

Kim Setälä

Mobiililaajakaistan käyttökokemus

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 30.9.2013.

Työn valvoja:

Prof. Jukka Manner

Työn ohjaaja:

DI Matias Castrén



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Tekijä: Kim Setälä		
Työn nimi: Mobiililaajakaistan käyttökokemus		
Päivämäärä: 30.9.2013	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 6+62
Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos		
Professori: Tietoliikenneverkot		Koodi:S-38
Valvoja: Prof. Jukka Manner		
Ohjaaja: DI Matias Castrén		
<p>Työssä on tutkittu mobiililaajakaistan käyttökokemusta palvelun laadun ja käyttökokemuksen määritelmien kautta. Käyttäjäkokemuksen tunteminen auttaa palveluntarjoajaa selvittämään tarjotun palvelun laatua käyttäjän näkökulmasta. Kyselytutkimuksessa on selvitetty mitkä tekijät vaikuttavat tyytyväisyyteen mobiiliyhteydessä. Toisessa tutkimusmenetelmässä käyttäjän mobiiliyhteydestä kerättiin dataa sovelluksella. Palvelun laadulle on määritelty kolme mittaria: viive, viiveen vaihtelu sekä pakettihäviö. Näitä tekijöitä korreloitiin saadun käyttäjätyytyväisyyden kanssa. Datan analysoinnin tuloksena saatiin selville, että käyttäjien tyytyväisyys korreloi voimakkaasti yhteydessä koetun hitauden, eli viiveiden ja mobiiliyhteyden odottamattoman katkeamisen kanssa. Erityisesti 3G-teknologiassa, jossa käyttäjiä oli enemmän. LTE-teknologiassa mobiiliyhteyden suorituskyky oli parempi, eli viiveet pienempiä ja katkeamisia vähemmän. Käyttökokemus on kuitenkin kokonaisuus ja siihen vaikuttaa mainittujen tekijöiden lisäksi myös käyttäjien odotukset palvelua kohtaan.</p>		
Avainsanat: Mobiililaajakaista, käyttökokemus, käyttäjätutkimus, viive, vastausaika, katkeilu, latausnopeus, mobiili-internet, palvelun laatu, LTE, HSPA		

Author: Kim Setälä		
Title: Analyzing customer experience in mobile broadband network		
Date: 30.9.2013	Language: Finnish	Number of pages: 6+62
Department of Communications and Networking		
Professorship: Networking Technology		Code: S-38
Supervisor: Prof. Jukka Manner		
Instructor: M. Sc. (Tech.) Matias Castrén		
<p>This study analyzes the quality of service and customer experience for mobile broadband users, from definitions point of view. Knowing how customer experiences the service (and) service providers can develop the current quality of service. There are three different properties which measure quality; delay, jitter and packet loss. With the questionnaire part, the goal has been to analyze which factors affect customer satisfaction regarding mobile connection. In other research, the application collected data about mobile connection. Quality indicators were correlated with the customer satisfaction scores. Result of analyzing the data showed that customer satisfaction correlates strongly with experienced slowness, e.g. delay and connection dropping. Especially in crowded 3G technologies. In LTE technology, the performance was better, delays smaller, less dropping. Customer experience is eventually complex and also customer's expectation towards the service influences it.</p>		
Keywords: mobile broadband, quality of experience, quality of service, delay, call dropping, mobile-internet, LTE, HSPA, response time		

Esipuhe

Lopputyössä mielestäni osoitetaan ennen kaikkea itselle, miten hyvin kaikkea opittua tietoa voidaan käyttää ja soveltaa. Työni mielestäni osoittaa juuri tätä. Syvällisempi tekninen tieto ja käytännössä opitut asiat yhdistyvät ja lopputuloksena koherentti kokonaisuus. Työn aikana olen oppinut tutkimaan entistä paremmin olemassa olevaa tietoa, mutta työtä tehdessä huomasin myös yhdisteleväni tietoa eri lähteistä mielessäni ja tuottaneeni uutta tietoa. Tämän koen itselleni merkittäväksi oppimiskokemukseksi.

Opiskeluni ovat polvilleen aiheesta toiseen ja jopa kaupungista toiseen ja sen vuoksi koen olevani entistä valmiimpi alati muuttuvaan maailmaan. Rinnallani on kulkenut ennen kaikkea mitä parhaimpana kannustajana ja sparraajana vaimoni. Voimaa jaksaa hankalienkin aiheiden yli on auttanut lukuiset ystäväni, milloin mistäkin opiskelun vaiheesta. Uskoa opiskelun hyödyllisyyteen ja parempaan huomiseen olen saanut perheeltäni, joka ei myöskään lakannut uskomasta ja kannustamasta.

Kiitos työn valmistumisesta kuuluu myös sitä tukeneelle joukolle työpaikoilla, jotka toivat opitun teorian päälle ymmärrystä miten palveluita todellisuudessa tuotetaan. Lisäksi sain apua etsiessäni ratkaisuja työni tutkimusongelmaan ja sen täsmentämiseen. Diplomityö osoittaa, että nyt ovat perusteet valettu ja oikea oppiminen voi alkaa.

Espoossa, 30.9.2013

Kim Setälä

Sisältö

Tiivistelmä	i
Tiivistelmä (englanniksi)	ii
Esipuhe	iii
Sisällysluettelo	iv
Lyhenteet	v
1 Johdanto	1
2 Palveluiden laatu	4
3 Käyttökokemuksen laatu	10
4 Käyttäjäkysely ja -tutkimus	25
5 Päätelmät ja kehitysnäkökulmat	52
Lähteet	55
Liite A	60
A 3G-käyttäjien nopeusluokkien vertailu	60

Lyhenteet

3G	kolmas sukupolvi (third generation)
3GPP	Third Generation Project Participants
4G	neljäs sukupolvi (fourth generation)
ADSL	asymmetric digital subscriber line
ARQ	automatic repeat-request protocol
DC-HSPA	dual carrier high-speed packet access
DiffSrv	differentiated service
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute
GGSN	gateway GPRS support node
GPRS	general packet radio service
HARQ	hybrid ARQ
HO	handover
HSPA	high-speed packet access
HSDPA	high-speed downlink packet access
HSUPA	high-speed uplink packet access
HTTP	hypertext transfer protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IntSrv	integrated service
ITU	International Telecommunication Union
LTE	long-term evolution
MIMO	multiple-in, multiple-out
MME	mobile management entity
MOS	mean Opinion Score
NSN	Nokia Siemens Networks nyk. Nokia Services and Networks
OFDMA	orthogonal frequency-division multiple access
QoE	quality of experience
QoS	quality of service
QCI	quality of service class identifier
RNC	radio network core
RSRP	reference signal received power
RSSI	received signal strength indicator
RTT	round-trip time
SIM	subscriber identity module
SINR	signal-interference-noise
SGSN	serving GPRS support node
S-GW	service gateway
SLA	service level agreements
TAM	teknologian hyväksymismalli (technology acceptance model)
TTT	time to trigger
UMTS	universal mobile technology standard
UTRAN	universal terrestrial radio access network
VoIP	voice-over-internet-protocol
WCDMA	wideband code-division multiple access
WFL	Weber-Fechnerin laki
YK	Yhdistyneet Kansakunnat

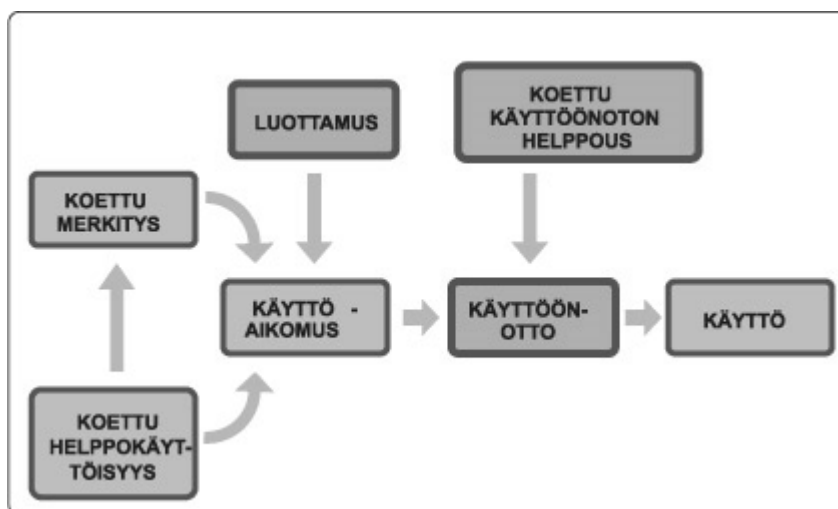
1 Johdanto

Mobiilipäätelaitteet ovat tuoneet internetin lähemmäs jokaisen ihmisen elämää ja sen kautta katsotaankin maailmaa reaaliaikaisesti. Näitä päätelaitteita kuluttajille on älypuhelimet, tablet-tietokoneet ja usb-yhteyslaitteet eli ns. nettitikut. Tulevaisuudessa päätelaitteivalikoima tulee laajenemaan yhä henkilökohtaisemmaksi. Myös odotukset laitteiden ja yhteyksien toimivuutta kohtaan ovat nousseet. Palveluntarjoajat, verkko-operaattorit ja laitevalmistajat haluavat pysyä kilpailussa mukana, jolloin on ymmärrettävä yhä paremmin palveluita asiakkaan näkökulmasta. Työ keskittyy mobiililaajakaistan käyttökokemuksen analysointiin ja yhdistämään käyttäjien kokemukset matkapuhelinverkon suorituskykyyn tiedonsiirron näkökulmasta.

1.1. Käyttäjän kokemuksen tutkiminen

Kuluttajien käyttäytymistä tietotekniikan parissa on tutkittu monesta näkökulmasta, jossa keskeisessä roolissa on teknologian hyväksymismalli (TAM, Technology Acceptance Model), joka käsittää käyttäjän kokemusten vaikutusta teknologian käytettävyyteen, helppouteen ja haluun käyttää teknologiaa [1], [2] (Kuva 1)

Tutkimuksessani käsitellään tietoliikennepalveluiden laadun teknisten mittareiden yhteyttä siihen, kuinka käyttäjä kokee laadun, onko käyttäjä siihen tyytyväinen. Loppukäyttäjän kokemus on tämän päivän kuluttajaliiketoiminnassa keskeisessä asemassa tuotettaessa kuluttajille palveluita. [3]

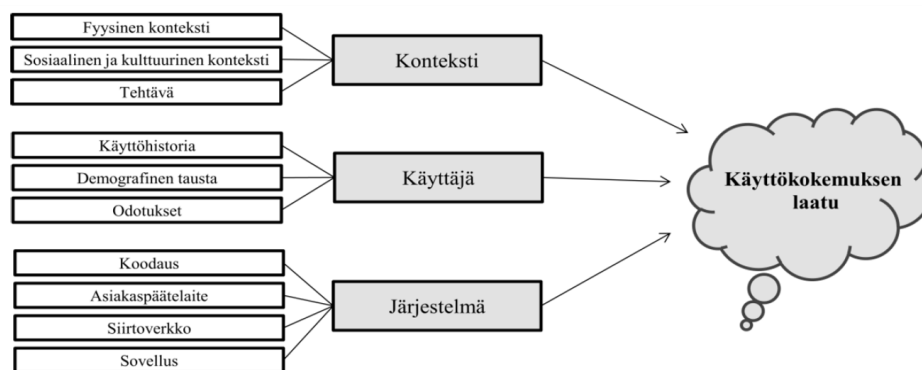


Kuva 1: Teknologian hyväksymismalli mobiilipalveluille [4]

Mobiilitekniikassa kuluttajia kiinnostaa erityisesti mobiliteetin etu: saatavuus kaikkialla, tilanteessa kuin tilanteessa. Monille käyttäjille merkitsee myös yhteyden latausnopeus, mutta se on subjektiivinen kokemus, joka perustuu siihen millaista latausnopeutta he odottavat ja miten he kokevat latausnopeudet. Lisäksi datan tiedonsiirtonopeus on tekninen termi, jolla ei voi määritellä suoraan inhimillistä käyttökokemusta. [5], [6]

Erityisesti operaattoriliiketoiminnassa kuluttajan hankintapäätös perustuu siihen, millaisia samankaltaisia käyttökokemuksia palveluista hän on saanut aiemmin [7]. Palvelut ovat eri palveluntarjoajilla samankaltaisia ja erottuminen käyttökokemuksella ja asiakaskohtaamisilla kilpailijoista on tärkeää. Työssä etsitään ratkaisua siihen millaiset tekniset ominaisuudet vaikuttavat käyttäjän kokemukseen.

Kuva 2 osoittaa, että tekniset ominaisuudet ovat vain yksi osa kokonaisuutta, joka vaikuttaa käyttökokemukseen. Tutkimuksessa kartoitetaan kerätyn datan avulla, mitä käyttäjä ymmärtää toimivuudella. Tutkimus kohdistuu erityisesti mobiiliin laajakaistatekniikkaan, eli LTE (long-term evolution) ja DC-HSPA (dual carrier high-speed packet access) mobiiliyhteyksiin. Jälkimmäinen teknologia on osa UMTS (universal mobile technology standard) ja 3G –teknologiaa. (third generation). Nämä mahdollistavat teoriassa kymmenien megatavujen siirtonopeudet mobiiliverkossa.



Kuva 2: Käyttökokemuksen laatuun vaikuttavat konteksti, inhimillinen käyttäjä ja tekninen järjestelmä [8]

Kuvaan 2 on tiivistetty millaiset tekijät vaikuttavat käyttökokemuksen laatuun. Käyttäjän aikaisemmat kokemukset ja ympäristö ovat palveluntarjoajan vaikutuksen ulkopuolella, koska nämä riippuvat aina käyttäjästä itsestään. Käytettävän järjestelmän valintaan ja ominaisuuksiin käyttäjä voi vaikuttaa enemmän, esimerkiksi millaisen päätelaitteen käyttäjä valitsee. Tutkimuksissa on kartoitettu ympäristöstä sekä käyttäjien tarpeista ja odotuksista riippuvia tekijöitä, joihin palveluntarjoajat voivat vaikuttaa ja jotka voidaan määritellä. Työssä käsitelen tätä aihetta ja etsin toimivuuden kokemiseen liittyviä mittareita.

Näkökulma palveluun asiakaskokeman kautta on operaattoriliiketoiminnassa tuore ja siihen liittyvät ratkaisut kehittyvät voimakkaasti [3], [9]. Tuntemalla asiakkaan kokemuksen palvelun tarkoin mittarein voidaan heille tarjota juuri sellaista palvelu kuin he odottavat ja etsiä keinoja parantaa nykyistä kokemusta.

1.2. Tutkimuksen toteuttaminen ja tulokset

Tutkimukset neljännessä luvussa osoittavat, että käyttäjät haluavat luotettavaa verkkoyhteyttä, eivätkä ole valmiita sietämään yhteyden katkeilua tai odottelua, jota ei voi ennakoida. Käyttäjät ovat yksilöitä ja heidän vaatimuksensa eroavat käyttötarkoituksen mukaan. Jos kyseessä on nopea tiedonhaku, ei yhteyden odottamattomalla katkeamisella ole niin paljon merkitystä kuin verkon yli videota katsoessa, mutta silloin yhteyden on oltava käytettävissä heti.

Tutkimuksissa ei ole selvitetty, miten käyttäjä yhteyttä käyttää, vaan käytetty ainoastaan yhteyden teknistä dataa yhteyden kuvaamiseksi. Esimerkiksi tutkimuksesta ei selviä kerätyn datan avulla, katsoiko käyttäjä yhteyden aikana videoita, lukiko sähköposteja vai käyttikö yhteyttä vain internet-sivustojen selailuun. Tietojen kerääminen käyttäjien mobiililiikenteen sisällöstä ei kuulunut tutkimukseen, koska tämä koettiin yksityisyyden suojaamiseen liittyvien säädösten vuoksi raskaaksi ja lisäksi vähemmän oleelliseksi tutkimuksen kannalta. Teknistä dataa tutkiessa voidaan siis vain päätellä, mihin käyttäjä on yhteyttä käyttänyt. Tämä toisaalta tarjoaa myös näkökulman tutkia yksittäiseen käyttäjään liittyvästä datasta käyttäjän kokemusta ja tuloksista selviää, miten käyttäjän käyttäytyminen näkyy yhteyden teknisestä datasta, jotka ovat

palvelun laadun mittareita. Tämän tyyppinen data on saatavilla luotettavasti eri päätelaitteilla.

Työ toteutettiin kahtena tutkimuksena, joista toinen oli kyselytutkimus käyttäjien tyytyväisyydestä mobiiliyhteyteen ja mitkä tekijät vaikuttavat heidän kokemaan hyvään mobiiliyhteyteen. Toinen tutkimus toteutettiin käyttöjärjestelmän taustalla toimivalla sovelluksella, joka raportoi yhteyden laatuun liittyviä arvoja. Näistä selvitettiin mitkä tekijät vaikuttivat mobiiliyhteyden käyttökokemukseen ja miten.

Tutkimusten tuloksissa päädyttiin kolmeen huomioon:

- Mobiiliyhteyden käyttäjän kokemukset ovat subjektiivisia ja niissä on huomioitava käyttäjän kokemukset aiemmasta käytöstä, käyttötavoista ja paikasta. Käyttökertoja on katsottava kokonaisuutena, koska joissain tapauksissa hidastelu on merkityksetöntä ja joissain ei. Sama koskee muita laadun mittareita. Palveluntarjoajien olisi siis entistä paremmin tarjottava käyttäjille juuri hänen tarvitsemaan palvelua.
- Mobiiliyhteyttä käytetään kiinteän laajakaistan tavoin, eli pitkiä aikoja ja usein. Yhteydeltä odotetaan alituista luotettavuutta ja tiedon eheyttä. Tämä on mahdollista mobiiliyhteydellä, jolle fyysinen ympäristö on suotuisa ja käytettävä palvelu on mitoitettu jatkuvan käytön tarkoitukseen.
- Mobiiliyhteyden pätkimiset ja vaihteleva hitaus vaikuttavat eniten käyttäjän kokemukseen, toisin sanoen yhteyden luotettavuuteen. Latausnopeuden tunteminen ei ole yhtä merkittävässä roolissa kuin tasalaatuisen yhteyden käyttäminen. Näihin tekijöihin voidaan vaikuttaa verkon suorituskykyyn liittyvien arvojen määrittelyssä, kuten solunvaihtoon vaikuttavan signaalitehokynnykseen.

1.3. Työn sisältö

Työ jakautuu viiteen kappaleeseen, joista toisessa luvussa esitellään olemassa olevaa tutkimusta tietoliikenteen palveluiden laadusta. Luvussa käsitellään myös palvelun laatua määrittäviä mittareita. Kolmannessa luvussa on käsitelty miten käyttäjät voivat kokea laadun ja millaisia käyttökokemukseen vaikuttavat tekijät ovat, erityisesti mobiili-internetin käytössä. Lisäksi luvussa esitellään olemassa olevaa tutkimusta käyttäjätutkimuksesta. Neljännessä luvussa esitellään toteutettua käyttäjätutkimusta ja –kyselyä sekä analyysiä ja saatuja tuloksia.

Näiden tietojen valossa tehdään johtopäätöksiä millaiset mobiiliyhteyden ominaisuudet vaikuttavat käyttäjän kokemaan ja miten saatua dataa voidaan käyttää kokemuksen parantamiseen. Luvussa viisi esitetään yhteenveto tehdyistä tutkimuksista, millaiset ominaisuudet ilmentävät käyttäjän kokemusta ja miten tätä voisi parantaa, tavoitteena tyytyväinen mobiili-internetin käyttäjä. Lisäksi lopussa käsitellään lyhyesti aiheen näkymistä kehitysmahdollisuuksia.

2 Palveluiden laatu

Tietoliikennettä, tiedonsiirtoa dataverkoissa tutkiessa voidaan olettaa, että käyttäjä saa verkon näkökulmasta riittävää palvelua hänen käyttämälleen toiminnolle tai palvelulle, joka voi olla musiikin kuuntelua tai verkkoselailua internetissä [7]. Palvelun laadun (QoS, quality of service) määrittelemisen eri prioriteeteille parantaa verkon suorituskykyä, esimerkiksi videopuhelulla ja taustalla tapahtuvalla tiedoston latauksella verkon yli.

Teleoperaattorit tarjoavat käyttäjilleen eri tasoisia palveluita, jotka takaavat halutun tasoisen yhteyden, esimerkiksi yhteyden tiedonsiirtonopeudesta riippuen. Palvelun mukaan määräytyy myös sen hinta. Tiedonsiirtopalvelut ovat kuitenkin olleet murroksessa 2010-luvun alussa tiedonsiirtomäärien ja palveluiden tarjonnan kasvaessa. Nykyhetkellä tilanne onkin mielenkiintoinen: pakettikytkentäiset palvelut, tekniikka joilla nykyiset tiedonsiirtopalvelut on toteutettu, ovat enenevässä määrin yhä tärkeämpi taloudellinen kivijalka teleoperaattoreille puhe- ja tekstiviestipalveluiden lisäksi. Siksi palveluiden laadun seuraaminen on entistä tärkeämpää.

2.1. Luokittelu varmistaa tiedonsiirron sujuvuuden

Tietoverkkojen yleistyessä nopeasti kuluttajien keskuudessa ja palvelutarjonnan kasvaessa 1990-luvulla palvelun laadun vaatimukset otettiin osaksi teknologian standardikokoelmia. [10]

Yksi tietoliikenne- ja informaatioteknologian merkittävimmistä standardointijärjestöistä on International Telecommunication Union (ITU), joka on Yhdistyneiden Kansakuntien (YK) alainen järjestö. Teknisten standardien lisäksi se allkoi radioliikenteen spektriä, eli kuinka radiotaajuudet jakautuvat eri käyttötarkoituksiin niin maanpäällisessä radioliikenteessä kuin satelliittiliikenteessä. Järjestön määritysten tavoitteena on yhdistää eri teknologioiden rajapinnat saumattomasti toisiinsa ja varmistaa sujuva tietoliikenne. Järjestöön kuuluu 193 maata ja yli 700 yksityistä toimijaa, kuten tietoverkkotekniikan laitevalmistajia ja tieteellistä laitosta. [11]

ITU määrittelee palvelun laadun *palveluiden suorituskykyjen yhteisvaikutukseksi, joka määrittää palvelun käyttäjän tyytyväisyyden astetta*. Palvelut ovat tietoliikennepalveluita. [12]

Kansainvälisten standardointijärjestöjen, kuten ITU, ETSI (European Telecommunication Standardization Institute) ja IETF (Internet Engineering Task Force) määrittelyt palvelun laadusta eroavat vain hieman toisistaan, mutta periaatteet niissä ovat samat. Näitä on muuan muassa palvelun laatuun käytetyt mittarit. [8] Nämä mittarit antavat suuntaviivat myös kehitykselle. Lisäksi 3GPP (Third Generation Project Participants) on määritellyt liikenneluokat omille mobiilistandardeilleen [13]. Määrittelyt koskevat teknistä suorituskykyä oletusarvoin, eikä niinkään käyttäjän kokemaa palvelun laatua. Näihin mittareihin palataan myöhemmin tässä kappaleessa.

2000-luvulla palvelun laadun määrittelyn rinnalle nousi käyttökokemuksen laadun määrittely, koska käyttäjien kokemukset palveluista vaikuttivat yhä enemmän palveluntarjoajan ja sovelluksien valintaan [7], [8]. Tietoverkoissa liikennöi eri tyyppistä pakettidataa, kuten ääntä, videota, tiedostoja tai verkon komentoja. Pakettidata on tehokas tiedonsiirtoprotokolla, jossa siirrettävä data pilkotaan standardikokoisiin paketteihin, joissa on aina määritelty otsikkotiedot, esimerkiksi lähtö- ja kohdeosoitteet ja paketin koko. Lisäksi pakettidata ei vaadi jatkuvaa yhteyttä kohteeseen ja lähteen välillä, vaan paketit voidaan siirtää purskeina yhteyden ollessa päällä, hetken kerrallaan. Tämä

sopii erityisesti mobiiliverkkoihin, jossa yhteydet ovat kompleksisempia ja herkempiä muutokselle kuin kiinteissä yhteyksissä. Käyttäjän vaatimukset ja tarpeet sisältää kohtaan vaihtelevat ja siksi sisällölle onkin määritelty omat prioriteettiluokkansa. Prioriteetti- tai liikenneluokka määrittelee kuinka merkittävässä asemassa mikäkin sisältö on liikenteessä. Tarvittaessa korkeamman prioriteetin sisältö voi ohittaa tiedonsiirrossa matalampi luokkaisen sisällön ja näin vastaanottaja saa luotettavasti ja nopeasti tarvittavan palvelun. Luokitellussa tiedonsiirrossa liikenne on sujuvaa, kun eri palveluille taataan tietäntyyppistä laatua verkosta.

Vaihtoehtona olisi että kaikki sisältö liikkuissa tasa-arvoisena. Tämä voisi johtaa käyttäjän tyytymättömyyteen, koska väheemmän kriittinen sisältö liikennöisi rinnan kriittisen sisällön kanssa. Kun palvelulle on määritelty laatu, jota sen pitää saada, osaavat siirtoverkot myös varautua tulevaan liikenteeseen ja varata resursseja laadun varmistamiseksi esimerkiksi pakatuille äänipuheluille (VoIP, Voice-over-Internet-Protocol). Reaaliaikaisen puheensiirtämisessä pakettikytkentäisen tietoverkon yli on tärkeää huomioida, että puheen on oltava vastaanottajalle yhtenäistä riippumatta pakettien lähetystiheydestä. Sisällön luokittelu toki saattaa aiheuttaa sen, että palvelun ollessa muita korkeammalla prioriteettilistalla, matalamman prioriteetin palveluiden saapumiseen voi aiheutua viivettä. [14]

Kirjallisuudessa palvelun laatu jaetaan kahteen fundamentaaliseen tapaan luokitella liikennettä, integroitu palvelu (IntServ, Integrated Service) ja differoitu palvelu (DiffSrv, Differentiated Service). Integroidussa palvelussa palvelun laatu taataan liikennöintivuolle kerrallaan, mikä vahvistetaan ennen lähetystä. Liikennöintivuo on yhteys lähettäjältä seuraavalle päätelaitteelle, kuten reitittimelle. Menetelmässä taataan vähimmäispalvelu (*guaranteed service*) ja tarvittaessa häviötön yhteys. Ongelmana integroidussa palvelussa on sen hallittavuus kattavassa verkossa. [15]

IETF:n standardoima differoidussa palvelussa palvelun laatu määritellään yksittäisille paketeille otsikkokentässä, jolloin verkonhallinta tietää palvelulle tarjottavan laadun. Tapa on yksinkertaisempi verrattuna integroituun palveluun. [15]

Tietoverkoissa palveluiden laadun saavuttaminen riippuu kolmesta merkittävästi tekijästä: laitteisto, ohjelmisto ja verkkoyhteys [8], [16], [17], [18]. Näiden jokaisen suorituskyky vaikuttaa palveluille tarjottavaan laatuun. ITU on määritellyt palvelun laadun vaatimukset koskien palvelua, jonka verkkoyhteys sovellukselle tarjoaa.

Kiinteissä ja mobiiliverkoissa palveluiden laatu on määritelty neljään eri kategoriaan [13], [19]

- *epämuodollinen* (conversational) luokka
- *liikennevirta* (streaming) luokka
- *vuorovaikutteinen* (interactive) luokka
- *tausta* (background) luokka

Luokat on määritelty niiden viiveherkkyyden mukaan, jossa esimerkiksi epämuodollinen luokka on herkkä viiveille ja taustaluokka ei ole. Luokissa epämuodollinen ja liikennevirta datan on liikuttava mahdollisimman reaaliaikaisesti, esimerkiksi videopuhelussa. Vuorovaikutteinen ja tausta-luokissa viiveet voivat olla pidempiä, esimerkiksi internet-sivujen tai tiedostojen lataaminen. [13]

2.2. Laadun mittarit

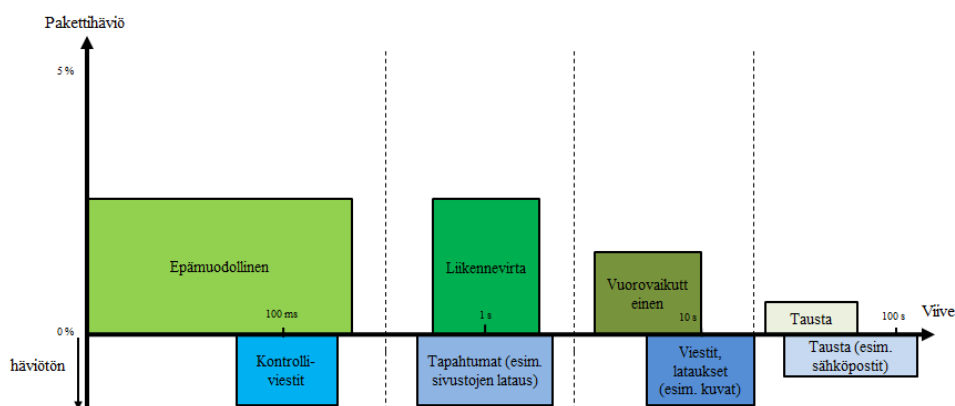
Tutkimuksissa on mitattu asiakastyytyväisyyden ja verkon toiminnan kautta, millaisena asiakas kokee riittävän laadun [20]. ITU on määritellyt tarjottavien verkkopalveluiden laadulle teoreettiset vähimmäisvaatimukset, jotka tekniikan on täytettävä [19].

Määritelmät eroavat riippuen siirrettävästä mediasta tai palvelusta, eli prioriteetti luokasta. Keskeisimmät mittarit palvelun laadun mittaamiseen ovat

- *viive* (delay), joka voidaan laskea tiedonsiirtoon käytettävästä ajasta lähteen ja kohteen välille, johon vaikuttaa yhteyden lataus- ja lähetysnopeus
- *viiveen vaihteluväli* (delay variation, jitter), joka voi vaikuttaa pakettiliikenteessä merkittävästi, jossa protokollat tarkkailevat pakettien välisiä aikoja ja sen perusteella siivoavat pakettijonoa
- *tietohäviö* (information loss), joka vaikuttaa käyttäjän kokeman sisällön laatuun kun kaikki odotettu data ei päädy kohteeseen

Asiakkaan tyytyväisyys johonkin mittarin arvoon on yksilöllinen. Voidaan kuitenkin arvioida millainen tiedonsiirron aikana hävinnyt tieto eli pakettivirheiden ja viiveiden määrä vaikuttaa käyttäjän kokemukseen ja kuinka pian käyttäjä turhautuu odottamiseen tai virheiden aiheuttamaan haittaan [21]. Viivettä mitataan millisekunneissa ja pakettivirhettä prosentteina, joka on vastaanotettujen datapakettien määrä suhteessa odotettuihin datapaketteihin. Viiveen ohella myös käytetään *läpimenviivettä* (RTT, round-trip time), jossa mitataan aika jonka tieto kulkee lähteestä kohteeseen ja takaisin lähteeseen. Tämän työn tutkimuksissa käytetään yksisuuntaista viivettä. Esimerkkiarvot ovat esitetty liikenneluokittain (Kuva 3).

Kuva osoittaa, että taustalla tapahtuvalle toiminnalle viive voi olla suurempi (100 s) kuin interaktiivisemmalle liikenteelle. Toisaalta pakettihäviöt voivat olla tässä epämuodollisessa luokassa suurempia (yli kolme prosenttia) kuin taustaluokalle, jolle vaatimuksena on häviötön tiedonsiirto [19].



Kuva 3: Käyttäjakeskeiset mittarit palvelun laadulle, suomennettu [19]

Sytä viiveiden aiheutumiseen http-liikenteessä (hypertext transfer protocol) on laitteistossa, jonka kuormittuminen ja suorituskyvyn resurssit aiheuttavat hitautta palveluiden tarjoamisessa. Palvelun, eli käytännössä datan kulkiessa useiden laitteistojen läpi lähteen ja kohteen välillä on viiveen aiheuttajia matkalla useita, kuten palvelimia ja reitittimiä. Lämpimenviiveeseen vaikuttaa http-liikenteessä tehdyt useat kättelyt, joilla varmistetaan datan perille pääsy. [22]

Tiedonsiirron palvelun laadun standardoidut arvot ovat yleistyneet myös mobiiliverkoissa, tosin koskemaan lähinnä radorajapintoja. Radorajapinnat ovat radioliikenteen fyysisiä yhtymäkohtia, joista radioaallot lähtevät tai johon ne saapuvat. Laitteissa ja järjestelmissä rajapinnat voivat olla myös laitteiden ja järjestelmien sisään- ja ulostulon liittymäkohtia. Nämä kuitenkin vaikuttavat tiedonsiirron ominaisuuksiin merkittäväällä tavalla. Erityisesti pakettitiedonsiirtoa koskien UMTS ja LTE-tekniikoissa

palvelun laadun prioriteetti luokille määritellään laadun mittareita mobiiliverkkostandardeja määrittelevän toimijoiden yhteenliittymän 3GPP:n mukaan seuraavat asiat [13]:

- bittien enimmäissiirtonopeus (kbps)
- bittien varmistettu siirtonopeus (kbps)
- välityssääntö
- palvelun datayksikön enimmäiskoko (oktettia)
- palvelun formaation informatio (bittä)
- jäännösbittivirhesuhde
- siirron virheellisyys palveluiden datayksiköissä
- siirtoviive (ms)
- liikenteen käsittelyprioriteetti
- allokatio/jäännösprioriteetti
- lähteen tilastollinen määrittely (puhe/tuntematon)

Nämä tekijät on määritelty sekä radiorajapinnalle mobiilipäätelaitteelta tukiasemaan sekä rajapinnalle mobiilipäätelaitteelta verkon yhdyskäytävälle. Käytännössä tämä kattaa päästä-päähän yhteyden, eli mobiilipäätelaitteesta kiinteän verkon yhdyskäytävään. Nämä muuttujat ovat määritelty tarkemmin mobiiliverkkojen palvelun laatua koskevassa standardissa edellä mainituille neljälle prioriteetti luokalle. Näihin ei keskitytä työssäni tarkemmin, koska niiden mittaaminen vaatii käytettyä tarkempaa tiedonkeruuta mobiiliverkosta. Lisäksi nämä arvot liittyvät viiveen ja pakettihäviön mittaamiseen, jotka ovat merkittäviä arvoja mitattaessa päästä-pästä-yhteydessä, joka vaikuttaa suoraan käyttäjäkokemaan.

LTE-tekniikassa palvelun laadun varmistamiseksi keskeisessä asemassa on palvelun laadun luokitteleva indikaattori QCI (quality of service class identifier). Indikaattoria käytetään samaan tarkoitukseen kuin aiemmin mainittuja luokkia, eli liikenteen sujuvuuden varmistamiseksi. LTE-tekniikassa liikenne on myös luokiteltu paketeittain tarkoituksesta riippuen varmistettuun (GBR, guaranteed bit rate) ja varmentamattomaan (Non-GBR) siirtonopeuteen. Varmistetulla siirtonopeudella taataan riittävien resurssien varaaminen niitä tarvitseville palveluille. Kuten muullekin tietoliikenteelle, myös LTE:lle on määritelty oletusarvot viiveelle ja pakettihäviölle (Taulukko 1). [23]

Taulukko 1: LTE-tekniikan palvelun laatu indikaattori

QCI	Resurssi	Prioriteetti	Pakettiviive (ms)	Pakettihäviö	Palvelut
1	GBR	2	100	10^{-2}	Puhe
2	GBR	4	150	10^{-3}	Suoratoistettu puhe
3	GBR	3	50	10^{-3}	Reaaliaikainen pelaaminen
4	GBR	5	300	10^{-6}	Puskuroitu puhe
5	Non-GBR	1	100	10^{-3}	Pakettipohjainen multimedia
6	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Puskuroitu video
7	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Suoratoistettu puhe ja video, interaktiivinen suoratoista
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	Pakettipohjainen liikenne (esim. WWW, sähköposti)
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	

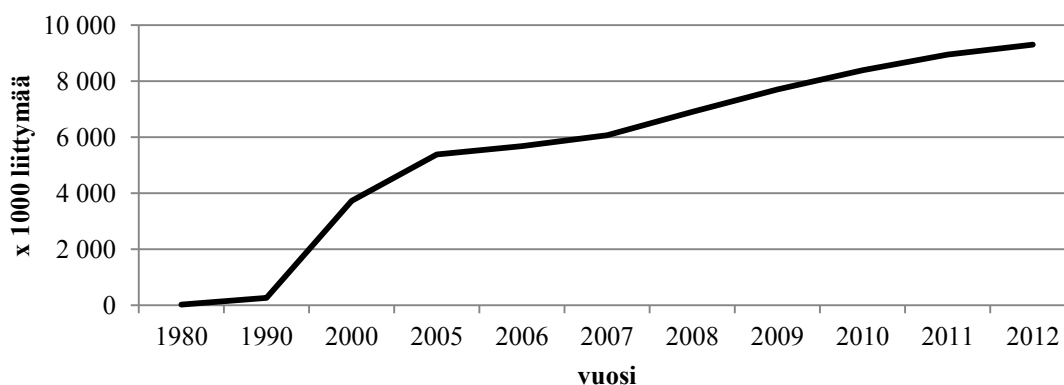
2.3. Palvelun laadun tuottaminen ja seuranta

Palvelun laatu vaikuttaa siihen kuinka käyttäjä arvottaa palvelun ja kuinka tyytyväinen hän on siihen [24]. Palvelun laadun määrittelee näin ollen lähtökohtaisesti käyttäjän kokemukset ja tarpeet, jotka on jaettu useasti käytetyssä SERVQUAL-mallissa viiteen ulottuvuuteen: aistittavuus, luotettavuus, alttius, uskottavuus ja empaattisuus [25]. Palveluntarjoajalle onkin tärkeää tuntea käyttäjien tarpeet ja odotukset palveluita kohtaan ja ylläpitää palvelun laatua, esimerkiksi palvelun saatavuutta ja tietotekniikka palveluissa odotettu tiedonsiirtonopeutta ja liikennöinnin virheettömyyttä.

Erityisesti teleoperaattoriliiketoiminnassa laadun tuottaminen ja seuraaminen ovat tärkeää, koska käyttäjät vaihtavat herkästi palveluntarjoajasta toiseen. Laatua parantaviin keinoihin on kannattavaa investoida, koska laadun kokeminen vähentää asiakaspoistumaa ja tuo sitä kautta liikevaihtoa. Lähes kaikissa palvelun laadun parantamiseen liittyvissä tutkimuksissa on käyttäjän tyytyväisyys merkittävässä asemassa. Investoinnit laadun takaamiseksi ovat kuitenkin pitkä kestoisia, vaikka yksikin käyttäjän huonolaatuinen kokema rakentaa käsitystä palvelusta. Laadun tuottaminen voidaan siis tehtyjen tutkimusten valossa tietoliikennetekniikassa osoittaa tasalaatuisen teknisen suorituskyvyn varmistaminen, seuraaminen, ylläpitäminen ja käyttäjien tarpeiden tunnistaminen. [26]

Kuten todettu, käyttäjä ilmaisee teoillaan, onko laadulla saavutettu odotettua. Tämä vaikuttaa suoraan käyttäjän tyytyväisyyteen ja siihen, miten hän palvelua arvottaa. Operaattoriliiketoiminnassa tyytymätön käyttäjä vaihtaa palveluntarjoajaa, mikä käytetty palvelua ei miellytä ja samalla mielikuva käytetystä operaattorista kärsii. Näin ollen käyttäjä ei halua käyttääkään kyseisen operaattorin palveluita tai suositella niitä. [24], [25], [26]

Suomessa mobiilipalveluiden hintataso ovat Euroopan alhaisimpia ja siksi käyttäjille halutaankin tarjota yhä enemmän lisäpalveluita peruspalveluiden (puhelut, tekstiviestit ja datayhteys) lisäksi. Mikäli palveluiden laatu on heikkoa, ei nykyisiä palveluita haluta käyttää, saati laajentaa palveluiden määrää. Mobiililaajakaista-palvelun laatuun vaikuttavat radiotekniikan tuomien fyysisen ympäristön haasteiden (esteet, säät tai signaalin kantavuus) lisäksi käyttäjän järjestelmän suorituskyky. Laadun toteutumista voidaan seurata palautteella, kyselyillä ja saatavilla myynti- tai liikevaihtoluvuilla. Lisäksi laatua seurataan teknisillä mittareilla, jotka tuottavat dataa palveluiden suorituskyvystä.



Kuva 4: Matkapuhelinliittymien määrän kehitys (Viestintäviraston toimialakatsaus 2013)

Palvelua tuotetaan käyttäjien tarpeisiin ja käyttäjien haluun ottaa palvelut käyttöön liittyy palveluiden hinnoittelu. Sama koskee myös mobiilipalveluita. Erityisesti Suomessa nämä palvelut ovat muita Euroopan maita edullisempia, koska meillä kilpailu käyttäjistä on kovaa isoimpien operaattoreiden välillä ja mobiililiittymiä on lähes kaksi

per suomalainen (Kuva 4), 9,3 miljoonaa liittymää vuonna 2012. Kuluttajien etsiessä edullisinta ja tarpeet täyttävää palvelua, onko hinta-kilpailu yksi tärkeistä tekijöistä Suomen operaattorimarkkinoilla. Palveluntarjoajien on pystyttävä kustantamaan mobiiliverkon ylläpidon ja samalla pystyttävä kilpailemaan hinnoilla. Siksi palveluiden laajuus ja laatu onkin noussut yhä keskeisemmäksi kilpailutekijäksi.

Hinnoilla voidaan myös vaikuttaa verkon käyttöön; korkeammat hinnat vähentävät tiedonsiirtoa, mutta toisaalta käyttäjät vaihtavat edullisempaan palveluun, ehkä jopa toiselle operaattorille. Erityisesti Suomessa on suosittuja kuukausimaksulliset laajakaistapalvelut, ilman rajoitettua datan siirtomäärää. Suomen Viestintäviraston strategiassa 2012–2020 on yhtenä painopisteenä monipuolistaa viestintäpalveluiden tarjonta, joka pitää sisällään hyvien ja edullisten viestintäyhteyksien takaamisen. Valtion on siis tiiviisti mukana viestintäpalveluiden hintakehityksessä lainsäädännön kautta.

2.4. Yhteenveto

Tietoverkkojen palveluille tarjottavalla laadulla voidaan varmistaa sujuva verkkoliikenne ja palveluiden eheys käyttäjälle. Palveluiden sujuva liikennöinti verkossa niiden sisällön mukaan ei ole uusi asia vaan tekniikkaa on kehitetty tietoverkkojen käytön vakiintuessa 1990-luvulla. Merkittävät standardointijärjestöt, kuten ITU ja ETSI ovat vakiinnuttaneet palveluille tarvelähtöiset prioriteetti- ja niille vähimmäisarvot. Tällä pyritään varmistamaan yhtenäinen liikennöinnin tietoverkoissa ja mallia sovelletaan myös mobiiliin tiedonsiirtoon.

Standardoidut raja-arvot on määritelty viiveelle, viiveen vaihteluvälille ja pakettihäviölle, joka on odotettujen pakettien ja vastaanotettujen pakettien suhde. Mainitut mittarit näkyvät verkon käytössä loppukäyttäjälle. Viive-arvot vaihtelevat millisekunneista kymmeneen sekunteihin ja pakettihäviöt häviöttömästä yhteydestä 3 % suhteelliseen pakettihäviöön. Arvot ovat määritelty jokaiselle neljälle prioriteetti- ja luokalle erikseen. Näitä luokkia on epämuodollinen, liikennevirta, vuorovaikutteinen ja taustaluokka.

Mobiiliteknologiassa laatu on määritelty entistä tiukemmin prioriteetti- ja luokittain radiorajapinnoille. Näitä mobiiliyhteyden laadun mittareita on muun muassa siirtonopeudet ja virhesuhteet. Loppukäyttäjään vaikuttavat näiden mittareiden lisäksi myös kiinteän yhteyden laatu.

3 Käyttökokemuksen laatu

Tietoliikennetekniikassa palvelun laatu määritellään teknisinä mittareina, kun taas kansankielessä sillä käsitetään miten ihminen kokee palvelun. Jäljempänä mainittu suuntaus on myös kasvamassa tietotekniikan ja tietoliikennetekniikan puolelle, koska käyttäjälle halutaan tarjota hyvää palvelua, eli hyvä käyttökokemus. Käyttökokemukseen liittyvät, miten käyttäjä kokee verkkoyhteyden, verkkosivun käytettävyyden, latausnopeuden tai odotusajan. ITU määritteli 2000-luvulla puhelimen äänen laatua koskevan määritelmän, mikä antoi pohjan muun tekniikan liittämiseen käyttökokemukseen [27].

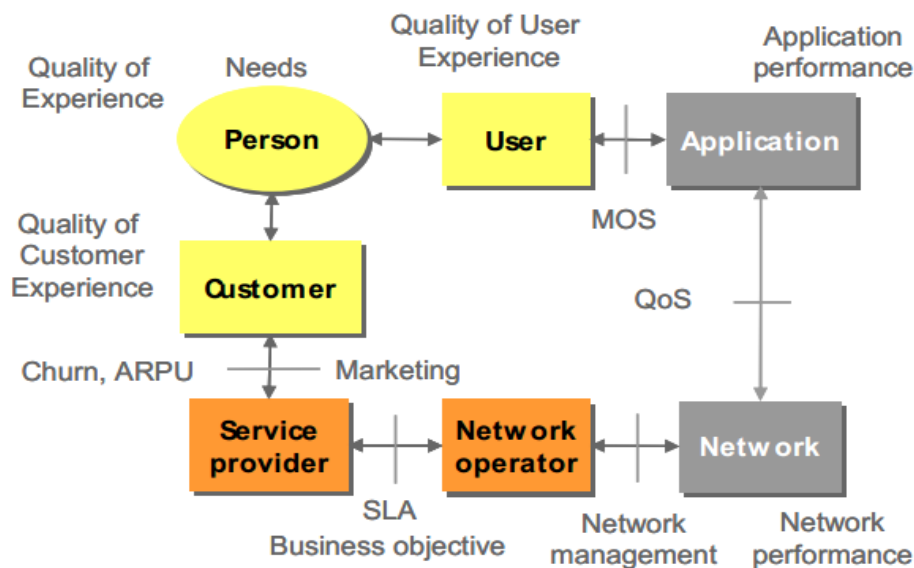
3.1. Käyttökokemuksen tutkimus

Kokemus laadusta on määritelty useassa tutkimuksessa, kaikki näkökulmistaan oikeita. Laadun kokeminen on aina käyttäjä- ja sisältöriippuvainen [8], [28], [29]. Yksi näistä näkökulmista on, että käyttökokemus perustuu tarpeisiin, jotka ihminen haluaa täyttää [7]. ITU:n mukaan käyttökokemus (QoE, quality of experience) on sovelluksen tai palvelun kokonaisvaltainen kelpoisuus (acceptability) loppukäyttäjän subjektiivisesti havaittuna [30].

Kuva 5 esittää kokemuksen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Jokaisen käyttäjän kohdalla tarpeet (*Needs*) poikkeavat ja siksi myös kokemus laadusta. Aiheen tutkimista ja käsittelyä varten kokemus ja tarpeet on muutettava numeerisiksi [7].

Kirjallisuudessa käytetään termiä ”inhimillinen tekijä” (*human factor*), joka aiheuttaa tyytyväisyyden vaihtelun käyttäjien välillä [31]. Edellisessä luvussa palvelun laadun mittareilla ja kokemuksen määritelmillä on merkittävä yhteys toisiinsa ja sitä on tutkittu eri näkökulmista; sovellusten, laitteiden ja tietoverkkojen.

Kuvassa 4 on esitetty kuinka operaattori voi vaikuttaa verkonhallinnalla palvelun laatuun ja sitä kautta käyttökokemukseen. Kuvassa on esitetty asiakaspoistuman (*Churn*) ja verkonhallinnan (*Network management*) yhteys toisiinsa palvelutason (*SLA, service level agreements*) ja palvelun laadun (*Qos*) kanssa. Kokemaan Tähän kuitenkin vaikuttaa myös käytettävä sovellus, jonka käytön perusteella käyttäjä arvioi palvelua. Käyttökokemukseen liitetään usein myös käytettävyyden, joka taas koskee enemmän itse sisältöä ja käyttöliittymää, kuin sitä kuinka käyttäjä käyttää kohdetta ja kokee sen. Palveluntarjoajat voivat tarjota nykyään palveluitaan samanlaisilla tekniikoilla, joten kokemus ja mielikuva palveluista on merkittävä kilpailutekijä.



Kuva 5: Laadun näkökulmat [7]

Käyttökokemuksen tutkimiseen on käytetty kahta erityyppistä tutkimusmenetelmää, *subjektiivista* sekä *objektiivista* laadun arviointi menetelmää. *Subjektiivisessa arviointimenetelmässä* vastaaja sekä haastattelija ovat laboratorioympäristössä, jossa vastaaja on altis ympäristötekijöille. Tutkimuksen aikana vastaaja antaa palautetta joko eksplisiittisesti esim. vastaamalla kysymyksiin tai implisiittisesti omilla toimillaan. Käyttökokemuksen laatuun vaikuttavia tekijöitä tutkitaan subjektiivisessa menetelmässä pienryhmissä ja haastatteluin. Tutkimukseen käytettävän laboratorioympäristö on määritelty standardeissa ITU-R.BT.500 ja ITU-T P.910 [8]. Näillä standardeilla varmistetaan yhdenmukainen testaus riippumatta testipaikasta.

Objektiivinen laadun arviointimenetelmä perustuu dataan, jota on kerätty käyttäjän käytöstä suoraan, eikä esimerkiksi kyselytutkimuksella. Menetelmän tuloksia on syytä tarkastella subjektiivisen arvioinnin kanssa rinnan, jotta vastaajan käyttäytyminen osataan yhdistää objektiivisella menetelmällä saatuihin arvoihin. Objektiivisen arviointimenetelmän yhteydessä määritellään myös lähdesignaalin tyyppinsä, joita on alun perin käytetty äänen laadun arviointiin. Näitä lähdesignaalin tyyppisiä on kolme, täysimääräinen referenssi (*Full Reference*), suppea referenssi (*Reduced Reference*) ja lähteetön (*No Reference*). lähdesignaalin lisäksi objektiivisesta arviointimenetelmää lähestytään myös näistä näkökulmista: kohdepalvelu, sovellus, syöttötyyppi, ulostulotyyppi ja mallin lähetysmistapa, kuten psykofyysinen tai empiirinen. Näistä kuitenkin merkittävin valinta menetelmän kannalta on lähdesignaali, koska se määrittelee paljon, miten data on kerätty. [8]

Referenssit ovat merkittävässä roolissa käyttökokemuksen tutkimuksessa. Mitä lähempänä lähdesignaalista mitattu data vastaa vastaanotettu tulosignaalia, sitä parempi on käyttökokemus [20]. Toisin sanoen vastaanottaja saa sitä, mitä lähettäjä haluaa lähettää. Möller on määritellyt lähdesignaalin tyypit edelle mainittuun kolmeen malliin käyttökokemuksen tutkimuksessa [32]. Täysmääräisessä referenssissä data kerätään alkuperäisestä lähteestä sekä välitystä signaalista, eli voidaan verrata palvelun laatua koettuun laatuun. Suppeassa referenssissä data kerätään vain lähteestä ja lähteettömässä mallissa välitetystä eli ulostulevasta signaalista. Normaali tilanteessa lähdesignaali on harvoin käytössä toisin kuin laboratorioympäristössä. Lähteetön malli on helposti käytettävissä kaupallisille sovelluksille, koska tällöin data voi olla koettua suorituskykyä, kuten yhteyden tietohäviötä, viivettä ja latausnopeutta. [8]

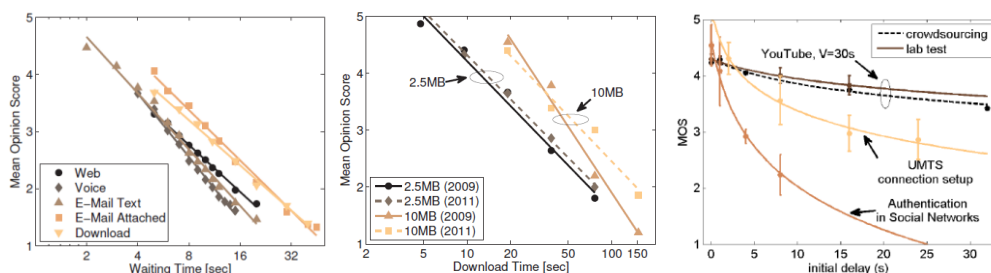
3.2. Tekniset ominaisuudet kokemuksen mittareina

Laadun teknisten mittareiden ja käyttäjän kokeman laadun yhdistämisestä on tutkittu muun muassa tutkimalla käyttäjien kokemuksia verkkosivujen selailusta. Tutkimuksessa yhteyden käyttökohteet ja käytetty aika vaikuttavat kokemukseen, samoin ymmärrys järjestelmästä. Jos käyttäjä ymmärtää kuinka järjestelmä toimii, kasvaa myös tyytyväisyyden toleranssi viivettä kohtaan. [33]

Tutkimus osoittaa, miten viiveet ja latausnopeudet ovat suoraan riippuvaisia toisistaan ja kuinka käyttäjä kokee pienen laadun heikkouden vielä tyytyväisenä, mutta pidemmän käytön jälkeen käyttäjän tyytyväisyys vähenee. Tehdyistä tutkimuksista selviää, että käyttäjä suhteuttaa odotuksensa laadusta kyseiseen palveluun. Käyttäjän odotuksista esimerkkinä tiedostojen lataaminen, suuri kokoisen tiedoston lataaminen käyttäjien mukaan voi kestää kauemmin kuin pienemmän tiedoston (Kuva 6).

Jos käyttäjä on tyytyväinen saamaansa palveluun, pienikin muutos huonompaan voi huonontaa tyytyväisyyttä merkittävästi. Toisaalta pienikin parannus tyytymättömän käyttäjän palveluihin ei vaikuta tällaisen käyttäjän tyytymättömyyteen. [5], [20], [34]

Samassa kuvassa on myös tuotu esiin viiveen merkitys tyytyväisyyteen, erityisesti mobiiliyhteydessä. Tutkimuksessa käytettiin eri kohteita, joissa viiveen määrät vaihtelevat. Kuvista voi huomata, kuinka pelkästään kirjautuminen mobiiliverkkoon vie aikaa yhteydestä. Kyseisessä tutkimuksessa testit oli tehty sekä laboratoriossa että vastaajien omassa toimintaympäristössään. [25]



Kuva 6: Käyttäjän tyytyväisyys verkkoyhteyteen [5], [34]

Kirjallisuudessa kokemus yhdistetään palvelun laatuun, josta luvun alussa mainittiin. Kokemus voidaan liittää teknisiin ominaisuuksiin, kuten verkkoyhteyden nopeuteen, viiveeseen tai pakettihäviöön. Käyttökokemuksen ja ennen kaikkea kokemuksen laadun mittaamisessa on yleistynyt tyytyväisyyden mittaaminen MOS-asteikolla (mean opinion score), joka on viisiportainen. Asteikko on esitelty alla (Taulukko 2). [8], [20], [35]

Arvosanalla käyttäjä ilmaisee tyytyväisyytensä kyseisen palvelun osalta (Kuva 5) ja tämä kokemus taas pohjautuu käyttäjän tarpeisiin ja odotuksiin. Käyttäjä antaa kuitenkin aina subjektiivisen arvosanan tyytyväisyydestä, joten arviointia analysoidessa on tiedettävä konteksti, jossa käyttäjä palvelua arvioi. Esimerkiksi onko kyseessä kiinteä verkkoyhteys käyttäjän työpaikalla tai kotona vai mobiiliverkkoyhteys joukkoliikennevälineessä tai julkisella paikalla. Ohessa (Taulukko 2) esitetty sanallisille arvioille arvot, joita käytetään myöhemmin työssäni.

Taulukko 2: MOS (mean opinion score) asteikko

Arvo	Selitys
1	Erinomainen
2	Hyvä
3	Kohtalainen
4	Heikko
5	Huono

Palvelun laatua mittaavia teknisten mittareiden merkitystä käyttäjäkokemaan voidaan arvioida MOS-asteikkoa käyttäen, mutta myös kartoittamalla käyttäjän tarpeita, mihin palvelua halutaan käyttää [6], [8], [9], [20], [36]. Käytännön vaikutus mittareilla käyttäjän kokemukseen on suoraviivainen (Taulukko 3). Erityisesti viive on monen käyttäjän kohtaama ominaisuus, joka mielletään usein verkkoyhteyden hitautena. Viiveeseen voi myös vaikuttaa käyttäjän päätelaitteesta aiheutuvat, suorituskykyyn liittyvät viiveet. Näitä ovat esimerkiksi järjestelmän prosessori, keskusmuisti.

Yksi merkittävä mittari on sisällön latautumiseen käytetty aika eli viive, joka on helppo mitata latauksen alusta, eli palvelun pyynnöstä ja lopusta, kun pyyntöön on saatu vastaus. Lataamisella (download) käsitetään prosessi, jossa käyttäjä ottaa vastaan sisältöä verkosta. Lähettäminen (upload) taas tarkoittaa käyttäjän lähettäessä sisältöä verkkoon. Lataus-/lähetyksaikoihin vaikuttavat myös luvun alussa mainitut tekijät, käytettävä sovellus, laitteiston suoritusaste ja yhteyden reitti sekä sisältö. Lataamiseen kuluva viivettä kutsutaan myös *latenssiksi*. Latenssi on datan siirtämiseen käytetty aika yhteen suuntaan tai edestakainen läpimenoviive.

Taulukko 3: Palvelun laadun mittareiden vaikutus käyttökokemaan [21]

Palvelun laadun mittari	Vaikutus käyttäjään
Viive	Sisällön latautumiseen ja lähettämiseen liittyvä odotusaika, jonka pidentyessä käyttäjä saattaa turhautua.
Viiveen muutos	Sisällön latautumiseen ja lähettämiseen liittyvä odotusajan tasaisuus, joka vaikuttaa käyttäjän käsitykseen yhteyden luotettavuudesta. Sekä videoiden suoratoistoon.
Pakettihäviö	Sisällön, ennen kaikkea videon tai äänen, laatuun vaikuttava. Esimerkiksi videokuva ei ole tarkka tai ääni katkeilee.

Käyttökokemuksen näkökulmasta ydinkysymys latenssista onkin, kuinka pitkä on aika, jonka tyytyväinen käyttäjä on valmis odottamaan. [9] Tähän ei kuitenkaan voida antaa suoraviivaista vastausta, koska käyttäjän tyytyväisyyteen liittyy aina useita osatekijöitä ja käyttäjästä riippumattomia muuttujia (Kuva 2)

Ihmisen tiedetyn käyttäytymisen perusteella voidaan kuitenkin joitain raja-arvoja määritellä. Nielsenin tutkimuksen mukaan ihmisen vastausaika voidaan jakaa kolmeen tasoon [37]:

- 0,1 sekuntia kestävä vastaus tuntuu käyttäjästä, että toiminta on hänen omaansa, eikä laitteesta riippuvaista
- 1 sekunnin vastausajan käyttäjä kokee saumattomaksi: viive tunnistetaan, mutta käyttökokemus on hyvä
- 10 sekunnin vastausajan käyttäjän huomio säilyy, minkä jälkeen käyttäjän ajatukset siirtyvät muualle

Nielsenin mukaan muutaman sekunninkaan odotus ei ole mielekästä käyttäjälle, koska käyttäjästä tuntuu että hän menettää hallinnan tilanteeseen ja ärsyyntyy. Tutkimus

keskittyy verkkosivujen käyttökokemukseen, mutta on yleistettävissä ohjelmistojen käyttöön yleensäkin, koska tietotekniikka vaikuttaa ihmisten jokapäiväisiin toimiin ja tehokkuuteen. Nielsenin tutkimus perustuu usean kymmenen vuoden aikana kerättyyn dataan ja se on tehty kolmesti; 1993, 1997 ja viimeisimmäksi 2010. Tämän 20 vuoden aikana käyttäjän kokemus viiveestä ei ole muuttunut. Tosin verkkosivujen arkkitehtuuri ja käyttötavat ovat muuttuneet suurista, pitkään latautuvista kuvista kompleksiseen datan prosessointiin joka yleensä kerätään eri palvelimilta ja lähteistä.[38], [39], [40]

Nokia Siemens Networks (NSN) [41] on tutkinut, millaiset tekijät radioverkossa vaikuttavat viiveen syntymiseen ja tämän vähentämiseen. Näitä tekijöitä on NSN:n mukaansa taajuuskapasiteetti, joka vaikuttaa suoraan datan siirtonopeuteen ja sitä kautta myös viiveeseen. Myös pakettien koko ja prosessointi, joka aiheuttaa verkkoon jonoa, vaikuttaa viiveeseen. Toinen seikka, jonka myös Nielsen nostaa esiin on sisällön hakeminen useista kohteista, joka on yleistä yhä useammilla internet-sivustoilla[37]. Paikallisten palvelinten ja välimuistien avulla tarvittava data saataisiin lähemmäksi käyttäjiä ja siten myös olisi nopeammin saatavilla. Kolmas NSN:n nostama asia on liikenteen priorisointi. Dataliikenteestä voidaan erotella erilaisia tietotyyppisiä, esimerkiksi videot ja äänet, jotka voidaan priorisoida liikennöimään ennen muita tietotyyppisiä, kuten sähköposteja tai tiedostojen latausta jotka voivat toimia taustalla.

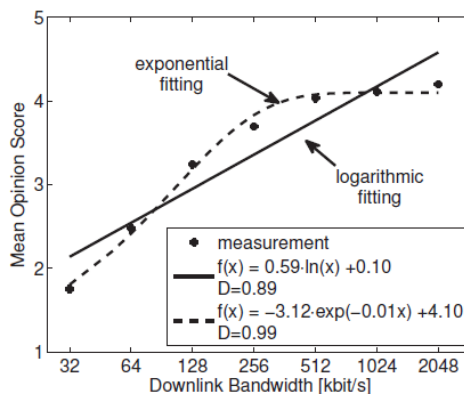
3.3. Matemaattiset mallit käyttökokemuksen arvioinnissa

Käyttökokemus on subjektiivista, mutta joitain määritelmiä ihmisen käyttäytymisestä voidaan tehdä. Tähän perustuen, subjektiivisesta käyttökokemuksestakin on voitu tehdä systemaattisia päätelmiä, jotka on voitu kuvata matemaattisesti. Reichl et al esittelivät tutkimuksessaan logaritmisuhteen, joka perustuu Weber-Fechnerin lakiin (WFL). WFL kuvaa ihmisen aistien havaintokykyä huomattavissa eroissa, kun on olemassa jokin havainto ja heräte. [42]

Toinen merkittävä matemaattinen mallinnus on eksponentiaalinen suhde, joka perustuu negatiiviseen palvelun laadun ja arvioidun käyttökokemuksen muutoksen suhteeseen [43]. Logaritminen malli kuvaa paremmin kokemusta, jonka herätteen käyttäjä voi havaita, kun taas eksponentiaalinen malli kuvaa paremmin käyttäytymistä jossa voi esiintyä häiriötä eikä ole suoraan käyttäjän havaittavissa. Käytännön esimerkkinä tästä viive, jonka käyttäjä voi havainnoida ja johon voidaan käyttää logaritmisia mallinnusta. Eksponentiaalinen malli taas sopii paremmin, kun tyytyväisyyden funktiona on latausnopeus, joka ei taas ole ihmisen havaitsema mittari [8]. Molemmat kuvaavat tehtyjen tutkimusten mukaan hyvin käyttökokemuksen ja palveluiden laadun suhdetta, mutta vain suppealta osalta [9].

Oheinen kuva (Kuva 7) on tutkimuksesta, jossa arvioitiin matemaattisten mallien käyttöä tyytyväisyyden arvioinnin suhteessa yhteyden latausnopeuteen. Kuvasta voidaan nähdä, että tässä tapauksessa eksponentiaalinen malli kuvaa tässä tapauksessa käyttäjien tyytyväisyyttä paremmin verrattuna logaritmiseen malliin. [5]

Myös ITU on määritellyt mallin koetusta viiveestä suhteessa tyytyväisyyteen. Malli perustuu tehtyihin käyttäjätutkimuksiin, joista johdettiin logaritminen malli perustuen kohteen latausaikaan ja käyttäjän kokemaan vähimmäis- ja enimmäisaikoihin testikertojen aikana. Testissä käytettiin kolmea eripituista kohdetta; 60 s, 15 s ja 6 s. Mallissa näille muodostettiin painotetut kertoimet, joilla tyytyväisyys korreloi suoraan latauksen keston. [44]



Kuva 7: Eksponentiaalisen ja logaritmisen laskennan mallintaminen [5]

3.4. Käyttökokemus mobiili-internetissä

Mobiilitekniikka on kehittynyt 1990-luvulta alkaen valtavasti ja 2010-luvulla mobiiliverkkotekniikasta on kilpailukykyinen kuluttajaliiketoiminnassa kiinteän verkkotekniikan suhteen. Tutkimuksessani keskityn erityisesti mobiililaajakaistaan, joka on yleistynyt kuluneen vuosikymmenen aikana kuluttajien keskuudessa. Teoriassa mobiililaajakaista tarjoaa kiinteän laajakaistan hyödyt, mobiiliyhteyden eduin. Kuten nopea datayhteys syrjäseuduille joihin on haastava rakentaa kiinteää yhteyttä. Syitä mobiililaajakaistan yleistymiseen on yhteyden liikuteltavuus, riittävät nopeudet ja kohtuullinen hinta. Young et al tutkivat mobiili-internetin käytettävyyteen liittyviä tekijöitä ja yhteyden laatu nostettiin merkittäväksi tekijäksi palvelutarjonnan ja hinnan jälkeen. [1]

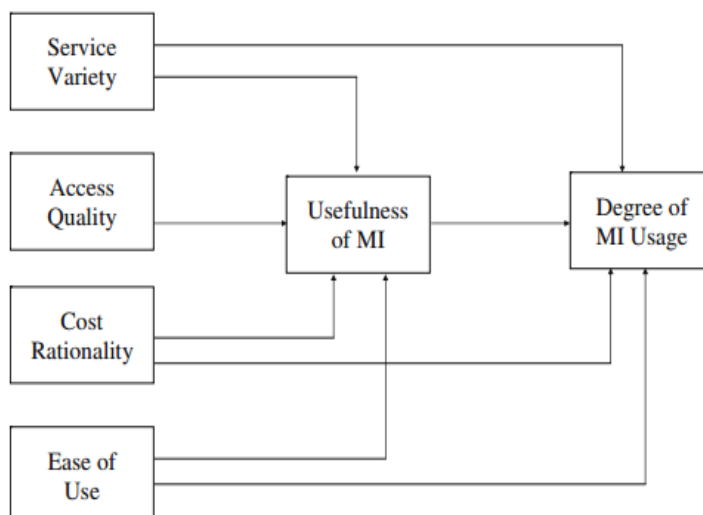
Mobiililaajakaistaan ja – internetiin liittyy useita erityispiirteitä verrattuna kiinteään laajakaistaan ja internetin käyttöön kiinteällä verkkoyhteydellä ja suuremmalla käytöllä. Tämän hetken käytetyimpiä mobiililaajakaistan yhteystekniikoita on

- LTE, joka tunnetaan myös 4G-tekniikana (fourth generation)
- DC-HSPA, joka perustuu HSPA-tekniikkaan (high speed packet access)

Mobiili-internetin mittaamiseen käytettävät parametrit nivoutuvat luonnollisesti yhteen palvelun laadun mittaamisen kanssa. Käyttökokemuksen ja palvelun laadun näkökulmasta mainitut teknologiat vaikuttavat erityisesti yhteyden muodostumiseen ja sen ylläpitämiseen. Verrattuna aiemman mobiilitekniikan sukupolven ratkaisuihin, edellä mainitut tekniikat ovat erityisesti suunniteltu datatiedonsiirtoon. Käyttäjätyytyväisyyteen ja käyttökokemukseen vaikuttavat myös *ympäristö*, jossa laitetta käytetään (context), *sisältö* (content) ja *vuorovaikutus* (interaction).[17], [45]

Joitain yleistyksiä, jotka vaikuttavat kuluttajan käyttäytymiseen, voidaan tehdä myös mobiili-internetin käytössä, jota kohtaan on omat odotukset ja rajoitukset. Mobiililaitteet tuovat internetin käytön sinne, missä sille on tarvetta [46]. Välitön tiedon tarve vaatii yhteydeltä luotettavuutta paikasta riippumatta.

Mobiili-internetin käytettävyyteen liittyvät Shin et al mukaan palveluiden valikoima, yhteyden laatu, hinnoittelun järjestyminen sekä helppokäyttöisyys (Kuva 8) Heidän tutkimuksensa yhteyden laadulla oli palveluiden valikoiman ja hinnoittelun jälkeen kolmanneksi merkittävin vaikutus mobiili-internetin käytettävyyteen. Yhteyden laatu on hinnoittelun lisäksi tekijä johon operaattori voi vaikuttaa omilla valinnoillaan. Luotettavaksi mobiiliyhteydeksi koetaan yhteys, joka toimii käyttäjän sitä tarvitessa, sisältö latautuu ja lähetetään saumattomasti, yhteys ei katkea yllättäen tai sisältö sitä mitä käyttäjä on odottanut. [1], [47]



Kuva 8: Mobiili-internetin (MI) käyttökelpoisuuden tutkimusmalli[1]

Kuten todettu luvun alussa, käyttökokemuksen laatuun vaikuttavat palvelun laadun mittarit, viive, viiveen vaihteluväli sekä pakettihäviö. Päätelaitteen kohdeosoitteen välillä on mobiiliyhteydessä eri verkkoteknologioita, jotka vaikuttavat näihin käyttäjän havaitsemiin mittareihin [6]. Laadun ja käyttökokemuksen mittareita onkin laajennettu mobiiliteknologian puolelle. Soldani et al ovat koonneet mobiiliyhteyden käyttökokemuksen laatuun liittyviä seuraavanlaisia suorituskykyä mittaavia muuttujia [16]:

- Palvelun käytettävyys (paikka ja ajankohta)
- Palveluun kirjautuminen
- Palvelun ylläpito
- Istunnon laatu
- Bittisuhde
- Bittisuhteen muutos
- Järjestelmän vastaaminen
- Läpimenoviive
- Viiveen muutos

Yllä mainitut muuttujat voidaan mitata mobiiliyhteydestä yhteyden eri rajapinnoissa. Osa niistä on myös samoja kuin aiemmassa luvussa palvelun laadusta mainitut yhteyden laadun mittarit. Uusia muuttujia aiempaan verrattuna on palvelun käytettävyys, kuten missä ja milloin käyttäjä palvelua käyttää. Tämän lisäksi myös merkittävänä on palveluun kirjautumiseen käytetty aika sekä järjestelmän vastaaminen, jotka vaikuttavat käyttökokemaan suoraan viiveen kautta.

Tämän työn tutkimusten tapauksessa merkittävin yhteysväli on käyttäjän päätelaitteesta kohdepalvelimeen, sisältönä esimerkiksi videon suoratoisto, sosiaalisen median tai uutispalvelun sivusto. Käytännössä tämä on päästä-päähän yhteys, joka on käyttökokemuksen kannalta merkittävin. Kriittisin näistä on radioverkkoyhteys ilman läpi, mutta viiveitä tapahtuu radioverkon lisäksi myös kiinteässä verkossa. Verkkotekniikan lisäksi myös kohdepalvelimen kyky suoriutua palveluista vaikuttaa läpimenoviiveeseen.

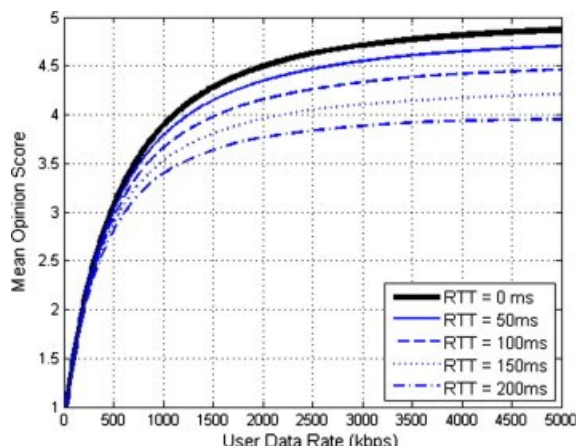
Myös muualla kirjallisuudessa on kerätty mittareita (Taulukko 4), jotka vaikuttavat mobiiliyhteyden käyttökokemukseen. Tässä tutkimuksessa listatut mittarit tähtäävät kahteen päätavoitteeseen, jotka ovat varmistaa käyttäjälle palvelun käytettävyys ja esteettömyys sekä laatu ja eheys [31]. Aiemmin todettiin, että nämä vaikuttavat käyttökokemukseen merkittävästi. Näihin liittyvät mittarit keskittyvät erityisesti verkon komponentteihin, joiden arvot ovat operaattorin ja toimittajan valittavissa ja niihin vaikuttaa paljon myös mobiiliverkon käytön konteksti ja se millaista palvelun laatua käyttäjille operaattori tarjoaa. Taulukossa toistuvat jo aiemmin esiin tulleet saatavuus ja esteettömyys, jotka käyttökokemuksen kannalta ovat merkittäviä. Nämä vaikuttavat erityisesti yhteyden muodostamiseen, koska hyvälaatuisessa yhteydessä signaaliteho ovat optimaaliset ja tukiasema on käyttäjän saatavilla. Jäljemmät, laatu ja eheys, siirtonopeus sekä läpimenoviive liittyvät enemmän sisällön laadun varmistamiseen.

Taulukko 4: Kokemuksen ja palvelun laadun mittarit [31]

Kokemuksen laadun tavoitteet	Kokemuksen laadun mittarit verkon näkökulmasta
Esteettömyys	Radioresurssikontrollin pääsuhde
	Radioyhteyden luominen ja läpäisysuhde palveluittain
	Pakettidata protokolla (PDP) kontekstin häiriöt
	Palvelun kirjautumisaika
Saatavuus	Osuus vapaista kanavista eri palveluille
	Käytettävät käyttöliittymät (ATM, SDH, PDH)
Laatu ja eheys	Pakettihäviön suhde eri palveluihin
	Reaaliaikaisen lähetys protokollan häviösuhde
	Liikennehäviöt AAL2 kerroksessa
	HSDPA/HSUPA ruuhkasuhde
	Bittivirhesuhde MAC-kerroksen PDU:ssa
	Kehysprotokollan virhesuhde
Siirtonopeus	Siirtonopeus bittiä/sekunti
	Allokoitu kanavakapasiteetti
	Suoritusteho
Läpimenoviive	Keskimääräinen läpimenoviive
	Viiveen vaihteluväli

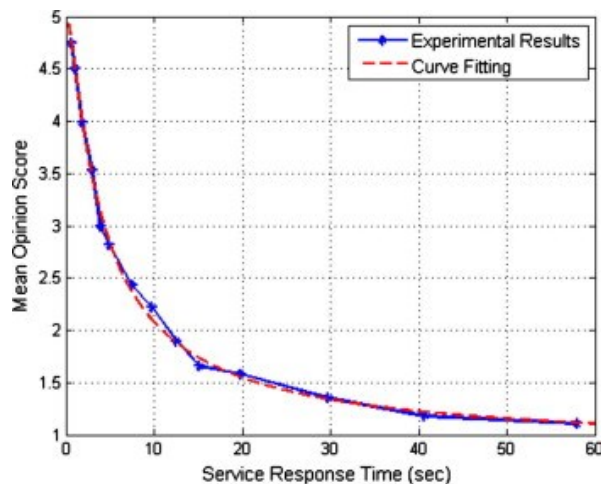
Ameigeiras et al tutkivat käyttäjän kokemuksia 3G-järjestelmässä ja kehittivät tutkimuksensa pohjalta algoritmin kokemuksen määrittämiseksi. Yksi huomioista oli käyttäjän tyytyväisyys suhteessa yhteyden nopeuteen, joka on esitetty kuvassa 8. Kyseinen tutkimus keskittyy erityisesti verkkosivujen lataamiseen. Kirjoittajat olivat käyttäneet eri läpimenoviiveitä verkossa ja arvioineet käyttäjien tyytyväisyyttä suhteessa verkkosivujen kokoon. [48]

Yksi tuloksista oli, että suuremmalla latausnopeudella suurempi kokoisten sivustojen lataamiseen ollaan tyytymättömämpiä verrattuna jos latauksen koko olisi pienempi. Esimerkiksi jos verkkosivu on 500 kb, tyytyväisyys jää alle 2 Mb/s (RTT 0 ms) latausnopeudessa arvosanaan heikko, huono tai kohtalainen. Verkkosivun ollessa



Kuva 9: Tyytyväisyys nopeuteen MOS-asteikolla 1-5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras arvosana tyytyväisyydestä. Viivojen malli kertoo yhteyden viiveestä. [48]

10kb samat arvosanat ovat alle 0,1 Mb/s latausnopeudessa. Tämä osoittaa, että käyttäjä tunnistaa saamansa palvelun tason ja on valmis saamaan palvelu kokemallaan tasolla. Kuva 9 osoittaa tyytyväisyyden olevan keskimäärin melko hyvä ja tasaantunut nopeuden saavutettua 1,5 Mb/s. Tämä kertoo käyttäjien tyytyväisyydestä nopeuteen, vain hieman riippuen läpimenoviiveestä. Samassa tutkimuksessa tyytyväisyys määritettiin myös internet-sivun vastausajan mukaan (Kuva 10), joka on käyttäjälle tunnistettavampi mittari. Siinä käyttäjän tyytyväisyys laskee merkittävästi 10 sekunnin jälkeen ja jo aiemmin jyrkkä tyytyväisyyden lasku on nähtävissä.



Kuva 10: Tyytyväisyys vastausaikaan MOS-asteikolla 1-5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras arvosana tyytyväisyydestä. Kuvaajat on normalisoitu. [48]

Kuva 9 ja Kuva 10 osoittavat vastausaikojen ja viiveiden merkitsevän yhtäläillä nopeuden kanssa käyttäjän tyytyväisyyteen kuten Nielsen toteaa omassa tutkimuksessaan [37]. Pentikousis et al tutkivat sovelluksen käyttämän datan nopeutta 3G/UMTS verkossa [49]. He toteavat, että käyttökokemuksen näkökulmasta sovelluksen aluksi saama yhteysnopeus on merkittävin, koska käyttäjä yleensä haluaa datan olevan ensimmäisellä kerralla ja heti käytössä. 3G-verkossa ensimmäinen yhteydenotto tukiasemaan passiivisen ajanjakson jälkeen on myös kriittinen, koska siinä käyttäjä tunnistetaan ja siksi tämä vie myös eniten aikaa.

Luvun alussa osoitettiin, että mobiili-internet on monella tavalla erityinen tekniikalle ja palveluiden suunnittelulle. Käyttäjien liikkuvuus ja käyttötavat vaikuttavat virrankulutukseen ja laitteen käyttöliittymä rajoittaa sovellusten suunnittelua. Mobiililaitteen käyttöä arvioidessa on syytä huomioida missä ja milloin laitetta ja sovellusta käytetään sekä mitä sovelluksia mobiililaitteilla erityisesti käytetään.[50]

Työn tutkimus keskittyy erityisesti mobiiliyhteyteen, koska se on kriittisessä asemassa käyttäessä mobiililaajakaistaa ja -internetiä. Käyttäjätutkimuksista on havaittavissa, että käyttäjät arvottavat merkittävimmäksi tyytyväisyyden tekijöiksi yhteyden *saatavuuden*, *käytettävyyden* ja *luotettavuuden*. Näiden lisäksi asiakkaiden tyytyväisyyteen yhteydestä liittyvät sen latausnopeus ja hinta. Erityisesti kolme ensinnä mainittua vaikuttavat käyttökokemukseen.

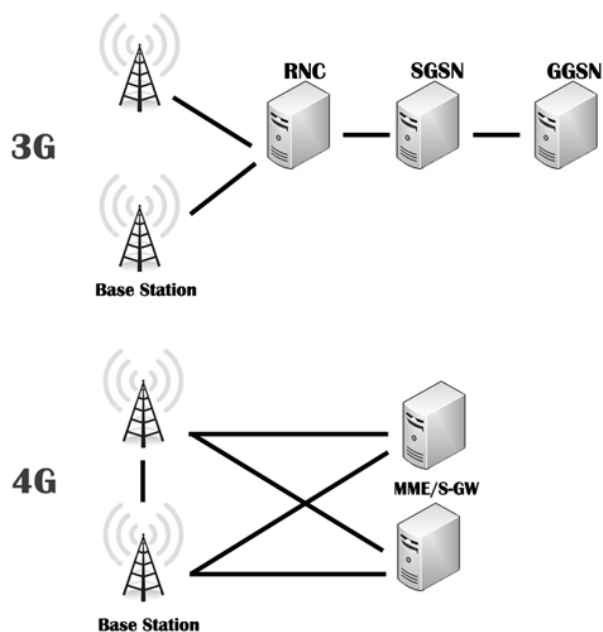
Mobiiliverkon saatavuus riippuu verkon tukiasemien, niissä olevien solujen määrästä suhteessa alueen käyttäjiin sekä antennien tehosta, jolla vaikutetaan keilan suuruuteen. Operaattorit voivat tukiasemarakentamisella tehdä strategisia eroja toisiin, esimerkiksi keskittämällä rakentamista tiettyihin kohteisiin kuten isoihin kaupunkeihin ja taajamiin.

Luotettavuus nousee käyttäjätutkimuksissa merkittäväksi asiakastyytyväisyyden mittariksi. Epäluottamus ilmenee yhteyden alituisella katkeamisella, hitaudella ja muulla toimimattomuudella. Verkon luotettavuudella on myös merkitys ostokäyttäytymiseen ja mielikuvaan operaattorista. Kuluttaja kohdistaa kritiikkinsä useimmiten operaattoria, mikäli päätelaite ei toimi odotetulla tavalla, yli kyse sitten todella päätelaitteesta tai verkkoyhteydestä. Radioverkoissa soluhaku ja päätelaitteen tunnistaminen ovat merkittävässä osassa radioverkon eheyttä ja latausnopeutta parantaessa. Solun valintaan, solunvaihtoon ja sitä kautta yhteyden luotettavuuteen vaikuttaa yhteyden signaaliteho.

Itse käytettävyys riippuu käyttäjän päätelaitteesta, joka kuluttajalle voi olla älypuhelin, taulutietokone, USB-yhteyslaite, josta käytetään myös nimitystä ”nettitikku”. Näihin liittyvät kiinteästi myös käytettävä käyttöjärjestelmä ja sen yhteensopivuus. Lisäksi yhteysohjelma jolla yhteyttä hallitaan, on tärkeä osa yhteyskokemusta käyttäjälle.

3.5. Mobiililaajakaistan radioteknologiat

Palveluntarjoajat toivat 2000-alussa mobiiliteknologian kolmannen sukupolven, eli 3G, joka tunnetaan myös UMTS teknologiana. Kuluttajat tutustuivat näiden kautta mobiili-internettiin ja mobiili-internetin palvelut alkoivat kehittyä. Kuitenkin mobiililaajakaista yleistyi vasta kohtuullisten siirtonopeuksien myötä, yli 2 Mb/s. Seuraavassa on kuvattu 3G- ja 4G-teknologioiden ominaisuuksia yhteyden muodostamisen näkökulmasta, joka vaikuttaa eniten käyttökokemukseen.



Kuva 11: Mobiiliverkkojen topologiat, 3G- ja 4G-tekniikka

HSPA on 3G-tekniikka, mikä jaetaan HSDPA (high-speed downlink packet access) ja HSUPA (high-speed uplink packet access) tekniikoihin. HSDPA tuo käyttäjille aiempaa GPRS-tekniikkaa (general packet radio service) suuremman latausnopeuden tukiasemasta päätelaitteeseen, HSUPA-lähetystekniikka taas laitteesta tukiasemaan. DC-HSPA on kehitysaskel HSPA:sta, missä päätelaite käyttää kahden vierekkäisen solun kapasiteettia saadakseen nopeamman tiedonsiirron. DC-HSPA esiteltiin 3GPP Release 8:ssa vuonna 2008. Tekniikoiden nopeudet on esitetty taulukossa Taulukko 5.

LTE-verkon arkkitehtuuri eroaa HSPA:sta aiempaa yksinkertaisemmalla topologiallaan (Kuva 11). LTE- eli 4G-tekniikassa tukiasemat (Base Station) suorittavat 3G:tä enemmän tehtäviä. Mobiilihallintakokonaisuus (MME, mobile management entity) ja siihen kuuluva palveluyhdyskäytävä (S-GW, service gateway) toteuttavat samoja tehtäviä kuin 3G-radioverkon ydin (RNC, radio network core), palveleva GPRS -solmu (SGSN, serving GPRS support node) ja yhdyskäytävä GPRS -solmu (GGSN, gateway GPRS support node).

LTE-tekniikka on suunniteltu ensisijaisesti pakettitiedonsiirtoon, joka mahdollistaa paremmat mahdollisuudet asynkroniseen yhteyteen. Tämän vuoksi LTE-verkossa ei ole ”pehmeitä” solunvaihtoja, jossa päätelaite on yhteydessä edelliseen ja seuraavaan soluun ennen vaihtoa yhteyden yhtenäisyyden vuoksi. WCDMA (wideband code division multiple access) radorajapinnan sijasta LTE-rajapinta on eri lataus- ja lähetylinkille. Tämä mahdollistaa nopeamman ja eheämmän tiedonsiirron huomioiden kuitenkin virrankulutuksen erityisesti päätelaitteessa. LTE-tekniikka mahdollistaa myös moniantennitekniikan (MIMO, multiple input – multiple output), jopa neljällä antennilla. LTE-tekniikasta on julkaistu kehittyneempi versio LTE Advanced, jonka etuja ovat muun muassa monitaajuuskäyttö, jolloin tiedonsiirto on entistä luotettavampaa erilaisissa ympäristöissä.

Taulukko 5: Mobiilitekniikoiden suorituskykyvertailu

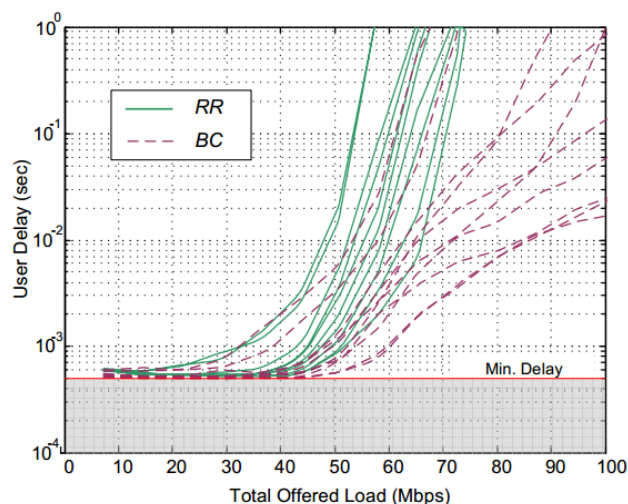
Mobiilitekniikka	Latausnopeus (Mb/s)	Lähetysnopeus (Mb/s)	Läpimenoaika (ms)
LTE, long-term evolution	100	50	10
HSPA, high-speed packet access	14	5,7	100
DC-HSPA, dual carrier HSPA	28	11	50

3.6. Mobiiliverkon saatavuus

Käyttäjälle mobiiliverkon saatavuus näyttäytyy verkon kattavuudella ja laadukkaalla yhteydellä. Mobiiliverkossa näihin ominaisuuksiin vaikuttaa solujen peittoalue ja solunvaihtojen saumattomuus. Usean radioteknologian päätelaitteissa vaikuttaa myös näiden sujuva yhteiskäyttö.

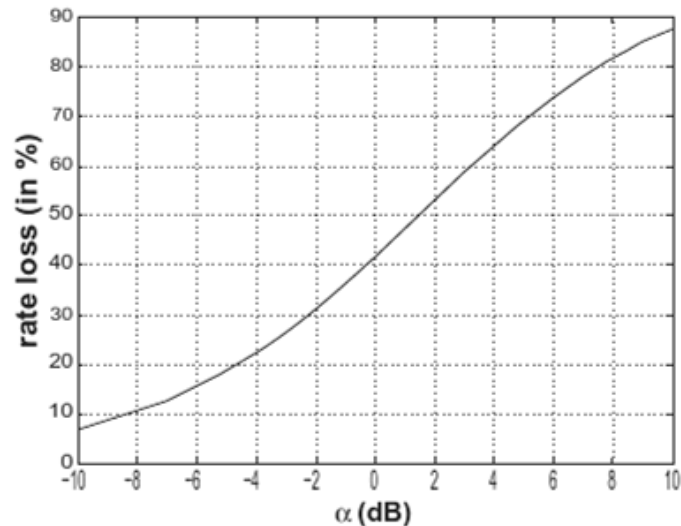
Päätelaitteen solunvaihtoihin (HO, handover) vaikuttaa tukiasemalle asetetut signaalitehon kynnyksarvot. LTE-tekniikassa solunvaihtoon vaikuttaa RSRP (reference signal received power), joka ilmaisee tehon määrä per resurssielementti eli käytännössä yhteyden laatua. Signaalitehon mittaamisen yhteydessä käytetään myös RSSI-arvoa (received signal strength indicator), joka mittaa ympäristön (kuten kohinan ja muiden signaalien häiriötä) vaikutusta koko kaistanleveydeltä. RSRP on suurempi kuin RSSI, koska tämä mittaa tehoa vain käytetyn kaistanleveyden osalta. Käytettävän tukiaseman lisäksi päätelaite tarkkailee myös viereisiä soluja, taajuuksia huomioiden myös muut mahdolliset radioteknologiat. Näiden perusteella laite tekee valinnan parhaasta mahdollisesta yhteydestä.

Käyttäjän saamaan laatuun vaikuttaa fyysisen ympäristön lisäksi solua käyttävien päätelaitteiden määrä. Päätelaitteet tuottavat toisilleen häiriötä, joka vaikuttaa siihen miten hyvää palvelua kukin käyttäjä saa. Käytön vuorottamiseen on käytössä strategioita, joiden lähtökohtana on tarjota kaikille solun käyttäjille yhtäläistä yhteyttä laadun mittarein mitattuna. Kaksi tunnettua vuoroalgoritmia ovat Round-Robin (RR) ja Best Channel (BC). RR tarjoaa kaikille käyttäjille riippumatta sijainnista solussa tasa-arvoista yhteyttä, jolloin suorituskyky tasaantuu käyttäjien kesken. Se ei huomioi ympäröiviä häiriöitä. BC-menetelmä huomioi vallitsevat radio-olosuhteet ja parasta yhteyttä saavat käyttäjät, joilla on paras radioyhteys. Tällöin esimerkiksi solun reunalla olevat käyttäjät saavat huonompi laatuista palvelua. Edellä mainitut algoritmit osoittavat, että viiveet ovat hyvin riippuvaisia solun käyttäjämäärästä, samoin kuin valitusta algoritmista. Käyttäjämäärät, mutta myös ympäristön muut häiriöt vaikuttavat signaali-kohinasuhteeseen (SNR, signal-noise-ratio). Kuva 12 osoittaa, että viiden päätelaitteen käyttäjämäärällä (Total Offered Load), molempien algoritmien kanssa viiveet (User Delay) kasvavat. Tosin BC-algoritmilla viiveet kasvavat lineaarisemmin. [60-62]



Kuva 12: Vuoroalgoritmien vaikutus viiveeseen eri käyttäjämäärillä [62]

Viiveen lisäksi radio-olosuhteet vaikuttavat myös siirtonopeuteen. Erityisesti, kun kyseessä on solun laidalla olevat käyttäjät, joiden radioyhteyttä häiritsevät solun sisällä olevat päätelaitteet, mutta myös viereisten solujen radioliikenne (Kuva 13). [61]



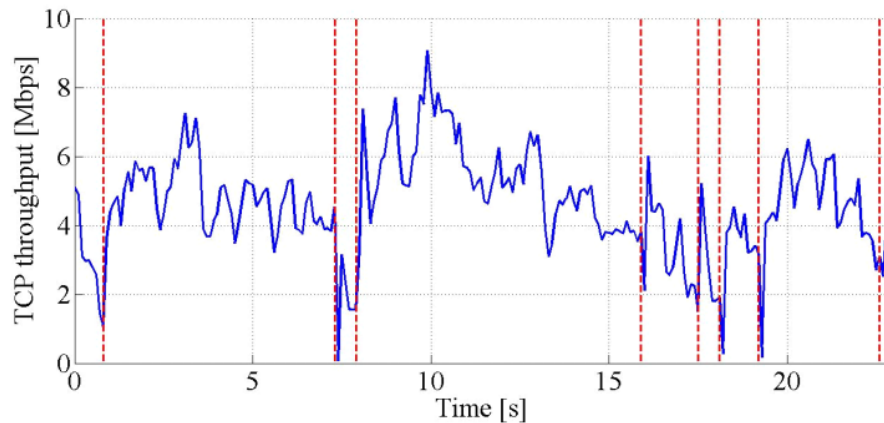
Kuva 13: Häiriösignaalien vaikutus siirtonopeuteen [61]

LTE-tekniikassa solunvaihdot suoritetaan aina katkaisemalla yhteys soluun vaihdon ajaksi, samoin siirryttäessä toiseen radioteknologiaan tai soluun. Tämä on mahdollista tehdä häiriöttä, koska LTE-tekniikassa data siirtyy paketteina, jotka puskuroidaan siirryttävään soluun vaihdon ajaksi. Pääteleite ja LTE-tukiasema, eli eNodeB, prosessoivat solunvaihtoa. Solunvaihdon prosessointi alkaa, kun toisen solun RSRP on solunvaihtosiirtymäarvon (HO offset) verran palvelevaa solua parempi. Tämä arvo on yleensä 2-3 dBm. Mikäli tämä tilanne jatkuu irroitusajan verran (TTT, time to trigger), solunvaihto suoritetaan. Liian pienillä HO offset- ja TTT -arvoilla solujen vaihtuminen on alituista ja liian suurilla solunvaihtojen aikainen yhteyden menettäminen ja huonolaatuinen yhteys. Käytännössä solunvaihdon vaikutus käyttökokemukseen on parhaassa tapauksessa hyvin pieni, koska prosessin aikana varmistetaan käyttäjälle jatkuva yhteys uudessa solussa. [51], [52]

Teknologian välisissä solunvaihdossa liikenteen on kuljettava LTE:n S-GW:n ja 3G-tekniikan, SGSN:n kautta UTRAN:iin (universal terrestrial radio access network). Vaihtoehtona on myös, että liikenne kulkee SGSN:n sijasta RNC:n kautta suoraan, UTRAN:iin tai S-GW:een. Koska tällä hetkellä 3G-verkko on LTE-verkkoa kattavampi, eivät solunvaihdot näiden välillä ole merkittävässä roolissa. Useassa markkinoilla olevassa laitteessa on käytössä molempien teknologioiden radiot, joten molempien käyttö on joustavaa. Puheen siirtäminen pakettidatalla on vielä haastavampaa, kuin vanhemmalla puhutiedonsiirrolla, käytetään puheluissa edelleen 3G-tekniikkaa. Teknologian välisten solunvaihtojen vaikutus viiveeseen on kuitenkin merkittävä, koska solunvaihto LTE-verkosta 3G-verkkoon päätelaitteesta tukiasemaan saattaa kestää jopa 260 ms, kun taas tukiasemasta päätelaitteeseen 160 ms. [53]

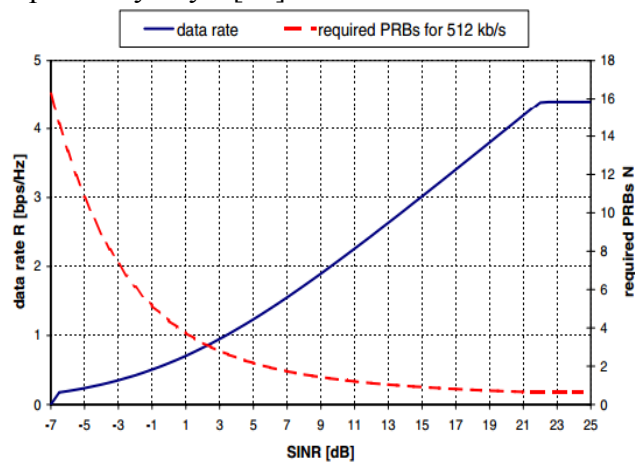
Läpimenoiviive pelkässä LTE-verkossa on vähintään 20 ms, joista merkittävin osa kuluu prosessointiin päätelaitteessa ja lähetyvuoron valtuuttamiseen tukiasemasta päätelaitteeseen. Viiveen lähety aika voi olla myös lyhyempi, riippuen ympäristötekijöistä. [39]

Solunvaihdot vaikuttavat viiveen lisäksi myös siirtonopeuteen. Siirtonopeus aloittaa pienenemisen, kun solunvaihtosiirtymäarvo on saavutettu ja pysyy normaalikäyttöä pienempänä koko siirtymäprosessin ajan. Mitä suurempi siirtymä arvo on, sitä kauemmin siirtonopeus pysyy alhaisena, 1/3 tai 1/4 keskimääräisestä nopeudesta. Kuva 14 osoittaa, kuinka solunvaihto on vaikuttanut siirtonopeuteen, kun solusiirtymäarvo on 2 dB. [60]



Kuva 14: Siirtonopeus, kun solusiirtymäärä on 2 dB. Punaiset katkoviivat osoittavat solunvaihtoja [60]

Verrattuna HSPA-tekniikkaan, LTE mahdollistaa resurssiltaan tehokkaamman käytön. LTE-tekniikassa päätelaitteen lähettävä radio on käyttänyt OFDMA-tekniikkaa (orthogonal frequency distributed modulated access), jossa useampi käyttäjä voi käyttää samaan aikaan ortogonaalisesti jakautuneita vierekkäisiä taajuuksia. Yhteyden taajuudet jakautuvat 15 kHz:n alikantotaajuuksiin, ja jokaisella alikantotaajuudella on 12 aikaikkunaa, joista muodostuu resurssielementit. Näitä elementtejä on kuudesta yli 100 ja niiden määrä riippuu kaistanleveydestä, joka voi olla välillä 1-200 MHz. Näin ollen käyttäjälle allokoitu kaistanleveys vaikuttaa miten laadukasta palvelua hänelle tarjotaan, samoin kuin allokoitujen resurssielementtien määrä (Kuva 15). LTE-tekniikka mahdollistaa liikenteen vuorottamisen niin, että käyttäjälle tarjotaan hänen olosuhteisiinsa nähden parhain yhteys. [54]



Kuva 15: Resurssielementtien määrä (PRB) ja bittinopeus (R) per signaali-kohinasuhde (SINR) [55]

LTE-tekniikka tarjoaa mahdollisuuden useaan erilaiseen soluratkaisuun: makro, mikro, piko ja femto. Järjestys on kantavimmasta ja tehokkaimmasta ratkaisusta sisäkäytössä olevaan. Näiden väliltä päätelaite valitsee parhaimman mahdollisimman yhteyden. Pienempien solujen käyttö ruuhkaisemmalla alueella tasoittaa liikennettä ja vähentää kulutusta, koska pienempien tukiasemien antennit tarvitsevat vähemmän tehoa. Päätelaitteiden määrän kasvaessa tiheimmin sijaitsevat solut ovat entistä merkittävimmässä asemassa ja varmistavat käyttäjille luvattun laadun. Lähetys ja lataus voivat käyttää eri soluja tarvittaessa. Solujen ja useampien antennien (MIMO) yhtäaikaista käyttöä mahdollistaa suuretkin yhteysnopeudet, myös solujen reunoilla. Näiden muutosten myötä, parhaimmalla tapauksella päätelaitteen latausnopeudet voivat nousta jopa satakertaisesti. Solujen reunat ovat kriittisiä, koska niissä

datanopeudet tippuvat yksinkertaisemman modulaation vuoksi alhaisimmiksi ja signaali-kohinasuhde (SINR, signal-interference-noise ratio) kasvaa merkittäväksi johtuen viereisten solujen häiritsevästä liikenteestä ja signaalin heikkoudesta. [56]

Uuden 3GPP-standardin myötä yhteys voi käyttää useita taajuuksia, joka vähentää kuormaa yhdelle taajuudelle kerralla ja häiriötä samalla kantotaajuudella. Käytettävät taajuudet vaikuttavat myös yhteyden laatuominaisuuksiin. Korkeammilla taajuuksilla siirtokapasiteetti on suurempi, koska OFDMA-radiotekniikassa häiriötaajuuksien suhde lähetystaajuuteen vaikuttaa signaalikohinasuhteeseen, josta riippuu taas siirtokapasiteetin määrä. Korkeammat taajuudet eivät kuitenkaan läpäise esteitä yhtä hyvin kuin matalat taajuudet, joten matalat taajuudet taas mahdollistavat pidemmän kantaman.

Kapasiteetin tarve kasvaa radorajapinnan lisäksi myös kiinteän yhteyden osalta. Käytetyimmäksi ratkaisuksi on valittu ethernet-pohjainen liikennöinti, jossa ruuhkaa voidaan hallita suurillakin käyttäjämäärillä [57]. Suurin kapasiteetti fyysiseen tiedonsiirtoon on valokuituteknologialla, jolla siirtonopeus voi olla jopa 1,6 TB sekunnissa [58].

3.7. Yhteenveto

Tässä luvussa käsiteltiin käyttökokemuksen määrittelyä tietotekniikassa ja mobiiliteknologiassa. Tekniikan kehittyessä ja halventuessa se on käytössä kaikilla kilpailijoilla ja siksi operaattoriliiketoiminnassa on palvelujen lisäksi kilpailtava myös parhaasta käyttökokemuksesta. Sen vuoksi tutkimus tämän tiimoilta on kasvanut voimakkaasti ja ratkaisut määritellä käyttäjän kokema suhteessa tiedettyihin palvelun laadun mittareihin kasvaa.

Mobiiliteknologia tuo käyttökokemukseen uuden ulottuvuuden, koska nyt yhteyden vaikuttavat tekijät ovat alati muuttuvia ja yhteyden luotettavuus ei ole kiinteän yhteyden tasolla. Tämänhetkiset radioteknologiat kuitenkin on suunniteltu tukemaan päätelaitteen käyttöä eri ympäristöissä, erilaisilla päätelaitteilla ja eri käyttötarkoituksilla. Teknologiat pohjautuvat entisestään enemmän pakettitiedon siirtoon ja käytännössä LTE-tekniikassa puhetta ei siirretä aikaisempaan tapaan lainkaan. Tämä muutos johtuu käyttäjien tarpeiden muutoksesta ja siksi myös tuo käyttökokemuksen tutkimiseen mobiiliteknologian osalta uutta näkökulmaa.

4 Käyttäjäkysely ja -tutkimus

Tietoliikenteeseen ja sen laitteisiin kohdistuvaa käyttäjätutkimusta on tehty laajalti, mikä osoittaa että käyttäjien käyttäytymistä tunnetaan hyvin. Siitä ollaan kiinnostuneita niin liiketoiminnan kuin tieteen näkökulmista [7]. Eikä syyttä, koska käyttäjän tarpeet ja odotukset kehittyvät alituisesti. Saman tekniikan ollessa kaikilla toimijoilla käytettävissä, kilpailuetuja on etsittävä palveluista ja niiden laadusta. Tässä yhteydessä laatu voidaan myös käsittää käyttökokemuksena.

Tässä luvussa on esitelty kaksi tutkimusta ja niiden tuloksia. Ensimmäisessä on kyselytutkimuksella selvitetty yhteyden ominaisuuksien merkitystä käyttäjien tyytyväisyyteen mobiiliyhteydestä. Toinen tutkimus on toteutettu Laatumittari-sovelluksella, jolla on mitattu käyttäjän mobiililaajakaistayhteyttä. Mainitut kaksi tutkimusta selvittävät mobiiliyhteyttä kahdesta näkökulmasta; miten käyttäjä kokee subjektiivisesti mobiiliyhteyden ja toiseksi millainen käyttäjän kokemus ja tyytyväisyys yhteydestä on laadun teknisten mittareiden mukaan.

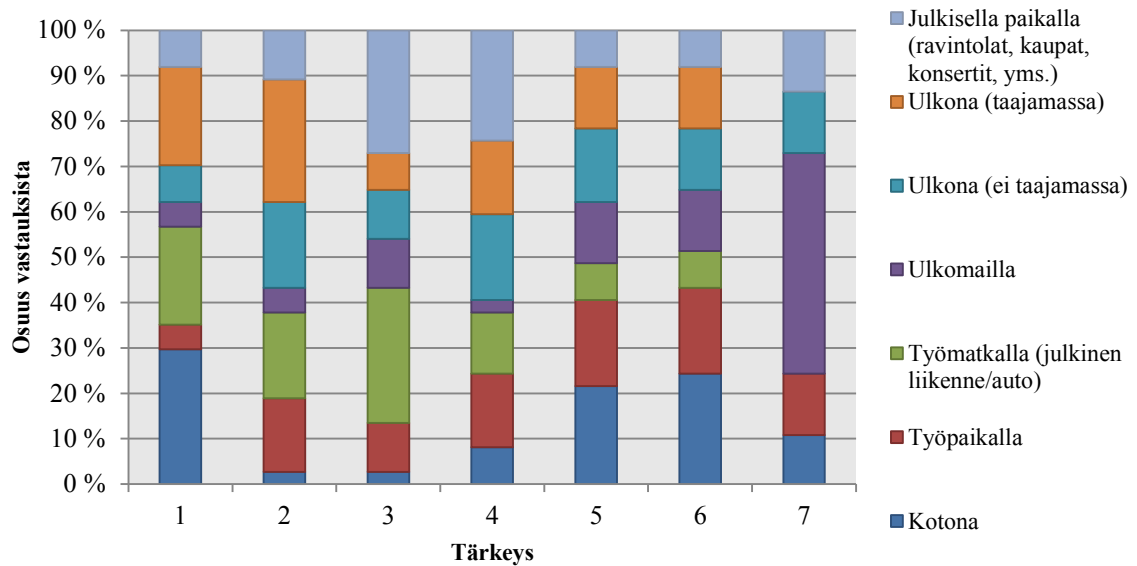
4.1. Internet-kysely tyytyväisyydestä mobiiliyhteyteen

Kysely toteutettiin 10.5.–10.6.2013 ja siihen osallistui 56 vastaajaa. Vastaajat rekrytoitiin sosiaalisesta mediasta ja vastaukset olivat riippumattomia palveluntarjoajasta. Kyselyn tavoitteena oli selvittää, mitkä asiat vastaajien mielestä vaikuttavat tyytyväisyyteen mobiiliyhteydestä. Mobiiliyhteydeksi määriteltiin sellainen langaton verkkoyhteys, joka yhdistetään radioverkkoon ja päätelaitteessa on SIM-kortti (subscriber identity module).

Suurin osa vastaajista oli 25–40-vuotiaita (56 %) ja eniten mobiiliyhteyttä käytettiin älypuhelimella, jossa oli kosketusnäyttö (98 %) ja toiseksi eniten tablet-tietokoneilla (36 %). Vastaajat kokivat tärkeäksi, että mobiiliyhteyden on toimittava näillä laitteilla luotettavasti riippumatta käyttöympäristöstä. Lähes kaikille vastaajista (94 %) oli erittäin paljon merkitystä, että mobiiliyhteys toimii kaikkialla Suomessa. Puolelle vastaajista merkitsi paljon tai erittäin paljon, onko mobiiliyhteyden latausnopeus luvattua alhaisempi vai ei. Samoin vastaajat odottavat saavansa tasalaatuista mobiiliyhteyttä kaikkialla Suomessa. Tämä osoittaa, että käyttäjät odottavat palveluntarjoajalta luotettavaa ja kattavaa mobiiliyhteyttä ja ne merkitsevät operaattorivalinnassa. Aiemmissa kappaleissa todettiin, että myös hinta on yksi tärkeä tekijä mobiili-internetin käytössä.

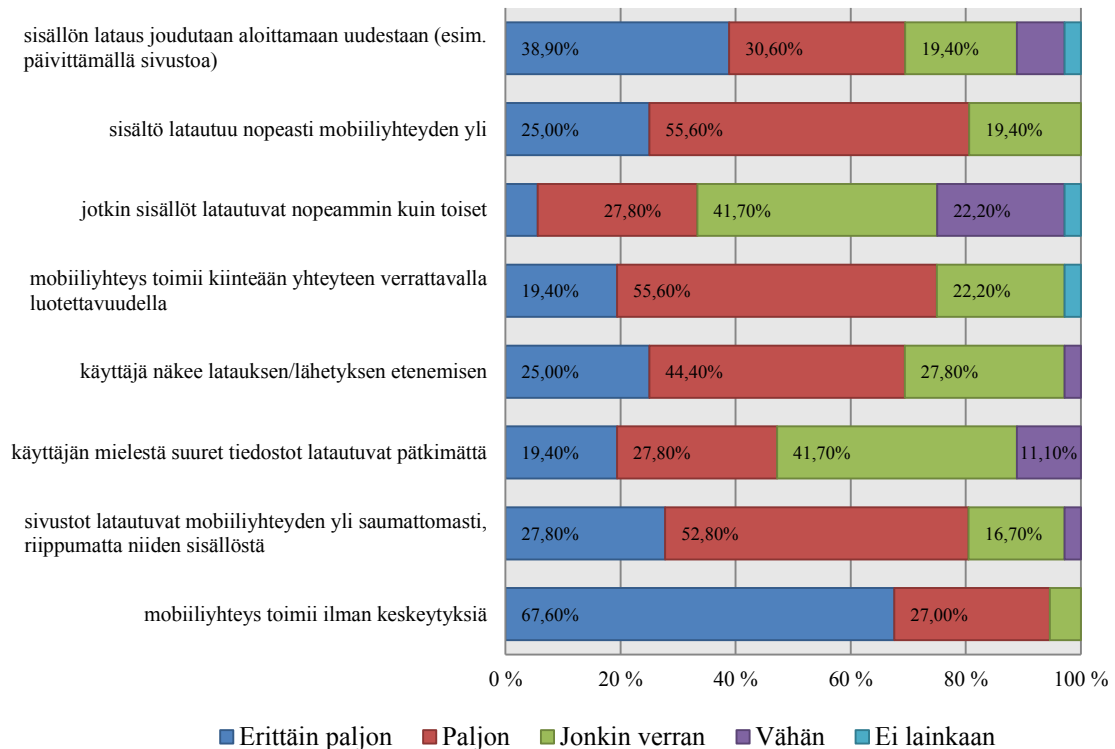
Vastaajia pyydettiin järjestämään erilaiset mobiiliyhteyden käyttöpaikat sen mukaan, missä yhteyden on toimittava luotettavasti. Tulokset on esitetty ohessa (Kuva 16). Kärkinelikossa ovat vastaajien mielestä koti, ulkona taajamassa, työmatkalla ja julkisella paikalla. Ylivoimaisesti vähiten tärkein paikka on ulkomailla. Tämä johtune siitä, että hinnoittelu mobiiliyhteydellä on vielä korkeaa suhteessa kotimaan mobiiliyhteyden hintoihin, eikä mobiililaitetta koeta ulkomailla merkittäväksi yhteydenpidon välineeksi. Maksuttomien langattomien verkkojen, päätelaite- ja radiotekniikoiden sekä hinnoittelun kehittyessä ulkomaan käyttöönkin on varmasti tulossa muutosta. Huomioitavaa on myös, että ensimmäisen sijan lisäksi koti on merkitty myös tärkeysjärjestyksessä asteikon häntäpäähän, viidenneksi ja kuudenneksi. Todennäköisesti monella on kiinteä yhteys kotonaan, jolloin mobiiliyhteys on toissijainen. Sama koskee työpaikkaa. Erityisesti käyttäjät, jotka tiesivät mobiiliyhteytensä latausnopeuden, pitivät kotia ja työpaikkaa vähiten tärkeinä paikkoina, joissa mobiiliyhteyden tuli toimia luotettavasti. Tärkein paikka heille oli ulkona taajamassa (tärkein sija 30 %) ja työmatkalla sekä julkisella paikalla (toiseksi

tärkein, 27 %). Mobiiliyhteyden etuja on sen liikuteltavuus, joten oli ennustettavissa että julkinen liikenne sekä käyttö ulkona taajamassa nousevat tärkeiksi paikoiksi käyttää mobiiliyhteyttä luotettavasti. Taajaman ulkopuolella mobiiliyhteys voi olla vapaa-ajan asuntojen ainoa verkkoyhteys ja mahdollisesti myös ainoa tapa hälyttää apua hätätilanteessa.



Kuva 16: Järjestä tärkeysjärjestykseen paikat, joissa mobiiliyhteyden on toimittava luotettavasti.

Kyselyssä kysyttiin millainen merkitys on sisällöllä tyytyväisyyteen mobiiliyhteydestä. Puolet käyttäjistä koki (51 %), että yhteyden on toimittava luotettavasti riippumatta käyttötarkoituksesta. Reilu kolmasosa (35 %) koki tärkeäksi, että mobiiliyhteys toimii luotettavasti tai kohtalaisesti hyötykäytössä, kuten sähköpostin lukeminen, työnteko tai opiskelu. Tällä kysymyksellä oli tavoitteena selvittää mobiiliyhteyden tärkeyttä riippuen käytettävästä sisällöstä. Vastauksesta voi päätellä, että huvikäyttö (kuten elokuvien ja musiikin suoratoisto tai pelaaminen) on vielä hieman toissijaisempaa, jolloin tarvittaessa omaa mobiilikäyttöä voitaisiin myös rajoittaa näiltä osin.



Kuva 17: Kuinka paljon tyytyväisyytesi mobiiliyhteydestä vaikuttaa, että

Kyselyssä selvitettiin myös miten paljon annetut tilanteet vaikuttavat tyytyväisyyteen mobiiliyhteydestä (Kuva 17). Ikäryhmittäin näissä vastauksissa ei ollut suuria eroavaisuuksia, joka osoittaa että kyseessä on yleisesti koetut ongelmat. Merkittävimmiä tyytyväisyyden mittareiksi nousivat

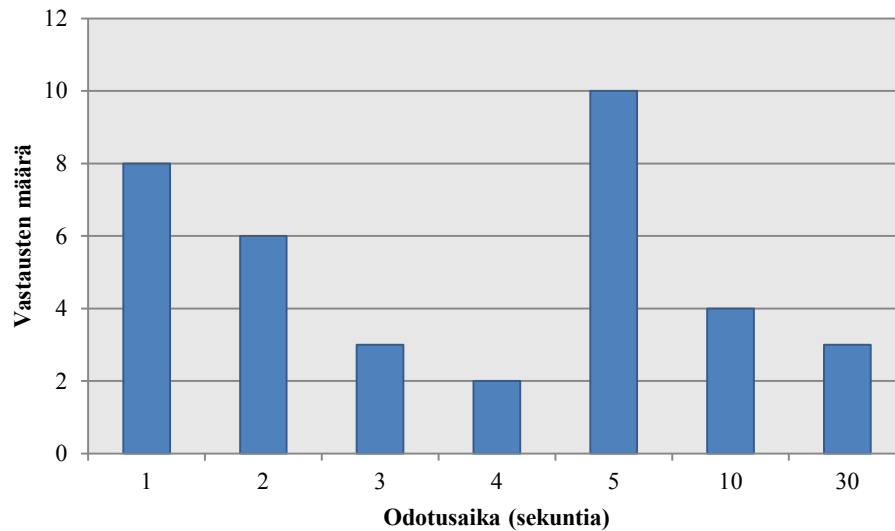
- mobiiliyhteys toimii ilman keskeytyksiä,
- sivustot latautuvat hyvin riippumatta sisällöstä ja
- käyttäjä ei joudu aloittamaan latausta uudelleen esimerkiksi päivittämällä sivustoa

Nämä tulokset osoittavat aiemmissa kappaleissa tutkitut tekijät, kuten latautumisen odottamisen sekä odottamattomat yhteyden muutokset, vaikuttavat käyttäjien tyytyväisyyteen myös mobiiliyhteydessä.

Nuorimmalla vastaajaryhmällä (19–24-vuotiaat) latauksen uudelleen aloituksella oli paljon tai erittäin paljon merkitystä tyytyväisyyteen verrattuna muihin ikäryhmiin. Vastauksista nousee myös esille, että vastaajat kokevat tärkeäksi että latauksen tai lähetysten etenemisen näkee. Vähemmän tärkeitä olivat kohdat, joissa käyttäjä voi valita sisällön esim. valitsemalla latauksen koon tai sisällön tarkemmin, kuten kooltaan pienemmät, kevyemmät sivustot. Tästä voidaan päätellä, että käyttäjä haluaa mobiiliyhteyden toimivan sisällöstä riippumatta, kunhan latauksen tai lähetysten etenemistä voi seurata. Myös mobiiliyhteyden latausnopeus oli tyytyväisyyteen merkittävien asioiden joukossa. Voidaan olettaa, että vastaaja olettaa latausnopeuden liittyvän kuinka nopeasti sisältö latautuu käyttäjän päätelaitteelle, mikä toisaalta liittyy viiveeseen, joka aiheutuu eri tekijöistä kuin latausnopeus.

Vastaajat arvioivat kyselyssä miten kauan he ovat valmiit odottamaan sivuston latausta mobiiliyhteyden yli. Tuloksissa (Kuva 18) ovat mukana odotusajan arvot, joita on annettu enemmän kuin kaksi. Tuloksista voidaan päätellä, että monelle käyttäjälle odotusaika voi olla pitkäkin, viisi sekuntia. Toisaalta lähes saman verran vastaajia

vastasivat odotusajaksi sekunnin. Annetut ajat osoittavat kuten edellisissä kappaleissa todettiin; sekunnin odotus tarjoaa edelleen hyvän käyttäjäkokemuksen. Moni ei siis odota mobiiliyhteydeltä hyvin lyhyitä viiveitä, joita LTE-tekniikka tarjoaa (alle kymmenesosa sekuntia). Lataukseen kuluvaan aikaan kuitenkin vaikuttavat esimerkiksi useasta eri lähteistä tuleva sisältö. Tällöin on huomioitava, että jokaista eri lähettä kohti viive on eri, koska etäisyys lähteeseen vaihtelee ja näin ollen myös viiveet.

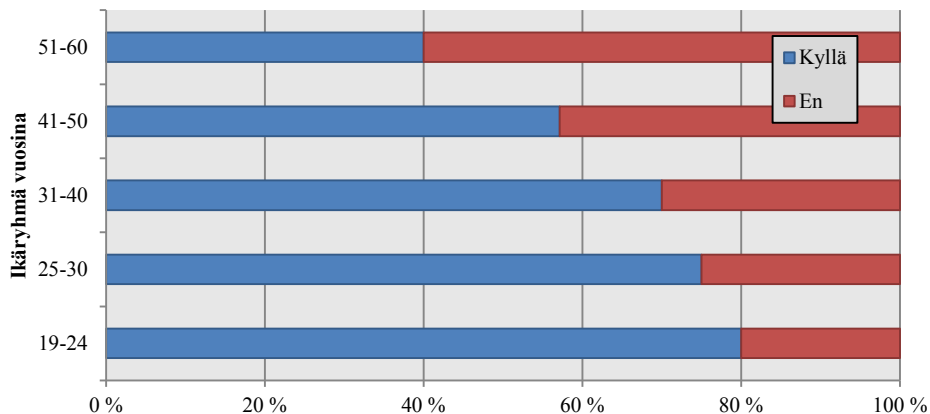


Kuva 18: Kuinka kauan olet valmis odottamaan kokonaisen web-sivun latautumista mobiiliyhteyden yli?

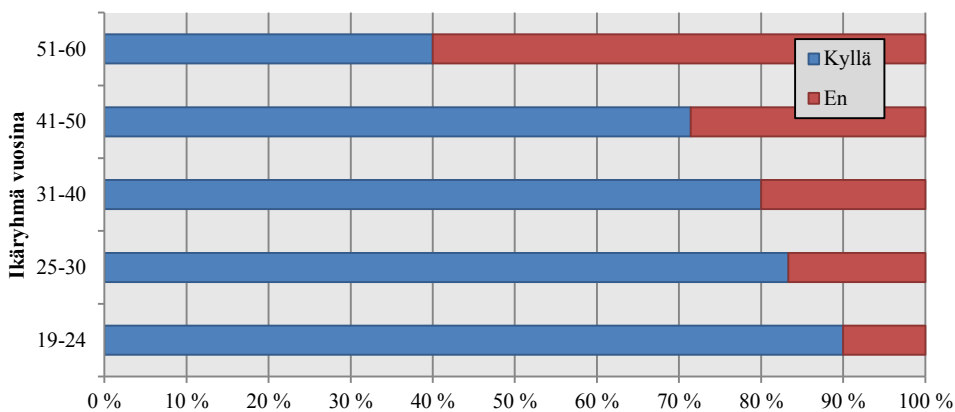
Kyselyssä pyydettiin vastaamaan myös, tietävätkö vastaajat mobiiliyhteytensä enimmäisnopeuden ja ovatko he tyytyväisiä yhteyteensä (Kuva 19 ja Kuva 20). Tyytyväisimpiä olivat vastaajat, jotka eivät tieneet mobiiliyhteytensä enimmäisnopeutta. Tähän saattaa vaikuttaa se, että käyttäjät jotka tietävät enimmäislatausnopeutensa, tietävät myös yhteyteen liittyvät ympäristötekijät ja osaavat ottaa ne huomioon muodostaessaan käsitystä toimivasta mobiiliyhteydestä. Esimerkiksi sen, että mobiiliyhteys toimii huonosti kellarikerroksissa tai kivitaloissa. Tyytyväisyys jakautui enemmän heidän kohdallaan, jotka tiesivät enimmäisnopeutensa.

Mielenkiintoinen löydös koski tuntemusta omasta mobiiliyhteyden latausnopeudesta. Valtaosa kaikista vastaajista (83 %) koki merkittäväksi että mobiiliyhteys on luvattua latausnopeutta, mutta näistä vastaajista 33 % ei tiennyt mobiiliyhteytensä enimmäislatausnopeutta. Vastaajat (87 %), jotka eivät tieneet mobiiliyhteytensä enimmäislatausnopeutta, olivat myös tyytyväisiä yhteyteen. Nämä tulokset osoittavat, ettei subjektiivinen tieto latausnopeudesta vaikuta käyttäjän tyytyväisyyteen, vaan merkittävämpää on kokemukset yhteyden toimivuudesta, luotettavuudesta. Toisaalta, myös ne (23 %), jotka tiesivät enimmäislatausnopeutensa, olivat tyytyväisiä (73 %). Molemmissa tapauksissa eri ikäryhmille oli kuitenkin erittäin paljon tai paljon merkitystä, onko mobiiliyhteys luvattua nopeutta alhaisempi. Tämä osoittaa, että käyttäjille merkitsee heille luvattu palvelu.

Kuva 19 ja Kuva 20 esittävät kuinka vastaajien ikäryhmä vaikuttaa tyytyväisyyteen ja oman mobiiliyhteyden tuntemiseen. Nuorilla aikuisilla (19–30-vuotiaat) on selvästi parempi tuntemus omasta mobiiliyhteydestään ja he ovat myös tyytyväisempiä siihen. Syy tähän on todennäköisesti nuorten tietoisuus vallitsevasti markkinatilanteesta ja halusta tuntea käyttömahdollisuudet sekä käytettävät palvelut.



Kuva 19: Tiedätkö oman mobiiliyhteytesi enimmäislatausnopeuden?



Kuva 20: Oletko tyytyväinen mobiiliyhteyteesi?

4.2. Laatumittari-sovellus käyttökokemuksen selvittämiseksi

Tutkimuksessa käytettiin yhteyden taustalla toimivaa sovellusta. Kohderymänä oli 4G- ja 3G-yhteyttä käyttäviä nettitikukäyttäjiä. Keräysajanjakso oli noin kolme kuukautta keväällä 2013. Tavoitteena oli selvittää kuinka yhteys käyttäytyy käyttäjän näkökulmasta mitattuna. Sovelluksella saatiin yhteensä noin 40 000 istuntoa.

Istunto käsitetään sovelluksena yhteyskertana, joka on alkanut kun yhteys radiorajapintaan on muodostunut ja päättynyt, kun yhteys radiorajapintaan on katkennut. Sovellus toimi käyttöjärjestelmän taustalla, eikä vaatinut käyttäjän toimia asentamisen lisäksi. Sovellus keräsi dataa vain mobiiliyhteyden käytöstä, ei esimerkiksi käytettäessä langatonta verkkoa. Laatumittari keräsi dataa yhteyden:

- lataus- ja lähetysnopeudesta
- yhteyden viiveistä
- pakettihäviöstä
- signaalitehosta
- käyttöjärjestelmäversiosta
- käytettävän tietokoneen suorituskyvystä

Lisäksi käyttäjältä kysyttiin tyytyväisyyttä, yhteyden silloista käyttötarkoitusta ja avointa palautetta satunnaisesti yhteyden päätyttyä, odottamattomasti tai käyttäjän toimesta. Kyselyn pystyi myös sivuuttamaan vastaamatta.

Satunnaisissa ns. subjektiivisissa kysymyksissä kysyttiin avointa palautetta, joka osoitti että moni käyttäjäkunnasta tiesivät millaista tekniikkaa käyttivät ja millaista laatua heidän olisi mahdollista saada täydellisissä olosuhteissa. Avoin palaute myös auttoi syventymään tarkemmin ongelmiin, jota suoranaisesti kerätystä datasta ei havaittu, kuten yhteyksien odottamattomiin katkeamisiin. Käyttäjiltä kysyttiin tyytyväisyyttä viisiportaisella MOS-asteikolla (Taulukko 2). Käyttötarkoituksen kartoitusta varten annettiin vaihtoehdot

- katson videoita (YouTube, Netflix, Vimeo yms.)
- seuran uutisia ja haen tietoa
- luen sähköposteja
- käytän sosiaalisia medioita (mm. Facebook, Twitter)
- kuuntelen musiikkia netistä (Spotify)
- teen töitä (mm. VPN, tekstinkäsittely)
- osallistun keskusteluun

Näiden tietojen perusteella koottiin seuraavaksi esitettyjä tuloksia ja päätelmiä.

Tutkimuksessa käytetty viive, sekä istuntojen enimmäisviiveet ja keskimääräiset viiveet, on mitattu sovelluskerroksen HTTP-protokolla POST- ja GET -käskyillä, kun asiakas saa vastauksen ”200 OK”.

4.3. Yhteyden toimivuus ja luotettavuus

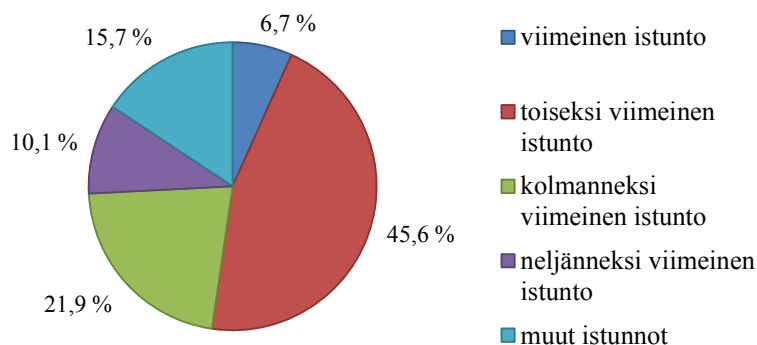
Käyttäjätutkimusten perusteella käyttäjälle on tärkeää mobiiliverkon luotettavuus, joka käsitetään myös toimivuutena. Toimivuuteen liittyvät mobiiliyhteyden lisäksi käytettävän sovelluksen ja laitteiston toimivuus. Käyttäjän laitteiston hitaalla suoritusteholla yhteysnopeuskaan ei ole suuri. Verkko-operaattori ei voi vaikuttaa millaisia sovelluksia ja millä laitteistolla käyttäjä mobiiliyhteyttä käyttää. Toisessa luvussa esiteltiin millaisilla teknisillä ominaisuuksilla mitataan palvelun laatua. Tässä työssä tehdyt tutkimukset osoittavat, että näillä ominaisuuksilla on myös merkitystä käyttäjän tyytyväisyyteen mobiiliyhteydestä ja sitä kautta kokemukseen.

Mobiililaajakaista käyttää pääasiassa LTE-tekniikka tai 3G-tekniikkaa, eli HSPA tai DC-HSPA tekniikoita. Tekniikat eroavat toisiltaan topologiaaltaan ja protokolliltaan, joten näiden verkkojen käyttäjät on eroteltu toisistaan tulosten esittelyssä.

Koska kyseessä on tietokoneen kytkettävä päätelaite, lähtökohtaisesti käyttäjät ovat käyttäneet mobiiliyhteyttä paikoillaan.

4.4. Tulokset 3G-verkossa

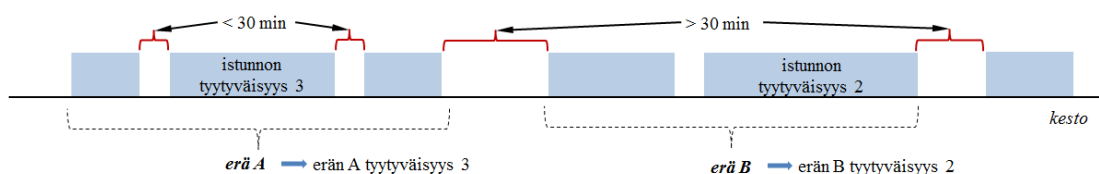
Kuten edellisissä kappaleissa mainittiin, käyttäjäkokemus on subjektiivinen ja odotukset muokkautuvat myös koetun laadun mukaan. Tämän vuoksi 3G-käyttäjät on jaettu neljään luokkaan heidän koettujen keskimääräisten latausnopeuksien perusteella: alle 0,7 Mb/s (50 % kaikista käyttäjistä), 0,7-1 Mb/s (25 %), 1-1,5 Mb/s (15 %) ja 1,5-3 Mb/s (10 %). Käyttäjät voivat saada myös luokkaansa suurempia latausnopeuksia yksittäisillä kerroilla. Tämän lisäksi mukana ovat vain käyttäjät, joiden vastausprosentti tyytyväisyydestä yhteyteen oli yli prosentin.



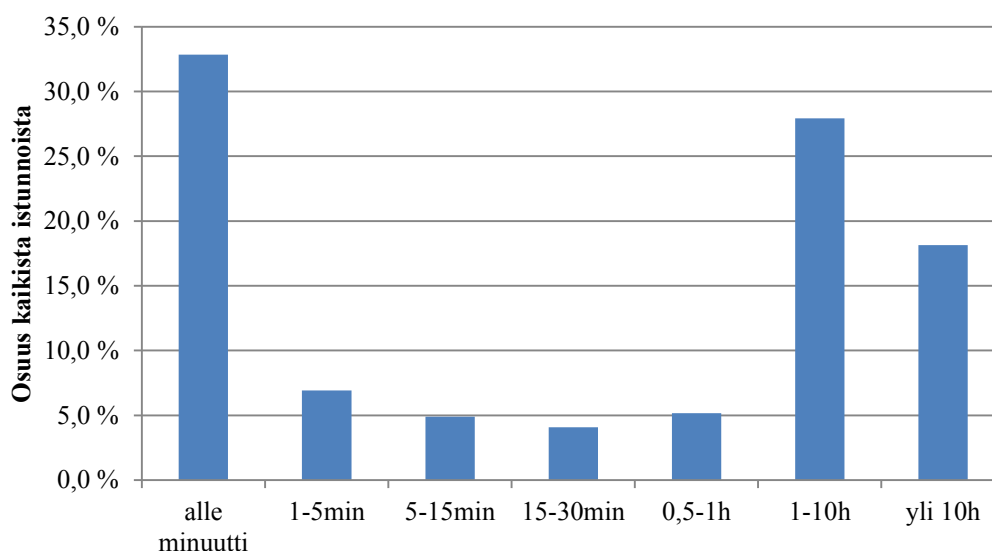
Kuva 21: Avoimen palautteen vastausihteys erissä

Tuloksien esittämiseen on käytetty eriä, jotka sisältävät istunnot (yhteys avattu ja suljettu), joiden väli on enintään puoli tuntia (Kuva 22). Erä muodostaa yhden kokemus-kokonaisuuden. Satunnaisesti istunnosta kysyttävä tyytyväisyyskysely MOS-asteikolla laajennetaan tuloksissa koskemaan koko erää. Lyhyen ajan sisällä olleet kokemukset yksittäisestä istunnosta vaikuttavat koko erän kokemukseen. Samassa erässä annetut tyytyväisyyden arvot lasketaan painotetulla keskiarvolla, jolla saadaan käyttäjän keskimääräinen tyytyväisyys koetusta yhteydestä.

Kuva 21 osoittaa, että suurin osa palautteista annetaan erän loppuvaiheilla. Jos tyytyväisyysarvosanaa ei oltu annettu, erää ei huomioitu.



Kuva 22: Istunnot ja erät sekä tyytyväisyyden jakautuminen erälle

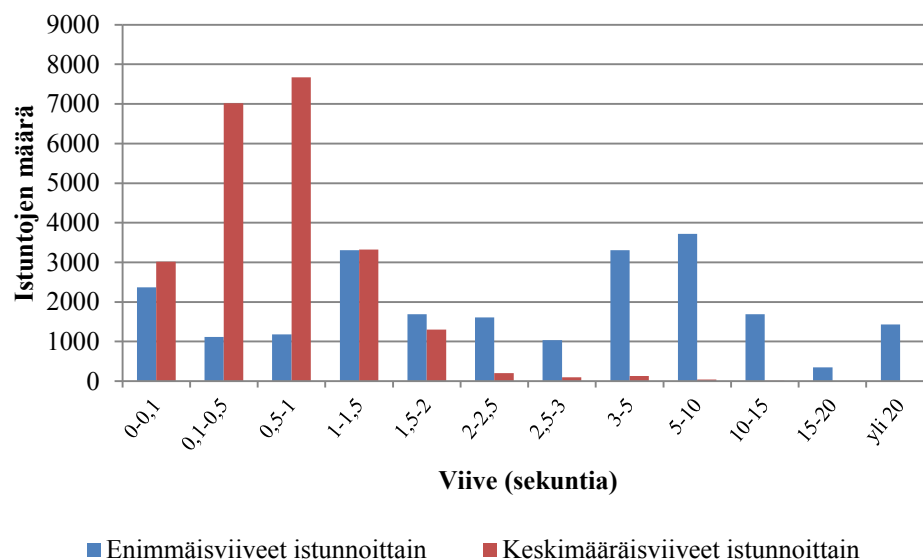


Kuva 23: Istuntojen keston välisen ajan jakautuminen

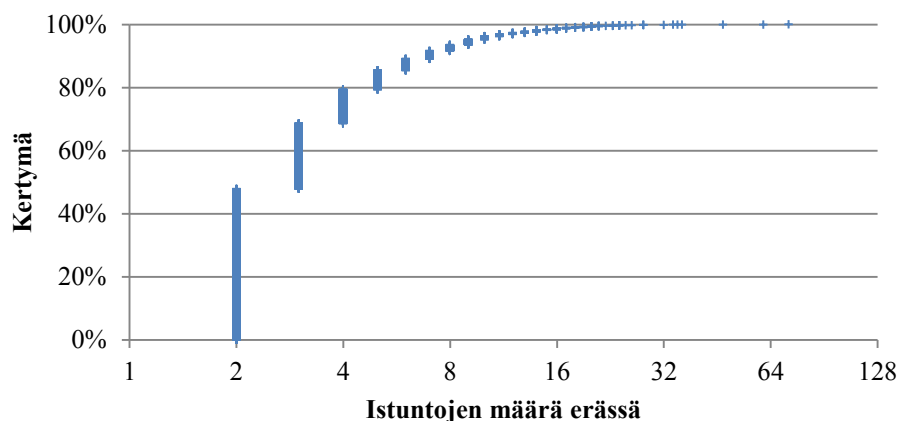
Kuva 23 osoittaa, että noin puolet yhteyksistä oli aloitettu alle 30 minuutin sisällä edellisen katkeamisesta. Tästä voi päätellä, että istunnot olivat lähellä toisiaan ja siksi eri istunnoista saadut kokemukset vaikuttivat toisiinsa.

Keskeisinä tekijöinä on käyttäjien kokema tyytyväisyys mobiiliyhteydestä ja käytetty teknologia. Nämä kaksi tekijää ovat keskeisessä asemassa arvioidessa käyttäjän kokemuksia. Radioyhteyteen vaikuttavat monet ympäristötekijät, mutta nämä ovat kuitenkin pääasiassa huomioitu palvelun laadun ja tarjottavien palveluiden ohjeellisia arvoja määrittäessä. Mobiiliyhteyksiä markkinoidessa asiakkaalle kerrotaan ohjeellisten arvojen saattavan poiketa käyttäjän kokemasta merkittävästikin. Poikkeamiset johtuvat juuri edellä mainituista ympäristötekijöistä. Palveluntarjoaja ei voi vaikuttaa missä ja miten käyttäjä hankittua mobiiliyhteyttä käyttää ja siksi todellinen kokemus yhteydestä voi poiketa tarjotusta. Myös tämän vuoksi käyttökokemuksen tutkimus käyttäjän näkökulmasta on tärkeää.

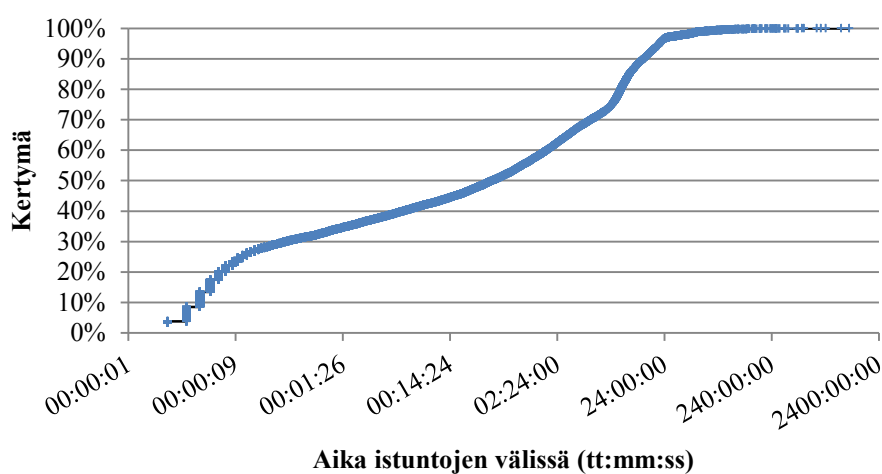
Tutkimuksen avoimen palautteen kautta tärkeäksi tyytyväisyyden mittariksi nousivat istuntojen katkeamiset ja ajoittaiset hitaudet. Ohessa jakauma (Kuva 25), jossa on istuntojen määrä per erä, joka osoittaa erän aikana olleiden istuntojen määrän. Useat istunnot lyhyen ajan sisällä indikoivat yhteyksien katkeilua, kun määrien lisäksi tarkastellaan istuntojen välisiä aikoja. Yhteyden aikana olleiden yksisuuntaisten viiveiden jakautuminen Kuva 24 osoittaa viiveiden olevan merkittävä tekijä käyttäjien kokemassa yhteydessä. Viiveet näkyvät käyttäjälle vaihtelevana hitautena. Palautteessa käyttäjät ilmaisivat yllättävistä katkeamisista. Tämä voidaan osoittaa istuntojen välisten aikojen jakaumalla (Kuva 26) sekä istuntojen määrällä per erä. Lyhyitä välejä on merkittävästi enemmän kuin pitkiä, noin 40 % kaikista istunnoista, mikä osoittaa että yhteys on käynnistetty uudelleen nopeasti katkeamisen jälkeen, manuaalisesti tai automaattisesti. Automaattinen uudelleen yhdistäminen on mahdollista, mutta se ei ole oletuksena laitteissa. Tätä ei kuitenkaan sovelluksella voida selvittää suoraan. Pitkien välien määrä johtuu yhteyden harvemmasta käytöstä, esimerkiksi yhteys avattu vain kerran päivässä, jolloin väli on noin 24 tuntia. Nämä ilmiöt toistuvat kaikissa nopeusluokissa.



Kuva 24: Viivemäärien jakautuminen

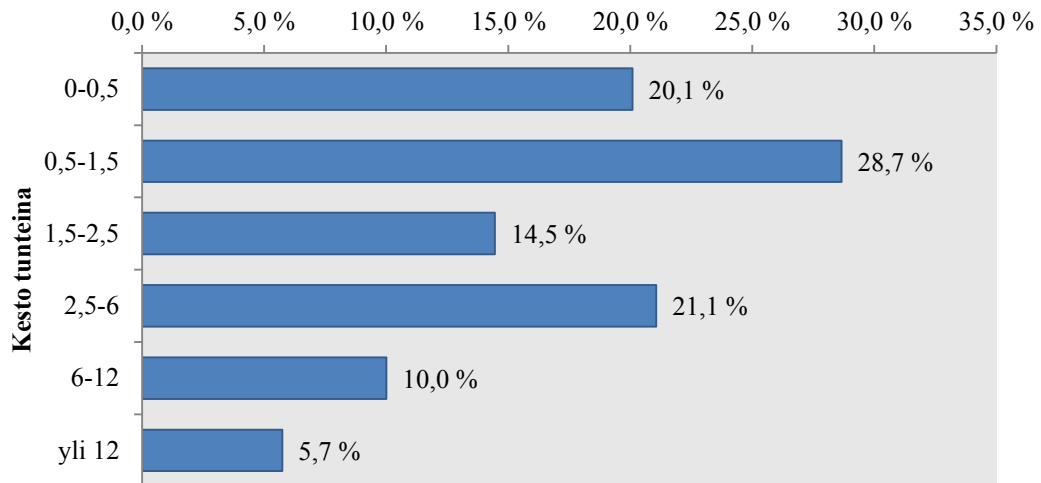


Kuva 25: 3G-tekniikan istuntojen määrän jakautuminen erässä



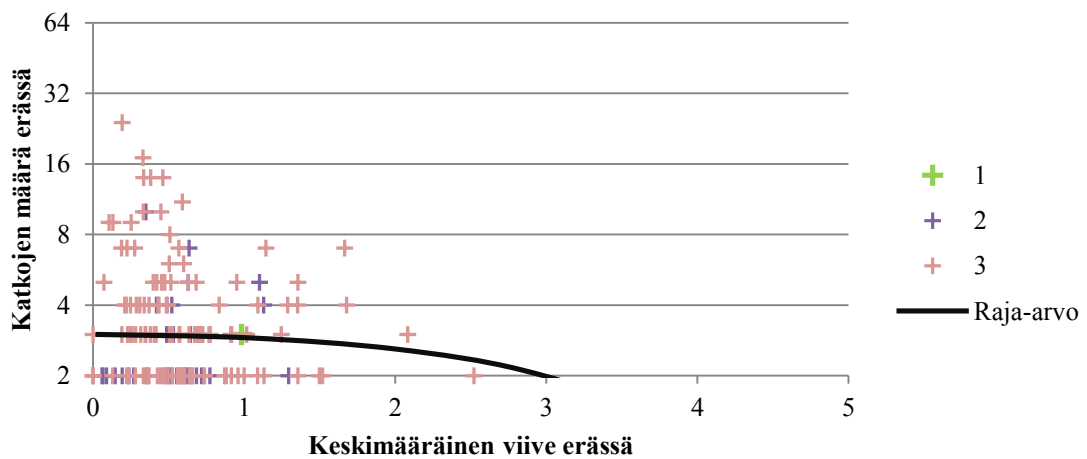
Kuva 26: Istuntojen välisten taukojen jakauma

Tarkastellessa pelkästään erien kestoja, jotka kuvaa kokonaisaikaa jona käyttäjä on mobiiliyhteyttään käyttänyt (Kuva 27), huomataan että pitkiä, (yli 2h) eriä on puolet kaikista eristä. Tämä osoittaa, että mobiiliyhteyttä käytetään pitkiä aikoja, kuten kiinteää yhteyttä. Jotkin eristä ovat jopa yli vuorokauden mittaisia, mikä osoittaa jatkuvaa käyttöä. Mobiiliyhteyden hallintasovellus myös sallii automaattisen yhteydenmuodostamisen, joka mahdollistaa miltei jatkuvan yhteyden, vaikka se katkeaisikin hetkeksi. Toisaalta puolet eristä on alle puolitoista tuntia, mikä osoittaa että käyttäjät jakautuvat mobiiliyhteyden käytössä hyvin erilailta.

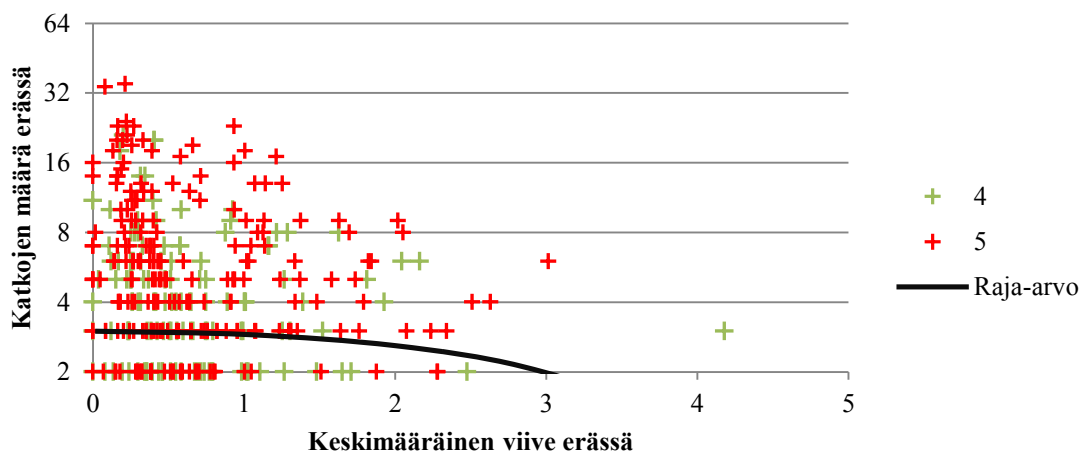


Kuva 27: Erien kestojen jakautuminen 3G- ja 4G-tekniikoissa

Seuraavissa kuvissa (Kuva 28 ja Kuva 30) on otettu tarkasteluun tyytyväisyys suhteessa käyttäjien kokemiin katkojen määriin ja viiveisiin erässä, koska nämä ovat kaksi keskeistä tekijää käyttäjän tyytyväisyyden mittaamisessa.



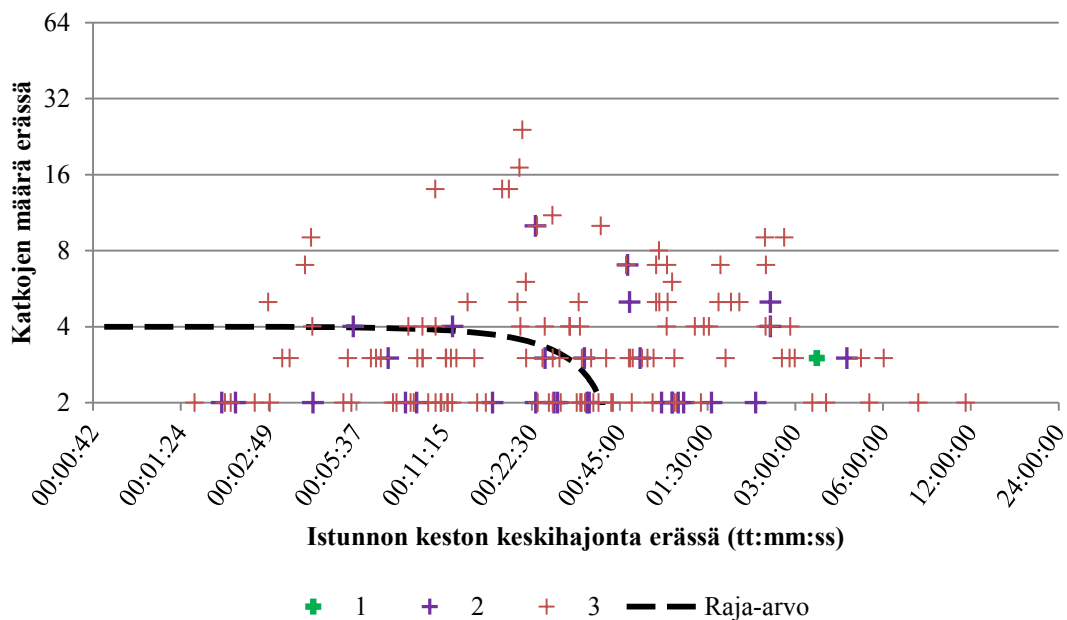
Kuva 28: Enimmäisviiveen ja katkojen merkitys tyytyväisyyteen (arvot 1-3) 3G-tekniikassa



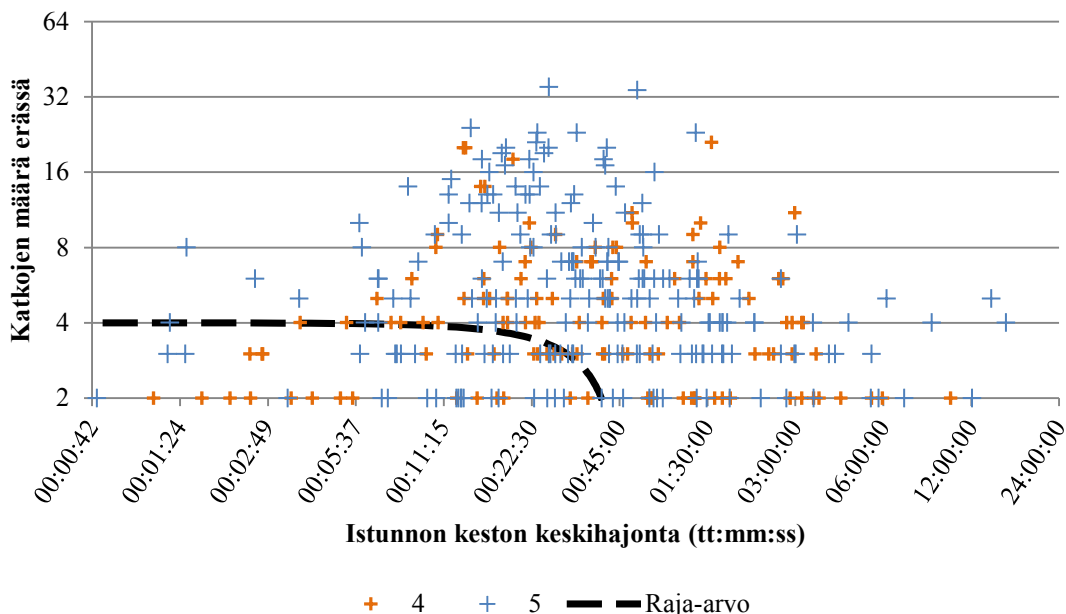
Kuva 29: Enimmäisviiveen ja katkojen merkitys tyytyväisyyteen (arvot 4 ja 5) 3G-tekniikassa

Katkoviivalla merkitty raja-arvo rajaa yli neljän sekunnin enimmäisviiveen ja neljän katkon erät. Tyytyväisistä käyttäjistä, arvoilla yksi, kaksi ja kolme 24 % on tämän alueen ulkopuolella, kun taas muilla arvoilla 53 %. Tämä osoittaa että suurin osa käyttäjistä oli tyytymättömiä kun viiveet olivat suuri ja katkoja paljon. Nämä arvot koskevat vain nopeusluokkaa alle 0,7 Mb/s 3G-tekniikassa, jossa oli tässä tutkimuksessa eniten käyttäjiä. Liitteessä A on esitetty istuntojen määrät erässä sekä enimmäisviiveet erässä muilta nopeusluokilta. Liitteessä on esitetty myös nopeusluokan alle 0,7 Mbps histogrammit koskien näitä tekijöitä. Tyytyväisyys on arvioitu MOS-asteikolla (Taulukko 2), jossa arvossa yksi käyttäjän mielestä yhteys toimii erinomaisesti ja arvossa viisi huonosti. Arvojen erottumiseksi ne ovat jaettu kahteen kuvaan. Kuvat osoittavat, että tyytyväisempiä käyttäjät ovat yhtenäisillä yhteyksillä sekä lyhyillä viiveillä.

Muutamia poikkeamia on nähtävissä tyytymättömistä käyttäjistä, joiden viiveet ovat lyhyitä ja katkoja vähän (Kuva 30 ja Kuva 31). Tarkastelemalla näitä eriä huomataan, että kyseisissä erissä on erittäin lyhyitä ja pitkiä istuntoja, ja istuntojen pituuksien alituinen vaihtelu vaikuttaa käyttäjäkokemukseen. Tällöin keskihajonta on suurta.



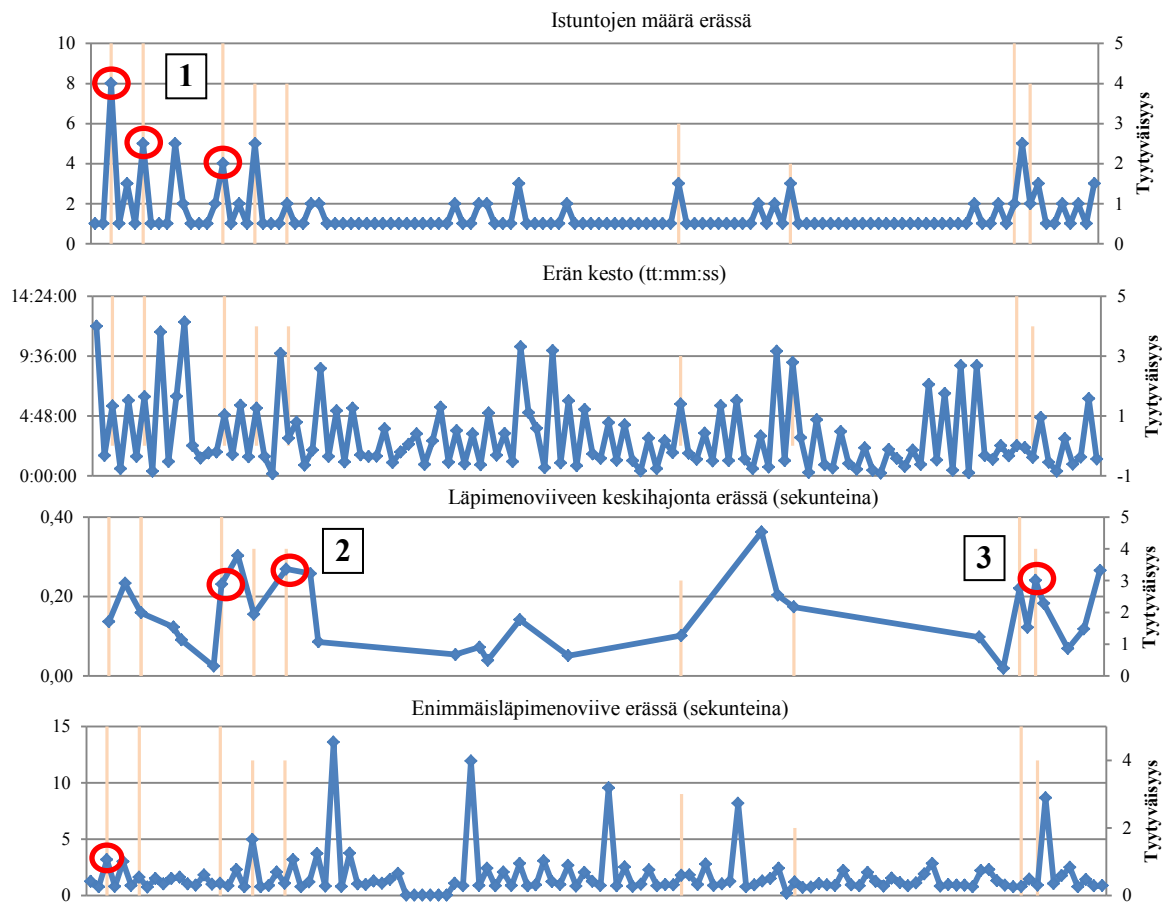
Kuva 30: Katkosten määrän ja istunnon keston keskihajonnan suhde tyytyväisyyteen (arvot 1-3) 3G-tekniikassa



Kuva 31: Katkojen määrän ja istunnon keston keskihajonnan suhde tyytyväisyyteen (arvot 4 ja 5) 3G-tekniikassa

Tyytyväisien käyttäjien eristä suurin osa (59 %) on eriä, joissa katkoja on neljä tai vähemmän ja istuntojen keston keskihajonta alle 45 minuuttia (Kuva 30 ja Kuva 31). Tyytymättömistä asiakkaista 73 % on näiden arvojen ulkopuolella, eli katkoja on yli 4 ja istuntojen keskihajonta erän sisällä yli 45 minuuttia. Laadun vaihtelevuus vaikuttaa käyttäjän kokemukseen luotettavuudesta. Erityisesti lyhyet istunnot kertovat niiden katkeamisista, koska monessa tapauksessa yhteys on avattu uudelleen ja aloitettu uusi istunto, joka saattanut kestää pitkään.

Kuten edellä esitetyistä kuvista voidaan huomata, suurin osa palautteista on arvoja neljä ja viisi. Voidaan päätellä, että suuri osa käyttäjistä antaa palautetta tyytymättömyydestään, eikä hyvin toimivasta yhteydestä. Koska kyseessä on vain marginaalinen otanta käyttäjiä, koko verkon suorituskykyä ei voida tämän palautteen perusteella arvioida. Lisäksi samoilla viiveiden ja katkojen arvoilla käyttäjältä saatu palaute voi olla yksi tai viisi. Osaksi tämä johtuu siitä, että tutkimuksessa ei huomioitu käyttäkö käyttäjä joka kerta samoja palveluita, jonka vuoksi myös palvelun laatu eri datatyyppejä kohtaan eroaa. Esimerkiksi huonomman suorituskyvyn yhteydellä internet-sivujen selailu voi olla moitteetonta, kun taas saman laatusella yhteydellä videoiden suoratoiston laatu kärsii. Tyytyväisyyden vaihtelun vuoksi onkin tarkasteltava yhteyden ominaisuuksia yhdessä yksittäisten käyttäjien osalta. Tutkittaessa yksittäisten käyttäjien saamia arvoja, voidaan osoittaa että istuntojen kestot sekä koetut viiveet ja katkot vaikuttavat käyttökokemukseen, mikä näkyy tyytyväisyytenä erässä. Seuraavassa on (Kuva 32) esimerkki käyttäjäkohtaisesta analyysistä, josta voidaan päätellä, että palvelun laadun mittarit ja merkittäväksi koetut ominaisuudet vaikuttavat käyttäjäkokemukseen kokonaisuutena



Kuva 32: Yksittäisen käyttäjän kokema, taustalla palkkeina arvosana tyytyväisyydestä 1-5 3G-tekniikassa

Yllä esitetty käyttäjän yhteydet neljän eri kuvan avulla, jotka koskevat istuntojen määrä erässä, toisin sanoen katkoja, erän kokonaiskestoja sekä läpimenviiveiden enimmäisarvoa erässä ja keskihajontaa, joka osoittaa viiveiden vaihtelua erässä. Tarkoituksena kuvalla on esittää eri tekijöiden vaikutus tyytyväisyyteen. Jokainen vaaka-akselin arvo on yksi erä, johon voi kuulua useita istuntoja. (Kuva 22)

Tarkastellessa oheista kuvaa käyttäjän kokemuksesta, muutamia huomioita:

1. Kahdessa ensimmäisessä erässä, joille käyttäjä on antanut tyytyväisyydelle arvon viisi, on ollut suhteessa monta katkoja lyhyessä ajassa.
2. Kolmannessa erässä, jolle käyttäjä on antanut arvosanan viisi, on vähemmän katkoja, mutta läpimenviiveen keskihajonta on suhteessa suurempi, joten yhteydessä on ollut vaihtelevaa hitautta.
3. Neljännessä arvosanan viisi erässä sekä sen jälkeisessä erässä, jolle käyttäjä on antanut arvosanan neljä, on myös suhteessa suurta läpimenviiveen vaihtelua.

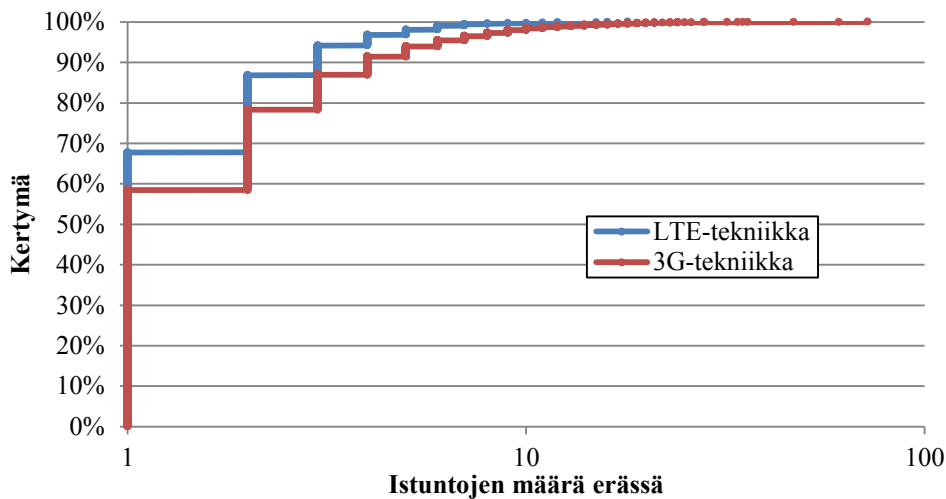
4.5. Tulokset LTE-verkossa

Mobiililaajakaistan päätelaite mahdollistaa verkkotekniikan vaihtumisen riippuen ympäristötekijöistä, kuten signaalitehosta. Paremmalla signaaliteholla lähettävä verkkotekniikka valitaan käytettäväksi. Tässä kappaleessa esitetty data on käyttäjiltä, jotka ovat olleet yli 50 % istunnoistaan LTE-verkossa Koska LTE-tekniikka eroaa

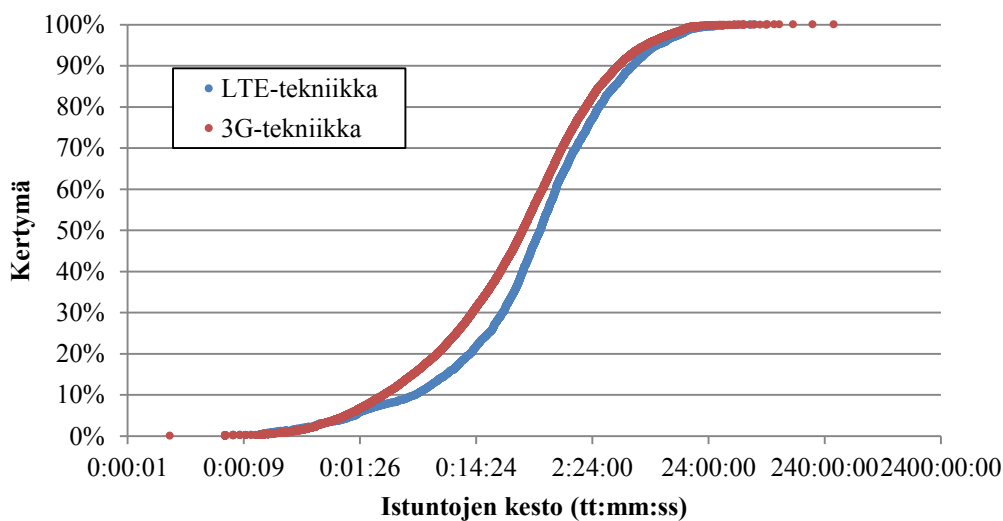
merkittävästi vanhemmista 3G-tekniikoista, sen suorituskyky muun muassa viiveiden ja lataus- ja lähetysopeuksien osalta on merkittävästi paljon parempaa. Tämän vuoksi nämä kaksi mobiiliverkkotekniikka, 3G- ja LTE-tekniikat, ovat erotettu toisistaan tässä tutkimuksessa.

Koska LTE-tekniikka on käytössä vielä rajoitetusta, myös käyttäjämäärät ovat pienemmät kuin 3G-tekniikalla. Tämän vuoksi käyttäjiä ei ole eroteltu nopeusluokkiin tai muulla ominaisuudella.

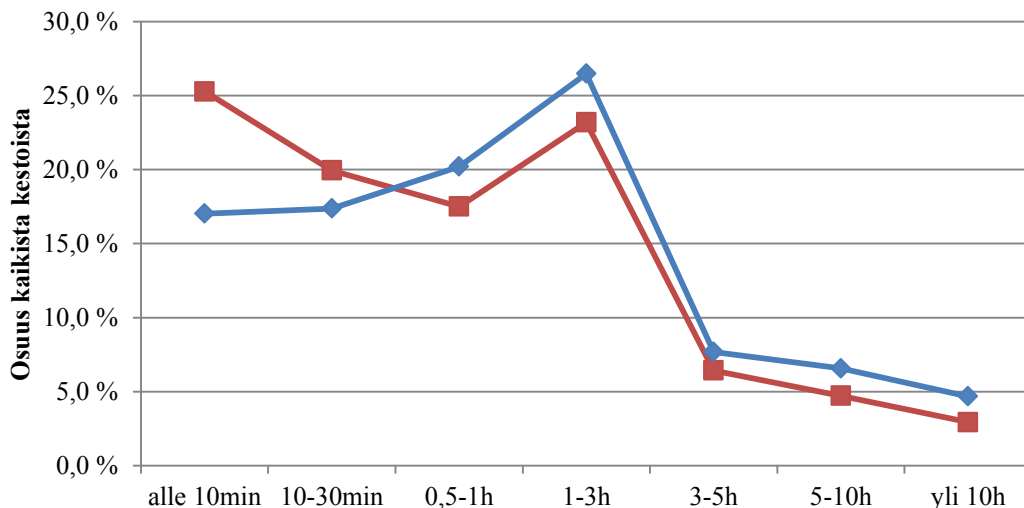
LTE-tekniikka tarjoaa 3G-tekniikka luotettavamman yhteyden, kuten Kuva 33 esittää. 3G-tekniikan katkoja on suhteessa enemmän erässä kuin LTE-tekniikassa. Kuitenkin LTE-yhteyksissäkin on erässä useita istuntoja, mutta vähemmän verrattuna 3G-tekniikkaa käyttäviin yhteyksiin. Esimerkiksi LTE-tekniikassa kaksi tai vähemmän istuntoja erässä on 68 % kaikista istunnoista, kun 3G-tekniikassa 59 %. Kuva 33 osoittaa, että LTE-tekniikassa on hieman enemmän pitkiä istuntoja verrattuna 3G-tekniikkaan. Mutta istuntojen välinen aika on lyhyt useammassa istunnossa 3G-tekniikassa kuin LTE-tekniikassa (Kuva 36). Koska LTE-yhteyksissä istunnot on aloitettu harvemmin kuin 3G-yhteyksissä, voidaan päätellä että yhteydet ovat katkeilleet vähemmän eikä niitä tällöin ole tarvinnut yhdistää verkkoon uudelleen heti edellisen yhteyden katkettua.



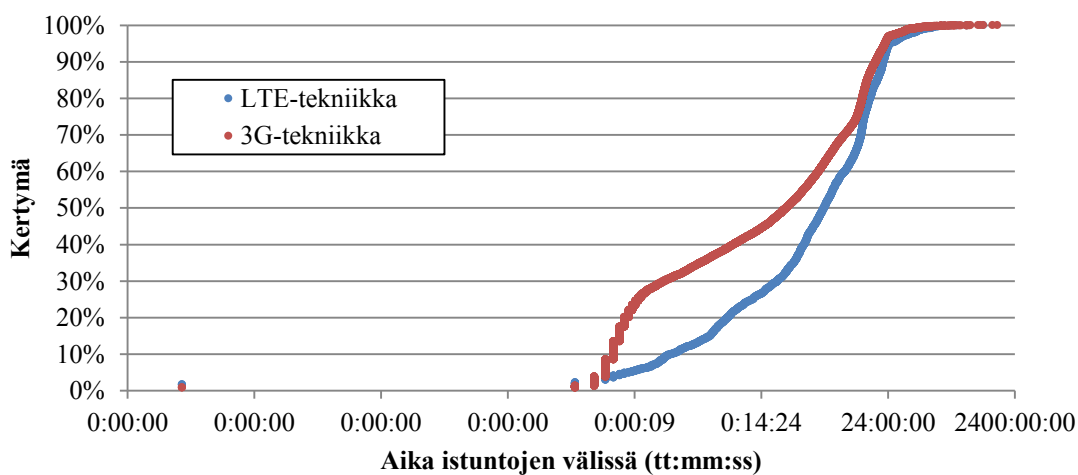
Kuva 33: Istuntojen määrä erässä, 3G- ja LTE-yhteyksissä



Kuva 34: Istuntojen kesto, 3G- ja LTE-yhteyksissä

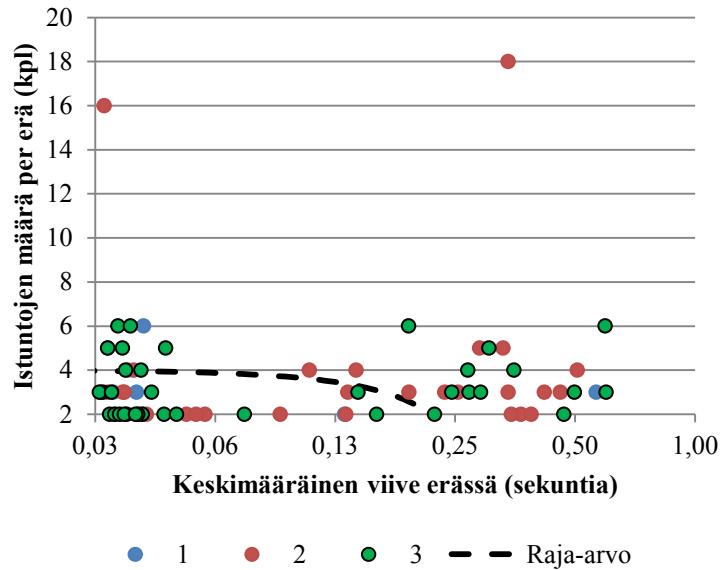


Kuva 35: Kaikkien istuntojen kestojen jakauma

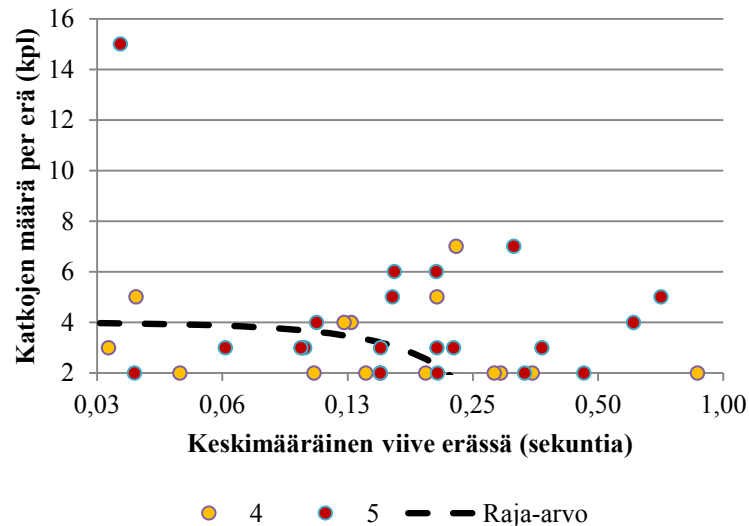


Kuva 36: Aika istuntojen välissä, 3G- ja LTE-yhteyksissä

Yksityiskohtaisemmassa LTE-yhteyksien tarkastelussa on samanlaisia tyytyväisyyden tekijöitä kuin aiemmin käsitellyssä 3G-tekniikassa, eli tyytymättömyyttä pitkien viiveiden sekä katkojen määrässä erässä. Edelleen tyytyväisyyttä mitataan MOS-asteikolla yhdestä viiteen, jossa arvo yksi kertoo tyytyväisyydestä ja viisi tyytymättömyydestä.



Kuva 37: LTE-yhteyksien katkojen määrät ja viiveet, tyytyväisyydet 4 ja 5



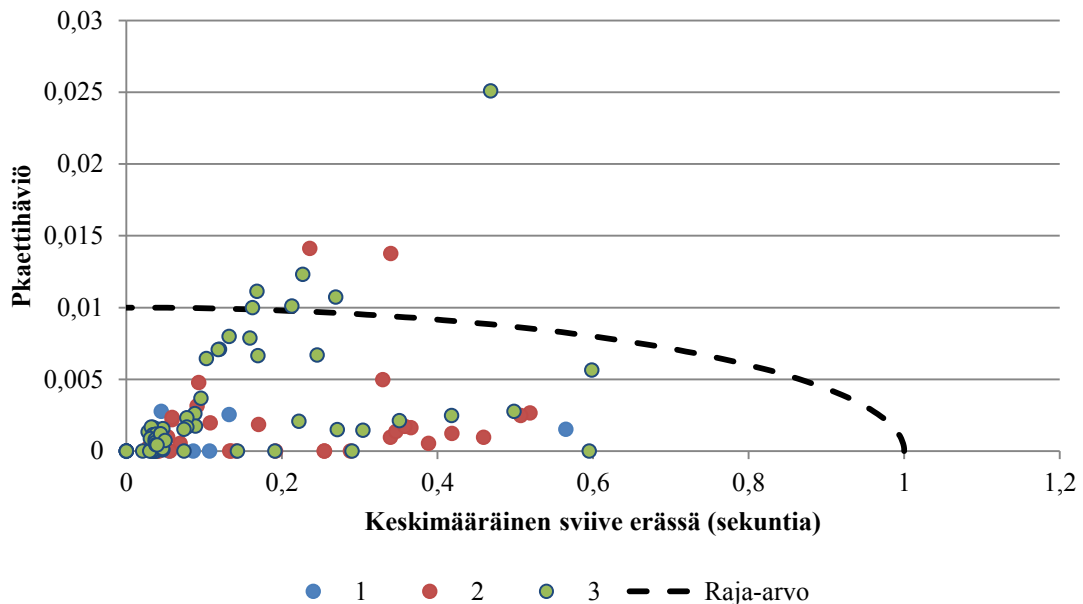
Kuva 38: LTE-yhteyksien katkojen määrät ja viiveet, tyytyväisyydet 4 ja 5

Kuva 37 osoittaa, että käyttäjät ovat tyytyväisiä, kun viiveet ja katkojen määrät pysyvät pieninä. Kun istuntojen määrän raja-arvoksi asettaa neljä ja viiveeksi 0,25 sekuntia, tyytymättömistä käyttäjistä 45 % jäävät tämän raja-arvon ulkopuolelle, kun tyytyväisistä asiakkaista vain 28 %.

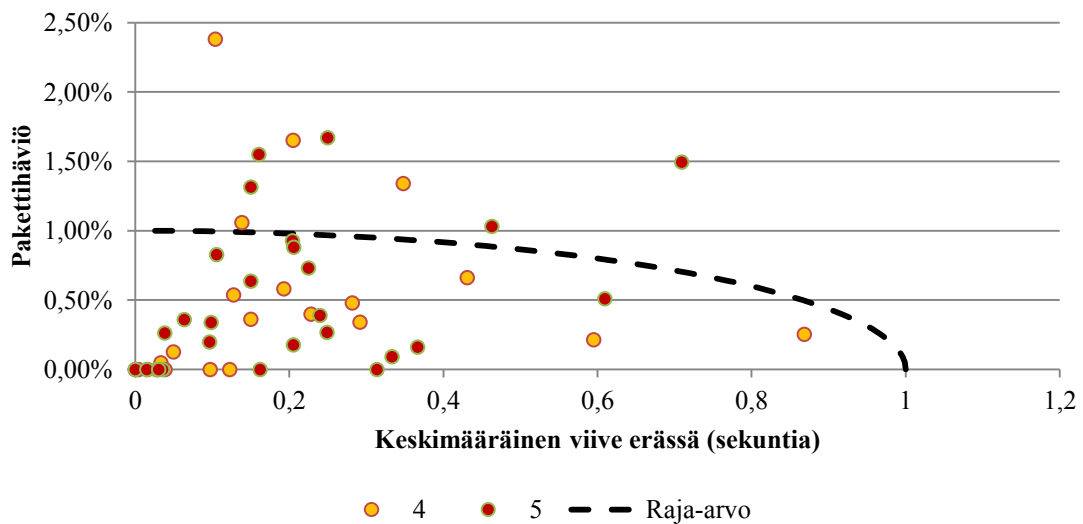
Käyttäjät ovat tyytyväisiä, kun viiveet ovat keskimäärin lyhyitä (alle 0,05 sekuntia). Katkojen määrällä erässä ei ole suoraa yhteyttä tyytyväisyyteen, mutta verrattuna edellisiin 3G-yhteyttä koskeviin kuvaajiin, katkojen määrä on LTE-yhteyksissä merkittävästi paljon pienempää sekä tyytyväisten että tyytymättömien käyttäjien osalta.

Verrattuna 3G-tekniikoihin, pakettihäviöt ovat merkittävämpi tyytyväisyyden mittari LTE-yhteyksissä (Kuva 39 ja 25) Pakettihäviöitä on verrattu enimmäisviiveeseen erässä, koska pakettihäviön vaikutusta voidaan verrata viiveestä aiheutuvaan turhautumiseen. Tyytyväisistä käyttäjistä 93 %:lla pakettihäviöt jäävät prosentin alle ja heillä myös viiveet ovat kohtuullisia (alle sekunti), odotusarvo on alle 0,50 sekuntia. Tyytymättömien käyttäjien osalta tyytyväisyys hajautuu suuremmille pakettihäviön arvoille, keskimääräisen viiveen pysyessä samankaltaisissa arvoissa. Tyytymättömistä käyttäjistä 25 % on raja-arvojen ulkopuolella (prosentin pakettihäviö

ja sekunnin keskimääräinen viive). Kuitenkin viiveen merkitys tyytyväisyyteen voidaan havaita siitä, että pienellä pakettihäviöllä, mutta suurella viiveellä käyttäjät ovat tyytymättömiä. Tämä osoittaa myös pakettihäviön vaikuttavan tyytyväisyyteen. Kuten todettiin, pakettihäviön havaitseminen riippuu käytettävästä palvelusta. Verkkosivustojen selailussa pakettihäviö voi vaikuttaa käyttäjän tyytyväisyyteen vähemmän kuin esimerkiksi äänen ja kuvan suoratoistossa.

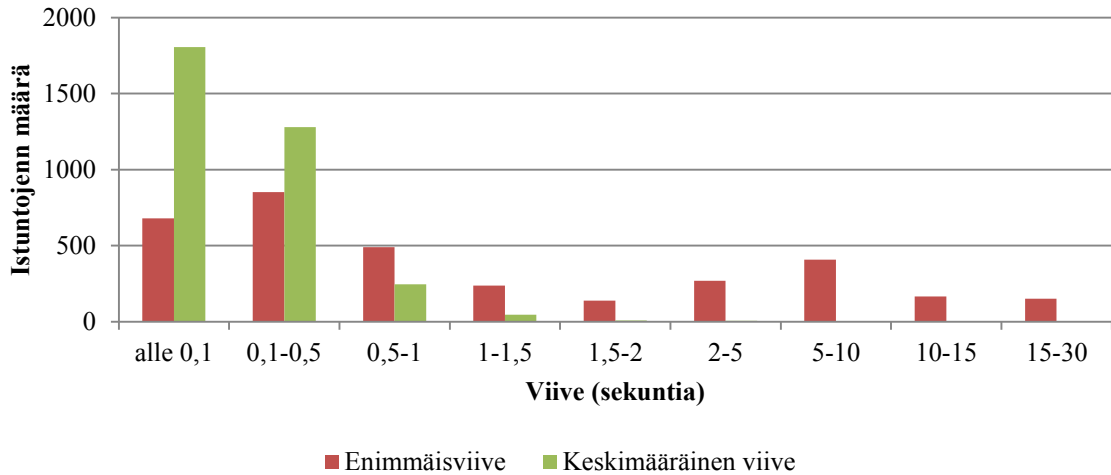


Kuva 39: LTE-yhteyksien pakettihäviöt ja viiveet, tyytyväisyys 1-3



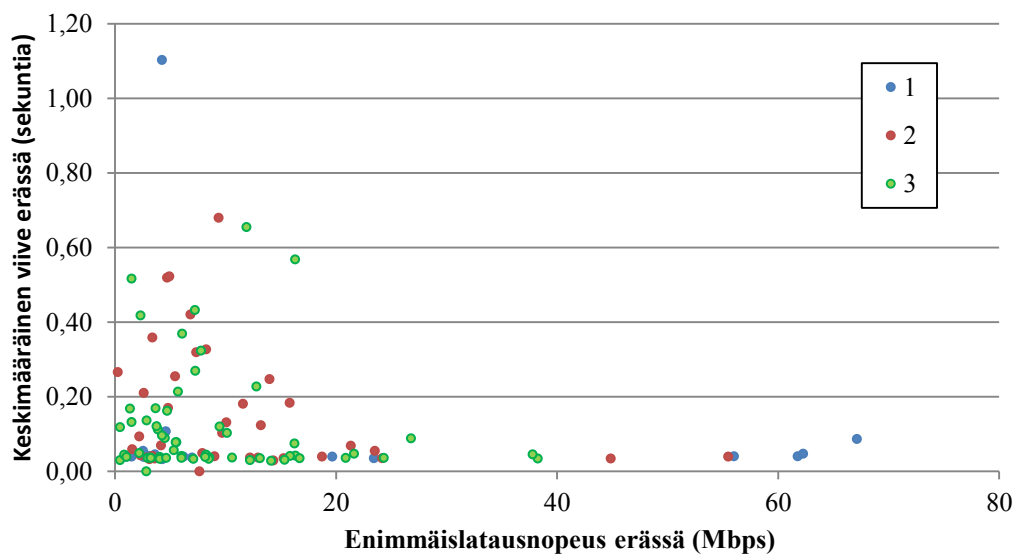
Kuva 40: LTE-yhteyksien pakettihäviöt ja viiveet, tyytyväisyys 4-5

Verratessa enimmäisviiveiden ja keskimääräisten viiveiden määriä LTE-yhteyksissä, kaikkien istuntojen viiveitä (Kuva 24), keskimääräiset viiveet painottuvat enemmän lyhyisiin viiveisiin, mikä osoittaaakin että LTE-tekniikassa viiveet ovat huomattavasti lyhyempiä. Kuten 3G-yhteyksissä huomattiin myös pieni nousu 5-10 sekunnin viiveiden kohdalla. Tälle ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa syytä löydy.

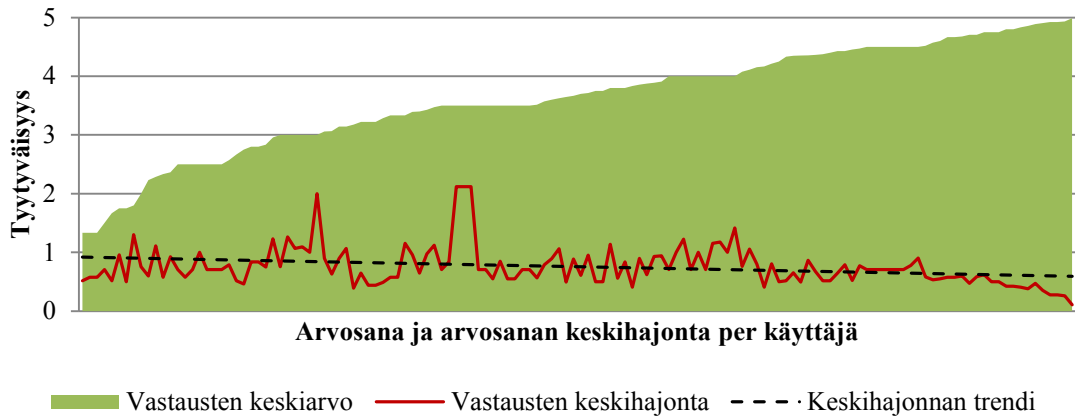


Kuva 41: Viivemäärien jakautuminen LTE-yhteyksissä

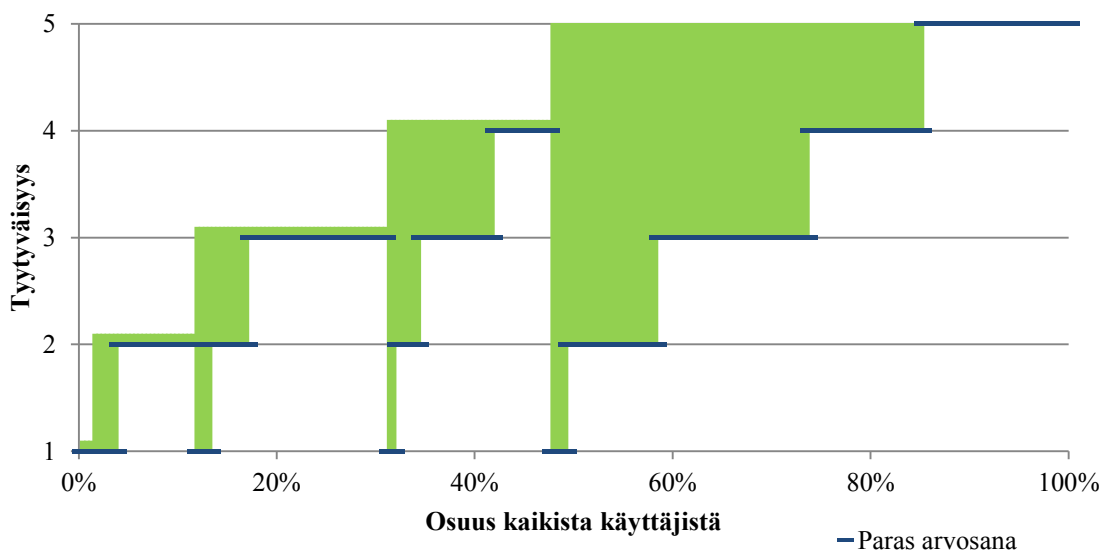
Alussa, joissa käsiteltiin käyttäjän kokemukseen vaikuttavia tekijöitä ja palvelun laadun mittareita, todettiin että latausnopeudella ei ole merkitystä suoraan käyttäjän kokemaan. Latausnopeus toisaalta vaikuttaa viiveeseen, joka tiedonsiirrossa kuluu. Latausnopeudella ei kuitenkaan ole tyytyväisyyteen niin suurta merkitystä kuin viiveillä (Kuva 42 ja Kuva 43). Viiveen hajonta on kuvissa merkittävämpää kuin nopeuden ja tyytymättömänkin arvosanan antaneet käyttäjät saavuttavat kohtuullisia latausnopeuksia (20 Mbps). Syitä mataliin LTE-yhteyksien latausnopeuksiin on resurssielementtien tarve kyseiselle käyttäjälle ja käyttäjän etäisyys tukiasemasta ja ympäristön häiriöistä.



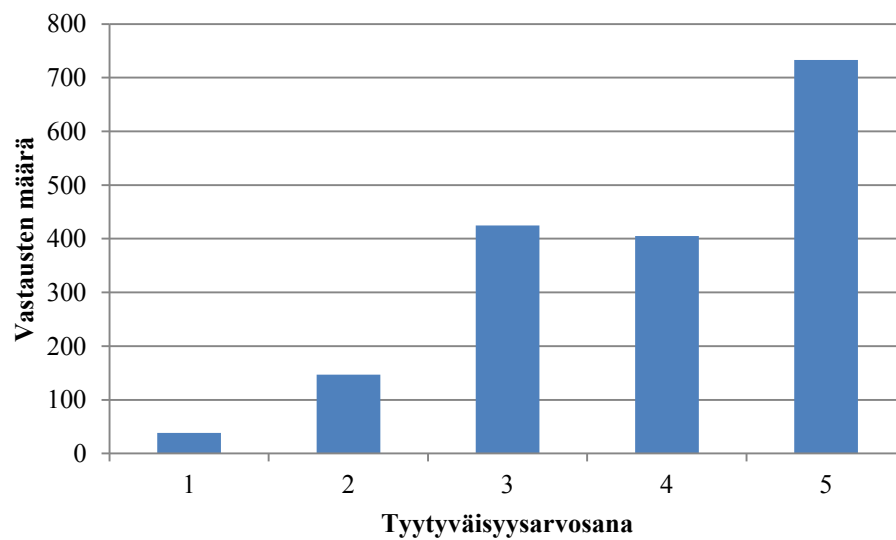
Kuva 42: LTE-yhteyksien enimmäislatausnopeus ja keskimääräinen viive erässä, tyytyväisyys 1-3



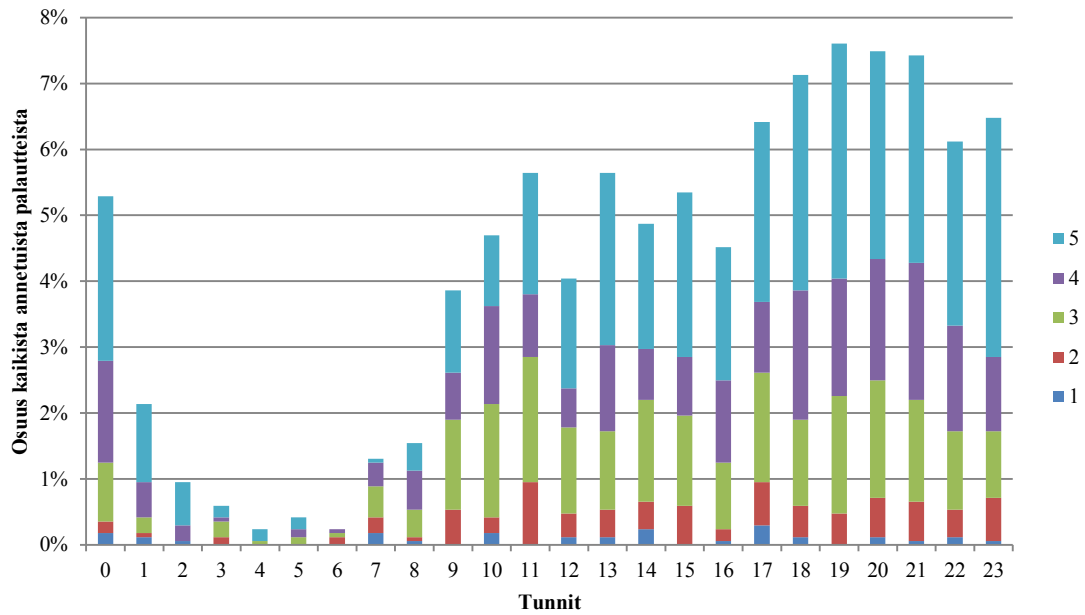
Kuva 44: Arvosanan keskihajonta ja keskiarvo



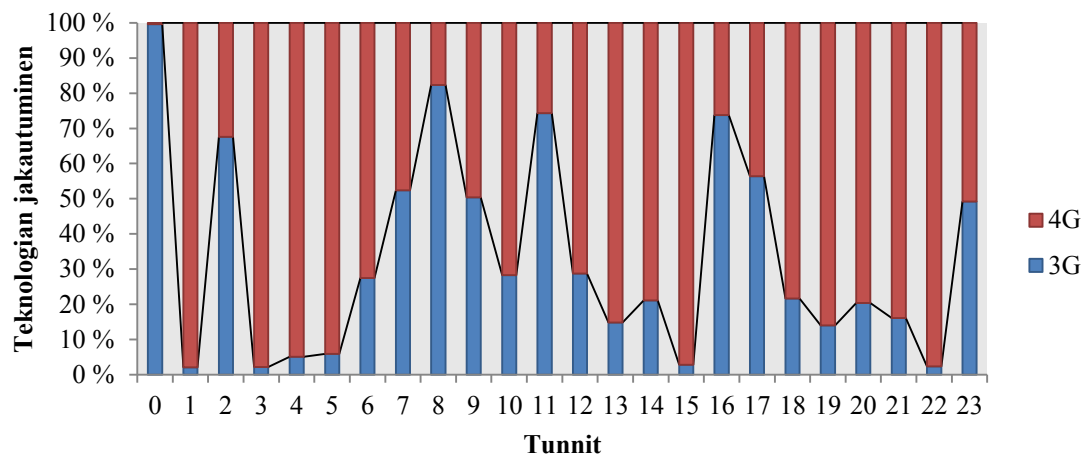
Kuva 45: Käyttäjien tyytyväisyyden jakautuminen. Käyttäjän antama paras arvosana on vihreän palkin alalaidassa ja huonoin arvosana palkin yläosassa



Kuva 46: Arvosanojen jakautuminen

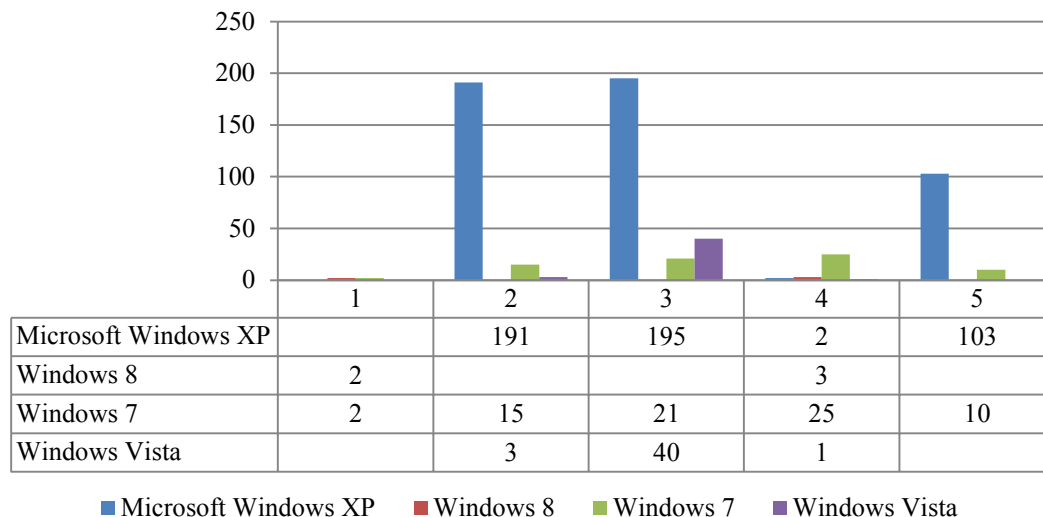


Kuva 47: Annetut palautteet tunneittain



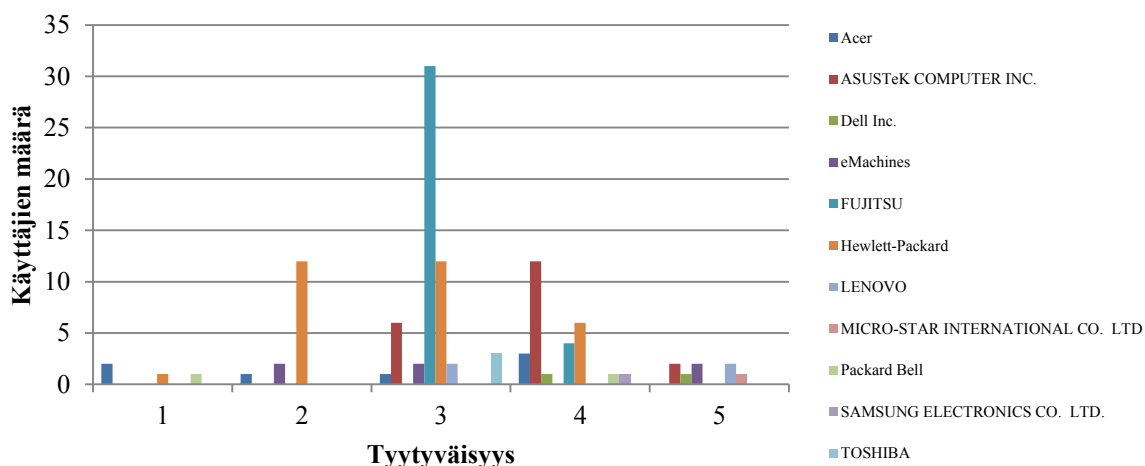
Kuva 48: Käytettyjen tekniikoiden jakautuminen tunneittain

Käytettävällä järjestelmällä on merkittävä vaikutus käyttökokemukseen ja se vaikuttaa myös yhteyden laatuun. Sillä ei kuitenkaan tehdyssä tutkimuksessa ollut merkittävää vaikutusta suoraan, kuten oheisesta kuvasta voidaan huomata. Tähän vaikuttaa käytännössä se, että tutkimuksessa ei kerätty tietoa tarkasti *mihin* järjestelmää käytetään. Windows 7 -käyttöjärjestelmä oli tutkimuksen suosituin ja siksi tulokset myös jakautuvat kaikille tyytyväisyyden arvosanoille. Se on myös tällä hetkellä yksi tarjotuimmista käyttöjärjestelmistä. Merkittävämpi huomio on, että jo muutaman vuoden vanhalla Windows Vista -käyttöjärjestelmä, käyttäjät olivat pääasiassa tyytymättömiä (arvosanat 3-5). Joten tyytyväisyyteen on voinut vaikuttaa myös järjestelmän muu suorituskyky.



Kuva 49: Tyytyväisyys per käyttöjärjestelmä

Toisessa järjestelmään liittyvässä kuvaajassa tyytyväisyyttä arvioidaan suhteessa heidän käyttämäänsä tietokoneeseen (Kuva 50). Kuvasta voidaan nähdä, että käytetyimmät valmistajat ovat Hewlett-Packard, Acer ja FUJITSU. Näiden suhteen tyytyväisyys jakautuu kaikille arvosanoille. Hewlett-Packardin ja Acerin käyttäjät ovat olleet kuitenkin hieman muita käyttäjiä tyytyväisempiä. Asustekin käyttäjien tyytyväisyys painottuu enemmän tyytymättömiin arvosanoihin.

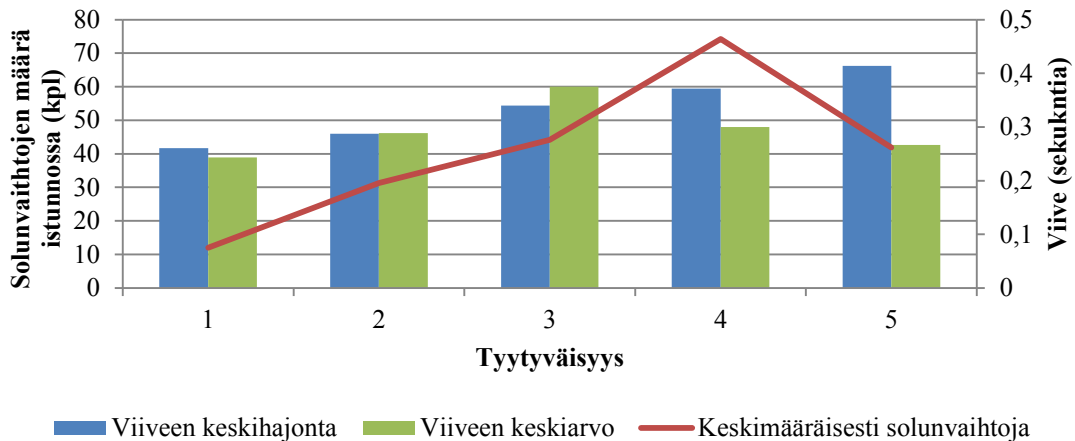


Kuva 50: Tyytyväisyys laitteittain

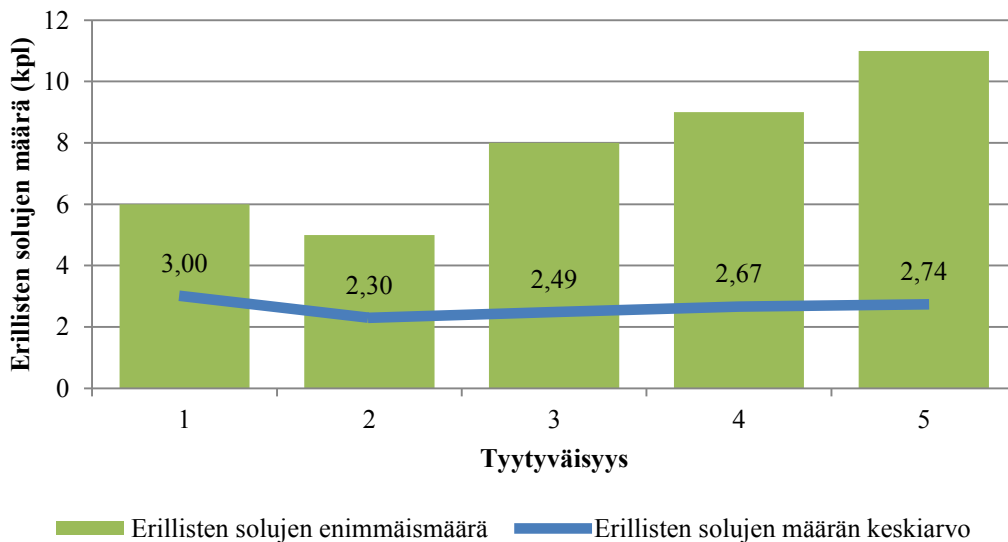
Viiveeseen vaikuttavat kohdepalvelimen etäisyys käyttäjästä, mutta myös radiorajapinnan ominaisuudet, kuten solunvaihdot. Oheinen kuva osoittaa, että viiveellä on merkitystä solunvaihdossa (Kuva 51). Tällä ei kuitenkaan ole suoraa yhteyttä tyytyväisyyteen. Päätelaitte voi vaihdella yhteyttä vähintään kahden solun välillä.

Käyttäjän ympäristötekijät voivat erityisesti liikkua muuttua ja palveleva solu voi muuttua. Solunvaihdot vaikuttavat viiveeseen ja sitä kautta tyytyväisyyteen. Tyytymättömillä käyttäjillä solunvaihtoja on ollut keskimäärin enemmän kuin tyytyväisillä ja erillisiä soluja on enemmän tyytymättömillä käyttäjillä. Keskimääräinen erillisten solujen määrä kuitenkin johtuu todennäköisesti DC-HSPA-yhteyden ominaisuudesta vaihdella palvelevaa soluja, jonka vuoksi erillisiä solua on paikalla olleessaankin useampi (Kuva 51 ja Kuva 52). Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että käyttäjät olisivat tyytymättömämpiä juuri tämän tekniikan vuoksi, koska tekniikka tarjoaa nopeamman siirtoyhteyden. Muita syitä tyytymättömyyteen juuri korkeiden

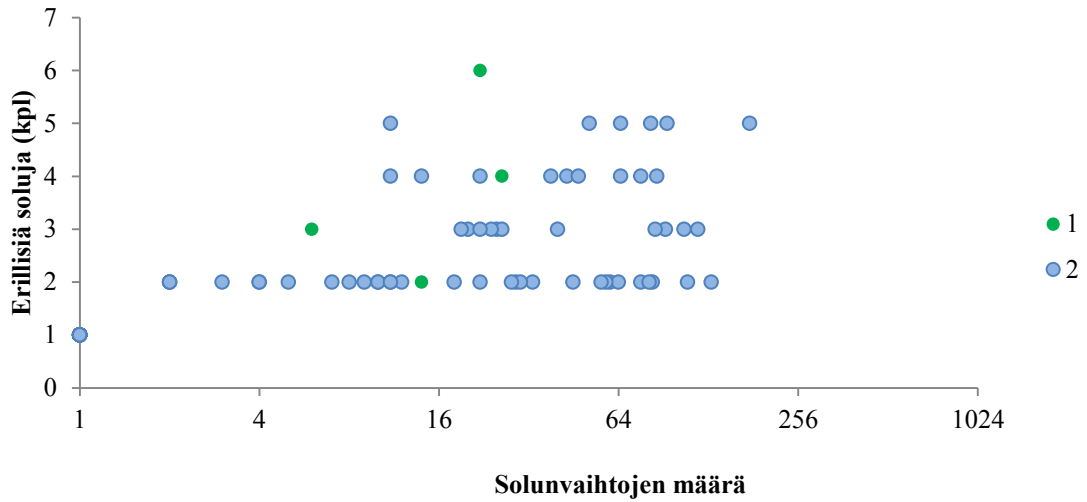
solunvaihtomäärien vuoksi voi olla siitä johtuva viive tai latausnopeuteen vaikuttava heikkosignaali teho solun reunalla. Soluvaihtojahan voi olla lyhyessäkin ajassa kymmeniä, ellei jopa satoja. Tämä riippuu käyttäjän liikkeistä ja verkon parametreista. Kuvat 53 ja 54 osoittavat, että solunvaihtojen määrä erillisten solujen välillä vaikuttaa tyytyväisyyteen negatiivisesti, koska tyytymättömiä arvosanoja on annettu enemmän istunnoissa, joissa on enemmän erillisiä soluja ja solunvaihtoja enemmän. Käyttäjän yhteyden on tämän vuoksi voinut kertyä viiveitä ja mahdollisesti myös katketa. Kuitenkin soluvaihtojen määrä on lähes lineaarisessa suhteessa istunnon keston (Kuva 55 ja Kuva 56), mutta toisaalta tyytyväisen arvosanan antaneet ovat käyttäneet yhteyttä myös lyhyemmän aikaa.



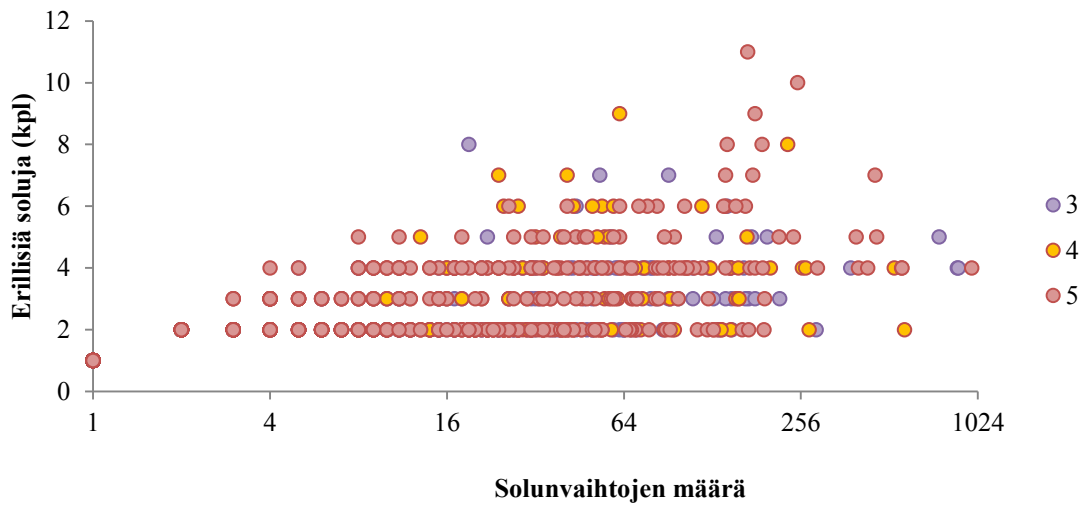
Kuva 51: Viive ja solunvaihtojen määrä



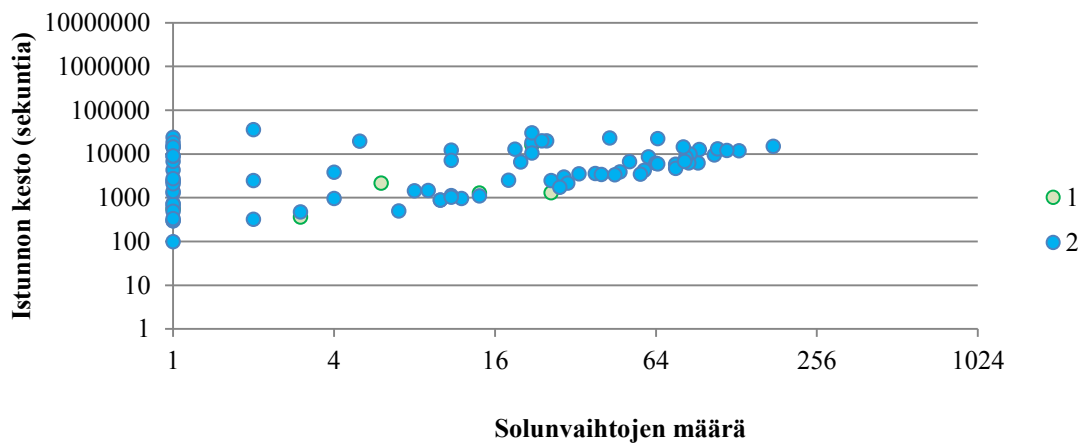
Kuva 52: Erillisten solujen määrä ja keskiarvo



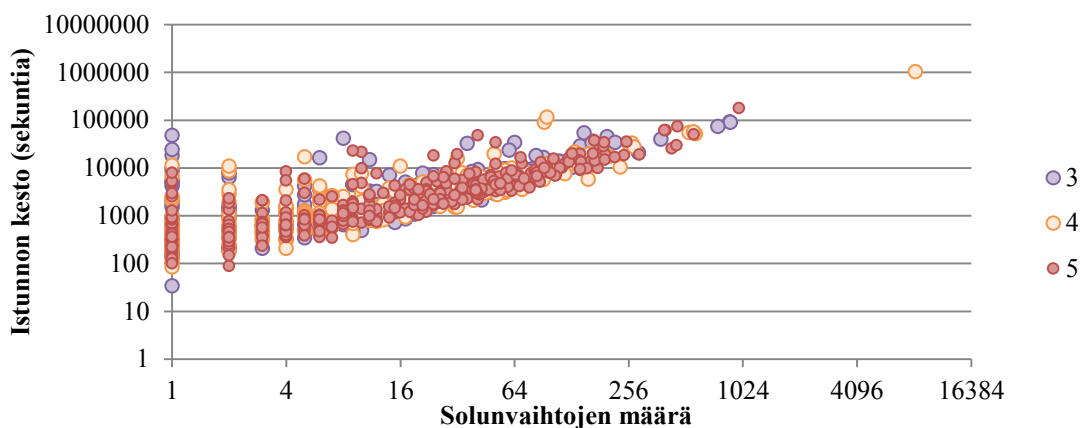
Kuva 53: Solunvaihtojen ja erillisten solujen määrä (arvosanat 1 ja 2)



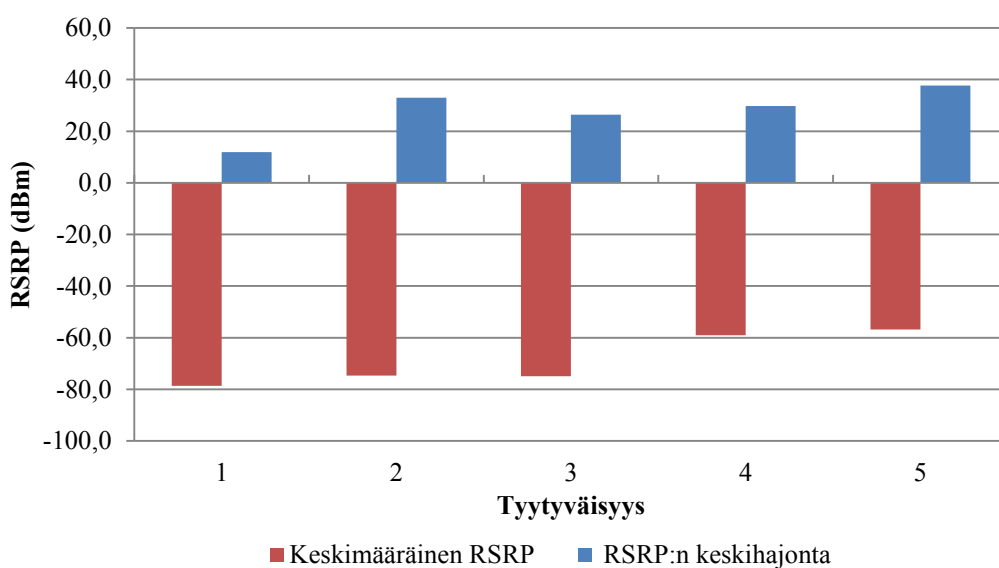
Kuva 54: Solunvaihtojen ja erillisten solujen määrä (arvosanat 3, 4 ja 5)



Kuva 55: Solunvaihtojen määrä per istunnon kesto (arvosanat 1 ja 2)

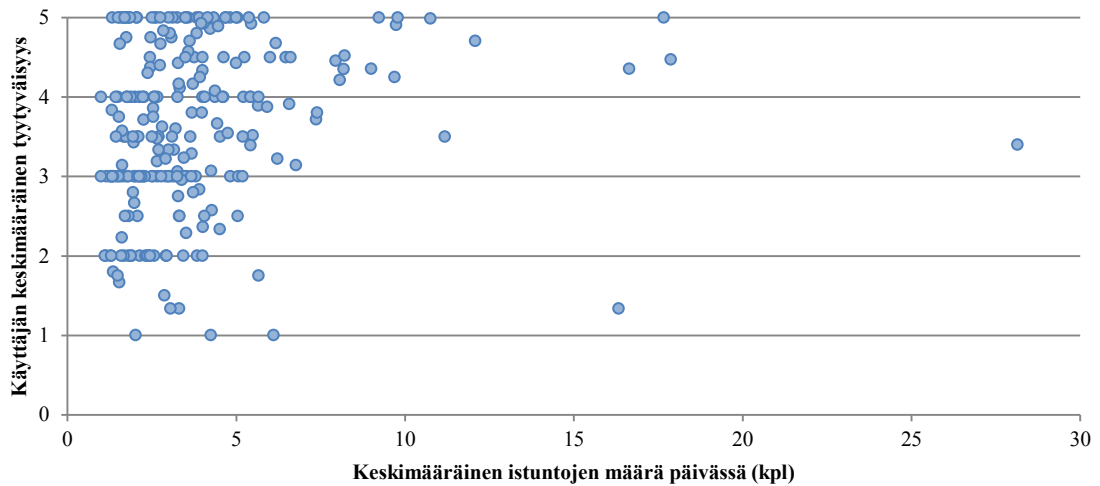


Kuva 56: Solunvaihtojen määrä per istunnon kesto (arvosanat 3, 4 ja 5)



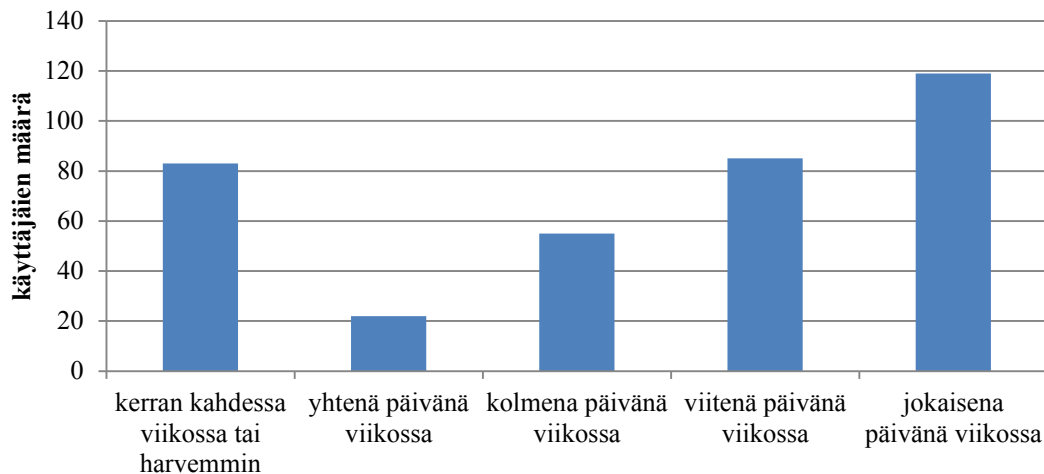
Kuva 57: Tyytyväisyyden jakautuminen signaalitehona

Vaikka RSRP-arvolla voidaan mitata käyttäjien yhteyden laatua, niin Kuva 57 osoittaa, että huonolla arvolla ei ole suoraa vaikutusta tyytyväisyyteen. RSRP-arvo on huonompi tyytyväisillä käyttäjillä. Toisaalta, RSRP:n keskihajonta on suurempaa tyytymättömillä käyttäjillä, lähes 40 dBm, joka viittaisi että RSRP heilahtelee voimakkaastikin tyytymättömillä käyttäjillä. LTE-yhteyksissä käyttäjä saa huonoa palvelun laatua, kun RSRP laskee pienemmäksi kuin -95 dBm.



Kuva 58: Käyttäjien tyytyväisyys ja istuntotiheys

Kuva 58 osoittaa jo aiemmissa tuloksissa nostetun istuntotiheyden merkityksen tyytyväisyyteen. Keskimääräinen tyytyväisyys jakautuu kaikille arvoille, kuitenkin päivittäisen istuntotiheyden ollessa alle kymmenen istuntoa päivässä. Istuntotiheyden mediaani on 2,62, eli suurimmalla osalla käyttäjistä istuntoja on päivittäin kaksi. Puolet käyttäjistä on käyttänyt yhteyttä keskimäärin joka toinen päivä (Kuva 59). Käyttäjät jakautuvat tasaisesti käyttötiheydeltään.



Kuva 59: Käyttötiheys ajanjaksolla

4.7. Tulosten yhteenveto

Tekniikan eroavaisuudet vaikuttavat tyytyväisyyden jakautumiseen samojen ominaisuuksien sisällä. Käyttäjien tyytyväisyyden mobiilitekniikassa vaikuttaa sen toimivuus käyttötarkoitukseen sopivalla tavalla, eli riittävän luottavasti sellaisissa paikoissa joissa muut yhteydet ovat käyttäjän ulottumattomissa, kuten julkisessa liikennevälineessä. Työn ensimmäisissä kappaleissa mainittiin sisällön latautumisen odottamisen ja yllättävät toiminnot vaikuttavan käyttäjän kokemukseen negatiivisesti. Tämä todettiin myös tehdyssä tutkimuksessa koskien mobiiliyhteyksiä. Käyttäjät haluavat katkeilematonta yhteyttä, mutta ovat valmiit ottamaan huomioon sen vaativat resurssit jos he tietävät sen. Kuten isoa tiedostoa ladattaessa, odottaminen on ymmärrettävää. Toisaalta, monikaan käyttäjä ei tiedä oman mobiiliyhteyden latausnopeutta, jonka kuitenkin kokevat vaikuttavan tyytyväisyyteen. Siksi voidaankin

todeta, että latausnopeuden tunteminen on merkityksetöntä. Tärkeintä on käyttäjän kokemus yhteyden toimivuudesta.

Tyytyväisyyteen kuitenkin vaikuttavat palvelun laatua mittaavat tekijät, kuten viiveet, datan eheys eli pakettihäviöt sekä niiden vaihtelu. Toisaalta yksi tekijä on odotettu palvelu, mutta sitä ei tutkittu tässä. Näiden muuttujien kesken tulisi löytää yhteys, jolla käyttäjäkokemuksen laatua voisi mitata yksiselitteisesti. Käyttökokemus on yksilöllinen, joten käytettävästä datasta ei voi johtaa ratkaisua kysymykseen, mihin käyttäjät ovat tyytyväisiä. Tuloksista voidaan todeta, että merkittävin toimivuuteen liittyvä muuttuja on luotettavuus, eikä niinkään suorituskyky. Odotukset palvelua kohtaa kuitenkin liittyvät suorituskykyyn; käyttäjät ovat tyytymättömiä jos omilla mittauksillaan saavat alhaisempaa palvelua kuin heille on luvattu. Tämä tieto selviää tutkimuksessa kerätystä avoimesta palautteesta.

5 Päätelmät ja kehitysnäkökulmat

Tutkimuksessani käsiteltiin, mitkä tekijät vaikuttavat käyttäjän kokemukseen mobiiliyhteydessä. Tavoitteena oli selvittää, miten käyttäjät ymmärtävät mobiiliyhteyden toimivuuden. Tutkimuksessa käytettiin kyselytutkimusta, jossa selvitettiin mitkä asiat käyttäjät kokevat merkittäviksi mobiiliyhteydessä. Toisessa tutkimuksessa analysoitiin tietokoneen käyttöjärjestelmään asennetulla sovelluksella kerättyä dataa, jota saatiin yhteydestä esimerkiksi mobiiliyhteyksien lataus- ja lähetysnopeuksia, viiveitä ja pakettihäviöitä.

Tutkimuksien tuloksia peilattiin keskenään. Palvelun käyttökokemus on yksilöllinen ja liittyvät käyttäjien kokemukset aiemmasta palvelusta ja odotukset siitä sekä ympäristö ja järjestelmä jossa yhteyttä käytetään. Siksi dataa ei voi katsoa pelkästään kokonaisuutena, koska jokainen yksilö kokee esimerkiksi erilaiset yhteyden viiveet erilailla. Joillekin kaksi sekuntia voi olla liian pitkä odotusaika, kun taas toiselle viisi sekuntia. Tuloksia analysoimalla voidaan kuitenkin nähdä millaiset tekijät vaikuttavat eniten käyttäjän kokemuksen laatuun mobiiliyhteydessä.

5.1. Yhteys on subjektiivinen kokemus

Yhteyden lataus- ja lähetysnopeudet vaihtelevat riippuen käytettävästä tekniikasta, mobiililaitteen sijainnista tai ympäristöstä aiheutuvista tekijöistä, kuten käyttöpaikasta. Lataus- ja lähetysnopeuksien vertaileminen on haastavaa, koska ne vaihtelevat jo pelkästään yksittäisen käyttäjän yhteyskertojen eli istuntojen välillä. Voidaan päätellä, että mikäli keskimäärin nopean latausnopeuden yhteys tippuu merkittävästi hitaammaksi, tämä vaikuttaa käyttäjän tyytyväisyyteen. Käyttäjä ei siis saa odotettua latausnopeutta. Tästä ei kuitenkaan voida päätellä, onko käyttäjä tyytyväinen saamaansa palveluun, koska lataus- ja lähetysnopeus ovat vain osatekijöitä yhteyden suorituskykyyn.

Sama koskee yhteyden aikana olevia viiveitä. Viiveen kokemiseen liittyvät ihmisten käyttäytymisestä pohjautuvat arvot. Näillä arvoilla 0,1 sekunnin ja sekunnin odottaminen ei vaikuta merkittävästi kokemukseen, mutta 10 sekunnin odottamisen jälkeen käyttäjä turhautuu ja on todennäköisesti tyytymätön.

Vaikka mobiiliyhteyden suorituskyky koetaankin yksilöllisenä, käyttäjien tyytyväisyyteen merkitsee samat asiat: luotettavuus, kattavuus ja dynaamisuus. Näihin tekijöihin palvelun tarjoajan on syytä keskittyä varmistaakseen asiakkuuden säilymisen.

Käyttäjän verrattessa nykyistä kokemustaan aiempaan, palveluntarjoajan olisi syytä tunnistaa käyttäjän aiemman käytön ja skaalata tarjottu palvelu käyttäjän tarpeiden ja kokemusten mukaiseksi. Käyttäjän ovat tyytymättömiä, jos palvelun laatulupaus ei toteudu. Palveluntarjoajien olisi keskityttävä määrittelemään yhä täsmällisemmin käyttäjän tarpeita ja tarjota juuri hänen taustaansa perustuen sopivinta palvelua. Tässä on keskeisessä osassa myös tietoliikenteen luokittelu verkossa, jolla voidaan osalle käyttäjistä tarjota heille tärkeää suorituskyvyn yhteyttä, kun osalle alemman prioriteetin edullisempaa palveluratkaisua.

5.2. Mobiili-internetiltä halutaan kiinteän laajakaistan ominaisuuksia

Käyttökokemustutkimuksen perusteella voidaan osoittaa, että monen käyttäjän osalta mobiiliyhteyden kesto on tunteja ja lataus- ja lähetysmäärät per päivä ovat suuria. Tästä voidaan päätellä, että käyttö on kiinteään verkkoyhteyteen verrattavissa. Todennäköisiä syitä tähän on kiinteän yhteyden asentamisesta aiheutuvat kulut ja mobiiliyhteyden

liikuteltavuuden edut. LTE-tekniikka tarjoaa käyttäjille eheän mobiiliyhteyden, jonka ominaisuudet, kuten nopea tiedonsiirto ja vähäiset viiveet, tarjoavatkin hyvän mahdollisuuden käyttää mobiiliyhteyttä kiinteän laajakaistan lailla. Tällä hetkellä LTE-verkko kattaa ainoastaan suurimpia taajamia Suomessa, joissa myös kiinteä laajakaista on vaihtoehtona.

Kiinteän yhteyden saatavuus vaihtelee valtakunnallisesti ja taajamien ulkopuolella myös hinnoittelu saattaa olla suhteessa korkeampi kuin muualla. Kiinteän yhteyden merkittävät edut ovat sen luotettavuus. Luotettavuuteen liittyy myös suorituskyvyn säilyminen vakiona, kuten latausnopeuden ja pakettihävikin. Voidaankin sanoa, että yhteys on eheä.

Palveluntarjoajien mobiililaajakaistan kohderyhmä on laaja ja siksi mobiililaajakaistapalveluvalikoima suppea, mutta kattaa suurimman osan käyttäjien tarpeet. Kun mobiililaajakaista ei vastaa odotettua laatua, eli tässä tapauksessa kiinteän yhteyden kaltaista, käyttäjä on tyytymätön. Palveluntarjoajien tulisikin tunnistaa selkeämmin asiakassegmentit käytön perusteella ja tarjota kiinteää yhteyttä mobiiliyhteyden sijasta, jos käyttö on kiinteään verrattavaa. Kiinteän laajakaista saatavuus syrjäseuduille on Suomessa vielä rakenteilla tai suunnitelmassa, joten mobiililaajakaistalle on tarpeensa tällaisilla alueilla. Tähän ratkaisuna on kiinteän yhteyden saatavuuden parantaminen edelleen.

5.3. Pätkimiset ja viiveet merkitsevät käyttäjille

Keskeisimmät löydökset liittyen siihen miten käyttäjät kokevat toimivuudet ovat palautteen ja tutkimuksen perusteella sisällön latautumisen hitaus sekä käyttäjästä riippumattomat yhteyden katkeamiset. Nämä syyt aiheuttavat eniten tyytymättömyyttä. Odottamisesta johtuva turhautuminen ja katkeilusta johtuva luotettavuuden heikentyminen vaikuttavat tyytyväisyyteen suoraan, eikä niinkään latausnopeuden vaihtelu. Katkeamisten määrä ja viiveiden kestot suhteessa tyytyväisyyteen riippuu kuitenkin käyttäjän odotuksista, eikä tähän liity suoraan yhteyden latausnopeus. Vaikka kyseessä olisi verkkosivustoon liittyvä viive, käyttäjä ymmärtää sen palautteen perusteella mobiiliyhteyden palveluntarjoajasta johtuvaksi.

Yhteyden katkeamisesta ja viiveistä voidaan kuitenkin todeta, että se on mobiilitekniikalle ominaista, koska sitä tapahtuu merkittävän paljon. Tämä johtuu yleensä radioverkon laadun heikkoudesta ja päätelaitteiston virheherkkyydestä. Yhteyden katkeamisen syyt ovat monesti luonnollisia radioverkon haittoja, kuten fyysiset esteet tai reuna-alueet. Tähän vaikuttavat myös verkkotekniikan ominaisuudet. LTE-yhteydet tarjoavat merkittävästi luotettavampaa yhteyttä kuin 3G-yhteydet ja pelkästään LTE-tekniikkaa käyttävät ovatkin tyytyväisempiä mobiiliyhteyksiinsä. Tosin nämä käyttäjät ovat myös tietoisia palvelusta, jota heidän tulisi saada ja ovatkin tyytymättömiä saadessaan luvattua palvelua heikompaa. Palvelun laatuun tässä tapauksessa vaikuttaa jälleen käyttäjän ympäristötekijät, kuten fyysinen ympäristö ja verkon kattavuus..

Keskeinen syy pätkimisiin ja viiveisiin on saatavuuden rajallisuus. Käyttäjämäärät uusimpaan teknologiaan lisääntyvät ja saatavuutta lisätään sitä mukaan. Korkeat käyttäjämäärät ja heikot signaalitehot LTE-verkossa vaikuttavat käyttökokemaan ja aiheuttavat tyytymättömyyttä. Tähän liittyvät myös verkonhallinnan määrittelemät herkkyyssarvot, joilla moniradiojärjestelmät vaihtavat teknologiasta toiseen, kuten 4G:stä 3G:hen, jossa yhteys luotettavampaa heikommallakin signaaliteholla. Viiveisiin vaikuttavat, erityisesti liikkeessä, solujen vaihdot. LTE-tekniikassa yhteydenmuodostus prosessi on nopeutunut moninkertaisesti 3G-tekniikoihin verrattuna, joissa viiveet ovatkin pidempiä. Palveluntarjoajat voivat parantaa käyttäjäkokemaan parantamalla

saatavuutta ja tarkistamalla radioverkon herkkyyсарvoja säännöllisesti ja päivittää niitä tarpeen mukaan.

5.4. Käyttökokemukseen syventyminen

Työni käsittää vain laajan toimivuuden määritelmän asiakaskokeman näkökulmasta, joka on teknistä dataa yhteyden suorituskyvystä. Käyttäjakohtaisten odotusten määrittäminen käyttäjältä kerätyn datan historiatiedon pohjalta toisivat käyttökokemuksen arviointiin lisää luotettavuutta ja tarkkuutta. Näin yksilöllistä kokemusta käyttäjän koetun palvelun perusteella voisi arvioida. Yksittäisten käyttäjien kokema laatu voitaisiin normittaa ja näin vertailla verkon toimivuutta. Lisäksi käyttökokemuksen vertailu mobiiliin ja kiinteään verkkoyhteyden välillä toisivat näkökulmaa käyttäjien tottumuksista ja odotuksista verkkoyhteyden käytöstä, unohtamatta päätelaitteiden merkitystä käyttökokemuksessa. Tutkimuksessani on käytetty nettitikkua, joka tarjoaa käyttäjän näkökulmasta kiinteää yhteyttä vastaavan ympäristön käytettäessä esimerkiksi kannettavaa tietokonetta kotona. Älypuhelimella tai tablet-tietokoneella käyttökokemus on täysin erilaista, samoin myös odotukset ja vaatimukset mobiiliyhteyttä kohtaan.

Tuloksissa käsitellään pääasiassa viiveen ja katkojen merkitystä käyttökokemaan, koska ne ovat konkreettisia mittareita kuvaamaan palvelun laadun ja yksilön käyttäytymisen yhteyttä. Kuitenkin palveluntarjoajat markkinoivat verkkoyhteyksiään latausnopeudella, joka on taas yksi viiveeseen vaikuttava tekijä. Käyttäjän kokeman latausnopeuden merkitys käyttökokemuksessa olisi merkittävää tutkia muiden viiveen lisäksi vaikuttavien tekijöiden näkökulmasta. Näitä tekijöitä voisivat olla yhteyden kestot, siirretty datamäärä yhteyden aikana ja ajankohta, jolloin yhteyttä on käytetty. Kirjallisuudessa mainitaan yksilöiden kokemusten vaikuttavan siihen, millaista palvelua he odottavat. Palveluntarjoajat ovat määrittäneet ohjeelliset arvot jotka on sopimuksessa luvattu. Kuitenkaan tutkimuksen mukaan suuri osa käyttäjistä ei tiedä, millaista palvelua heille on luvattu. Yksi tulevan tutkimuksen näkökulmista olisi selvittää kuinka käyttäjien odotukset ja luvattu palvelu kohtaavat ja millainen merkitys luvattulla palvelulla on.

Edellä mainittujen, enemmän tekniikkälähtöisen tutkimuksen lisäksi, asiakaskokemalla on merkitystä liiketoiminnan prosessien kannalta. Käyttökokemuksen mittaamisen kehittyessä ja yleistyessä on myös oleellista suunnitella liiketoiminnan prosessit tukemaan käyttökokemustiedon käyttöä liiketoiminnan edistämiseksi ja tehostamiseksi. Tämä näkökulma vaikuttaa niin toimintaa suuntaavaan strategiaan tai tavoitteisiin, mutta myös työn johtamiseen ja ohjaamiseen.

Lähteet

- [1] Y. M. Shin, S. C. Lee, B. Shin, and H. G. Lee, “Examining influencing factors of post-adoption usage of mobile internet: Focus on the user perception of supplier-side attributes,” *Information Systems Frontiers*, vol. 12, no. 5, pp. 595–606, Jun. 2009.
- [2] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, and P. R. Warshaw, “User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models,” *Management Science*, vol. 35, no. 8, pp. 982–1003, Aug. 1989.
- [3] S. Mohseni, “Driving Quality of Experience in mobile content value chain,” in *4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies*, 2010, pp. 320–325.
- [4] E. Kaasinen, “User acceptance of mobile services - value, ease of use, trust and ease of adoption,” VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland, Finland, 2005.
- [5] S. Egger, T. Hoßfeld, R. Schatz, and M. Fiedler, “Waiting times in quality of experience for web based services,” in *2012 Fourth International Workshop on Quality of Multimedia Experience*, 2012, pp. 86–96.
- [6] R. Md Noor and S. Khorsandroo, “Quality of experience key metrics framework for network mobility user,” *International Journal of the Physical Sciences*, vol. 6, no. 28, Nov. 2011.
- [7] K. Kilkki, “Quality of Experience in Communications Ecosystem,” *Journal of Universal Computer Science*, vol. 4, no. 5, pp. 615–624, 2008.
- [8] R. Schatz, T. Hoßfeld, L. Janowski, and S. Egger, “From Packets to People: Quality of Experience as a New Measurement Challenge,” 2013.
- [9] S. Egger, P. Reichl, T. Hoßfeld, and R. Schatz, ““Time is bandwidth”? Narrowing the gap between subjective time perception and Quality of Experience,” in *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2012, pp. 1325–1330.
- [10] E. Smith, “A brief history of QoS,” in *49th FITCE Congress*, 2010, pp. 1–8.
- [11] International Telecommunication Union, “About ITU,” 2013. [Online]. Available: <http://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>.
- [12] ITU-T Recommendation G.1000, “G.1000: Communications quality of service: A framework and definitions,” 2001.
- [13] 23.107 3GPP TS, “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Quality of Service (QoS) concept and architecture,” 1999.
- [14] L. L. Peterson and B. S. Davie, *Computer Networks : A Systems Approach*, 4th ed. Burlington, MA, USA: Morgan Kaufmann, 2007, p. 835.

- [15] W. Zhao, D. Olshefski, and H. G. Schulzrinne, "Internet Quality of Service: An Overview," New York, 2000.
- [16] D. Soldani, M. Li, and C. Renaud, *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- [17] T. Koivumäki, A. Ristola, and M. Kesti, "The effects of information quality of mobile information services on user satisfaction and service acceptance—empirical evidence from Finland," *Behaviour & Information Technology*, vol. 27, no. 5, pp. 375–385, Sep. 2008.
- [18] K. De Moor, L. De Marez, T. Deryckere, and L. Martens, "Bridging troubled ware: Quality of Experience," in *Terena Networking Conference 2008*, 2008.
- [19] ITU-T Recommendation G.1010, "G.1010: End-user multimedia QoS categories," 2001.
- [20] M. Fiedler, T. Hoßfeld, and P. Tran-Gia, "A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service," *IEEE Network*, vol. 24, no. 2, pp. 36–41, Mar. 2010.
- [21] I. Ceaparu, J. Lazar, K. Bessiere, J. Robinson, and B. Shneiderman, "Determining Causes and Severity of End-User Frustration," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 17, no. 3, pp. 333–356, Sep. 2004.
- [22] V. N. Padmanabhan and J. C. Mogul, "Improving HTTP latency," *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 28, no. 1–2, pp. 25–35, Dec. 1995.
- [23] R. . Karthik, A. Nadeem, J. Sen, and A. Ukil, "QoS in LTE and 802.16," Innovation Lab, Tata Consultancy Service Ltd. 2009.
- [24] J. J. Cronin, M. K. Brady, and G. T. M. Hult, "Assessing the effects of quality, value, and customer satisfaction on consumer behavioral intentions in service environments," *Journal of Retailing*, vol. 76, no. 2, pp. 193–218, Jun. 2000.
- [25] P. A., V. Zeithaml, and L. L. Berr, "SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring customer perceptions of service quality," *Journal of Retailing*, vol. 64, no. Spring 1988, p. 39, 1986.
- [26] P. S. Coelho and M. J. Vilares, "Measuring the return of quality investments," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 21, no. 1, pp. 21–42, Jan. 2010.
- [27] ITU-T Recommendation P.10, "P.10/G.100: Vocabulary for performance and quality of service." p. 42, 2006.
- [28] R. Stankiewicz and A. Jajszczyk, "A survey of QoE assurance in converged networks," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1459–1473, May 2011.

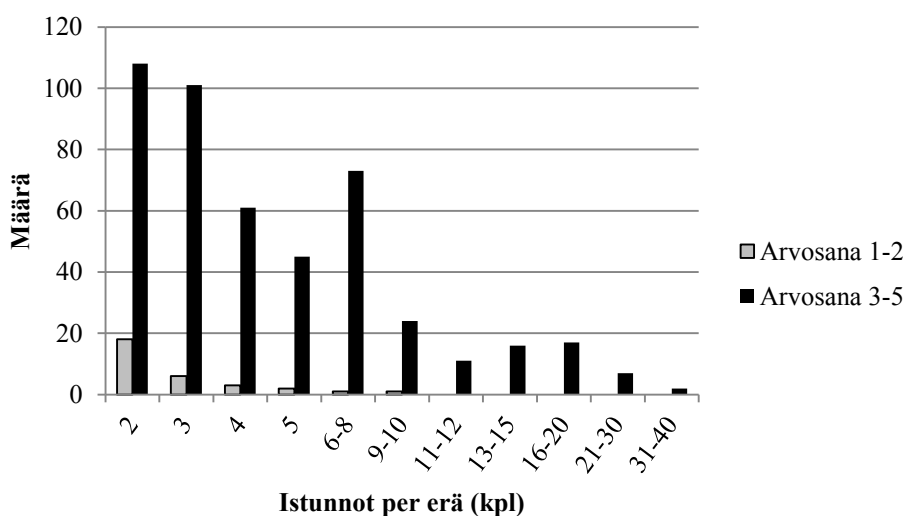
- [29] M. Zapater and G. Bressan, "A Proposed Approach for Quality of Experience Assurance of IPTV," in *First International Conference on the Digital Society (ICDS'07)*, 2007, pp. 25–25.
- [30] International Telecommunication Union, "Definition of Quality of Experience," ITU-T Delayed Contribution 197.
- [31] I. Pais and M. Almeida, "End user behavior and performance feedback for service analysis," in *2009 13th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*, 2009, pp. 1–6.
- [32] S. Möller, *Quality Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [33] A. Bouch, A. Kuchinsky, and N. Bhatti, "Quality is in the eye of the beholder: meeting users' requirements for Internet quality of service," in *CHI '00 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 2000, pp. 297–304.
- [34] T. Hoßfeld, S. Egger, R. Schatz, M. Fiedler, K. Masuch, and C. Lorentzen, "Initial delay vs. interruptions: Between the devil and the deep blue sea," in *2012 Fourth International Workshop on Quality of Multimedia Experience*, 2012, pp. 1–6.
- [35] ITU-T Recommendation P.800, "P.800: Telephone transmission quality," 1996.
- [36] P. Brooks and B. Hestnes, "User measures of quality of experience: why being objective and quantitative is important," *IEEE Network*, vol. 24, no. 2, pp. 8–13, Mar. 2010.
- [37] J. Nielsen, "Response Times: The 3 Important Limits," *Jakob Nielsen's Alertbox: January 1, 1993*, 1993. [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/>.
- [38] J. Nielsen, "Website Response Times," *Jakob Nielsen's Alertbox: June 21, 2010*, 2010. [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/articles/website-response-times/>.
- [39] H. Holma and A. Toskala, *LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. New York: Wiley, 2009.
- [40] 3GPP, "UTRA-UTRAN Long-term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution." .
- [41] Nokia Siemens Networks, "Bandwidth, proximity, control: a recipe for low latency networks," Espoo, Finland, 2011.
- [42] P. Reichl, S. Egger, R. Schatz, and A. D'Alconzo, "The Logarithmic Nature of QoE and the Role of the Weber-Fechner Law in QoE Assessment," in *2010 IEEE International Conference on Communications*, 2010, pp. 1–5.

- [43] T. Hoßfeld, P. Tran-Gia, and M. Fiedler, “Quantification of Quality of Experience for Edge-Based Applications,” in *Managing Traffic Performance in Converged Networks*, vol. 4516, L. Mason, T. Drwiega, and J. Yan, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 361–373.
- [44] ITU-T Recommendation G.1030, “G.1030: Estimating end-to-end performance in IP networks for data applications,” 2005.
- [45] M. Chae, J. Kim, H. Kim, and H. Ryu, “Information Quality for Mobile Internet Services: A Theoretical Model with Empirical Validation,” *Electronic Markets*, vol. 12, no. 1, pp. 38–46, Jan. 2002.
- [46] T. Heimonen, “Information needs and practices of active mobile Internet users,” in *Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application & Systems - Mobility '09*, 2009, pp. 1–8.
- [47] C. H. Muntean, “Improving learner quality of experience by content adaptation based on network conditions,” *Computers in Human Behavior*, vol. 24, no. 4, pp. 1452–1472, Jul. 2008.
- [48] P. Ameigeiras, J. J. Ramos-Munoz, J. Navarro-Ortiz, P. Mogensen, and J. M. Lopez-Soler, “QoE oriented cross-layer design of a resource allocation algorithm in beyond 3G systems,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 5, pp. 571–582, Mar. 2010.
- [49] K. Pentikousis, M. Palola, M. Jurvansuu, and P. Perala, “Active goodput measurements from a public 3G/UMTS network,” *IEEE Communications Letters*, vol. 9, no. 9, pp. 802–804, Sep. 2005.
- [50] H. Verkasalo, “Contextual patterns in mobile service usage,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 331–342, Mar. 2008.
- [51] K. Dimou, M. Wang, Y. Yang, M. Kazmi, A. Larmo, J. Pettersson, W. Muller, and Y. Timmer, “Handover within 3GPP LTE: Design Principles and Performance,” in *2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall*, 2009, pp. 1–5.
- [52] M. Olsson, S. Rommer, C. Mulligan, S. Sultana, and L. Frid, *SAE and the Evolved Packet Core: Driving the mobile broadband revolution*. Academic Press, 2009.
- [53] 3GPP TR3.018, “Evolved UTRA and UTRAN; Radio Access Architecture and Interfaces,” 2007.
- [54] D. Astely, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom, and S. Parkvall, “LTE: the evolution of mobile broadband,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 4, pp. 44–51, Apr. 2009.
- [55] A. Lobinger, S. Stefanski, T. Jansen, and I. Balan, “Load Balancing in Downlink LTE Self-Optimizing Networks,” in *2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference*, 2010, pp. 1–5.

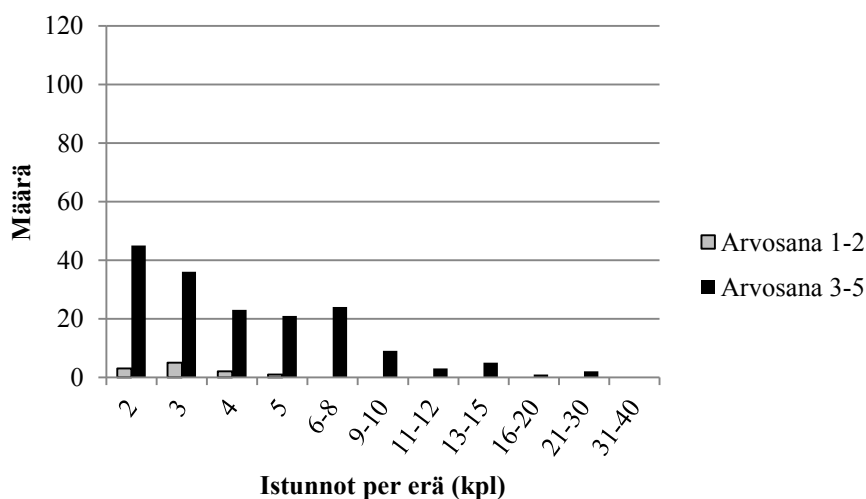
- [56] H. Holma and A. Toskala, *LTE-Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [57] A. Checko, L. Ellegaard, and M. Berger, "Capacity planning for Carrier Ethernet LTE backhaul networks," in *2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2012, pp. 2741–2745.
- [58] N. Bozinovic, Y. Yue, Y. Ren, M. Tur, P. Kristensen, H. Huang, A. E. Willner, and S. Ramachandran, "Terabit-scale orbital angular momentum mode division multiplexing in fibers.," *Science (New York, N.Y.)*, vol. 340, no. 6140, pp. 1545–8, Jun. 2013.
- [59] S. Sesia, M. Bakes and I. Toufik, "LTE: The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice," *Wiley*. 2011.
- [60] L. Zhang, T. Okamawari and T. Fuji, "Experimental Analysis of TCP and UDP during LTE Handover," *2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring) p. 1-5*. 2012.
- [61] M. Vajapeyam, A. Damnjanovic, J. Montoja, T. Ji, Y. Wei and D. Malladi, "Downlink FTP Performance of Heterogeneous Networks for LTE-Advanced," *2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC) p. 1-5*. 2011.
- [62] J. Sanchez, D. Morales-Jimenez, G. Gomez and J. T. Enrambasagua, "Physical Layer Performance of Long Term Evolution Cellular Technology," *2007 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, p. 1-5*. 2007.

A 3G-käyttäjien nopeusluokkien vertailu

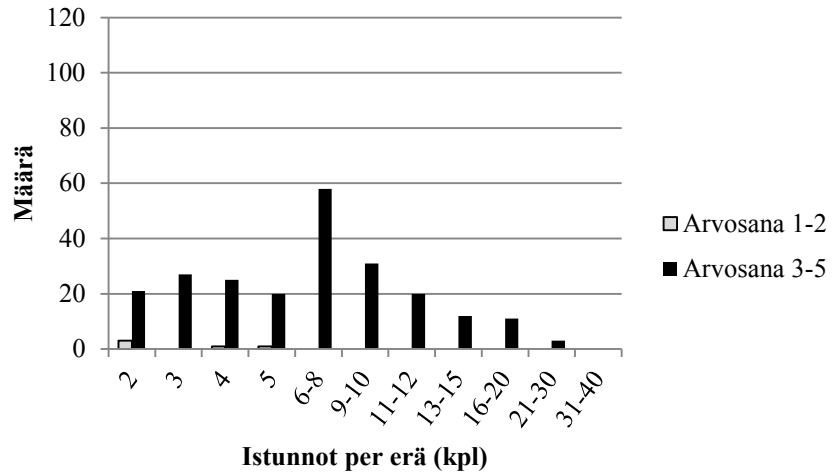
Tässä liitteessä on esitetty kappaleessa 4 käytettyjen 3G-käyttäjien nopeusluokkien tuloksia. Valitut kuvat koskevat enimmäisviiveitä ja istuntojen määrä erissä, eli erän aikana tulleiden katkojen määriä. Nämä tekijät ovat merkittävässä roolissa käyttökokemuksta arvioidessa. Ensimmäisen nopeusluokan, alle 0,7 Mbps, käyttäjiä on puolet kaikista käyttäjistä, joten siksi tämä ryhmä on valittu käsiteltäväksi tuloksissa. Kuten seuraavista kuvista voi huomata, muissa nopeusluokissa erot tyytyväisten ja tyytymättömien käyttäjien välillä ei ole huomattava.



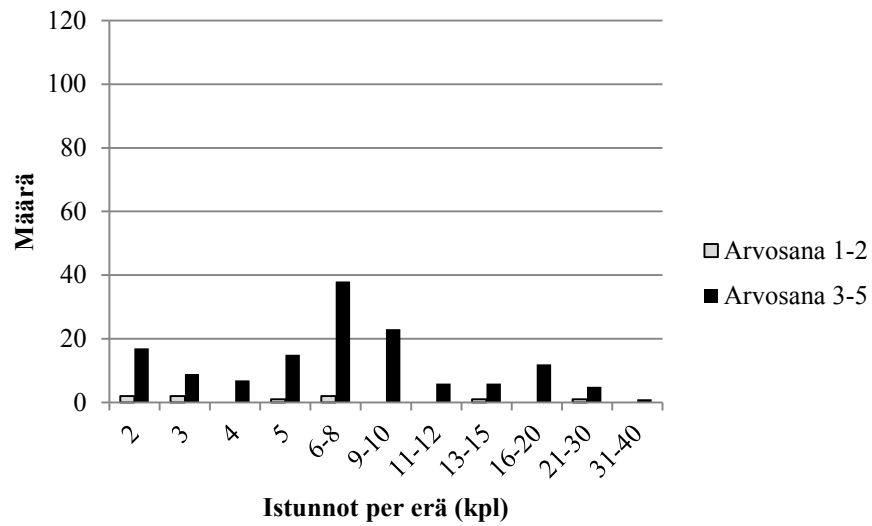
Kuva 60: Istuntojen määrä nopeusluokassa alle 0,7 Mbps



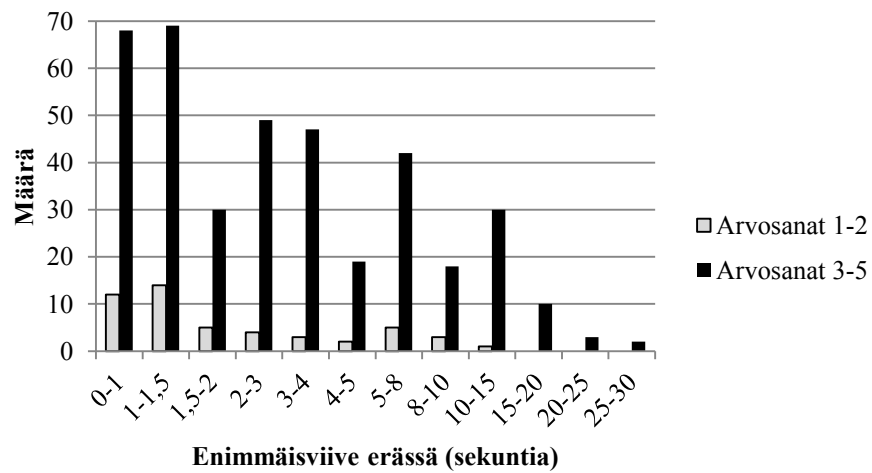
Kuva 61: Istuntojen määrä nopeusluokassa 0,7-1 Mbps



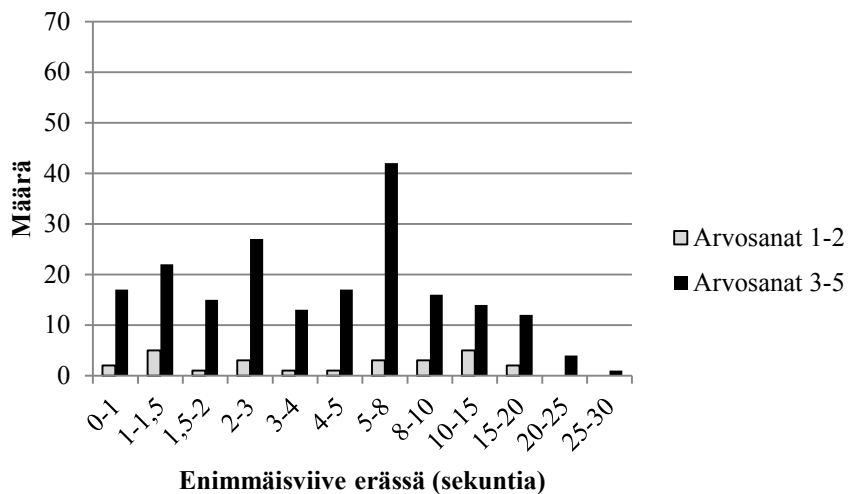
Kuva 62: Istuntojen määrä nopeusluokassa 1-1,5 Mbps



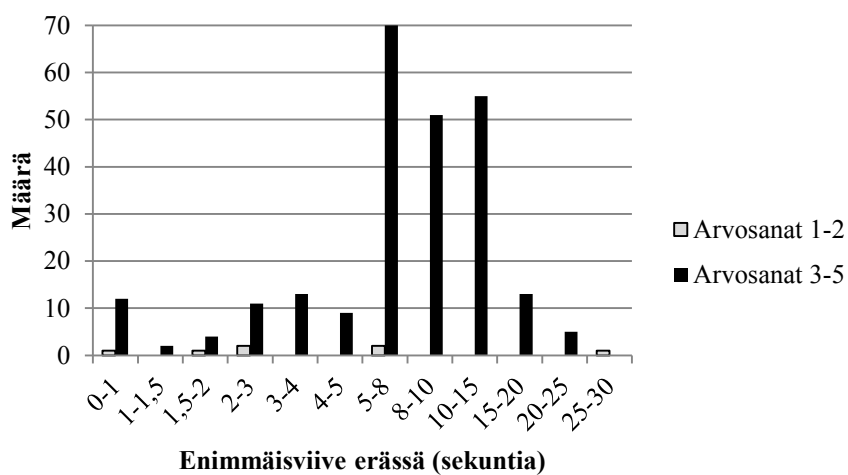
Kuva 63: Istuntojen määrä nopeusluokassa 1,5-3 Mbps



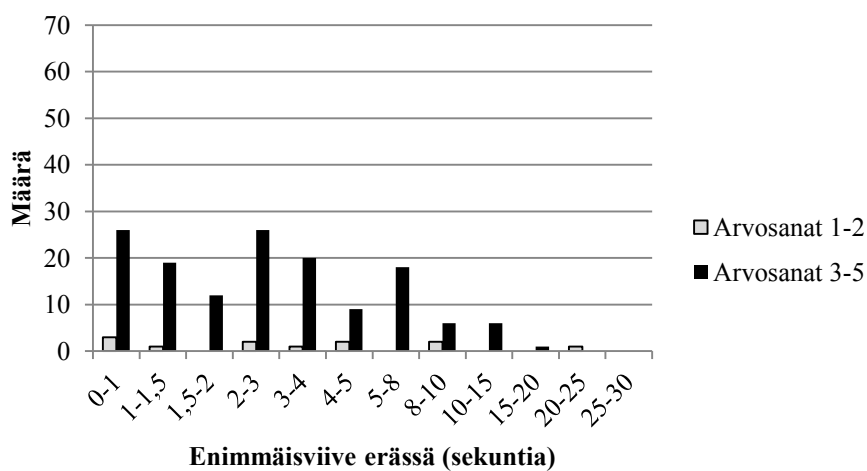
Kuva 64: Enimmäisviiveet erässä nopeusluokassa alle 0,7 Mbps



Kuva 65: Enimmäisviiveet erässä nopeusluokassa 0,7-1 Mbps



Kuva 66: Enimmäisviiveet erässä nopeusluokassa 1-1,5 Mbps



Kuva 67: Enimmäisviiveet erässä nopeusluokassa 1,5-3 Mbps