyttäjien todennäköisyys löytää ulkoisia resursseja tarvittaessa, mikä parantaa koko verkoston kokemaa hyötyä. Toisaalta verkoston käyttäjämäärän kasvu voi aiheuttaa myös epäsuoria verkostovaikutuksia (Katz & Shapiro, 1985). Epäsuora verkostovaikutus tilapäisen mobiilin pilven käyttäjämäärän kasvaessa voisi olla esimerkiksi yhä monipuolisemmat tavat hyödyntää mobiililaitteita resursseina, kun sovelluskehittäjät ja laitevalmistajat kiinnostuvat konseptiin liittyvistä mahdollisuuksista. Ongelmana on kriittisen massan konsepti, joka liittyy kysynnän ”muna vai kana”-paradigmaan: kuluttajat eivät ole kiinnostuneita hyödykkeen tai palvelun hankkimisesta, jos sen käyttäjäverkosto on pieni, ja käyttäjäverkosto on pieni, koska liian pieni joukko on ostanut hyödykkeen tai palvelun (Economides & Himmelberg, 1995). Tällöin tilapäisen mobiilin pilven käyttäjämäärän tulee kasvaa ohi kriittisen massan, jotta verkostovaikutukset koetaan tarpeeksi merkittäviksi, jolloin yhä useampi mahdollinen käyttäjä kiinnostuu tilapäisen mobiilin pilven mahdollisuuksista ja positiiviset verkostovaikutukset johtavat käyttäjämäärän kasvuun. Innovaatioiden diffuusion ja verkostovaikutusten taakia on siis tärkeää, että tilapäisen mobiilin pilven käyttäjämäärä kasvaa nopeasti niin suureksi, että loppukäyttäjät kokevat hyötyvänsä sen käyttöönotosta.

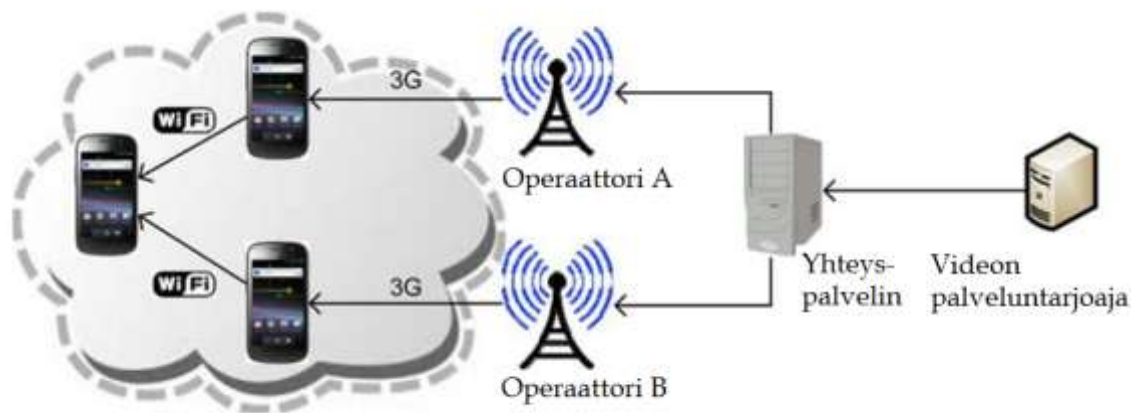
4 MITÄ MAHDOLLISUUKSIA MOBIILEILLA PILVIPALVELUILLA ON ?

Tässä luvussa pohditaan millaisia mahdollisuuksia ja etuja tilapäisten mobiilien pilvipalveluiden yleistymisen ja kaupallistumisen voi tuoda. Tarkoituksena on listata suurimmaksi osaksi käyttäjän näkökulmasta koettavia hyötyjä, mutta samalla esitellään myös liiketoimintamahdollisuuksia palveluntarjoajille sekä laitteisto- ja ohjelmistovalmistajille.

Perinteisen pilvipalvelun käyttöön sisältyy yleensä kaksi kustannusta: kustannus datayhteydestä ja kustannus palveluntarjoajan resurssien käytöstä (Huerta-Canepa & Lee, 2010). Tilapäisen mobiilin pilven hyödyntäminen on käyttäjälle edullisempaa, jos tiedonsiirrosta 3G- tai 4G-verkoissa ei tarvitse maksaa (Fernando ym., 2013). Tilapäisen mobiilin pilven ansiosta voidaan välttää myös kalliit verkkovierailumaksut ulkomailla (Kovachev & Klamma, 2012). Kuviossa 4 esitetään mahdollinen käyttötapa, jossa käyttäjä voi hyödyntää paikallisen WLAN-yhteyden avulla lähistöllä sijaitsevien mobiililaitteiden 3G-yhteyksiä, ladatakseen videotiedoston palveluntarjoajan palvelimelta (Dihal ym., 2013). Tällainen mahdollisuus ulkomaisessa verkossa säästäisi käyttäjän verkkovierailumaksuilta. Samalla käyttäjä voisi myös hetkellisesti kasvattaa kaistanleveyttään. Taloudellista etua syntyy myös, jos muita pilven käyttäjiä ei tarvitse kompensoida rahallisesti resurssien tarjoamisesta ja käyttäjät jakavat resurssejaan yhteistä hyötyä tavoitellen, tai he muodostavat Kovachevin ja Klamman (2012) esittelemän yhteisön, jossa resursseja jaetaan yhteistoiminnan periaatteella.

Perinteisen pilvipalvelun palveluita voidaan hyödyntää vain, jos datayhteydet ovat tarpeeksi hyvälaatuisia (Fernando ym., 2013). Tilapäisen mobiilin pilven avulla voidaan ulkoisia resursseja hyödyntää myös tilanteissa, joissa datayhteyksien puuttuminen tai heikko kuuluvuus estävät perinteisten pilvipalveluntarjoajien palveluiden käyttämisen (Kovachev & Klamma, 2012). Fernando ym. (2013) visioivat tulevaisuuden mobiilien pilvipalvelujen olevan hybridejä, joissa käyttäjien laitteet voivat itse olla pilven resursseja, mutta jos olosuhteet, kuten datayhteydet ja vasteaika, ovat suotuisat, laitteet yhdistäisivät itsensä perinteisiin palvelinkeskuksiin. Toisaalta pilvi voisi olla hybridi myös siten, että

tarvittaessa yksi laite tai osa laitteista voisi olla yhteydessä tilapäiseen mobiiliin pilveen sekä mobiiliyhteyden avulla palvelinkeskukseen, jolloin laite toimisi reitittimen tavoin mobiililaitteiden ja palvelinkeskuksen välillä. Luvussa 2.5 todettiin Kovachevin ja Klamman (2012) esittäneen näkemyksen uudenlaisten yhteisöjen muodostumisesta, jolloin käyttäjät voisivat hyödyntää tilapäistä mobiilia pilveä yhteisöllisesti resurssejaan jakaen. Jos tällainen hyödyntäminen yleistyy tilapäisen mobiilin pilven kontekstissa, voi se mahdollistaa mobiilien vertaisverkkojen muodostumisen. Tällöin tietyn ryhmän tai yhteisön jäsenet voisivat tarjota ja hyödyntää yhteisön laitteiden resursseja myös globaalisti Internet-yhteyden avulla, eikä tilapäisen mobiilin pilven resurssien tarvitsisi enää välttämättä sijaita toistensa läheisyydessä.



KUVIO 4 Esimerkki tilapäisen mobiilin pilven hyödyntämisestä tiedonsiirrossa (Dihal ym., 2013, 13)

Dihal ym. (2013) ovat kuvanneet, kuinka perinteisen pilvipalvelun SaaS-, PaaS- ja IaaS-mallit voidaan siirtää tilapäisen mobiilin pilven kontekstiin. Mobiilissa SaaS-palvelussa mobiililaitteissa suoritettava sovellus tai palvelu voidaan jakaa paikallisesti. Esimerkkinä sovelluksen jakamisesta esitetään käyttötapaus, jossa useampi käyttäjä haluaa pelata laitteillaan korttipeliä. Vain yhdellä käyttäjällä on sovellus asennettuna, mutta jaettuaan sen muihin laitteisiin, kaikki voivat pelata peliä omalla laitteellaan. Palveluiden jakamisen avulla käyttäjät voisivat esimerkiksi jakaa laitteensa tietoturva-asetukset, jolloin kaikki toimistoon saapuvat mobiililaitteet vaihtuisivat samoihin asetuksiin. (Dihal ym., 2013.) Mobiililla PaaS:illa voitaisiin ennen kaikkea laajentaa perinteisten PaaS-palveluiden resursseja kattamaan myös mobiililaitteiden resursseja, kuten sensoreita. Suurille palveluntarjoajille, jotka tarjoavat sekä pilvipalveluita että käyttöjärjestelmiä, tämä avaa uuden liiketoimintamahdollisuuden. Esimerkiksi Google voisi yhdistää sen käyttöjärjestelmää käyttäviä mobiililaitteita perinteisiin PaaS-palveluihinsa "Google Android plus App Engine" -tyyppisellä palvelulla. (Dihal ym., 2013.) Mobiililla IaaS:lla mobiililaitteita voidaan käyttää ulkoisena infrastruktuuri-resurssina, kuten tässä tutkielmassa on useasti kuvattu. Dihal ym. (2013) mukaan mobiililaitteet tarjoavat entistä monimuotoisempia resursse-

ja erityisesti, koska ne sisältävät erilaisia sensoreita. Täten mobiililaitteiden heterogeenisyys on sekä haaste että mahdollisuus tilapäiselle mobiilille pilvelle: vaikka mobiililaitteiden laitteisto-, ohjelmisto- ja sovellustasojen heterogeenisyys asettaa vaatimuksia mobiilille pilvelle, se mahdollistaa myös monipuolimpien resurssien hyödyntämisen pilven käyttäjien kesken. Tämän ansiosta ominaisuuksia voidaan ikään kuin lainata muista laitteista, jolloin esimerkiksi laskentatehtävä, jonka suorittaminen vaatii tiettyä sensoria, voidaan suorittaa vaikka käyttäjän laitteessa ei olisi kyseistä sensoria, jos laskentatehtävän sensoridataa hyödyntävä osa voidaan jakaa sellaisen laitteen suoritettavaksi, jossa on tarvittava sensori. Dihal ym. (2013) myös esittävät, että mobiileilla IaaS-palveluilla perinteisten pilvipalveluiden palveluntarjoajat voisivat laajentaa tarjontaansa samalla tavoin kuin mobiilissa PaaS-mallissa. Mobiililaitteet on varustettu datayhteyksillä, joilla ne voivat osallistua laskentatehtävien suorittamiseen globaalisti. Esimerkiksi Samsung Power Sleep -sovelluksen avulla voi Android-laitteensa prosessointitehon lahjoittaa öisin tieteelliselle tutkimukselle. Sovellus voidaan avata yöksi, jolloin se vastaanottaa prosessoitavia datapaketteja Wienin yliopiston palvelimelta. Näin laitteesta tulee osa hajautettua tietojärjestelmää, jota hyödynnetään muun muassa proteiinisekvenssien purkamiseen. (Google Play, 2014b.)

Nykyisten pilvipalveluntarjoajien kohdalla tilapäinen mobiili pilvi voisi toimia ennen kaikkea sitouttamisen ja lisäarvon tuottamisen välineenä. Näissä tapauksissa toistensa läheisyydessä sijaitsevien mobiililaitteiden resurssit tuskin voivat korvata suurien palveluntarjoajien palvelinkeskuksia, joissa laskentatehoa on moninkertaisesti verrattuna mobiililaitteiden resursseihin. Toisaalta ne palveluntarjoajat, jotka tarjoavat monia tuotteita ja palveluita eri alustoilla, haluavat ennen kaikkea, että palveluita käytetään mahdollisimman paljon, jolloin käyttäjiä on mahdollista sitouttaa palveluntarjoajan ekosysteemiin. Tällaisia toimijoita ovat esimerkiksi Apple, Amazon, Google ja Microsoft. Tilapäinen mobiili pilvi voisi olla yksi ekosysteemiä laajentava palvelu, jolla voidaan pyrkiä saavuttamaan kilpailuetua.

Tilapäisen mobiilin pilven käyttäminen infrastruktuuri-resurssina mahdollistaa raskaiden sovellusten suorittamisen mobiililaitteilla, jotka eivät sisällä tarpeeksi resursseja itsenäiseen sovellusten suorittamiseen. Mobiilin pilven avulla laitteiden suorituskykyä voidaan hetkellisesti parantaa. Suoritusta voidaan myös tehostaa laskentatehtäviä jakamalla, kun sovelluksen sisältämiä yksittäisiä laskentatehtäviä voidaan suorittaa rinnakkain, olettaen, että jakaminen ei kuluta liikaa resursseja ja täten vaikuta negatiivisesti kokonaissuoritukseen. (Huerta-Canepa & Lee, 2010.) Joissakin tapauksissa tilapäinen mobiili pilvi voi myös mahdollisesti skaalautua jopa perinteisiä pilvipalveluita suuremmaksi, koska resurssina käytettäviä mobiililaitteita on niin paljon (Marinelli, 2009). Tämä vaatii kuitenkin, että järjestelmä voi tehokkaasti skaalautua kattamaan useita laitteita.

Datan siirtäminen ja käsittely on helppoa paikallisessa pilvessä. Kun esimerkiksi sensori- ja multimediatdata ovat tallennettuna laitteen muistiin, ne voidaan tehokkaasti prosessoida laitteessa tai siirtää lähellä sijaitsevaan laitteeseen.

seen ilman, että dataa tarvitsee lähettää kaukana sijaitsevalle palvelimelle. (Marinelli, 2009.) Samsungin kehittämä Group Play -sovellus mahdollistaa musiikin, kuvien, videoiden ja muiden tiedostoiden jakamisen paikallisen pilven avulla muihin lähellä sijaitseviin Android-laitteisiin Dihalin ym. (2013) määrittelemän mobiilin SaaS-mallin mukaisesti. Esimerkiksi musiikkia jakaakseen yksi käyttäjä voi perustaa ryhmän, jolloin muut ryhmään liittyvät laitteet voivat paikallisen WLAN-yhteyden avulla toistaa ryhmän perustajan laitteessa soivaa musiikkia. (Google Play, 2014a.)

Tilapäinen mobiili pilvi voi tulevaisuudessa mahdollistaa laite- ja ohjelmistovalmistajille myös muita vastaavanlaisia sovelluksia, joilla voidaan luoda lisäarvoa loppukäyttäjälle. Kuten luvussa 2.2 todettiin, nykyisin uusiin mobiililaitteisiin on usein esiasennettu perinteisten pilvipalveluiden mobiilisovelluksia. On mahdollista, että tulevaisuudessa laite- ja ohjelmistovalmistajat integroivat tuotteisiinsa yhä enemmän tilapäisen mobiilin pilven sovelluksia ja palveluita kilpailuetua saavuttaakseen. Esimerkkinä tällaisesta palvelusta voisi olla palvelu, jolla käyttäjät voisivat automaattisesti muodostaa tilapäisen mobiilin pilven kaikkien saman tuoteperheen laitteiden kesken.

Laite- ja ohjelmistovalmistajien lisäksi tilapäisen mobiilin pilven yleistymisen saattaa tuoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia myös teleoperaattoreille, jos Dihalin ym. (2013) ehdottama malli, jossa resurssien yhdistämisen ja jakamisen koordinoi kolmas osapuoli, joka voi olla esimerkiksi teleoperaattori, yleistyy. Teleoperaattoreiden liiketoiminta on murroksessa, kun kuluttajat vaativat palveluiltaan muun muassa nopeampia datayhteyksiä perinteisten puhe- ja viestiominaisuuksien sijaan. Maailmanlaajuinen markkinatutkija Ovum (2013b) ennustaa teleoperaattoreiden liikevaihdon laskevan ensimmäistä kertaa vuonna 2018. Perinteisistä tekstiviesteistä saatavan liikevaihdon ennustetaan lähtevän laskuun jo vuonna 2016 (Ovum, 2013a) ja seuraavan viiden vuoden aikana teleoperaattorit voivat menettää satoja miljardeja dollareja IP-puheluiden yleistymisen myötä (Ovum, 2014c). Tilapäisen mobiilin pilven sovellukset ja palvelut voisivat olla luonnollinen tapa laajentaa teleoperaattoreiden tarjontaa tulevaisuudessa. Operaattoreilla on paljon tietoa asiakkaistaan: tukiasematietojen avulla matkapuhelimia voidaan tarvittaessa paikantaa kymmenien metrien tarkkuudella (Yle, 2012) ja lisäksi operaattorit tietävät monesti, mitä päätelaitteita asiakkaat käyttävät. Nämä tiedot mahdollistaisivat teleoperaattoreiden tehokkaan tilapäisen pilven koordinoinnin ja resurssien yhdistämisen, jolloin käyttäjät voisivat kompensoida teleoperaattoria Dihalin ym. (2013) esittämän mallin mukaisesti.

5 YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa on tarkasteltu lähemmin mobiilien pilvipalvelujen uutta näkemystä. Tutkielman tarkoituksena oli määritellä uusi näkemys mobiileista pilvipalveluista, vertailla sen ja muiden siihen liittyvien arkkitehtuurien ja teknologioiden yhteneväisyyksiä ja eroja sekä pohtia mitä haasteita ja mahdollisuuksia uuden näkemyksen mobiileilla pilvipalveluilla on. Tutkimuskysymykset olivat:

- Mitä ovat uuden näkemyksen mukaiset mobiilit pilvipalvelut?
- Minkälaisia haasteita uuden näkemyksen mukaisille pilvipalveluille on?
- Minkälaisia mahdollisuuksia uuden näkemyksen mukaisilla pilvipalveluilla on?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastattiin luvussa kaksi. Siinä todettiin, että uuden näkemyksen mukaisiin pilvipalveluihin viitataan usein termillä tilapäinen mobiili pilvi. Sen perusajatuksena on, että resursseja tarvitsevan laitteen laskentatehtäviä voidaan joustavasti siirtää läheisyydessä sijaitsevien laitteiden suoritettavaksi. Tällöin voidaan saavuttaa perinteisen pilvipalvelun toiminnallisuus paikallisesti ilman, että käyttäjän tarvitsee olla yhteydessä kaukana sijaitsevaan palvelinkeskukseen. Eli tilapäisessä mobiilissa pilvessä käyttäjän läheisyydessä sijaitsevat mobiililaitteet voivat toimia pilvipalvelun palveluntarjoajan tapaan. Teknisesti pilvi perustuu ad hoc -tietoliikenneverkon ominaisuuksiin ja se voi muodostua jonkin langattoman likiverkon tai lähiverkon sekä joidenkin näkemysten mukaan myös mobiiliyhteyden avulla.

Tarkasteltaessa perinteistä pilveä ja tilapäistä mobiilia pilveä, voidaan niiden arkkitehtuurien todeta olevan peruseräpäisyydeltään käänteiset: Perinteisen pilven palvelinkeskukset omistaa yksi palveluntarjoaja ja sitä hyödyntää useampi resursseja tarvitseva asiakas. Tilapäisessä mobiilissa pilvessä resursseja tarvitsevia asiakkaita on usein yksi, joka hyödyntää useampaa mobiililaitetta ulkoisena resurssina. Tilapäistä mobiilia pilveä voidaan myös verrata vertaisverkkoon. Voidaan olettaa, että verkon osallisilla on kyky jakaa sekä vaatia re-

sursseja, jolloin laitteet toimivat verkossa yhdenvertaisina vertaisverkon solmujen tapaan. Yksittäisen käyttäjän kokeman hyödyn lisäksi on myös esitetty näkemyksiä, joissa useampi samassa pilvessä toimiva käyttäjä voisi hyötyä laskentatehtävien jakamisesta. Näin ollen käyttäjiä voidaan verrata vertaisverkon käyttäjiin, kun he toimivat verkossa yhdenvertaisina ja ovat valmiita jakamaan resurssejaan yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi.

Toiseen tutkimuskysymykseen vastattiin luvussa kolme. Tilapäisen mobiilin pilven yleistymiselle on vielä useita haasteita, joista suuri osa liittyy pilven tekniseen toteuttamiseen, mutta osa liittyy myös sen käyttäjiin. Ensinnäkin mobiililaitteet aiheuttavat useita haasteita. Mobiililaitteet liikkuvat ennalta määräämättömästi, niiden verkkoyhteydet ovat epävarmoja, niiden akunkesto on verrattain huono, ne ovat laitteisto- ja ohjelmistotasolla hyvinkin heterogeenisiä ja niihin on esiasennettuina eri käyttöjärjestelmiä.

Lisäksi teknisiä haasteita aiheuttavat myös tilapäisen mobiilin pilven vaatimukset: pilven tulee mukautua mobiililaitteiden tuomiin teknisiin ongelmiin, laskentatehtävien osittaminen ja siirtäminen lähellä sijaitseviin laitteisiin tulee pystyä suorittamaan mahdollisimman nopeasti ja automaattisesti hyvän käyttökokemuksen takaamiseksi ja järjestelmän tulee toimia siten, ettei käyttäjien yksityisyydensuoja tai tietoturva vaarannu.

Käyttäjien keskuudessa haasteet liittyvät käyttäjien määrään ja motivointiin. Koska tilapäisen mobiilin pilven käyttökokemus on pitkälti riippuvainen käyttäjien määrästä, käyttäjien määrän vaihdellessa verkon sisällä ei perinteisen pilvipalvelun luonne lähes rajattomana ilmenevistä resursseista päde mobiilissa pilvessä. Lisäksi haasteita aiheuttaa käyttäjien kompensointi. Käyttäjille tulisi tarjota jokin kannuste resurssien lainaamiseen toisille käyttäjille, mutta koska käyttäjiä on useita, on kompensointi haasteellisempaa kuin perinteisessä pilvipalvelussa, jossa resursseja tarjoaa vain yksi palveluntarjoaja. Luvussa esitettiin myös mahdollinen tilapäisen mobiilin pilven yleistymisen nopeuteen liittyvä haaste, joka perustuu Rogersin (2003) innovaatioiden diffuusioteoriaan ja verkostovaikutusten teoriaan. Tilapäisen mobiilin pilvipalvelun yleistymisen kannalta on tärkeää, että käyttäjien määrä lisääntyy alkuun nopeasti, jotta aikaiset omaksijat kokevat palvelun hyödylliseksi voidessaan käyttää muita laitteita ulkoisina resursseina. Jos heidän kokemuksensa ovat huonoja, voi se vaikeuttaa palveluiden leviämistä laajemmalle tai jopa estää sen kokonaan. Käyttäjämäärän kasvu on tärkeää myös, jotta mahdolliset käyttäjät kokevat positiiviset verkostovaikutukset niin merkittävinä, että he liittyvät osaksi tilapäisen mobiilin pilven käyttäjäverkostoa.

Kolmas tutkimuskysymys käsiteltiin neljännessä luvussa. Luvussa pohdittiin sekä hyötyjä käyttäjien näkökulmasta että mahdollisuuksia liiketoiminnan kannalta. Yhteenvetona todettakoon, että tilapäisen mobiilin pilven hyötyjä ovat mahdollisuus ulkoisten resurssien hyödyntämiseen myös ilman kattavia datayhteyksiä, perinteisten SaaS-, PaaS- ja IaaS-mallien siirtäminen mobiilin pilven kontekstiin ja helppo datan siirrettävyys paikallisessa verkossa. Tulevaisuudessa tilapäisen mobiilin pilven sovellukset ja palvelut voivat tuoda uusia liiketoiminnallisia mahdollisuuksia laite- ja ohjelmistovalmistajille, heidän

mahdollisesti integroidessaan kyseisiä palveluita osaksi uusia tuotteitaan, ja teleoperaattoreille jos malli, jossa kolmas osapuoli hoitaa mobiilin pilven koodinoinnin, yleistyy.

Tärkeimmät jatkotutkimusaiheet liittyvät tilapäisen mobiilin pilven tekniiseen toteutukseen. Ensisijaisesti tulisi ratkaista, kuinka epävakaista mobiililaitteista saadaan muodostettua verkkoja, joissa laskentatehtävien jakaminen on tehokasta. Lisäksi tulee pohtia parasta tapaa laskentatehtävien osittamiseen ja jakamiseen. Prosessin pitäisi toimia mahdollisimman automaattisesti ilman, että käyttäjän tulee puuttua siihen liikaa. Samalla prosessin tulisi olla nopea, eikä se saisi kuluttaa turhaan jakavan laitteen resursseja.

Näiden teknisten haasteiden lisäksi tulisi tulevaisuudessa pohtia myös käyttäjiin liittyviä haasteita. Tärkeää olisi ainakin pyrkiä määrittelemään paras kompensointitapa resurssien lainaamisesta ja tutkia erilaisia ”hinnoittelumalleja”, joilla käyttäjiä voitaisiin motivoida tilapäisen mobiilin pilven osallisiksi. Tulevaisuudessa voitaisiin pohtia myös puettavan teknologian, kuten älykellojen ja älylasien, yleistymisen mahdollisuuksia tilapäiselle mobiilille pilvelle.

LÄHTEET

- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ym. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50–58.
- Buyya, R., Chee Shin Yeo, & Venugopal, S. (2008). Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering IT services as computing utilities. Teoksessa S. Kawda (toim.), *10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, 2008.*, (s. 5–13). Dalian, China.
- Cuervo, E., Balasubramanian, A., Cho, D., Wolman, A., Saroiu, S., Chandra, R. & Bahl, P. (2010). MAUI: Making smartphones last longer with code offload. Teoksessa *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, (s. 49-62). New York, USA.
- Dihal, S., Bouwman, H., de Reuver, M., Warnier, M. & Carlsson, C. (2013). Mobile cloud computing: State of the art and outlook. *Info*, 15(1), 4–16.
- Dou, A., Kalogeraki, V., Gunopulos, D., Mielikainen, T. & Tuulos, V. H. (2010). Misco: A MapReduce framework for mobile systems. Teoksessa F. Makedon, I. Maglogiannis & S. Kapidakis (toim.), *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 32. Samos, Greece.
- Dou, A. J., Kalogeraki, V., Gunopulos, D., Mielikinen, T., Tuulos, V., Foley, S., ym. (2011). Data clustering on a network of mobile smartphones. Teoksessa *11th International Symposium on Applications and the Internet (SAINT), 2011 IEEE/IPSJ*, (s. 118–127). Munich, Germany.
- Duchessi, P. & Chengalur-Smith, I. (1998). Client/Server benefits, problems, best practices. *Communications of the ACM*, 41(5), 87–94.
- Economides, N. & Himmelberg, C. (1995). Critical mass and network evolution in telecommunications. Teoksessa Brock G. (toim.) *Toward a competitive telecommunications industry: Selected papers from the 1994 Telecommunications Policy Research Conference* (s. 47–63). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Fernando, N., Loke, S. W. & Rahayu, W. (2013). Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 29(1), 84–106.
- Flores, H., Srirama, S. N. & Paniagua, C. (2011). A generic middleware framework for handling process intensive hybrid cloud services from mobiles. Teoksessa D. Taniar, E. Pardede, H. Nguyen, J. Rahayu & I. Khalil (toim.) *Proceedings of the 9th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, 87–94. Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Gartner (2014a, 13. helmikuuta). Gartner Says Annual Smartphone Sales Surpassed Sales of Feature Phones for the First Time in 2013. Haettu 4.2.2013 osoitteesta <http://www.gartner.com/newsroom/id/2665715>.

- Gartner (2014b, 22. tammikuuta). Gartner Says by 2017, Mobile Users Will Provide Personalized Data Streams to More Than 100 Apps and Services Every Day. Haettu 4.2.2013 osoitteesta <http://www.gartner.com/newsroom/id/2654115>.
- Gartner (2014c, 7. tammikuuta). Gartner Says Worldwide Traditional PC, Tablet, Ultramobile and Mobile Phone Shipments On Pace to Grow 7.6 Percent in 2014. Haettu 4.2.2013 osoitteesta <http://www.gartner.com/newsroom/id/2645115>.
- Google Play (2014a, 10. helmikuuta). Group Play. Haettu 2.3.2014 osoitteesta <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.samsung.groupcast&hl=en>.
- Google Play (2014b, 26. helmikuuta). Samsung Power Sleep. Haettu 2.3.2014 osoitteesta <https://play.google.com/store/apps/details?id=at.samsung.powersleep&hl=en>.
- Goyal, P., Parmar, V. & Rishi, R. (2011). Manet: vulnerabilities, challenges, attacks, application. *IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management*, 11, 32–37.
- Hayes, B. (2008). Cloud computing. *Communications of the ACM*, 51(7), 9–11.
- Huang, D. (2011). Mobile cloud computing. *IEEE COMSOC Multimedia Communications Technical Committee (MMTC) E-Letter*, 6(10), 27–31.
- Huang, J., Qian, F., Gerber, A., Mao, Z. M., Sen, S. & Spatscheck, O. (2012). A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks. Teoksessa *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, (s. 225–238). Ambleside, United Kingdom.
- Huerta-Canepa, G. & Lee, D. (2010). A virtual cloud computing provider for mobile devices. Teoksessa *Proceedings of the 1st ACM Workshop on Mobile Cloud Computing & Services: Social Networks and Beyond*. 6:1–6:5. San Francisco, California.
- IBM (2007). Virtualization in Education. Haettu 4.2.2013 osoitteesta <http://www-07.ibm.com/solutions/in/education/download/Virtualization%20in%20Education.pdf>.
- Katz, M. & Shapiro C. (1985). Network Externalities, Competition and Compatibility. *The American Economic Review*, 75(3), 424–440.
- Klein, A., Mannweiler, C., Schneider, J. & Schotten, H. D. (2010). Access schemes for mobile cloud computing. Teoksessa T. Hara, C. Jensen, V. Kumar, S. Madria, D. Zeinalipour-Yazti (toim.), *Eleventh International Conference on Mobile Data Management (MDM)*. (s. 387–392). Kansas City, USA.
- Kortuem, G., Schneider, J., Preuitt, D., Thompson, T. G. C., Fickas, S. & Segall, Z. (2001). When peer-to-peer comes face-to-face: Collaborative peer-to-peer computing in mobile ad-hoc networks. Teoksessa R. Graham & N. Shahmehri (toim.), *Proceedings. First International Conference on Peer-to-Peer Computing*. (s. 75–91). Linköping, Sweden.

- Kovachev, D. & Klamma, R. (2012). Beyond the client-server architectures: A survey of mobile cloud techniques. Teoksessa *1st IEEE International Conference on Communications in China Workshops (ICCC)*. (s. 20–25). Beijing, China.
- Kristensen, M. D. & Bouvin, N. O. (2010). Using Wi-Fi to save energy via P2P remote execution. Teoksessa *8th IEEE International Conference Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, (s. 123–128). Mannheim, Germany.
- Liu, F., Shu, P., Jin, H., Ding, L., Yu, J., Niu, D. & Li, B. (2013). Gearing resource-poor mobile devices with powerful clouds: Architectures, challenges, and applications. *Wireless Communications, IEEE*, 20(3). 14–24.
- Liu, J. & Chlamtac, I. (2004) Mobile Ad Hoc Networking with a View of 4G Wireless: Imperatives and Challenges. Teoksessa S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, & I. Stojmenovic (toim.) *Mobile ad hoc networking* (s. 1–47). USA: Wiley.
- Marinelli, E. E. (2009). *Hyrax: Cloud Computing on Mobile Devices using MapReduce*, Pro gradu -tutkielma. Carnegie Mellon -yliopisto.
- Mell, P. & Grance, T. (2009). The NIST definition of cloud computing. national institute of standards and technology. *Information Technology Laboratory, Version, 15(10.07)*.
- Moyers, B. R., Dunning, J. P., Marchany, R. C. & Tront, J. G. (2010). Effects of Wi-Fi and Bluetooth battery exhaustion attacks on mobile devices. Teoksessa R. Sprague Jr. (toim.) *43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, (s. 1–9). IEEE. Koloa, USA.
- Nazir, S. & Hauswirth, M. (2010). Using Monte Carlo simulation for improving data availability in P2P network. Teoksessa B. Desai (toim.) *Proceedings of the Fourteenth International Database Engineering & Applications Symposium*. (s. 179–185). Montreal, Quebec, Canada.
- Ovum (2013a, 11. marraskuuta). Global SMS revenues will decline after 2016. Haettu 9.3.2013 osoitteesta <http://ovum.com/2013/11/11/global-sms-revenues-will-decline-after-2016/>.
- Ovum (2013b, 10. lokakuuta). Ovum forecasts global mobile revenue decline for the first time in mobile industry history. Haettu 9.3.2013 osoitteesta http://ovum.com/press_releases/ovum-forecasts-global-mobile-revenue-decline-for-the-first-time-in-mobile-industry-history/.
- Ovum (2014c, 20. helmikuuta). Ovum reveals telcos will lose US\$386bn over the next five years due to the rise of OTT VoIP services. Haettu 9.3.2013 osoitteesta http://ovum.com/press_releases/ovum-reveals-telcos-will-lose-us386bn-over-the-next-five-years-due-to-the-rise-of-ott-voip-services/.
- Oxford Dictionaries (2014) Ad hoc. Haettu 9.2.2014 osoitteesta <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/ad-hoc>.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5. uud. painos). New York: Free Press.

- Schollmeier, R. (2001). A definition of peer-to-peer networking for the classification of peer-to-peer architectures and applications. Teoksessa R. Graham & N. Shahmehri (toim.), *Proceedings. First International Conference on Peer-to-Peer Computing*. (s. 101–102). Linköping, Sweden.
- Singh, M. P. (2001). Peering at peer-to-peer computing. *IEEE Internet Computing*, 5(1), 4–5.
- Song, W. & Su, X. (2011). Review of mobile cloud computing. Teoksessa 2011 *IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*. (s. 1–4). Xi'an, China.
- Souppaya, M. & Scarfone, K. (2013). Guidelines for managing the security of mobile devices in the enterprise. *NIST Special Publication*, 800-124.
- Steinmetz, R. & Wehrle, K. (2005). *Peer-to-peer systems and applications*. Heidenberg, Berliini: Springer Berlin Heidelberg.
- Vaquero, L. M., Roderó-Merino, L., Caceres, J. & Lindner, M. (2008). A break in the clouds: Towards a cloud definition. *SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1), 50–55.
- Voorsluys, W., Broberg, J. & Buyya, R. (2011). Introduction to cloud computing. Teoksessa W. Voorsluys, J. Broberg & R. Buyya (toim.) *Cloud Computing: Principles and Paradigms*, (s. 2–44). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Yle (2012, 26. syyskuuta). Kännykän paikantaminen käy sekunneissa. Haettu 9.3.2014 osoitteesta http://yle.fi/uutiset/kannykan_paikantaminen_kay_sekunneissa/631037 1.
- Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1(1), 7–18.