

# **Kotitalouksien internet-yhteyksien teknistaloudellinen mallinnus 2015 - 2025**

Jimi Viitanen

## **Sähkötekniikan korkeakoulu**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 18.4.2016

### **Työn valvoja:**

Prof. Heikki Hämmäinen

### **Työn ohjaaja:**

Prof. Heikki Hämmäinen

|  |              |                  |
|--|--------------|------------------|
| Tekijä: Jimi Juhani Viitanen   |              |                  |
| Työn nimi: Kotitalouksien internet-yhteyksien teknistaloudellinen mallinnus 2015 - 2025  |              |                  |
| Päivämäärä: 18.4.2016  | Kieli: Suomi | Sivumäärä 8 + 78 |
| Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos  |              |                  |
| Professuuri: Tietoverkkotalous   |              |                  |
| Valvoja: Prof. Heikki Hämmäinen  |              |                  |
| Ohjaaja: TkT Heikki Hämmäinen  |              |                  |
| <p>Tässä diplomityössä on tutkittu millä siirtotavalla suomalaiset kotitaloudet käyttävät internet-yhteyttä kotonaan, ja millä tekniikalla internet-yhteyttä käytetään kodin sisällä langattomasti. Näiden ratkaisujen markkinaosuuksien muutosta vuosiin 2020 ja 2025 mennessä mallinnetaan työssä. Kuuluvuusongelmat kodin sisällä oletetaan yhdeksi merkittäväksi tekijäksi tulevaisuuden kehitykselle. Työssä tutkitaan miten kuuluvuusongelmia pyritään ratkaisemaan, ja arvioidaan femto-tukiasemien mahdollisuutta ratkaista kuuluvuusongelmat tulevaisuudessa. Kuuluvuusongelman lisäksi työssä nousee erittäin vahvasti esiin mobiilidatan hinnan kehityksen vaikutus internet-yhteyden siirtotapoihin. Myös Suomen erilainen internet-yhteyden hinnoittelu muuhun Eurooppaan verrattuna nousee esille.</p> <p>Mallinnus on tehty arvioimalla mitkä ovat kriittisiä muutokseen vaikuttavia tekijöitä, haastatteleamalla asiantuntijoita sekä luomalla Excel-ohjelmistolla arviointityökalu tämän perusteella mallinnusta varten. Arviointityökalua käytetään luomaan erilaisia skenaarioita tulevaisuudesta, joiden perusteella arvioidaan miten eri tekijöiden muutokset vaikuttavat toisiinsa.</p> <p>Lopulliset mallinnukset vaihtelevat eri skenaarioissa, mutta yleisesti voidaan olettaa, että niiden kotitalouksien osuus, jotka eivät omista ollenkaan internet-yhteyttä tai omistavat pelkän kiinteän internet-yhteyden tulee laskemaan. Vain mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuuden ennustetaan joko laskevan tai nousevan riippuen siitä miten mobiilidatan hinta ja -datankäyttörajoitukset kehittyvät. Sekä mobiili- että kiinteän internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuus tulee nousemaan. Muutoksen suuruus riippuu lähinnä mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuuden muutoksesta. Energiatehokkaiden rakennusten lisääntyminen ja sen aiheuttamat kuuluvuusongelmat tulevat nostamaan näiden kotitalouksien osuutta. Kodin sisällä laitteita tullaan ennusteen mukaan käyttämään tulevaisuudessa entistä useammin WLAN-yhteyden kautta. Femto-tukiasemien ei uskota tulevan ollenkaan markkinoille erityisesti, koska Wi-Fi-puheluiden uskotaan tekevän ne tarpeettomiksi.</p> |              |                  |
| Avainsanat: LTE, Femto-tukiasema, WLAN   |              |                  |

|  |                   |                         |
|--|-------------------|-------------------------|
| Author: Jimi Juhani Viitanen   |                   |                         |
| Title: Household internet connection type techno-economic modeling 2015 - 2025   |                   |                         |
| Date: 18.4.2016  | Language: Finnish | Number of pages: 8 + 78 |
| Department of Communications and networking  |                   |                         |
| Professorship: Network Economics   |                   |                         |
| Supervisor: Prof. Heikki Hämmäinen   |                   |                         |
| Advisor: D.Sc. (Tech.) Heikki Hämmäinen  |                   |                         |
| <p>This thesis focuses on the research of what technology do the Finnish households use to connect to the internet, and how is the connection used wirelessly inside the house. The thesis models how the market shares of these solutions will change by 2020 and 2025. Coverage problems inside the home are expected to be a major factor in the modelling. How coverage problems are solved is researched and the possibility to solve these problems with femto base stations in the future is evaluated. The price of mobile data arises to be a major factor in the modelling. The different pricing of internet connections in Finland compared to the rest of Europe is also discussed.</p> <p>The forecast is done by evaluating what are the critical factors affecting the change of market shares, interviewing experts of the field and by creating a calculator to generate forecasts using Excel software. The calculator is used to create different scenarios which are used to evaluate how changes in different factors effect each other.</p> <p>The final models vary in different scenarios, but the general conclusion of the thesis is that the share of households that do not own an internet connection or only own a fixed internet connection will decrease. The share of households with only a mobile internet connection will either increase or decrease, depending on how the price and spending limits of mobile data evolve. The share of household with both fixed and mobile internet connection will increase. The volume of the increase depends greatly of the change of the share of households with only a mobile internet connection, but is also affected by the increase of energy efficient buildings and the coverage problems they create. According to the models the share of households using their devices wirelessly inside the home with a WLAN connection will increase. Femto base stations are believed to not enter the market, especially because Wi-Fi calling is expected to make them redundant.</p> |                   |                         |
| Keywords: LTE, Femto base station, WLAN  |                   |                         |

## Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitokselle- professori Heikki Hämmäisen ohjauksessa.

Haluan kiittää ohjaajaani professori Heikki Hämmäistä asiantuntevasta ohjauksesta ja avusta sekä kommentteista joita hän on minulle työn aikana antanut. Haluan myös kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka suostuivat auttamaan olemalla haastateltavina työssä. Lisäksi haluaisin kiittää Aalto-yliopiston tekniikan tukisäätiötä taloudellisesta tuesta jota olen työhön saanut.

Kiitos myös kaikille niille ystäville joihin olen tutustunut Otaniemessä ja joiden kanssa olen viettänyt aikaa niin opiskellen kuin opiskeluiden ulkopuolella. Lisäksi haluan kiittää perhettäni tuesta ja kannustuksesta opiskeluiden aikana.

Espoossa 18.4.2016

Jimi Viitanen

## Sisällysluettelo

|   |     |
|---|-----|
| Tiivistelmä.....  | i   |
| Tiivistelmä (englanniksi).....                                | ii  |
| Esipuhe .....   | iv  |
| Sisällysluettelo .....  | v   |
| Symbolit ja lyhenteet.....                                    | vii |
| 1 Johdanto .....  | 1   |
| 1.1 Motivaatio .....  | 1   |
| 1.2 Tutkimuskysymys.....                                      | 2   |
| 1.3 Tutkimuksen rajaus.....                                   | 2   |
| 1.4 Diplomityön rakenne .....                                 | 2   |
| 2 Aiheen taustat .....  | 4   |
| 2.1 Mobiilidatan kulutuksen kasvu .....                       | 4   |
| 2.2 Matka- ja laajakaistaverkkojen kuuluvuus kodeissa .....   | 6   |
| 2.3 Lainsäädäntö.....   | 7   |
| 2.3.1 Kuluttajan oikeudet.....                                | 7   |
| 2.3.2 Energiatehokkuusvaatimusten vaikutus rakentamiseen..... | 8   |
| 2.3.3 Taajuusalueet.....                                      | 8   |
| 3 Tutkintamenetelmät .....                                    | 10  |
| 3.1 Tiedonkeruu .....   | 10  |
| 3.2 Asiantuntijahaastattelut.....                             | 10  |
| 3.3 Muuttujien määrittely ja arviointi.....                   | 12  |
| 3.4 Arviointityökalu skenaarioihin.....                       | 12  |
| 3.5 Skenaarioanalyysi .....                                   | 12  |
| 4 Matkapuhelinverkot.....                                     | 14  |
| 4.1 Matkapuhelinverkkojen kehitys .....                       | 14  |
| 4.2 Radioaaltojen ominaisuuksia.....                          | 15  |
| 4.3 Matkapuhelinverkon toiminta .....                         | 16  |
| 4.4 LTE-verkko .....  | 18  |
| 4.4.1 LTE-verkon rakenne.....                                 | 18  |
| 4.4.2 Tukiasemaverkko .....                                   | 20  |
| 4.4.3 Runkoverkko .....                                       | 20  |
| 4.4.4 Palvelualueet ja VoLTE.....                             | 21  |
| 5 Kiinteät laajakaistat ja sisäverkko .....                   | 23  |
| 5.1 Kiinteän laajakaistat.....                                | 23  |
| 5.2 Langaton sisäyhteys kotona .....                          | 24  |
| 5.2.1 WLAN .....  | 25  |
| 5.2.2 WLAN-puhelut.....                                       | 26  |
| 5.2.3 LTE-femto-tukiasema.....                                | 27  |
| 6 Ratkaisuvaihtoehtojen käypyyden ja kuvaus .....             | 30  |
| 6.1 Kiinteä siirtotekniikka WLAN-sisäyhteydellä .....         | 30  |
| 6.2 Kiinteä siirtotekniikka LTE-femto-tukiasemalla.....       | 30  |
| 6.3 LTE-siirtotekniikka WLAN-sisäyhteydellä .....             | 31  |
| 6.4 LTE-siirtotekniikka ilman erillistä sisäyhteyttä .....    | 32  |
| 6.5 Ratkaisuvaihtoehtojen käypyyden vertailu .....            | 32  |
| 7 Markkinapeitot .....  | 34  |
| 7.1 Laskentaan vaikuttavat muuttujat.....                     | 34  |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 7.1.1 | Kotitalouksien määrä ja niiden kehitys.....                     | 34 |
| 7.1.2 | Nykyinen laitekanta ja sen kehitys .....                        | 35 |
| 7.1.3 | Energiatehokkaiden rakennusten määrä ja kasvu.....              | 38 |
| 7.1.4 | Mobiilidatan hinta .....  | 39 |
| 7.1.5 | Datan kulutuksen kasvu .....                                    | 40 |
| 7.1.6 | Suomalaisten internet-yhteyksien saatavuus.....                 | 41 |
| 7.2   | Suomalaisten internet-yhteyksien määrä ja tyyppi.....           | 42 |
| 7.3   | Femto-tukiaseman markkinoille tuonti .....                      | 46 |
| 7.4   | WLAN-markkinapeitto ja Wi-Fi-puheluiden markkinoille tulo ..... | 47 |
| 7.5   | Arviointityökalun luominen ja käyttö.....                       | 48 |
| 7.5.1 | Arviointityökalun rakenne .....                                 | 48 |
| 7.5.2 | Arviointityökalun käyttö.....                                   | 51 |
| 7.6   | Skenaarioanalyysi .....   | 52 |
| 7.6.1 | Skenaario 1.....  | 53 |
| 7.6.2 | Skenaario 2.....  | 53 |
| 7.6.3 | Skenaario 3.....  | 54 |
| 7.6.4 | Skenaario 4.....  | 55 |
| 7.6.5 | Herkkyysanalyysi .....  | 56 |
| 8     | Johtopäätökset .....  | 58 |
| 8.1   | Tulokset.....   | 58 |
| 8.2   | Tulosten kriittinen arviointi.....                              | 60 |
| 8.3   | Tulosten hyödyntäminen.....                                     | 61 |
| 8.4   | Jatkotutkimukset.....   | 62 |
|       | Kirjallisuus.....   | 63 |
|       | Liite A Arviointityökalun Excel-kaavat .....                    | 70 |
|       | Liite B Skenaario 1.....  | 74 |
|       | Liite C Skenaario 2.....  | 75 |
|       | Liite D Skenaario 3 .....                                       | 76 |
|       | Liite E Skenaario 4.....  | 77 |
|       | Liite F Haastattelut .....                                      | 78 |

## Symbolit ja lyhenteet

### Symbolit

|                |              |
|----------------|--------------|
| $\cap$         | Leikkaus     |
| $^c$           | Komplementti |
| K              | Kelvin       |
| m <sup>2</sup> | Neliometri   |
| M              | Mega         |
| s              | Sekunti      |
| W              | Watti        |

### Lyhenteet

|         |  |
|---------|--|
| 1G      | Ensimmäisen sukupolven                     |
| 2G      | Toisen sukupolven                          |
| 3G      | Kolmannen sukupolven                       |
| 3GPPP   | 3rd Generation Partnership Project         |
| 4G      | Neljännän sukupolven                       |
| ADSL    | Asymmetrinen digitaalinen tilaaja yhteys   |
| ADSL2+  | Asymmetrinen digitaalinen tilaaja yhteys 2 |
| BSS     | Basic Service Set                          |
| CDMA    | Code-Division Multiple Access              |
| DHCP    | Dynamic Host Control Protocol              |
| DSL     | Digitaalinen tilaaja yhteys                |
| EDGE    | Enhanced Data Rates for GSM Evolution      |
| ENodeB  | E-UTRAN Node B                             |
| EPC     | Evolved Packet Core                        |
| ePDG    | Evolved Packet Data Gateway                |
| EPS     | Evolved Packet System                      |
| ESS     | Extended Service Set                       |
| EU      | Euroopan Unioni                            |
| E-UTRAN | Evolved Universal Terrestrial Radio Access |
| GPRS    | General Packet Radio Service               |

|       |   |
|-------|---|
| GSM   | Global System for Mobile Communications           |
| HeNB  | Home eNodeB                                       |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access                 |
| HSPA+ | High Speed Packet Access                          |
| HSS   | Home Subscriber Server                            |
| HSUPA | High Speed Uplink Packet Access                   |
| IEEE  | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IMS   | IP Multimedia Subsystem                           |
| IP    | Internet Protocol                                 |
| LTE   | Long Term Evolution                               |
| MME   | Mobile Management Entity                          |
| NMT   | Nordic Mobile Telephone                           |
| PCRF  | Policy and Charging Rules Function                |
| PDN   | Packet Data Network                               |
| P-GW  | Packet Data Network Gate Way                      |
| PON   | Passive Optical Network                           |
| QoS   | Quality of Service                                |
| RNC   | Radio Network Controller                          |
| S-GW  | Serving Gate Way                                  |
| SIP   | Session Initiation Protocol                       |
| ST    | Suljettu Tilajaryhmä                              |
| ST LP | Suljetun Tilajaryhmän Lista Palvelin              |
| ST PP | Suljetun Tilajaryhmän Pääkäyttäjä Palvelin        |
| TDMA  | Time-Division Multiple Access                     |
| USIM  | Universal Subscriber Identify Module              |
| VDSL2 | Very High Speed Subscriber Line 2                 |
| VoLTE | Voice over LTE                                    |
| VoIP  | Voice over IP                                     |
| WCDMA | Wideband Code Division Multiple Access            |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access   |
| WLAN  | Langaton lähiverkko                               |



# 1 Johdanto

## 1.1 Motivaatio

Internet ja sen tarjoamat palvelut ovat nousseet yhdeksi kodin peruspalveluista. Viimevuosikymmenen aikana Suomessa on siirrytty hoitamaan yhä enemmän asiointia esim. pankkien ja virastojen kanssa Internetissä. Internet tarjoaa myös lukuisia muita palveluita kansalaisille, kuten uutisia ja televisio-ohjelmia. Samalla ajanjaksolla jolla Internet on yleistynyt, myös matkaviestinverkot ovat yleistyneet. Matkapuhelinliittymien määrä Suomessa on kasvanut Suomen asukaslukua suuremmaksi ja ne ovat jo pitkään korvanneet perinteisiä lankapuhelinliittymiä ja lankapuhelinverkkoa on purettu kokonaan pois monelta alueelta. Myös matkaviestinverkon kautta tarjottavat internet-yhteydet ovat yleistyneet viimeisen 10-vuoden aikana. Yhä nopeampien ja halvempien mobiililaajakaistojen tuleminen markkinoille on saanut osan kuluttajista luopumaan kiinteästä Internet-liittymästään. [1, s. 9 – 11]

Sekä Euroopan komissio, että Suomen hallitus ovat asettaneet tavoitteita alueidensa Internet palveluiden kehitykselle. Euroopan komission digitaalisessa agendassa on asetettu tavoitteeksi, että kaikilla Euroopan asukkailla olisi mahdollisuus hankkia kotiinsa vuoteen 2020 mennessä 30 Mbit/s latausnopeuteen yltävä laajakaista. Suomen hallitus taas asetti vuonna 2008 tavoitteeksi, että vuoteen 2015 mennessä lähes kaikilla suomalaisilla, eli 99 % olisi mahdollisuus hankkia 100 Mbit/s latausnopeuteen yltävä laajakaista kotiinsa. [1, s. 16 – 17]

Laajakaista voidaan tuoda kuluttajan kotiin eri tekniikoilla, jotka voidaan jakaa kiinteisiin ja langattomiin tekniikoihin. Langattomilla tekniikoilla toimivia laajakaistoja nimitetään yleisesti liikkuviksi laajakaistoiksi tai mobiili-laajakaistoiksi. Tässä työssä mobiilipalveluilla viitataan niin langattomiin Internet- kuin puhepalveluihin. Kiinteällä tekniikalla toteutettu laajakaista viedään kuluttajan kotiin fyysisesti johdolla, kun taas langattomassa tekniikassa laajakaista lähetetään tukiasemasta radioaalloilla kuluttajan vastaanottimeen. Etenkään kiinteän tekniikan rakentaminen harvaan asutuille alueille ei ole taloudellisesti kannattavaa. Alueita joille verkkoa ei markkinaehtoisesti synny avustetaan valtiontuella. Näille alueille voidaan myös Viestintäviraston toimesta asettaa yleispalveluvelvoite, eli määrätä operaattori jonka velvollisuus on tarjota kuluttajalle puhelin- tai Internet palvelu kyseisellä alueella [2]. [1, s. 16 – 17]

Matkapuhelinverkkojen tiedonsiirto määrät ovat moninkertaistuneet viimevuosien aikana. Siirtomäärä on karkeasti kaksinkertaistunut vuoden välein vuodesta 2007 asti [1, s. 12]. Myös matkapuhelinverkkojen energiankulutus on lisääntynyt, se oli jo vuonna 2009 n. 1,5 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Verkkojen energiankulutuksen on jopa ennustettu kaksinkertaistuvan vuoteen 2015, johtuen etenkin LTE-tekniikasta ja kasvaneesta datankäytöstä. Yleisen energiatehokkuuden parantamiseksi, nykyiset rakennusmääräykset painottavat korjaus- ja uudisrakentamisessa entistä parempaa energiatehokkuutta. Energiatehokkuus saavutetaan eristämällä rakennukset entistä paremmin. Lieveilmionä eristeet myös häiritsevät radioaaltojen kulkua rakennuksen sisään, mistä syystä signaalin pääsy talon sisään vaatii suurempaa lähetystehoa tai lyhempää kulkureittiä. Tämä tarkoittaa joko tukiaseman lähetystehon nostoa tai tukiasemaverkoston tihentämistä. Kumpikin taas kasvattaa verkkojen energiankulutusta. Kuuluvuutta voidaan parantaa myös muilla keinoilla, joita tässä työssä käsitellään. [3] [4, s.13]

Mobiili-laajakaistojen ongelma tiheästi asutuilla seuduilla on, että tukiaseman tiedonsiirtokapasiteetti on aina jaettu sen kaikkien käyttäjien kesken. Mobiilidatan kulutuksen jatkuva kasvu lisää tukiasemien ruuhkaa ja voi laskea nimellisiä nopeuksia huomattavasti. Lisäksi mobiili-laajakaistat ovat huomattavasti alttiimpia häiriöille kuin kiinteät laajakaistat. Kiinteällä tekniikalla kotiin siirretyn yhteyden avulla voidaan luoda erikseen kuluttajalle henkilökohtainen kodin läheisyydessä toimiva langaton sisäverkko. Sisäverkon avulla kuluttaja voi käyttää kotonaan langattomasti kiinteää laajakaistaa, mikä samalla vähentää tukiasemiin syntyvää ruuhkaa. Tässä työssä sisäverkolla tarkoitetaan kotitalouden sisällä langatonta tapaa käyttää internet-yhteyttä.

## **1.2 Tutkimuskysymys**

Työssä tutkitaan millä tekniikoilla Suomen kotitalouksissa käytetään langattomasti päätelaitteita ja miten laajakaistayhteys siirretään kuluttajan kotiin. Tekniikoiden nykyinen käyttöaste kotitalouksissa pyritään selvittämään ja tarvittaessa arvioimaan mahdollisimman tarkasti. Käyttöasteen muutos vuosille 2020 ja 2025 pyritään myös arvioimaan. Tutkimus keskittyy lisäksi sisäverkkojen mahdollisuuteen ratkaista matkapuhelinpalveluiden kuuluvuusongelmia sekä mobiilidatan kulutuksen kasvun aiheuttamiin vaikutuksiin.

## **1.3 Tutkimuksen rajaus**

Tässä työssä esitellään pintapuoleisesti erilaisia kiinteitä siirtotekniikoita joilla Internet-yhteys voidaan tuoda kuluttajan kotiin. Kiinteitä tekniikoita ei esittelyn jälkeen tarkemmin eritellä, vaan yhteystyypit jaotellaan mobiileiksi ja kiinteiksi. Mobiili tekniikoista työssä keskitytään toteutukseen LTE-tekniikalla (Long Term Evolution), jonka avulla päästään niin suuriin nopeuksiin, että sekä Euroopan Komission, että Suomen hallituksen nimelliset tavoitenopeudet voidaan katsoa täytetyiksi. Myös vanhempi ja hitaampi 3G-tekniikka (Kolmannen sukupolven) nostetaan työssä esiin, mutta sen rooli ei ole yhtä keskeinen. Nykyisin jo varsin harvinaista WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) tekniikka ei käsitellä.

Työssä tutkittavat sisäverkon muodostustavat rajataan femto- ja WLAN-tukiasemilla (Langaton lähiverkko) toteutettaviin ratkaisuihin. Langaton sisäverkko luodaan kotiin tuotavan minitukiaseman avulla, joka on yhteydessä kiinteään internet-yhteyteen. Näiden kahden langattoman sisäverkon eroja vertaillaan työssä lähinnä käytettävyyden ja toteutuksen kustannusten perusteella. Vaihtoehtoisesti myös laitteiden käyttöä langattomasti pelkän mobiili-yhteyden kautta tarkastellaan.

## **1.4 Diplomityön rakenne**

Diplomityö on jaettu lukuihin, joiden sisältöä esitellään päällisin puolin seuraavaksi. Toisessa luvussa keskitytään esittelemään aiheen taustoja. Aluksi esitellään mobiilidatan kulutustrendejä, jonka jälkeen käsitellään langattomissa verkoissa havaittuja kuuluvuusongelmia rakennusten sisällä. Lopuksi perehdytään niihin lainsäädäntöihin ja asetuksiin jotka ovat työnkannalta oleellisia. Tämä käsittää kuluttajan oikeudet toimiviin puhelin- ja internetpalveluihin, energiatehokkuus asetusten vaikutuksen rakentamiseen ja taajuusalueiden käytön rajoitukset.

Kolmas luku keskittyy esittelemään niitä tutkimusmenetelmiä joita työssä käytetään. Luvussa selitetään miten tutkimuskysymystä tarkastellaan ja miksi juuri näitä tutkimustapoja käytetään. Tässä luvussa keskitytään erityisesti työssä tehtävien

asiantuntijahaastatteluiden kysymysten esittelemiseen. Myös työssä käytettävää skenaarioanalyysiä esitellään tässä kappaleessa.

Neljäs luku on keskittynyt esittelemään matkapuhelinverkon toimintaa. Kappaleessa käsitellään aluksi lyhyesti matkapuhelinverkkojen historiaa ja selvennetään matkapuhelinverkkoihin liittyviä käsitteitä. Myös radiosignaalien ominaisuuksia esitellään lyhyesti. Lopuksi luvussa keskitytään tarkemmin kuvaamaan työssä tutkittavan LTE-verkon rakennetta ja esittelemään miten puheensiirto tapahtuu LTE-verkossa.

Viidennessä luvussa esitellään lyhyesti erilaiset kiinteät verkkotekniikat joilla kuluttajan on mahdollista saada verkkoyhteys kotiin, sekä esitellään näiden tekniikoiden ominaisuuksia. Myös sisäverkon luovat femto- ja WLAN- tukiasemat esitellään tässä luvussa.

Kuudes luku keskittyy esittelemään erilaiset vaihtoehdot, joilla kuluttaja voi käyttää kotonaan langattomasti verkkoa. Esiteltävät menetelmät ovat kiinteä internet-yhteys WLAN-tukiasemalla, kiinteä internet-yhteys femto-tukiasemalla, mobiili-internet-yhteys ja WLAN, sekä pelkkä mobiili-internet-yhteys. Kappaleen lopuksi vaihtoehtojen soveltuvuutta erilaisille talouksille vertaillaan.

Seitsemännessä luvussa suoritetaan markkinaosuuksien arviointi. Aluksi esitellään kaikki muuttajat joiden nähdään vaikuttavan arvioon, sekä arvioidaan muuttajien kehitystä vuosille 2020 ja 2025. Erityistä huomiota kiinnitetään femto-tukiasemien ja WLAN-puheluiden markkinoille tulemisen todennäköisyyteen. Tämän jälkeen luvussa esitellään Excel-ohjelmistolla toteutettu arviointityökalu, jonka avulla markkinapeittoja voidaan arvioida. Lopuksi luvussa esitellään arviointityökalulla luotavia skenaarioita ja tutkitaan kahden muuttujan herkkyyttä skenaarioissa.

Viimeisessä luvussa esitellään tutkimuksen perusteella tehdyt johtopäätökset, sekä arvioidaan niiden luotettavuutta. Lisäksi pohditaan missä tutkimustuloksia voidaan hyödyntää ja tehdään jatkotutkimus ehdotukset aiheesta.

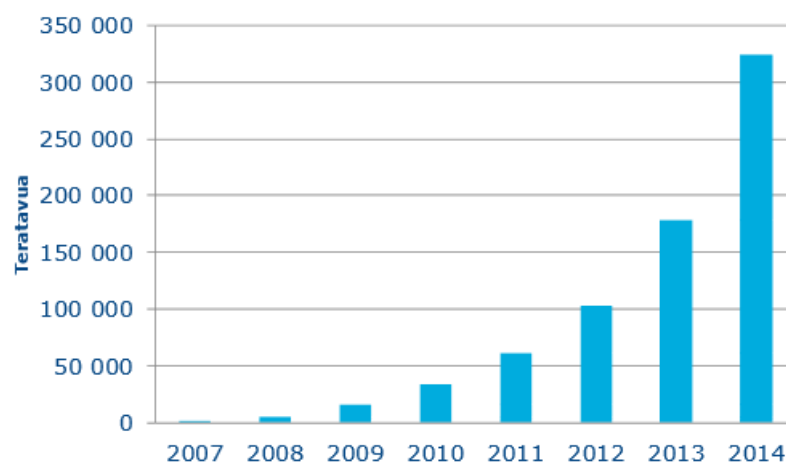
## 2 Aiheen taustat

Tässä luvussa esitellään tekijöitä, jotka vaikuttavat tulevaisuuden tarpeisiin mietittäessä matkaviestinpalveluiden tarjoamista kuluttajille. Aluksi esitellään Suomen viime vuosien mobiilidatan kulutustrendien muutosta. Tämän jälkeen luvussa esitellään lyhyesti kotien kuuluvuusongelmia ja niiden syitä. Lopuksi luvussa perehdytään lakeihin ja asetuksiin, jotka määrittävät kuluttajan oikeudet Internet- ja puhelinpalveluihin, operaattoreiden vastuut tarjota näitä palveluita sekä uusiin rakennusmääräyksiin jotka osaltaan vaikuttavat kuuluvuusongelmiin.

### 2.1 *Mobiilidatan kulutuksen kasvu*

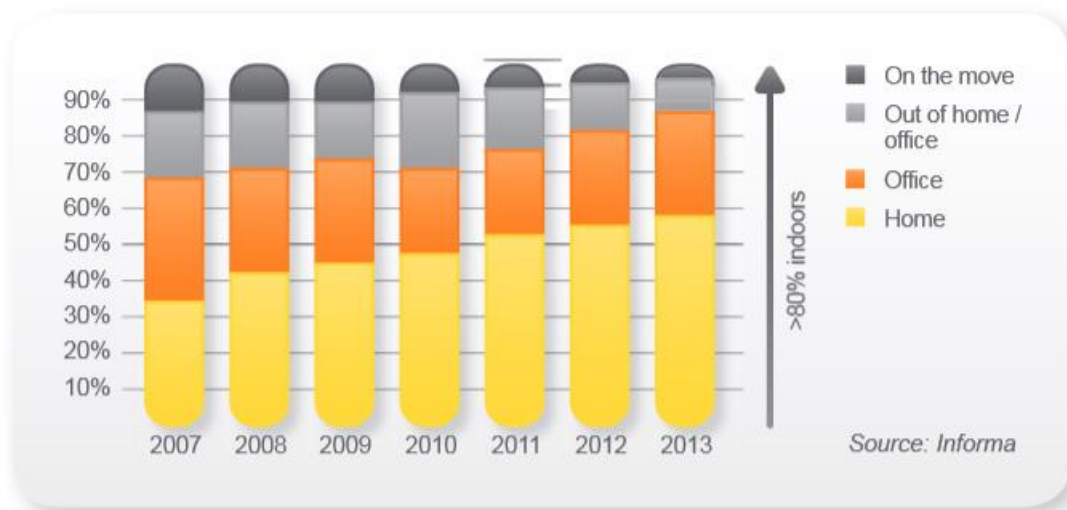
Suomessa internet-yhteys ja puhelinpalvelu on jo vuosia laskettu kodin perustarpeeksi. Tämä määritetään mm. hallituksen esitystä tietoyhteiskuntakaaresta, jota käsitellään tarkemmin kuluttajan oikeuksia käsittelevässä luvussa [2]. Valtaosa suomalaisista käyttää mobiiliverkkoa päivittäin. Vuoden 2014 lopussa Suomessa oli noin 9,4 miljoonaa mobiililiittymää, joista noin 7 miljoonaa oli kotitalouksien käytössä. Määrä on kasvanut viime vuosina nopeasti. Vuonna 2006 liittymiä oli noin 5,8 miljoonaa, joista kotitalouksien käytössä oli noin 4,4 miljoonaa. Liittymämäärän nopeaa kasvua selittää osaltaan pelkästään tiedonsiirtoon käytettyjen liittymien yleistyminen. Näissä liittymissä ei ole puhe- tai viestipalveluita ja niiden hankintamäärät ovat kasvaneet esim. tablettien ja ”mökkuloiden” yleistyessä. Mökkulalla tarkoitetaan langatonta modeemia, joka muodostaa internet-yhteyden mobiiliverkosta. Vuoden 2014 lopussa tiedonsiirtoon tarkoitettuja liittymiä oli Suomessa noin 1,8 miljoonaa kappaletta. Pelkästään tiedonsiirtoon käytettävien liittymien yleistyminen selittää myös Suomen väkilukua suuremman kotitalouksien liittymämäärän. [1, s. 11 – 13]

Vuoden 2014 lopussa kaikista mobiililiittymistä noin 80 % sisälsi tiedonsiirtosopimuksen, kun osuus oli vain hieman yli 50 % vuoden 2011 lopussa. Kasvu ei ole pelkästään luontaista markkinoiden kehitystä, sillä osa mobiilioperaattoreista lisäsi tiedonsiirtopakettien pakolliseksi matkapuhelinliittymiinsä vuoden 2013 aikana. Mobiilidatan kulutuksen kasvu on kuitenkin ollut niin voimakasta, ettei tiedonsiirtosopimuksen sisältävien liittymien määrän kasvu pysty yksinään sitä selittämään. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että tiedonsiirto vuodesta 2007 vuoteen 2014 on kohonnut selvästi. Vuodesta 2011 vuoteen 2014 matkaviestintäverkon kokonaisliittymämäärä on noussut vain n. 5,5 % ja tiedonsiirron sisältävien liittymien määrä n. 25 %. Kokonaisuudessa tämä siis tarkoittaa noin 30 %:n lisäystä tiedonsiirron sisältävien liittymien määrään tänä aikavälinä. Samanaikaisesti mobiilidatan kulutus on kuitenkin noussut kuvan 1 mukaan n. 60 000 teratavusta noin, 325 000 teratavuun eli noin 550 %. Tämä selittyy osittain tiedonsiirtopalveluiden laadun parantumisella, sillä uudella LTE-tekniikalla voidaan siirtää suurempia määriä mobiilidataa nopeammin kuin vanhoilla tekniikoilla. Britannialainen teleoperaattori Vodafone ilmoitti vuoden 2014 vuosikertomuksessaan, että sen 4G-verkon (neljännen sukupolven) käyttäjät kuluttavat 2,3 kertaa enemmän dataa kuin sen 3G-verkon käyttäjät [5, s.22]. 4G-verkolla tarkoitetaan käytännössä LTE-tekniikkaa. [1, s. 11 – 13]



Kuva 1: Mobiilidatan kulutuksen kasvu Suomessa 2007 - 2014 [1, s. 12]

Mobiilidatan kulutuksen kasvun lisäksi on ollut havaittavissa, että yhä suurempi osa mobiilidatasta siirretään sisätiloissa, joko kotona tai toimistolla. Nokia Siemens Networkin käyttämän konsultointiyritys Informan mukaan mobiilidatan kulutuksesta vuonna 2013 n. 85 % on tapahtunut sisätiloissa ja lähes 60 % kulutuksesta on tapahtunut kotona [6]. Kuvasta 2 voidaan nähdä kotona tapahtuvan kulutuksen kasvaneen tasaisesti vuodesta 2007. Viestintäviraston tutkimuksessa suomalaisista mobiilidatan käyttäjistä 87 % ilmoitti tutkimuksessa käyttävänsä kotona mobiililaajakaistaa jollakin muulla laitteella kuin pöytäkoneella [7]. On siis selvää, että mobiilidatan kulutuksesta suuri osa tapahtuu kotona mobiililaitteilla.



Kuva 2: Mobiilidatan kulutuspaikka [6]

Mobiilidatan kulutuksen kasvu näkyy myös kasvavana sähkönkulutuksena. Tekniikka ja Talouden mukaan televerkkojen sähköntarve Suomessa oli vuonna 2009 1,3 tWh, ja sen odotetaan kasvavan 2,6 terawattituntiin vuonna 2015. Kasvu ei johdu vain kasvavasta datankulutuksesta, vaan myös LTE-tekniikan käyttöönotosta. Koko Suomen sähkönkulutus on noin 80 tWh, joten televerkkojen sähkönkulutuksen kasvu on huomattava. [3]

## **2.2 Matka- ja laajakaistaverkkojen kuuluvuus kodeissa**

Lähes jokaisella suomalaisella on jo puhumiseen tarkoitettu matkapuhelin, kun taas vanhempi lankapuhelin löytyy harvemmalta. Viestintäviraston teettämän kuluttajatutkimuksen mukaan keväällä 2015 15 - 79-vuotiaista Manner-Suomen asukkaista vain muutamalla prosentilla ei ollut matkapuhelinta, kun taas lankapuhelin oli enää yhdeksällä prosentilla. Samaan aikaan 70 % vastaajista oli mobiili-laajakaista ja 28 % se oli ainoa internet-liittymä. Koska valtaosalle ihmisistä matkapuhelin on ainoa puhelin, on sen kuuluvuus kodin sisällä tärkeää. [8, s.14]

Julkisuuteen on noussut ajoittain keskustelua matkapuhelinten ja mobiililaajakaistojen huonosta kuuluvuudesta kotien sisällä. Yle uutisoi verkkosivuillaan 24.1.2012 Espoon Painiityssä sijaitsevan kerrostalon kuuluvuusongelmista. Syy kuuluvuusongelmaan olivat artikkelin mukaan rakennuksen uudet energiatehokkaat ikkunat. Talouselämässä kirjoitettiin 3.2.2014 kuuluvuusongelmista Helsingin Jätkäsaaren uusissa kerrostaloissa. Tässäkin tapauksessa syyksi mainittiin energiatehokkaat ikkunat. Helsingin Sanomat puolestaan kirjoitti 27.7.2015 verkkojulkaisussaan Helsingin Kalasataman uusien energiatehokkaiden talojen kuuluvuusongelmista. Myös tässä artikkelissa nostettiin esiin energiatehokkaat ikkunat yhdeksi syyksi kuuluvuusongelmiin. Yle huomautti artikkelissa, ettei suurissa kaupungeissa matkapuhelimen kuuluvuus ole kenenkään vastuulla, sillä yleispalveluvelvoitetta ei ole niissä määrätty millekään operaattorille. Yleispalveluvelvoitteella tarkoitetaan määrätyn alueen telepalveluiden tarjoamisen vastuun määrittämisestä operaattorille ja siitä kerrotaan seuraavassa alaluvussa tarkemmin [2]. [9] [10] [11]

Matkapuhelinten kuuluvuusongelmat johtuvat yksinkertaistetusti siitä, ettei matkapuhelin pysty kommunikoidaan tukiaseman kanssa eli radiosignaali eivät pysty kulkemaan matkapuhelimen ja tukiaseman välillä. Tällöin puhutaan katvealueesta. Katvealue voi syntyä tukiaseman täydellisen puuttuminen takia kyseiseltä alueelta. Tämä on kuitenkin Suomessa asutuilla alueilla harvinaista [12]. Edellisessä kappaleessa mainitussa Helsingin Sanomien artikkelissa asiantuntija mainitsee operaattoreiden tehneen kaikkensa saadakseen tukiasemaverkkonsa riittävän tiheäksi ja toteaa tämän tien olevan käyty loppuun [11]. Todennäköisempi syy kuuluvuusongelmiin onkin, että alueella, jotka tukiaseman tulisi kattaa, on katvealueita jotka voivat muodostua eri tekijöistä, kuten rakenteista, jotka estävät signaalin läpipääsyn rakennukseen. Radiosignaalin vaimenemiseen on useita eri syitä, joita esitellään tarkemmin luvussa 4.2.

Kodin sisätiloissa kuuluvuuden kannalta oleellista on radiosignaalin läpäisyvaimennus eli radiosignaalin heikkeneminen sen läpäistessä kiinteän pinnan. Pinta voi myös kokonaan estää radiosignaalin läpipääsyn. Signaalit läpäisevät varsin hyvin esimerkiksi puuta, tiiltä tai ikkunan, mutta mm. betonielementit ja erilaiset metallit tuottavat huomattavan läpäisyvaimennuksen. Usein radiosignaali tulevatkin parhaiten koteihin juuri ikkunoiden läpi. Uudet energiatehokkuusvaatimukset, joista kerrotaan seuraavassa alaluvussa tarkemmin, kuitenkin vaativat mm. ikkunalasien energiatehokkuuden parantamista niin uudisrakentamisessa kuin korjausrakentamisessa. Tämä on johtanut mm. ikkunalasien päällystyksen selektiivikalvoilla, jotka vaikeuttavat signaalin pääsemistä asuntoon ikkunoiden kautta. Yleisesti voidaan todeta energiatehokkaiden talojen eristävän radiosignaalin talon ulkopuolelle. Kuuluvuusongelma voi myös syntyä esimerkiksi pienemmässä asunnossa, jossa kaikki ikkunat ovat suunnattu siten, ettei signaali pysty saapumaan ikkunalle. Tällöin signaalin pitäisi mahdollisesti saapua kodin

sisään usean betoniseinän läpi. Kuluttaja voi joutua pulmatilanteeseen, jos korjausrakentamisen jälkeen asunnossa ei ole enää matkapuhelinkuuluvuutta. Samaan tilanteeseen voi ajautua, mikäli huomaa vasta muutettuaan uuteen kotiin, ettei kodissa kuulu matkapuhelinverkko. Toisaalta teleoperaattori voi olla pulman edessä, jos sillä on alueella yleispalveluvelvoite ja siltä vaaditaan kuuluvuutta radiosignaaliin vaimentavan talon sisällä. Kuuluvuusongelmia on esitetty ratkaistavaksi artikkeleissa mm. rakennusmateriaalien ja sisäverkkojen rakentamisen avulla. [11] [13, s.9-13]

Tällä hetkellä mobiilioperaattoreilla on muutamia keinoja ratkaista sisätilojen kuuluvuusongelmat kuluttajan reklamoidessa asiasta. Eri operaattoreiden toimintatavat poikkeavat hieman toisistaan ja seuraavaksi esitetyt toimintatavat ovat yhdistelmä usean haastatellun henkilön vastauksista. Yleisesti reklamaation käsittely aloitetaan varmistamalla kuluttajien päätelaitteen toimivuus. Syy huonoon kuuluvuuteen voi olla esim. puhelimen vioittuminen niin, ettei sitä ulkoisesti huomaa. Tämä on voinut heikentää puhelimen kuuluvuutta. Mikäli asiakkaan päätelaitteet ovat kunnossa, voidaan ehdottaa erilaisia ratkaisuita. Mobiilidatan suhteen kuuluvuutta voidaan yrittää parantaa mokuksella, jossa on lisäantenni. Puhepalvelun suhteen tutkitaan, onko jossain kohtaa taloa kenttää, kuten ikkunan vieressä. Mikäli kenttä löytyy, voidaan ratkaisuksi ehdottaa kotona puhelimen pitämistä tuossa kohdassa, ja luoda langattomuus puhepalveluihin kodin sisällä esim. Bluetooth-korvanapilla. Mikäli kodissa ei ole minkäänlaista kuuluvuutta, voidaan ehdottaa antennin asettamista kodin ulkopuolelle. Tämä ratkaisu ei ole aina mahdollinen, koska se vaatii reiän ikkunakarmin tai seinään. Puhelinpalvelut voidaan myös yrittää tuoda GSM- (Global System for Mobile communications) tai 3G-pöytäpuhelimella, johon saadaan kytkettyä lisäantenni. Mikäli nämä ratkaisut eivät toimi, kirjataan kuuluvuusongelmat ylös ja mietitään uusien tukiasemien rakentamista alueelle, jos yhteydenottoja tulee paljon. [14]

## **2.3 Lainsäädäntö**

### **2.3.1 Kuluttajan oikeudet**

Hallituksen esityksessä tietoyhteiskuntakaaresta on määritetty yleispalvelukäsite. Yleispalveluun kuuluu yleisten puhelinpalveluiden ja internet-yhteyden tarjoaminen vakituiseen asuinpaikkaan. Esitys velvoittaa Viestintäviraston nimeämään yhden tai useamman teleyrityksen niin kutsutuksi yleispalveluyritykseksi sellaisilla alueilla, joissa se on välttämätöntä yleispalvelun tarjonnan takaamiseksi. [2]

Yleispalveluyrityksen tulee tarjota sille nimetyllä maantieteellisellä alueella oleviin vakituisiin asuin- tai sijaintipaikkoihin internet-liittymä. Liittymän tulee vastata hinnaltaan ja nopeudeltaan alueen keskimääräisen käyttäjän tasoa. Liittymä tulee myös toimittaa kohtuullisessa ajassa tilauksesta. [2]

Liikenne- ja viestintäministeriö on asettanut tarjottavan internet-yhteyden vähimmäisvaatimukseksi 1.11.2015 alkaen saapuvan liikenteen osalta latausnopeuden 2 Mbit/s. Keskimääräisen latausnopeuden tulee olla vähintään 1,5 Mbit/s 24 tunnin mittausjakson aikana sekä vähintään 1 Mbit/s minkä tahansa neljän tunnin mittausjakson aikana. Nopeuden vähimmäisvaatimusta tullaan arvioimaan uudelleen vuonna 2017. Vuodelle 2021 on asetettu tavoitteeksi vähittäisnopeus 10 Mbit/s. [15]

### 2.3.2 Energiatehokkuusvaatimusten vaikutus rakentamiseen

Kioton pöytäkirja on vuonna 2005 voimaan astunut sopimus, jossa teollisuusmaat ovat sopineet ilmastomuutoksen lieventämisestä vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä. Tällä hetkellä on menossa Kioton sopimuksen toinen velvoitekausi, joka kestää vuodesta 2013 vuoteen 2020. Toisella velvoitekaudella EU-maat (Euroopan Unioni) ovat yhdessä sitoutuneet vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 20 %, vuoden 1990 tasosta. Tämä tarkoittaa 12 %:n lisäystä ensimmäiselle kaudelle määrättyyn 8 %:iin. Tavoitteeseen päästäkseen EU-maat ovat sopineet keskenään jäsenmaiden päästöjen vähennyksistä sekä luoneet päästökauppajärjestelmän, jossa maat voivat ostaa toisilta EU-mailta ylijääviä päästövähennyksiä. [16]

Kaikki päästöt eivät kuitenkaan kuulu EU:n sisäisen päästökaupan piiriin, vaan esimerkiksi rakentaminen, rakennusten lämmitys ja asuminen jäävät päästökaupan ulkopuolelle, ja jokaisen EU-maan tulee pienentää päästöjen määrää näiltä aloilta. Suomi on sitoutunut vähentämään päästökaupan ulkopuolisten toimialojen päästöjä 16 % vuoden 1990 tasosta. [17]

Nämä asetukset ovat tämän työn kannalta oleellisia, koska osittain niiden johdosta on Suomessa asetettu uusia rakennusmääräyksiä. Vuoden 2012 heinäkuussa voimaan astuneet ”Rakennusten energiatehokkuus, Määräyksiä ja ohjeet 2012” asettavat asuin talon ulkopintojen osille minimivaatimukset lämmöneristyksessä eli U-arvot. Esimerkiksi ikkunoiden U-arvoksi on määrätty enimmillään 1,4 W/m<sup>2</sup>K. [4, s.13] Mitä pienempi kyseinen arvo on, sitä vähemmän se päästää lämpöä läpi. Ympäristöministeriö taas on antanut helmikuussa 2013 asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä”, joka velvoittaa rakennusten korjaus- ja muutostöiden ohessa parantamaan asuin talojen ulkopintojen U-arvoja. Näissä määräyksissä esimerkiksi ikkunoiden U-arvoksi on määrätty enimmillään 1,0 W/m<sup>2</sup>K. [18]

Ikkunalaseja on erityyppisiä. Vanhemmat ikkunat ovat joko kaksi tai kolmekerroksisia normaaleita lasi ikkunoita. Tämänlaisten ikkunoiden U-arvot ovat niin korkeita, etteivät ne täytä nykyajan rakennusmääräyksiä. Uudemmissa on yksi erillinen eristelasi ja yksi kaksiosainen eristelasi. Kaksiosainen eristelasi voi olla täytetty ilmalla tai jollain kaasulla, kuten argonilla tai kryptonilla. Tämän tyyppin ikkunoiden U-arvot vaihtelevat käytetyn lasin tyyppin ja paksuuden, sekä kaasun mukaan noin 0,9 ja 1,8 W/m<sup>2</sup>K välissä. Vielä pienempiin U-arvoihin päästään käyttämällä kahdesta kaksiosaisesta eristelasista tehtyä ikkunaa. Kahdessa viimeksi kuvaillussa ikkunatyypissä U-arvoa voidaan pienentää selektiivipinnoittamalla osa ikkunalaseista eli laittamalla niiden päälle metallioksidikerroksia. Radiosignaalin puolestaan tiedetään kulkevan erittäin heikosti metallin läpi. Kohdassa 2.2 esitetyt artikkelit uusien kotien kuuluvuusongelmista ja ikkunoiden syyttäminen niistä on siis perusteltua. [13, s. 11] [19, s.21-22] [20]

### 2.3.3 Taajuusalueet

Radioverkot, eli aikaisemmin mainittujen mobiili-yhteyksien siirtokeino, toimivat lähettämällä ja vastaanottamalla radiosignaaleita. Näillä signaaleilla on määrätty taajuus. Taajuuden ylä- ja alarajan väliä jolla radioverkko toimii, sanotaan verkon taajuusalueeksi. Taajuusalueita on vain rajattu määrä, ja niitä käytetään muuhunkin kuin mobiililaitteiden kuluttajaradioverkkoihin, kuten viranomaisten väliseen viestintään. Eri laitteet toimivat eri taajuusalueilla, jotteivät signaalit häiritse toisiaan ja koska optimaalinen taajuusalue



vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Taajuusalueiden fyysistä toimintaa käsitellään tarkemmin kohdassa 4.2 radioaaltojen ominaisuuksia. [21, s. 26]

Jotkut taajuusalueet ovat Suomessa, kuten muuallakin maailmalla varattu viranomaisten toimesta tiettyyn käyttötarkoitukseen. Suomessa matkaviestinoperaattoreilla on oltava Viestintäviraston myöntämä radiolupa sekä Liikenne- ja viestintäministeriön myöntämä toimilupa yleisen telepalvelun tarjoamiseen matkaviestinverkossa. Toimilupa voidaan myöntää, jos yrityksellä on riittävä taloudellinen kyky huolehtia verkosta. Mikäli taajuusalueiden niukkuuden vuoksi ei toimilupaa kaikille halukkaille voida myöntää, myönnetään se, hakijoille jotka parhaiten edistävät hallituksen esityksen 221/2013 tietokuntayhteiskaaren ensimmäisen momentin tavoitteita. Kyseinen momentti on kirjattu: ”Lain tavoitteena on edistää sähköisen viestinnän palvelujen tarjontaa ja käyttöä sekä varmistaa, että viestintäverkkoja ja viestintäpalveluja on kohtuullisin ehdoin jokaisen saatavilla koko maassa. Lain tavoitteena on lisäksi turvata radiotaajuuksien tehokas ja häiriötön käyttö sekä edistää kilpailua ja varmistaa, että viestintäverkot ja -palvelut ovat teknisesti kehittyneitä, laadultaan hyviä, toimintavarmoja ja turvallisia sekä hinnaltaan edullisia. Lain tavoitteena on myös turvata sähköisen viestinnän luottamuksellisuuden ja yksityisyyden suojan toteutuminen.” Manner-Suomessa matkaviestinverkon toimiluvan jollakin taajuusalueella omistavia yhtiöitä ovat DNA Oy, Elisa Oyj, TeliaSonera Finland Oyj ja Ukkoverkot Oy [22]. [2]

Jokin taajuusalue tai taajuusaluepari voidaan myös myydä taajuushuutokaupassa, jonka järjestää Liikenne- ja viestintäministeriö. [2] Suomessa 4G-verkkoa eli LTE-verkkoa varten varattu 800 MHz:n taajuusalue myytiin taajuushuutokaupassa vuoden 2013 lopussa. Huutokaupassa myytiin kuusi eri taajuusparia noin 108 miljoonan euron yhteishintaan. Taajuusparit ostivat DNA Oy, Elisa Oyj sekä TeliaSonera Finland Oyj. Toiminta näillä taajuuksilla saa alkaa vuoden 2014 alussa. Lisäehtona vaadittiin, että huutokaupan voittajat aloittavat toiminnan kahden vuoden sisällä, verkko kattaa 95 % Manner-Suomen asukkaista 3 vuoden sisällä ja 97 % tai 99 % viiden vuoden sisällä. [23] WLAN-tekniikka eroaa LTE-tekniikasta taajuusalueiden suhteen siten, että WLAN toimii ns. lisensoimattomalla taajuusalueella, jolle ei tarvita erillistä toimintalupaa [24, s. 322]. WLAN:in toiminta esitellään tarkemmin kohdassa 5.2.

## 3 Tutkintamenetelmät

### 3.1 Tiedonkeruu

Työhön kerätään olemassa olevaa tietoa teknisistä standardeista, aiemmista tutkimuksista, kirjoista, yritysten internetsivuilta ja lehdistä. Standardeista haetaan tietoa erilaisista verkkotekniikoista ja niiden ominaisuuksista. Aiemmistä tutkimuksista pyritään selvittämään mitä tiedetään jo esimerkiksi kuuluvuusongelmien ratkaisemista. Kirjoista taas selvitetään alan yleistietoutta, joka tarvitaan standardien ja tutkimusten ymmärtämiseen. Lehdistä etsitään lähinnä asiantuntijoiden mielipiteitä ja selvitetään, minkälaista ajankohtaista keskustelua aiheesta käydään. Yritysten internetsivuilta etsitään erityisesti tietoa hinnoista ja tarjottavia ratkaisuita ongelmiin. Näistä lähteistä kootaan työn aihepiiristä mahdollisimman kattavasti tietoa ja tiivistetään työn kannalta oleellinen osa.

### 3.2 Asiantuntijahaastattelut

Asiantuntijahaastattelut ovat kirjallisen tutkimuksen ohessa tämän työn toinen tietolähde. Haastateltaviksi henkilöiksi valitaan Suomen kolmen suurimman mobiilioperaattorin edustajia, jotka toimivat LTE-verkkojen parissa. Haastatteluilla pyritään kartoittamaan, miten operaattorit suhtautuvat kuuluvuusongelmiin ja kuinka niitä aiotaan ratkoa. Lisäksi pyritään kartoittamaan operaattoreiden näkökulmia siitä kuinka mobiilidatan kulutuksen kasvu vaikuttaa verkkojen kapasiteetin riittävyyteen ja mobiilidatan hintakehitykseen. Myös muita tietoliikennetekniikan ammattilaisia haastatellaan operaattoreiden työntekijöiden lisäksi, mutta nämä haastattelut eivät keskity operaattoreiden näkökulmaan aiheesta vaan yleiseen keskusteluun jossa kerätään tietoa aiheen taustoista ja muuttujista.

Haastattelun voi tehdä monella eri tavalla. Karkeasti haastattelut voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään, lomakehaastatteluun, puolistrukturoituihin ja strukturoimattomiin haastatteluihin. Lomakehaastattelussa haastattelija kysyy haastateltavalta lomakkeella olevia kysymyksiä. Jokaiselle haastateltavalle esitetään täysin samat kysymykset samassa järjestyksessä. Lomakehaastattelussa oletetaan, että kysymyksillä on sama merkitys kaikille vastaajille. Tämä vaatii, että haastateltavat ovat yhtenäinen ryhmä. Lomakehaastattelu rajattiin vaihtoehtoista pois, koska kysymyksiä halutaan tarpeen tullen tarkentaa ja kaikille haastateltaville ei ole tarkoitus esittää samoja kysymyksiä. [25, s. 44 - 48]

Strukturoimattomassa haastattelussa puolestaan käytetään avoimia kysymyksiä ja haastattelijan on tarkoitus syventää haastateltavien vastauksia, ja rakentaa haastattelun jatko niiden varaan. Tämän voidaan nähdä muistuttavan keskustelua. Haastateltavat valitaan tarkasti aiheeseen erikoistuneista henkilöistä. Strukturoimattomaan haastatteluun käytetään usein monta haastattelukertaa ja aiheeseen syvennytään tarkasti. Sen arvioidaan myös vaativan eniten taitoa kaikista haastattelumuodoista. Koska työssä on tarkoitus haastatella useita henkilöä ja aikaa tutkimuksen tekoon on rajallisesti, myös strukturoimattoman haastattelu suljetaan pois vaihtoehtoista. [25, s. 44 - 48] [26, s. 204]

Puolistrukturoimattomia haastattelutapoja on useita, joista teemahaastattelu on yksi. Teemahaastattelussa oletetaan, että haastateltavat ovat kokeneet jonkin tilanteen ja haastattelija on alustavasti selvittänyt tutkittavan ilmiön oletettavasti tärkeitä osia, rakenteita, prosesseja ja kokonaisuutta. Selvityksen perusteella kehitetään

haastattelurunko. Lopuksi haastattelu suunnataan tutkittavien henkilöiden subjektiivisiin kokemuksiin tilanteista, jotka tutkija on ennalta analysoinut. Teemahaastattelussa haastattelu etenee keskeisten teemojen varassa. Tämä vapauttaa pääosin haastattelun tutkijan näkökulmasta ja tuo tutkittavien äänen kuuluviin. Teemahaastattelu ottaa huomioon sen, että ihmisten tulkinnat asioista ja heidän asioille antamansa merkitykset ovat keskeisiä samoin kuin sen, että merkitykset syntyvät vuorovaikutuksessa. Teemahaastattelu on lähempänä strukturoimatonta kuin strukturoitua haastattelua. [25, s. 44 - 48]

Tässä työssä haastattelut toteutetaan teemahaastattelun pohjalta. Haastattelut voidaan jakaa kahteen ryhmään: operaattoreiden edustajien haastattelut ja muut haastattelut. Muut haastattelut toteutetaan ensin, ja niiden teemat vaihtelevat. Näissä haastatteluissa on tarkoitus kerätä yleistä tietoa aiheesta haastateltavan erikoisalan mukaan. Näiden haastattelujen, muista lähteistä kerätyn tiedon ja omien analyysien pohjalta muodostetaan haastattelurunko, jonka pohjalta haastatellaan mobiilioperaattoreiden edustajia. Työssä haastatellaan yhtä asiantuntijaa jokaiselta Suomen kolmelta suurelta mobiilioperaattorilta. Teemahaastattelussa pyritään saamaan haastateltavan subjektiivinen kokemus aiheesta, joten näitä haastatteluja ei kuitenkaan voida pitää suoraan operaattoreiden näkökulmana aiheesta. Operaattoreiden edustajia haastateltiin alla olevan haastattelurungon pohjalta.

Haastattelurunko:

- Media on kertonut matkapuhelinverkon kuuluvuusongelmista kuluttajien kodeissa myös alueilla, joilla kuuluvuusongelmia ei pitäisi verkkokarttojen mukaan olla. Esimerkkejä tällaisista alueista ovat Helsingin Kalasatama ja Jätkäsaari. Syyksi mainitaan usein energiatehokkaasti rakennettu asunto. Mikäli teille (operaattorille) tulee asiakkaalta yhteydenotto kuuluvuusongelmista tällaiselta alueelta, mitä toimenpiteitä teette ja mitä suosittelette asiakkaalle?
- Uskotteko, että kuuluvuusongelmia voidaan ratkoa edelleen tihentämällä makrotukiasema verkostoa?
  - Onko tässä alueellisia eroja ja miten ne näkyvät?
- Minkälaisia ratkaisuita näette tulevaisuudessa mahdollisiksi kuuluvuusongelmissa?
  - Mitä mieltä olette femto-tukiasemista?
  - Mitä mieltä olette mahdollisuudesta tuoda Suomeen normaalit puhelinpalvelut WLAN-verkon kautta?
- Mobiilidatan kulutus on karkeasti tuplaantunut vuositasolla jo useamman vuoden ajan. Näin ennustetaan käyvän myös tänä vuonna. Helsingin keskustassa on jo tämän vuoden puolella tapahtunut eräiden mittaustulosten mukaan käänne, jossa mobiilidatan nopeudet käyttäjille ovat alkaneet hidastumaan.
  - Voidaanko verkkoon investoida tarpeeksi, jotta jatkuva kulutuksen nousu ei näy palvelunlaadun liiallisena heikkenemisenä?
  - Pitääkö ratkaisua mobiilidatan kulutukseen hakea muualta kuin lisäkapasiteetin rakentamisesta?

- Suomessa on Euroopan mittapuulla varsin halpa mobiilidata, ja Suomi on ainoita maita missä tiedonsiirrotaan rajoittamattomia mobiilidataliittymiä on myynnissä.
  - Onko operaattoreilla paineita tuoda mobiilidatan hinnoittelu lähemmäksi muuta Eurooppa esim. uuden EU-verkkovierailupolitiikan myötä?
  - Yli 80 % mobiilidatan käyttäjistä kuluttaa mobiilidataa kotonaan. Olisiko tuota datamäärää tarpeellista siirtää kiinteään verkkoon esim. datakattojen avulla?

Haastattelut toteutettiin lokakuun ja joulukuun välissä vuonna 2015. Haastattelut kestivät noin puolesta tunnista hieman yli tuntiin. Valtaosa haastatteluista toteutettiin haastateltavan henkilön työpaikalla, mutta yksi haastattelu tehtiin Skype-palvelua käyttämällä.

### **3.3 Muuttujien määrittely ja arviointi**

Haastattelujen ja tiedonkeruun perusteella kootaan mahdollisimman tarkka kuva siitä mitä tutkimuskysymyksestä jo tiedetään. Tämän perusteella arvioidaan tutkittavien ratkaisujen käyppyyttä erityyppisille kotitalouksille. Kotitaloustyyppien sekä haastattelujen ja tiedonkeruun perusteella määritetään muuttujat, joista voidaan arvioida nykytilannetta silloin, kun tarkkaa tietoa ei ole saatavilla, ja ennustaa tulevaisuuden kehitystä. Varianssi teorian mukaan eri muuttujille määritetään yhteys. Kun yksi muuttuja muuttuu, myös toinen muuttuja muuttuu. Se, kuinka suurta muutos on, täytyy arvioida. Esimerkiksi kotitalouksien määrän lisääntymisen voidaan nähdä myös nostavan internetliittymien kokonaismäärää. Muuttujien muutosten suunta määritetään ja perustellaan ensin, minkä jälkeen muutoksen suuruutta ennustetaan mahdollisimman tarkasti. Kahden muuttujan osalta tutkitaan myös muuttujien herkkyyttä. Tämä tehdään, koska näitä muuttujia ei pidetä yhtä tarkkoina, kuin muita muuttujia. Herkkyyden tutkiminen toteutetaan muuttamalla muuttujan arvoa, ja selvittämällä miten muutos vaikuttaa kokonaiskuvaan, eli tässä tapauksessa markkinapeittoihin. [27, s. 26, 34- 35]

### **3.4 Arviointityökalu skenaarioihin**

Muuttujien vaikutusta tutkimuskysymykseen analysoidaan Excel-ohjelmistolla tehtävällä arviointityökalulla. Arviointityökalu toteutetaan niin, että siihen syötetään valmiiksi luvut jotka tiedetään tai joita oletetaan pystyvän ennustamaan riittävän tarkasti. Muuttujat joiden muutoksen vaikutusta halutaan tutkia, jätetään tyhjiksi. Muuttujille luodaan varianssiteorian mukaan suhteita, joiden muodostus selitetään tarkemmin luvussa 7. Lisäksi joidenkin, muita epävarmempina pidettävien muuttujien sensitiivisyyttä, eli muutoksen vaikutusta tutkitaan. Arviointityökalu arvioi markkinapeittoja siihen syötettävien muuttujien arvojen perusteella.

### **3.5 Skenaarioanalyysi**

Skenaarioanalyysi perustuu siihen, että tulevaisuuden ennustaminen tehdään aina epävarmojen ja eri tavalla tulkittavien muuttujien avulla. Jos kaikki tutkittavaan asiaan vaikuttavat muuttujat voidaan määritellä tarkasti, ei ole tarvetta ennustaa tulevaisuutta. Toisaalta, jos muuttujista ei osata sanoa mitään on tulevaisuuden ennustaminen mahdotonta. Skenaarioanalyysissä oletetaan tutkittavaan kysymykseen vaikuttavista muuttujista osan olevan tarkasti ennustettavissa. Tämän jälkeen tehdään useita mitä-jos-analyysyjä, joissa muutetaan jokin kriittinen muuttuja toisenlaiseksi. Tämän jälkeen

voidaan tarkastella eri vaihtoehtoja, ja näin voidaan varautua mahdollisimman hyvin eri skenaarioihin. Skenaarioanalyysi siis poistaa tarkastelusta radikaaleimmat tai epävarmimmat muuttujat ja näin luo useita eri tilanteita, jotka voivat tapahtua, sen sijaan että luotaisiin simuloituilla todennäköisyyksillä yksi keskimääräinen ennuste tulevaisuudesta. [27, s.11 - 18]

## 4 Matkapuhelinverkot

Matkapuhelinverkot ovat radioverkkoja, joissa käyttäjälle siirretään tietoa langattomasti radioaaltojen avulla. Tässä luvussa käydään aluksi läpi matkapuhelinverkkojen kehityskaari. Tämän jälkeen käsitellään radiosignaalin ominaisuuksia ja käsitteitä. Lopuksi esitellään tyypillisiä matkapuhelinverkon osia ja perehdytään tarkemmin LTE-verkon toimintaan.

### 4.1 Matkapuhelinverkkojen kehitys

Matkapuhelinverkkotekniikka tuli markkinoille 80-luvun alkupuolella. Tämän jälkeen on esitelty ja otettu käyttöön lukuisia uusia verkkotekniikoita. Verkkotekniikat jaetaan ensimmäisen, toisen-, kolmannen- ja neljännen sukupolven verkkoihin, yleisemmin 1G- (ensimmäisen sukupolven)-, 2G- (toisen sukupolven)-, 3G- ja 4G-tekniikoihin. [28, s. 2]

3GPP (3rd Generation Partnership Project) on voittoa tavoittelematon organisaatio, johon kuuluu useita yrityksiä. Nykyisistä radioverkkostandardeista usea on 3GPP:in kehittämä. Taulukossa 1 on eritelty 3GPP:in kehittämät standardit ja niiden julkaisuvuodet, sekä niiden nimelliset maksimi latausnopeudet. Huomion arvoista on, että HSUPA:n (High Speed Uplink Packet Access) parannukset liittyvät lähetysnopeuden nostoon ja monissa maissa HSDPA:sta (High Speed Downlink Packet Access) tai HSUPA:sta ei ole otettu käyttöön kuin 7.2 Mb/s latausnopeuteen yltävä versio. [29, s. 7 - 8]

Taulukko 1: 3GPP:in standardeja [29, s. 7 - 8]

| Standardi                        | EDGE  | WCDMA | HSDPA | HSUPA | HSPA+ | LTE  |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Julkaisu vuosi                   | 1998  | 2000  | 2002  | 2004  | 2007  | 2008 |
| Nimellinen latausnopeus (Mbit/s) | 0.472 | 2     | 14.4  | 14.4  | 42    | 150  |

1G-tekniikoille ominainen piirre on, että ne on tehty käytännössä ainoastaan äänensiirtoa varten ja ne eivät ole keskenään yhteensopivia. Yhteensopivuuden rajallisuuden vuoksi päätelaitteet toimivat huomattavasti seuraavien sukupolvien tekniikoita suppeammalla alueella. Yksi tunnetuimmista 1G-tekniikoista on NMT (Nordin Mobile Telephone). NMT-verkko toimi ainoastaan pohjoismaissa rajatulla alueella. Muilla alueilla, kuten Yhdysvalloissa ja Japanissa käytettiin toisenlaisia 1G-tekniikoita. [21, s. 27 - 28]

Ensimmäinen 2G-tekniikka oli TDMA:iin (Time-Division Multiple Access) perustuva GSM, joka tuli markkinoille vuonna 1991. GSM verkon suurimmat edistysaskeleet olivat tiedonsiirron mahdollistaminen verkossa sekä 1G:tä yhtenäisempi standardointi. 2G-tekniikatkaan eivät kuitenkaan toimi globaalisti. Esim. USA:ssa ei Euroopan tavoin otettu käyttöön yhteistä standardia, vaan siellä otettiin osittain rinnakkain käyttöön GSM ja CDMA:iin (Code-Division Multiple Access) perustuva IS-95 standardi. Näin ollen Yhdysvaltoihin syntyi saarekkeita, joissa toimi GSM ja saarekkeita joissa toimi IS-95. Tiedonsiirto 2G-verkoissa mahdollisti erilaisia palveluita puheen lisäksi, kuten puhelinvastaajan ja tekstiviestit. GSM:n tiedonsiirtokykyä parannettiin myöhemmin, ensin GPRS- (General Packet Radio Service) ja myöhemmin EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) standardeilla. [21, s. 29 - 30]

3G-tekniikat luotiin globaalisti yhteensopiviksi. 3G-tekniikoiden tiedonsiirtokykyä haluttiin nostaa entisestään EDGE:stä ylöspäin. Kun 1G- ja 2G-verkot olivat

piirikytkentäisiä, tehtiin 3G-verkoista piiri- ja pakettikytkentäinen. Piirikytkennässä käyttäjän päätelaitteen ja verkon välille avataan koko palvelunkeston ajan auki oleva yhteys. Pakettikytkennässä taas pyritään siirtämään lyhyessä ajassa suuri määrä tietoa ja palvelemaan muita asiakkaita kunnes tietoa tarvitsee siirtää uudestaan. 3G-verkossa pysytään käyttäjälle tarjoamaan mm. internet-yhteys ja videopuhelumahdollisuus. GSM- ja 3G-verkot ovat myös yhteensopivia, mikä tarkoittaa, että jos 3G-verkkoa ei ole saatavilla, on mahdollista siirtyä käyttämään GSM-verkkoa samalla laitteella. [29, s. 4-6] [30, s. 11] [31, s. 4 – 6]

Tässä työssä keskitytään matkapuhelinverkkotekniikoista pääosin 4G-tekniikka LTE:in (Long Term Evolution) julkaisu kahdeksaan, jonka lopullinen versio saatiin valmiiksi joulukuussa 2008. [32, s. 27] Myös julkaisu kymmeneen, eli LTE-A:ia (Long Term Evolution Advanced) käsitellään hieman. Suomessa LTE-verkko on otettu kuluttajakäyttöön vuonna 2010 ja sen tarjonta kattaa jo 95 % väestöstä. [1, s. 22] Ensimmäiset LTE-A verkot on avattu, vuoden 2014 lopussa. [33]

LTE poikkeaa edeltäjistään niin suorituskyvyltään kuin toteutukseltaan. LTE:n teoreettinen latausnopeus ylittää 150 MBit/s ja -lähetyksenopeus 75 MBit/s, mutta näihin nopeuksiin ei päästä kuin laboratoriossa. Edeltäjiinsä verrattuna LTE:ssä on panostettu etenkin lähetyksenopeuden nostamiseen. LTE on pelkästään pakettikytkentäinen ja optimoitu toimimaan IP:n (Internet Protokolla) kautta. LTE:n edeltäjät käyttivät joko pelkästään piirikytkentää tai piirikytkentää puheluiden siirtämiseen ja pakettikytkentää muihin palveluihin. [32, s. 27] [34, s.2]

## **4.2 Radioaaltojen ominaisuuksia**

Radiosignaali on sähkömagneettista säteilyä, jota käytetään siirtämään tietoa langattomasti laitteiden välillä. Radiosignaalin kuvataan liikkuvan aaltomaisesti ja sen ominaisuuksiin kuuluu taajuus, vaihe ja aallonpituus. Muokkaamalla näitä ominaisuuksia voidaan digitaalista dataa sisällyttää analogiseen radiosignaaliin. Tämä radiosignaali voidaan vastaanottaa toisaalla ja muuntaa takaisin digitaalseksi dataksi. Tätä kutsutaan modulaatioksi ja siihen on useita erilaisia menetelmiä. Näistä menetelmistä on saatavissa runsaasti tietoa, eikä niitä ole mielekästä esitellä tässä työssä tarkemmin. Tyhjiössä radiosignaali etenee valonnopeudella, mutta käytännössä väliaineet hidastavat sen liikkumista. Signaalin aallonpituus ja nopeus määräävät signaaliin taajuuden. Eri taajuuksilla on erilaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat mm. tiedonsiirtokykyyn ja signaalin kantomatkkaan. Määrättyä taajuuksien väliä kutsutaan taajuusalueeksi. [21, s. 31, 47 - 48]

Useat radiosignaalien ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti signaalin kulkuun ja sen voimakkuuteen maastossa. Näitä ovat mm. varjostus, läpäisy, taivuttuminen, heijastuminen ja sironta. Myös maastonmuodot, alueen rakennukset ja jopa sää voivat oleellisesti vaikuttaa signaalin kulkuun. [21, s. 37-38]

Esteet, kuten rakennukset, voivat joko estää signaalin kulkemisen täysin tai vaimentaa sitä. Radiosignaalin taajuus sekä läpäistävä aine vaikuttavat siihen, kuinka paljon signaali vaimenee. Taulukossa 2 on esitetty eri taajuuksilla kulkevien radiosignaalin läpäisyvaimennuksia tyypillisissä rakennuselementeissä. Taajuuksien vaihteluvälit vastaavat karkeasti Suomessa käytettyjen matkapuhelinverkkojen taajuusväliä. Ikkunalasi erottuu taulukosta selkeästi materiaaliksi, joista radiosignaali pääsee helposti läpi tavalliseen kotiin. Selektiivikalvojen lisääminen ikkunalasiin nostaa kuitenkin sen vaimennusta noin 25 dB [35, s. 20], mikä laittaa sen vaimennuksen suhteen samaan

suuruusluokkaan kuin yhdistetyn tiili- ja betonielementin. Mikäli radiosignaalit eivät pääse tukiaseman solun sisällä johonkin paikkaan, muodostuu tähän kohtaan katvealue. [13, s. 9-13]

Esteet voivat myös aiheuttaa signaalin kimpoilemista ja näin pidentää reittiä lähettimestä vastaanottimeen. Kimpoamisessa reitin piteneen lisäksi signaalin energiaa imeytyy kimmokkeeseen, mikä heikentää signaalia. Signaalin taittuminen voi tapahtua esimerkiksi signaalin lävistäessä ikkunan, joka vaimentamisen lisäksi taittaa sen läpäisevää signaalia ja näin ollen muuttaa sen kulkusuuntaa. Sirontaa taas voi aiheutua signaalin osuessa johonkin sen aallonpituiseen tai pienempään objektiin. Tässä tapauksessa signaali jakaantuu useaan heikompaan signaaliin. [21, s. 37 - 38]

Kaikki edellä mainitut tekijät vaikuttavat siihen, että lähetetty signaali jakaantuu osiin, jotka saapuvat vastaanottimeen eri reittejä pitkin. Tätä kutsutaan monitie-etenemiseksi. Koska reittien pituudet vaihtelevat, saapuvat signaalin osat päätelaitteelle eri aikoihin. Päätelaitteen täytyy osata muodostaa näistä signaaleista alkuperäinen signaali. Esim. GSM-verkko on mitoitettu kestämään 16 mikrosekunnin viive signaaleiden saapumisessa. Tämä vastaa noin viiden kilometrin reittieroja ensimmäisen ja viimeisen signaalin välillä. [21, s. 39 - 40]

Taulukko 2: Eri materiaalien läpäisyvaimennuksia radiosignaalille [13, s. 9]

| Taajuus [MHz]/Materiaali                         | 500   | 1000   | 2000  | 3500   | 5000   |
|--|-------|--------|-------|--------|--------|
| Tiili (180 mm)                                   | 4 dB  | 5,5 dB | 8 dB  | 20 dB  | 32 dB  |
| Tiili (180 mm) ja betonielementti (203 mm)       | 21 dB | 25 dB  | 33 dB | 60 dB  | 67 dB  |
| Tiili (180 mm) ja kevytlekaharkko                | 8 dB  | 11 dB  | 10 dB | 29 dB  | 33 dB  |
| Betonielementti (208 mm)                         | 20 dB | 23 dB  | 29 dB | 47 dB  | 49 dB  |
| Kevytlekaharkko (2 x 203 mm)                     | 13 dB | 17 dB  | 18 dB | 25 dB  | 28 dB  |
| Raudoitettu betonielementti (203mm) 140 x 140 mm | 22 dB | 28 dB  | 31 dB | 50 dB  | 53 dB  |
| Raudoitettu betonielementti (203 mm) 70 x 70 mm  | 26 dB | 30 dB  | 37 dB | 53 dB  | 58 dB  |
| Ikkunalasi (13 mm)                               | 1 dB  | 2 dB   | 3 dB  | 0,5 dB | 0,5 dB |
| Kuiva puu (38 mm)                                | 2 dB  | 3 dB   | 3 dB  | 3 dB   | 3 dB   |
| Kuiva puu (152 mm)                               | 5 dB  | 6 dB   | 9 dB  | 19 dB  | 20 dB  |

### 4.3 Matkapuhelinverkon toiminta

Matkapuhelinverkko muodostuu tukiasemista, joista jokainen kattaa tietyn maantieteellisen alueen. Radiosignaalin voimakkuutta ja näin ollen kantomatkaa voidaan säätää kontrolloimalla tukiaseman lähetystehoja. Signaalin voimakkuus taas heikkenee jatkuvasti signaalin edetessä. Alue, jolle signaali kantaa, voidaan jakaa kolmeen signaalin lähtöpisteen ympärille jakautuvaan sisäkkäiseen osaan. Osien voi ajatella jakautuvan sisäkkäisiksi ympyröiksi. Pienin eli sisin ympyrä on alue, jolla signaalia voidaan käyttää tiedonsiirtoon. Tätä kutsutaan tukiaseman soluksi. Toiseksi sisimmällä alueella signaali voidaan edelleen havaita, ja uloimmalla kehällä se voi edelleen häiritä muita signaaleita.



Tukiasemat voivat häiritä toisiaan toimiessaan signaalin häirintäsäteen sisällä läheisillä taajuusalueilla. Tätä ehkäistään tilan, ajan ja taajuuden jaolla. Tilanjaolla tarkoitetaan, että tukiasemien solut sijoitetaan niin että ne ovat mahdollisimman vähän sisäkkäin. Ajan- ja taajuudenjaolla taas tarkoitetaan, että tukiasemat eivät käytä samoja taajuuksia samoihin aikoihin. Läheisten taajuusalueiden toisiansa häiritseminen yhdessä rajatun tiedonsiirtoon sopivien taajuusalueiden määrän kanssa aiheuttaa sen, ettei useimpia taajuusalueita voi vapaasti käyttää, vaan niitä täytyy kontrolloida viranomaisten toimesta. [21, s. 26 – 31, 35, 62 - 63]

Solunvaihdolla tarkoitetaan sitä, että päätelaitetta palveleva tukiasema vaihtuu. Tämä tapahtuu useimmiten joko siksi, että päätelaite siirtyy pois vanhan solun alueelta uuden solun alueelle, tai siksi että sitä palveleva tukiasema on ruuhkainen ja haluaa siirtää päätelaitteen ruuhkattomamman solun alueelle. Jälkimmäinen tapaus vaatii toki sitä, että päätelaite sijaitsee kahden eri solun sisällä. Solunvaihto voi tapahtua myös, silloin kun päätelaite saa voimakkaamman signaalin joltakin toiselta tukiasemalta [36, s. 22]. [21, s. 117]

Tukiasemalla on runkoliityntäyhteys eli yhteys runkoverkkoon. Yksittäinen tukiasema jakaa siirtokapasiteettinsa kaikkien solun sisällä olevien käyttäjien kesken. Solut eivät ole saman kokoisia, vaan niiden kokoa muutetaan erilaisten tarpeiden, yleensä tukiaseman sijainnin mukaan. Mitä tiheämmin asutulla alueella tukiasema sijaitsee, sitä pienemmän alueen tukiasema yleensä kattaa. Periaatteessa tukiasemat voisivat käyttää suurta lähetystehoja ja toimia erittäin laajalla alueella. Tämä säästäisi operaattoreiden kustannuksia, sillä tukiasemaverkoston rakennuttaminen samoin kuin ylläpito on kallista. Myöskään taajuuksien jakoa tai tukiasemien vaihtoa liikkuvassa päätelaitteessa ei tarvittaisi. Pienemmät solukoot kuitenkin mahdollistavat suuremman siirtokapasiteetin asiakasta kohden, vähentävät signaalin häiriömäärää ja pienentävät riskiä koko verkon rikkoontumisesta. Vaikka tukiasemalle ei olisi ongelma käyttää suurta lähetystehoja, nostaa suurella lähetysteholla vastaanottaminen myös päätelaitteen akun kulutusta. Etenkin matkapuhelimille tämä olisi ongelmallista. [21, s. 61-63]

Homogeenisessä matkapuhelinverkossa on vain samanlaisia tukiasemia. Kasvavaan kapasiteetin tarpeeseen voi homogeenisessä matkapuhelinverkossa vastata vain rakentamalla entistä tiheämpi tukiasemaverkosto. Tämä käy jossain vaiheessa mahdottomaksi, kun uusia tukiasemapaikkoja ei löydy. Se tulee myös kalliiksi, etenkin kaupunkien keskustoissa. Pienempitehoisille lyhyen kantaman tukiasemille on helpompi löytää paikkoja kuin suurille makrotukiasemille. [37]

Heterogeenisellä matkapuhelinverkolla tarkoitetaan sellaista verkkoa, jossa makrotukiasemaverkon sisällä toimii erilaisia pienempiä tukiasemia. Tukiasemien lähetystehot, runkoliityntäyhteyden tyyppi ja radiotekniikka voivat erota toisistaan. Heterogeenisessä verkossa kapasiteettia voidaan lisätä muodostamalla makrotukiasemien kautta soluja, ja parantaa solun kuuluvuutta luomalla sen sisään pienempiä soluja mikro-, pico- ja femto-tukiasemilla. Näin voidaan parantaa verkon toimintaa esimerkiksi tiheään asutuilla ruuhka-alueilla tai makrotukiaseman katvealueilla. Seuraavaksi esitellään erilaisia tukiasemia. Koska tukiasemien luokitteluperiaatteet vaihtelevat lähteen mukaan, esitellään tukiasemat pääpiirteittäin. [28, s. 294] [36, s. 19 – 22]

- Makro-tukiasema muodostaa suurikokoisimman, säteeltään jopa useiden kilometrien suuruisen solun. Sen lähetysteho on kymmeniä watteja ja sen tarkoitus on luoda makroverkon peite, jonka sisällä muut tukiasematyypit toimivat. [36, s. 20] [38, s.888]
- Mikro-tukiaseman solun koko on satoja metrejä, ja sen lähetysteho on yleensä maksimissaan 10 wattia. Mikrotukiasemia käytetään yleensä ulkona. Niitä käytetään täydentämään makrotukiasemia ja ne sijaitsevat yleensä kattojen alapuolella, esim. rakennusten seinissä tai lyhtypylväissä. [36, s. 19] [38, s.888]
- Pico-tukiasema muodostaa pienehkön, muutaman kymmenen metrin kokoisen solun, ja sen lähetysteho on noin watin luokkaa. Näitä tukiasemia voidaan käyttää ulkona tai sisällä erityisen ruuhkaisilla paikoilla, kuten juna-asemilla, toimistoissa tai kauppakeskuksissa. [36, s. 19 – 20] [38, s.888]
- Femto-tukiasemat luovat noin 10-20 metrin suuruisen solun. Näiden tukiasemien lähetysteho on erittäin pieni, noin 0,1 wattia. Nämä poikkeavat muista tukiasemista siinä, että ne asennetaan yksityiseen tilaan ja niihin on määritelty erikseen sallitut käyttäjät. Femto-tukiasemat ovat myös ainoa tukiasematyyppi, jonka käyttäjä asentaa itse. [36, s. 19 – 20] [38, s.888]

Matkapuhelinverkkolaitevalmistaja Ericsson on listannut kolme tapaa parantaa matkapuhelinverkon kuuluvuutta ja kapasiteettia. Tavat ovat tukiasemien parantaminen, tihentäminen ja lisäys. Parantamisella tarkoitetaan makro-tukiasemien kehittämistä esimerkiksi paremmilla antennilla tai resursseja, kuten kaistanleveyttä, lisäämällä. Tihentämisellä tarkoitetaan entistä pienempi soluisten makro-tukiasemien lisäämistä strategiaan paikkoihin silloin kun, makro-tukiasemia ei voi enää parantaa. Lisäämisellä tarkoitetaan makro-tukiasemaverkoston täydennystä mikro-, pico- ja femto-tukiasemilla. Kaikkien näiden keinojen käyttöä Ericsson suosittelee vain erittäin tiheästi asutuilla alueilla. Tihennystä ja parannusta Ericsson suosittelee taajama-alueille ja pelkästään parannusta haja-asutusalueille. [39, s. 4-5]

## **4.4 LTE-verkko**

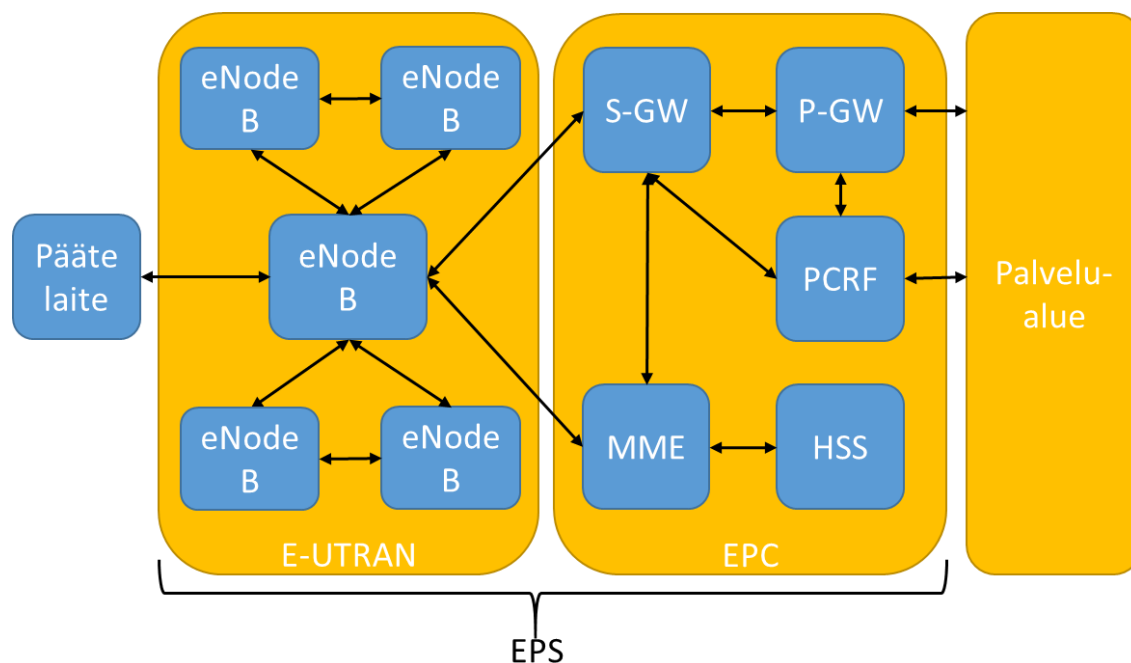
Tässä luvussa esitellään LTE-tekniikka tarkemmin. Kappaleessa käydään aluksi läpi LTE-tekniikan ominaisuudet. Tämän jälkeen esitellään perusmuotoisen verkon osat ja osien keskinäinen toiminta. Lopuksi tarkastellaan vielä erikseen erilaisia LTE-verkon tukiasemia.

### **4.4.1 LTE-verkon rakenne**

LTE-verkko koostuu perusmuodossa neljästä erillisestä osiosta; päätelaitteesta, E-UTRAN:ista (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network) eli tukiasemaverkostosta, EPC:sta (Evolved Packet Core) ja palvelualueesta. Kuvassa 3 näytetään miten nämä osiot ovat yhteydessä toisiinsa. [29, s. 25 - 26]

Käyttäjän on yhteydessä verkon palveluihin päätelaitteen avulla. Laite on yleensä LTE-verkkoon soveltuva matkapuhelin, tabletti tai ”mökkula” eli siirrettävä dataterminaali. Jotta verkko pystyy tunnistamaan käyttäjän päätelaitteen, tulee päätelaitteessa olla sisällä USIM (Universal Subscriber Identify Module). LTE-verkossa päätelaite on suoraan yhteydessä tukiasemaan. [29, s. 26 - 27]

E-UTRAN:illa (Evolved Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access Network) tarkoitetaan LTE-tukiasemaverkkoa. Tätä osuutta kutsutaan myös liityntäverkoksi. [40, s. 5] LTE-tukiasemaa nimitetään yleisesti eNodeB:ksi (E-UTRAN Node B). E-UTRAN koostuu siis useasta LTE-verkon tukiasemasta. Naapuri eNodeB:t ovat yhteydessä toisiinsa langattomasti X2-rajapinnan kautta. [29, s. 26 - 28]



Kuva 3: LTE-verkkoarkkitehtuuri

Tukiasemat viestivät toistensa ja käyttäjän päätelaitteen lisäksi myös runkoverkoksi kutsutun EPC:n kanssa S1-rajapinnan kautta. EPC:n kautta vuorostaan muodostetaan edelleen yhteys muihin palveluihin, kuten Internetiin ja operaattorin tarjoamiin palveluihin. EPC:n osat sijaitsevat yleensä operaattorin omistamissa suurissa palvelintiloissa. EPC:ssä on monta erillistä osiota, joista jokaista käsitellään myöhemmin erikseen. EPC:tä ja E-UTRAN:ia kutsutaan yhdessä nimellä EPS (Evolved Packet System). [29, s. 25-26] [40, s. 1 – 2]

LTE-verkossa liikkuva data voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin, käyttäjätasoon ja kontrollitasoon. Käyttäjätasolla tarkoitetaan liikennettä jossa siirretään jonkin palvelun sisältöä, kuten VoIP-puhelua (Voice over IP) tai Internetin selailutietoa. Kontrollitasolla tarkoitetaan taas signaalointia, eli kaikkea sitä tietoa joka verkossa siirretään käyttäjän palvelemiseksi. Tähän kuuluu esim. käyttäjän sijaintitieto. Tässä työssä käytetään nimityksiä signaalikanava ja kantokanava. Signaalikanavassa siirretään kontrollitason tietoa, ja kantokanavassa käyttäjätason tietoa. Kantokanavaan kuuluvat radioverkon kantokanava päätelaitteen ja tukiaseman välissä, data kantokanava tukiaseman ja S-GW:n (Serving Gate Way) välissä sekä data kantokanava S-GW:n ja P-GW:n (Packet Data Network Gate way) välissä. Näitä käsitellään seuraavassa luvussa tarkemmin. Yhdellä päätelaitteella voi samanaikaisesti olla useita kantokanavia, joista jokaiselle on määritetty oma palvelunlaatu-taso. LTE:ssä on useita palvelunlaatu-tasoa eli QoS (Quality of Service) tasoa. Palvelunlaatu-taso voi määrittää esimerkiksi siirtonopeuden, liikenteen

prioriteetin, pakettien sallitun viiveen ja pakettien sallitun katoamismäärän. [34, s. 3 – 5]  
[40, s. 4 – 5]

#### 4.4.2 Tukiasemaverkko

LTE-verkossa on useita tukiasemia, jotka ovat yhteydessä naapureihinsa, mitä on havainnollistettu kuvassa 3. LTE-verkon kaikissa soluissa käytetään samoja taajuusalueita. Tämä voi aiheuttaa solun reunassa häiriötä käyttäjille. Tukiasemat pitävät toisiinsa yhteyttä langattomasti X2-rajapinnan kautta. Sen kautta vaihdetaan kuorma- ja häiriö- ja solunvaihtotietoja. Häiriötietojen avulla tukiasemat voivat sopia solunreunoille tehtäville lähetyksille ajoituksen siten, etteivät ne häiritse toisiaan. [40, s. 5 – 6]

Toisin kuin vanhoissa radioviestintekniikoissa LTE:n liityntäverkossa, eli tukiasemaverkossa, ei ole erillistä RNC:tä (Radio Network Controller). Jokainen tukiasema, eli eNodeB, hoitaa RNC:n tehtävät itse mistä syystä verkkoa sanotaan litteäksi. Tämän muutoksen ansiosta LTE-verkko tarvitsee edeltäjiensä lyhemmät laskenta-ajat ja on kustannustehokkaampi. [29, s. 27 - 28][40, s. 5 – 6]

LTE-verkossa tukiasema hoitaa radioresurssien allokoinnin. Tähän kuuluvat mm. radioliikenteen hallinta, resurssien kohdentaminen, sekä liikenteen järjestäminen ja priorisointi kantokanavan QoS:n mukaan. [29, s. 27 - 28]

Tukiaseman vastuulla on myös hoitaa IP-pakettien otsikoiden pakkaaminen, jotta yhteyden käyttö olisi tehokasta. IP-paketissa itse data vie vain pienen osan koko paketin koosta. Loput paketista sisältää esim. reititysinformaatiota. Nämä tiedot voidaan pakata lähetystä varten ja purkaa tarvittaessa, jotta radiokaistaa voidaan käyttää tehokkaammin. [40, s. 5 – 6]

Tukiasemalla on S1-rajapinta EPC:n kanssa. Se voidaan jakaa edelleen kahteen osaan. S1-U-rajapinta on yhteydessä palvelevaan porttiin, eli S-GW:hen ja S1-MME rajapinta on yhteydessä MME:hen (Mobile Management Entity). Näiden toiminta esitellään EPC:n toiminnan yhteydessä tarkemmin. Tukiaseman kannalta on oleellista, että se voi joutua olemaan yhteydessä useaan eri S-GW:hen tai MME:hen. Tämä johtuu siitä, että solunvaihdon yhteydessä päätelaitetta palvelevat S-GW ja MME eivät välttämättä vaihdu. Koska yhden tukiaseman verkossa on yleensä useita päätelaitteita, voi eri päätelaitteita palvella eri S-GW tai MME. Tukiasemien pitää siis pitää kirjaa jokaisen palvelemaisensa päätelaitteen S-GW:stä ja MME:stä, sekä solunvaihdon yhteydessä ilmoittaa nämä tiedot seuraavalle tukiasemalle. ENodeB on LTE-Uu rajapinnalla yhteydessä jokaiseen solunsa päätelaitteeseen. Kukin päätelaite voi kuitenkin olla yhteydessä vain yhteen eNodeB:hen kerrallaan. [29, s. 27 - 28]

#### 4.4.3 Runkoverkko

Runkoverkko EPC koostuu viidestä eri osasta, MME:stä, S-GW:stä, P-GW:stä, HSS:stä (Home Subscriber Server) ja PCRF:stä (Policy and Charging Rules Function) [29, s. 25].

PCRF:n tehtävä on yksinkertaistettuna määritellä käyttäjän palvelutaso matkaviestinliittymä sopimuksen mukaan, eli esimerkiksi asettaa kaistarajoituksia [34, s. 6]. HSS on osio jossa pidetään käyttäjien tietoja, kuten mihin runkoverkkoihin käyttäjä saa liittyä ja minkälaiset oikeudet käyttäjällä on verkkovierailuihin. Lisäksi HSS pitää kirjaa missä MME:essä käyttäjä on kiinni, ja säilyttää käyttäjän tunnistamiseen vaaditut salaukset. HSS ja PCRF osioita ei tämän työn puitteissa ole tarvetta esitellä tarkemmin. [29, s. 32 – 34]

Palveleva portti, eli S-GW toimii jo mainitun rajapinnan S1-U kautta E-UTRAN:ille kantokanavan kiinteänä pisteenä. Vaikka päätelaite vaihtaa tukiasemaa, säilyy kantokanavan toinen piste samassa S-GW:ssä. S-GW on S5- ja S8-rajapinnan kautta yhteydessä seuraavaksi esiteltävään P-GW:hen. [29, s. 30-31] [34, s]

P-GW on S-GW:n lisäksi nimensä mukaan yhteydessä ulkoisiin palveluihin, PDN:iin (Packet Data Network). Sen tehtävä on pitää yllä PDN:nän ja päätelaitteen välistä kantokanavaa. P-GW:n vastuulla on kantokanavan palvelunlaadun asettaminen. Yleensä P-GW varaa päätelaitteelle IP-osoitteen (Internet Protocol) ja hoitaa lisäksi muita protokollia, kuten DHCP:tä (Dynamic Host Control Protocol). Samoin kuin S-GW toimii kiinteänä pisteenä E-UTRAN:ille, toimii P-GW kiinteänä pisteenä S-GW:lle. Jos päätelaitetta palveleva S-GW vaihtuu, siirtyvät kantokanavat P-GW:stä uuteen S-GW:hen. [29, s. 29 – 32] [34, s. 4]

MME on EPC:n kontrollitason hoitava osa. Se on yhteydessä E-UTRAN:iin jo aiemmin mainitulla S1-MME-rajapinnalla. MME käsittelee vain kontrollitasoa. Tämä pitää sisällään verkon resurssien allokoinnin valvontaa, laitteiden sijainnin seuraamista, laitteen herätystä (engl. paging), verkkovierailua ja solunvaihdon. [34, s. 5]

#### 4.4.4 Palvelualueet ja VoLTE

Ulkoiset palvelut, PDN:nät ovat käytännössä Internet palveluita, joita pystyy LTE-verkon kautta käyttämään. Nämä palvelut on jaettu kolmeen eri kategoriaan, operaattorin tarjoamat IMS-(IP Multimedia Subsystem) pohjaiset palvelut, operaattorin palvelut, jotka eivät ole IMS-pohjaisia, ja muut palvelut. IMS on 3GPP:n määrittelemä standardi, jonka avulla operaattori voi tuoda käyttäjälle SIP-(Session Initiation Protocol) protokollan avulla erilaisia palveluita. Palvelut jotka eivät ole IMS pohjaisia operaattori voi toteuttaa sovitun määrittelemättömän protokollan avulla omalta serveriltään. Muut palvelut muodostavat kolmannen ryhmän. Muut palvelut eivät ole operaattorin palveluita, eli ne ovat yleisiä Internet-palveluita, joille 3GPP ei ole määritellyt erillisiä protokollia. [29, s. 34 – 35]

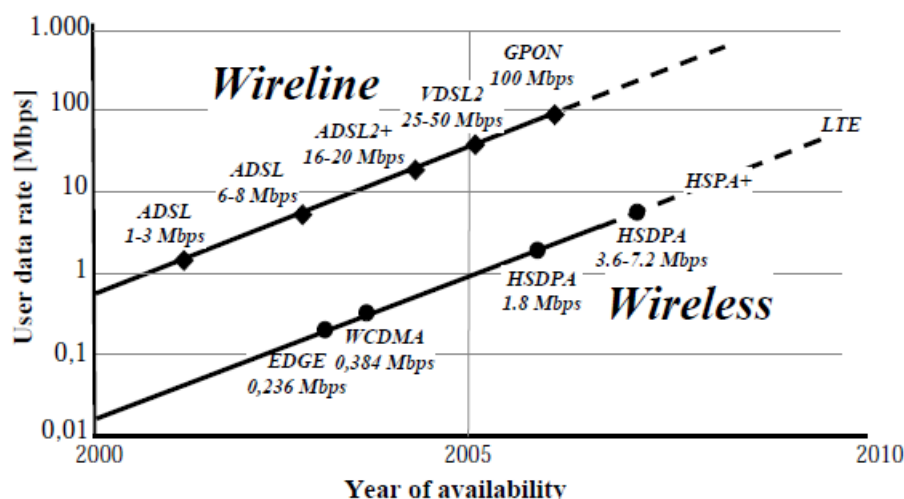
Kuten aiemmin mainittiin, 3G-verkossa datapalvelut kulkevat pakettikytkentäisessä ja puhepalvelut piirikytkentäisessä verkossa. IMS kehitettiin alun perin 3G-tekniikoiden pakettikytkentäistä verkkoa varten reaaliaikaisille palveluille. IMS on monimutkaisuutensa vuoksi kallis toteuttaa matkaviestinverkkoon. Alunperin mobiilioperaattorit eivät siksi nähneet sen tuomien palveluiden olevan tarpeeksi hyödyllisiä, jotta sen käyttöönotto olisi kustannusmielessä kannattavaa, ja vain harva mobiilioperaattori toi IMS-palvelut verkkoonsa. Toisin kuin 3G-tekniikat LTE-tekniikka toimii täysin pakettikytkentäisessä verkossa, eikä se tue luontaisesti puhepalveluita. Tämä sai operaattoreiden mielenkiinnon IMS:ää kohtaan heräämään uudestaan. LTE:n esittelyn jälkeen laitevalmistajat ja mobiilioperaattorit huolestuivat siitä, että IMS:sän monimutkaisuus hidastaa entisestään sen markkinoille tuloa, eikä LTE-verkkoon saada yhtenäistä puhepalvelua. Yhtenäisen puhepalvelun sijasta pelättiin että muunlaiset ratkaisut kuten kolmansien osapuolten tekemät VoIP- palvelut voivat syrjäyttää IMS:sän kautta toteutetun puhepalvelun. Tästä syystä vuonna 2009 muodostettiin ”One Voice”-niminen työryhmä, jonka tarkoitus oli määrittää kuvaus LTE-verkon puhepalveluille, jossa on määritelty yhteensopivuuden takaamiseksi minimivaatimukset joita laitevalmistajia pyydetään noudattamaan. Vuonna 2010 GSM Association adoptoi hankkeen ja sen nimeksi tuli VoLTE (voice over LTE). [41, s. 371 – 373]

VoLTE on jo otettu käyttöön joissakin verkoissa, mutta yksikään Suomen teleoperaattoreista ei käytä sitä. Näin ollen Suomessa 4G-verkot eivät pysty siirtämään puhetta kuin kolmansien osapuolten tarjoamien internet-palveluiden, kuten Skypen kautta. Haastatteluissa kävi ilmi, että operaattoreiden asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että VoLTE tullaan ottamaan käyttöön lähivuosina Suomen LTE-verkoissa. [14]

## 5 Kiinteät laajakaistat ja sisäverkko

Tässä luvussa käsitellään kiinteitä laajakaistatekniikoita, joilla internet-yhteys voidaan tuoda kuluttajan kotiin. Lisäksi perehdytään tekniikoihin, joilla internet-yhteyden voi muuttaa kotona sisäverkoksi, millä tässä työssä viitataan tapaan käyttää internet-yhteyttä langattomasti kodin sisällä. Tässä työssä laajakaistalla tarkoitetaan internet-yhteyttä, joka on jatkuvasti käytettävissä ja jonka nimellinen latausnopeus on vähintään 2 Mbit/s. Tämä latausnopeus vastaa aiemmin esitellyn yleispalveluvelvoitteen vaatimusta 1.11.2015 alkaen. Aluksi esitellään tekniikat, joilla internet-yhteys siirretään kuluttajan kotiin. Esiteltävät tekniikat ovat DSL (Digitaalinen tilaajayhteys), kaapelimodeemi ja kuituyhteys. Yhteys voi todellisuudessa olla toteutettu useaa eri tekniikka käyttäen. Sillä ei kuitenkaan ole tämän työn puitteissa merkitystä, vaan lopullinen siirtotapa asiakkaan kotiin ratkaisee, millä tavalla yhteys luokitellaan toteutetuksi. Luvun lopuksi esitellään WLAN- ja femto-tukiasemat, joilla on mahdollisuus luoda sisäverkko.

Edistyneimmät kiinteästi toteutetut laajakaistatekniikat ovat olleet nopeudeltaan aina mobiililaajakaistoja nopeampia. Osittain tästä syystä myös mobiililaajakaistojen nopeutta on pitänyt nostaa, jotta kummallakin tekniikalla voi käyttää sujuvasti samoja palveluita. Kuvassa 4 esitetään erilaisten kiinteiden- ja mobiiliyhteyksien maksiminopeuksia ja ilmestymisvuosia. [29, s. 3]



Kuva 4: Kiinteiden- ja mobiililaajakaistojen latausnopeuksien kehitys [29, s. 4]

### 5.1 Kiinteän laajakaistat

Tämä kohta käsittelee pintapuolisesti eri tekniikat, joilla kiinteälaajakaista voidaan tuoda kuluttajan kotiin. Siirtotekniikat poikkeavat toisistaan paitsi ominaisuuksiltaan, myös toteutukseltaan. Toteutus voi olla puhelin-, kaapeli- tai kuituverkkoa hyödyntävä.

Erilaisia DSL, eli puhelinverkon kuparisilla metallijohtimilla toteutettuja siirtotekniikoita nimitetään yleisesti xDSL-tekniikoiksi. Vuoden 2014 lopussa Suomen markkinoiden kiinteistä internet-liittymistä yli 50 % oli toteutettu jostain xDSL-tekniikkaa käyttäen [1, s. 13]. Erilaisia xDSL-tekniikoita on useita, joista esitellään ADSL (Asymmetrinen digitaalinen tilaaja yhteys), ADSL2+ (Asymmetrinen digitaalinen tilaaja yhteys 2) ja VDSL2 (Very High Speed Subscriber Line 2) [42, s. 2].

Vanhemmat xDSL-tekniikat ADSL ja ja ADSL2+ ovat epäsymmetrisiä tiedonsiirtotekniikoita, eli niissä lähetysnopeus on korkeampi kuin latausnopeus. ADSL:n teoreettinen maksimilatausnopeus on n. 8 Mbit/s. ADSL2+ puolestaan pystyy teoreettisesti 24 Mbit/s latausnopeuteen, jota voi pitää yleisesti riittävänä internetin käyttöön usealla laitteella, vaikka käyttö sisältäisi esim. televisiopalveluita. Uudempi VDSL2 pystyy siirtämään dataa symmetrisesti jopa 100Mbit/s nopeudella, joka on useimmiten enemmän kuin riittävä myös paljon lähetysnopeutta vaativiin palveluihin kuten pelaamiseen. Yleisesti etenkin uudempien xDSL standardien ongelmana on suhteellisen lyhyt, n. 2 kilometrin maksimi siirtomatka solmupisteestä. Yli 20 Mbit/s olevat latausnopeudet xDSL-liittymälle edellyttävät alle kilometrin yhteyspituuksia. [42, s. 2 – 4]

Vuoden 2014 lopussa noin 22 % Suomen internet-liittymistä oli toteutettu kaapelimodeemin kautta [1, s. 13]. Yleisin kaapelimodeemistandardi on EuroDocsis 3.0, jolla voidaan saavuttaa jopa 120Mbit/s latausnopeus, mutta vain 10Mbit/s lähetysnopeus. Vanhempien xDSL-standardien tavoin kaapelimodeemi on siis myös vahvasti epäsymmetrinen. Kaapelimodeemin nopeus on aina solukohtainen, eli todellinen nopeus vaihtelee aina samassa solussa olevien käyttäjien käyttömäärän mukaan. [42, s. 4]

Vuoden 2014 lopussa kuitua käyttävät yhteydet eivät vielä ole yleisiä, mutta niiden osuus kasvaa jatkuvasti uusien verkkoinvestointien myötä [1, s 13, 16 – 17]. Kuituyhteydet voidaan jakaa kahteen eri arkkitehtuuriin, aktiiviseen Ethernet-arkkitehtuuriin ja PON- (Passive Optical Network) arkkitehtuuriin. Aktiivisessa Ethernet-arkkitehtuurissa keskuksesta tai korttelijakamosta vedetään kuluttajan kotiin oma kuituyhteys, joka ylittää symmetriseen 100Mbit/s tai 1Gbit/s nopeuteen. PON-arkkitehtuurissa taas keskuksesta lähtee kaikkien tilaajien kesken jaettu runkokuitu. Optinen haaroitin jakaa tämän yhteyden tilaajien kesken ja nopeus on kiinni jakajien määrästä. [42, s. 4 - 6]

Verrattuna DSL:ään tai kaapelimodeemiin kuituyhteys on huomattavan nopea. Kuitu mahdollistaa myös DSL-tekniikoita huomattavasti pidemmän etäisyyden keskukselta kuluttajalle, jopa 60 km siirtomatkan. Viestintäviraston vuonna 2009 teettämä tutkimus on sitä mieltä, että kaikki kiinteät yhteydet muuttuvat kuituyhteyksiksi, ja kyse on lähinnä siitä että minkälaikeiden välivaiheiden kautta niihin siirrytään. Viestintäviraston ”Sadan megan Suomi”-kampanjan ”Vauhtia verkkoon”-esitteessä arvioidaan valokuidun riittävän kodin kaikkien tietoliikennepalveluiden toteutukseen seuraavan 50-vuoden ajan. Suomen kuituverkko laajenee kokoajan. Kuituverkkoon on mahdollista luoda DSL- tai kaapelimodeemiyhteyksiä kotitalouteen, joka sijaitsee tarpeeksi lähellä kuitua. Tästä on hyötyä jos kupari- tai kaapeliverkkoa on jo olemassa, jolloin niitä voidaan hyödyntää uuden verkon rakentamisen sijaan. Tällöin verkon rakentamisen taloudelliset riskit vähenevät investointien pienentyessä. Etenkin kerrostaloasunnoissa, joissa on olemassa joko kuparinen- tai ethernet-sisäverkko voidaan kuituyhteys vetää kustannustehokkaasti kerrostalon jakamoon, josta vanhan sisäverkon kautta voidaan saavuttaa jopa 100 Mbit/s yhteydet. [42, s. 13 - 14] [43]

## **5.2 Langaton sisäyhteys kotona**

Tässä alaluvussa esitellään kaksi eri ratkaisua luoda kotiin langaton sisäverkko, WLAN- ja Femto-tukiasemat. Aluksi käydään läpi kummankin levinneisyyttä, ominaisuuksia sekä hintaa ja lopuksi vertaillaan niiden eroja.



### 5.2.1 WLAN

WLAN on langaton tiedonsiirtotekniikka, jonka avulla voidaan luoda langaton sisäverkko. Sisäverkko luodaan tukiasemalla, johon voidaan ottaa yhteys päätelaitteella. Tukiasemaan kuuluu lähes aina myös reititin, sekä usein DSL- tai kaapelimodeemi. Päätelaitteita on useita erilaisia, kuten tietokone, matkapuhelin tai älytelevisio. Samassa sisäverkoissa kiinni olevat laitteet voivat viestiä keskenään. Usein tukiasema on yhteydessä kiinteään internet-yhteyteen, mutta myös mobiili-yhteyden kautta toimivia tukiasemia on olemassa. [24, s. 323-325]

WLAN-tekniikka tuli markkinoille 1990-luvun puolivälissä. Wi-Fi on samaan WLAN-standardiin perustuva tavaramerkki, jota hallinnoi voittoa tavoittamaton Wi-Fi Alliance järjestö. Järjestöön kuuluu noin 600 yritystä useasta eri maasta. Wi-Fi Alliancen tavoitteena on sertifioida omalla tunnuksellaan WLAN-laitteet, jotka täyttävät järjestön asettamat laatuvaatimukset. Järjestön mukaan he ovat antaneet Wi-Fi-sertifikaatin yli 25 000 tuotteelle, ja vuonna 2013 maailmassa myytiin yli 2 miljardia Wi-Fi tuotetta. [44]

WLAN on määritelty IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardissa 802.11, jonka etuliite 802 ilmaisee sen kuuluvan LAN- (Local Area Network) standardeihin esim. ethernetin tavoin. Ilmestymisensä jälkeen WLAN-tekniikkaa on kehitetty eteenpäin. Esimerkiksi tietoturva, kantomatkaa ja tiedonsiirtokapasiteettia on parannettu. Uusiin standardeihin on yleisesti lisätty kirjain numerosarjan perään. Kirjaimet on annettu silloin, kun työryhmä kyseistä standardia varten on perustettu, ei silloin kun se on tullut markkinoille, mistä syystä 802.11b ilmestyi ennen 802.11a standardia. Taulukossa 3 on esitelty WLAN standardeja, sekä niiden ominaisuuksia. [21, 207] [24, s. 322-323]

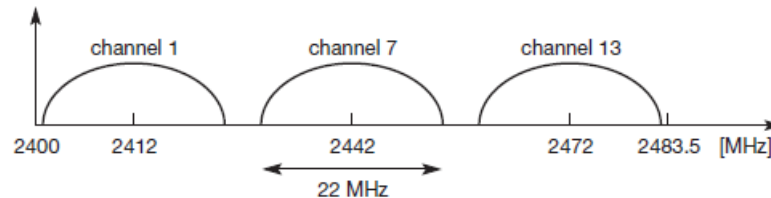
Taulukko 3: WLAN-standardien ominaisuuksia [24, s. 322]

| 802.11x | Taajuusalue (GHz) | Maksimi nopeus (Mbit/s) |
|---------|-------------------|-------------------------|
| b       | 2,4               | 11                      |
| a       | 5                 | 54                      |
| g       | 2,4               | 54                      |
| n       | 2,4 ja 5          | 600                     |

Yksi syy WLAN:in menestykseen on sen toimivuus useimmissa maissa lisensoimattomalla eli vapaasti käytettävällä 2,4 ja 5 GHz taajuusalueella. Myös muita laitteita, kuten esimerkiksi Bluetooth-laitteita toimii tällä taajuusalueella. Kuten jo luvussa 2.3.3. kerrottiin, taajuusalueiden käyttöä valvotaan tiukasti ja operaattorit maksavat taajuushuutokaupoissa taajuusalueen yksinkäyttöoikeudesta. Toimiminen lisensoimattomalla taajuusalueella mahdollistaa langattoman verkon käyttämisen ilman, että operaattorit voivat periä siitä erillistä maksua. Lisensoimattomilla taajuusalueilla toimivat laitteet eivät saa toimia suurella lähetysteholla, eli niiden kantama on erittäin lyhyt. Euroopassa WLAN-tukiaseman lähetysteho saa olla maksimissaan 0,1 wattia. Pienestä lähetystehosta johtuen tukiasemien taajuuksien erillinen kontrollointi ei ole kovin tärkeää, sillä niiden häirintäsäde ei ole suuri. [24, s. 322, 361]

On mahdollista, että usea WLAN-tukiasema toimii lähekkäin esimerkiksi kerrostalossa, ja tukiasemat häiritsevät toisiaan. WLAN käyttää 2,4 GHz taajuusalueella maan laista riippuen 11 - 14 eri kanavaa. Euroopassa kanavia on 13. Yksi kanava tarvitsee 22 MHz:n kaistanleveyden, ja kanavat ovat sijoitettu 5 MHz:n päähän toisistaan. Jotta kanavat eivät häiritsisi toisiaan, tulee niiden välissä olla vähintään 25 MHz. Tämä tarkoittaa, että 2,4

GHz:n taajuusalueella tulee lähekkäin sijaitsevien WLAN-tukiasemien toimia viiden tai useamman kanavan päässä toisistaan, häiriön välttämiseksi. Kuvassa 5 on esitetty 2,4 GHz:n taajuusalue sekä toistensa häirintäsäteiden ulkopuolella olevat WLAN-kanavat 1, 7 ja 13. [21, s.232]



Kuva 5: WLAN 2.4 GHz taajuusalue [21, s. 233]

WLAN:ia voidaan käyttää eritavoilla, mutta niistä yleisin ja tämän työn kannalta merkityksellinen on BSS-(Basic Service Set) tila. Tässä tilassa WLAN-verkossa on yksi WLAN-tukiasema, joka on yhteydessä runkoverkkoon ja hoitaa tiedonsiirron lähiverkossa ja internetissä palvelemilleen päätelaitteille. Vaikka yksittäisen WLAN-tukiaseman kantavuus on pienen lähetystehon myötä varsin pieni, voidaan tekniikalla tarvittaessa kattaa isompi alue yhdistämällä usea WLAN-tukiasema. Tätä kutsutaan ESS-(Extended Service Set) tilaksi. Tällöin päätelaite vaihtaa tilassa automaattisesti aina käyttämään sitä WLAN-tukiasemaa, jolta se saa vahvimman signaalin. ESS-tilassa viereiset tukiasemat käyttävät eri kanavia häiriöiden välttämiseksi. Vaikka yhden WLAN-tukiaseman kantosäde yleisesti riittää kattamaan yhden talon, voi usean kerroksen talossa olla tarve pitää oma WLAN-tukiasema jokaisessa kerroksessa, koska lattia on usein seiniä paksumpi ja näin ollen vaimentaa signaalia tehokkaammin. [21, s. 234] [24, s. 323 - 326]

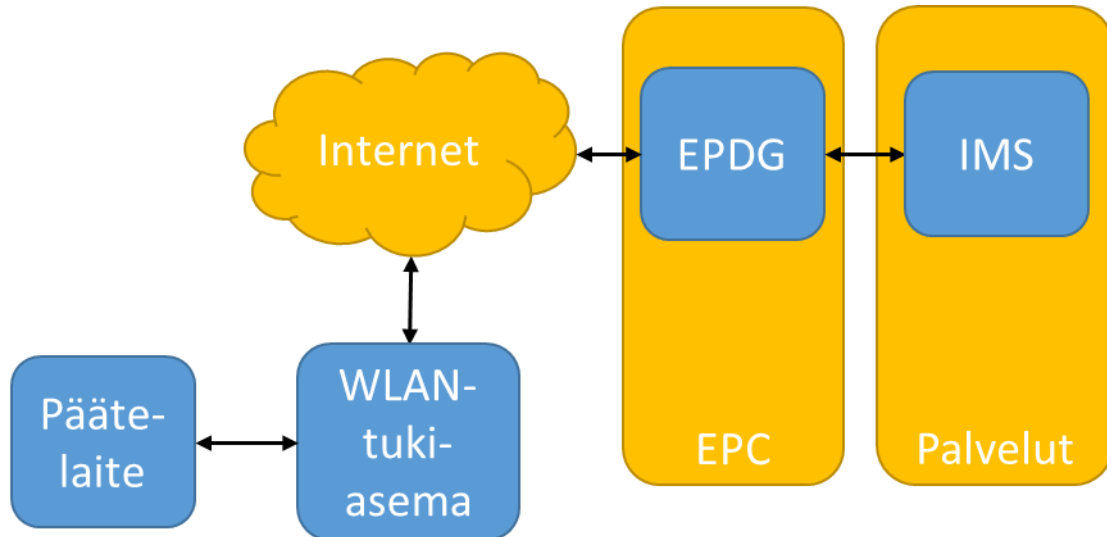
### 5.2.2 WLAN-puhelut

Internetin käytön ohella myös puhelinpalveluiden käyttäminen WLAN:in kautta on mahdollista. Erilaisia ohjelmilla toimivia puhelinpalveluita, kuten Skype ja WhatsApp, on olemassa tätä varten. Näillä ohjelmilla ei kuitenkaan usein pysty käyttämään omaa puhelinnumeroa, vaan soittamiseen käytetään erillistä käyttäjätunnusta. Ne vaativat myös, että henkilöllä, johon ollaan yhteydessä, on kyseinen ohjelma, eikä niiden kautta voi soittaa hätäpuheluita. Operaattori pystyy kuitenkin toteuttamaan myös täysin normaalit puhelinpalvelut WLAN:in kautta ilman ylimääräisiä applikaatioita.

Kuten luvussa 4.4.4 kerrottiin, operaattorit ovat tuomassa VoLTE-palvelua verkkoihinsa. Laittevalmistaja Ericssonin mukaan tätä tapahtuu maailmanlaajuisesti. Wi-Fi-soittaminen on uusi VoLTE:lle läheinen tekniikka. Ericssonin mukaan Wi-Fi-soittamisen pääasiallinen hyöty syntyy sisätilojen kuuluvuusongelmien ratkaisemisesta. [45, s. 1 – 3]

Wi-Fi-soittamisen mahdollistaa myös VoLTE:n käyttämä IMS ja LTE-verkon EPC-osaan lisättävä ePDG (Evolved Packet Data Gateway). Wi-Fi-puhelut vaativat kuitenkin pientä muokkausta IMS:ään verrattuna VoLTE:en, koska Wi-Fi ja LTE poikkeavat toisistaan piirikytkentäisen verkkoon pääsyyn suhteen. ePDG toimii porttina operaattorin runkoverkon ja muun internetin välillä. Yhteys ePDG:hen on suojattu IPSEC-(IP Security) ja IKEv2-(Internet Key Exchange version 2) protokollilla. Näin ollen yhteys on turvallinen myös julkisista WLAN-tukiasemista käytettynä. Wi-Fi-soittaminen mahdollistaa myös siirtymisen LTE-verkkoon puhelun aikana ilman, että puhelu katkeaa. Operaattoreiden kannalta Wi-Fi-puheluissa aiheutuu huoli puhelunlaadusta, sillä WLAN yhteys on aina jonkun muun kuin operaattorin kontrolloima. Näin ollen operaattori voi

saada reklamaatioita huonosta puhelunlaadusta, vaikka vika olisi ulkopuolisen tahon kontrolloimassa WLAN-verkossa. Kuvassa 6 on esitelty Wi-Fi-puhelun yksinkertaistettu arkkitehtuuri. [14] [45, s. 1 – 4]



Kuva 6: Wi-Fi-puhelun yksinkertaistettu arkkitehtuuri [45, s. 4]

### 5.2.3 LTE-femto-tukiasema

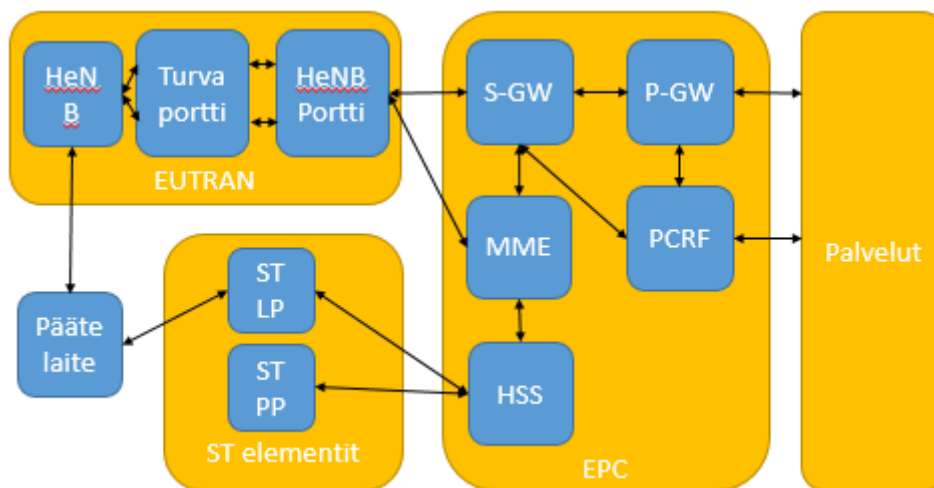
Tässä kohdassa esitellään femto-tukiasema, sen käyttömahdollisuudet ja arkkitehtuuri. Femto-tukiasema on heterogeenisen verkon pienin tukiasema, joka asennetaan sisätiloihin, joko toimistoon tai asuntoon.

Femto-tukiasemat asennetaan yksityisiin tiloihin ja se luo pienen matkapuhelinverkon solun. Muista tukiasemista poiketen, femto-tukiasemalla on niin kutsuttu ST (suljettu tilaajaryhmä), millä tarkoitetaan, että tukiaseman omistaja voi määrittää, mitkä laitteet saavat käyttää tukiaseman luomaa solua. Näin esimerkiksi kerrostalossa voi antaa ainoastaan perheenjäsenten matkapuhelimille oikeuden käyttää femto-tukiasemaa. [46]

Femto-tukiasema toimii asennuskohteensa kiinteän internet-yhteyden kautta, mikä on siis käyttöönoton vaatimus. Asennus on ”kytke ja käytä”-tyyppinen ja sen voi tehdä asukas itse. Esimerkiksi Fujitsun femto-tukiaseman asentaminen vaatii lähiverkkokaapelin kytkemisen tukiasemaan ja virran kytkemistä laitteeseen. Tämän jälkeen laite hoitaa itse asennuksen loppuun. Femto-tukiasemat voivat tukea pelkästään 3G-tekniikoita, mutta myös LTE-tekniikka tukevia tukiasemia löytyy. Tämä työ keskittyy LTE-tukiasemiin, sillä ne mahdollistavat puheyhteyden lisäksi myös nopeat datayhteydet. [47][48]

LTE-verkon arkkitehtuuri on esitelty luvun 4.4.1 kuvassa 3. Mikäli verkkoon asennetaan femto-tukiasema, nähdään se verkossa yhtenä eNodeB-tukiasemana. LTE-verkon femto-tukiasemasta käytetään nimeä HeNB (Home eNodeB). HeNB eroaa hieman eNodeB:stä arkkitehtuuriltaan. Sillä ei ole X2-rajapinnan kautta yhteyttä sen läheisiin makrotukiasemiin, vaan se joutuu suorittamaan solunvaihdon S1-rajapinnan kautta MME:ssä. HeNB käyttää siis siihen kytkettyä internet-yhteyttä liityntäverkkona ja ottaa sen avulla erillisen turvaportin kautta yhteyden operaattorin runkoverkon, S-GW- ja MME-osiin. Turvaportti huolehtii yhteyden kontrolloinnista. Runkoverkon ja turvaportin välissä voi myös olla HeNB-portti, mutta se ei ole pakollinen osa arkkitehtuuria. HeNB-

portti kokoaa yhteen useita lähekkäin sijaitsevia HeNB-asemia ja hoitaa viestinnän niiden ja runkoverkon välillä. Näin runkoverkko ei kuormitu niin paljon. Lisäksi HeNB tuo verkkoarkkitehtuuriin ST:ä varten runkoverkon HSS-osan yhteydessä olevan ST LP:n (Suljetun Tiljaaryhmän Lista Palvelin) ja ST PP:n (Suljetun Tilaaaryhmän Pääkäyttäjä Palvelin). Näiden tehtävänä on lähettää ja ylläpitää runkoverkolle listaa niistä päätelaitteista jotka saavat liittyä HeNB:in luomaan soluun. Kuvassa 7 esitellään LTE-femto-tukiaseman sisältävän LTE-verkon arkkitehtuuri. [46][47]



Kuva 7: Femto-tukiaseman arkkitehtuuri LTE-verkossa

Kuluttaja hyötyy femto-tukiasemasta saamalla lähtökohtaisesti paremman signaalihäiriösuhteen eli paremman kuuluvuuden ja palvelunlaadun. Myös verkon kapasiteetin tulisi olla suurempi, sillä se on jaettu vain tukiaseman ST:n kesken, kun taas makrotukiasemassa voi olla satoja käyttäjiä. Tämä riippuu käytetyn kiinteänyhteyden laadusta ja makrotukiaseman paikallisesta ruuhkasta. Ruuhkaisella alueella useamman kuluttajan käyttäessä kotonaan femto-tukiasemia, pienentyvät vastaavasti alueen suurempien tukiasemien ruuhka. Tämä taas parantaa kuluttajalle kuuluvuutta kodin lähellä, mikä on myös operaattorin etu. [49]

Operaattorin kannalta femto-tukiasemat voidaan nähdä mahdollisuutena purkaa liikennettä pois makrotukiasemasta. Mikäli kuluttajat ostavat itse femto-tukiasemat, se voidaan nähdä myös edulliseksi operaattorin kannalta, sillä asennus, tilavuokra, energiankulutus ja liityntäyhteys operaattorin verkkoon jäävät käyttäjän vastuulle. Mobiilioperaattorit voivat kuitenkin periä femto-tukiaseman kautta käytetyistä palveluista halutessaan normaalihinnan. Erään työssä haastatellun henkilön mukaan HeNB-portin käyttöönotto tuo operaattorille kuitenkin huomattavia kertaluonteisia kustannuksia [14]. [49]

Mobiilioperaattorilla on myös mahdollisuus yrittää luoda femto-tukiasemien avulla uusia palveluita ja saada näin uusia tulovirtoja. Tämänlaisia palveluita ovat esimerkiksi perhesopimukset, joiden avulla voidaan kasvattaa asiakasmäärää ja saada parempia tuottoja. Heikkosta kuuluvuudesta kärsivät asiakkaat voidaan myös onnistua pitämään luomalla femto-tukiasemilla parempi kuuluvuus. Kiinteänverkon operaattoreille femto-tukiasema ei lähtökohtaisesti vaikuta lupaavalta, sillä sen avulla asiakkaat käyttävät kiinteähintaisen yhteytensä kautta teleoperaattorin palveluita ja tuovat tulojen sijasta vain enemmän liikennettä siirrettäväksi. Femto-tukiasemat voivat kuitenkin tuoda

kiinteänverkon operaattoreille täysin uusia mahdollisuuksia, sillä ne voivat yrittää päästä käsiksi kasvaviin mobiilidatan tuottoihin. Tämä on mahdollista joko tekemällä yhteistyötä teleoperaattoreiden kanssa myymällä omalla toiminta-alueellaan pakettina liittymää ja femto-tukiasemaa. Yhteistyön sijaan kiinteänverkon operaattori voi yrittää estää femto-asemien kautta kulkevan liikenteen ja vaatia siitä maksua asiakkaalta tai operaattorilta, jonka palvelua käytetään. Operaattori voi myös yrittää differentioida tuotteensa femto-tukiasemaystävälliseksi tai kehittää palveluita, joita voi myydä mobiilioperaattorille. Varmaa kuitenkin on, että femto-tukiasemat tarvitsevat kiinteää internet-yhteyttä ja että femto-tukiasema ei myöskään toimi ilman mobiilioperaattorin omistamaa taajuusaluetta. [50, s. 42]

Femto-tukiasemissa on kuitenkin ongelmia. Sen luoma langaton sisäverkko on aina operaattorikohtainen. Tämä tarkoittaa käytännössä, että vaikka kotitalouteen hankitaan kiinteän internet-yhteyden lisäksi femto-tukiasema, toimii femto-tukiasema ainoastaan yhden operaattorin liittymän kanssa. [35, s. 17]

Läheskään kaikki käytössä olevat kuluttajien päätelaitteet eivät myöskään kykene tukemaan LTE-tekniikka. Vuoden 2014 syyskuussa Suomen matkapuhelinverkossa käytetyistä laitteista vain noin 19 % tuki LTE-tekniikka. Määrä on kuitenkin nopeassa kasvussa. Kodinkoneketju Gigantissa myydyistä puhelinmalleista 172:ssa 179:stä oli LTE valmius helmikuussa 2016. [51] DNA:n myymistä puhelimista vuonna 2015 85 % oli LTE-puhelimia [52]. [14]

Femto-tukiasema joka toimii makro-tukiaseman luoman radioverkon sisällä, voi häiritä muita päätelaitteita. Femto-tukiaseman ollessa samalla taajuudella eNodeB:n kanssa voi eNodeB:en yhteydessä oleva päätelaite joka, ei kuulu femto-tukiaseman ST:ään, kokea pahojakin häiriöitä. [46]

## 6 Ratkaisuvaihtoehtojen käyppyyys ja kuvaus

Seuraavaksi esitellään eri ratkaisuvaihtoehtot langattoman sisäverkon luomiseksi kotona. Ratkaisu kuvaillaan aluksi lyhyesti, minkä jälkeen ratkaisun hyötyjä ja haittoja arvioidaan. Kappaleen lopuksi ratkaisuja vertaillaan lyhyesti.

### 6.1 Kiinteä siirtotekniikka WLAN-sisäyhteydellä

Tässä ratkaisussa kuluttajalla on kotona kiinteä internet-liittymä, joka käyttää jotakin luvussa 5 esitettyä tekniikkaa. Kiinteään internet-liittymään on kytketty kotona WLAN-tukiasema, jonka avulla luodaan langaton sisäverkko. Tukiasema on yleensä integroitu samaan laitteeseen reitittimen tai kaapelimodeemin kanssa.

Sisäverkkoon voi liittää useita eri laitteita, ja se on riippumaton laitteiden valmistajasta tai operaattorista. Sisäverkon nopeus on riippuvainen kiinteään internet-yhteyden nopeudesta sekä käytettävästä WLAN-standardista, kuten kohdassa 5.2.1 taulukossa 3 näytetään. Koska halvatkin WLAN-tukiasemat tukevat nykyisin nopeita WLAN-standardeja, voidaan nopeuden olettaa olevan täysin riippuvainen kiinteästä internet-yhteydestä. [53] Kiinteän internet-yhteyden nopeus voi yleisesti vaihdella 1 ja 1000 Mbit/s:n välillä.

Tämän ratkaisun hinnaksi kuluttajalle muodostuu kiinteän internet-yhteyden hinta sekä maksu WLAN-tukiasemasta. Kiinteän internet-liittymän hinta vaihtelee nopeuden mukaan. Suomen kotitalouksien maksaman kuukausihinnan keskiarvo oli Viestintäviraston teettämän kuluttajatutkimuksen mukaan vuonna 2015 23 €. Kuukausihinta on säilynyt vakaana viime vuosien aikana. Huomattavasti kalliimpia liittymiä oli tutkimuksen mukaan vain vähän. Yli 40 € kuukaudessa liittymästä maksoi 3 % vastaajista ja yli 50 € 1 %. WLAN-tukiaseman voi joko ostaa itse tai vuokrata operaattorilta. Operaattorit perivät muutaman euron kuukausimaksua laitteista, esim. DNA pyytää WLAN-tukiaseman sisältävästä kaapelimodeemista 3 €/kk. Kaupassa WLAN-tukiaseman hinta vaihtelee mallin mukaan. Halvimmat tukiasemat maksavat hieman yli 10 € ja kalliin hintaluokan tukiasema noin 100 €. Kaapelilla toteutetut liittymät vaativat kaapelimodeemin, jolloin hinta nousee noin 130 euroon. Tämän perusteella arvioidaan ratkaisun hinnaksi kuluttajalle noin 25 € kuukaudessa. [54, s. 28] [55] [56]

Kuten kohdassa 5.2.2 kerrottiin, WLAN-sisäverkko ei kykene tällä hetkellä Suomessa tarjoamaan normaaleita puhelinpalveluita kuluttajalle, mutta tarjoaa mahdollisuudet soittaa VoIP-puheluita erillisten sovellusten kautta. Näin ollen se ei toistaiseksi sovellu katvealueen sisäpuolella puhelinpalveluiden korvaajaksi femto-tukiaseman tavoin. Normaaleidenkin puhelinpalveluiden käyttö on teknisesti mahdollista. Wi-Fi puheluiden markkinoille tulon todennäköisyyttä käsitellään luvussa 7.4.

### 6.2 Kiinteä siirtotekniikka LTE-femto-tukiasemalla

Kuten WLAN-sisäverkko myös LTE-femto-tukiasema vaatii kuluttajan kotona kiinteän internet-liittymän, johon tukiasema voidaan kytkeä. Femto-tukiasema luo langattoman sisäverkon, mutta kuten kohdassa 5.2.3 kerrotaan, sisäverkko ei ole WLAN:in tavoin avoin kaikille käyttäjän haluamille laitteille vaan ainoastaan niille, jotka toimivat tukiaseman operaattorin verkossa. Nopeus on WLAN-tukiaseman tavoin riippuvainen kiinteän internet-yhteyden nopeudesta.

Femto-tukiaseman kustannukset kuluttajalle muodostuvat kiinteästä internet-yhteydestä ja tukiaseman hinnasta tai vuokrasta. Edellisessä kohdassa todettiin kiinteän internet-

yhteyden maksavan Suomessa keskimäärin 23 € kuukaudessa. Femto-tukiasemia ei Suomessa ole myytävänä ja LTE-femto-tukiasemia ei juuri ole edes maailmalla vielä tarjolla. 3G-femto-tukiaseman hinta on esim. Britanniassa Vodafonella noin 100 € [48], LTE-asetat ovat markkinoille tullessaan todennäköisesti hieman kalliimpia.

Femto-tukiasemasta voi aiheutua ylimääräisiä kustannuksia, jos sen LTE-verkkoa halutaan käyttää laitteilla, joihin ei muuten LTE-liittymiä otettaisi. Jokaisessa tukiasemaa käyttävässä laitteessa tulee olla LTE-liittymä. Jos tukiasemaa käytetään esimerkiksi tabletilla, jota ei juuri käytetä kodin ulkopuolella, tai matkapuhelimella johon riittäisi 3G- tai 2G-yhteys kodin ulkopuolella, aiheutuu näiden laiteiden liittymistä lisäkustannuksia noin 25 € kuukaudessa per uusi LTE-liittymä ja 10 € kuukaudessa per matkapuhelinliittymä, joka on täytynyt korottaa LTE-liittymäksi. Kappaleessa 7.1.4 taulukossa 8 esitellään tarkemmin Suomen matkapuhelinliittymien hintoja.

Ratkaisun hinnaksi muodostuu kiinteän internet-yhteyden hinta, tukiaseman hinta tai vuokra sekä mahdolliset maksut uusista liittymistä tai liittymien parannuksista. Tämä on noin 25 - 30 euroon kuukaudessa ja noin 15 - 30€ kuukaudessa per ylimääräinen laite johon tarvitaan uusi tai parempi liittymä.

LTE-femto-tukiasema, kuten myös 3G-femto-tukiasema tarjoaa kuluttajalle, jonka koti sijaitsee katvealueella, mahdollisuuden saada kodin sisällä käyttöön normaalit matkapuhelinpalvelut. Myös internetin käyttö langattomasti tukiaseman kautta on mahdollista, mutta liikenne tapahtuu tällöin mahdollisesti erikseen laskutettavassa LTE-verkossa, sen nopeus ei kuitenkaan ole kiinteän liittymän nopeutta parempi.

### **6.3 LTE-siirtotekniikka WLAN-sisäyhteydellä**

Tässä ratkaisussa kuluttajan koti ei sijaitse katvealueella, vaan LTE- tai 3G-verkko kuuluu kuluttajan kotona hyvin. Yhteys internetiin muodostetaan mokkulalla, joka on yhteydessä LTE-matkapuhelinverkkoon. Osa edellä mainituista dataterminaaleista pystyy muodostamaan WLAN-sisäverkon, ja toisiin tarvitaan erillinen WLAN-tukiasema jotta sisäverkko voidaan muodostaa. WLAN-sisäverkko voidaan muodostaa myös suurimmalla osalla älypuhelimista.

Tämä ratkaisuvaihtoehto on edellisiä vaihtoehtoja edullisempi, sillä mobiiliyhteyksien hinnat ovat kiinteitä internet-yhteyksiä edullisempia, noin 15 – 20 € kuukaudessa. Luvun 7.1.4 taulukossa 8 on esitelty Suomen mobiililiittymien hintoja tarkemmin. Kuukausimaksun lisäksi kuluttaja joutuu ostamaan erikseen mokkulan, jonka hinta on erikseen ostettuna noin 150 € tai vuokrattuna operaattorilta noin 4-5 € kuukaudessa. Ratkaisun hinnaksi muodostuu noin 20 – 25 € kuukaudessa riippuen valittavasta dataterminaalista sekä liittymän nopeudesta.

Matkapuhelinverkon tukiasema jakaa kapasiteettinsa kaikkien käyttäjien kesken ja on kiinteää internet-liittymää alttiimpi häiriöille [21, s. 17]. Näin ollen tämän ratkaisun toimivuus ei ole yhtä luotettava kuin edellisten ratkaisuiden ja nopeus vaihtelee alueen tukiaseman ruuhkan mukaan. Mobiilioperaattorit ilmoittavat liittymiensä latausnopeuksien todellisen vaihteluvälin olevan 3G-verkossa 0,4 – 10 Mbit/s ja LTE-verkossa 5 – 40 tai 50 Mbit/s [56] [57] [58] [59]. Osassa mobiililiittymistä on myös rajoitettu tiedonsiirron määrä. Tästä syystä mobiili-liittymä ei välttämättä riitä kodin ainoaksi internet-yhteydeksi, etenkin jos käyttäjiä on useita tai paljon dataa kuluttavia palveluita kuten videopalveluita käytetään paljon. Kohdassa 7.1.5 käsitellään tarkemmin mobiilidatan rajoitusten käyttöönoton todennäköisyyttä ja vaikutusta.

Etuna tässä ratkaisussa on mahdollisuus ottaa internet-yhteys tarvittaessa helposti mukaan esimerkiksi mökille. Yleisesti ratkaisu on kuitenkin paras vaihtoehto vain silloin kun kiinteää internet-yhteyttä ei ole tarjolla tai on tarve säästää internetliittymän hinnassa suorituskyvyn kustannuksella.

#### **6.4 LTE-siirtotekniikka ilman erillistä sisäyhteyttä**

Tässä ratkaisumallissa kuluttajan koti ei ole katvealueella ja erillistä sisäverkkoa ei luoda ollenkaan. Kaikkia kotitalouden laitteita käytetään sen sijaan matkapuhelinliittymän LTE-yhteydellä. Tämä ratkaisumalli on vaikein hinnoitella, sillä se on periaatteessa ilmainen muihin vaihtoehtoihin verrattuna, jos kuluttaja tarvitsee jokaisessa käyttämässä laitteessaan LTE-liittymää myös kodin ulkopuolella. Muussa tapauksessa hinnaksi voidaan katsoa muodostuvan 25 – 30 € per laite, johon on hankittu LTE-liittymä vain kotikäyttöä varten, ja 10 – 15 € per laite, jonka liittymä on kotikäytön vuoksi korotettu LTE-liittymäksi. Ratkaisun suorituskyky on edellä, kuvattu LTE-liittymän suorituskyky. Tämä ratkaisuvaihtoehto on halvin ja suorituskykyinen vaihtoehto silloin, kun kotitaloudessa ei käytetä Internet-yhteyttä kuin mobiililaitteilla joihin hankittaisiin joka tapauksessa LTE-liittymä.

#### **6.5 Ratkaisuvaihtoehtojen käypyyden vertailu**

Tässä kohdassa pohditaan, mitkä tekijät vaikuttavat siihen, mihin ratkaisuun erilaisten kotitalouksien tulisi päätyä. Ratkaisuun vaikuttavat saatavilla olevat palvelut, mutta myös muut tekijät kuten talouden internet-yhteyttä hyödyntävien laitteiden määrä, tarvittava yhteyden laatu ja kuluttajan maksuhalukkuus. Ratkaisu voi myös olla yhdistelmä WLAN- ja femto-tukiasemasta.

Kuten kohdassa 6.1 mainittiin, eroaa kiinteiden internet-yhteyksien suorituskyky toisistaan varsin paljon. Vertailu ei ota huomioon tilannetta, jossa saatavilla oleva kiinteä yhteys on suorituskyvyltään selvästi LTE-verkkoa heikompi, vaan kiinteä verkko oletetaan suorituskyvyltään paremmaksi. Viestintäviraston teettämän kyselytutkimuksen mukaan kiinteän internet-yhteytensä nopeuden tietävistä suomalaisista vain noin 10 % käyttää nopeudeltaan alle 10 Mbit/s olevaa liittymää ja vain noin prosentilla on nopeudeltaan alle 2 Mbit/s oleva liittymä. Tämän perusteella katsotaan ryhmän, joilla kiinteä yhteys on selvästi LTE-yhteyttä heikompi, jäävän pieneksi. Koska suomalaisista 98 %:lla on käytössään matkapuhelin, tehdään vertailussa myös oletus, että jokainen haluaa puhelinpalveluiden toimivan kotona. [54, s. 8, 18]

Taulukossa 4 on esitetty ratkaisuvaihtoehtojen vertailu. Suurin ero femto-tukiaseman ja muiden ratkaisuiden välillä on puhelinpalveluiden käyttö katvealueessa. Jos kuluttaja kokee, että puhelinpalvelut toimivat tarpeeksi hyvin kotona, ei femto-tukiasemalle ole tarvetta. Mikäli taas puhelinpalvelut eivät toimi, joutuu kuluttaja hankkimaan femto-tukiaseman. Tässä tilanteessa kuluttajan joka tarvitsee internet-yhteyttä myös laitteilla joihin ei tarvitse LTE-liittymää kuin kotikäyttöön, kannattaa hankkia myös WLAN-tukiasema tai vaihtoehtoisesti femto-tukiasema, johon on integroitu WLAN-tukiasema, sillä muuten lisälaitteille syntyy hintaa joko uuden LTE-liittymän hinnan tai vanhan liittymän korottamisen LTE-liittymäksi verran. Lisälaitteista ei tule erillistä kustannusta, mikäli niihin hankittaisiin kodin ulkopuolista käyttöä varten muutenkin LTE-liittymä.



Taulukko 4: Ratkaisuvaihtoehtojen vertailu

|                  | Suoritus-<br>kyky    | Hinta<br>kuukau-<br>dessa | Hinta<br>per<br>lisälaite | Laittei-<br>den<br>määrä | Toimii<br>katvealueessa? | Puhelin-<br>palvelut? |
|------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Kiinteä<br>WLAN  | 2-<br>1000Mbit/<br>s | 25 €                      | 0                         | 8+                       | Kyllä                    | Ei                    |
| Kiinteä<br>femto | 1-<br>1000Mbit/<br>s | 25 - 30 €                 | 0 – 25 €                  | 8                        | Kyllä                    | Kyllä                 |
| LTE<br>WLAN      | 5-40<br>Mbit/s       | 20 €                      | 0                         | 4+                       | Ei                       | Ei                    |
| Pelkkä<br>LTE    | 5-40<br>Mbit/s       | 0 €                       | 20 €                      | 1                        | Ei                       | Kyllä                 |

Mikäli kotitalous ei sijaitse katvealueella, on paras vaihtoehto riippuvainen siitä, minkä tasoisen kiinteän internet-yhteyden alueelle voi saada, kuinka montaa laitetta käytetään ja minkälaista suoritusnopeutta vaaditaan. Mikäli alueelle ei saa kuin hitaita kiinteitä internet-liittymiä, on LTE-ratkaisu paras. Tässä tapauksessa parempi vaihtoehto LTE-ratkaisuista määräytyy käytettävien laitteiden perusteella. Mikäli on tarve saada yhteys muihinkin laitteisiin kuin matkapuhelimeen, on LTE-dataliittymä WLAN-mokkulalla paras vaihtoehto, muuten taas pelkkä LTE-liittymä.

Jos alueelle taas saa nopean internet-yhteyden ja tarvitaan paljon suoritusnopeutta esimerkiksi pelaamista tai useaa laitetta varten, on kiinteä internet-yhteys ja sitä kautta toimiva WLAN-tukiasema paras vaihtoehto. Toisaalta hintatietoinen kuluttaja, joka ei tarvitse kiinteän internet-yhteyden lähtökohtaisesti parempaa suoritusnopeutta, mutta haluaa internetin esimerkiksi kannettavaan tietokoneeseen, voi valita edellä kuvatut LTE vaihtoehdot.

## 7 Markkinapeitot

Tässä luvussa määritellään ne muuttujat, jotka vaikuttavat eri tekniikoiden markkinapeittojen laskentaan. Muuttujien nykytilanne esitellään aina mahdollisimman tarkasti, jonka jälkeen arvioidaan, miten muuttuja tulee kehittymään ja perustelevaan tämä arvio, mahdollisesti myös muiden muuttujien pohjalta. Tämän jälkeen esitetään vielä erikseen arviot femto-tukiasemien markkinoille tulemisesta, WLAN-tukiasemien nykyisestä markkinapeitosta ja Wi-Fi-puheluiden markkinoille tulemisesta. Näiden muuttujien pohjalta muodostetaan Excel-ohjelmistolla arviointityökalu, jonka toiminta käydään läpi. Lopuksi luvussa muodostetaan neljä eri skenaarioita, joissa pyritään mallintamaan sekä internet-yhteyksien, että sisäverkkojen markkinapeitot.

### 7.1 Laskentaan vaikuttavat muuttujat

Tässä työssä on tunnistettu 8 erillistä muuttujaa, joiden katsotaan vaikuttavan internet-yhteys tyyppien sekä sisäverkkotekniikoiden markkinapeittoihin. Muuttujien nykytilanne selvitetään mahdollisimman tarkasti, ja niiden tulevaisuuden kehitystä arvioidaan tässä luvussa.

Kotitalouksien määrä ja niiden kasvu vaikuttavat suoraan siihen, kuinka paljon kotitalouksilla on käytössä erilaisia internet-liittymiä. Energiatehokkaat rakennukset aiheuttavat kuuluvuusongelmia ja näin lisäävät kiinteiden internet-liittymien määrää sekä tarvetta WLAN- tai femto-tukiasemille. Usean tietokoneen tai WLAN-mallisten tablettien omistavien kotitalouksien katsotaan tarvitsevan useimmiten WLAN-tukiaseman laitteiden käyttöön kotona. Älypuhelinomistajien oletetaan olevan myös mobiili-internet-yhteyden haltijoita. Mobiilidatan hinnankorotusten oletetaan näkyvän niin, että niiden toteutuessa kuluttajat, jotka ovat siirtyneet mobiili-laajakaistaan halvan hinnan takia eivätkä omista älypuhelinia, siirtyvät takaisin kiinteään laajakaistaan. Toisaalta hinnan ennallaan pysymisen oletetaan vaikuttavan siten, että yhä useampi kuluttaja hylkää kiinteän internet-liittymän. Datakattojen käyttöönoton taas oletetaan siirtävän suuren datakulutuksen kotitaloudet kiinteään internet-liittymään. Muutos tapahtuu pääosin pelkän mobiili-liittymän omistavien talouksien osuuden vähenemisenä, ja sekä kiinteän-, että mobiili-liittymän omistajien osuuden kasvuna. Suuren datakulutuksen talouksien määrää arvioidaan videopalveluita käyttävien kuluttajien määrän avulla.

#### 7.1.1 Kotitalouksien määrä ja niiden kehitys

Suomessa oli vuoden 2014 lopussa 2 617 780 kotitaloutta. Määrä on kasvanut viimeisen 10 vuoden aikana, mutta kasvu on pitkällä aikavälillä hidastunut. Vuonna 2006 kasvua oli vuodesta 2005 noin prosentin verran ja vuonna 2014 kasvua vuoteen 2013 nähden oli noin 0,7 prosenttia. Keskimäärin kasvu tänä aikana oli noin 0,83 %. Voidaan olettaa, että myös seuraavan 10-vuoden aikana kasvu jatkuu, mutta taittuu entisestään. Oletetaan kotitalouksien määrän kasvun vähenemisenä 0,02 % vuosittain vuoden 2024 loppuun asti. Ennuste ei ole tarkka, vaan perustuu täysin edellisen 10-vuoden ennusteeseen. Tämän perusteella ennustetaan kotitalouksien lukumäärän kasvu taulukon 5 mukaan. Taulukon 5 ennuste olettaa Suomen kotitalouksien lukumäärän olevan vuoden 2024 lopussa 2 776 069. Tämän työn kannalta muutosta voidaan pitää niin merkittävänä, että se kannattaa laskuissa ottaa huomioon. Muutoksen virhettä taas voidaan pitää työn kannalta mitättömänä, muuttamalla kasvun vähenemiskerrointa 50 % poikkeaa muutos 10 vuodessa vain noin 15 000 kotitaloudella. [61]

Taulukko 5: Suomen kotitalouksien lukumäärä ja kasvuennuste [61]

| Vuosi | Kotitalouksien lukumäärä | Vuosi | Kotitalouksien lukumäärän ennuste |
|-------|--------------------------|-------|-----------------------------------|
| 2005  | 2429500                  | 2015  | 2635550                           |
| 2006  | 2453826                  | 2016  | 2652914                           |
| 2007  | 2476505                  | 2017  | 2669862                           |
| 2008  | 2499332                  | 2018  | 2686384                           |
| 2009  | 2517393                  | 2019  | 2702471                           |
| 2010  | 2537197                  | 2020  | 2718114                           |
| 2011  | 2556068                  | 2021  | 2733304                           |
| 2012  | 2579781                  | 2022  | 2748032                           |
| 2013  | 2599613                  | 2023  | 2762289                           |
| 2014  | 2617780                  | 2024  | 2776069                           |

### 7.1.2 Nykyinen laitekanta ja sen kehitys

Tässä kohdassa käsitellään suomalaisten internet-palveluita käyttävien laitteiden tyyppejä ja määrää. Kaikkia mahdollisia laitteita ei käsitellä, vaan keskitytään työn kannalta oleellisimpiin eli pöytä-, kannettavaan- ja tablettitietokoneeseen sekä matkapuhelimeen ja siirrettäviin dataterminaaleihin. Siirrettävällä dataterminaalilla tarkoitetaan laitetta, jolla voidaan vastaanottaa 3G- tai LTE-yhteys ja siirtää joko WLAN:n tai USB-portin kautta yhteys muihin laitteisiin, puhemielessä mokuun. Laitekantaa tutkimalla pyritään arvioimaan, kuinka monessa Suomen kotitaloudessa on usea tietokone tai tablettitietokone, joka tarvitsee WLAN-yhteyden internet-palveluiden käyttöön. Näiden kotitalouksien oletetaan tarvitsevan WLAN-yhteyttä. Lisäksi pyritään arvioimaan, kuinka monessa kotitaloudessa on älypuhelin. Näiden talouksien oletetaan tarvitsevan internetyhteydellisen mobiililiittymän.

Pöytä tietokoneiden lukumäärän trendi on Suomessa ollut jo vuosia laskeva. Tilastokeskuksen mukaan pöytäkoneita oli vielä vuonna 2008 53 %:lla kotitalouksista, mutta vuonna 2015 enää 34 %, joka on ilmaistu taulukossa 6. Yli yhden pöytä tietokoneen omistavia kotitalouksia oli vuonna 2008 8 % ja 2015 5 %. Kannettavien tietokoneiden lukumäärän trendi taas on ollut lievässä kasvussa aina vuoteen 2011 asti, jonka jälkeen lukumäärä on tasaantunut ollen 66 % vuonna 2015. Vuonna 2015 21 %:lla Suomen kotitalouksista oli usea kannettavatietokone. Tablettitietokoneet ovat yleistyneet vuodesta 2011. Vuonna 2011 tablettitietokoneita oli Tilastokeskuksen mukaan vasta 4 %:lla, 2013 19 %:lla ja vuonna 2015 42 %:lla kotitalouksista. 12 %:lla kotitalouksista oli useita tablettitietokoneita vuonna 2015. [62] [63, s. 6] [64]

Taulukko 6: Kotitalouksien tietokonetypit [62], [63, s. 6], [64]

| Konetyyppi           | Määrä | 2008 | 2010 | 2011 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Pöytätietokone       | 1     | 45 % | 40 % | 39 % | 33 % | 32 % | 29 % |
| Pöytätietokone       | >1    | 8 %  | 8 %  | 7 %  | 7 %  | 6 %  | 5 %  |
| Kannettava tietokone | 1     | 35 % | 43 % | 47 % | 44 % | 43 % | 45 % |
| Kannettava tietokone | >1    | 8 %  | 19 % | 20 % | 23 % | 23 % | 21 % |
| Tablettitietokone    | 1     | -    | -    | 4 %  | 16 % | 24 % | 30 % |
| Tablettitietokone    | >1    | -    | -    | -    | 3 %  | 8 %  | 12 % |

Kannettavaa ja pöytätietokonetta voi käyttää kotona niin kiinteällä kuin mobiili-yhteydellä. Sen perusteella ei siis voi tehdä mitään johtopäätöksiä onko kotitaloudessa kiinteä vai mobiili-yhteys. Käyttö onnistuu myös yhtä hyvin mokaan tai WLAN:n avulla.

Tilasto siitä, kuinka monessa suomalaisessa kotitaloudessa on vähintään kaksi tietokonetta, löytyy vuosilta 2008, 2010 ja 2011. Usean tietokoneen kotitalouksien määrä on kasvanut ollen 28 % vuonna 2008, 37 % vuonna 2010 ja 39 % vuonna 2011. Samanaikaisesti tietokoneettomien kotitalouksien lukumäärä on laskenut noin 3 % vuodessa ollen vuonna 2011 15 %. Usean tietokoneen kotitalouksien määrän voi olettaa edelleen kasvavaksi ja tietokoneettomien kotitalouksien määrän laskeväksi. Usean tietokoneen kotitalouden kasvu näyttää jo taittuneen ja tietokoneettomien kotitalouksien määrän lasku todennäköisesti taittuu jo vähäisen jäljellä olevan joukon vuoksi. Tällä perusteella arvioidaan, että vuoden 2015 alussa usean tietokoneen kotitalouksia oli noin 47 % ja tietokoneettomia kotitalouksia noin 10 %. Arvion tueksi suoritetaan myös lasku taulukon 6 vuoden 2015 lukujen perusteella. Oletetaan, että jonkin tietokonetypin omistaminen ei vaikuta muiden tietokonetypien omistamiseen. Laskuun käytetään kaavaa 1, jossa A kuvaa todennäköisyyttä, että kotitaloudessa on useita tietokoneita, x kuvaa yhden pöytätietokoneen omistavien kotitalouksien osuutta, y kuvaa yhden kannettavan tietokoneen omistavien kotitalouksien osuutta ja z kuvaa yhden tablettitietokoneen omistavien kotitalouksien osuutta. Käyttämällä kaavaa 1 edellä mainitulla oletuksella voidaan arvioida, että noin 46 %:lla suomen kotitalouksista on useita tietokoneita. Sekä lasku että arvio antavat samansuuntaisen tuloksen, oletetaan laskun olevan tarkempi ja käytetään tätä arviota työssä. [62] [64] [65, 35 – 37]

$$P(A) = P(x \cap y^c \cap z^c) - P(y \cap x^c \cap z^c) - P(z \cap x^c \cap y^c) - P(x^c \cap y^c \cap z^c) \quad (1)$$

Tablettitietokoneet voidaan jakaa internetin käytön suhteen kahteen ryhmään, SIM-kortillisiin ja -kortittomiin. SIM-kortittomia voidaan nimittää myös WLAN-malleiksi. SIM-kortillinen malli voi muodostaa yhteyden internetiin matkapuhelinverkon kautta ja usein myös WLAN-verkon kautta. SIM-kortiton malli taas muodostaa yhteyden WLAN-verkon kautta. Usein tablettitietokoneesta tehdään pelkästään WLAN-malli tai WLAN-malli ja SIM-kortillinen malli. Tällöin WLAN-malli on yleensä selvästi edullisempi. Esimerkiksi tutkittaessa Giganttiin tablettitietokoneita voidaan nähdä SIM-kortillisen Apple- tai Samsung-tablettitietokoneen maksavan reilu 100 € vastaavaa WLAN-mallia enemmän. Koska työn puitteissa ei ollut aikaa tutkia kaikkia mahdollisia tablettitietokone malleja, oletetaan WLAN-tablettitietokoneen olevan SIM-kortillista tablettitietokonetta edullisempi, vaikka yksittäisiä poikkeuksia voi löytyä. Tämän pohjalta taas oletetaan, että ainakin valtaosa kuluttajista, jotka ostavat kalliimman SIM-kortillisen tablettitietokoneen myös käyttävät siinä mobiililiittymää, ainakin ajoittain. WLAN-mallisten tablettien omistajien taas voidaan olettaa useimmiten asuvan

kotitaloudessa, jossa on WLAN-yhteys käytössä, vaikka on toki mahdollista, että tabletilla ei käytetä kotona ollenkaan internet-yhteyttä. [66]

Mobiilioperaattoreiden verkosta kerättyjen tietojen mukaan SIM-kortillisia tablettitietokoneita oli Suomessa vuonna 2014 noin 500 000. Näistä ei voida tietää, kuinka monta kuului yrityksille ja kuinka monta kotitalouksille. Olettaen, että suhdeluku on sama kuin yritysten ja kuluttajien mobiililiittymien suhde, tällöin näistä 74 % eli 370 000 kappaletta oli kuluttajien käytössä. Tutkitaan SIM-kortillisten tablettitietokoneiden määrää myös toisesta suunnasta arvion varmentamiseksi. Vuoden 2015 alussa kotitalouksia oli Suomessa noin 2 618 000, ja niistä 30 %:lla oli yksi, 9 %:lla kaksi ja 3 %:lla kolme tai useampi tablettitietokone. Tämä tarkoittaa, että vuoden 2015 alussa Suomessa oli 42 %:lla kotitalouksista käytössä tablettitietokone ja tablettitietokoneita kotitalouksien käytössä oli yhteensä noin 1 500 000 kappaletta. Kyselytutkimuksen mukaan noin kolmannes suomalaisista käyttää mobiili-laajakaistaa tablettitietokoneella. Oletetaan, että niistä 42 %:sta kotitalouksista, joissa on tablettitietokone, kolmanneksessa on SIM-kortillinen tablettitietokone Viestintäviraston kyselytutkimuksen pohjautuen. Tästä saadaan kotitalouksien SIM-kortillisten tablettitietokoneiden lukumääräksi noin 363 000 kappaletta. Tämä luku on samansuuntainen edellisen arvion kanssa. Tarkemman arvion puutteessa arvioidaan, että Suomen kotitalouksien tablettitietokoneista noin 1 125 000 on WLAN-mallisia ja loput 370 000 SIM-kortillisia. Arvioidaan siis, että kuluttajien käyttämistä tablettitietokoneista noin 74 % on WLAN-mallisia tablettitietokoneita. [1, s. 9] [1, s. 6] [14] [63, s. 6]

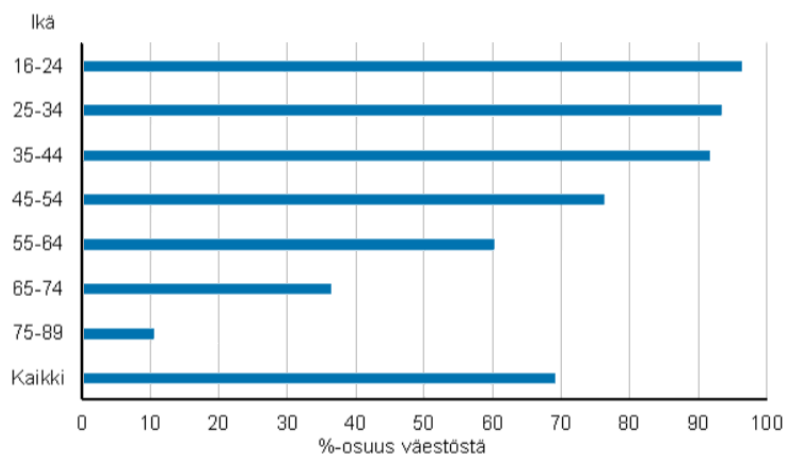
Nyt on mahdollista arvioida usean tietokoneen tai WLAN-tablettitietokoneen omistavien kotitalouksien määrä Suomessa. Edellä on jo laskettu, että usean tietokoneen kotitalouksia on suomessa arvioilta 46 %. Tämän joukon ulkopuolelle jää WLAN-tablettitietokoneen omistavat kotitaloudet, joilla ei ole muuta tietokonetta. Kuten aikaisemmin, olettamalla, että yhden tietokonetyypin omistaminen ei vaikuta todennäköisyyteen omistaa muita tietokonetyyppejä, voidaan tämän joukon kooksi laskea noin 5 % kotitalouksista. Voidaan arvioida, että noin 51 %:ssa Suomen kotitalouksista on useampi tietokone tai tablettitietokone, joka tarvitsee WLAN-yhteyden.

Usean tietokoneen kotitalouksien lukumäärän kasvu on ollut melko tasaista vuodesta 2010 lähtien. Arvioimalla että noin 2 prosenttiyksikön vuotuinen kasvu tulee jatkumaan, nousee usean tietokoneen kotitalouksien osuus vuonna 2020 noin 61 %:iin ja 2025 noin 71 %:iin. Tablettitietokoneiden määrä tulee selkeästi lisääntymään, mutta lisäyksen suuruutta on vaikea arvioida. Uudet innovaatiot kuten älypuhelimet, joilta saa kuvan tietokoneennäytölle, voivat hyvin vallata markkinoita. Vielä vaikeampi on arvioida, kuinka suuri osuus tablettitietokoneista on WLAN-mallisia ja kotitalouden ainoita koneita. Näin ollen tätä muuttujaa tarkastellaan vain vuoden 2015 osalta.

Viestintäviraston teettämässä kyselytutkimuksessa käy ilmi, että vuoden 2015 alussa 98 %:lla suomalaisista on matkapuhelin ja 67 %:lla on mobiili-internet-yhteys, jota käytetään matkapuhelimella. Tilastokeskuksen teettämän kyselytutkimuksen mukaan vuonna 2014 16 - 89-vuotiaista suomalaisista 63 %:lla oli käytössään älypuhelin, ja vuoden 2015 keväällä osuus oli kasvanut 69 %:iin. Työssä oletetaan, että älypuhelimien omistavien kotitalouksien suhde on sama. Erot älypuhelimien käytössä ikäluokkien välillä ovat merkittäviä, kuten kuvassa 8 esitetään. 16 – 44-vuotiaista älypuhelin on jo selvästi yli 90 %:lla. On odotettavissa, että seuraavan 5 – 10 vuoden aikana älypuhelimien omaavien osuus väestöstä tulee kasvamaan entisestään. Muutos tapahtuu vanhempien ikäluokkien ottaessa älypuhelimien käyttöön, ja nykyisten älypuhelimien käyttöönottaen

ikäluokkien vanhetessa. Tätä näkemystä tukee myös se, että Elisa ilmoittaa sen myymistä uusista puhelimista 92 % olevan älypuhelimia [67, s. 10]. [54, s. 8] [63, s. 6]

Älypuhelimien määrän kehityksen ennakoiminen vuosille 2020 ja 2025 on haastavaa. Kuvan 8 perusteella voidaan arvioida, että pelkästään uudet älypuhelimien adaptointeet sukupolvet tulevat nostamaan älypuhelimien osuutta puhelinkannassa noin 5 prosenttiyksikköä vuoteen 2020 ja 10 prosenttiyksikköä vuoteen 2025 mennessä. Tämä on erittäin varovainen arvio. Viimeisen viiden vuoden aikana älypuhelimien omaavien osuuden kasvu väestössä on ollut melko tasaista ollen noin 9 prosenttiyksikköä vuodessa. Näin suuren kasvun jatkuminen taas on mahdotonta. Arvioidaan nopean kasvun jatkuvan vielä kaksi vuotta, ja sen jälkeen kasvun vähenevän niin, että osuus kasvaa pääasiassa älypuhelimien käyttöönottoneiden ikäluokkien vanhetessa. Vuoden 2020 alkuun mennessä älypuhelimien omaavien osuudeksi arvioidaan täten 85 % väestöstä. Tämä tarkoittaa noin 4,5 %:n vuosikasvua. Vuoden 2020 jälkeen kasvuksi arvioidaan noin 1 prosenttiyksikköä vuodessa eli vuonna 2025 älypuhelimien omistusosuuden arvioidaan olevan 90 % väestöstä. Koska nämä luvut ovat täysin arvioituja, tutkitaan lopullisissa skenaarioissa lukujen herkkyyttä, eli niiden muuttamisen vaikutusta lopullisiin tuloksiin.



Kuva 8: Älypuhelimien omaavien osuus väestöstä ikäluokittain vuonna 2015 [63, s. 11]

Älypuhelimien määrän oletetaan vaikuttavan kotitalouksien määrään, joissa on mobiililaajakaista. Vuonna 2013 osa operaattoreista liitti kaikkiin matkapuhelinliittymiinsä mobiililaajakaistan [1, s. 11]. Vain Sonera tarjoaa Suomessa matkapuhelin liittymän ilman internet-yhteyttä [57] [58] [59] [60]. Tämän perusteella oletetaan, että kotitaloudessa, jossa on älypuhelin, on myös mobiili-laajakaista. Oletusta tukee se, Viestintäviraston mukaan 70 %:lla Suomen kotitalouksista on mobiililaajakaista. Älypuhelimien osuuden kasvun oletetaan työssä vähentävän pelkän kiinteän internet-yhteyden omaavien kotitalouksien osuutta, ja kasvattavan vastaavasti sekä mobiili-internet- että kiinteän internet-yhteyden omaavien talouksien osuutta.

### 7.1.3 Energiatohokkaiden rakennusten määrä ja kasvu

Kuten työssä aiemmin on esitelty, energiatohokas rakentaminen vaikuttaa negatiivisesti matkapuhelinverkkojen kuuluvuuteen kodin sisällä. Uudet rakennusmääräykset varmistavat uusien rakennusten olevan entisiä energiatohokkaampia. Ympäristöministeriön aseteukset taas tekevät myös korjattavista rakennuksista yhä energiatohokkaampia. Energiatohokkaiden talojen määrä on työn kannalta oleellinen, koska ne ovat matkapuhelinyhteyksille hankalia. Näin ollen oletetaan, että energiatohokkaissa rakennuksissa on käytössä kiinteä internet-yhteys. Puhelinyhteydet

oletetaan hoidettavaksi WLAN- tai femto-tukiasemalla, mikäli Wi-Fi-puhelut tai femto-tukiasemat ovat markkinoilla. Taulukossa 7 on esitetty vuoden 2010 jälkeen rakennettujen asuntojen määrä ja siitä voidaan arvioida, että Suomessa rakennetaan noin 30 000 uutta asuntoa vuosittain. Tämän työn tarkastelu ajanjaksolla energiatehokkaissa taloissa olevien asuntojen määrän voidaan siis katsoa nousevan noin 300 000 kappaaleella ja niitä on jo ehditty rakentaa ainakin 60 000 kappaletta. [68]

Taulukko 7: Uusien asuntojen rakennusmäärä [68]

| Vuosi              | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014 Q1-2 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Rakennetut asunnot | 25113 | 31117 | 30757 | 29566 | 14170     |

#### 7.1.4 Mobiilidatan hinta

Mobiilidatan hinta vaihtelee Suomessa liittymän nopeusrajoituksen ja toteutustavan mukaan. Kuluttajille myytävistä liittymistä valtaosa on tiedonsiirtomäärältään rajattomia. Yksi kolmesta suuresta operaattorista perii lisämaksua tai rajoittaa liittymän nopeutta liittymäntyyppistä riippuvan käyttömäärän jälkeen. Viestintäviraston kyselytutkimuksen mukaan vuoden 2015 alussa 84 %:lla suomalaisista oli käytössään tiedonsiirroltaan rajaton liittymä. [54, s. 33]

Taulukkoon 8 on koottu suomalaisten operaattoreiden matkapuhelin- ja mobiililaajakaistaliittymien hintoja ja ominaisuuksia. Puhelinliittymän valinta täysin samanlaisilla ominaisuuksilla oli mahdotonta, joten vertailuun on valittu liittymä, jossa on 1200:sta rajoittamattomaan määrään puheminuutteja kuukaudessa. 1200 puheminuuttia on noin viisinkertainen määrä suomalaisten keskikulutukseen verrattuna, joten sen pitäisi vastata rajoittamatonta määrää enemmistölle kuluttajista [1, s. 9 – 10]. Taulukosta 8 voidaan todeta, että hitaampi mobiili-laajakaista rajattomalla käytöllä maksaa Suomessa noin 15 € kuukaudessa ja vastaavasti nopeampi mobiili-laajakaista rajattomalla käytöllä noin 20 € kuukaudessa. Puhelinliittymä vähintään 1200 puheminuutilla kuukaudessa ja hitaammalla internet-yhteydellä maksaa noin 25 € kuukaudessa, nopeammalla internet-yhteydellä noin 30 € kuukaudessa.

Mobiilidatan hinnan vertailu Suomen ja muiden EU-maiden välillä ei ole suoraan mahdollista, koska Suomen lisäksi Puola on ainoa EU-maa, jossa myydään tiedonsiirtomäärältään rajoittamattomia liittymiä. Myynnissä on myös liittymiä, joissa yhteyttä ei pysty jakamaan kuin yhteen laitteeseen. Lisäksi puhelinliittymiin kuuluu muissa EU-maissa usein myös matkapuhelin. Yleisesti voidaan kuitenkin sanoa, että Suomi on yksi halvimmista EU-maista mobiilidatan suhteen. Esimerkiksi lokakuussa 2015 puhelinliittymän, jossa oli vähintään 20 Gt LTE-tiedonsiirtoa, pystyi saamaan alle 35 €/kk vain kahdeksasta EU-maasta. Suomessa tämä maksoi viidenneksi vähiten. Halvimpia maita tässä vertailussa olivat Viro, Ranska, Puola ja Tanska. Erilaisia vertailuja voitaisiin tehdä loputtomiin, mutta pääpiirteensä säilyy, että mitä isompia tiedonsiirtomääriä tutkitaan, sitä halvempi on mobiilidata Suomessa suhteessa muihin EU-maihin. [73]

EU:n kilpailukykyneuvosto hyväksyi 1.10.2015 Euroopan yhtenäisen tele-markkina-asetuksen, joka poistaa verkkovierailumaksut asteittain 15.6.2017 mennessä EU:n sisällä. Verkkovierailumaksut poistuvat kuitenkin vain kohtuulliseen käyttöön asti. Erään mobiilioperaattorilla työskentelemättömän asiantuntijan mukaan tämä luo paineita korottaa myös Suomen mobiilidatan hintoja lähemmäksi muuta EU-aluetta. Haastatelluista mobiilioperaattoreiden asiantuntijoista kaksi ilmaisi uskovansa mobiilidatan hinnan nousevan. Toinen haastateltavista ei kuitenkaan uskonut nousun

olevan nopeasti tapahtuvaa kovan kilpailun takia ja toinen näki datakattojen yleistymisen väistämättömänä tulevaisuudessa. Kolmas mobiilioperaattorilla työskentelevä asiantuntija ei halunnut ottaa kantaa aiheeseen, joten hintojen nousu paineita ei tyrmätty yhdenkään haastateltavan toimesta. [14] [74]

Taulukko 8: Suomen mobiililiittymä tariffi 11/2015 [57] [58] [59] [60] [69] [70] [71] [72]

| Operaattori     | Vain data | Käyttörajoitus | Yhteys | Nopeus (Mbit/s) | Hinta (€) |
|-----------------|-----------|----------------|--------|-----------------|-----------|
| Elisa           | Kyllä     | Ei             | 3G     | 0,4 – 10        | 14,90     |
| Elisa           | Kyllä     | Ei             | LTE    | 5 - 40          | 19,80     |
| Elisa           | Ei        | Ei             | 3G     | 0,4 - 10        | 24,90     |
| Elisa           | Ei        | Ei             | LTE    | 5 - 40          | 29,90     |
| DNA             | Kyllä     | Ei             | LTE    | 5 - 8           | 13,90     |
| DNA             | Kyllä     | Ei             | LTE    | 5 – 40          | 19,90     |
| DNA             | Ei        | Ei             | 3G     | 0,4 - 15        | 24,90     |
| DNA             | Ei        | Ei             | LTE    | 5 - 40          | 29,90     |
| Tele Finland*** | Kyllä     | Ei             | 3G     | 0,4 – 10        | 15,00     |
| Tele Finland*** | Kyllä     | Ei             | LTE    | 5 – 50          | 20,00     |
| Tele Finland*** | Ei        | 10 Gt*         | LTE    | 5 – 50          | 30,00     |
| Sonera          | Kyllä     | Ei             | LTE    | 5 – 21          | 14,90     |
| Sonera          | Kyllä     | Ei             | LTE    | 5 – 50          | 19,90     |
| Sonera          | Ei        | 10 Gt**        | LTE    | 10 – 80         | 24,90     |

\* Rajaton tiedonsiirto 2€ lisähinnasta, \*\* Rajaton tiedonsiirto 6 € lisähinnasta. \*\*\*Tele Finland on Soneran tuotemerkki

### 7.1.5 Datan kulutuksen kasvu

Luvussa 2.1 esitettiin tilastoja siitä, kuinka mobiilidatan kulutus on kasvanut Suomessa, karkeasti ottaen kaksinkertaistuen vuositasolla. Viestintäviraston mukaan vuoden 2015 ensimmäisellä puoliskolla mobiilidataa käytettiin noin 8 Gt suomalaista kohti [75, s. 9]. Sitä, kuinka tämä määrä todellisuudessa jakautuu kotitalouksien ja yritysten sekä datapalvelut ja puhepalvelut että pelkästään datapalvelut sisältävien liittymien kesken, ei kuitenkaan tiedetä. Voi kuitenkin olettaa, että yritysliittymissä, jotka on tarkoitettu työkäyttöön ja joissa data hinnoitellaan usein käytön mukaan, suuria datamääriä käyttäviä videopalveluita ei todennäköisesti käytetä yhtä paljon kuin kuluttajaliittymissä.

Haastattelussa kävi ilmi usean asiantuntijan olevan sitä mieltä, että tulevaisuudessakin dataa käytetään entistä enemmän ja erityisesti videopalvelut tulevat kuluttamaan entistä enemmän dataa. Asiantuntijat olivat erityisesti HD-tasoisien kuvan siirtämisen ja tulevaisuudessa 4K-kuvan siirtämisen kasvattavan datamääriä. Tutkimalla tämän hetken videopalveluita voidaan, nähdä että esimerkiksi Yle Areenan arvioidaan käyttävän dataa noin 0,6 Gt tunnissa ja Netflix-videopalvelun noin 0,7 Gt tunnissa normaalilaadulla, 3 Gt tunnissa HD-laadulla ja 7 Gt tunnissa 4K-laadulla [76] [77]. [14]

Viestintäviraston mukaan vuoden 2014 lopussa suomalaisista noin kolmasosa katsoi internetistä videoita tai televisiota. Noin 50 % katsoo televisiokanavien omia palveluita, kuten YLE Areenaa. Tilastokeskuksen kyselytutkimuksen mukaan vuoden 2015 alussa 66 % suomalaisista käytti tv-palveluita internetissä. Osuus oli kasvanut 6 prosenttiyksikköä vuodesta 2013. Aiemmilta vuosilta dataa ei löydy. Tilastokeskus olettaa käytön kasvavan hitaasti, samoin kuin muiden internet-palveluiden käytön, pääosin internetin käytön yleistyessä. Videopalveluiden käyttö on vanhemmilla



ikäluokilla nuoria ikäluokkia vähäisempää, 17 % 75 – 89-vuotiaista vastaajista ilmoitti käyttävänsä videopalveluita internetissä. Finpaneelin tekemän tutkimuksen mukaan ”nettitelevisiota” käyttävistä talouksista noin 42 % käytti ”nettitelevisiota” tablettitietokoneella tai älypuhelimella. Tutkimuksen mukaan televisiokanavien internet-palveluita käyttävät käyttivät palvelua keskimäärin 107 minuuttia vuorokaudessa. [1, s. 24] [63, s. 8] [78, s. 9, 29]

Kohdassa 7.1.4 esitettiin, että Suomessa ei yleisesti ole vielä kuluttajapuolen liittymissä datarajoituksia, ja datarajoitetuissa liittymissä on 10 Gt:n raja yleinen. Muissa EU-maissa taas datarajat ovat noin 10 – 20 Gt luokkaa. Kun keskimääräinen käyttäjä käyttää noin 107 minuuttia televisiokanavien internet-palveluita, kuten Yle Areena, tämä vie dataa 0,6 Gt tunnissa, eli keskimääräinen internetissä tv-palveluita käyttävä tarvitsee noin 32 Gt dataa kuukaudessa. Kuvanlaadun parantuessa kulutus kasvaa entisestään. Tästä voidaan todeta datakattojen tulevan nopeasti vastaan etenkin talouksissa, joissa mobiili-internet-liittymä on talouden ainoa internet-liittymä ja liittymällä käytetään tv-palveluita.

Sekä datan käyttö että videopalveluiden käyttö tulee siis kasvamaan. Lisäksi videopalveluiden kuluttama datamäärä tulee kasvamaan parempien kuvanlaatuojen myötä. Koska videopalvelut kuluttavat huomattavasti dataa ja niiden käyttö on yleistä, tarkastellaan työssä datakulutuksen kasvua videopalveluiden kautta. Videopalveluita käyttävien suomalaisten osuuden voidaan edelleen olettaa kasvavan. Kasvu nopeus kuitenkin tulee varmasti taittumaan työssä tarkasteltavalla aikajaksolla, sillä sen käyttö on jo hyvin yleistä. Oletetaan osuuden kasvavan noin prosenttiyksikön vuosivauhdilla ollen näin 71 % vuonna 2020 ja 76 % vuonna 2025. Kuitenkin tiedetään, etteivät nämä kaikki videopalveluiden käyttäjät käytä dataa runsaasti, sillä käytön määrä vaihtelee. Edellä laskettiin, että tällä hetkellä keskimääräinen suomalainen nettitelevisiion käyttäjä kuluttaa tähän noin 32 Gt kuukaudessa. Luvusta ei käy ilmi, miten se jakautuu eri käyttäjäryhmien kesken, joten oletetaan, että noin puolet käyttäjistä käyttää dataa yli 30 Gt eli huomattavasti. Näin ollen arvioidaan, että vuonna 2020 noin 35 % ja 2025 noin 38 % käyttää dataa yli 30 Gt kuukaudessa, mikä luokitellaan runsaaksi käytöksi. Oletus ei ole tarkka, joten sen herkkyyttä tutkitaan lopullisissa skenaarioissa.

Mikäli mobiiliyhteyksiin otetaan datarajoitukset käyttöön, voidaan päätellä, että yhä useampi mobiilitalous hankkii rajoittamattoman kiinteän internet-yhteyden. Datarajoitusten käyttöönoton oletetaan työssä näkyvän paljon mobiilidataa kuluttavien, vain mobiili-internetiä käyttävien kotitalouksien kiinteän internet-liittymän hankkimisena. Muutoksen oletetaan näkyvän kasvuna sekä kiinteän, että mobiili-internet-liittymän omistavien kotitalouksien osuudessa. Muutoksen suuruudeksi oletetaan edellä esitetty määrä kotitalouksista, joilla on käytössä vain mobiili-internet-liittymä ja jotka kuluttavat dataa yli 30 Gt kuukaudessa. Koska valtaosalla mobiilitalouksista oletetaan olevan älypuhelimien takia myös mobiili-liittymä, kuten kohdassa 7.1.2 mainittiin, ei tämän takia mobiili-internet-liittymän omistavien kotitalouksien määrän oleteta vähenevän.

### **7.1.6 Suomalaisen internet-yhteyksien saatavuus**

Yleispalveluvuorituksen mukaan jokaisella suomalaisella on oikeus saada kotiinsa vähintään nimelliseltä latausnopeudeltaan vähintään 2 Mbit/s:n suuruinen liittymä. Liittymä voidaan toteuttaa langattomasti tai kiinteästi. [15]

Vuonna 2012 kiinteiden liittymien saatavuus on kattanut 235 Suomen kunnassa noin 100 %, 96 kunnassa 95,0 – 99,9 % ja 5 kunnassa 80,0 – 94,9 % kotitalouksista. Viisi kuntaa

joissa saatavuus on heikointa, muodostavat yhdessä alle prosentin Suomen väestöstä joten on turvallista arvioida, että ainakin 95 %:lla suomalaisista kotitalouksista on jo vuonna 2012 ollut mahdollisuus hankkia kiinteä laajakaista. Viestintäministeriön kyselytutkimuksessa 8 % vastaajista ilmoitti, etteivät he omista internet-liittymää. Heistä vain 2 % ilmoitti tähän syyksi, ettei sopivaa internet-liittymää ole saatavilla. Edellisinä vuosina vastaava luku on ollut 4 % ja 1 %, eli vain noin 0,16 % suomalaisista on ilman internetliittymää pakosta. Koska kiinteiden liittymien saatavuus ei juuri pysty enää nousemaan, on odotettavissa, että muutokset kiinteiden liittymien saatavuudessa tapahtuvat toteutustavassa ja sitä kautta nopeuksissa. Valtaosan uudesta rakennettavasta verkosta oletetaan olevan valokuituverkkoa. Vuoden 2014 lopussa 81 %:lle suomalaisista oli mahdollisuus saada kiinteä internet-liittymä, joka on nimellisestä latausnopeudeltaan vähintään 30 Mbit/s. [1, s. 16 – 17] [54, s. 1] [79, s. 28 – 31]

LTE-verkon taajuushuutokaupassa operaattoreita vaadittiin rakentamaan LTE-verkot vuoden 2016 alussa kattamaan 95 % suomalaisista. Vuoteen 2019 mennessä LTE-verkkojen tulee kattaa 99 % väestöstä. LTE-tekniikalla toteutetun mobiiliverkon pitäisi siis olla saatavissa vuonna 2015 noin 95 %:lle tai suuremmalla osuudella suomalaisista ja vuonna 2019 saatavissa lähes jokaiselle suomalaiselle. [23]

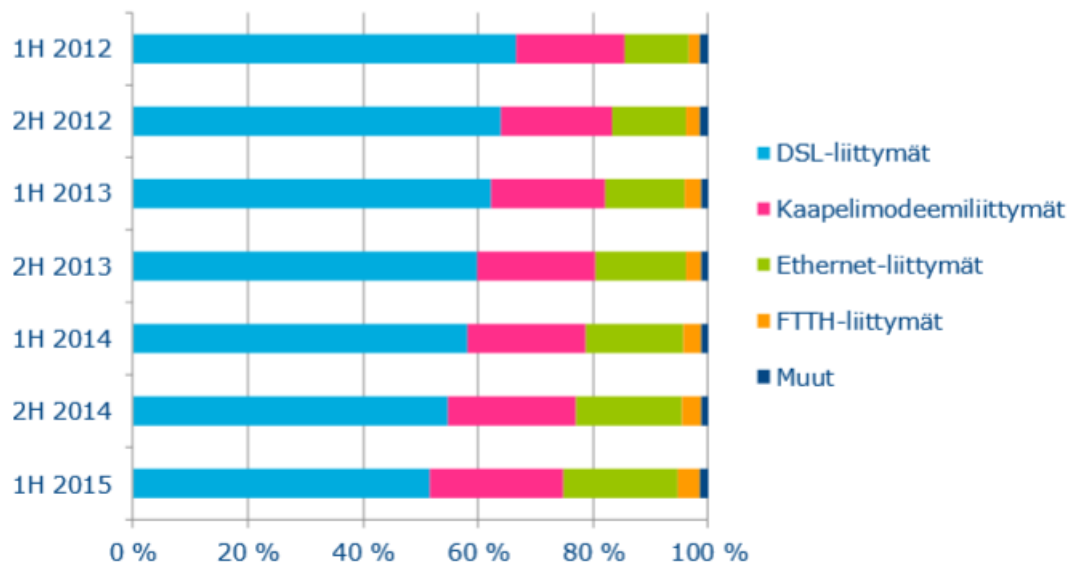
## 7.2 Suomalaisen internet-yhteyksien määrä ja tyyppi

Tässä kohdassa esitellään minkälaisia internet-yhteyksiä suomalaiset käyttävät tällä hetkellä ja pohditaan, mitkä tekijät voivat aiheuttaa muutoksia tähän. Viestintävirasto teetti keväällä 2015 kuluttajatutkimuksen, johon osallistui 3000 15 – 79-vuotiasta suomalaista. Tutkimuksessa selvitettiin, minkälaisia internet-liittymiä suomalaisilla on. Tutkimuksen virhemarginaali on 2,5 % ja sen tulokset on listattu taulukkoon 9. [54, s. 2]

Kiinteiden internet-liittymien kokonaismäärä voidaan laskea taulukosta 9. Se on 1 675 379 liittymää, mikä poikkeaa selkeästi Viestintäviraston ilmoittamasta kiinteiden liittymien määrästä kesäkuussa 2015. Tuolloin ilmoitettiin, että Suomessa on 1 730 000 kiinteää liittymää, joista 85 % eli noin 1 420 000 on kotitalouksien käytössä. Ero ei mahdu virhemarginaaliin, mutta selittyy ainakin osittain sillä, että osa yritysten liittymistä on myös kotitalouksien käytössä. Viestintäviraston mukaan kotitalouksien kiinteiden internet-liittymien määrä on ollut vuoden 2014 loppuun asti jatkuvasti kasvavaa. Vuoden 2015 ensimmäisen puolen vuoden aikana kotitalouksien kiinteiden internet-liittymien määrä kuitenkin väheni lähes 10 000 liittymällä eli noin 0,7 %. Liittymät toteutetaan edelleen yleisimmin xDSL tekniikoilla, mutta niiden osuus vähenee jatkuvasti, kuten kuvasta 9 nähdään. Samanaikaisesti kuluttajien nimelliset latausnopeudet ovat nousseet jatkuvasti parempien tekniikoiden, ja etenkin valokaapelin yleistyessä, kuten kuvassa 10 esitetään. Kuva 10 näyttää myös yritysliittymien nopeuden kehityksen, joka nostaa nimelliseltä latausnopeudeltaan hitaimpien liittymien määrää vuoden 2015 osalta korkeammaksi ja laskee nimelliseltä latausnopeudeltaan 100 Mbit/s tai nopeampien liittymien määrää, kuin jos tarkasteltaisiin pelkkiä kotitalouksia. [1, s. 13] [75, s. 10 – 12]

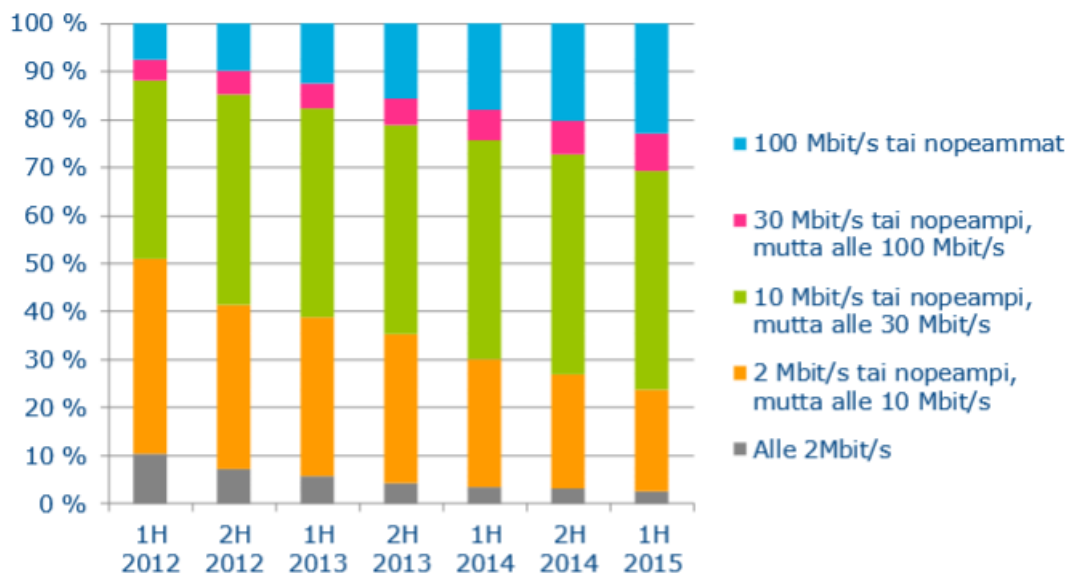
Taulukko 9: Suomalaisen kotitalouksien käyttämät internet-yhteystyypit [8, s. 14] [61]

| Liittymätyyppi     | Osuus väestöstä | Kotitalouksien lukumäärä |
|--------------------|-----------------|--------------------------|
| Kiinteä            | 22 %            | 575 912                  |
| Kiinteä ja mobiili | 42 %            | 1 099 468                |
| mobiili            | 28 %            | 732 978                  |
| ei mitään          | 8 %             | 209 422                  |



Kuva 9: Kotitalouksien käyttämät kiinteät siirtotekniikat [75, s. 11]

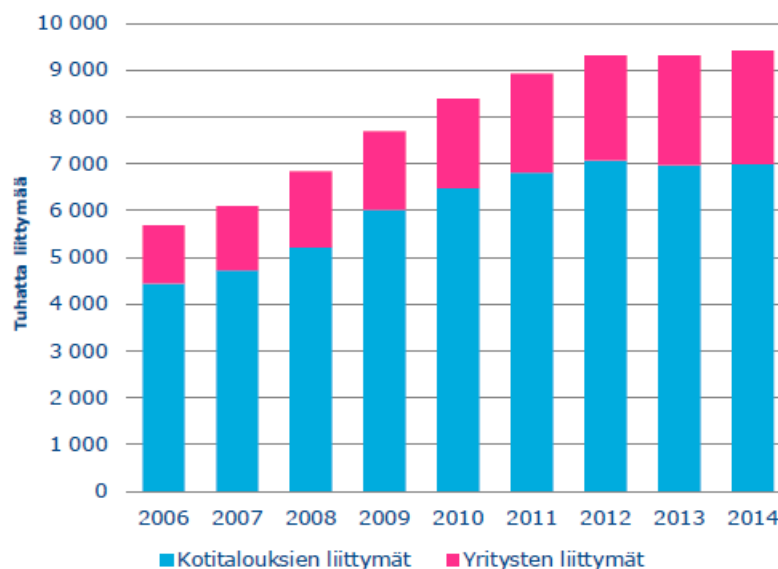
Kesäkuussa 2015 Suomessa oli käytössä noin 9 400 000 mobiililiittymää joita noin 74 % eli 6 956 000 oli kotitalouksien käytössä. Lukuun ei ole huomioitu M2M (Machine to Machine) liittymiä, eli liittymiä joilla ei ole ihmiskäyttäjää. Kotitalouksien liittymämäärä oli laskenut vuoden 2014 lopusta noin 10 000. Viimevuosina kuluttajien mobiililiittymien määrä on vaihdellut puolivuositain. Kuvasta 11 voidaan nähdä liittymämäärien kehitys vuodesta 2006 vuoteen 2014. Kotitalouksien liittymämäärä on pysynyt suunnilleen ennallaan vuodesta 2012 asti. [75, s. 6]



Kuva 10: Liittymänopeuksien kehitys [75, s. 12]

Kaikista mobiili-liittymistä noin 76 % eli 7,1 miljoonaa liittymää sisälsi datapalvelun vuonna 2015. Noin 56 % mobiililiittymistä sisälsi sekä puhe- että datapalvelut ja noin 20 % oli mobiililaajakaistoja eli pelkästään tiedonsiirtopalvelun sisältäviä liittymiä. Datapalvelun sisältävistä liittymistä noin 26,3 % oli siis mobiililaajakaistoja. Datapalvelullisten mobiililiittymien määrä lisääntyi vuoden 2015 alusta kesäkuun loppuun noin 100 000 liittymällä. Kasvusta 80 000 liittymää oli mobiililaajakaistoja.

Liittymistä 4 400 000 oli tiedonsiirtomäärältään rajoittamattomia ja 2 700 000 rajoitettuja. Vuoden 2015 alusta kesäkuun loppuun rajoittamattomien tiedonsiirtoliittymien määrä oli kasvanut 300 000 liittymällä ja rajoitettujen vähentynyt 200 000 liittymällä. Määrä selittyy todennäköisesti osittain sillä, että joistain liittymätyypeistä on poistettu rajoitus. Pelkästään puhekäytössä olevia mobiililiittymiä oli kesäkuussa 1 800 000 ja niiden määrä laski 2 % vuoden 2014 lopusta. [75, s. 6 – 9]



Kuva 11: Mobiililiittymien määrän kehitys [1, s. 9]

Viestintäviraston mukaan kiinteiden liittymien määrän vähentymisen voidaan olettaa johtuvan ainakin osittain siitä, että kotitaloudet korvaavat kiinteitä internet-liittymiä mobiililiittymillä. Tämä voidaan päätellä siitä, että samalla ajanjaksolla, jolla kiinteät liittymät ovat vähentyneet kotitalouksissa 10 000 kappaleella, mobiililaajakaistat lisääntyivät yhteensä kotitalouksissa ja yrityksissä 80 000 kappaleella. Tätä voidaan myös tarkastella vertaamalla tilannetta Ruotsiin, jossa mobiilidata on kalliimpaa ja siinä on käyttörajoitukset. Lisäksi Ruotsi on hyvä vertailukohde, sillä taloudelliset edellytykset ja asumistiheys ovat samankaltaisia Suomen kanssa. Ruotsissa tehdyn kyselytutkimuksen mukaan kyselyyn vastanneista kiinteitä internet-liittymää käyttäviä noin 73 - 82 %. Epävarmuus aiheutuu siitä, että 9 % vastaajista ei tiedä, millä tavalla he ottavat yhteyden internetiin. 7 %:lla ruotsalaisista ei ole ollenkaan internet-yhteyttä kotonaan. Voidaan siis todeta, että Ruotsissa kiinteän internet-liittymän omistaminen on Suomea yleisempää. Viestintäviraston kyselytutkimuksesta käy ilmi, että noin 18,5 %:lla kotitalouksista on joskus ollut kiinteä internetliittymä, josta on luovuttu. Määrä on noussut 4 vuodessa noin 2 prosenttiyksikköä. Näistä 31 % on luopunut kiinteästä liittymästä mobiili-liittymän ja 24 % kalliin hinnan takia. Pelkästään mobiililiittymällä internetiä käyttävistä taas 21 % käyttää mobiilia juuri halvan hinnan takia. Voidaan olettaa, että mikäli mobiilidata ei kallistu, yhä useampi korvaa kiinteän internet liittymänsä mobiililiittymällä. Työssä tehdään oletus, että vuosittain 1 prosenttiyksikkö kiinteän internet-liittymän käyttäjistä siirtyy käyttämään mobiililiittymää, mikäli sen hinta ei nouse. Muutos nopeus oletetaan niin hitaaksi, koska oletetaan, että valtaosa kotitalouksista, jotka siirtyvät hinnan perässä, ovat jo tehneet siirron. Kuvasta 12 voi nähdä, että yleinen trendi on vuodesta 2012 lähtien ollut kiinteän- sekä mobiili-laajakaistan omistavien kotitalouksien osuuden kasvu ja pelkän kiinteän internet-yhteyden omistavien osuuden supistuminen. Pelkän mobiili-liittymän omistavien kotitalouksien osuus on pysynyt suunnilleen ennallaan ja jonkin

internetliittymän omistavien kokonaisuus on kasvanut. Trendin voidaan olettaa jatkuvan myös tulevaisuudessa, sillä mobiiliinternetliittymän omistavien kotitalouksien määrä on taulukon 9 mukaan 70 % ja laitekantaa käsittelevässä kohdassa 7.1.2 kerrottiin, että noin 69 %:lla kuluttajista on älypuhelin. Älypuhelimien omistajilla voi olettaa olevan puhelimessaan mobiili-internet-yhteys, joka ei ole korvattavissa kiinteällä internet-yhteydellä. [8, s. 14] [54, s. 13, 32] [75, s. 10] [80, s. 105]

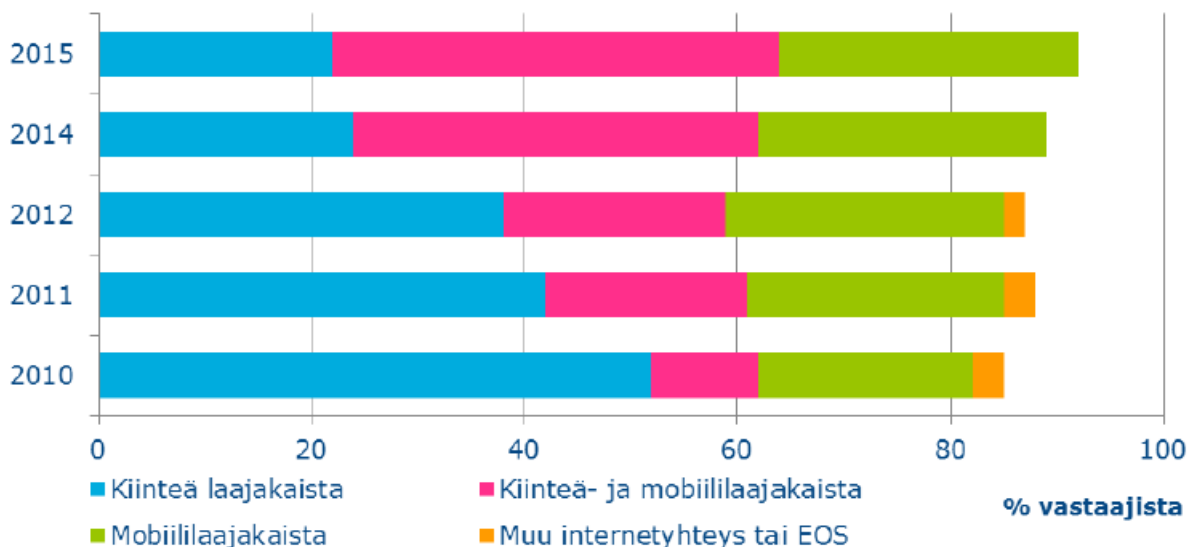
Taulukko 9 mukaan yhä useampi suomalainen on hankkinut internet-yhteyden. Viestintäviraston kyselytutkimuksen mukaan lähes jokaisella alle 55-vuotiaalla on käytössään internet-yhteys, kun taas yli 55-vuotiasta internet-yhteys on noin 80 %:lla vastaajista [8, s. 14]. Koska jo 92 %:lla suomalaisista on internet-yhteys, on kasvun pakko hidastua edellisvuosista tulevaisuudessa. Samoin kuin älypuhelimissa, internet-yhteydellisten kotitalouksien määrä tulee kasvamaan nuorempien internetin käyttöönottaneen sukupolvien vanhetessa.

Näiden tietojen pohjalta tehdään oletuksia siitä miten internet-yhteyksien markkinapeitot muuttuvat. Internet-yhteydellisten kotitalouksien osuus jatkaa kasvuaan. Internet-yhteydellisiä kotitalouksia on 92 % kaikista kotitalouksista, ja osuus kasvoi vuodesta 2014 vuoteen 2015 3 prosenttiyksikköä, mistä syystä kasvun on pakko hidastua [8, s. 14]. Oletetaan kasvu jatkuvasti hidastuvaksi ja arvioidaan, että vuonna 2020 internet-yhteydellisiä kotitalouksia on 94 % ja 2025 96 %. Oletetaan myös kasvun jakautuvan tasaisesti kiinteiden ja mobiili-internet-liittymien välille.

Voidaan päätellä, että muutokset kiinteiden ja mobiili-internet-liittymien osuuksissa perustuvat pääosin kuluttajien tarpeeseen. Esiin nousee kaksi kriteeriä, suorituskyky ja hinta. Kiinteä internet-liittymä on tällä hetkellä yleisesti suorituskyvyltään mobiili-internet-liittymää parempi, ainakin kun tarkastellaan myös latenssia ja toimintavarmuutta. Valokaapeliyhteyksien lisääntyessä yhä useammilla kotitalouksilla on mahdollisuus hankkia selvästi mobiili-internet-yhteyttä nopeampi kiinteä internet-yhteys. Samalla etenkin tiheästi asutuilla alueilla mobiili-internet-liittymien käyttäjämäärät kasvavat, ja tämä tulee näkymään etenkin 3G-verkkoa uudemmassa LTE-verkossa nopeuksien hidastumisena. Haastattelussa kävi ilmi usean asiantuntijan olevan sitä mieltä, että tulevaisuudessa uudet palvelut, etenkin videoiden katsominen korkealla kuvanlaadulla tulee vaatimaan paljon suorituskykyä liittymältä sekä käyttämään huomattavia määriä dataa [14]. Tilastokeskuksen kyselytutkimuksen mukaan 16 - 89-vuotiaista suomalaisista 66 % käyttää tällä netti-tv-palveluita. Vuonna 2013 vastaava osuus oli 59 %. Ei ole syytä olettaa, etteikö osuus jatkaisi kasvua. [63, s.8]

Kiinteä internet-liittymä on tällä hetkellä myös mobiili-internet-liittymää kalliimpi. Luvussa 7.1.4 kerrottiin jo tarkemmin mobiilidatan hinnasta. Asiantuntijahaastattelussa käy ilmi, että mobiilidatan hinnan odotetaan kohoavan, tai ainakin odotetaan, että liittymiin asetetaan tulevaisuudessa käyttörajoituksia. [14] Kuten aiemmin mainittiin, usea pelkän kiinteän internet-liittymän käyttäjä on luopunut kiinteästä internet-liittymästä sen hinnan tai mobiiliinternetliittymän takia. On siis erittäin todennäköistä, että nämä kuluttajat palaavat takaisin kiinteään internet-liittymään, mikäli siitä tulee jälleen halvempi vaihtoehto. Lisäksi suorituskyvyn vaatimusten ja datakäytön määrän kasvaessa käytetyissä palveluissa on todennäköistä, että alun perin internet-liittymäkseen mobiiliinternetliittymän valinneet kuluttajat siirtyvät kiinteän internet-yhteyden käyttöön. Tämä ei kuitenkaan todennäköisesti tule näkymään pelkän kiinteän internet-liittymän omistavien kotitalouksien osuuden kasvuna, sillä todennäköisesti mobiililaajakaistaliittymästään luopuville talouksille jää edelleen älypuhelimessa

käytetyt mobiili-internet-liittymät. Näin ollen siirtymien oletetaan näkyvän sekä kiinteään, että mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuudessa.



Kuva 12: Internet-yhteyden siirtotapa kotitalouksissa 2010 - 2015 [8, s. 14]

### 7.3 Femto-tukiaseman markkinoille tuonti

Suurin kysymys femto-tukiasemien markkinapeiton kannalta on, tuoko yksikään operaattori femto-tukiasemia markkinoille vuoteen 2025 mennessä. Haastateltujen mobiilioperaattoreilla työskentelevien asiantuntijoiden mielipide on tästä melko samanlainen, yksikään Suomen kolmessa suuressa mobiilioperaattorissa työskentelevä ei näe femto-tukiasemien tulevan markkinoille. Yksi asiantuntija poikkeaa hieman kahdesta muusta mainitsemalla, että pienet tukiasemat, joita ei ole kerätty HeNB-portin kautta yhteen, saattavat joskus vielä tulla markkinoille. Pääsyyksi siihen, miksei operaattoreilla ole kiinnostusta tuoda femto-tukiasemia markkinoille, vaikuttaa olevan jokaisen operaattorin aie tuoda markkinoille Wi-Fi-puhelut, jotka pystyisivät ainakin tällä hetkellä korvaamaan femto-tukiaseman palvelut. [14]

Laitevalmistaja Cisco on listannut kuusi eri tapaa, joiden avulla operaattori voi hyötyä femto-tukiasemista:

1. Tuotot tukiasemien kuukausimaksuista ja uusista tarjottavista palveluista
2. Asiakkaiden sitouttaminen
3. Mobiilidatan myynnin lisäys
4. Kiinteän internet-liittymän myynnin yhdistäminen femto-tukiasemaan, jotta mobiilioperaattorin kiinteälle verkolle saadaan asiakkaita kilpailijoilta
5. Markkinaosuuden kasvatus, joka syntyy, kun perheen kaikki mobiililiittymät vaihdetaan femto-tukiaseman operaattorille tai kuluttaja haluaa operaattorin joka tarjoaa femto-tukiasemaa
6. Tukiasemaverkoston kulujen pienentäminen [81, s. 4 – 5]

Näistä kohdat 2, 4, 5 ja 6 voidaan sivuuttaa olettaen, että puhelinpalveluita voidaan tarjota myös WLAN-tukiaseman kautta. Mahdollisuus hankkia lisää palvelutuottoja tarjoamalla femto-tukiaseman kautta uusia palveluita olisi mobiilioperaattorille syy tuoda femto-tukiasemat markkinoille. Toistaiseksi vain ei ole ollut nähtävissä, että tällaisia

palveluita olisi tulossa markkinoille. Mobiilidatan lisääntyminen taas ei juuri Suomen nykyisellä hinnoittelupolitiikalla ole operaattoreille tavoiteltavaa. Lisäksi moni varmasti hankkisi kustannussyistä WLAN-tukiaseman, jonka kautta käyttäisi internet-yhteyttä mobiililaitteella mieluummin, kuin maksaisi näennäisesti samalla tavalla toimivasta yhteydestä femto-tukiaseman kautta.

Verrattuna WLAN:iin femto-tukiasema on puhelimen sisätukiasemaksi käytännöllisempi, koska se tukee soittamista täydellisesti. Tämä ominaisuus on kuitenkin myös mahdollista saada tulevaisuudessa Wi-Fi-puheluiden avulla. WLAN-tukiasema myös tukee laajempaa määrää asiakkaita kuin femto-tukiasema, joka on avoinna vain yhden mobiilioperaattorin asiakkaille. WLAN on lisäksi jo standardi useissa elektronisisissä laitteissa, joita käytetään kodin sisällä, kun femto-tukiaseman luoma sisäverkko taas ei tue näitä laitteita. Koska WLAN-tukiasema toimii vapaalla taajuusalueella, liittyy sen käyttöön myös vähemmän rajoituksia kuin femto-tukiaseman käyttöön.

Edellä esitetyn perusteella päädytään siihen lopputulokseen, että femto-tukiasemien markkinoille tulo vuosien 2015 ja 2025 välillä on erittäin epätodennäköistä. Ainoat tekijät, jotka voivat sen tuoda markkinoille, ovat jonkin uuden palvelun ilmaantuminen, joka tekee siitä tarpeellisen, tai jostakin muualta kuten lainsäädännöstä tai kuluttajien kysynnästä nouseva tarve. Tulevaisuudessa tuodaan esimerkiksi markkinoille teknologia, jolla voidaan käyttää LTE-yhteyttä WLAN:n käyttämällä lisensoimattomalla 5 GHz taajuusalueella. Vaikka tekniikka tuo apua sisätilojen taajuusalue pulaan, toistaiseksi tätä ei kuitenkaan suunnitella femto-tukiasemille. [82, s. 4] Todennäköisyyttä tälle on mahdotonta arvioida. Tästä johtuen ei ole mielekäästä tutkia erikseen femto-tukiasemien markkinapeittoa, vaan tutkitaan pelkästään WLAN-tukiasemien markkinapeittoa. WLAN-tukiasemat jaetaan erikseen kiinteään- ja mobiiliin internet-yhteyteen kytkettäviin malleihin. Tarpeet femto- ja kiinteään internet-yhteyteen liitettävälle WLAN-tukiasemille ovat hyvin samanlaiset, etenkin Wi-Fi-puheluiden ollessa markkinoilla, mistä kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa. Mikäli femto-tukiasemat saapuvat markkinoille, tulevat ne ottamaan osan työssä esitetyn kiinteään internet-yhteyteen liitettävien WLAN-tukiasemien markkinapeitosta.

#### **7.4 WLAN-markkinapeitto ja Wi-Fi-puheluiden markkinoille tulo**

WLAN-tukiasemat voidaan jakaa kahteen tyyppiin, niihin, jotka kytketään mobiili-internet-yhteyteen, ja niihin, jotka kytketään kiinteään internet-yhteyttä. Mobiili-internet-yhteyttä käyttävät WLAN-tukiasemat hankitaan usein mobiilioperaattorilta, mutta niiden ostaminen kaupastakin on mahdollista. Vuoden 2014 lopussa operaattoreiden verkkotietojen mukaan mobiililaajakaistaa käyttäviä WLAN-tukiasemia oli Suomessa noin 350 000 [14]. Ei ole tiedossa, kuinka moni näistä oli yritysten käytössä. Työssä luku arvioidaan useata laitetta tai WLAN-tablettitietokonetta käyttävien mobiilitalouksien määrään perusteella. Tästä saadaan noin 374 000 tukiasemaa.

Kiinteään verkkoon kytkettävien WLAN-tukiasemien määrä kotitalouksissa on hankalampi arvioida. Koska WLAN-tukiaseman voi kuka tahansa käydä ostamassa kaupasta, asentaa sen itse kotiinsa ja käyttö tapahtuu vapaalla taajuusalueella, ei kenelläkään ole varmaa tietoa siitä, kuinka monessa Suomen kotitaloudessa on todellisuudessa WLAN-tukiasema käytössä. Tämän takia luku täytyy arvioida.

On mahdollista, että kotitaloudessa on laajempi usean tukiaseman WLAN-sisäverkko mutta, se lasketaan kuitenkin vain yhdeksi WLAN-tukiasemaksi tässä työssä. Näin

kiinteätä internet-yhteyttä käyttävien WLAN-sisäverkkojen määrän täytyy olla pienempi kuin kiinteiden internet-yhteyksien määrä Suomen kotitalouksissa. Seuraavaksi voidaan olettaa, että vain langattoman sisäverkon tarvitsevilla kotitalouksilla on käytössä WLAN-tukiasema. Helpon asennuksen ja reitittimen halvan hinnan takia voidaan olettaa myös, että lähes kaikilla kotitalouksilla, jotka haluavat langattoman sisäverkon ja jotka omistavat kiinteän internet-liittymän on WLAN-tukiasema. Oletus voidaan tehdä, koska edellisessä kohdassa 7.3 tehtiin oletus, etteivät femto-tukiasemat saavu markkinoille, eli ei tutkita kilpailevaa tekniikkaa jolla luoda sisäverkko. Langattoman sisäverkon tarpeeseen taas on tunnistettu syiksi tarve käyttää useata laitetta internetissä tai käyttää mobiililaitteilla puhe- tai internet-palveluita WLAN-yhteyden yli huonon kuuluvuuden tai heikon siirtokapasiteetin vuoksi. Tulevaisuudessa myös mobiilidatan nykyistä korkeampi hinta tai rajoitettu tiedonsiirtomäärä sekä tarve Wi-Fi-puheluille voi olla tähän syynä. Näillä perusteilla voidaan arvioida, että vuonna 2015 kiinteään internet-liittymään kytkettävän WLAN-tukiaseman omistaa jokainen kotitalous, jossa on kiinteä internet-liittymä, sekä usea tietokone tai WLAN-tabletti. Näitä on noin 854 000 kappaletta.

Tämän perusteella voidaan WLAN:n markkinapeiton arvioida olevan tällä hetkellä mobiiliyhteyden yli toimivien WLAN-tukiasemien määrän sekä kiinteän internet-yhteyden omistajista sen osuuden jolla on WLAN-tablettitietokone tai usea tietokone.

Luvussa 4.4.5 kerrottiin, että haastatellut asiantuntijat olivat sitä mieltä, että VoLTE-palvelut tulevat muutaman vuoden sisään markkinoille. Usea asiantuntija mainitsi, että tämän myötä Wi-Fi-puheluiden markkinoille tuonti on operaattoreille erittäin halpaa, sillä valtaosa kustannuksista, joita tämä vaatii, syntyy VoLTE:n ohessa. Kaikki operaattoreilla työskentelevät asiantuntijat ollettivat myös, että Wi-Fi-puhelut tulevat lähivuosina Suomessa markkinoille. Tämä taas tarkoittaa, että kiinnostus huonon kuuluvuuden kodeissa WLAN-tukiasemaa kohtaan kasvaa varmasti. Työssä ei kuitenkaan oleteta Wi-Fi-puheluiden markkinoille tuloa, tai markkinoille tulemisen ajankohtaa varmaksi, vaan tätä vaihdellaan eri skenaarioissa. Oletuksena on kuitenkin, että Wi-Fi-puheluiden ollessa markkinoilla hankkivat huonon kuuluvuuden asunnon haltijat WLAN-tukiaseman.[14]

## **7.5 Arviointityökalun luominen ja käyttö**

Tässä alaluvussa esitellään tutkimuksessa markkinapeittojen laskemista varten Excel-ohjelmistolla toteutettu arviointityökalu. Aluksi esitellään, kuinka arviointityökalu arvioi markkinapeitot internet-yhteydettömien, kiinteän internet-yhteyden, mobiilin internet-yhteyden- ja kiinteän- sekä mobiilin-internet-yhteyden talouksien osalta, sen jälkeen käydään läpi miten sisäyhteyksien markkinaosuudet arvioidaan. Lopuksi käydään läpi mitä arviointityökaluun voidaan syöttää ja miten sitä käytetään.

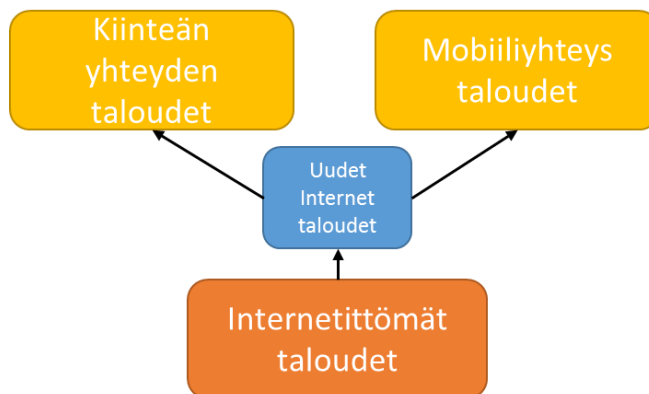
### **7.5.1 Arviointityökalun rakenne**

Tässä luvussa on aiemmin esitelty muuttujat, joita arviointityökalu käyttää kotitalouksien internet-yhteyksien siirtotapojen markkinapeittojen arvioinnissa. Nämä muuttujat ovat kotitalouksien määrä, laitekanta, energiatehokkaat rakennukset, mobiilidatan hinta ja -käyttörajoitukset ja mobiilidatan kulutuksen kasvu. Seuraavaksi esitellään kuinka muuttujat vaikuttavat eri internet-yhteydellisten kotitalouksien määrän arviointiin. Jokaiseen eri internet-tyypin kotitalouden markkinapeiton arviointiperiaate käydään läpi erikseen. Tästä periaatteesta on myös havaintokuva, jossa tutkittava kotitaloustyyppi on värjätty oranssilla, ja muut kotitaloustyypit ovat värjätty keltaisella. Muuttujat ovat värjätty sinisellä. Kotitaloustyypit ovat yhdistetty muuttujien kautta nuolilla toisiinsa. Nuolen suunta kuvaa sitä, mistä kotitaloustyypistä muuttujan muutos vie kotitalouksia



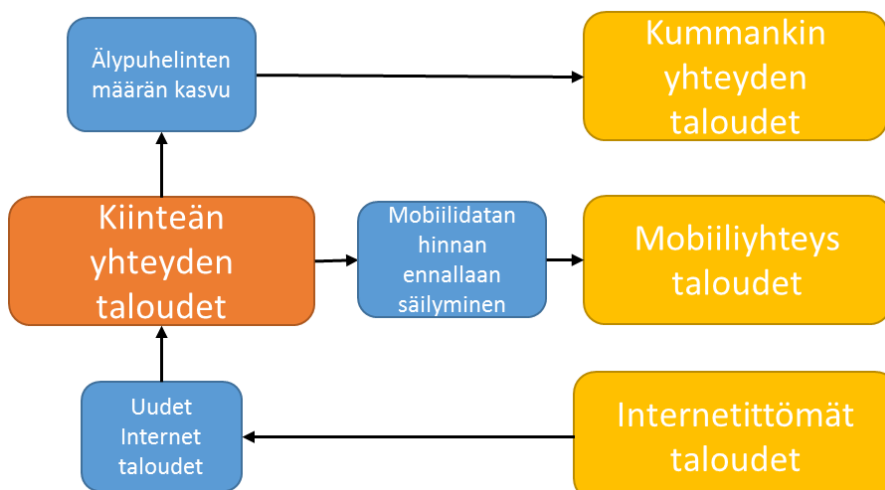
pois, ja mihin kotitaloustyyppiin muutos tuo lisää kotitalouksia. Jokaiselle kotitaloustyypille on tehty erikseen kuva jonka avulla tekstiosuutta selvennetään.

Kuvassa 13 selvennetään miten muuttujien arvioidaan vaikuttavan internet-yhteydettömien kotitalouksien määrään. Internet-yhteydettömien määrä on jo nyt varsin pieni, ja sen arvioidaan pienenevän edelleen, kuten kohdassa 7.2 perustellaan. Internet-yhteyden hankkivien talouksien oletetaan jakautuvan tasan kiinteiden ja mobiili-internet-yhteydellisten talouksien välille.



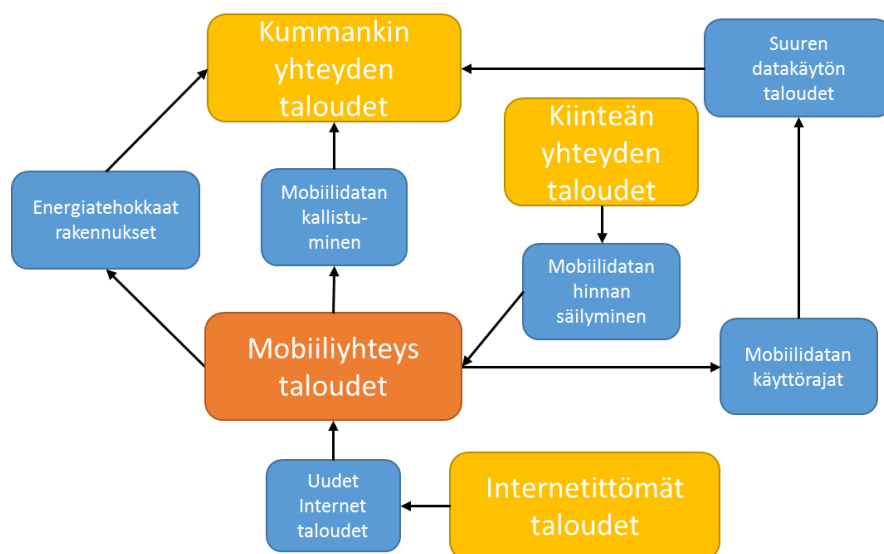
Kuva 13: Internet-yhteydettömien kotitalouksien arviointi

Kuvassa 14 selvennetään miten muuttujien arvioidaan vaikuttavan kiinteän internet-yhteyden kotitalouksien osuuteen. Puolet talouksista jotka siirtyvät internetittömästä taloudesta internet-yhteydelliseen talouteen, hankkivat kiinteän internet-liittymän. Älypuhelinien määrän kasvun puhelinkannassa arvioidaan pienentävän pelkästään kiinteiden internet-liittymätalouksien osuutta, kohdan 7.1.2 perustelun mukaan. Tämä muutos näkyy kasvuna niiden kotitalouksien määrässä joilla on sekä kiinteä että mobiili-internet-yhteys. Myös mobiilidatan hinnan ennallaan pysymisen oletetaan vähentävän kiinteän liittymän talouksien osuutta ja kasvattavan mobiili-yhteys talouksien osuutta, kuten kohdassa 7.2 perustellaan.



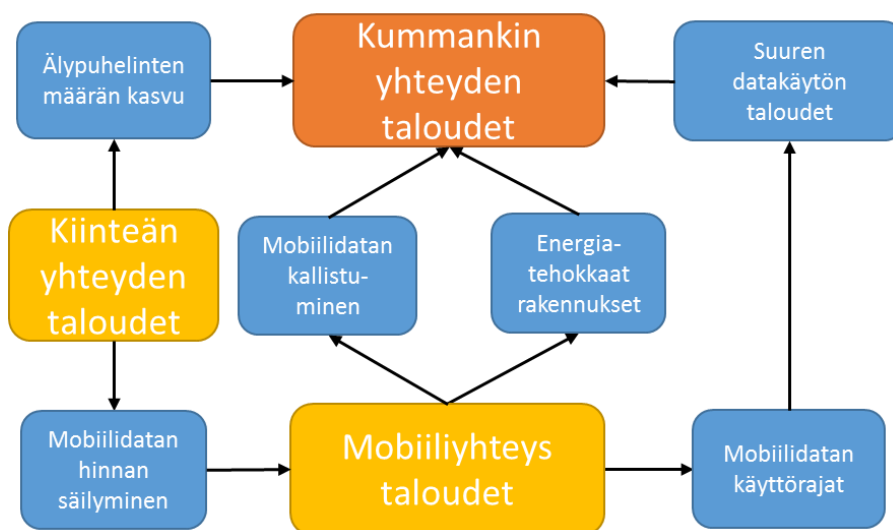
Kuva 14: Kiinteän internet-yhteyden kotitalouksien arviointi

Kuvassa 15 selvennetään, miten muuttujien arvioidaan vaikuttavan mobiiliyhteydellisten kotitalouksien osuuteen. Kuten yllä mainittiin, oletetaan, että puolet talouksista jotka siirtyvät internet-yhteydettömästä taloudesta internet-yhteydelliseen talouteen hankkivat mobiili-internet-liittymän. Mobiilidatan hinnan pysyessä ennallaan kiinteän internet-yhteyden talouksia siirtyy käyttämään halvempaa mobiiliyhteyttä. Mobiilidatan hinnan kallistumisen tai datarajoitusten käyttöönottamisen taas arvioidaan saavan osan mobiiliyhteys talouksista siirtymään kiinteään internet-liittymään, kuten kohdissa 7.1.5 ja 7.2 selitetään. Energiatehokkaiden rakennusten osuuden kotitalouksista arvioidaan vähentävän mobiiliyhteydellisten kotitalouksien osuutta ja kasvattavan kiinteän, sekä mobiili-yhteydellisten kotitalouksien osuutta kuten luvussa 7.1.3 perustellaan.



Kuva 15: Mobiili-internet-yhteydellisten kotitalouksien arviointi

Kuvassa 16 esitellään miten muuttujien oletetaan vaikuttavan kiinteän- ja mobiili-internet-yhteydellisten kotitalouksien osuuteen. Muutosten syyt on jo selitetty luvun edellisissä kappaleissa.



Kuva 16: Kiinteän- ja mobiili-internet-yhteydellisten kotitalouksien arviointi

Luvussa 6 esiteltujen ratkaisuvaihtoehtojen markkinapeittojen laskenta perustuu edellä esitettyihin kotitalouksien yhteystyyppien osuuksien arvioihin. Työssä oletetaan, että

femto-tukiaseman markkinoille tuleminen on epätodennäköistä, eikä sitä ole mielekästä arvioida, kuten kohdassa 7.3 perustellaan. Näin ollen sen markkinaosuus kirjataan nollassa. WLAN:n markkinapeitto muodostuu kaikkien internet-yhteyden omistavien talouksien osuudesta. WLAN:ille lasketaan erikseen markkinapeitot kiinteään- ja mobiiliin-internet-yhteyden liitettävien tukiasemien osalta. Kiinteän internet-yhteyden omistavien kotitalouksien oletetaan käyttävän aina kiinteään internet-yhteyden kytkettävää WLAN-tukiasemaa sen halvemman kustannuksen vuoksi. Operaattoreiden nykyisiä ratkaisuita kuuluvuusongelmiin pidetään riittämättöminä, minkä perusteella oletetaan kuuluvuusongelmaisten kotitalouksien, eli tässä työssä energiatehokkaiden rakennusten, hankkivan kiinteän internet-liittymän ja Wi-Fi-puheluiden tullessa markkinoilla myös WLAN-tukiaseman. Näin ollen energiatehokkaiden rakennusten määrän kasvu nostaa kiinteään verkkoon kytkettävien WLAN-talouksien osuutta, jos Wi-Fi-puhelut ovat markkinoilla. Myös usean laitteen tai WLAN-tabletin omistavien kotitalouksien oletetaan hankkivan WLAN-tukiasema. Mobiilitalouksien, joilla ei ole WLAN-yhteyttä, oletetaan käyttävän sisäyhteytenä LTE-verkkoa. Ilman langatonta sisäyhteyttä oletetaan siis olevan vain internet-yhteydettömien talouksien ja pelkän kiinteän internet-yhteyden omistavien kotitalouksien, joilla ei ole useaa laitetta.

### 7.5.2 Arviointityökalun käyttö

Arviointityökalu johon luvut syötetään, näytetään kuvassa 17. Arviointityökaluun on syötetty valmiiksi muuttujat joiden muutoksien oletan olevan tarpeeksi tarkasti arvioituja. Nämä muuttujat on värjätty punaisiksi, eikä niitä muuteta tutkittaessa eri skenaarioita laskurilla. Keltaisella pohjalla olevat muuttujat sisältävät kaavoja, jotka muuttavat solun arvoa vihreisiin soluihin syötettyjen arvojen perusteella. Myöskään näihin soluihin ei tehdä muutoksia arviointityökalua käytettäessä. Vihreällä pohjalla olevia muuttujia taas muutetaan itse. Muuttujille mobiilidatan hinta, mobiilidatan käyttörajat ja Wi-Fi puhelut annetaan joko arvot 0 tai 1. Arvo 0 tarkoittaa, ettei muutoksia nykytilanteeseen ole tapahtunut. Arvo 1 tarkoittaa, että muutos on tapahtunut. Edellä kuvatuilla muuttujilla luodaan skenaariot. Myös muuttujat älypuhelin ja tv-palveluiden käyttö on värjätty vihreiksi. Nämä muuttujat ovat jo valmiiksi arvioitu, mutta niiden muutoksen vaikutusta voi tutkia. Tämä on tehty, jotta näiden muuttujien herkkyyttä voidaan tutkia. Huomioitavaa on, että punaisella ja keltaisella taustalla olevat muuttujat perustuvat siis omiin arvioihin. Laskurin solujen tarkat sisällöt on esitelty liitteestä A.

Arviointityökalu piirtää kolme kuvaajaa siihen syötettyjen arvojen perusteella. Ensimmäisessä kuvaajassa esitetään eri siirtotekniikoita käyttävien kotitalouksien määrät vuosina 2015, 2020 ja 2025. Toisessa kuvaajassa esitellään eri internet-yhteyden omaavien kotitalouksien markkinaosuudet. Kolmannessa kuvaajassa esitellään eri sisäverkko ratkaisuita käyttävien kotitalouksien markkinaosuudet. Kuvaajia käytetään alaluvussa 7.6 sekä liitteissä B, C, D ja E.

|    | A  | B           | C           | D           |
|----|--|-------------|-------------|-------------|
| 1  |  | <b>2015</b> | <b>2020</b> | <b>2025</b> |
| 2  | Kotitalouksien määrä                               | 2617780     | 2702471     | 2776069     |
| 3  | Internet-yhteydettömät taloudet                    | 8%          | 6%          | 4%          |
| 4  | Kiinteän internet-yhteyden taloudet                | 22%         | 18%         | 18%         |
| 5  | Kummankin yhteyden taloudet                        | 42%         | 45%         | 45%         |
| 6  | Mobiiliyhteys taloudet                             | 28%         | 31%         | 33%         |
| 7  | Energiatehokkaat talot                             | 60000       | 210000      | 360000      |
| 8  | Energiatehokkaiden talojen osuuden kasvu           | 2.29%       | 5.48%       | 5.20%       |
| 9  | Mobiilidatan hinnan nousu                          | 0           | 0           | 0           |
| 10 | Mobiilidatan käyttöraajat                          | 0           | 0           | 0           |
| 11 | Wi-Fi-puhelut                                      | 0           | 0           | 0           |
| 12 | Femto tukiaseman markkinoille tulo                 | 0           | 0           | 0           |
| 13 | TV-palveluiden käyttö                              | 66%         | 71%         | 76%         |
| 14 | Suuri datankäyttö (tv-palvelut)                    | 33%         | 36%         | 38%         |
| 15 | Älypuhelin   | 69%         | 85%         | 90%         |
| 16 | Usea laite tai WLAN-tabletti                       | 51%         | 51%         | 51%         |
| 17 | Käyttää mobiililiittymää halvan hinnan takia       | 21.0%       | 0.0%        | 0.0%        |
| 18 | Kiinteästä halvan hinnan takia mobiiliin siirtyvät | 0.0%        | 5.0%        | 5.0%        |
| 19 | WLAN-kiinteä markkinapeitto                        | 33%         | 32%         | 32%         |
| 20 | WLAN-mobiili markkinapeitto                        | 14.2800%    | 15.64%      | 17%         |
| 21 | WLAN yhteensä                                      | 47%         | 48%         | 49%         |
| 22 | Pelkkä mobiili sisäyhteys                          | 34%         | 37%         | 38%         |
| 23 | Ei langatonta sisäyhteyttä                         | 18.7800%    | 15%         | 13%         |
| 24 | Femto markkinapeitto                               | 0           | 0           | 0           |
| 25 | Pelkkä mobiili sisäyhteys määrä                    | 897899      | 1001368     | 1067244     |
| 26 | WLAN kokonaismäärä                                 | 1228262     | 1295565     | 1359163     |

Kuva17: Excel-ohjelmistolla toteutettu arviointityökalu

## 7.6 Skenaarioanalyysi

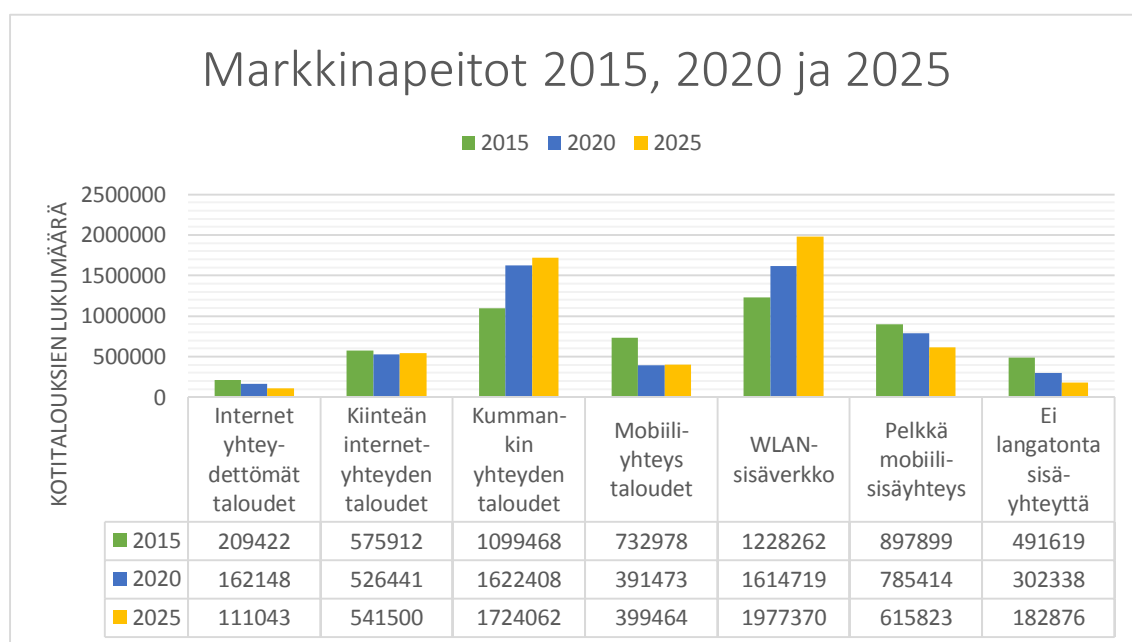
Tässä luvussa esitellään aluksi skenaariot, jotka työssä luodaan. Tämän jälkeen skenaariot toteutetaan arviointityökalun avulla ja skenaarioiden tulokset esitellään. Lisäksi jokaisen skenaarion osalta älypuhelinien ja videopalveluiden käyttäjäosuuden herkkyyttä tutkitaan. Skenaariosta tehtävät johtopäätökset esitetään luvussa 8.

Kuten luvussa 3.5 kerrottiin, skenaarioanalyysi perustuu oletukseen, että joidenkin muuttujien tulevaisuuden muutosta pystytään arvioimaan tarkasti, kun taas joidenkin muutosta tutkitaan tekemällä vaihtoehtoisia skenaarioita. Työssä luodaan neljä erilaista skenaariota, jotka perustuvat mobiilidatan hinnan ja käyttörajoitusten muutoksiin sekä Wi-Fi-puheluiden markkinoille tulon. Skenaarioiden muut muuttujat oletetaan tunnetuiksi. Kotitalouksien lukumäärän muutoksen, uusien energiatehokkaiden asuntojen rakentamismäärän ja kotitalouksien laitekannan voidaan olettaa kehittyvän jokaisessa skenaariossa samalla tavalla aiemmin arvioidun mukaan. Internet-yhteydettömien kotitalouksien osuuden oletetaan myös laskevan samalla tavalla joka skenaariossa. Tämä osuus on jo niin pieni, ettei siinä voi tapahtua suuria muutoksia, mikäli kotitaloudet eivät ryhdy jostakin syystä luopumaan internet-yhteyksistään.

Videopalveluiden ja älypuhelinien käyttäjäosuuden herkkyyttä tutkitaan jokaisessa skenaariossa samalla tavalla. Kumpaakin muuttujaa tutkitaan erikseen siten, että osuutta lasketaan ensin 5 prosenttiyksikköä ja sitten nostetaan 5 prosenttiyksikköä. Muutokset kirjataan ylös, ja niiden kokonaisvaikutusta markkinapeittoihin arvioidaan.

### 7.6.1 Skenaario 1

Ensimmäisessä skenaariossa tutkitaan tapausta, jossa mobiilidatan hinta nousee, mobiilidatan käyttöä rajoitetaan datakatolla ja Wi-Fi-puhelut tulevat markkinoille vuoteen 2020 mennessä. Kuvassa 18 on esitetty eri siirtotekniikoita käyttävien kotitalouksien lukumäärät tässä skenaariossa. Liitteessä B on esitetty internet-yhteyden siirtotapojen ja sisäverkon muodostustapojen markkinaosuudet.

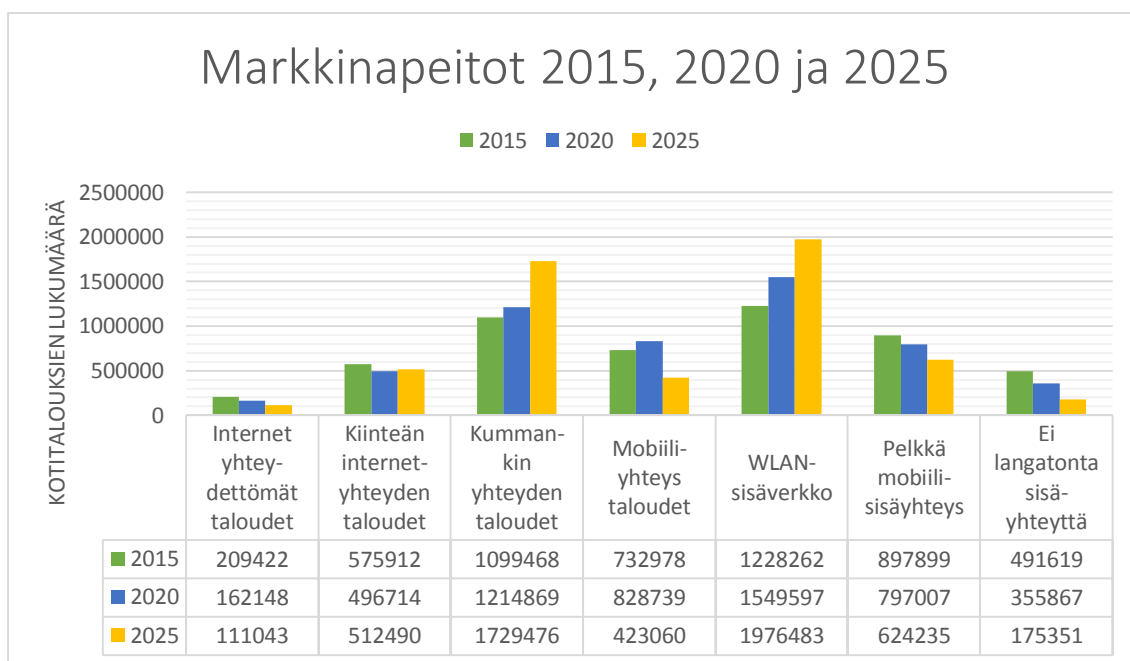


Kuva 18: Skenaario 1 kotitalouksien lukumäärä siirtotapojen mukaan

Tässä skenaariossa muutokset internet-yhteyden siirtotavoissa tapahtuvat pääosin vuoteen 2020 mennessä, ja muutos vuoteen 2025 on pieni. Muutokset perustuvat lähinnä pelkän mobiililiittymän omistavien talouksien osuuden pienenemiseen ja kiinteän että mobiili-internet-yhteyden, eli kummankin yhteyden omistavien kotitalouksien osuuden kasvamiseen. Langattomien sisäverkkojen suhteen taas WLAN:in käyttö kotitalouksissa kasvaa selvästi koko tarkastelujaksolla samalla, kun pelkän mobiili-internet-yhteyden ja kokonaan ilman langatonta sisäverkkoa olevien kotitalouksien määrä vähenee.

### 7.6.2 Skenaario 2

Toisessa skenaariossa tutkitaan tapausta jossa edellisen skenaarion muutokset eli mobiilidatan hinnan nousu, datakattojen käyttöönotto ja Wi-Fi-puheluiden markkinoille tuleminen tapahtuvat vasta vuoteen 2025 mennessä. Kuvassa 19 on esitetty eri siirtotekniikoita käyttävien kotitalouksien lukumäärät tässä skenaariossa. Liitteessä C on esitetty internet-yhteyden siirtotapojen ja sisäverkon muodostustapojen markkinaosuudet.



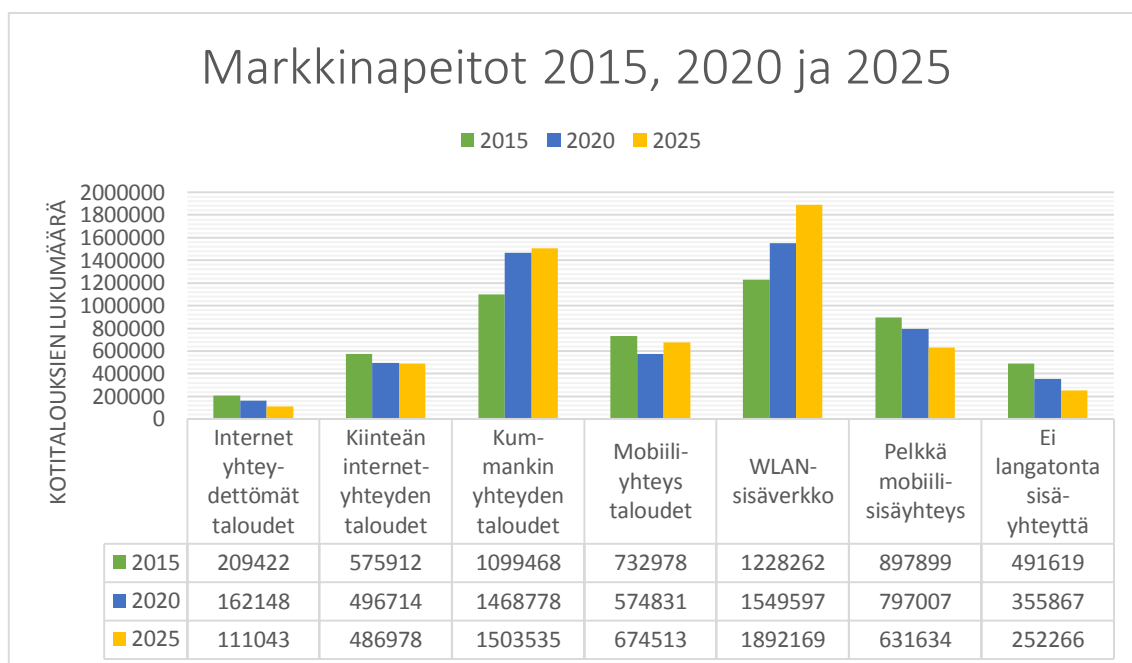
Kuva 19: Skenaario 2 kotitalouksien lukumäärä siirtotapojen mukaan

Tässä skenaariossa vuoteen 2020 mennessä ei tapahdu suuria muutoksia. Pelkän kiinteän internet-yhteyden omistavien kotitalouksien määrä ja osuus laskee hieman, samalla kun pelkästään mobiili-internet-yhteyden tai kiinteän- ja mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien määrä ja osuus kasvaa hieman. Vuoteen 2025 mentäessä taas muutokset vuoden 2020 tilanteeseen ovat pelkkien mobiili-internet-yhteys talouksien määrän puolittuminen sekä kiinteän- ja mobiili-internet-yhteyden omistavien talouksien selkeä kasvu. Langattomien sisäverkkojen osalta WLAN:in käyttö kotitalouksissa kasvaa selvästi koko tarkastelujaksolla samalla kun pelkän mobiili-yhteyden ja kokonaan ilman langatonta sisäverkkojen olevien talouksien määrä vähenee.

### 7.6.3 Skenaario 3

Kolmannessa skenaariossa tutkitaan tilannetta jossa mobiili-liittymiin otetaan käyttörajat vuoteen 2020 mennessä, mutta WLAN-puhelut eivät tule markkinoille eikä mobiilidataan hintaan tule oleellisia muutoksia. Kuvassa 20 on esitetty eri siirtotekniikoita käyttävien kotitalouksien lukumäärät tässä skenaariossa. Liitteessä D on esitetty internet-yhteyden siirtotapojen- ja sisäverkon muodostustapojen markkinaosuudet.

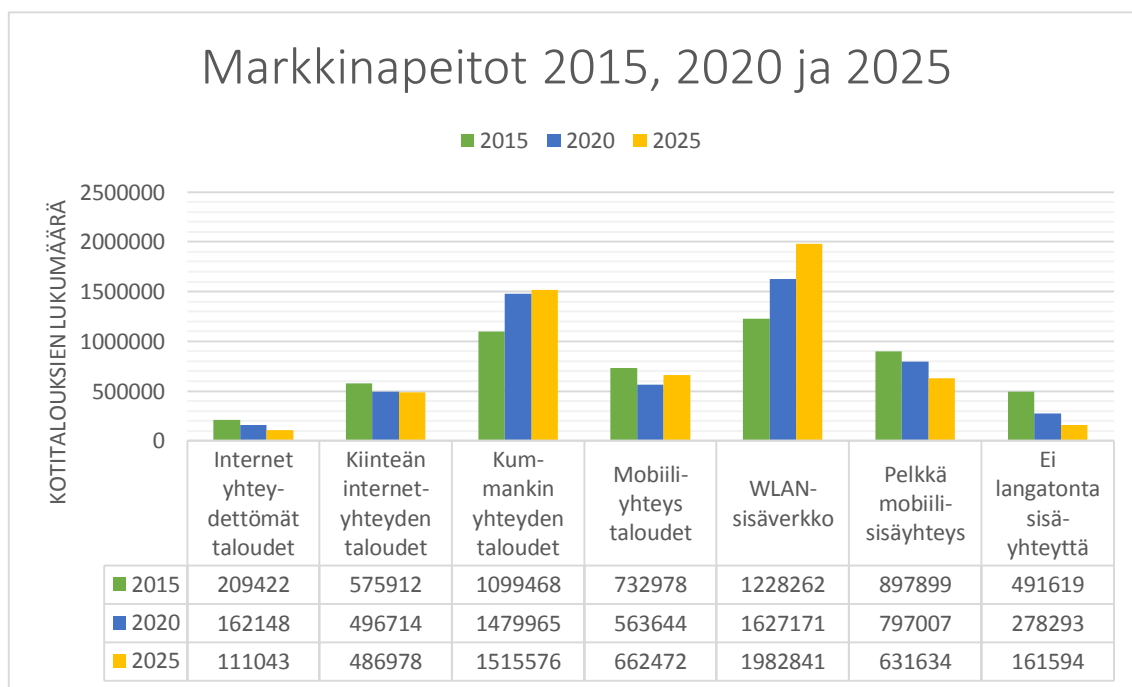
Tässä skenaariossa vuoteen 2020 mennessä suurimmat muutokset tapahtuvat pelkän kiinteän tai pelkän mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien määrän ja osuuden vähenemisenä sekä molempien yhteyksien omistavien kotitalouksien määrän ja osuuden kasvussa. Vuosien 2020 ja 2025 välillä taas pelkän kiinteän internet-yhteyden ja sekä kiinteän että mobiili-internet-yhteyden omistavien talouksien määrät pysyvät suunnilleen ennallaan, kummankin markkinaosuuden kuitenkin pienentyessä hieman. Tällä aikavälillä mobiili-internet-yhteydet taas kasvavat sekä markkinaosuudeltaan että määrältään. Langattomien sisäverkkojen osalta WLAN:n käyttö kotitalouksissa kasvaa selvästi koko tarkastelujaksolla, samalla kun pelkän mobiili-yhteyden ja kokonaan ilman langatonta sisäverkkoa olevien talouksien määrä vähenee.



Kuva 20: Skenaario 3 kotitalouksien lukumäärä siirtotapojen mukaan

#### 7.6.4 Skenaario 4

Neljännessä skenaariossa tutkitaan tapausta, jossa Wi-Fi-puhelut ja datakatot tulevat käyttöön vuoteen 2020 mennessä, mutta mobiili-liittymän hinta ei nouse oleellisesti. Kuvassa 21 on esitetty eri siirtotekniikoita käyttävien kotitalouksien lukumäärät tässä skenaariossa. Liitteessä E on esitetty internet-yhteyden siirtotapojen ja sisäverkon muodostustapojen markkinaosuudet.



Kuva 21: Skenaario 4 kotitalouksien lukumäärä siirtotapojen mukaan

Tämän skenaarion voidaan nähdä olevan lähes täysin samanlainen kuin edellisen. Eroina on, että pelkän mobiili-internet-yhteystalouksien määrä ja markkinaosuus laskevat

vuoteen 2020 mennessä hieman enemmän kuin skenaariossa 3. Vuoteen 2025 mennessä mobiili-internet-yhteydellisten kotitalouksien määrä kasvaa hieman vähemmän kuin edellisessä skenaariossa, mutta markkinaosuus kasvaa yhtä paljon. Ainoa oleellinen muutos on WLAN-kotitalouksien määrän ja markkinaosuuden suurempi kasvu ja samalla sisäverkkottomien kotitalouksien markkinaosuuden voimakkaampi väheneminen.

### 7.6.5 Herkkyysanalyysi

Tässä kohdassa tutkitaan videopalveluiden käyttäjäosuuden ja älypuhelinmarkkinaosuuden herkkyttä tämän alaluvun alussa esitetyllä tavalla. Tutkimalla älypuhelinmarkkinaosuuden herkkyttä, havaitaan että muuttujan osuuden kasvattaminen tai vähentäminen tuottaa saman vaikutuksen, mutta käänteisesti jokaisessa skenaariossa. Taulukossa 10 näytetään muutosten markkinapeittojen muutosten suuruus skenaariossa 1 kun älypuhelinmarkkinaosuutta kasvatetaan 5 prosenttiyksikköä. Skenaariossa 2 muutos on sama, kun taas skenaarioissa 3 ja 4 kiinteän internet-yhteyden talouksien lukumäärä vähenee 1666 liittymällä skenaarioita 1 ja 2 vähemmän. Vastaavasti kummankin yhteystyyppien talouksien lukumäärä nousee 1666 liittymällä enemmän.

Taulukko 10: Älypuhelinmarkkinaosuuden herkkyysanalyysi

| Älypuhelinmarkkinaosuus + 5 prosenttiyksikköä | 2020   | 2025   |
|---|--------|--------|
| Kiinteän internet-yhteyden taloudet           | -32430 | -31647 |
| Kummankin yhteyden taloudet                   | 32430  | 31647  |
| Mobiiliyhteystaloudet                         | 0      | 0      |
| WLAN-sisäverkko                               | 0      | 0      |
| Pelkkä mobiilisisäyhteys                      | 14269  | 10760  |
| Ei langatonta sisäyhteyttä                    | -14269 | -10760 |

Vuonna 2020 on ennustettu Suomessa olevan 2702471 kotitaloutta ja vuonna 2025 2776069 kotitaloutta. Näin ollen 5 %:n muutos älypuhelinmarkkinaosuudessa vaikuttaa skenaarioissa noin 1,2 prosenttiyksikön muutoksella pelkän kiinteän internet-yhteyden talouksien ja sekä kiinteän että mobiilitalouksien markkinaosuuksissa. Vastaavasti pelkän mobiilisisäyhteyden ja kokonaan ilman sisäyhteyttä olevien talouksien markkinaosuudet muuttuvat noin 0,5 prosenttiyksikköä.

Myös videopalveluiden käyttäjäosuuden herkkydestä nähdään, että 5 prosenttiyksikön osuuden kasvu ja lasku vaikuttavat samalla tavalla, mutta käänteisesti. Muutos osuudessa aiheutti eri skenaarioissa toisistaan poikkeavia vaikutuksia. Taulukkoon 11 on valittu jokaisen muuttujan osalta eniten muuttunut arvo.

Taulukko 11: Videopalveluiden osuuden herkkyysanalyysi

| Videopalveluiden käyttäjäosuus +5 prosenttiyksikköä | 2020   | 2025   |
|---|--------|--------|
| Kiinteän internet-yhteyden taloudet                 | 0      | 0      |
| Kummankin yhteyden taloudet                         | 17881  | 16059  |
| Mobiiliyhteystaloudet                               | -17881 | -16059 |
| WLAN-sisäverkko                                     | 772    | 829    |
| Pelkkä mobiilisisäyhteys                            | 0      | 0      |
| Ei langatonta sisäyhteyttä                          | -772   | -829   |



Taulukkoa 11 tarkastelemalla voidaan videopalveluiden osuuden 5 prosenttiyksikön muutoksen vaikutusta markkinaosuuksiin tutkia samalla tavalla kuin edellä tutkittiin älypuhelin osuuden vaikutusta. Havaitaan, että muutos aiheuttaa noin 0,6 prosenttiyksikön muutoksen pelkän mobiili-internet-yhteyden ja sekä kiinteän että mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien markkinaosuuksissa. Muissa markkinaosuuksissa tapahtuvat muutokset voidaan katsoa mitättömiksi.

## 8 Johtopäätökset

Tässä luvussa esitellään aluksi, mitä edellä esitettyjen skenaarioiden perusteella voidaan havaita ja päätellä internet-yhteyden siirtotapojen ja -sisäverkkojen markkinapeitoista. Lisäksi tarkastellaan erikseen voidaanko sisäverkoilla ratkaista matkapuhelinten kuuluvuusongelmia energiatehokkaissa rakennuksissa. Tämän jälkeen arvioidaan tuloksien oikeellisuutta ja mietitään kuinka tuloksia pystytään hyödyntämään. Lopuksi pohditaan mitä jatkotutkimuksia aiheesta voisi tehdä.

### 8.1 Tulokset

Tässä kohdassa tiivistetään aluksi työn tulokset vuosien 2015 - 2025 internet-yhteyden siirtotavan ja sisäyhteyden muodostustavan markkinapeittojen arvioinnin osalta. Tämän jälkeen tarkastellaan vielä markkinapeittoja tarkemmin ja pohditaan voidaanko kuuluvuusongelmat ratkaista sisäverkkojen avulla tulevaisuudessa.

Tulevaisuuden skenaariosta riippumatta arvioidaan internet-yhteydettömien talouksien osuuden pienenevän 4 prosenttiyksikköä vuoteen 2025 mennessä, ollen tällöin 4 %. Samoin pelkästään kiinteän internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuuden ennustetaan laskevan noin 2 – 4 prosenttiyksikköä ollen 18 – 20 %. Mobiilidatan hinnan nousussa vähenee pelkästään kiinteän internet-yhteyden omistavien talouksien osuuden lasku.

Pelkästään mobiili-yhteystalouksien osuus voi joko kasvaa tai vähentyä skenaariosta riippuen. Mikäli nykyinen hinnoittelu ei muutu, ennustetaan pelkästään mobiili-yhteystalouksien osuuden kasvavan. Tämä voidaan nähdä toisen skenaarion vuoden 2020 tilanteessa, jossa mobiili-yhteystalouksien osuus on kasvanut 31 %:tiin. Mobiili-liittymien yleinen hinnankorotus tai käyttörajojen markkinoille tuleminen pienentää pelkästään mobiili-yhteystalouksien osuutta. Mobiilidatan hinnan korotuksen ja datakattojen käyttörajojen toteutumisen arvioidaan suunnilleen puolittavan pelkkää mobiiliyhteyttä käyttävien kotitalouksien osuuden 28 %:sta noin 14 - 15 %. Pelkästään käyttörajojen käyttöönottamisen vuoteen 2020 mennessä arvioidaan pienentävän osuuden noin 21 %:tiin, mutta osuuden arvioidaan nousevan tällöin vuoteen 2025 mennessä 24 %:tiin. Arvio perustuu siihen, että mobiililiittymän ollessa edelleen halpa, hankkivat hintatietoiset kotitaloudet joiden internetin käyttö on pientä mobiili-liittymän kiinteän sijasta.

Sekä mobiiliin että kiinteän internet-yhteyden omistavien talouksien osuuden arvioidaan kasvavan. Kasvun voimakkuus on vahvasti riippuvainen siitä, korotetaanko mobiililiittymien hintaa ja tuleeko niihin datakatto. Energiatehokkaiden talojen määrän kasvun arvioidaan vähentävän pelkän mobiili-liittymän omistavien talouksien määrää, kasvattaen sekä kiinteän että mobiili-internetyhteyden omistavien talouksien määrää. Sekä kiinteän että mobiiliyhteyden omistavien talouksien osuuden arvioidaan olevan vuonna 2025 54 – 62 %:n välissä, riippuen siis vahvasti mobiililiittymien hinnasta ja datakattojen mahdollisesta käyttöönotosta.

Sisäyhteyden osalta jouduttiin markkinapeitot arvioimaan jo vuodelle 2015. WLAN:n markkinapeiton arvioidaan kattavan noin 47 %, pelkän mobiiliin sisäyhteyden noin 34 % ja sisäyhteydettömien noin 19 % kotitalouksista. Noin 33 %:n kotitalouksista arvioidaan käyttävän kiinteään internet-liittymään kytkettävää WLAN-tukiasemaa ja 14 %:n mobiililiittymään kytkettävää WLAN-tukiasemaa. Jokaisessa skenaariossa WLAN:n markkinaosuuden arvioidaan kasvavan. Kasvun voimakkuus riippuu eri tekijöistä, mutta se on jokaisessa skenaariossa melko samanlainen, noin 10 - 13 prosenttiyksikköä vuosina

2015 – 2020 ja 11 – 14 prosenttiyksikköä vuosina 2020 – 2025. Kasvu jakautuu eri skenaarioissa eritavoin kiinteään- ja mobiiliin internet-yhteyteen kytkettävien tukiasemien välille. Wi-Fi-puheluiden markkinoille tulo voidaan nähdä vaikuttavan eniten WLAN:n markkinaosuuden kasvun suuruuteen. Mikäli ne eivät tule markkinoille, arvioidaan kasvun hidastuvan noin 3 prosenttiyksikköä kumpanakin tarkastelujaksona. Hidastuminen näkyy kiinteään internet-yhteyteen kytkettävien tukiasemien osuudessa. Mobiilidatan hinnan korotus tai datarajoitusten käyttöönoton voidaan nähdä nostavan kiinteään internet-yhteyteen kytkettävien WLAN-tukiasemien osuutta. Kummankin tapahtuessa muutos on noin 8 prosenttiyksikön verran. Pelkkää mobiilisisäyhteyttä käyttävien kotitalouksien osuuden ennustetaan vähentyvän jokaisessa skenaariossa, noin 5 prosenttiyksikköä vuosina 2015 - 2020 ja noin 6 - 7 prosenttiyksikköä vuosina 2020 – 2025.

Mikäli mobiili-yhteys ei kuulu kodin sisällä tarpeeksi hyvin, voidaan sisäverkko muodostaa kiinteätä internet-yhteyttä käyttävän WLAN- tai femto-tukiaseman avulla. Femto-tukiasemia ei Suomessa ole markkinoilla, kun taas kiinteätä internet-yhteyttä käyttäviä WLAN-tukiasemia arvioidaan kohdassa 7.4 tehtyjen päätelmien perusteella olevan Suomessa vuonna 2015 noin 854 000 kotitaloudessa. Femto-tukiaseman avulla voidaan luoda sisäverkko jossa puhelinpalveluiden normaali käyttö on mahdollista, kun taas WLAN-tukiasema vaatii tähän Wi-Fi-soitto ominaisuuden, jota ei Suomessa ole markkinoilla. Jotta femto-tukiasemalla tai Wi-Fi-soittamisella voidaan tulevaisuudessa ratkoa kuuluvuusongelmia, tulee mobiili-operaattoreiden tuoda joko femto-tukiasemat tai Wi-Fi-soittaminen markkinoille. Työssä tehdyissä haastatteluissa selvisi, että femto-tukiasemien markkinoille tulemista ei pidetä todennäköisenä, kun taas Wi-Fi-soittaminen tulee yleistymään samalla kun mobiili-operaattorit tuovat VoLTE-palvelun verkkoihinsa. Kohdassa 7.3 kerrotun mukaan, tästä syystä työssä arvioidaan WLAN-tukiasemien markkinaosuutta. Mikäli femto-tukiasemat kuitenkin tuodaan markkinoille, on perusteltua odottaa, että osa kotitalouksista hankkii femto-tukiaseman kiinteään internet-yhteyteen kytkettävän WLAN-tukiaseman sijasta. Kiinteään internet-yhteyteen kytkettävän WLAN-tukiaseman omistaa skenaarioista riippuen 39 – 51 % kotitalouksista vuonna 2020 ja 51 – 61 % kotitalouksista vuonna 2025. [14]

Kohdan 7.1.5 perusteella voidaan olettaa mobiilidatan kulutuksen kasvavan edelleen. Tämän voidaan nähdä aiheuttavan tulevaisuudessa ruuhkaa tele-verkkoihin. Kuten edellä selvitettiin, arvioi arviointityökalu erikseen mobiiliin- ja kiinteään internet-yhteyteen liitettävien WLAN-tukiasemien markkinapeitot. Mobiilidatan käyttörajoitusten käyttöönoton arvioidaan kasvattavan sekä mobiili- että kiinteän internet-yhteyden omistavien talouksien osuutta, koska paljon dataa kuluttavien mobiilitalouksien arvioidaan hankkivan tällöin kiinteä internet-yhteys. Mikäli näissä kotitalouksissa on käytössä WLAN-tukiasema, arvioidaan sen olevan kiinteään internet-yhteyteen liitettävä, kuten kohdassa 7.5.1 perustellaan. Tässä arvioissa siis mobiilidatan käyttörajoitusten käyttöönotto lisää kiinteään internet-yhteyteen kytkettävien WLAN-tukiasemien osuutta, pienentäen vastaavasti mobiili-internet-yhteyteen kytkettävien tukiasemien osuutta. Datarajoitusten käyttöönoton voidaan siis nähdä keinona vähentää tele-verkkojen ruuhkia, siirtämällä datan kulutusta kiinteään verkkoon.

Ensimmäisessä skenaariossa nähdään tilanne, jossa kaikki muutokset tapahtuvat jo vuoteen 2020 mennessä. Wi-Fi-puheluiden markkinoille tulo ei vaikuta internet-liittymien osuuksiin kotitalouksissa. Tällöin päästään siis internet-liittymätyyppien osuuksien suhteen tarkastelemaan tilannetta, jossa mobiilidatan hinta on yleisesti

kasvanut ja liittymissä on käyttörajat. Tämä vastaa karkeasti Ruotsin nykytilannetta, jota käsiteltiin kohdassa 7.2. Tässä tapauksessa nähdään arviointityökalu mallintaa tilanteen jossa kiinteän internet-liittymän omistavien kotitalouksien osuus on vuonna 2020 noin 79 % ja 82 % vuonna 2025. Pelkästään mobiililiittymätalouksia ennustetaan olevan kumpanakin vuonna noin 14,5 %.

Kohdassa 7.1.6 käsiteltiin kiinteiden internet-yhteyksien saatavuutta. Todettiin, että jo vuonna 2012 kiinteä internet-yhteys oli saatavissa vähintään 95 %:lle Suomen kotitalouksista, todennäköisesti suuremmalle osuudelle. Samassa kohdassa todettiin, että Viestintäviraston teettämän kyselytutkimuksen mukaan vuonna 2015 0,16 % Suomen kotitalouksista oli ilman kiinteätä internet liittymää, koska sitä ei ollut saatavilla. Tämän ja edellisessä kappaleessa esitetyn perusteella arvioidaan, että tulevaisuudessa puhelinyhteyksien kuuluvuusongelmat tullaan ratkomaan WLAN-tukiasemilla Wi-Fi-puheluiden kautta. Perustelua tukee myös WLAN-tukiasemien halpa, alimmillaan noin 15 € hinta, ja laaja yhteensopivuus eri laitteiden kanssa. Kuten edellä mainittiin, arvioitiin skenaariosta riippuen kiinteään verkkoon kytkettävien WLAN-tukiasemien markkinapeiton olevan vuonna 2025 51 – 61 %. On hyvä kuitenkin muistaa, että uusien palveluiden markkinoille tulo voi luoda perusteet operaattoreille tuoda femto-tukiasemat markkinoille, jolloin tästä markkinaosuudesta osa siirtyy femto-tukiasemille.

## **8.2 Tulosten kriittinen arviointi**

Tulosten voidaan nähdä olevan melko luotettavalla pohjalla. Edellisessä kappaleessa esitettiin, että mikäli muutoksia nykytilanteeseen ei juuri tapahdu, kehittyvät markkinapeitot internet-yhteyksien osuuden suhteen samalla tavalla kuin ne ovat kehittyneet viimevuosien aikana. Tämä on täysin looginen oletus. Toisaalta näytettiin myös, että mikäli oletetaan markkinan muuttuvan samankaltaiseksi kuin Ruotsissa, ja asetetaan tämänlaiset arvot arviointityökaluun, arvioidaan tilanteen muuttuvan samankaltaiseksi, kuin mikä se on todellisuudessa Ruotsissa.

Myös kohdassa 7.6.5 tehty herkkyysanalyysi tukee sitä, että tulokset ovat luotettavalla pohjalla. Tässä luvussa havaittiin, että 5 prosenttiyksikön arviointivirhe tutkimuksissa muutoksissa vaikuttaa suurimmillaan noin 1 prosenttiyksikön verran eri yhteystyyppien osuuksiin kotitalouksissa.

WLAN-talouksien arviointiin käytetty laskukaava oli täysin päätelty, sen perusteella mitä syitä hankkia WLAN-tukiasema on. Mobiiliverkossa toimivista WLAN-tukiasemista oli kuitenkin saatavissa tietoa, ja ainakin tähän tietoon verrattuna laskukaava näytti olevan luotettavalla pohjalla.

Toisaalta työ jättää myös asioita huomioimatta ja tekee omia määrittämiä, joita esitellään seuraavaksi. Ensinnäkin määritelmä mobiili-internet-yhteystaloudelle on häilyvä. Tässä työssä luetaan talous, jonka yhdellä jäsenellä on matkapuhelimen kautta toimiva mobiili-internet-liittymä, taloudeksi, jossa on mobiili-internet-liittymä. Vaikka tämä käytännössä pitää paikkansa, ei ole selvää, tulisiko mobiili-internet-yhteystaloudeksi laskea vain taloudet, joissa kaikilla talouden jäsenillä on mahdollisuus käyttää mobiili-internet-yhteyttä kotona. Älypuhelinien käyttäjistä on tehty oletus, että heillä on mobiili-internet-yhteys. Lisäksi älypuhelinien osuus on ilmoitettu käytetyissä tilastoissa osuutena 16 – 89-vuotiaista suomalaisista eikä kotitalouksien osuutena. Näitä oletuksia kuitenkin tukee vuoden 2015 tilastoista tehty havainto, että 69 %:lla suomalaisista on älypuhelin, ja 70 %:lla Suomen kotitalouksista on mobiili-internet-yhteys työssä määritellyllä tavalla. Koska älypuhelinien osuutta ei ilmoitettu käytetyissä tilastoissa kotitalouksien osuutena,

päädyttiin muuttujan herkkyyttä tutkimaan. Myös video-palveluiden käytössä oli sama ongelma; osuuksia ei ilmoitettu kotitalouksina, mistä syystä myös sen herkkyyttä tarkasteltiin.

Työssä tehdään oletus, että kotitaloudet, joihin hankitaan älypuhelin tarkasteltavalla ajanjaksolla, jakautuvat tasaisesti erilaisten internet-yhteyden omistavien kotitalouksien kesken. Todellisuudessa on mahdollista, että kotitaloudet, joissa ei vielä ole mobiili-internet-yhteyttä, ovat todennäköisempiä älypuhelimien markkinaosuuden kasvattajia kuin muut kotitaloudet. Näin ollen työn tekemällä määrityksellä kotitaloudesta, jossa on mobiili-internet-yhteys, tämä saattaa todellisuudessa nostaa sekä kiinteän että mobiili-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuutta ja laskea vain kiinteän-internet-yhteyden omistavien kotitalouksien osuutta.

WLAN-kotitalouden määrittämisessäkin on ristiriitoja. Lähes jokaista älypuhelin voi halutessaan käyttää myös WLAN-tukiasemana. Näin ollen kotitalous, jossa on älypuhelin, voitaisiin laskea WLAN-taloudeksi. Tätä ei työssä kuitenkaan tehdä, vaan lähdetään oletuksesta, että tukiaseman pitää olla pääsääntöisesti käytössä kodin sisällä.

Työ ei myöskään ota huomioon mahdollisuutta, että kiinteiden internet-liittymien hinnat nousevat. Tämä saattaisi vaikuttaa pelkästään mobiili-internet-yhteydellisten kotitalouksien osuuden kasvuun etenkin, jos mobiilidatan hinta ei yleisesti nouse tai siihen ei aseteta datarajoituksia.

Epävarmuutta aiheuttaa myös todelliset kiinteiden, mobiileiden ja sekä kiinteiden että mobiileiden kotitalouksien määrät vuonna 2015. Tämä johtuu siitä, että käytetyt tiedot pohjautuvat osittain kyselytutkimukseen. Kyselytutkimuksen tiedot ovat kuitenkin tarpeeksi yhdenmukaisia Viestintäviraston muiden tietojen kanssa, jotta käytettyjä arvoja voidaan mielestäni pitää riittävän luotettavana tähän työhön, sillä tarkkoja lukuja tärkeimpinä voidaan pitää eri muutosten vaikutusten arviointia markkinapeittoihin.

Työssä on tehty oletus, että femto-tukiasemat eivät saavu Suomessa kuluttajamarkkinoille. Tämä on uskalias oletus, mutta kohdan 7.3 perustelujen, etenkin haastatteluja painottaen selkeästi perusteltavissa. Tarkasteltava ajanjakso on kuitenkin pitkä, ja on mahdollista, että uudet palvelumallit voivat tuoda femto-tukiasemat markkinoille. On myös mahdollista, että esim. yleispalveluvelvoitetta laajennetaan niin, että puhelinpalvelut vaaditaan tuomaan katvealueessa olevaan asuntoon femto-tukiasemalla. Tämä on kuitenkin niin spekulatiivista, ettei sitä ole mielekästä tutkia.

Lopuksi työhön aiheuttaa epävarmuutta tarkasteltavan ajanjakson pituus, mikä näkyy edellisessä kappaleessa. Lähes kaikki suuret muutokset oletetaan tapahtuvaksi vuoteen 2020 mennessä, ja vuosien 2020 – 2025 välissä enää hitaimmat käyttöönottajat ottavat tarkasteltavia palveluita käyttöön. Todellisuudessa vuosien 2020 - 2025 välillä tulee varmasti uusia palveluita ja teknologioita, jotka vaikuttavat työssä tehtyihin mallinnuksiin.

### **8.3 Tulosten hyödyntäminen**

Tämä työ tuottaa mahdollisesti ensimmäisen arvion siitä, kuinka monessa suomalaisessa kotitaloudessa on käytössä WLAN-sisäverkko. Työtä tehdessä siitä ei löytänyt tarkkaa lukemaa tai edes arviota, vaikka sitä koitettiin etsiä. Ainoastaan mobiili-internet-yhteyttä käyttävien WLAN-tukiasemien määrästä löytyi operaattoreiden omasta verkostaan keräämää tietoa. Nyt seuraavalla aihetta tutkivalla on ainakin mahdollisuus löytää tarkempaa tietoa aiheesta.

Työssä luodulla arviointityökalulla voi arvioida miten eri muutokset vaikuttavat siihen, mitä internetin siirtotapoja kotitaloudet käyttävät. Tästä voi olla hyötyä mietittäessä esimerkiksi kuinka paljon tulevaisuudessa on mahdollista purkaa tele-verkkojen datamääriä siirtämällä dataa kiinteään verkkoon. Työn tulokset antavat myös hyviä lähtökohtia siihen, mitkä toimet vaikuttavat siihen, että kuluttaja siirtyy käyttämään kotona mobiililaitteillaan kiinteää yhteyttä, ja minkä suuruinen vaikutus näillä toimilla on.

Lopuksi työstä käy ilmi, kuinka kodin sisällä olevia kuuluvuusongelmia voidaan ratkoa ja miten näitä ongelmia mahdollisesti ratkotaan tulevaisuudessa.

#### **8.4 Jatkotutkimukset**

Työ jätti avoimeksi kysymykseksi, kuinka paljon energiaa kuluu siihen, että energiatehokkaat talot eivät päästä radiosignaalia läpi. Mielenkiintoiseksi jatkotutkimusaiheeksi nousee tutkia onko mahdollista säästää energiaa siirtämällä kotona kulutettu mobiilidata kiinteään verkkoon. Ja jos energiaa säästyy, paljonko sitä säästyy ja onko määrä merkittävä.

Toinen mielenkiintoinen jatkotutkimuksen kohde on, kuinka pahasti kasvava mobiilidatan kulutus tulee ruuhkauttamaan matkapuhelinverkot ja joudutaanko tämän takia siirtämään kuluttajia WLAN-sisäverkkoihin. Jos joudutaan, niin miten tämä tapahtuu.

## Kirjallisuus

- [1] Viestintävirasto. Toimialakatsaus 1/2015. Verkkodokumentti. Viitattu: 15.12.2015. Saatavissa: [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Toimialakatsaus\\_1\\_2015\\_paivitetty\\_huhtikuu.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Toimialakatsaus_1_2015_paivitetty_huhtikuu.pdf)
- [2] Hallituksen esitys: HE 221/2013. Antopäivä: 7.11.2014. Julkaisupäivä: 12.11.2014. Voimassa: 1.1.2015 - (osittain myöhemmin, ks. 351 §). Saatavissa: <http://www.edilex.fi/libproxy.aalto.fi/lainsaadanto/20140917>
- [3] Lukkari, J. Mobiiliverkot kasvavat isoiksi sähkörohmuiksi. Verkkodokumentti. Päivitetty 29.9.2009. Viitattu: 4.4.2015. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2009-09-29/Mobiiliverkot-kasvavat-isoiksi-s%C3%A4hk%C3%B6rohmuiksi-3279288.html>
- [4] Ympäristöministeriö. Rakennusten energiatehokkuus Määräykset ja ohjeet 2012. Viitattu 15.5.2015. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf), s. 13
- [5] Vodafone Group Plc. Annual Report 2014. Verkkodokumentti. Viitattu 14.4.2015. Saatavissa: [http://www.vodafone.com/content/annualreport/annual\\_report14/downloads/full\\_annual\\_report\\_2014.pdf](http://www.vodafone.com/content/annualreport/annual_report14/downloads/full_annual_report_2014.pdf)
- [6] Nokia Siemens Networks. Improving 4G coverage and capacity indoors and at hotspots with LTE femtocells. Verkkodokumentti. Viitattu: 18.6.2015. Saatavissa: [http://www.mforum.ru/arc/20110319\\_LTE\\_Femto\\_WhitePaper\\_MForum.pdf](http://www.mforum.ru/arc/20110319_LTE_Femto_WhitePaper_MForum.pdf)
- [7] Viestintävirasto. Viestintäpalveluiden kuluttajatutkimus 6/2015. Verkkodokumentti. Viitattu 21.10.2015. Saatavissa: [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Viestintäpalvelujen\\_kuluttajatutkimus\\_2015.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Viestintäpalvelujen_kuluttajatutkimus_2015.pdf)
- [8] Viestintävirasto. Toimialakatsaus 2/2015. Verkkodokumentti. Viitattu: 15.12.2015. Saatavissa: [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Toimialakatsaus\\_2\\_2015\\_FI\\_sis.\\_korjaukset\\_31.8.2015.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Toimialakatsaus_2_2015_FI_sis._korjaukset_31.8.2015.pdf)
- [9] Energiapihit ikkunat katkaisivat kännykkäyhteydet. Verkkodokumentti. Päivitetty 6.8.2012. Viitattu 6.4.2015. Saatavissa: [http://yle.fi/uutiset/energiapihit\\_ikkunat\\_katkaisivat\\_kannykkayhteydet/5060395](http://yle.fi/uutiset/energiapihit_ikkunat_katkaisivat_kannykkayhteydet/5060395)
- [10] Virta, I. Mitenkäs tässä näin kävi – kännykkä ei toimi energiatehokkaassa talossa. Verkkodokumentti. Päivitetty 26.8.2015. Viitattu 6.4.2015. Saatavissa: <http://www.talouselama.fi/uutiset/mitenkas-tassa-nain-kavi-kannykka-ei-toimi-energiatalossa-3451392>
- [11] Hakkarainen, K. Uusi kivitalo saattaa mykistää kännykän – näin voit parantaa signaalia. Verkkodokumentti. Päivitetty 27.7.2015. Viitattu 5.8.2015. Saatavissa: <http://www.hs.fi/kotimaa/a1437878724922>

[12] Viestintävirasto. Matkaviestinverkon kuuluvuus. Verkkodokumentti. Viitattu 7.10.2015. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/internetpuhelin/puhelinjalaajakaistaliittymantoimivuus/matkaviestinverkonkuuluvuus.html>

[13] Niemelä, J. Asp, A. Sydorov, Y. Radiosignaalin vaimennusmittauksia nykyaikaisissa asuintalossa. Tampereen teknillinen yliopisto. Tietoliikennetekniikan laitos. Tampere. 2012. Viitattu: 9.9.2015. Saatavissa: [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/niemela\\_radiosignaalin\\_vaimennusmittauksia.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/niemela_radiosignaalin_vaimennusmittauksia.pdf)

[14] Asiantuntija haastattelut, katso liite F

[15] Liikenne- ja viestintäministeriön asetus tarkoituksenmukaisen internetyhteyden vähimmäisnopeudesta yleispalvelussa. Verkkodokumentti. Viitattu 12.9.2015. Saatavissa: <http://www.edilex.fi.libproxy.aalto.fi/lainsaadanto/20150439>

[16] Ympäristöministeriö. Kioton pöytäkirja. Verkkodokumentti. Viitattu 4.9.2015. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Kioton\\_poytakirja](http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioton_poytakirja)

[17] Ympäristöministeriö. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Verkkodokumentti. Päivitetty 9.6.2015. Viitattu 4.9.2015. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Euroopan\\_unionin\\_ilmastopolitiikka](http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka)

[18] Ympäristöministeriö, Asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BC811B930-25A1-4CF9-84AA-AC06CA8A182D%7D/31587>

[19] Ympäristöministeriö, C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Asetus lämmöneristyksestä. Asunto- ja rakennusosasto. 2002. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>

[20] Skaala. Verkkodokumentti. Viitattu 16.5.2015. Saatavissa: [http://www.asuntotieto.com/20000i\\_RAKENNUS\\_JA\\_REMONTTITIIETO/0\\_TV-talo%202009/seminaari%2028-3-09/Skaala\\_Jaskari.pdf](http://www.asuntotieto.com/20000i_RAKENNUS_JA_REMONTTITIIETO/0_TV-talo%202009/seminaari%2028-3-09/Skaala_Jaskari.pdf)

[21] Schiller, J. Mobile Communications. Toinen painos. Edinburgh Gate, Addison-Wesley, 2003. ISBN: 0 321 12381 6. s. 26 - 62, s. 231-234

[22] Matkaviestinoperaattorit ja matkaviestinverkot. Päivitetty 14.01.2015. Viitattu 5.4.2015. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/matkaviestinoperaattorit.html>

[23] Taajuushuutokaupan 4G-taajuudet kolmelle toimijalle. Päivitetty 30.10.2013. Viitattu 5.4.2015. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/tiedote/-/view/4351806>



[24] Sauter, M. From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband. Chichester, West Sussex, U.K., Hoboken, N.J., Wiley, 2011. ISBN: 9780470978238.

[25] Hirsijärvi, S., Hurme, H. Tutkimus-haastattelu, Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press, 2010. ISBN 978-952-495-073-2

[26] Hirsijärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. Tutki ja kirjoita. 13 painos. Keuruu, Otavan Kirjapaino Oy, 2007. ISBN-10: 951-26-5635-3.

[27] Heijden, K. Scenarios The art of strategic conversation. Toinen painos. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England, Wiley, 2005. ISBN: 0-470-02368-6

[28] Dahlman, E., Parkvall, S., Sköld, J. 4G: LTE / LTE-Advanced for Mobile Broadband. Oxford, Academic Press. 2011. ISBN: 978-0-12-385489-6

[29] Holma, H., Toskala, A. LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access. Chichester ; Hoboken, NJ, Wiley, 2009. ISBN: 978-0-470-99401-6. s. 4-8, 25-34

[30] US6608832 B2. 2003. Common access between a mobile communications network and an external network with selectable packet-switched and circuit-switched and circuit-switched services. Telefonaktiebolaget Lm Ericsson, Tukholma, Ruotsi. (Forsslöw, J.) US 09/121,678, 23.7.1998. Julk. 19.8.2003. 28 s.

[31] Mishra, Ajay R. Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5G/3G- evolution to 4G. Chichester, Wiley, 2004. ISBN: 047086267X.

[32] Sawahashi, M., Kishiyama, Y., Morimoto, A., Nishikawa, D., Tanno, M. Coordinated multipoint transmission/reception techniques for LTE-advanced [Coordinated and Distributed MIMO]. IEEE Wireless Communications, verkkolehti. Vol: 17:3. S. 26-34. DOI: 10.1109/MWC.2010.5490976.

[33] Viisi vuotta 4G:tä – Soneran 4G-nopeus nousee 300 megaaan. Verkkodokumentti. Päivitetty 15.12.2014. Viitattu 4.6.2015. Saatavissa: <https://www.sonera.fi/medialle/showArticleView?article=viisi-vuotta-4gt--soneran-4g-nopeus-nousee-300-megaan&id=71887472-f378-494f-9622-5db03b4974a0>

[34] Alcatel-Lucent. Introduction to Evolved Packet Core. Verkkodokumentti. 2009. Viitattu 17.5.2015. Saatavissa: <http://resources.alcatel-lucent.com/?cid=133461>

[35] Liikenne- ja viestintäministeriön työryhmä, pj. Rantala, O-P. Matkaviestinverkon kuuluvuusongelmat matalaenergiarakennuksissa – työryhmän raportti. Julkaisuja-sarja, 2013. Vol: 26. ISBN: 978-952-243-359-6. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/documents/20181/799435/Julkaisuja+26-2013/0f277648-75ad-4016-9702-b885ae1403e6?version=1.0>

- [36] Hiltunen, K. The Performance of Dense and Heterogeneous LTE Network Deployments within an Urban Environment. Väitöskirja, Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos, 2014. ISBN 978-952-60-5651-7.
- [37] Wannstrom, J. Mallinson, K. Heterogeneous Networks in LTE. Verkkodokumentti. Viitattu 13.4.2015. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/1576-hetnet>
- [38] Penttinen, J. The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom, Wiley, 2015. ISBN: 978-1-118-67888-6.
- [39] Ericsson. Heterogeneous networks. Verkkodokumentti. 2014. Viitattu 18.9.2015. Saatavissa: <http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-heterogeneous-networks.pdf>
- [40] Alcatel-Lucent. The LTE Network Architecture, A comprehensive tutorial. Verkkodokumentti. 2009. Viitattu 17.5.2015. Saatavissa: <http://resources.alcatel-lucent.com/?cid=183817>
- [41] Cox, C. An introduction to LTE LTE, LTE-advanced, SAE, VoLTE and 4G mobile communications. West Sussex, England, Wiley, 2015. ISBN: . – 9781118818039
- [42] Puumalainen, J., Ojaniemi, A., Valtonen, M. Laajakaistatekniikoiden kehitys 2009-2015. Julkaisuja-sarja, 2009. Vol: 46. ISBN: 978-952-243-111-0. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/documents/20181/817543/Julkaisuja+46-2009/f87d4728-b5c9-461e-9d52-e2348f15c903?version=1.0>
- [43] Viestintävirasto. Vauhtia Verkkoon. Verkkodokumentti. Viitattu 20.5.2015. Saatavissa: [http://www.optowest.fi/wp-content/uploads/2013/03/Vauhtia\\_verkkoon.pdf](http://www.optowest.fi/wp-content/uploads/2013/03/Vauhtia_verkkoon.pdf)
- [44] Who We Are. Verkkodokumentti. Viitattu 22.10.2015. Saatavissa: <http://www.wi-fi.org/who-we-are>
- [45] Ericsson. Wi-Fi calling – extending the reach of VoLTE to Wi-Fi. Verkkodokumentti. 2015. Viitattu 10.12.2015. Saatavissa: [http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson\\_review/2015/er-wifi-calling.pdf](http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2015/er-wifi-calling.pdf)
- [46] Barbieri, A., Damnjanovic, A., Tingfang J., Montojo, J., Wei, Y., Malladi, D., Song, O., Horn, G. LTE Femtocells: System Design and Performance Analysis. IEEE Journal on selected areas in communications, verkkolehti. Vol. 30:3. S. 586 – 594. DOI: 10.1109/JSAC.2012.120408
- [47] FUJITSU Network BroadOne LTE Femtocell Systems. Verkkodokumentti. Viitattu 17.9.2015. Saatavissa: <http://www.fujitsu.com/global/products/network/products/femto/>

- [48] Vodafone Sure Signal V3. Verkkodokumentti. Viitattu 27.9.2015. Saatavissa: <http://shop.vodafone.co.uk/shop/mobile-phone/accessories/SKU75375-white>
- [49] Chandrasekhar, V., Andrews, J.G., Gatherer, A. Femtocell networks: a survey. Communications Magazine, IEEE, verkkolehti. Vol: 46:9 S. 59 – 67, DOI: 10.1109/MCOM.2008.4623708
- [50] Saunders, S., Carlaw, S., Giustina, A., Bhat, R., Rao, S., Sieberg, R. Femtocells: Opportunities and Challenges for Business and Technology. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England, Wiley, 2009. ISBN: 9780470748169 (PBK).
- [51] Verkkodokumentti. Viitattu 4.2.2015. Saatavissa: [http://www.gigantti.fi/catalog/puhelimet-ja-gps/fi\\_matkapuhelimet/matkapuhelimet](http://www.gigantti.fi/catalog/puhelimet-ja-gps/fi_matkapuhelimet/matkapuhelimet)
- [52] 4G-liikenne kolminkertaistui vuoden aikana, Verkkodokumentti. Päivitetty 13.1.2016. Viitattu 30.1.2016. Saatavissa: <https://www.dna.fi/dna-oy/lehdistotiedotteet?relativeUrl=lehdistotiedotteet&id=802>
- [53] Netwjork 300Mbps-WiFi-reititin, musta. Verkkodokumentti. Viitattu 26.11.2015. Saatavissa: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/1515/dhrnn/Netwjork-300Mbps-WiFi-reititin-musta>
- [54] Viestintävirasto. Viestintäpalveluiden kuluttajatutkimus. Verkkodokumentti. Viitattu 3.10.2015. Saatavissa: [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Viestintäpalvelujen\\_kuluttajatutkimus\\_2015.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Viestintäpalvelujen_kuluttajatutkimus_2015.pdf)
- [55] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: <https://kauppa4.dna.fi/laajakaista>
- [56] Verkkodokumentti. Viitattu 26.11.2015. Saatavissa: <https://www.verkkokauppa.com/fi/search?q=eurodocsis>
- [57] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: [https://kauppa.saunalahti.fi/?&\\_ga=1.214079639.1233705162.1390224427#!/nettiliittymat/mobiililaajakaista](https://kauppa.saunalahti.fi/?&_ga=1.214079639.1233705162.1390224427#!/nettiliittymat/mobiililaajakaista)
- [58] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: <https://www.dna.fi/netti#liikkuvalaajakaista>
- [59] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: <https://www.tele.fi/tutustu+osta/liittymat/nettiliittymat>
- [60] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: <https://kauppa.sonera.fi/yksityisille/tarjooma/nettiliittyma.aspx>
- [61] Suomen virallinen tilasto (SVT): Asunnot ja asuinolot, verkkojulkaisu. ISSN=1798-6745. 2014, Liitetaulukko 1. Asuntokunnat koon mukaan ja asuntokuntien keskikoko

1960–2014. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.2.2016]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/asas/2014/asas\\_2014\\_2015-05-26\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asas/2014/asas_2014_2015-05-26_tau_001_fi.html)

[62] Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö [verkkajulkaisu]. ISSN=2341-8699. 2011, 1. Internetyhteydet ja internetin käyttö . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.2.2016]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/sutivi/2011/sutivi\\_2011\\_2011-11-02\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/sutivi/2011/sutivi_2011_2011-11-02_kat_001_fi.html)

[63] Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö [verkkajulkaisu]. ISSN=2341-8699. 2015. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 1.3.2016]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/sutivi/2015/sutivi\\_2015\\_2015-11-26\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/sutivi/2015/sutivi_2015_2015-11-26_fi.pdf)

[64] Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö [verkkajulkaisu]. ISSN=2341-8699. 2014, 1. Internetin käytön yleiset muutokset (korjattu 25.11.2014) . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.2.2016]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/sutivi/2014/sutivi\\_2014\\_2014-11-06\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/sutivi/2014/sutivi_2014_2014-11-06_kat_001_fi.html)

[65] Mellin, I. Todennäköisyyslaksenta. Viitattu 28.12.2015. Saatavissa: <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/TodLaskLaskusaannot.pdf>

[66] Tabletit ja iPad. Verkkodokumentti. Viitattu 26.11.2015. Saatavissa: [http://www.gigantti.fi/catalog/tietokoneet/fi-tabletit-ipad/tabletit-ja-ipad?SearchParameter=%26%40QueryTerm%3D\\*%26ContextCategoryUUID%3DHD6sGQV5Vp8AAAFDFLo2st6C%26discontinued%3D0%26ManufacturerName%3DSamsung\\_or\\_Apple%26online%3D1%26Tyyppe%3DTablet-laite%26%40Sort.name%3D0&PageSize=45&ProductElementCount=&searchResultTab=Products&CategoryName=fi-tabletit-ipad&CategoryDomainName=store-gigantti-ProductCatalog#filter-anchor](http://www.gigantti.fi/catalog/tietokoneet/fi-tabletit-ipad/tabletit-ja-ipad?SearchParameter=%26%40QueryTerm%3D*%26ContextCategoryUUID%3DHD6sGQV5Vp8AAAFDFLo2st6C%26discontinued%3D0%26ManufacturerName%3DSamsung_or_Apple%26online%3D1%26Tyyppe%3DTablet-laite%26%40Sort.name%3D0&PageSize=45&ProductElementCount=&searchResultTab=Products&CategoryName=fi-tabletit-ipad&CategoryDomainName=store-gigantti-ProductCatalog#filter-anchor)

[67] Elisa, Osavuositarkastus 2015 Q3. Verkkodokumentti. Viitattu 16.1.2016. Saatavissa: <http://corporate.elisa.fi/attachment/content/Q3-2015-Suomi.pdf>

[68] Tilastokeskus. Rakennus- ja asuintalot 1990-2014. Verkkodokumentti. Päivitetty 27.8.2014. Viitattu 10.4.2015. Saatavissa: [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_rak\\_\\_ras/030\\_ras\\_tau\\_103\\_fi.px/table/tableViewLayout1/?rxid=d782453a-04e8-4b26-9764-3ba304d9eeb4](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__rak__ras/030_ras_tau_103_fi.px/table/tableViewLayout1/?rxid=d782453a-04e8-4b26-9764-3ba304d9eeb4)

[69] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: [https://kauppa.saunalahti.fi/?&\\_ga=1.214079639.1233705162.1390224427#!/matkapuhelinliittymat](https://kauppa.saunalahti.fi/?&_ga=1.214079639.1233705162.1390224427#!/matkapuhelinliittymat)

[70] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: <https://www.dna.fi/puhe>

[71] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015. Saatavissa: <https://www.tele.fi/tutustu+osta/liittymat/nettiliittymat>

[72] Verkkodokumentti. Viitattu 24.11.2015.

Saatavissa: <https://kauppa.sonera.fi/yksityisille/tarjooma/liittymat.aspx?Plan=SopivaXL&ScrollTop=1037&intcmp=Mob-Sopiva-tuotesivu-XL>

[73] Verkkodokumentti. Viitattu 29.10.2015. Saatavissa: <http://dfmonitor.eu/>

[74] Euroopan yhtenäinen telemarkkina-asetus läpi EU:n ministerineuvostossa. Verkkodokumentti. Päivitetty 2.10.2015 Viitattu 27.10.2015. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/uutinen/4446666/euroopan-yhtenainen-telemarkkina-asetus-lapi-eu-n-ministerineuvostossa>

[75] Viestintävirasto. Toimialakatsaus 3/2015. Verkkodokumentti. Viitattu: 29.12.2015. Saatavissa: [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Toimialakatsaus\\_3\\_2015\\_FI.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Toimialakatsaus_3_2015_FI.pdf)

[76] Saastamoinen, A. Kännykkänetin datakatto täyttää vaivihkaa. Verkkodokumentti. Päivitetty 23.4.2015. Viitattu 10.1.2016. Saatavissa: <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/04/22/kannykkanetin-datakatto-tayttaa-vaivihkaa>

[77] How can I control how much data Netflix uses? Verkkodokumentti. Viitattu 10.1.2016. Saatavissa: <https://help.netflix.com/en/node/87>

[78] Sandell, L. Television katselu Suomessa 2014. Verkkodokumentti. Viitattu 4.2.2016. Saatavissa: [http://www.finnpanel.fi/lataukset/tv\\_vuosi\\_2015.pdf](http://www.finnpanel.fi/lataukset/tv_vuosi_2015.pdf)

[79] Leinonen, J., Arte, U. Kotitalouksien telepalvelujen alueellinen saatavuus 2012. Julkaisuja-sarja, 2012. Vol: 24. ISBN: 978-952-243-326-8. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/documents/20181/812084/Julkaisuja+24-2012/eea88c54-6f76-4f59-8ac5-29b2a636cb51?version=1.0>

[80] Findahl, O., Davidsson, P. Svenskarna och Internet, 2015 års undersökning av svenska folkets internetvanor. Verkkojulkaisu. 2015. Saatavissa: [https://www.iis.se/docs/Svenskarna\\_och\\_internet\\_2015.pdf](https://www.iis.se/docs/Svenskarna_och_internet_2015.pdf)

[81] Gerhardt, W., Medcalf, R. Femtocells: Implementing a Better Business Model To Increase SP Profitability. Verkkodokumentti. Viitattu 14.4.2015. Saatavissa: [https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/pov/Femtocell\\_031710\\_v50FINAL.pdf](https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/pov/Femtocell_031710_v50FINAL.pdf)

[82] Nokia. LTE for unlicensed spectrum. Verkkodokumentti. Viitattu 17.3.2016. Saatavissa: <http://networks.nokia.com/file/34596/lte-for-unlicensed-spectrum>

## Liite A Arviointityökalun Excel-kaavat

Tähän liitteeseen on kirjattu mitä Excel-ohjelmistolla toteutetun laskurin kentät pitävät sisällään. Jokaisella rivillä ilmoitetaan ensiksi solu jossa teksti Excel-ohjelmistossa sijaitsee ja tämän jälkeen kaksoispisteellä ja välillä erotetaan solun sisältämä teksti.

A1:

A2: Kotitalouksien määrä

A3: Internet-yhteydettömät taloudet

A4: Kiinteän internet-yhteyden taloudet

A5: Kummankin yhteyden taloudet

A6: Mobiiliyhteys taloudet

A7: Energiatehokkaat talot

A8: Energiatehokkaiden talojen osuuden kasvu

A9: Mobiilidatan hinnan nousu

A10: Mobiilidatan käyttöraajat

A11: Wi-Fi-puhelut

A12: Femto tukiaseman markkinoille tulo

A13: TV-palveluiden käyttö

A14: Suuri datankäyttö (tv-palvelut)

A15: Älypuhelin

A16: Usea laite tai WLAN-tabletti

A17: Käyttää mobiililiittymää halvan hinnan takia

A18: Kiinteästä halvan hinnan takia mobiiliin siirtyvät

A19: WLAN-kiinteä markkinapeitto

A20: WLAN-mobiili markkinapeitto

A21: WLAN yhteensä

A22: Pelkkä mobiili sisäyhteys

A23: Ei langatonta sisäyhteyttä

A24: Femto markkinapeitto

A25: Pelkkä mobiili sisäyhteys määrä

A26: WLAN kokonaismääräB1: 2015

B2: 2617780

B3: 8%

B4: 24%

B5: 40%

B6: 28%

B7: 60000

B8: =B7/B2

B9: 0

B10: 0

B11: 0

B12: 0

B13: 66%

B14: 33%

B15: 69%

B16: 51%

B17: =21%

B18: =0%

B19: =(B4+B5)\*B16

B20: =B6\*B16

B21: =SUMMA(B19:B20)

B22: =(B6-B20)+(B5\*(1-B16))

B23: =B3+B4\*(1-B16)

B24: 0

B25: =B2\*B22

B26: =(B19+B20)\*B2

C1: 2020

C2: 2702471

C3: 0.06

C4: =B4+((B3-C3)/2)-B4\*(C15-B15)-B4\*C18

C5: =B5+B4\*(C15-B15)+B6\*JOS(JA(C9=1, C10=1), C8+C14\*(1-C8)+C17\*(1-C8)\*(1-C14),JOS(JA(C9=1, C10=0), C8+C17\*(1-C8),JOS(JA(C9=0, C10=1), C8+C14\*(1-C8),JOS(JA(C9=0, C10=0), C8,0))))-B5\*C18

C6: =B6-B6\*JOS(JA(C9=1, C10=1),C8+C14\*(1-C8)+C17\*(1-C8)\*(1-C14),JOS(JA(C9=1,C10=0),C8+C17\*(1-C8),JOS(JA(C9=0,C10=1),C8+C14\*(1-C8),JOS(JA(C9=0,C10=0),C8,0))))+((B3-C3)/2)+C18\*B4+C18\*B5

C7: 210000

C8: =(C7/C2)-B8

C9: 0

C10: 0

C11: 0

C12: 0

C13: 0.66

C14: 0.36

C15: 0.69

C16: 61%

C17: =JOS(C9=1,B17,0)

C18: =JOS(C9=1,0,0.05)

C19: =(C4+C5)\*C16+(C4+C5)\*((C8+B8)\*C11)\*(1-C16)

C20: =C6\*C16

C21: =SUMMA(C19:C20)

C22: =(C6-C20)+(C5\*(1-C16))

C23: =1-C19-C20-C22

C24: 0

C25: =C2\*C22

C26: =(C19+C20)\*C2

D1: 2025

D2: 2776069



D3: 4%

D4: =C4+((C3-D3)/2)-C4\*(D15-C15)-C4\*D18

D5: =C5+C4\*(D15-C15)+C6\*JOS(JA(D9=1,D10=1),D8+D14\*(1-D8)+D17\*(1-D8)\*(1-D14),JOS(JA(D9=1,D10=0),D8+D17\*(1-D8),JOS(JA(D9=0,D10=1),D8+D14\*(1-D8),JOS(JA(D9=0,D10=0),D8,0))))-C5\*D18

D6: =C6-C6\*JOS(JA(D9=1, D10=1), D8+D14\*(1-D8)+D17\*(1-D8)\*(1-D14),JOS(JA(D9=1,D10=0),D8+D17\*(1-D8),JOS(JA(D9=0,D10=1), D8+D14\*(1-D8),JOS(JA(D9=0, D10=0), D8,0))))+((C3-D3)/2)+D18\*C4+D18\*C5

D7: 360000

D8: =D7/D2-B8-C8

D9: 0

D10: 0

D11: 0

D12: 0

D13: 76%

D14: =JOS(C10,(D13-C13)/2,D13/2)

D15: 90%

D16: 71%

D17: =JOS(C9=1,0,JOS(D9=1,B17,0))

D18: =JOS(JA(D9=0,C9=0),0.05,0)

D19: =(D4+D5)\*D16+(D4+D5)\*((B8+C8+D8)\*D11)\*(1-D16)

D20: =D6\*D16

D21: =SUMMA(D19:D20)

D22: =(D6-D20)+(D5\*(1-D16))

D23: =1-D19-D20-D22

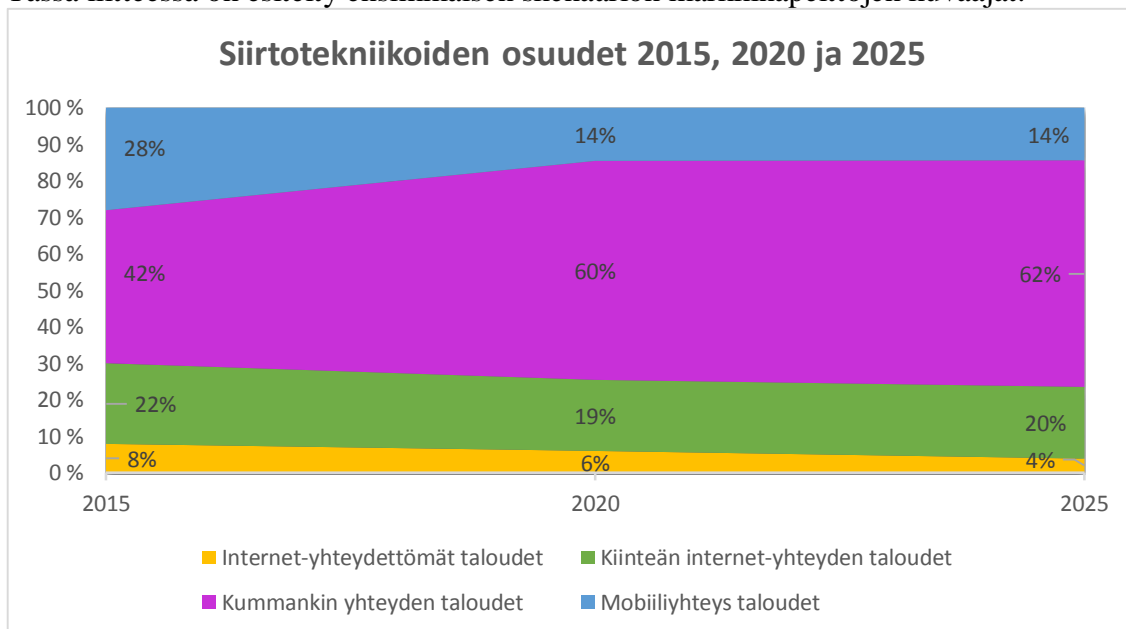
D24: 0

D25: =D2\*D22

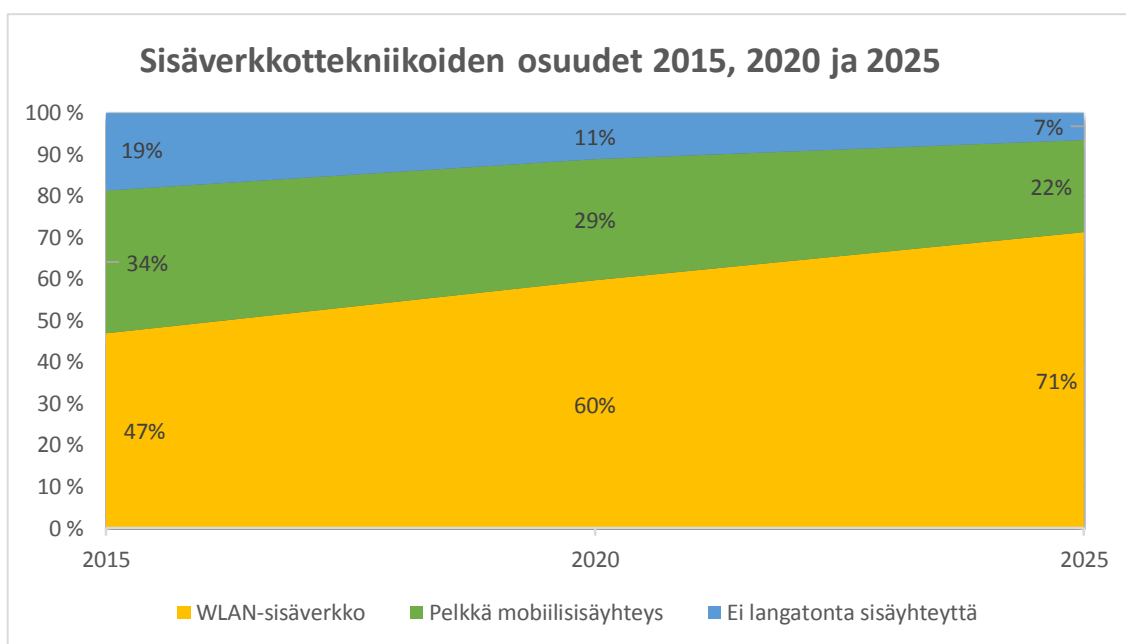
D26: =(D19+D20)\*D2

## Liite B Skenaario 1

Tässä liitteessä on esitelty ensimmäisen skenaarion markkinapeittojen kuvaajat.



Kuva 22: Siirtotekniikoiden osuudet skenaariossa 1



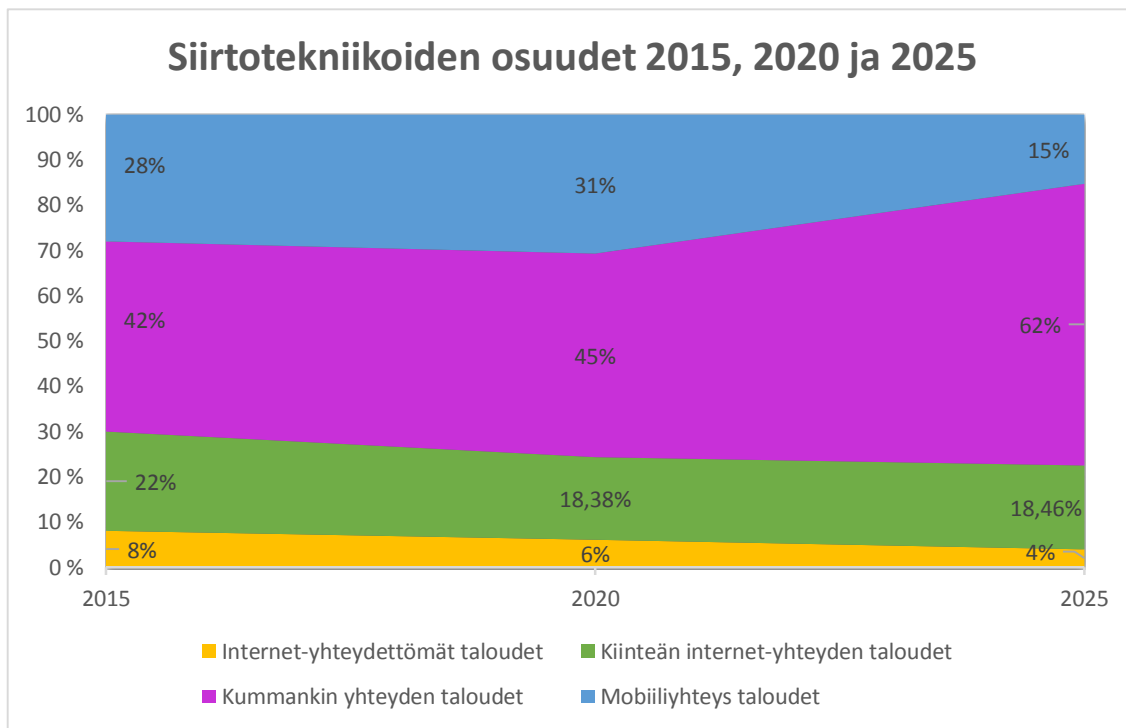
Kuva 23: Sisäverkkotekniikoiden osuudet skenaariossa 1

Taulukko 12: WLAN-tukiasemien markkinapeitot skenaariossa 1

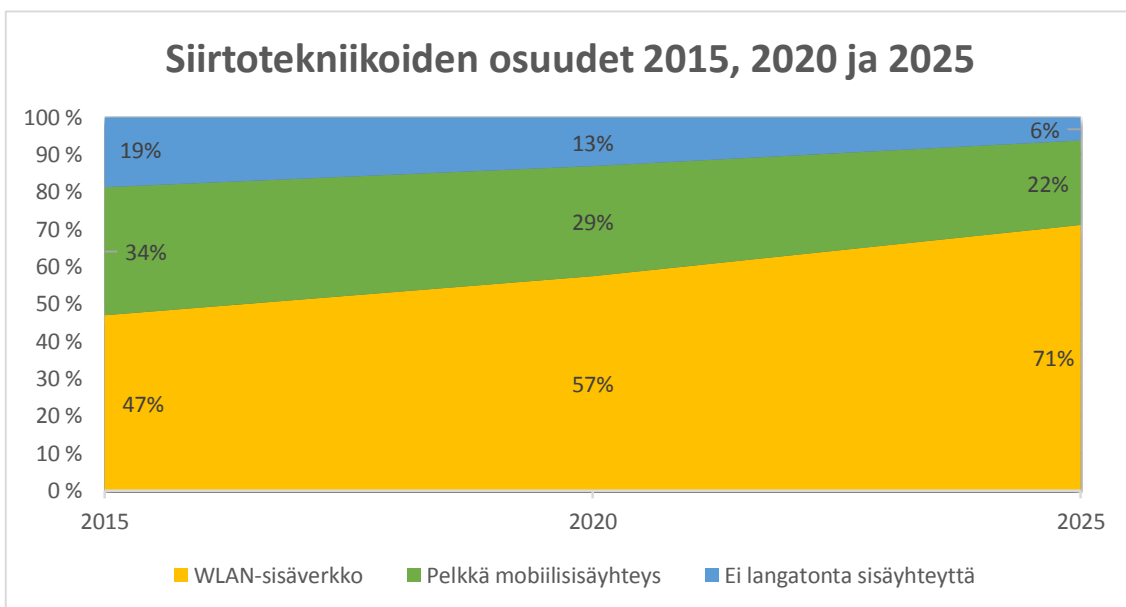
|  | 2015 | 2020 | 2025 |
|--|------|------|------|
| Kiinteän internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 33 % | 51 % | 61 % |
| Mobiilin-internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 14 % | 9 %  | 10 % |

## Liite C Skenaario 2

Tässä liitteessä on esitelty toisen skenaarion markkinapeittojen kuvaajat.



Kuva 24: Siirtotekniikoiden osuudet skenaariossa 2



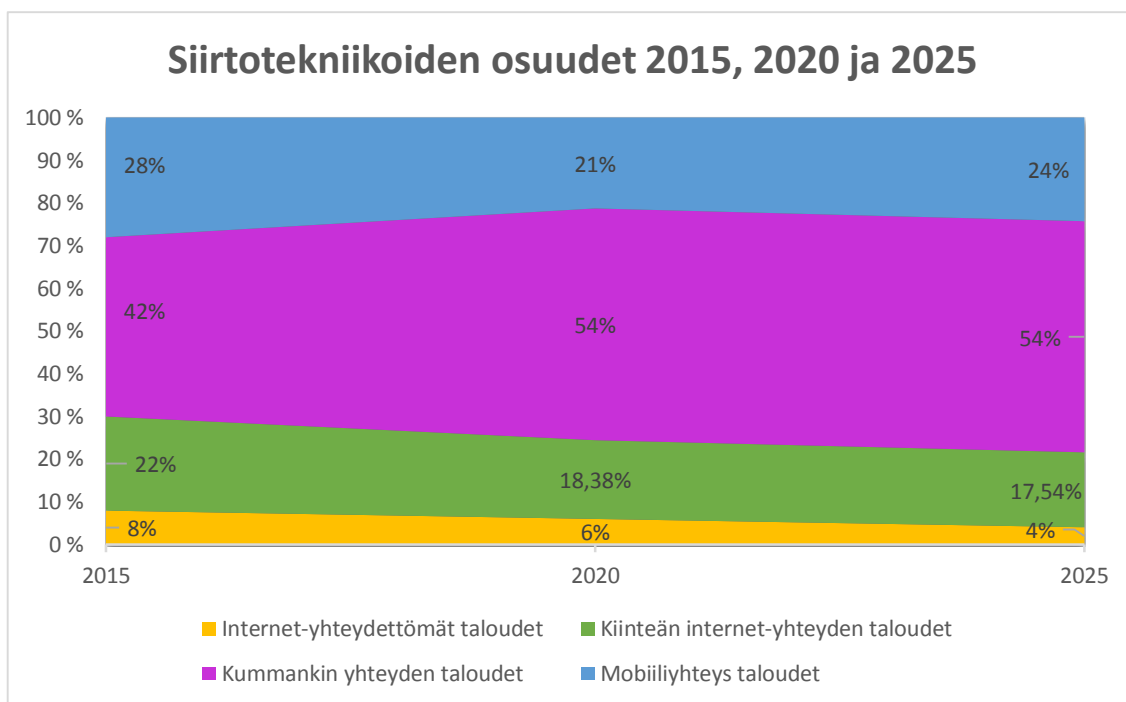
Kuva 25: Sisäverkkotekniikoiden osuudet skenaariossa 2

Taulukko 13: WLAN-tukiasemien markkinapeitot skenaariossa 2

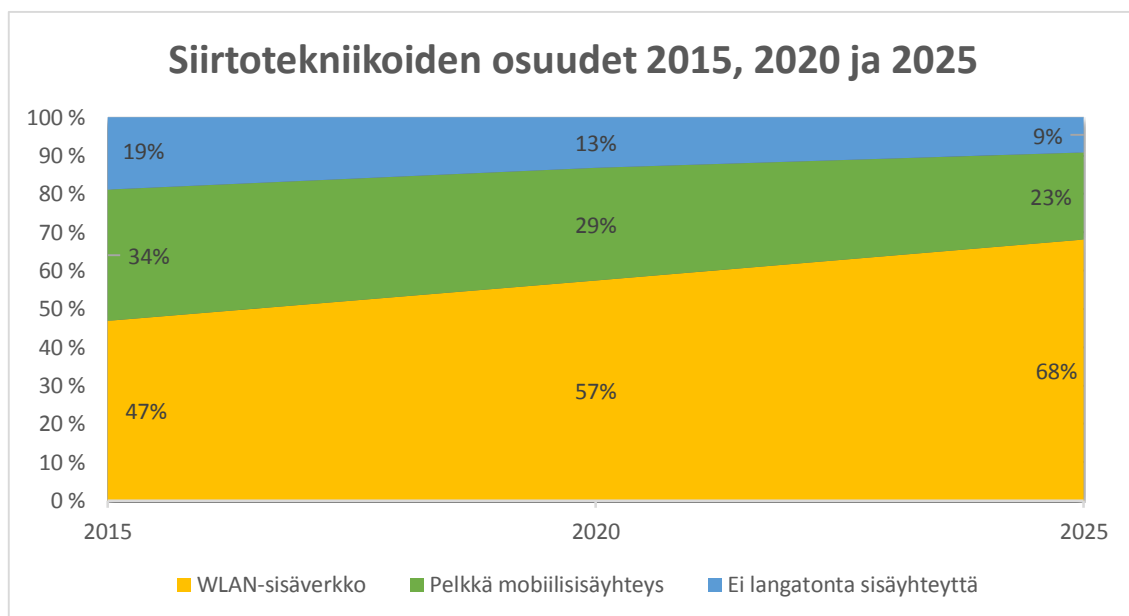
|  | 2015 | 2020 | 2025 |
|--|------|------|------|
| Kiinteän internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 33 % | 39 % | 60 % |
| Mobiilin-internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 14 % | 19 % | 11 % |

## Liite D Skenaario 3

Tässä liitteessä on esitelty kolmannen skenaarion markkinapeittojen kuvaajat.



Kuva 26: Siirtotekniikoiden osuudet skenaariossa 3



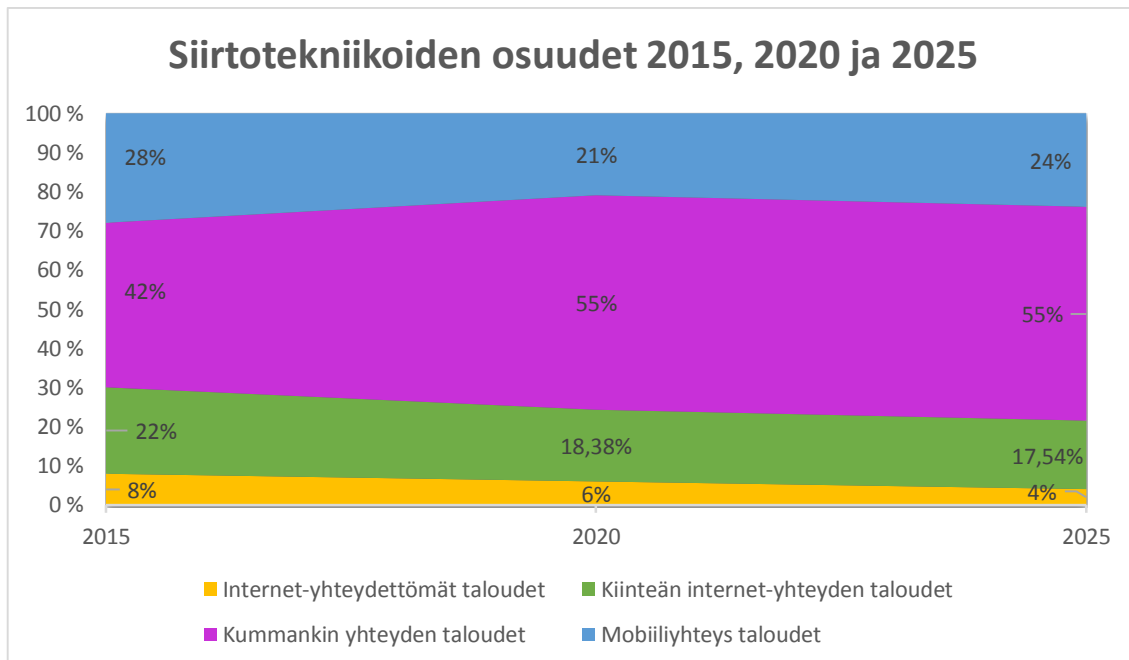
Kuva 27: Sisäverkkotekniikoiden osuudet skenaariossa 3

Taulukko 14: WLAN-tukiasemien markkinapeitot skenaariossa 3

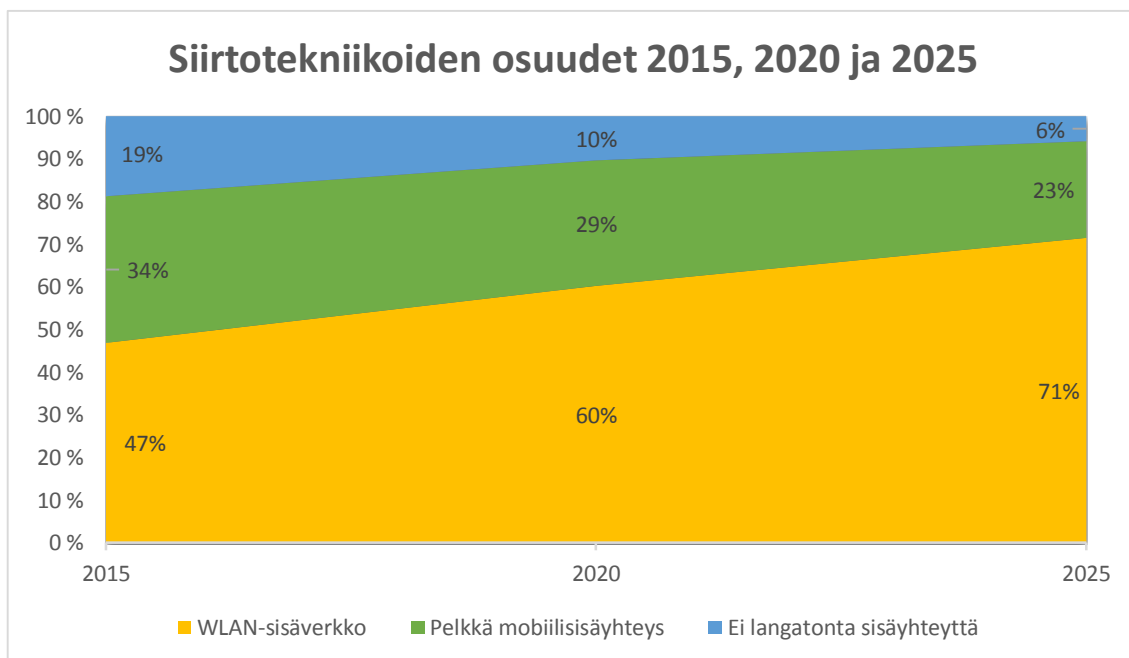
|  | 2015 | 2020 | 2025 |
|--|------|------|------|
| Kiinteän internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 33 % | 44 % | 51 % |
| Mobiilin-internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 14 % | 13 % | 17 % |

## Liite E Skenaario 4

Tässä liitteessä on esitelty neljännen skenaarion markkinapeittojen kuvaajat.



Kuva 28: Siirtotekniikoiden osuudet skenaariossa 4



Kuva 29: Sisäverkkotekniikoiden osuudet skenaariossa 4

Taulukko 15: WLAN-tukiasemien markkinapeitot skenaariossa 4

|  | 2015 | 2020 | 2025 |
|--|------|------|------|
| Kiinteän internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 33 % | 47 % | 54 % |
| Mobiilin-internet-yhteyden WLAN-tukiasemat | 14 % | 13 % | 17 % |

## **Liite F Haastattelut**

Tähän liitteeseen on listattu työssä lähteenä käytettyjen haastateltavien toimiala, asema ja päivämäärät. Haastateltujen nimiä tai yrityksiä ei mainita.

Koulutuslaitos, tietoliikennetekniikan tutkija, 30.10.2015

Koulutuslaitos, TkT, 10.11.2015

Matkapuhelin operaattori, verkkopalvelu puolen työntekijä 4.12.2015

Matkapuhelin operaattori, radioverkko puolen työntekijä, 9.12.2015

Matkapuhelin operaattori, teknologiayksikön työntekijä, 9.12.2015