

Mirna Pässilä

Telia Hybrid-laajakaistavikojen ratkaisukyvykkyyden kehittäminen matkapuhelinverkon osalta

Opinnäytetyö
Tieto- ja viestintäteknikka

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Mirna Pässilä	Insinööri (AMK)	Maaliskuu 2020
Opinnäytetyön nimi		43 sivua 1 liitesivu
Telia Hybrid-laajakaistavikojen ratkaisukyvykkyyden kehittäminen matkapuhelinverkon osalta		
Toimeksiantaja		
Telia Finland Oyj		
Ohjaaja		
Martti Kettunen		
Tiivistelmä		
<p>Telian hybrid-laajakaista tuotiin 2018 markkinoille tarjoamaan toimintavarmen ja vakaan yhteyden, joka tuo tarvittavaa tehoa ja redundanttisuutta nykypäivän kasvaneisiin tarpeisiin. Hybrid-laajakaista on MPTCP-protokollaa hyödyntämällä toteutettu siten, että se yhdistää kiinteään laajakaistan ja mobiililaajakaistan parhaat puolet. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on yhtenäistää ja kehittää hybrid-laajakaistan viankorjausta matkapuhelinverkon vikatilanteiden osalta kartoittamalla ensin lähtötilanne ja tunnistamalla kehityskohteet. Osamisen kehittämiseksi työssä esitellään löydettyjen kehityskohtien perusteella tehtyjä ratkaisuehdotuksia.</p> <p>Opinnäytetyö koostuu teoreettisesta viitekehuksesta sekä empiirisestä tutkimuksesta. Teoreettinen viitekehys tarjoaa lukijalleen perustiedot hybrid-laajakaistasta ja sen teknisestä toteutuksesta. Teoriaosuudessa käsitellään matkapuhelinverkko, xDSL, TCP sekä MPTCP. Lähtötilanteen kartoittaminen toteutettiin empiirisenä tutkimuksena hyödyntämällä kahta eri laadullisen tutkimuksen menetelmää. Lähtötilannetta kartoitettiin kyselytutkimuksella sekä havainnoimalla teknisestä asiakaspalvelusta asiantuntijatiimin tutkittavaksi kirjattuja vikailmoituksia.</p> <p>Tutkimuksessa tunnistettiin lisäosaamistarpeita sekä asiakkaiden yhteydenottoihin vastavassa teknisessä asiakaspalvelussa että vikailmoituksia käsittelevässä asiantuntijatiimissä. Vaikka teknisen asiakaspalvelun lähtötilannetta ratkaisukyvykkyyden osalta voidaan pitää hyvänä, voisi tilannetta entisestään parantaa ottamalla teknisen asiakaspalvelun käyttöön hybrid-yhteyden diagnostiikkatyökalun. Asiantuntijatiimin puolesta tärkeimmät havainnot tehtiin tarkastelemalla tiimin käsiteltäviä vikailmoituksia, joissa matkapuhelinverkon osalta löydettiin selkeitä kehityskohtia vianrajauksessa. Asiantuntijatiimin osaamista kehittävinä toimenpiteinä järjestettiin tiimille mobiiliosaamista lisääviä koulutuksia opinnäytetyöprosessin aikana.</p>		
Asiasanat		
xDSL, hybridlaajakaista, matkaviestinverkot, MPTCP, TCP, Telia		

Author (authors)	Degree	Time
Mirna Pässilä	Bachelor of Engineering	March 2020
Thesis title Developing the ability to solve Telia Hybrid Connection problems in mobile networks		43 pages 1 appendix page
Commissioned by Telia Finland Oyj		
Supervisor Martti Kettunen		
<p data-bbox="164 801 300 833">Abstract</p> <p data-bbox="164 875 1453 1122">Telia's hybrid connection was launched in 2018 to provide a reliable and stable connection that delivers the performance and reliability necessary to meet today's growing needs. Hybrid connection has been implemented using the MPTCP protocol to combine the best of both fixed and mobile broadband. The purpose of this thesis is to unify and develop hybrid connection fault fixes for cellular network failures by first identifying the baseline and areas for improvement. In order to develop the fault fix, this thesis also presents solutions based on the identified faults.</p> <p data-bbox="164 1167 1453 1379">The thesis consists of a theoretical framework and empirical study. The theoretical framework provides a basic understanding of hybrid connection and its technical implementation. The theoretical scope of the thesis covers cellular network, xDSL, TCP and MPTCP. An empirical baseline was conducted using two different qualitative research methods. The study was concluded by making a survey and observing fault tickets reported by the technical customer service team to the technical specialist team.</p> <p data-bbox="164 1424 1453 1715">The study identified shortcomings both in the technical customer service responsible for customer contact and in the technical specialist team for fault reporting. While the general quality of technical customer service can be considered good, the situation could be further improved by deploying a hybrid connection diagnostic tool. As for the technical specialist team, the main findings were made by examining the fault tickets processed by the team, and they clearly indicated deficiencies in the fault fix for the mobile network. As part of the development of the expertise of the technical specialist team, training sessions concerning mobile network operations were organized.</p>		
<p data-bbox="164 1758 320 1789">Keywords</p> <p data-bbox="164 1794 959 1825">xDSL, hybrid connection, mobile network, MPTCP, TCP</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tutkimuksen taustat.....	6
1.2	Tutkimuksen tavoitteet.....	7
1.3	Tutkimuskysymykset ja aiheen rajaus	8
1.4	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	9
1.5	Tutkimuksen vaiheet.....	9
2	HYBRID ACCESS	10
2.1	Matkapuhelinverkko.....	10
2.1.1	Matkapuhelinverkon toiminta	11
2.1.2	Yleisimmät vikatilanteet matkapuhelinverkossa.....	15
2.2	xDSL.....	16
2.3	TCP	17
2.3.1	TCP-Segmentti	17
2.3.2	TCP-yhteyden muodostus ja lopetus	19
2.3.3	TCP:n ominaisuuksia.....	21
2.4	MPTCP	22
2.4.1	MTCP-yhteyden muodostus ja lopetus	23
2.4.2	MPTCP:n ominaisuuksia.....	24
2.5	HYBRIDIN TEKNINEN TOTEUTUSRATKAISU	25
3	LÄHTÖTILANTEEN KARTOITTAMINEN	26
3.1	Kyselytutkimus.....	26
3.1.1	Tutkimusprosessi.....	26
3.1.2	Tulokset ja niiden analysointi	28
3.2	Osaamisen kartoittaminen tarkastelemalla vikailmoitusten laatua	30
3.2.1	Tutkimusprosessi.....	30
3.2.2	Tulokset ja niiden analysointi	31
4	OSAAMISEN KEHITTÄMINEN.....	34

4.1	Hybrid-liittymän vikaprosessi	34
4.2	Havaitut kehityskohteet.....	35
4.3	Osaamisen kehittäminen	36
4.4	Tulosten dokumentointi ja onnistumisen mittaaminen	37
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	37
6	PÄÄTÄNTÖ	39
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	

Liite 1. Hybrid-vikojen läpikulkuajat (salainen, poistettu opinnäytetyön julkisesta versiosta)

1 JOHDANTO

Työn johdanto alkaa tutkimuksen taustojen esittelyllä. Tämän jälkeen käydään läpi tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset sekä käytetyt tutkimusmenetelmät. Luvun lopussa esitellään tarkemmin tutkimuksen eri vaiheet.

1.1 Tutkimuksen taustat

Tilastokeskuksen teettämän tutkimuksen mukaan vuonna 2018 16–89-vuotiaista suomalaisista internetiä käytti 89 prosenttia. Näistä 76 prosenttia käytti internetiä päivittäin. Yleisemmin internetiä käytetään matkapuhelimella. (Suomen virallinen tilasto 2018.) Esimerkiksi erilaisten suoratoistopalveluiden kautta parhaimman mahdollisen kuvanlaadun saamiseksi tarvitaan nopeaa nettiyhteyttä. Laajakaistaliittymät, jotka ovat toteutettu vanhemmalla tekniikalla, kuten ADSL-tekniikalla, eivät välttämättä enää vastaa nykypäivän nopeusvaatimukseen. Toisaalta taas usein nopeammaksi luonnehdittavan matkapuhelinverkon runsas käyttö saattaa näkyä tukiasemien ruuhkautumisena ja täten yhteysnopeuksien hidastumisena (Nettiyhteyden nopeuteen ja laatuun vaikuttavat tekijät 2019).

Nettiä käytetään myös monilla muilla laitteilla kuin matkapuhelimilla. IoT-laitteiden yleistyessä nettiyhteyttä tarvitsevien laitteiden määrä kasvaa jatkuvasti. IoT (Internet of Things) eli esineiden internet tarkoittaa miljardeja fyysisiä laitteita ympäri maailmaa, jotka ovat yhteydessä internettiin keräten ja jakaen tietoja. Edullisten sirujen ja langattomien verkkojen yleismaailmallisen saatavuuden ansiosta on mahdollista muuttaa käytännössä mikä tahansa laite osaksi esineiden internettiä. Laitteiden määrän kasvu tarkoittaa käyttömäärän kasvua, joka yksittäisen tukiaseman tai solun piirissä voi aiheuttaa kapasiteettiongelmaa. (Ranger 2020.)

Telia toi syksyllä 2018 ensimmäisenä operaattorina Suomessa markkinoille hybrid-laajakaistan. Hybrid yhdistää kiinteän verkon vakauden ja matkapuhelinverkon (yleisimmissä tapauksissa 4G-verkon) siirtonopeudet tarjoten käyttäjälleen molempien tekniikoiden parhaat puolet. (Hybridlaajakaista? Miten se toimii? 2019.) Koska hybrid-laajakaista on toteutettu siten, että asiakkaalla on käytössä yhdessä liittymässä kaksi tekniikkaa, on vikakohtia oletettavasti enemmän, kun esimerkiksi pelkässä kiinteässä laajakaistassa. Toisaalta taas

on todennäköistä, että ainakin jompikumpi tekniikoista on toiminnassa, joka mahdollistaa asiakkaalle toimintavarmemman yhteyden.

Koska kyseessä on melko uusi tuote niin asiakkaille kun Telian työntekijöille, viankorjausprosessin kehittäminen on edelleen kehitysvaiheessa tuotteen osalta. Internetin käytön ollessa merkittävässä osassa asiakkaiden arkea, on liittymän viankorjauksen oltava mahdollisimman sujuvaa. Sujuvassa viankorjauksessa ongelma ratkaistaan kullakin taholla niin pitkälle kuin mahdollista. Näin viankorjausaikaa pystytään minimoimaan.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää Telian teknisen kuluttaja-asiakaspalveluosaston osaamista tasalaatuisemmaksi hybrid-yhteyksien matkapuhelinverkon vianrajauksen osalta. Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa ensin kehityskohteet ja tämän jälkeen löytää ne konkreettiset toimenpiteet, joilla voidaan laadullisesti kehittää hybrid-laajakaistaliittymien matkapuhelinverkossa ilmenevien vikatilanteiden ratkaisukyvykkyyttä. Teknisen asiakaspalvelun ratkaisukyvykkyuden parantamisella tavoitellaan suuremmissa mittakaavassa asiakastytyvyyden parantamista.

Tämä opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Telia Finland Oyj:lle. Teliällä asiakkaan ilmoittamat ongelmat otetaan vastaan teknisessä asiakaspalvelussa, josta ne voidaan tarvittaessa laittaa vikailmoituksena eteenpäin viankorjauksen toiselle tasolle. Vikaprosessin kulusta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.1. Parhaassa tapauksessa asiakkaan ilmoittama ongelma ratkeaa ensimmäisellä yhteydenotolla teknisessä asiakaspalvelussa. Mikäli kuitenkin ei, voidaan ongelma siirtää vikailmoituksena asiantuntijatiimin ratkaistavaksi. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää teknisen asiakaspalvelun osaamista siten, että yhä suurempi osa asiakkaiden ilmoittamista ongelmista saadaan ratkaistua jo teknisessä asiakaspalvelussa. Tavoitteena on myös kehittää asiantuntijatiimille tulevien vikailmoitusten laatua siten, että viankorjaus voi jatkuva saumattomasti vikailmoituksen siirtyessä asiantuntijatiimin käsittelyyn. Myös asiantuntijatiimin viankäsittelyä pyritään kehittämään siten, että asiakas saa mahdollisimman pian ratkaisun ongelmaansa.

1.3 Tutkimuskysymykset ja aiheen rajaus

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat:

1. Mikä on Telian teknisen asiakaspalveluosaston lähtötaso hybrid-laajakaistan vianselvityksessä matkapuhelinverkon vikatilanteiden osalta?
2. Minkälaista osaamista hybrid-laajakaistojen vianselvityksessä tarvitaan ja miten sitä voitaisiin kehittää?

Ensimmäinen tutkimuskysymys pyrkii selvittämään teknisen asiakaspalvelun sekä toisen asteen viankorjauksen mahdolliset kehityskohdat hybrid-laajakaistojen vianselvityksessä matkapuhelinverkon osalta. Tutkimuskysymys selvittää hybrid-laajakaistan toimintaan liittyvän osaamisen niin teoria- kuin käytännön tasolla ja sen avulla voidaan tunnistaa vianrajaukseen ja -korjaukseen vaikuttavat tekijät. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen rinnalla selvitetään myös hybrid-laajakaistavikojen läpimenoajan tilanne tutkimuksen alussa. Läpimenoajalla tarkoitetaan aikaa asiakkaan ensimmäisestä vikaan liittyvästä yhteydenotosta vian korjaukseen kuluvaan aikaan.

Toinen tutkimuskysymys selvittää, miten osaamista voitaisiin kehittää siten, että yhä suurempi osa asiakkaiden ilmoittamisista ongelmista ratkeaisi jo teknisessä asiakaspalvelussa. Kun vikatilanne saadaan jo ensimmäisessä asiakaskohtaamisessa rajattua mahdollisimman hyvin ja vika-analyysi oikeilla tiedoilla tarvittaessa eteenpäin viankorjauksen toiselle tasolle, ratkaisukyvykkyys kasvaa, eli läpimenoaika lyhenee ja asiakastyytyväisyys kasvaa. Asiakastyytyväisyydelle ei ole luotu tutkimuksessa omaa mittaria. Kysymyksen avulla halutaan myös selvittää, kuinka toisen asteen viankorjaukseen siirtyvien vikailmoitusten ratkaisukyvykkyyttä saataisiin tasalaatuisemmaksi.

Vaikka Teliällä on myös muita laajakaistatekniikoita, tutkimus rajataan käsittelemään vain hybrid-laajakaistaliittymien viankorjausta. Hybrid on tuotteena vielä melko uusi, joten vianselvitysprosessissa on ymmärrettävästi vielä kehitettäviä kohtia. Opinnäytetyö rajataan kehittämään hybrid-laajakaistaliittymien viankorjausta matkapuhelinverkon osalta, sillä tämänhetkiset työkalut kiinteän laajakaistan vianrajaukseen ohjaavat selvemmin työntekijöitä ja matkapuhelinverkon vianrajaus on siksi verrattuna epätasalaatuisempi.

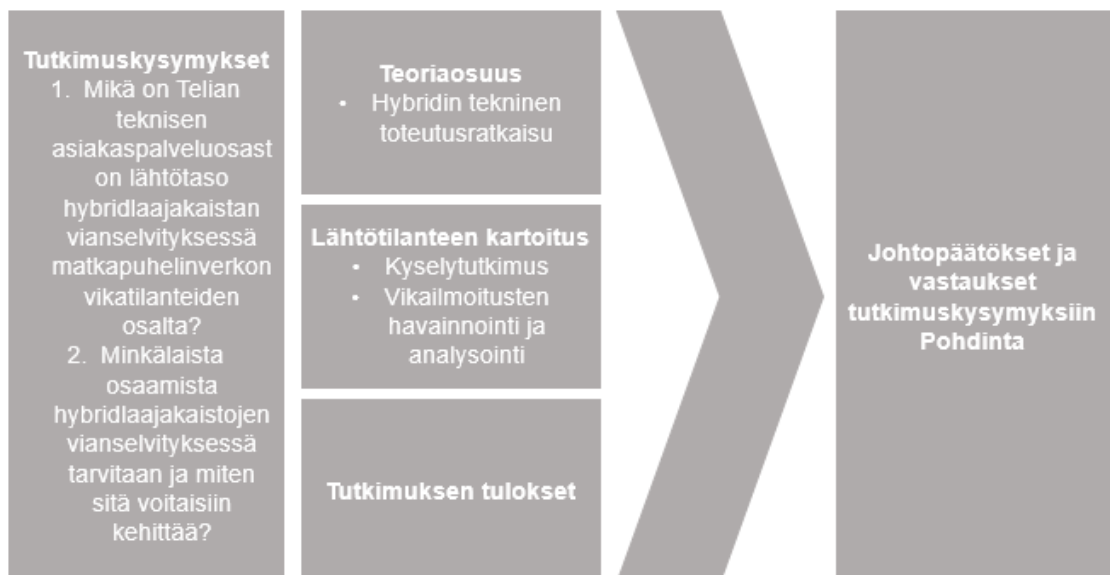
1.4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Opinnäytetyön teoriaosuuteen käytetään aineistona tieteellistä kirjallisuutta ja artikkeleja, jotka pohjautuvat hybridin tekniseen toteutukseen. Teoriaosuuden tavoitteena on antaa perustiedot tutkittavasta aiheesta ja toimia pohjustuksena empiiriselle tutkimukselle. Teoriaosuudessa käsitellään matkapuhelinverkko, xDSL, TCP sekä MPTCP.

Tutkimus on luonteeltaan laadullinen ja pääpaino opinnäytetyössä on sen empiirisessä osiossa. Lähtötilanteen kartoittamiseen käytetään kahta eri laadullista tutkimusmenetelmää. Ensin lähtötilannetta kartoitetaan kyselytutkimuksella, joka on suunnattu kaikille Telian teknisen asiakaspalvelun sekä toisen asteen viankorjauksen työntekijöille. Tämän jälkeen lähtötasoa tarkastellaan analysoimalla toisen asteen viankorjaukseen tehtyjä hybrid-vikailmoituksia. Lähtötason kartoituksella tehdään havaintoja, jotka toimivat kehittämisosuuden aineistona.

1.5 Tutkimuksen vaiheet

Opinnäytetyö koostuu tutkimuksen teoria- ja empiiriosiosta. Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen vaiheet. Työn johdannossa esitellään tutkimuksen taustat, tavoitteet, tutkimuskysymykset ja -menetelmät sekä tutkimuksen rakenne. Toisessa luvussa käsitellään työn teoreettinen viitekehys ja kolmannesta luvusta alkaa työn empiirinen osio.



Kuva 1. Tutkimuksen vaiheet

Teoriaosuudessa esitetään työn lukijalle perustiedot tutkittavasta aiheesta, hybrid-laajakaistasta. Työn toisessa luvussa käsitellään hybridin tekninen toteutusratkaisu. Luvussa käsitellään matkapuhelinverkon sekä xDSL:n toiminta pääpiirteittäin. Lisäksi luvussa perehdytään TCP- ja MPTCP-protokolliin. Luvun lopussa kiteytetään, miten hybrid toimii käyttäessään edellä mainittuja tekniikoita.

Työn empiirinen osio alkaa luvusta kolme. Osiossa esitellään kyselytutkimusprosessi sekä toisen asteen viankorjaukseen tulleiden vikailmoitusten analysointina toteutettu tiedonkeruu lähtötilanteen kartoittamisen osalta. Empiiriosiossa lisäksi esitellään saadut tutkimustulokset sekä analysoidaan niitä. Työn lopussa arvioidaan tutkimuksen onnistuneisuutta sekä luotettavuutta ja esitellään mahdollisia jatkotutkimusaiheita. Tutkimuksen päätäntö on työn viimeisessä luvussa kuusi.

2 HYBRID ACCESS

Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys muodostaa työn toisen luvun. Telian hybrid-laajakaista hyödyntää sekä kiinteää laajakaistaa että mobiiliverkkoa. Luvussa kaksi kerrotaan ensin matkapuhelinverkon toiminnasta sekä xDSL-verkosta. Hybrid-laajakaista on toteutettu reitittävällä päätelaitteella (CPE) ja Telian verkkoon asennettavilla Hybrid Access Gateway (HAG) laitteilla (Miten hybridlaajakaista käytännössä toimii? s.a.). Näiden laitteiden välillä käytetään MPTCP-protokollaa, jonka ymmärtämiseksi luvussa kaksi kerrotaan ensin TCP-protokollasta ja vasta tämän jälkeen MPTCP-protokollasta. Koska opinnäytetyön tavoitteena on edistää ratkaisukyvykkyyttä nimenomaan hybrid-liitymien matkapuhelinverkon vikatilanteissa, matkapuhelinverkon yleisimpiä vikatilanteita esitellään alaluvussa 2.1.2.

2.1 Matkapuhelinverkko

Matkapuhelinverkkoa voidaan tekniikan kehittymisen osalta käsitellä sukupolvittain. 1G viittaa langattoman soluteknologian ensimmäiseen sukupolveen, 2G viittaa toisen sukupolven teknologiaan ja niin edelleen. Kuten olettaa saattaa, myöhemmän sukupolven teknologiat ovat nopeampia ja sisältävät enti-

sestä kehittyneitä tai kokonaan uusia ominaisuuksia. Ensimmäisen sukupolven matkapuhelinverkkoa nimitetään NMT-verkoksi. Se aloitti toimintansa Suomessa vuonna 1982 edeltäjänsä, ARP:n rinnalla. (Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat 2015.) Toisen sukupolven matkapuhelinverkon, GSM:n, ero edeltäjäänsä on puheluiden siirto kokonaan digitaalisesti siinä missä NMT-verkoissa puhelun ääni oli analogista (Laine-Lassila 2018). Kolmas sukupolvi, 3G, on matkapuhelinverkon seuraava kehitysaskel. 3G- eli UMTS-verkossa on nopeampi datansiirto edeltäjiinsä verrattuna, joten se sopii puheluiden ja tekstiviestien välittämisen lisäksi myös multimedia- ja datasovelluksille. 3G:tä nopeamman datansiirron mahdollistaa neljäs sukupolvi, jota kutsutaan yleisesti joko 4G:ksi tai LTE:ksi. (Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat 2015.) Tämän jälkeen on alettu kehittää 5G-verkkoa, joka käyttöön otettiin Suomessa 2019 ja laajenee entisestään vuonna 2020 (Lähteenmäki 2019).

2.1.1 Matkapuhelinverkon toiminta

Matkapuhelinverkkoa käytetään mobiilipäätelaitteella, johon asetetaan SIM-kortti. SIM-kortti (Subscriber Identity Module) on älykortti, jolle tallennetaan matkapuhelinliittymän tilaajan yksilöllinen IMSI-avain. IMSI (International Mobile Subscriber Identity) on enintään 15 merkkiä pitkä numerosarja, jolla matkapuhelinverkon käyttäjä yksilöidään. (Chang 2016.) Päätelaitteen käynnistyksen yhteydessä laite saa SIM-kortilta IMSI:n, jonka se välittää verkkoon. Tätä voidaan ajatella pääsyyntönä verkkoon. Verkko vastaanottaa IMSI:n ja etsii sisäisestä tietokannasta kyseisen IMSI:n tunnistetun todennusavaimen (Authentication Key, Ki). Tämän jälkeen verkko tuottaa satunnaisluvun A ja allekirjoittaa sen todennusavaimella luoden uuden numeron, B:n. Liikennöivä mobiilipäätelaite vastaanottaa luvun A:n verkosta ja välittää sen edelleen SIM-kortille, joka allekirjoittaa sen omalla todennusavaimellaan uudeksi numeroksi, C:ksi. Tämä numero puolestaan välitetään takaisin verkkoon. Jos verkon numero A vastaa SIM-kortin numeroa C, SIM-kortti julistetaan toimintakelpoiseksi ja käyttöoikeus myönnetään. (Betts 2019.)

Itse matkapuhelinverkko eli mobiiliverkko koostuu tukiasemista ja kiinteästä runkoverkosta. Toiminnollisuuksiensa puolesta matkapuhelinverkon elementit voidaan jakaa radioliityntäverkkoon (RAN, Radio Access Network), joka käsit-

telee kaikki radiotoiminnot, sekä core-verkkoon, joka vastaa solujen ja datayhteyksien kytkemisestä ja reitittämisestä ulkopuoliseen verkkoon. Core-verkkoa kutsutaan yleisesti myös runkoverkoksi. (Holma & Toskala 2000, 53.) Data siirtyy päätelaitteesta radiosignaalina lähimpään tukiasemaan. RAN:n ja runkoverkon välillä yhteys kulkee mobile backhaulia hyödyntäen. Mobile backhaul-verkko siirtää dataa tukiasemasta niin sanottuun keruuverkkoon, joka on kytketty runkoverkkoon, joissa dataa käsitellään. (GSMA Future Networks 2019.) Matkapuhelinverkon toimivuuden kannalta radiosignaalin (RF) tärkeimpiä ominaisuuksia on aallonpituus, taajuus ja amplitudi. (CWNA 2017, 46.)

Aallonpituus on kahden vierekkäisen, samanlaisen aallonpisteen välinen etäisyys ja se on tärkeä tekijä langattomassa tiedonsiirrossa, kuten matkapuhelinverkossa. Aallonpituus määrää vastaanottoantennin optimaalisen koon ja se määrittelee, kuinka radioaalto toimii vuorovaikutuksessa ympäristöönsä. Radioaalto reagoi eri tavalla osuessaan suureen esineeseen verrattuna aallonpituuteen, joka osuu aallonpituuteen verrattuna pieneen esineeseen. (CWNA 2017, 46–49.)

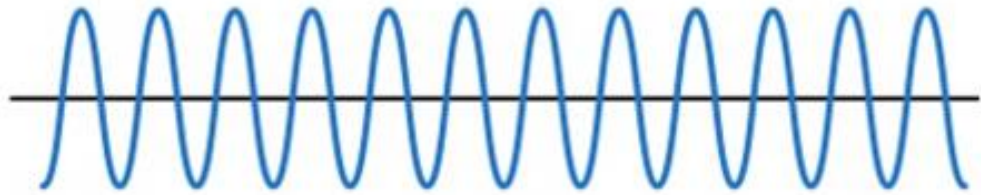
Taajuudella tarkoitetaan tietyn ajanjakson aikana tapahtuvien aaltosyklien lukumäärää. Taajuutta mitataan yleensä sekunnin intervalleissa ja yhden kilohertsin (KHz) taajuus edustaa tuhannen aallon jaksoa yhdessä sekunnissa. Aallonpituuden ja taajuuden välillä on suora yhteys. Tämä on esitetty kuvassa kaksi. Radioaallon taajuus voidaan määrittää yhtälöstä 1.

$$f = v/\lambda \quad (1)$$

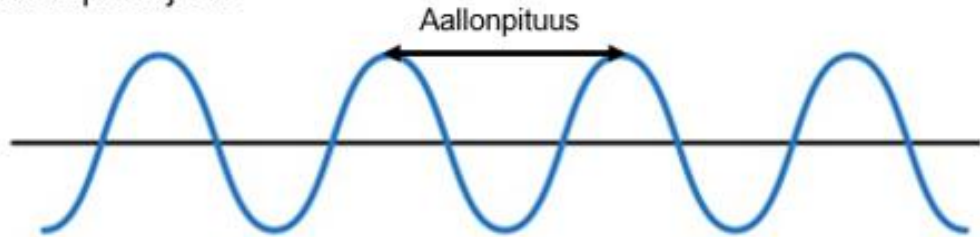
jossa	f	radioaallon taajuus	[1/s]
	v	etenemisnopeus	[m/s]
	λ	aallonpituus	[-]

Radioaallon taajuus on siis kääntäen verrannollinen sen aallonpituuteen nähdessä radioaallon etenemisnopeuden ollessa tyhjiössä valonnopeus c .

Korkeampi taajuus



Matalampi taajuus



Kuva 2. Aallonpituuden ja taajuuden välinen suhde (CWNA 2017, 52)

Kuten kuva 2 osoittaa, mitä pidempi aallonpituus on, sitä matalampi taajuus on kyseessä. Toisin sanoen mitä pidempi aallonpituus on ja täten matalampi taajuus, sitä pidemmälle signaali yltää. (CWNA 2017, 51–56.) Suomessa matkapuhelinverkon käytössä oleva taajuusalue ulottuu viranomaisradioverkko VIRVE:n 380 MHz:stä 4G LTE-verkon 2600 MHz:iin (Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat 2019). 5G:tä on rakennettu Suomessa 3,5 GHz:n taajuusalueella vuodesta 2019 alkaen ja vuonna 2020 Liikenne- ja viestintäministeriö pyytää lausuntoja 26 GHz:n taajuushuutokaupan ehdoista (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).

Amplitudi ilmaisee värähdysliikkeen laajuutta. Ääniaaltotekniikassa amplitudin lisääntyminen vastaa äänenvoimakkuuden kasvua, joten vahvistin (amplifier) lisää äänenvoimakkuutta tai tekee äänen kovemmaksi. Taajuuden vaikuttaessa etäisyyteen, jolla ääniaalto voidaan tehokkaasti vastaanottaa, amplitudi vaikuttaa ääniaallon voimakkuuteen etäisyydellä. Tämän vuoksi voidaan suurentaa äänijärjestelmän äänenvoimakkuutta, eli kasvattaa amplitudia, jolloin ääni kuullaan suuremmalla etäisyydellä. Radioaallot ovat samanlaisia. Aallon amplitudi ilmaisee siis aallon voimakkuutta tai tehoa. Matkapuhelinverkossa tämä vaikuttaa oleellisesti kuuluvuuteen. (CWNA 2017, 54–58.)

Väliaineessa edetessään radiosignaalin teho vaimenee. Esteettömässä tilassa radiosignaali etenee hyvin ja siihen kohdistuu vain vapaan tilan vaimennus, FSL (Free Space Loss). Välittäjäaineessa edetessään radiosignaalilla on monia eri keinoja läpäistä esteet ja esteet vaikuttavat signaaliin eri tavoin. Heijastus tapahtuu radioaallon kohdatessa suuren heijastavan kohteen aallonpituuteen nähden. Sironta tapahtuu, kun radioaalto kohtaa pieniä heijastavia esineitä suhteessa aallonpituuteen ja taipumista tapahtuu signaalin osuessa aallonpituuttaan suurempaan reunaan. Radiosignaali voi kulkea vastaanottimeen useita eri etenemispolkuja pitkin ja saapua täten hieman eri aikoina perille. Tätä kutsutaan monitie-etenemiseksi (multipath). (CWNA 2017, 58–72.)

Kun päätelaitteesta lähtenyt säteily saapuu tukiasemalle, tukiasema muuntaa siihen koodatun datan kiinteään verkkoon johdettaviksi valopulsseiksi. Tukiasema siis yhdistää langattoman päätelaitteen radioteitse puhe- tai datayhteyden matkapuhelinkeskukseen tai kiinteään verkkoon. (Holma & Toskala 2000, 59.) Tukiasemat voidaan jakaa kolmeen eri tukiasematyypiin, jotka ovat tarkemmin esitetty taulukossa 1. Makrosolutukiasemat ovat korkeita ja kapeita paneeleja, joiden toimintasäde ylittää useiden kilometrien päähän. Niitä käytetään pääsääntöisesti taajamilla ja harva-asutusalueilla. Mikrosolutukiasemat hoitavat liikennettä alle kilometrin säteellä, useimmiten kaupunkialueilla. Pikosolutukiasemat puolestaan ovat yleensä pienikokoisia seinälle kiinnitettyjä tukiasemia, joilla kuuluvuutta voidaan parantaa paikallisesti esimerkiksi rakennuksen sisätiloissa. (Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat 2015.)

Taulukko 1. Tukiasematyypit ja niiden ominaisuudet (Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat 2015)

Tukiasematyypit	Makrosolu	Mikrosolu	Pikosolu
Toimintasäde	Useita kilometrejä	100–1000 m	Alle 100 m
Lähetysteho	Enimmillään muutama sata wattia	Muutamia watteja	Alle 1 W
Käyttöalue	Taajama, maaseutu, kaupunki	Kaupunki	Tiivis kaupunkirakentaminen, rakennusten sisätilat
Antennin sijainti	Katoilla, mastoissa	Katoilla, seinillä	Sisäkatoissa, seinillä

Etäisyys, jolla altistuminen saattaa ylittää raja-arvot	Noin 10 m (antennin edessä)	Alle 30 cm (antennin edessä)	Ei edes kosketusetäisyydellä
--	-----------------------------	------------------------------	------------------------------

2.1.2 Yleisimmät vikatilanteet matkapuhelinverkossa

Käyttäjän kokemia yleisimpiä vikatilanteita mobiililaajakaistaliittymässä on kokonaan toimimaton yhteys, pätkivä yhteys tai hidas yhteys. Monesti vikatilanteet voivat johtua käyttäjäperäisistä ongelmista, mutta mahdollisia vikakohtia on monia muitakin. Kokonaan toimimattomassa yhteydessä yleisiä vikakohtia ovat esimerkiksi liittymän konfiguraatiovirhe sekä päätelaitteeseen liittyvät käyttö- ja vikatilanteet. Myös tukiasemavika voi etenkin haja-asutusalueella aiheuttaa kokonaan toimimattoman yhteyden. Tiheämmin asutuilla alueilla mobiiliverkossa tavoitellaan päällekkäispeittoa. Tällöin yhden tukiaseman ollessa rikki, päätelaite ottaa yhteyden toiseen tukiasemaan, eikä mahdollinen tukiasemavika välttämättä näy käyttäjälle. (Ohjeita puhelin- ja laajakaistaliittymän toimivuus- ja saatavuusongelmissa 2019.)

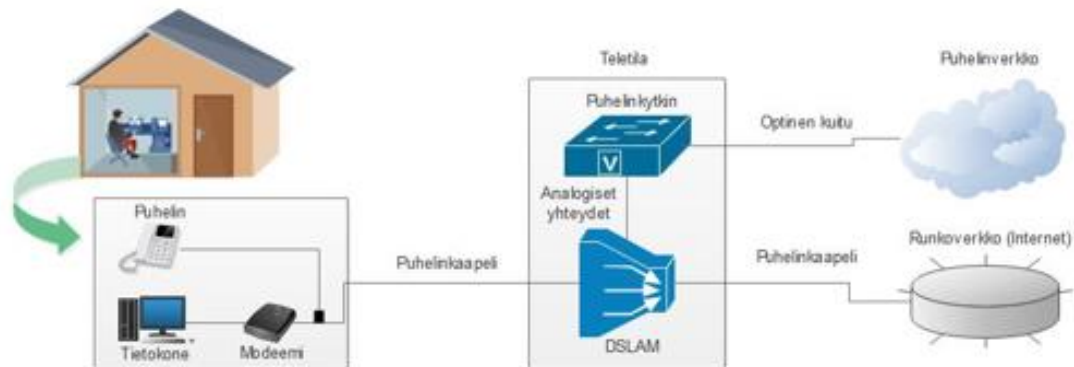
Mikäli laiteympäristön mahdolliset viat on rajattu pois, pätkivä yhteys johtuu usein huonosta kuuluvuudesta, joka ei varsinaisesti ole matkapuhelinverkon vikatilanne. Päätelaitteen ominaisuudet ja esimerkiksi antennin sijoittelu ovat merkittävässä roolissa kuuluvuuden kannalta. Lisäksi kuuluvuuteen vaikuttaa muun muassa etäisyys tukiasemalle, käytettävä taajuus sekä mahdolliset fyysiset esteet, kuten korkeat rakennukset tai maastoesteet tukiaseman ja päätelaitteen välillä. (Ohjeita puhelin- ja laajakaistaliittymän toimivuus- ja saatavuusongelmissa 2019.) Äkillisesti heikentynyt kuuluvuus kertoo yleensä vikatilanteesta, joka useimmiten johtuu joko laiteympäristössä tapahtuneista muutoksista (esimerkiksi laitteen vaihto tai antennin suuntaus) tai tukiasemassa ilmenevästä viasta.

Hidasteleva yhteys voi myös johtua tukiasemaviasta tai heikentyneestä kuuluvuudesta. Mikäli kuuluvuus on hyvä eikä verkossa ole varsinaista vikaa havaittavissa, voi kyse olla kapasiteettiongelmosta. Kun käyttömäärä yksittäisen tukiaseman tai solun piirissä kasvaa, puhutaan kapasiteettiongelmosta. Esimerkiksi lisääntyneestä käyttäjämäärästä johtuva tiedonsiirron lisääntyminen voi aiheuttaa verkossa ruuhkaa. Toisin sanoen ongelma ilmenee tiedonsiirron määrän ollessa suurempi kuin tukiasemaan varattu kapasiteetti, joka saattaa

ilmetä asiakkaalle ongelmana esimerkiksi iltaisin tai viikonloppuisin, kun aktiivisten käyttäjien määrä verkossa on suurimmillaan. (Laaksonen 2018.)

2.2 xDSL

DSL-tekniikka (Digital Subscriber Line) on digitaalinen laajakaistayhteystekniikka, joka on mahdollistettu tavallisten kuparipuhelinlinjojen avulla. Teleoperaattorit käyttävät tyypillisesti DSL-tekniikkaa tarjoamaan data-, video- ja puhpalveluja jo olemassa olevilla kuparipuhelinlinjoilla. xDSL:llä viitataan terminä yhteisesti kaikkiin digitaalisiin tilaajajohtoihin, ja kaksi pääluokkaa ovat ADSL ja SDSL. Kaksi muuta xDSL-tekniikkaa ovat HDSL ja VDSL. (Summers 1999, 41–45.) Tässä opinnäytetyössä puhuttaessa xDSL-tekniikasta tarkoitetaan pääosin ADSL- ja VDSL-tekniikoita. xDSL-verkon fyysinen rakenne kaikissa eri tekniikan variaatioissa koostuu pääpiirteittäin kolmesta eri komponentista. Verkon rakenne on kuvattu yksinkertaisuudessaan kuvassa 3.



Kuva 3. xDSL-verkon topologia (Golden, Dedieu, Jacobsen, 2006, 126)

Käyttäkseen DSL-verkkoa loppukäyttäjä tarvitsee päätelaitteen, eli CPE:n. CPE:tä kutsutaan yleisesti DSL-modeemiksi. Modeemi kytketään kupariverkoon parikaapelilla, joka sisältää kaksi toisistaan ja maapotentiaalista eristettyä johdinta. Ensimmäinen kupariosuus kulkee kiinteistön sisällä joko talon ulkoseinälle sijoitettuun pisteeseen, kiinteistöllä sijaitsevaan jakokaappiin tai kiinteistössä sijaitsevaan talojakamoon. (Golden ym. 2006, 5.)

Seuraava osa DSL-verkossa asiakkaalta teleoperaattorin verkkoa kohden liikuttaessa on teleoperaattorin kupariverkko (Golden ym. 2006, 126). Kupari-

verkon operaattori riippuu maantieteellisestä sijainnista. Voi siis olla mahdollista, että kupariosuus on toisen operaattorin kuin sen, jolta asiakas on liittymän tilannut. Kupariosuus voi olla joko osittain tai kokonaan vuokrattu paikallisoperaattorilta, joita Suomessa on useita.

Kupariverkosta eteenpäin verkko haarautuu ja liittyy isompiin kaapeliniippuihin, jotka terminoituvat DSLAM:lle, eli DSL-keskittimelle. Tässä vaiheessa kuparilinjat puretaan omille rimoilleen ja kytketään jokainen omalle määrätylle porttipaikalleen. Fyysisesti DSLAM:t sijaitsevat operaattoreiden teletiloissa. Teletila voi olla laitteelle erikseen rakennettu tila tai esimerkiksi kerrostalon telelaitteille varattu tila. (Golden ym. 2006, 126).

DSLAM:lta eteenpäin puhelinliikenne ohjataan puhelinkeskukseen ja dataliikenne puolestaan operaattorin runkoverkkoon (Golden ym. 2006, 126). Yhteys ylävirtaan on suurimmaksi osaksi toteutettu kuitulinkeillä ja viimeistään tässä vaiheessa tiedonsiirto vaihtaa tyyppiään ethernetiksi.

2.3 TCP

TCP (Transmission Control Protocol) on tietoliikenneprotokolla, joka vastaa kahden päätelaitteen välisestä tiedonsiirtoyhteydestä, pakettien järjestämisestä sekä hukkuneiden pakettien uudelleenlähetyksestä. TCP on niin sanottu yhteyskeskeinen, päästä päähän toimiva protokolla. Tällä tarkoitetaan sitä, että yhteys muodostetaan ennen datan siirtoa ja yhteyden muodostamisen jälkeen sitä ylläpidetään niin kauan, kunnes sovellusohjelmat molemmissa päissä ovat lopettaneet viestien vaihdon. (RFC 793: 1981, 1–2.)

2.3.1 TCP-Segmentti

TCP hyväksyy datan datavirrasta, jakaa sen palasiksi ja lisää TCP-otsikon, joka luo TCP-segmentin. TCP-segmentin rakenne on esitetty kuvassa 4. Segmentti koostuu sen otsikosta sekä dataosasta. TCP-otsikko sisältää kymmenen pakollista kenttää sekä valinnaisen optiot-kentän. Data-kenttä seuraa otsikkoa. Sen sisältö koostuu sovellusta varten kuljetettavista hyötykuormatiedoista. Data-osuuden pituutta ei määritellä TCP-segmentin otsikossa. (RFC 793: 1981, 15.)

	oktetti	0		1		2		3	
oktetti	bitti	0	4	8	12	16	20	24	28 31
0	0	Lähdeportti				Kohdeportti			
4	32	Järjestysnumero							
8	64	Kuittausnumero							
12	96	Pituus	Varattu	Liput	Ikkuna				
16	128	Tarkistussumma				Kiireellisen datan osoitin			
20	160	Optiot						Täyte	
...	...	Data							

Kuva 4. TCP-segmentin rakenne (RFC 793: 1981, 15)

Lähdeportti ja kohdeportti ovat molemmat 16-bittisiä kenttiä. Ne ovat viestinnän päätepisteitä lähettävälle ja vastaanottavalle laitteelle. Lähdeportti tunnistaa lähetettävän portin ja kohdeportti vastaanottavan portin. Järjestysnumero on 32-bittinen kenttä. TCP vastaanottaa dataa sovelluserrokselta kahdeksan bitin oktetteina ja jokainen oktetti numeroidaan. Viestin lähettäjät käyttävät järjestysnumeroita pakettien järjestyksen merkitsemiseen. Vastaanottaja puolestaan käyttää järjestysnumeroa saattaakseen datan oikeaan järjestykseen. Kuittausnumero on myös 32-bittinen kenttä. Sen avulla kerrotaan lähettäjälle, mitkä paketit ovat tulleet perille. (RFC 793: 1981, 15–17.)

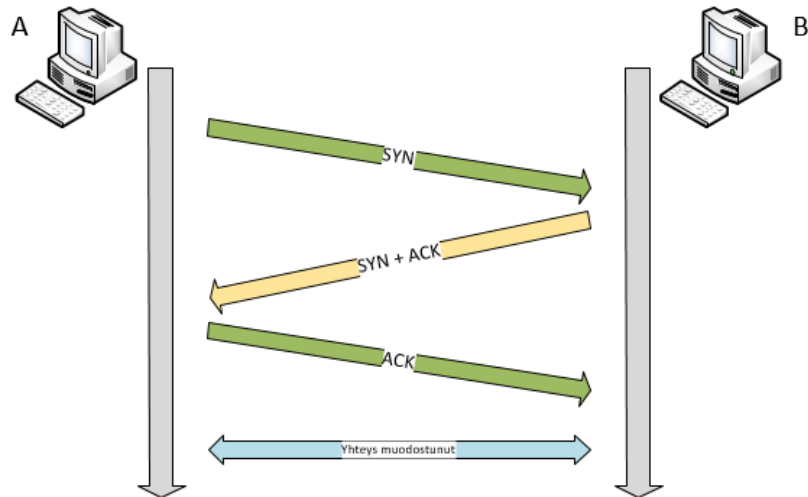
Otsikkokentän pituus on 4 bittiä. Se määrittää, kuinka monta 32-bittisestä kenttää TCP-otsikko sisältää. Otsikon koko voi vaihdella viidestä sanasta viiteentoista sanaan, jolloin minimi koko on 20 oktettia ja maksimi 60 oktettia yhden sanan ollessa neljä oktettia. Varattu-kenttä on 6-bittinen ja sen kaikkien bittien on oltava nollia. Kenttä on varattu tulevaa käyttöä varten. Liput on 6-bittinen kenttä, joka koostuu kuudesta standardoidusta 1-bittisestä lipusta: URG, ACK, PSH, RST, SYN ja FIN. Lippujen tehtävänä on hallita tiedonkulkua tietyissä tilanteissa, ja ne ovat aina joko päällä tai pois päältä. Ikkuna on 16-bittinen kenttä. Se sisältää lähettäjän vastaanottoikkunan koon ja mainostaa, kuinka paljon dataa lähettäjä voi vastaanottaa ilman kuittausta. Ikkunan kokoa käytetään siten virtauksen (Flow Control) ohjaukseen. (RFC 793: 1981, 16–17.)

16-bittistä tarkistussumma-kenttää käytetään virheiden hallintaan. Se tarkistaa tietojen eheyden TCP-hyötykuormassa. Lähettäjä lisää CRC:n (Cyclic Redundancy Check) tarkistussummaan ennen tietojen lähettämistä. Vastaanottaja hylkää tiedot, jotka eivät läpäise CRC-tarkistusta. Kiireellisen datan osoitin on

myös 16-bittinen kenttä. Se osoittaa, kuinka paljon dataa nykyisessä segmentissä laskettuna ensimmäisestä datatavusta on kiireellinen. Järjestysnumeroon lisätty kiireellinen osoitin osoittaa kiireellisen datatavun lopun. Tätä kenttää pidetään kelvollisena ja arvioidaan vain, jos URG-bitti (lippu) on asetettu arvoon 1. Usein osoitinkenttä asetetaan nolnaan. Optiot-kentän koko vaihtelee nollasta oktetista neljäänkymmeneen oktettiin ja sitä käytetään useisiin tarkoituksiin. Siihen sisältyy esimerkiksi tuki erityisille kuittauksille ja ikkunoiden skaalausalgoritmeille. Täyte-kentän koko määräytyy käytetyn option mukaan. Sillä varmistetaan täytebittejä lisäämällä, että TCP-otsikon pituus on jaollinen 32 bitillä. (RFC 793: 1981, 17–19.)

2.3.2 TCP-yhteyden muodostus ja lopetus

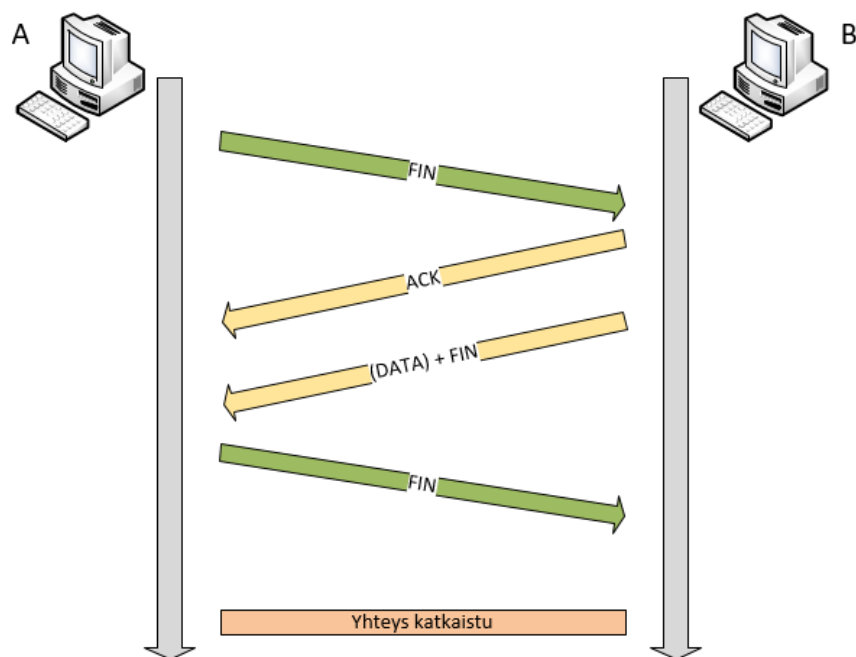
TCP-yhteys sisältää kolme vaihetta: yhteyden muodostamisen, tiedonsiirron sekä yhteyden katkaisemisen. Yhteyden muodostamiseen käytetään kolmivaiheista kättelyä, joka on esitetty kuvassa 5. Yhteyden muodostus alkaa aloittajan (A) lähettämällä segmentin, jossa on SYN-paketti, eli yhteyttä avattaessa käytettävä bitti asetettuna. Yhteydenottopyynnön saatuaan vastaanottaja (B) tarkistaa, onko sillä resursseja uuteen yhteyteen. Mikäli on, vastaanottaja lähettää ensimmäisen sanoman lähettäjälle segmentin, joka sisältää SYN- ja ACK-paketin. ACK-paketti ilmaisee, että yhteys halutaan muodostaa. Lopuksi kättelyn aloittaja lähettää ACK-paketinsisältävän yhteyden varmistuspaketin, jonka jälkeen yhteys on muodostettu. (RFC 793: 1981, 30–31.)



Kuva 5. TCP:n kolmivaiheinen kättely (RFC 793: 1981, 31)

Kun yhteys on muodostettu, kaksisuuntainen liikennöinti voi alkaa. TCP ottaa dataa vastaan sovelluskerroksen protokollalta. Data pilkotaan okteteiksi ja jokainen oktetti numeroidaan. Yksi oktetti sisältää kahdeksan bittiä dataa. Vastaanottaja kiittää saapuneet oktetit joko jokaiselle sanomalle erikseen tai viivästetysti odottaen kahta peräkkäistä sanomaa ja kuitaten ne kerralla vastaanotetuiksi. (RFC 793: 1981, 32–37.)

Yhteyden katkaisemiseen käytetään nelivaiheista kättelyä. Yhteyden lopettaminen on esitetty kuvassa 6. Laite (A), joka haluaa lopettaa yhteyden lähettää vastaanottajalle (B) paketin, johon on asetettu FIN-paketti. Paketin vastaanottava osapuoli lähettää FIN-paketin lähettävälle osapuolelle kiittauspaketin (ACK). Tämän jälkeen lopetuspyynnön vastaanottanut laite lähettää mahdollisen jäljellä olevan datan ja lähettää oman lopetuspyyntönsä, johon on myös asetettu FIN-paketti. Laite, joka alun perin halusi lopettaa yhteyden lähettää ACK-kuittauksen toiselle osapuolelle ja tämän jälkeen yhteys on katkaistu. (RFC 793: 1981, 37–39.)



Kuva 6. TCP:n nelivaiheinen yhteyden katkaisu (RFC 793: 1981, 39)

2.3.3 TCP:n ominaisuuksia

TCP:tä luonnehditaan luotettavaksi tiedonsiirtoprotokollaksi. TCP mahdollistaa pakettien saapumisen oikeassa järjestyksessä sekä hukkuneiden pakettien uudelleenlähetyksen. Kunkin datatavun tunnistamiseen käytetään järjestysnumeroa. Järjestysnumero tunnistaa kustakin tietokoneesta lähetettyjen tavujen järjestyksen siten, että data voidaan rekonstruoida tapauksissa, joissa paketit uudelleenjärjestyvät tai katoavat lähetyksen aikana. Luotettavuus saavutetaan lähettäjän havaitsemalla kadonneet tiedot ja lähettämällä ne uudelleen. TCP käyttää kahta ensisijaista tekniikkaa tunnistamaan hukatut paketit. Ensimmäisessä lähetetään vain hukatut paketit, toisessa puolestaan kaikki kuitaamattomat paketit. (RFC 793: 1981, 4.)

TCP käyttää liukuvan ikkunan virtauksenohjausprotokollaa varmistaakseen tehokkaan tiedonsiirron. Kussakin TCP-segmentissä vastaanottaja määrittelee vastaanottoikkuna-kentässä lisäksi vastaanotetun datan määrän tavuina, jonka se on valmis puskuroimaan yhteydelle. Lähettävä laite voi lähettää vain sen määrään dataa, ennen kuin sen on odotettava vastaanottavan laitteen kuitausta ja ikkunapäivitystä. Virtauksenohjausprotokollalla varmistetaan, että dataa lähetetään niin paljon kuin toinen osapuoli pystyy sitä vastaanottamaan.

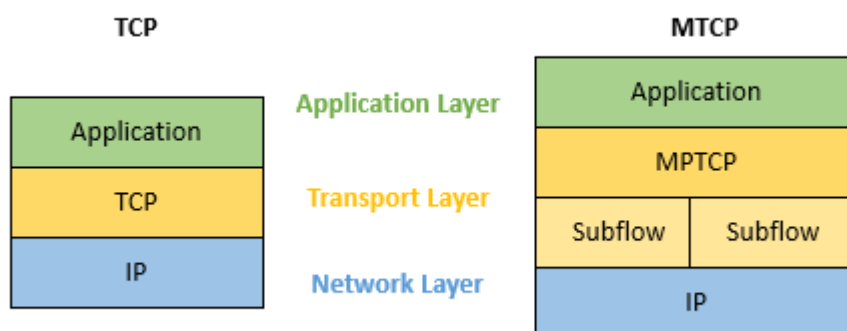
Liukuvan ikkunan systeemillä voidaan lähettää ikkunan osoittama määrä dataa jo ennen ACK-kuittauksen vastaanottoa. Tämän avulla toteutetaan TCP:n vuonohjaus. Vastaanottaja voi vaikuttaa lähettäjän lähetyksenopeuteen säätämällä ikkunan kokoa. Kun ikkunan koko on nolla, tiedonsiirto lopetetaan. (RFC 793: 1981, 4–5.)

Yksi TCP:n pääpiirteistä on ruuhkanhallinta. Useimmiten pakettien katoaminen johtuu ruuhkasta internetin reitittimillä. Ruuhka johtuu tilanteista, joissa reitittimille saapuu enemmän paketteja kun se ehtii välittämään eteenpäin. TCP käyttää useita mekanismeja ruuhkien välttämiseksi ja korkean suorituskyvyn saavuttamiseksi. TCP:n nykyaikaiset toteutukset sisältävät neljä toisiinsa sidottua ruuhkanhallinta-algoritmia: hidas käynnistys, ruuhkien välttäminen, nopea toipuminen ja nopea palautus. (Allman & Paxson 2009, 4–8.)

2.4 MPTCP

MPTCP, eli Multipath TCP on IETF:n Multipath TCP -työryhmän meneillään oleva pyrkimys, joka mahdollistaa TCP-pakettien jaon useille yhteyksille samanaikaisesti. MPTCP toimii sovelluskerroksessa (Application Layer) ja se on taaksepäin yhteensopiva tavallisen TCP:n kanssa. (RFC 6824: 2013, 1.)

MPTCP:n arkkitehtuuri on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. MPTCP:n arkkitehtuuri verrattuna tavalliseen TCP-protokollaan (RFC 6824: 2013, 6)

MPTCP:n avulla voidaan käyttää useita IP-osoitteita yhtäaikaaisesti. Hybrid-laajakaistassa tämä tarkoittaa TCP-pakettien jakamista DSL- ja 4G-putken välillä. Tämä on toteutettu kuvan 7 mukaisesti jakamalla dataa kuljetuskerrok-

sella (Transport Layer) yhdelle tai useammalle alidatavirralle (subflow). Verkkoeroksella (Internet Layer) MPTCP-paketit muutetaan taas normaaleiksi TCP-paketeiksi, jonka jälkeen liikennöinti tapahtuu normaalisti yhdellä IP-osoitteella. Hybrid-liittymässä tämä tarkoittaa DSL:n IP-osoitetta, sillä DSL-yhteys on liittymän primääriyhteys. Muussa kuin TCP-liikenteessä hybrid-laajakaista käyttää vain DSL-yhteyttä. Esimerkiksi useimmat VPN-ratkaisut käyttävät UDP:ta (User Datagram Protocol), jolloin VPN-ohjelmiston käyttö tapahtuu DSL-yhteyttä käyttäen. (Miten hybridlaajakaista käytännössä toimii? s.a.)

2.4.1 MPTCP-yhteyden muodostus ja lopetus

MPTCP-yhteys muodostetaan samalla tavalla kuin TCP-yhteys, eli kolmivaiheisella kättelyllä. MPTCP-protokollassa SYN-, SYN/ACK- ja ACK-paketit sisältävät lisäksi MP_CAPABLE-option (Multi Path Capable). Yhteyden muodostus alkaa lähettäjän lähettämällä MP_CAPABLE-option sisältävän SYN-paketin, joka kertoo lähettäjän haluavan käyttää MPTCP-protokollaa tiedonsiirrossa. Tähän vastaanottaja vastaa SYN/ACK -paketilla, joka sisältää myös MP_CAPABLE-option. Molemmat viestit sisältävät myös omat avaimensa, jotka todentavat keskustelevat laitteet. Ensimmäisen kättelyn jälkeen avaimet suojataan hash-funktiolla salatuiksi tokeneiksi. (RFC 6824: 2013, 9–10.)

Kun ensimmäinen yhteys on muodostettu, voidaan MPTCP-yhteyteen lisätä alidatavirtoja. Alidatavirrat liitetään aina olemassa olevaan yhteyteen. Uuden alidatavirran muodostamiseksi lähettäjä lähettää SYN/MP_JOIN-paketin vastaanottajalle. Paketti sisältää uniikin tokenin, jonka perusteella jokainen alidatavirta voidaan sitoa sitä vastaavaan MPTCP-yhteyteen. Autentikointiin käytetään 32-bittistä HMAC-tunnistetta (Hash-based Message Authentication Code). Kun vastaanottaja saa SYN/MP_JOIN-paketin, se laskee HMAC-tunnisteen avulla tokenin oikeellisuuden varmistaakseen, että paketin lähettäjä on osallistunut ensimmäiseen kättelyyn. Sen jälkeen vastaanottaja generoi oman HMAC-tunnisteensa ja lähettää sen alkuperäiselle lähettäjälle SYN/ACK + MP_JOIN -paketin mukana. Tähän lähettäjä taas vastaa ACK + MP_JOIN -paketilla, joka vastaavasti sisältää tämän HMAC-tunnisteen. Alidatavirran yhdistäminen päättyy vastaanottajan lähettämään ACK-pakettiin, jolla kuitataan lähettäjän lähettämän ACK + MP_JOIN -paketin tulleen perille. (RFC 6824: 2013, 10–11.)

Tavallisessa TCP-yhteydessä FIN-paketti merkitsee vastaanottajalleen, ettei paketin lähettäjällä ole enää dataa lähetettävänä. MPTCP-yhteydessä FIN-paketti vaikuttaa vain siihen alidatavirtaan, josta paketti lähetetään. Kuten tavallisen TCP-protokollan yhteys, alidatavirta on suljettu vasta, kun molemmat osapuolet ovat vastaanottaneen toistensa FIN-paketit. MPTCP-protokollan FIN-pakettia vastaavaa mekanismia nimitetään DATA_FIN-paketiksi. (RFC 6824: 2013, 12.)

2.4.2 MPTCP:n ominaisuuksia

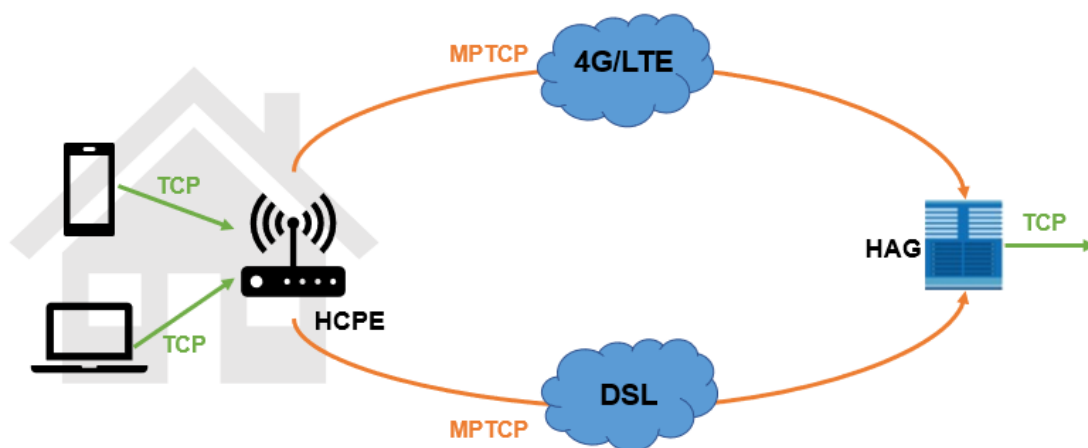
MPTCP mahdollistaa hybrid-laajakaistalle kiinteän laajakaistan sekä mobiiliyhteyden käytön yhtäaikaaisesti. Näin tuotteeseen saadaan hyödynnettyä kiinteän laajakaistan vakaa toimivuus yhdistettynä LTE:n tarjoamiin nopeuksiin. ADSL-yhteyden upload-liikenteen eli lähtevän liikenteen vaihteluväli on 0,7–1 Mbit/s ja VDSL-yhteyden 7–10 Mbit/s. LTE kiinteän laajakaistan rinnalla voi mahdollistaa jopa 10–50 Mbit/s vaihteluvälin upload-liikenteelle. (Telia Yhteys Kotiin Palvelukuvaus s.a., 4). Upload-nopeus kertoo, kuinka monta megabittiä sekunnissa tietokoneelta voidaan lähettää dataa toiselle laitteelle tai palvelimelle. Vaikka tietojen lataaminen on yleisempää, jotkut online-toiminnot tarvitsevat tietoja kulkeakseen vastakkaiseen suuntaan. Esimerkiksi sähköpostien lähettäminen, live-turnaustyyppisten videopelien pelaaminen ja videopuhelut edellyttävät nopeaa lähetysnopeutta, jotta voidaan lähettää tietoja jonkun toisen palvelimelle. Nopeuksien lisäksi MPTCP tuo vikasietoisuutta yhteydelle; mikäli kiinteä laajakaista katkeaa, on mobiiliyhteys yhä käytettävissä ja toisin päin.

Varmistaakseen luotettavan ja järjestyksessä pysyvän datan kuljetuksen alidatavirtojen yli, MPTCP käyttää 64-bittistä datasekvenssinumeroa (DSN) numeroidakseen MPTCP-yhteyden yli lähetetyn datan. Jokaisella alidatavirralla on oma 32-bittinen sekvenssinumeroalue, ja MPTCP yhdistää alidatavirran sekvenssin datasekvenssitilaan. Tällä tavalla dataa voidaan lähettää uudelleen eri alidatavirran kautta mahdollisen vian sattuessa. Redundanttisuutta saadaan lisättyä myös mahdollisilla vara-alidatavirroilla, jotka eivät lähetä dataa normaalin alidatavirran tavoin. Tämä tapahtuu priorisoimalla alidatavirtoja MP_PRIO-optiolla. Mikäli MP_JOIN-pakettiin lisätään MP_PRIO-optio, paketin

vastaanottanut alidatavirta ei lähetä dataa, ellei sille ole tarvetta. Data alkaa liikkua vasta, kun muita yhteyksiä ei ole käytettävissä. MPTCP voi siis avata monia alidatavirtoja, mutta ensisijaisesti se käyttää vain yhteyksiä, joita ei ole merkattu varayhteyksiksi. (RFC 6824: 2013, 11–12.)

2.5 HYBRIDIN TEKNINEN TOTEUTUSRATKAISU

Telian hybrid-laajakaista on toteutettu yhdistämällä DSL- sekä mobiililaajakaista yhdeksi yhteydeksi. Molemmat tekniikat toimivat liittymässä samanaikaisesti yhdistäen molempien nopeudet. Tekniikan yksinkertaistettu topologia on esitetty kuvassa 8. Liittymä vaatii toimiakseen reitittävän päätelaitteen, Hybrid CPE:n. Laite on Sagemcomin valmistama Telia Zone Hybrid -reititin, johon on sisäänrakennettu reititin, ADSL- ja VDSL2-modeemi, 4G-modeemi sekä WLAN-toiminto (Telia Zone Hybrid -reititin s.a.). Laite sisältää läpinäkyvän MPTCP-välityspalvelimen, joka muuntaa TCP-yhteydet MPTCP-yhteyksiksi. Arkkitehtuurin toinen pääelementti on Telian verkkoon asennettava Hybrid Access Gateway -laite, eli HAG. (Miten hybridlaajakaista käytännössä toimii? s.a.)



Kuva 8. Hybridin tekninen toteutus (Miten hybridlaajakaista käytännössä toimii? s.a.)

Suurin osa internetliikenteestä perustuu normaaliin TCP-protokollaan. Esimerkiksi WWW-sivujen hakeminen tapahtuu muodostamalla TCP-yhteys selaimen ja palvelimen välille. Hybrid-modeemin ja HAG-laitteen välillä käytetään kuitenkin MPTCP-protokollaa, joka mahdollistaa TCP-pakettien jaon useille yhteyksille samanaikaisesti. Hybrid-modeemin ja HAG:n välillä TCP-paketit voidaan kapasiteettitarpeesta riippuen jakaa DSL-putken ja 4G-putken kesken.

HAG päättää Hybrid-modeemin aloittamat MPTCP-yhteydet DSL- ja LTE-verkoissa ja muuttaa paketit takaisin tavallisiksi TCP-paketeiksi. HAG:sta eteenpäin liittymä näkyy verkossa DSL-yhteyden IP-osoitteella. Muu kuin TCP-liikenne käyttää liittymässä pelkkää DSL-yhteyttä. (Usein kysyttyä Hybrid s.a.)

3 LÄHTÖTILANTEEN KARTOITTAMINEN

Tässä luvussa esitellään, kuinka opinnäytetyön kehittämisosion kannalta oleellinen lähtötilanteen kartoitus on tehty. Lähtötilannetta kartoitettiin kahdella tavalla: kyselytutkimuksella sekä tekemällä havaintoja toisen asteen viankorjaukseen saapuneista hybrid-laajakaistavikailmoituksista. Luvun ensimmäisessä alaluvussa esitellään kyselytutkimus ja sen tutkimusprosessi. Tämän jälkeen saadut tulokset esitellään ja niitä analysoidaan. Luvun toisessa alaluvussa käydään läpi havainnointiin perustuva lähtötilanteen kartoittaminen, sen prosessi ja tulosten läpikäynti sekä analysointi.

3.1 Kyselytutkimus

Lähtötilanteen kartoittamisen ensimmäinen osa toteutettiin kyselytutkimuksena. Kyselytutkimuksessa aineistoa kerätään kyselylomakkeella, joka tässä opinnäytetyössä lähetettiin sähköisesti vastaanottajille. Kyselylomaketutkimus voidaan suorittaa joko poikittaistutkimuksena tai pitkittäistutkimuksena. Poikittaistutkimuksessa aineisto kerätään tietyinä ajankohtana useilta vastaajilta ja pitkittäistutkimuksessa aineistoa kerätään vähintään kahtena ajankohtana, ja siinä on mukana sama vastaajaryhmä. (Valli 2018.) Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmäksi valittiin poikittaistutkimus, ja lähtötilannetta kartoitettiin käyttäjien omien kokemusten lisäksi tarkastelemalla vikailmoituksia. Vikailmoitusten tarkastelu lähtötilanteen kartoittamisen menetelmänä esitellään tarkemmin luvussa 3.2. Kyselylomaketutkimus päädyttiin suorittamaan poikittaistutkimuksena siksi, että opinnäytetyössä tehdyt ratkaisuehdotukset jätettiin toimeksiantajan vastuulle, eikä täten pitkittäistutkimuksen omaavaa toista kyselyä ja sen aikataulua voitu varmistaa.

3.1.1 Tutkimusprosessi

Lähtötilanteen selvittäminen kyselylomakkeen avulla alkoi luonnollisesti kyselylomakkeen rakentamisella. Kyselylomakkeen alkuun sijoitettiin niin sanottuja

taustakysymyksiä, joilla selvitettiin vastaajan sen hetkinen työskentelypiste sekä työkokemus nykyisessä työtehtävässä. Muita yleisesti käytettäviä taustakysymyksiä, kuten esimerkiksi vastaajan ikää, tai sukupuolta ei kysytty kyse-lyssä, sillä näitä ei pidetty oleellisena tietona tutkimuksen osalta.

Taustakysymysten jälkeen seuraavat kysymykset riippuivat siitä, missä työskentelypisteessä eli tiimissä vastaaja kertoi työskentelevänsä. Vastaajat olivat kaikki joko niin sanotussa teknisessä asiakaspalvelussa tai asiantuntijatiimissä, eli toisen asteen viankorjauksessa. Teknisiltä asiakaspalvelijoilta kysyttiin seuraavaksi arviota omista mahdollisuuksistaan ratkaista asiakkaan ilmoitama hybrid-laajakaistaliittymään liittyvä vikatilanne ilman työn siirtämistä asiantuntijatiimille vikailmoituksena. Lisäksi teknisiltä asiakaspalvelijoilta kysyttiin yleisintä syytä sille, ettei ongelma ratkea ilman vikailmoitusta.

Kyselyn viides kysymys osoitettiin kaikille kyselyyn vastanneille. Siinä kysyttiin vastaajan kokemuksen perusteella yleisintä syytä vikailmoituksen kirjaamiselle. Tämä kysymys perustui hypoteesiin siitä, että näkemys asiasta on eri teknisen asiakaspalvelun ja asiantuntijatiimin välillä. Kyselyn kuudes kysymys suunnattiin myös kaikille vastaajille. Siinä kysyttiin, kuinka paljon vastaajan oma vika-analyysi nojaa Telian käyttämien järjestelmien kautta saatuihin analyysihin. Kysymyksellä pyrittiin selvittämään tekijöiden luottamusta järjestelmistä saatuihin analyysihin, vaikka asiakkaan kertoma eriäisi tästä. Seuraavassa kysymyksessä, joka suunnattiin myös kaikille vastaajille, selvitettiin tarkemmin mahdollista järjestelmien ja oman analyysin välillä olevaa ristiriitaa.

Kyselyn kahdeksas kysymys osoitettiin teknisen asiakaspalvelun työntekijöille ja siinä kysyttiin käytössä olevia järjestelmiä hybrid-laajakaistavikojen selvitykseen vian rajauksen ja analysoinnin osalta. Asiantuntijatiimille ei osoitettu vastaavaa kysymystä, sillä tiimin käytössä olevat työkalut olivat tutkimusta tehdessä tiedossa työskennellessäni itse kyseisessä tiimissä.

Yhdeksäs ja kymmenes kysymys esitettiin kaikille vastaajille. Näistä ensimmäisessä selvitettiin, kummalta saadun tiedon pohjalta vastaaja tekee seuraavat toimenpiteensä, mikäli asiakkaan kertoma viasta on ristiriidassa järjestelmistä saadun analyysin kanssa. Vaihtoehtoja oli vain kaksi: asiakkaan ja järjestelmien. Ristiriidalla tässä tapauksessa tarkoitetaan esimerkiksi tilannetta,

jossa asiakas ilmoittaa yhteyden pätkevän, mutta järjestelmistä saatavan analyysin perusteella yhteys on kunnossa asiakkaan modeemille asti. Seuraavilla toimenpiteillä tarkoitetaan, kirjaako vastaaja tilanteesta esimerkiksi vikailmoituksen asiantuntijatiimin käsiteltäväksi (vastaajan työskennellessä teknisessä asiakaspalvelussa) vai ilmoittaako hän asiakkaalle, että vikaa verkosta tai palvelusta ei löydy. Kymmenennessä kysymyksessä selvitettiin, mistä kanavista kyselyyn vastaaja kysyy apua hybrid-laajakaistaan liittyvissä vikatilanteissa.

Kyselyn kaksi viimeistä kysymystä esitettiin vain asiantuntijatiimin vastaajille. Näistä ensimmäisessä kysyttiin, kuinka onnistuneeksi vastaaja kokee teknisessä asiakaspalvelussa tehdyt vika-analyysit hybrid-laajakaistojen vikailmoituksissa, jotka kirjataan teknisestä asiakaspalvelusta asiantuntijatiimin käsiteltäväksi. Kysymys perustuu siihen, että edellä mainituilla tiimeillä on osittain eri järjestelmät käytössä hybrid-vikojen tutkimiseen, ja teknisestä asiakaspalvelusta saapunut analyysi asiakkaan ilmoittamasta ongelmasta käsitellään vielä alusta alkaen asiantuntijatiimin toimesta. Tällöin pystytään vertaamaan teknisestä asiakaspalvelusta saapunutta analyysiä omaan analyysiin työskennellessä asiantuntijatiimissä. Kyselyn viimeisessä kysymyksessä kysyttiin vielä tarkennusta sille, mikä asiantuntijatiimiläisen mielestä on yleisin syy virheelliselle analyysille.

Kysely lähetettiin vastaanottajille nettilinkkinä sähköpostitse. Vastaanottajana oli jakelulista, joka sisälsi kaikki Telian teknisen asiakaspalveluosaston tiimit esimiehineen. Saatekirjeessä esiteltiin opinnäytetyön aihe ja tavoitteet, kyselytutkimuksen tavoitteet sekä ilmaistiin, kenelle kysely oli osoitettu. Lisäksi vastausaika ilmoitettiin saatekirjeessä. Kyselylomakelinkki saatekirjeineen lähetettiin 1,5 viikkoa ennen kyselyn vastaamisajan umpeutumista.

3.1.2 Tulokset ja niiden analysointi

Kyselyyn vastasi 42 henkilöä, joista 74 % työskenteli jossain kolmesta teknisen asiakaspalvelun tiimistä. 26 % vastaajista oli asiantuntijatiimiläisiä. Kolmasosa kaikista vastaajista kertoi työskennelleensä nykyisessä työtehtävässään 0–1 vuotta. Suurimman osan tästä kategoriasta muodostavat kesätyön-

tekijät johtuen tutkimuksen ajankohdasta. Toiseksi suurimman kategorian kyselyyn vastanneista muodosti yli 10 vuotta työskennelleet, joita oli 24 % kaikista vastaajista.

94 % vastaajista arvioi pystyvänsä ratkaista asiakkaan ilmoittaman hybrid-laajakaistan vikatilanteen useimmiten ilman vikailmoituksen kirjaamista. 6 % puolestaan koki harvoin pystyvänsä ratkaisemaan vikatilannetta ilman vikailmoitusta. Asiakkaan kokemat vikatilanteet, jotka pystytään ratkaisemaan teknisessä asiakaspalvelussa, ovat usein esimerkiksi matkapuhelinverkon kuuluvuus- tai kapasiteettiongelmia. Lisäksi kaikki päätelaitteisiin liittyvät vika- ja ongelmatilanteet pitäisi ratketa jo teknisessä asiakaspalvelussa olemassa olevien työkalujen avulla. Vastaajien mukaan yleisin syy sille, että vikatilanne ei ratkea ilman vikailmoituksen kirjaamista, oli järjestelmien puute. Yli puolet vastaajista (52 %) koki, että järjestelmät eivät riitä vian pidempään rajaukseen tai käsittelyyn. 16 % vastauksista liittyi osaamiseen: epävarmuuteen omasta analyysistä (10 %) tai järjestelmäosaamiseen (6 %). Vastaajista 83 % koki vikailmoituksen kirjaamisen useimmiten johtuvan kiinteän laajakaistan vikatilanteesta ja vain 3 % puolestaan mobiiliverkon vikatilanteesta. 10 % vastaajista koki, että omien kokemusten perusteella yleisin syy hybrid-vikailmoituksen tekemiselle asiantuntijatiimille johtuu siitä, että asiakkaan mukaan yhteys ei toimi oikein, vaikka järjestelmien mukaan verkko on kunnossa sekä kiinteän että mobiiliverkon osalta.

Kuudes kysymys mittasi vielä hieman tarkemmin järjestelmien analyysihin luottamista. Siihen vastanneista 66 % koki tekevänsä oman vika-analyysin useimmiten järjestelmistä saadun analyysin pohjalta, luottaen kuitenkin myös asiakkaan kertomaan. Loput 34 % vastaajista koki aina pohjaavansa oman vika-analyysin järjestelmistä saatuihin tietoihin. Suurin osa (73 %) vastaajista ei kokenut oman vika-analyysinsä olevan ristiriidassa järjestelmistä saadun analyysin kanssa. Vastaajat, jotka kokivat ristiriitaa, kertoivat sen johtuvan todennäköisemmin (15 %) siitä, että tekijällä ei ole tarvittavia järjestelmiä käytössä kuin siitä, ettei tekijällä ole tarvittavaa osaamista (12 %).

Järjestelmien analyysiin luotettiin kuitenkin loppupeleissä enemmän kuin asiakkaan kertomaan vikakuvaukseen. 81 % vastaajista koki tekevänsä seuraavat toimenpiteensä järjestelmistä saatuihin tietoihin nojaten tapauksissa,

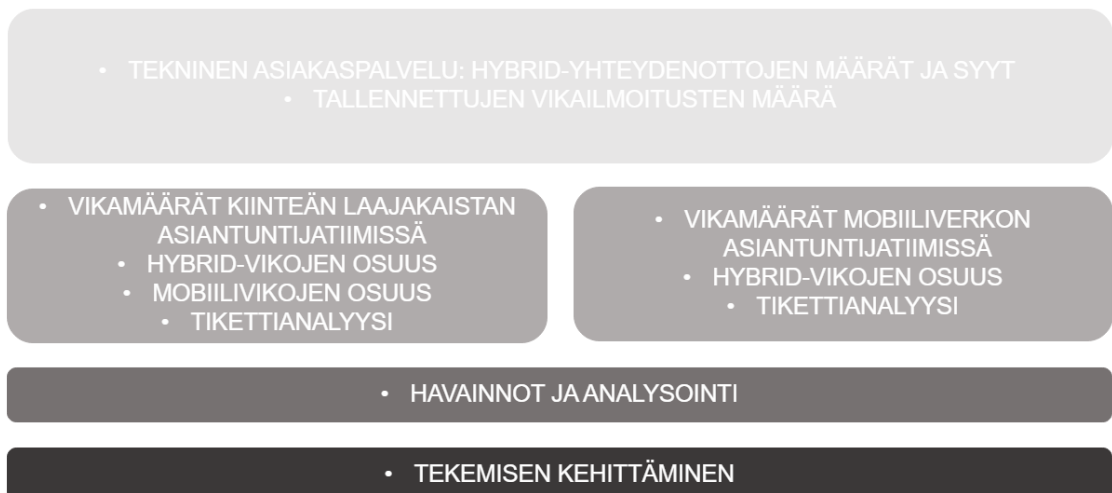
joissa ne ovat ristiriidassa asiakkaan kertoman kanssa. 19 % puolestaan koki luottavansa asiakkaan vikakuvaukseen enemmän näissä tapauksissa.

3.2 Osaamisen kartoittaminen tarkastelemalla vikailmoitusten laatua

Lähtötilanteen kartoittamisen toinen osa toteutettiin havainnoimalla teknisen asiakaspalvelun kirjaamia vikailmoituksia, jotka käsitellään asiantuntijatiimissä. Tutkimusmenetelmää kutsutaan tässä opinnäytetyössä tikettianalyysiksi. Tikettianalyysi on kvalitatiivinen tapa tutkia Telian teknisen asiakaspalveluosaston lähtötasoa hybrid-laajakaistavikojen ratkaisemisessa. Vikailmoituksia tarkasteltiin kriittisesti sekä teknisen asiakaspalvelun kirjaamisen näkökulmasta että asiantuntijatiimin käsittelyn osalta. Tikettianalyysillä pyrittiin löytämään yhteyksiä kyselytutkimuksesta saatuihin tuloksiin sekä saamaan toinen näkökulma lähtötilanteen kartoittamiseksi.

3.2.1 Tutkimusprosessi

Tikettianalyysi toteutettiin monitasoisena laadullisena tutkimuksena. Tarkasteltavaksi ajankohdaksi valikoitui 1.7.–18.8.2019 ja tältä seitsemän viikon tarkasteluajalta käytiin läpi kaikki Telian teknisen asiakaspalvelun osastolle saapuneet hybrid-vikatilanteet. Tikettianalyysin monitasoista rakennetta on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. Tikettianalyysin rakenne

Kuvan mukaisesti ensimmäisenä läpikäytiin asiakkaalta tekniseen asiakaspalveluun tulleet hybrid-yhteydenotot. Tähän käytettiin apuna teknisessä asiakas-

palvelussa käytettävää järjestelmää, jonne kirjataan manuaalisesti asiakkaiden yhteydenotot ja niiden syyt. Soitonsyistä valikoitiin pelkät hybrid-tapaukset. Tämän jälkeen tarkasteltiin, minkälaisista ongelmista asiakkaat useimmiten ovat yhteydessä, kuinka suuri osa asiakkaiden tekemistä vikailmoituksista ratkeaa teknisessä asiakaspalvelussa ilman vikailmoituksen kirjaamista asiantuntijatiimiin ja kuinka suuri osa puolestaan vaatii vikailmoituksen.

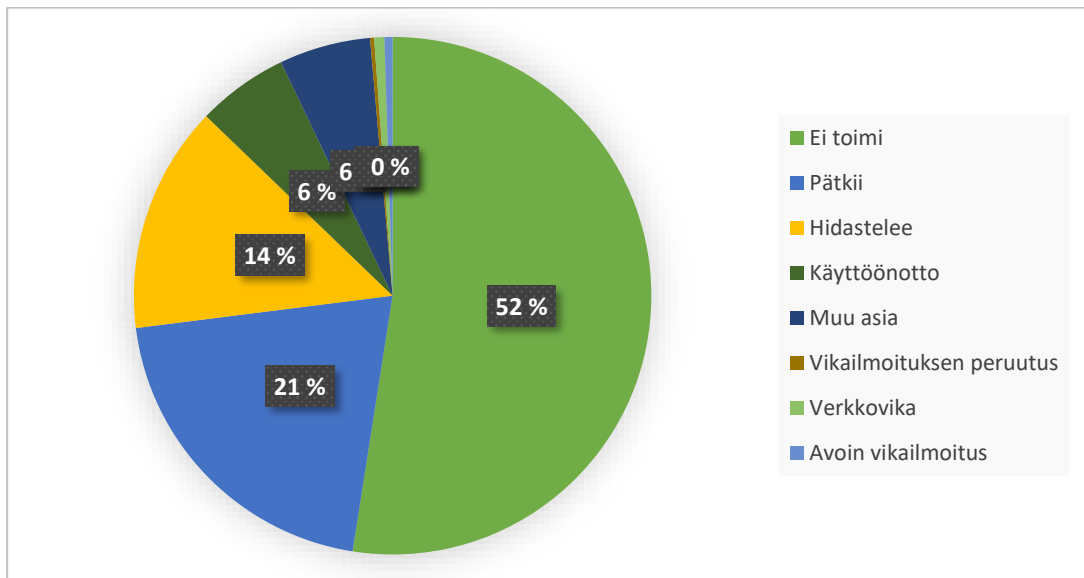
Tämän jälkeen käytiin tarkemmin läpi, minne vikailmoitukset kirjataan ja minkälaisilla analyyseillä. Hybrid-tuotteen vikailmoituksia käsitellään kahdessa eri asiantuntijatiimissä, joita tässä opinnäytetyössä nimitetään kiinteän laajakais-tan asiantuntijatiimiksi ja mobiiliverkon asiantuntijatiimiksi. Kiinteän laajakais-tan asiantuntijatiimin tehtäviin kuuluu nimensä mukaisesti kiinteän laajakaista-liittymien toisen asteen viankorjaus sekä hybrid-liittymien viankorjaus tapauksissa, joissa vika jää kiinteään laajakaistaan tai hybridiin tuotteena. Mobiiliverkon asiantuntijatiimi puolestaan on vastuussa matkapuhelinliittymien (niin puhelin- kuin dataliittymien) toisen asteen viankorjauksesta. Myös mobiiliverkon asiantuntijatiimi käsittelee hybrid-vikailmoituksia silloin, kun vika on selkeästi rajattu matkapuhelinverkkoon. Pääsääntöisesti molemmilla asiantuntijatiimeillä on valmiudet käsitellä hybrid-vikoja ja tarvittaessa vikailmoituksia voidaan siirrellä myös tiimiltä toiselle vian juurisyyn mukaan.

Asiantuntijatiimien vikamäärät käytiin ensin läpi tuotteesta riippumatta. Tämän jälkeen vasta rajattiin, kuinka suuri osa vikailmoituksista koski hybrid-liittymiä. Kiinteän laajakais-tan asiantuntijatiimiin tulleista hybrid-vikailmoituksista karsittiin vielä kaikki selkeät kiinteään laajakaistaan jääneet viat pois perustuen vikailmoitusten analyyseihin ja valmis-kuittauksiin. Mobiiliverkon asiantuntijatiimiin tulleet hybrid-viat koskivat kaikki matkapuhelinverkkoa asiakkaan ja teknisen asiakaspalvelun tekemän vika-analyysin mukaan. Kun tarkastelujakson aikana tallennetut matkapuhelinverkkoa koskevat hybrid-vikailmoitukset oli saatu selville, alettiin näitä tarkemmin läpikäydä ja analysoida. Tikettianalyy-sistä saadut havainnot ja niiden analysointi on esitetty luvussa 3.2.2.

3.2.2 Tulokset ja niiden analysointi

Tarkasteluajalla 1.7.–18.8.2019 asiakkailta tekniseen asiakaspalveluun tulleita yhteydenottoja hybridiin liittyen oli soitonsyyjärjestelmään tehtyjen kirjausten

perusteella 789. Yhteydenottojen syyt on esitetty kuvassa 10. 52 % asiakkaiden ilmoittamista ongelmista koski toimimatonta yhteyttä. Tämä voi tarkoittaa hybrid-liittymissä joko kokonaan toimimatonta yhteyttä, toimimatonta kiinteää laajakaistaa tai toimimatonta mobiiliyhteyttä. Toiseksi eniten vikailmoituksia tuli pätkivistä yhteyksistä ja kolmanneksi yleisin soiton syy oli hidasteleva yhteys. Muita syitä yhteydenotoille oli käyttöönottoon tai muihin asioihin liittyvät soitot, liittymällä avoin vikailmoitus tai verkkovika sekä vikailmoituksen peruutus. Tekniseen asiakaspalveluun tulleista hybrid-vikailmoituksista 32 % oli kirjattu eteenpäin asiantuntijatiimin käsiteltäväksi. Tämä tarkoittaa, että 68 % vioista oli pystytty ratkaisemaan heti teknisessä asiakaspalvelussa, parhaassa tapauksessa asiakkaan ensimmäisellä yhteydenotolla.



Kuva 10. Soitonsyyt tekniseen asiakaspalvelun tulleissa hybrid-yhteydenotoissa

Seitsemän viikon tarkasteluajanjakson aikana kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimin käsiteltäväksi oli jätetty 3 262 vikailmoitusta. Näistä tarkastelujakson aikana tulleista vikailmoituksista 465 vikaa koski hybrid-liittymää ja 58 % näistä vioista pystyttiin ratkaisemaan asiantuntijatiimin toimesta etänä tehtävillä korjaustoimenpiteillä. Asentajalle siirretyissä vikailmoituksissa vika on aina rajattu kiinteään laajakaistaan, joten nämä vikailmoitukset rajattiin suoraan tikettianalyysistä pois. Loput vikailmoitukset käytiin yksitellen läpi ja perustuen vian analysointiin ja valmis-kuittauksiin, tarkempaan tikettianalyysiin pääsi 42 vikailmoitusta, jotka kaikki koskivat hybridin mobiiliyhteydessä, laitteessa tai tuotteessa ilmenevää vikatilannetta.

Nämä 42 vikailmoitusta käytiin yksitellen läpi. Vikailmoituksia läpikäydessä havaittiin, että suurin osa vikailmoituksista koskee hidasta (40 %) tai pätkivää (30 %) yhteyttä. Muita kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimille kirjattuja vikailmoituksia olivat yksittäiset hybrid-modeemin ohjelmistopäivityksiin liittyvät pyynnöt sekä tapaukset, joissa mobiili oli lakannut kokonaan toimimasta. Tikettianalyyssissa havaittiin muutamia laadullisia seikkoja hybrid-vikailmoitusten kirjaamiseen sekä käsittelyyn liittyen. Yleisesti ottaen näissä vikailmoituksissa ei oltu vikailmoituksen kirjaajan (tekninen asiakaspalvelu) toimesta määritelty, johtuuko pätkiminen tai hidastelu mobiiliverkon vai kiinteän laajakaistan ongelmista, vaikka tämä olisi käytössä olevien järjestelmien avulla ollut mahdollista rajata. Vikailmoitukset näissä tapauksissa oli kirjattu huolimatta järjestelmien ja asiakkaan kertoman välisestä ristiriidasta, joka eroaa hieman kyselytutkimuksesta saatuihin tuloksiin.

Vikailmoituksen käsittelijän puolelta (asiantuntijatiimi) havaittiin, että niissä tapauksissa, kun vika oli rajattu jäävän jonnekin muuhun kuin kiinteään laajakaistaan, vikatilanteen ratkaisu jäi usein epäselväksi. Viidesosassa läpikäydyistä hybrid-vikailmoituksista havaittiin tarvetta kehittää vianselvitystä huomattavasti. Vaikka näissä tapauksissa harvoin kyse on matkapuhelinverkon viasta, voi vianselvitys jäädä asiakkaan näkökulmasta näissä tapauksissa epäselväksi. Todennäköisin vikakohta pätkivälle tai hitaalle hybrid-liittymälle tapauksissa, joissa vikaa ei löydy kiinteästä laajakaistasta, on matkapuhelinverkon kuuluvuus- tai kapasiteettiongelma. Vaikka kyseessä ei ole varsinaisesti vikatilanne vaan matkapuhelinverkon ominaisuus, on asiakastyytyvyyden kannalta oleellista informoida asiakkaalle, mistä pätkiminen tai hidastelu johtuu ja ohjeistaa asiakasta jatkotoimenpiteissä.

Mobiiliverkon asiantuntijatiimille oli kirjattu tarkasteluaikana 709 vikailmoitusta. Näistä 70 % koski mobiilinettiä ja loput puhelu- ja viestivikoja. Data-vikailmoitukset käytiin läpi ja tarkempaan analyysiin valittiin kaikki hybrid-liittymistä kirjattut vikailmoitukset, joita tarkasteluaikana oli kirjattu 15. Näistä vikailmoituksista 47 % koski hidasta mobiilinettiä, 27 % hybrid-liittymässä pätkivää mobiiliyhteyttä ja 27 % kokonaan toimimattomia mobiiliyhteyksiä. Suurin osa (80 %) vioista oli kuitattu valmiiksi valinnalla "ei vikaa verkossa". Näissä tapauksissa kyse oli ollut muun muassa kuuluvuusongelmasta, kapasiteettion-

gelmasta tai laiteviasta ja korjaustoimenpiteinä asiakkaille oli opastettu mo-
deemin asetuksista verkko- tai taajuuslukituksia sekä kirjattu kuuluvuus- tai
kapasiteettipalautteita verkonsuunnitteluun.

Tikettianalyysissä selvitettiin myös vikojen läpikulkuaika. Läpikulkuaika lasket-
tiin asiakkaan ensimmäisestä vikaan liittyvästä yhteydenotosta vian ratkaise-
miseen asti kuluva aika. Vikojen läpikulkuajat ovat toimeksiantajalle jäävässä
salaiseksi julkaistussa liitteessä (liite 1).

4 OSAAMISEN KEHITTÄMINEN

Työn neljännessä luvussa keskitytään hybrid-laajakaistavikojen ratkaisukyvyk-
kyden kehittämiseen matkapuhelinverkon osalta. Luvun ensimmäisessä ala-
luvussa kuvataan Telian teknisen asiakaspalveluosaston tekeminen ja vika-
prosessin kulkeminen asiakkaan havaitseman vian kulkemisesta vian korjauk-
seen asti. Tämän jälkeen pohditaan lähtötilanteen kartoittamisesta saatujen
havaintojen perusteella, minkälaista osaamista hybrid-laajakaistavikojen rat-
kaisemiseen tarvitaan teknisessä asiakaspalvelussa ja asiantuntijatiimissä.
Luvussa 4.3 esitetään konkreettisia toimenpiteitä, kuinka ratkaisukyvykkyyttä
voitaisiin parantaa osastolla. Tämän jälkeen luvun viimeisessä alaluvussa ker-
rotaan, kuinka onnistumista mitataan.

4.1 Hybrid-liittymän vikaprosessi

Telian tekninen asiakaspalvelu vastaanottaa yhteydenottoja puhelimitse, cha-
tissa sekä kirjallisina työpyyntöinä sidosryhmiltä tai suoraan asiakkailta. Vian
rajaus tehdään teknisen asiakaspalvelun toimesta eri järjestelmiä apuna käyt-
tään. Vikailmoitusta tallennettaessa on teknisen asiakaspalvelun apuna vian-
rajaustyökalu, jonka avulla selvitetään vianrajauksen kannalta oleellisia tietoja
vikatilanteesta ja tarjotaan mahdollisia ratkaisuehdotuksia. Mikäli ongelma ei
ratkea asiakkaan yhteydenoton aikana, vikailmoitus kirjataan eteenpäin tekni-
kasta riippuen hybrid-tapauksissa jommankumman asiantuntijatiimin käsiteltä-
väksi. Pääotsikoksi valikoituu liittymätyyppi sekä kuvaus vikatilanteesta, esi-
merkiksi ”hybrid pätkii”.

Sen lisäksi, että asiakas voi olla yhteydessä tekniseen asiakaspalveluun, asiakas voi jättää myös itsepalveluna vikailmoituksen suoraan kiinteän laajakais-tan asiantuntijatiimiin vian koskiessa kiinteää laajakaistaa. Kiinteän laajakais-tan asiantuntijatiimi käsittelee työt omasta työjonostaan vikailmoitusten saapu-misjärjestyksessä. Asiantuntijatiimeillä on hieman eri järjestelmiä käytössä hybrid-vikojen selvittämiseksi. Esimerkiksi hybrid-yhteyden tarkemman diag-nostiikan työkalu on toistaiseksi käytössä vain asiantuntijatiimeissä. Kun vikail-moitus on käsitelty asiantuntijatiimin toimesta, asiakkaalle ilmoitetaan ratkaisu joko tekstiviestillä tai puhelimitse.

Mobiiliverkon asiantuntijatiimiin kirjatut vikailmoitukset eivät vikaprosessiin nähden juuri eroa kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimiin kirjatuista vikailmoi-tuksista. Myös mobiiliverkkoa koskevissa yhteydenotoissa teknisen asiakas-palvelun apuna on vianrajaustyökalu, jota käyttämällä mahdolliseen vikailmoi-tukseen saadaan tarvittavat tiedot. Vikailmoituksen siirtyessä mobiiliverkon toi-sen asteen viankorjaukseen, asiakkaaseen ollaan myös yhteydessä puheli-mitse tai tekstiviestillä vianselvityksen edetessä.

4.2 Havaitut kehityskohteet

Lähtötilanteen kartoittamisessa havaittiin, että hybrid-laajakaistaliittymien vian-korjauksessa tulee osaamista kehittää sekä ensimmäisen että toisen asteen viankorjauksessa. Teknisen asiakaspalvelun osalta kyselytutkimus osoitti, että nykyiset järjestelmät eivät riitä vian pidempään rajaukseen. Toisaalta taas ky-selytutkimuksesta saatiin selville, että eniten vikailmoituksia asiantuntijatii-meille kirjataan kiinteän laajakaistan vioista. Asiantuntijatiimillä sekä teknisellä asiakaspalvelulla on lähes samat järjestelmät hybrid-yhteyksien vianselvityk-seen pois lukien aiemmin mainittu diagnostiikkatyökalu. Kyseessä on hybrid-yhteyden vianselvitykseen tarkoitettu järjestelmä, jonka käytöstä teknisessä asiakaspalvelussa voisi olla hyötyä hybrid-vikojen ratkaisemiseksi ja täten rat-kaisukyvykkyyden edistämiseksi. Myös vikailmoitusten laadussa havaittiin pa-rannuksen varaa. Tikettianalyysissä havaittiin, ettei pätkivän tai hidastelevan yhteyden vikailmoituksissa oltu usein rajattu, jääkö ongelma matkapuhelin-verkkoon vai kiinteään laajakaistaan.

Asiantuntijatiimien osalta merkittävimmät havainnot tehtiin tikettianalyysin perusteella. Kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimiltä havaittiin puuttuvan selkeä toimintamalli sekä järjestelmäosaamista hybrid-laajakaistojen mobiilivikojen selvittämiseen. Näistä syistä johtuen vikatilanteiden ratkaisu jäi osassa tapauksista epäselviksi. Tikettianalyysissä sekä kyselytutkimuksessa havaittiin, että tarvittavat järjestelmät hybrid-liittymien mobiilivikojen selvittämisen kannalta löytyy, mutta niiden käyttöä ja järjestelmäosaamista tulee kehittää.

4.3 Osaamisen kehittäminen

Teknisen asiakaspalvelun tärkein kehityskohde havaittiin kyselytutkimuksella. Teknisen asiakaspalvelun vastaajien mukaan nykyiset järjestelmät eivät riitä vian pidempään rajaukseen, jolloin vikailmoitus kirjataan asiantuntijatiimille, jossa järjestelmiä on laajemmin käytössä. Toisena kehityskohtana voidaan pitää vikailmoitusten laadun parantamista etenkin pätkivissä ja hidastelevissa yhteyksissä. Asiantuntijatiimien käytössä oleva hybrid-yhteyksien diagnostiikkatyökalu voisi auttaa teknistä asiakaspalvelua rajaamaan vikaa pidemmälle, jolloin eteenpäin kirjattavien vikailmoitusten määrä mahdollisesti pienenesi entisestään ja laatu puolestaan paranisi. Ensimmäinen kehitystoimenpide on kyseisen järjestelmän käyttöönotto ja kouluttaminen teknisessä asiakaspalvelussa. Toisena kehitystoimenpiteenä voisi teknisen asiakaspalvelun käytössä olevaa vianrajaustyökalua kehittää entisestään siten, että puutteellisilla tiedoilla kirjattujen vikailmoitusten määrä vähenisi. Teknisen asiakaspalvelun osalta havaitut kehityskohteet ja niihin mietityt toimenpiteet esitettiin tiimien esimiehille, joiden päätettäväksi jää, mitä toimenpiteitä toteutetaan ja millä aikataululla.

Kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimin kehityskohteiksi havaittiin mobiilipuolen osaaminen sekä yhteneväisemmän toimintamallin luominen hybrid-vikoihin tilanteissa, joissa vika ei jää kiinteään laajakaistaan. Vikaprosessin kehittäminen tapahtui syyskuussa 2019 esittelemällä tiimille tehdyt havainnot hybrid-vikojen käsittelystä kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimissä. Tiimille esitettiin kyselytutkimuksesta sekä tikettianalyysistä tehdyt havainnot ja analyysit sekä kartoitettiin mahdollisia syitä epäselväksi jääneiden vikojen käsittelylle mobiiliin

osalta. Kehittämistoimenpiteeksi sovittiin toimintamalli hybrid-laajakaistojen viikailmoitusten käsittelemiseksi sekä koulutuksia järjestelmäosaamisen kehittämiseksi.

Järjestelmäosaamista kehitettiin asiantuntijatiimin kanssa syksyn 2019 aikana järjestämällä sitä varten suunniteltuja koulutuksia. Koulutuksissa käytiin läpi kahden eri käytössä olevan mobiilijärjestelmän käyttötarkoitusta sekä käyttöä. Tavoitteena oli kasvattaa kyseisten järjestelmien kautta hybrid-laajakaistaliittymien mobiilivikojen ratkaisukyvykkyyttä kiinteän laajakaistan asiantuntijatiimissä. Ratkaisukyvykkyyden kasvaessa vika saadaan rajattua tiettyyn vika-kohtaan ja asiakkaalle näin ilmoitettua seuraavat toimenpiteet, vaikkei vika olisikaan operaattorin korjattavissa.

4.4 Tulosten dokumentointi ja onnistumisen mittaaminen

Opinnäytetyössä löydetyt kehityskohteet ja niiden pohjalta rakennetut ratkaisuehdotukset esitettiin toimeksiantajalle, jonka vastuulle jätettiin toimenpiteiden toteuttaminen sellaisenaan tai soveltaen parhaaksi katsomallaan tavalla. Koska kyseessä on ensisijaisesti laadullinen tutkimus, tutkimuksesta saatuja tuloksia ja niiden pohjalta tehtyjä analyyseja pyritään enemmän kuvailemaan mittaamisen sijasta. Tutkimusmenetelminä opinnäytetyössä käytettiin kyselytutkimusta ja tikettianalyysiä. Molemmista tutkimusmenetelmistä saatiin myös määrällisiä arvoja ylös, ja lähtötilanteen kartoittamisesta saatuja aineistoja voitaisiin täten hyödyntää mittarina myöhemmin. Kaikki työssä tehdyt havainnot jätettiin toimeksiantajalle kirjallisesti. Lähtötilanteen kartoittamisen jälkeen tehtävien mahdollisten toimenpiteiden vaikutusta voitaisiin onnistumisen näkökulmasta mitata esimerkiksi uudella kyselytutkimuksella tai tikettianalyysillä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa vastataan opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin sekä esitellään työn tulosten pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä. Opinnäytetyön tutkimuskysymykset olivat:

1. Mikä on Telian teknisen asiakaspalveluosaston lähtötaso hybrid-laajakaistan vianselvityksessä matkapuhelinverkon vikatilanteiden osalta?

2. Minkälaista osaamista hybrid-laajakaistojen vianselvityksessä tarvitaan ja miten sitä voitaisiin kehittää?

Ensimmäisellä tutkimuskysymyksellä pyrittiin selvittämään teknisen asiakaspalvelun lähtötasoa ratkaista asiakkaan ilmoittama ongelma hybrid-laajakaistaliittymästä kirjaamatta siitä erillistä vikailmoitusta asiantuntijatiimin käsitteilyyn, eli toisen asteen viankorjaukseen. Toisen asteen viankorjauksen osalta kysymyksellä pyrittiin puolestaan selvittämään teknisen asiakaspalvelun kirjaamien vikailmoitusten ratkaisemisen laatua matkapuhelinverkon vikatilanteiden osalta. Toinen tutkimuskysymys oli jatkona ensimmäiselle, ja sillä pyrittiin selvittämään mahdolliset kehityskohteet hybrid-laajakaistan viankorjauksessa ja löytämään näille ratkaisuja.

Teknisen asiakaspalvelun lähtötasoa hybrid-vianselvityksessä voidaan pitää hyvänä, sillä suurin osa vioista ratkeaa kirjaamatta vikailmoitusta. 32 % vikatilanteista tutkimuksen tarkasteluajanjaksolta päätyi vikailmoituksena asiantuntijatiimin käsiteltäväksi. Kyselytutkimus osoitti, että vikailmoituksen kirjaaminen johtuu useimmissa tapauksissa järjestelmien puutteesta teknisessä asiakaspalvelussa. Asiantuntijatiimin lähtötasossa havaittiin myös olevan kehitettävää. 20 % käsiteltävistä vikailmoituksista tunnistettiin kehitystarpeita tilanteissa, joissa laajakaistaverkossa ei tunnistettu vikatilanteita.

Kyselytutkimuksessa havaittiin, että teknisessä asiakaspalvelussa lisäosaamista tarvitaan etenkin vianrajauksessa. Teknisen asiakaspalvelun osaamista hybrid-laajakaistojen vianselvityksessä voitaisiin kehittää kouluttamalla teknisen asiakaspalvelun käyttöön asiantuntijatiimin käytössä oleva hybrid-yhteyksien diagnostiikkatyökalu. Lähtötilanteen kartoittamisessa havaittiin myös, että pätkivien tai hidastelevien hybrid-liittymien vianrajausta tulisi kehittää, sillä näistä kirjatuissa vikailmoituksissa havaittiin laadullisia puutteita. Vianrajausta voisi diagnostiikkatyökalun lisäksi parantaa kehittämällä muita vianrajaustyökaluja, joiden avulla tekninen asiakaspalvelu asiakkaan kanssa vikaa rajaa.

Asiantuntijatiimissä kehitystarpeita tunnistettiin vianrajauksessa ja toimintamallin yhtenäistämässä. Lisäosaamista tarvitaan mobiiliverkon vianrajaukseen tilanteissa, joissa vika ei jää laajakaistaverkkoon. Havainnot tehtiin tiket-

tianalyysillä ja toimenpiteenä asiantuntijatiimille järjestettiin koulutuksia mobiili-osaamisen kehittämiseksi. Koulutusten lisäksi tiimin osaamisen kehittämiseksi laadittiin selkeät toimintaohjeet matkapuhelinverkon vikatilanteiden rajaukseksi ja korjaamiseksi.

6 PÄÄTÄNTÖ

Päätäntö muodostaa työn viimeisen luvun. Luvussa arvioidaan tutkimuksen onnistumista sekä pohditaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää teknisen asiakaspalveluosaston osaamista tasalaatuisemmaksi hybrid-yhteyksien matkapuhelinverkon vianrajauksen osalta. Tavoitteena oli löytää toimenpiteitä, joilla kehittää ratkaisuaستetta, minimoida asiantuntijatiimille tulevien vikailmoitusten määrää sekä parantaa kirjattavien vikailmoitusten laatua. Tavoitteisiin pääsyn mittaaminen perustuu löydettyihin kehityskohtiin ja niiden pohjalta tehtyihin ratkaisuehdotuksiin. Toisen asteen viankorjauksen ratkaisuehdotus saatiin toteutettua opinnäytetyöprosessin aikana, mutta toteutuksen jälkeisiä tuloksia esimerkiksi vian läpikulkuajasta ei ole mitattu. Voidaan kuitenkin todeta, että tavoitteisiin päästiin, sillä lähtötilanne saatiin kokonaisvaltaisesti kartoitettua ja konkreettisia toimenpiteitä löydettiin osaamisen kehittämiseksi. Tutkimuskysymyksiin löydettiin vastaukset opinnäytetyön aikana.

Tutkimus koostuu teoreettisesta viitekehyksestä sekä lähtötietojen kartoittamisesta. Teoreettisessa viitekehyksessä perehdyttiin hybrid-laajakaistan tekniseen toteutukseen. Empiirinen osuus koostuu kyselytutkimuksesta sekä havainnoivasta tutkimuksesta, joka toteutettiin tikettianalyysinä. Valitut tutkimusmenetelmät sopivat hyvin tutkittavaan aiheeseen. Lähtötilannetta oli tarpeellista tarkastella kahdesta eri näkökulmasta, sillä osa kyselytutkimuksessa saaduista tuloksista oli hieman ristiriidassa tikettianalyysistä tehtävien havaintojen kanssa. Kahta eri laadullista tutkimusmenetelmää hyödyntämällä saatiin lähtötilanteesta kokonaisvaltaisempi kuva. Työssä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää Telian teknisen asiakaspalveluosaston viankorjauksen kehittämisessä hybrid-liittymien osalta. Tuloksia ei kuitenkaan voida yleistää otannan ollessa melko pieni. Tutkimusta ei toisin sanoen voida pitää yleisesti luotettavana, joskin se toimi pienestä otannastaan riippumatta nimenomaan kyseisen tutkittavan ryhmän tarpeisiin.

Aikaisempia tutkimuksia aiheesta löytyi vain vähän. Ainut Telialle tehty opin- näytetyö hybrid-laajakaistasta koskee tuotteen teknistä toteutusta Telian ver- kossa. Työ sisältää Telialle tehdyn salaisen verkkokuvan hybrid-laajakaistan toteutuksesta. Viankorjausta tuotteen osalta ei ole aiemmin tutkittu tuotteen ol- lessa vielä melko uusi. Jatkotutkimusaiheita avautuu lähtötilanteen kartoittami- sen jälkeen monia. Tässä työssä löydettiin muutamia ratkaisuehdotuksia tuot- teen viankorjauksen kehittämiseksi ja täten asiakastytyvyyden kasvatta- miseksi. Konkreettisten toimenpiteiden toteutus jäi toimeksiantajalle. Jatkotut- kimuksena tuotteen viankorjausta voisi tutkia uudestaan esimerkiksi vuoden kuluttua, jotta nähtäisiin, onko tehdyillä toimenpiteillä ollut odotettua vaikutusta viankorjauksen osalta. Lisäksi MPTCP tarjoaa varmasti yleistyessään lisää tutkimusaiheita.

LÄHTEET

Betts, A. 2019. What Is a SIM Card and What Does It Do? WWW-dokumentti. Päivitetty 23.4.2019. Saatavissa: <https://www.makeuseof.com/tag/why-do-cellphones-need-a-sim-card/>. [Viitattu 23.6.2019].

Chang, E. 2018. What Does a SIM Card Do and Why Do You Need One? WWW-dokumentti. Päivitetty 3.12.2018. Saatavissa: <https://www.thestreet.com/technology/what-does-sim-card-do-14796633>. [Viitattu 23.6.2019].

CWNA. Certified Wireless Network Administrator. Official Study Guide. 2017. 2. Painos. United States of America: CertiTrek Publishing.

Golden, P., Dedieu, H. & Jacobsen, K. 2006. Fundamentals of DSL Technology. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC.

GSMA Future Networks. 2019. Mobile Backhaul: An Overview. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.6.2019. Saatavissa: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/mobile-backhaul-an-overview/>. [Viitattu 16.2.2020].

Holma, H. & Toskala, A. 2000. WCDMA FOR UMTS. Radio Access For Third Generation Mobile Communications. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Hybridlaajakaista? Miten se toimii? 2019. Telia Yhteisö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yhteiso.telia.fi/t5/Blogi/Hybridilaajakaista-Miten-se-toimii/ba-p/181592>. [Viitattu 7.1.2020].

Laaksonen, K. 2018. Kaikki irti 4G-liittymästä. Mikrobitti. Saatavissa: <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/kaikki-irti-4g-liittymasta/7e03f10b-7caa-374f-9b89-cd7f15ec25fd>. [Viitattu 7.1.2020].

Laine-Lassila, S. 2018. Langattomat sukupolvet 1G, 2G, 3G, 4G, 5G... WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ficom.fi/ajankohtaista/uutiset/langattomat-sukupolvet-1g-2g-3g-4g-5g%E2%80%A6>. [Viitattu 23.6.2019].

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020. Lisää taajuuksia 5G:lle – lausuntokierros taajuushuutokaupan ehdoista alkaa. WWW-dokumentti. Saatavissa:

https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/lisaa-taajuuksia-5g-lle-lausuntokierros-taajuushuutokaupan-ehdoista-alkaa. [Viitattu 10.2.2020].

Lähteenmäki, P. 2019. 5G leviää nyt uusiin kaupunkeihin, ja verkoissa on sekä Nokia, Ericssonin että Huaweiin laitteita – ”Peitto paranee ripeästi”.

WWW-dokumentti. Päivitetty 9.11.2019. Saatavissa: <https://www.talouselama.fi/uutiset/5g-leviaa-nyt-uusiin-kaupunkeihin-ja-verkoissa-on-seka-nokian-ericssonin-etta-huawein-laitteita-peitto-paranee-ripeasti/d73837ae-2a8b-47cb-9558-197fcd4ee38a>. [Viitattu 10.2.2020].

Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat. 2015. STUK. WWW-dokumentti.

Päivitetty 28.9.2015. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>. [Viitattu 23.6.2019].

Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat. 2019. Traficom. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>. [Viitattu 24.6.2019].

Nettiyhteyden nopeuteen ja laatuun vaikuttavat tekijät. 2019. Traficom. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/laajakaista-ja-puhelin/nettiyhteyden-nopeuteen-ja-laatuun-vaikuttavat-tekijat>. [Viitattu 23.6.2019].

Ohjeita puhelin- ja laajakaistaliittymän toimivuus- ja saatavuusongelmissa.

2019. Traficom. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/laajakaista-ja-puhelin/ohjeita-liittyma-saatavuus-ja-toimintaongelmiin>. [Viitattu 25.6.2019].

Radiolupien myöntäminen 5G-testikäyttöön. 2019. Traficom. WWW-dokumentti.

Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/radiolupien-myontaminen-5g-testikayttoon>. [Viitattu 23.6.2019].

Ranger, S. 2020. What is the IoT? Everything you need to know about the Internet of Things right now. ZDNet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.zdnet.com/article/what-is-the-internet-of-things-everything-you-need-to-know-about-the-iot-right-now/>. [Viitattu 10.3.2020].

RFC 6824:en. 2013. TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses.

RFC 793:en. 1981. Transmission Control Protocol.

Summers, C. 1999. ADSL Standards, Implementation, and Architecture. Boca Raton: CRC Press LLC.

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018. Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö 2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/sutivi/2018/sutivi_2018_2018-12-04_fi.pdf. [Viitattu 23.6.2019].

Telia Yhteys Kotiin Palvelukuvaus. s.a. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.telia.fi/dam/jcr:0ec764b6-2fb7-47b2-a049-f1d5a18cdefa/TELIA_YHTEYS_KOTIIN_HYBRID_PALVELUKUVAUS_11_2018_FI.pdf. [Viitattu 16.2.2020].

Valli, R. 2018. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle.5., uudistettu painos. Jyväskylä: PS-kustannus.