



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HENRI LAHTINEN
ELISAN MATKAPUHELINVERKON JUOKSEVAT
KUSTANNUKSET JA NIIDEN MINIMOIMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Mikko Valkama
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
30. elokuuta 2017

TIIVISTELMÄ

HENRI LAHTINEN: Elisan matkapuhelinverkon juoksevat kustannukset ja niiden minimoiminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 88 sivua, 3 liitesivua

Elokuu 2017

Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Communication Systems and Networks

Tarkastaja: professori Mikko Valkama

Avainsanat: Juoksevat kustannukset, investointikustannukset, OPEX, CAPEX, radioverkko, teemahaastattelu

Tässä työssä oli tarkoituksena löytää keinoja juoksevien kustannusten pienentämiseen Elisan matkapuhelinverkossa. Vastatakseen jatkuvasti kasvavaan siirrettävän mobiilidatan määrään on Elisa investoinut merkittävästi matkapuhelinverkkoonsa. Tästä on aiheutunut kasvua juoksevissa kustannuksissa. Juoksevat kustannukset ovat ongelmallisia niiden kumulatiivisen vaikutuksen takia. Investointikustannukset ovat vain kertaluonteisia kustannuksia, mutta juoksevia kustannuksia joudutaan maksamaan jatkuvasti toiminnan aikana. Työssä esitellään sekä investointi- että juoksevia kustannuksia liittyen Elisan matkapuhelinverkkoon, mutta työn painopisto on selkeästi juoksevien kustannusten puolella. Elisan matkapuhelinverkossa juoksevia kustannuksia syntyy pääasiassa käytetystä sähköenergiasta, vuokrapaikkakustannuksista ja omien tukiasemapaikkojen ylläpidosta. Työssä käsitelty matkapuhelinverkko pitää sisällään 2G, 3G ja LTE teknologiat.

Yhtenä suurena ongelmana on aiemmin ollut saada tieto kustannuksista Elisan radioverkkosuunnittelijoiden käyttöön. Tämän takia tässä työssä tehtiin tutkimus, jossa haastateltiin *pre-planning* ja *site-planning* tiimeistä suunnittelijoita. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää minkä verran suunnittelijat tällä hetkellä tietävät juoksevista kustannuksista ja millaista tietoa he kaipaavat lisää. Yhtenä tavoitteena oli selvittää myös suunnittelijoiden asennetta juoksevia kustannuksia kohtaan.

Yksi työn suurista painopisteistä oli selvittää vuokrapaikkojen juoksevien kustannusten muodostuminen. Tätä varten tutkittiin kahden suurimman vuokraajan vuokrasopimuksia ja selvitettiin mistä vuokra muodostuu. Tämän pohjalta etsittiin keinoja vähentää vuokrakuluja tulevaisuudessa. Sähköenergian osalta tutkittiin tärkeimmän laitetoimittajan laitteiden tehonkulutuksia. Näiden tietojen pohjalta pyrittiin löytämään laitteita, jotka kannattaa päivittää uudempiin. Samalla käsiteltiin myös hieman erilaisten konfiguraatioiden eroa sähkönkulutuksen kannalta. Työssä tutkittiin myös omien tukiasemapaikkojen sähkönkulutusta.

Työssä löydettiin vuokrakohteista asioita, joihin kannattaa tulevaisuudessa kiinnittää huomiota. Työssä havaittiin myös, että vuokralaskutus ei aina ole paikkaansa pitävä ja siihen tarvitsee tulevaisuudessa keksiä keinoja, jolla se saadaan pysymään ajan tasalla. Sähkönsäästöön löytyi muutamia keinoja, joilla sähkölaskua voitaisiin pienentää tulevaisuudessa. Suoritetun haastattelututkimuksen tärkein löydös oli se, että suunnittelijat kyllä pienentäisivät juoksevia kustannuksia, jos he tietäisivät keinoja siihen.

ABSTRACT

HENRI LAHTINEN: Understanding and minimizing operational expenditures in Elisa's mobile cellular network

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 88 pages, 3 Appendix pages

August 2017

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Communication Systems and Networks

Examiner: Professor Mikko Valkama

Keywords: operational expenditures, capital expenditures, OPEX, CAPEX, cellular network, semi-structured interview

In this thesis, the purpose was to find methods to reduce operational expenditures in Elisa's cellular network. The amount of transferred data in cellular networks has increased rapidly in past few years. To respond to this Elisa has invested significantly in its cellular network recently. These investments have caused a raise in operational expenditures. These operational expenditures are problematic because they affect cumulatively. Capital expenditures are paid non-recurring but operational expenditures have to be paid all the time while the network is operating. Both capital and operational expenditures are introduced in this thesis but the main focus will be on operational expenditures. These expenditures are caused in Elisa's cellular network by used electricity, leasing base station sites and from maintaining their own base station sites. The studied cellular network contains 2G, 3G and LTE technologies.

One of the main problems in Elisa has been how to get the knowledge from operational expenditures to Elisa's radio network planners. Because of this, one part of this thesis is a research about the current knowledge of planners. In this research, planners from pre-planning and site-planning teams were interviewed. Another purpose of the research was to find out the planners' attitudes towards the operational expenditures.

One of the main focuses in this thesis was to determine how the operational expenditures are formed in leased base station sites. Elisa has two major leaseholders so this thesis focuses mainly on those lease contracts. Based on those contracts, different methods were sought to reduce future leasing costs in Elisa's cellular network. Electricity was the second main focus in this thesis. Elisa has one main radio equipment supplier so the energy consumption of its radio equipment was studied. Relevant was to find out which radio units should be modernized in terms of energy efficiency. Also the energy efficiency of different radio unit configurations was studied. Also the electricity consumption of Elisa's own base station sites was determined.

In this thesis, a few critical aspects were identified that planners should pay attention to in the future. Noteworthy was that rental invoicing was not always up-to-date so means of keeping rental invoice up-to-date needs to be researched more in the future. Some configurations were found to be more energy efficient than others so those should help decreasing operational expenditures in the future. The main finding of the interview research was that the planners would decrease the operational expenditures if they knew some ways to do it.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Elisalle. Haluan kiittää Elisaa mahdollisuudesta tehdä tämä diplomityö ja työskennellä mukavassa yrityksessä. Iso osa tästä kiitoksesta kuuluu Markku Anttilaiselle ja Sami Rajamäelle. Diplomityöni liittyy osaltaan ohjaajani Karri Sunilan käynnissä olevaan työhön, jossa pyritään löytämään keinoja juoksevien kustannusten pienentämiseen. Haluankin kiittää Karria hyvästä ohjaamisesta ja erityiskiitos projektin alkupuolella tiheään olleista palavereista. Niiden avulla työni lähti etenemään reippaalla vauhdilla.

Haluan kiittää myös Tampereen toimistolla työskenteleviä Elisan työntekijöitä, jotka toimivat radioverkkojen parissa. Teidän avulla opin vajaan puolen vuoden aikana erittäin paljon radioverkkojen todellisesta maailmasta. Kiitos kuuluu myös haastatteluun osallistuneille Elisan radioverkkosuunnittelijoille. Teidän kauttanne sain kuulla hyvin käytännönläheisiä asioita juoksevien kustannusten pienentämisestä. Diplomityö on suuri ja aikaa vievä projekti. Haluankin myös kiittää lähipiiriäni tsemppaamisesta ja vinkeistä diplomityön tekemiseen. Erityinen kiitos kuuluu vaimolleni Saralle, sinun apusi oli korvaamatonta tämän työn tekemisessä.

Tampereella, 4.9.2017

Henri Lahtinen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	MATKAPUHELINVERKON RAKENNE JA RADIOVERKON SYNNYTTÄMIEN KUSTANNUSTEN ERITTELY	4
2.1	Matkapuhelinverkon rakenne	4
2.2	Radioverkon synnyttämien kustannusten erittely	6
2.2.1	Investointikustannukset	8
2.2.2	Juoksevat kustannukset	9
3.	ELISA OYJ:N MATKAPUHELINVERKON JUOKSEVIEN KUSTANNUSTEN TÄMÄNHETKINEN TILANNE	12
3.1	Omien tukiasemapaikkojen juoksevien kustannusten lähteet	12
3.2	Vuokrattujen tukiasemapaikkojen juoksevat kustannukset	19
3.2.1	Vuokraaja 1	19
3.2.2	Vuokraaja 2	30
3.2.3	Muut vuokraajat	35
4.	TUTKIMUS RADIOVERKKOSUUNNITTELIJOIDEN KÄYTÖSSÄ OLEVASTA TIEDOSTA	37
4.1	Alustavan tutkimusongelman määrittäminen	38
4.2	Tutkimussuunnitelma	40
4.2.1	Tutkimusmenetelmän ja tiedonhankintatavan valitseminen	42
4.2.2	Haastattelu tiedonhankintamenetelmänä	45
4.2.3	Tutkimussuunnitelman viimeistely	46
4.3	Aineiston keruu	48
4.3.1	Haastattelujen teemat	49
4.3.2	Haastattelujen suorittaminen	51
4.4	Aineiston käsittely ja analysointi	54
5.	ELISAN RADIOVERKKOON SUOSITELTAVAT MUUTOKSET	55
5.1	Juoksevien kustannusten minimoisen mahdollistavat keinot	55
5.1.1	Tukiasemalaitteiston sähkönkulutuksen minimoiminen	58
5.1.2	Vuokraaja 1	62
5.1.3	Vuokraaja 2	66
5.1.4	Tukiasemapaikkalaitteiston muutokset	69
5.2	Haastatteluissa esiin tulleita huomioita	71
5.3	Dokumentaation kehittäminen	75
5.4	Tulevaisuuden tukiasemapaikat	76
5.5	Työn virhetarkastelu	79
6.	YHTEENVETO	81
	LÄHTEET	85

LIITE A: ANTENNIN LEVEYDEN JA MINIRADIOIDEN MÄÄRÄN VAIKUTUS
VUOKRAHINTAAN

LIITE B: RADIOVERKKOSUUNNITTELIJOIDEN HAASTATTELUSSA KÄYTE-
TYT KYSYMYKSET

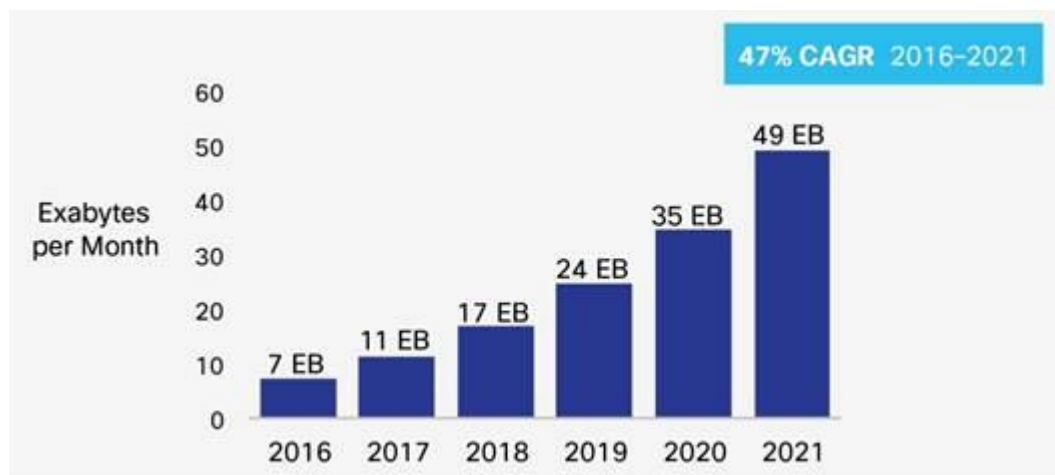
LIITE C: LTE 1800 MHZ:N RADIOIDEN SAMMUTUS YÖNAJAKSI

LYHENTEET JA MERKINNÄT

2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
AC	Alternating current
BTS	Base Tranceiver Station
CA	Carrier Aggregation
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CAPEX	Capital Expenditure
DC	Direct Current
EC	Electronically Commutated
GSM	Global System for Mobile communications
dB	Desibeli
h	Hour
ICT	Information and Communication Technology
IP	Internet Protocol
kk	Kuukausi
kpl	Kappale
kWh	Kilowattitunti
LTE	Long Term Evolution
MHz	Megahertsi
OPEX	Operational Expenditure
RF	Radio Frequency
SC	Scrambling Code
TA	Timing Advance
TCO	Total Cost of Ownership
TWh	Terawattitunti
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VAS	Visual Analog Scale
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLTE	Voice over Long Term Evolution

1. JOHDANTO

Matkapuhelinoperattoreiden verkossa siirrettävän datan määrä on viime vuosina kasvanut vuositasolla merkittävästi. Tulevaisuudessa siirrettävän datan määrä tulee kasvamaan entisestään vuosi vuodelta. Kuvassa 1 esitetään Cison (2017) ennuste vuosien 2016–2021 mobiilidatamääristä. Kuvaa katsoessa tulee huomioida se, että ennuste on tehty koko maailman mobiilidatalle. Näin ollen ennuste pitää sisällään myös kehittyvät maat, joissa käyttäjien määrä nousee vaurauden noustessa. Suomessa muutos ei välttämättä ole näin suurta, mutta myös täällä siirrettävän mobiilidatan määrä kasvaa tulevaisuudessa.



Kuva 1 Ennuste vuosien 2016–2021 mobiilidatamääristä (Cisco 2017).

Kuvasta 1 voidaan havaita kuinka mobiilidatan määrä kasvaa kiihtyvällä tahdilla. Vuosien 2016 ja 2021 datamäärän ero on ennusteen mukaan seitsenkertainen. Ennusteeseen on laskettu myös *compound annual growth rate* (CAGR), joka on kertyvä vuosittainen kasvu. Tämä luku ilmaisee kuinka paljon mobiilidatan määrä on ennusteessa kasvanut keskimäärin vuosittain 2016 ja 2021 välisenä aikana. Ennusteessa oleva 47 % CAGR on hurja luku, sillä jos operaattorit haluaisivat pitää tarjoamansa verkon laadun samana vuodesta toiseen, tulisi heidän lisätä verkon kapasiteettia lähes puolet sen vuoden kapasiteetista. Datamäärän kasvun kiihtyvistä tahdistista kertoo myös toinen tutkimus. Yeganeh ja Vaezpour (2016) arvioivat siirrettävän mobiilidatamäärän kasvavan kymmenkertaiseksi vuosien 2013 ja 2019 välisenä aikana. Nämä tutkimukset osoittavat sen, että siirrettävän mobiilidatan määrä tulee kasvamaan merkittävästi tulevina vuosina.

Kasvu kuulostaa suurelta, mutta selittyy osin mainitulla kehittyvien valtioiden vaurastumisella. Näissä valtioissa matkapuhelinverkot eivät ole peitoltaan samalla tasolla kuin

Suomessa, jolloin peiton parantuessa myös käyttäjien on mahdollista käyttää matkapuhelimia laajemmilla alueilla. Tämä taas osaltaan nostaa myös siirrettävän mobiilidatan määrää. Suomen kaltaisessa maassa matkapuhelinoperaattoreilla matkapuhelinverkkojen peitto on jo sen verran laaja, ettei peittoa kasvattamalla saada enää juurikaan nostettua verkon kokonaiskapasiteettia. Sen sijaan verkossa olevien tekniikoiden päivittämisellä voidaan myös Suomessa saavuttaa merkittävää kapasiteetin nousua. Verkon kapasiteettia on mahdollista myös nostaa parantamalla verkon laatua. Tämän taas mahdollistaa paremmin toteutettu radioverkkosuunnittelu.

Radioverkkosuunnittelu jaetaan usein kolmeen eri päävaiheeseen (D. Staehle 2005). Nämä vaiheet ovat esisuunnittelu (*pre-planning*), varsinainen suunnittelu (*detailed planning*, Elisalla käytetään termiä *site-planning*) ja jälkisuunnittelu tai optimointi (*post-planning*). Esisuunnitteluun kuuluu yleisen tason suunnittelu. Muun muassa tukiasematiheyden suunnittelu kuuluu perinteisesti esisuunnitteluun samoin kuin tulevien tukiasemapaikkojen ehdottaminen. Varsinaiseen suunnitteluun kuuluu täsmällisemmät suunnitelmat. Siinä vaiheessa valitaan käytettävät tukiasemapaikat sekä niiden konfiguraatiot. Konfiguraatio pitää sisällään muun muassa tukiasemapaikalla käytettävän laitteiston, antenniparametrit ja verkon käyttöönoton kannalta tärkeät parametrit. Jälkisuunnitteluvaihe alkaa kun varsinaisessa suunnitteluvaiheessa suunniteltu konfiguraatio on otettu käyttöön. Tällöin verkon toimivuutta voidaan testata esimerkiksi kenttätesteillä. Jälkisuunnitteluvaiheeseen kuuluu myös käytössä olevan verkon monitorointi ja sen optimoiminen. (D. Staehle 2005). Optimoimista voidaan katsoa olevan toimenpiteet, jotka parantavat käytössä olevien radioresurssien hyödyntämistä varsinaisen radioverkon toimivuuden lisäksi.

Mainittujen suunnitteluvaiheiden lisäksi myös verkon rakennuttaminen aiheuttaa kustannuksia operaattoreille. Osa näistä vaiheista todellisuudessa aiheuttaa operaattoreille kuluja, mutta yksinkertaistamisen vuoksi tässä työssä kuluista ja kustannuksista käytetään termiä kustannus. Vaikka suunnitteluvaiheet poikkeavat toisistaan merkittävästi, pystytään niissä kaikissa kolmessa vaiheessa vaikuttamaan matkapuhelinverkon juokseviin kustannuksiin. Säästökohteet ja keinot vaihtelevat suunnitteluvaiheittain ja näitä keinoja tullaan myöhemmin esittämään tässä työssä.

Tukiasemiin kohdistuva kustannukset voidaan jakaa kahteen ryhmään: käyttöomaisuusinvestointeihin ja juokseviin kustannuksiin. Näistä käytetään myös termejä CAPEX ja OPEX, jotka tulevat sanoista *capital expenditure* ja *operational expenditure*. käyttöomaisuusinvestoinnit ovat kertaluontoisia kustannuksia ja juoksevat kustannukset ovat kustannuksia, joita syntyy toiminnan ylläpitämisestä. Elisalla käytetään juoksevista kustannuksista pääsääntöisesti termiä OPEX, mutta tässä työssä käytetään kielivalinnan takia suomenkielistä termiä juoksevat kustannukset. Juoksevien kustannusten kasvu on ongelmallista, sillä niitä maksetaan tulevaisuudessa aina niin pitkään, kunnes tehdään muutoksia joilla ne poistuu. Vuosien kuluessa juoksevista kustannuksista voi siis kertyä yllättävän

suuria kustannuksia, koska ne kumuloituvat keskenään. Esimerkiksi jos tietystä tukiasemasta maksetaan kuukausittain vuokraa 500 €, maksaa se kymmenen vuoden aikana kokonaisuudessaan 60000 €. Tämän vuoksi juoksevien kustannusten minimoiminen on tärkeää.

Tämän työn tarkoituksena on löytää keinoja, jolla Elisan matkapuhelin verkon aiheuttamia juoksevia kustannuksia kyettäisiin pienentämään. Viime vuosina tehtyjen suurien investointien vuoksi myös juoksevat kustannukset ovat lähteneet nousuun, joten edellisen esimerkin esille tuoman asian vuoksi juoksevia kustannuksia on pyrittävä pienentämään. Juoksevia kustannuksia kertyy pääosin sähköenergiasta, vuokratukustannuksista sekä omien tukiasemapaikkojen ylläpitämisestä. Kaikista näistä on löydettävissä keinoja, joilla juoksevia kustannuksia voidaan pienentää. Jotta keinot voitaisiin hyödyntää mahdollisimman hyvin, toteutetaan tämän työn yhteydessä myös haastattelu Elisan radioverkkosuunnittelijoille siitä mitä he tietävät tällä hetkellä juoksevista kustannuksista. Haastattelun avulla pyritään myös keksimään keinoja, joilla suunnittelijoita pystyttäisiin tukemaan paremmin juoksevien kustannusten minimoimisessa.

Työn toisessa luvussa lähdetään liikkeelle siitä, mikä on matkapuhelinverkko ja mitä eri osa-alueita siihen kuuluu. Tässä luvussa käsitellään myös radioverkon synnyttämiä kustannuksia. Luvun ensimmäinen päätarkoitus on selvittää lukijalle kuinka suuresta kokonaisuudesta matkapuhelinverkosta on kyse. Luvun toinen päätarkoitus on saada lukijalle hieman näkemys siitä, miten investointi- ja juoksevat kustannukset muodostuvat radioverkossa. Toisessa luvussa verkon rakennetta ja kustannuksia käsitellään yleisellä tasolla. Kolmannessa luvussa tarkastellaan Elisan radioverkon dokumentaation tämän hetkistä tilannetta. Kolmannessa luvussa otetaan myös käsittelyyn Elisan radioverkon juoksevien kustannusten muodostuminen omissa- ja vuokrakohteissa.

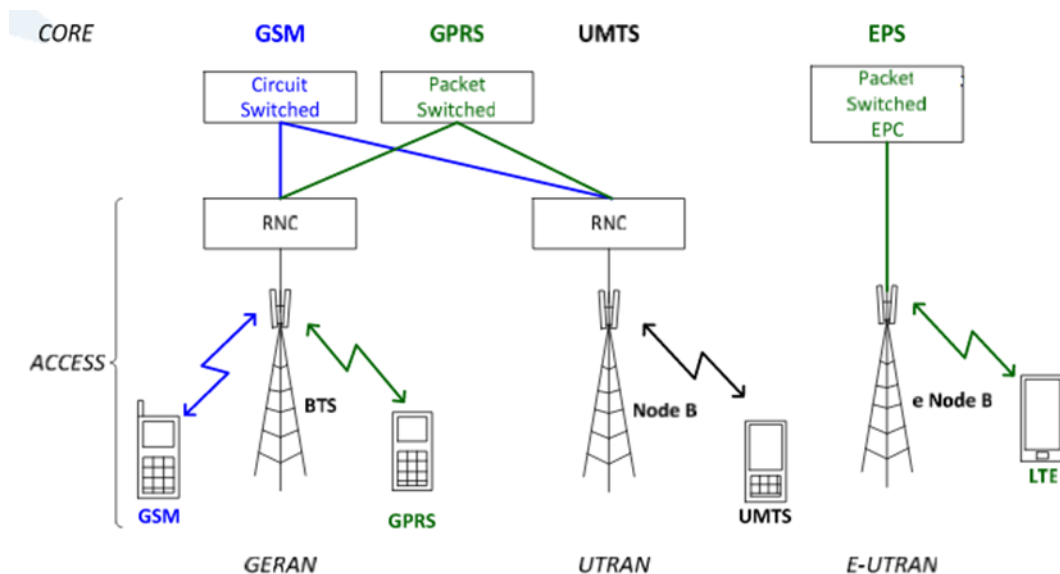
Neljäs luku pitää sisällään työssä suoritettuun haastatteluun liittyvät asiat. Siinä avataan tarkemmin miksi kyseinen tutkimus päädyttiin tekemään ja katsotaan hieman tutkimushaastattelun periaatteita. Viidennessä luvussa esitellään keinoja kuinka tulevaisuudessa voitaisiin pienentää juoksevia kustannuksia Elisan radioverkossa. Luvusta löytyy keinoja omien ja vuokrattujen tukiasemapaikkojen kustannusten pienentämiseen. Viidennessä luvussa pohditaan myös hieman kuinka uusiutuvaa energiaa voidaan hyödyntää tukiasemapaikoilla ja mahdollisia virhelähteitä tässä työssä. Kuudes luku pitää sisällään yhteenvedon tästä työstä. Tämän jälkeen esitellään työssä käytetyt lähteet ja liitteet.

2. MATKAPUHELINVERKON RAKENNE JA RADIOVERKON SYNNYTTÄMIEN KUSTANNUSTEN ERITTELY

Matkapuhelinverkko voidaan jakaa kolmeen eri kokonaisuuteen. Nämä kokonaisuudet ovat radiopääsyverkko (*radio access network*), liityntäyhteys (*backhaul*) ja runkoverkko (*core network*) (Alcatel Lucent 2009). Tässä työssä keskitytään pääasiallisesti radiopääsyverkkoon ja sen juoksevien kustannusten minimoimiseen, mutta on tärkeää ymmärtää mitä muita kokonaisuuksia radiopääsyverkon lisäksi matkapuhelinverkkoon kuuluu.

2.1 Matkapuhelinverkon rakenne

Kuvassa 2 esitetään kolmen eri matkapuhelinjärjestelmän perusrakenteet. Nämä järjestelmät ovat GSM (*Global System for Mobile Communications*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) ja LTE (*Long-Term Evolution*). Kyseiset järjestelmät tunnetaan myös nimillä 2G (*Second Generation*), 3G (*Third Generation*) ja 4G (*Fourth Generation*).



Kuva 2 Matkapuhelinverkon rakenne (3GPP 2017).

Radiopääsyverkkoon kuuluu kaikki toiminnot matkapuhelimen ja tukiaseman välillä. Radiopääsyverkon avulla matkapuhelin on siis yhteydessä tukiasemaan tai tietyissä tapauksissa matkapuhelin voi olla samanaikaisesti yhteydessä useisiin tukiasemiin. Eri matkapuhelinjärjestelmissä radiopääsyverkolla on omat nimensä. 2G:ssä se on nykyisin GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*), 3G:ssä se on vastaavasti UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) ja 4G:ssä se on E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial*

Radio Access Network). Matkapuhelimista käytetään kaikissa tekniikoissa nimitystä UE (*User Equipment*). Radiopääsyverkon tavoin myös tukiasemista käytetään eri nimityksiä eri tekniikoiden välillä. 2G:ssä tukiasemasta käytetään lyhennettä BTS (*Base Transceiver Station*). 3G:ssä tukiasema on *Node B* ja vastaavasti 4G:ssä tukiasemaa kutsutaan joko nimellä *e Node B* tai *evolved Node B*. (3GPP 2017) On hyvä huomata, että suomenkielissä käytetty sana tukiasema viittaa nimenomaan näihin edellä mainittuihin. Vastaavasti sana tukiasemapaikka tarkoittaa samaa kuin englanninkielisissä aineistoissa käytetty *base station site* tai pelkkä *site*. Tukiasema ja tukiasemapaikka menevät termeinä harmittavan monesti sekaisin. Välillä voi olla hankalaa tietää kummasta termistä on todellisuudessa kyse. Tässä työssä pyritään käyttämään johdonmukaisesti tätä jaottelua näiden termien välillä.

Tukiasemapaikka jakautuu usein useampaan sektoriin. Yleisin jako on kolme sektoria, mutta myös muut lukumäärät ovat mahdollisia. Normaaleja antennoja käytettäessä sektorien määrä tulee suoraan antennien määrästä, mutta monisäteisiä antennoja käytettäessä yhdellä antennilla luodaan useampia sektoreita. Kolme sektoria mahdollistaa verkon layoutin olevan hunajakennomallinen, jossa tukiasemapaikat sijaitsevat kennojen kulmissa. Tällä on helppoa ja yksinkertaista kuvata radioverkon muotoa, mutta todellisuudessa nykyaikaisen matkapuhelinverkon muoto ei ole niin yksinkertainen. Tukiasema puolestaan jakautuu soluihin. Normaalisissa tilanteissa tukiaseman solut ovat jokainen omassa sektorissaan, jolloin yhdestä antennista lähetetään yhden solun lähetettä. Jos tukiasemapaikalla on useita tukiasemia, lähetetään tällöin yhden sektorin antennista usean eri tukiaseman lähetettä. Ne eivät kuitenkaan häiritse toisiaan, sillä eri tekniikat ovat eri taajuuksilla.

Nimensä mukaisesti radiopääsyverkko on langaton yhteys matkapuhelimen ja tukiaseman välillä. Operaattoreilla on käytössään niille annettuja radioresursseja, joiden avulla tukiasemat ja matkapuhelimet pitävät yhteyttä. Radioresursseiksi katsotaan taajuudet, aika, lähetysteho (R. Laroia et al. 2004). Näiden lisäksi 3G:ssä käytetään koodeja (*Scrambling Code* lyh. SC), joilla tukiasemat erotetaan toisistaan. Tukiasemien tehtävänä on jaotella radioresursseja käyttäjien välillä, siten että käyttäjiä palvellaan mahdollisimman tasapuolisesti. Radiopääsyverkkoon liittyy olennaisesti myös signaalitason mittaukset. Näitä mittauksia hoitavat niin tukiasemat kuin matkapuhelimetkin (Alcatel Lucent 2009). Tästä eteenpäin tässä työssä radiopääsyverkosta käytetään nimitystä radioverkko.

Käytettävät taajuudet ovat radioverkon kannalta erittäin merkittävässä roolissa. Tietoliikennetekniikassa hyvin yleisesti tunnettu Shannon – Hartley teoreema esittää, että kanavan kapasiteetti on verrannollinen käytettävissä olevaan kaistanleveyteen. Näin ollen matkapuhelinoperaattorit haluaisivat käyttää mahdollisimman suuria kaistanleveyksiä, tai vaihtoehtoisesti monia eri kaistoja. Elisalla on tällä hetkellä käytössään seuraavat taajuusalueet, suluisia ilmoitettu luku on lähetyskaistanleveys: 700 (10) MHz, 800 (10) MHz, 900 (11,4) MHz, 1800 (24,8) MHz, 2000 (4,8) MHz, 2100 (19,8) MHz ja 2600 (25) MHz

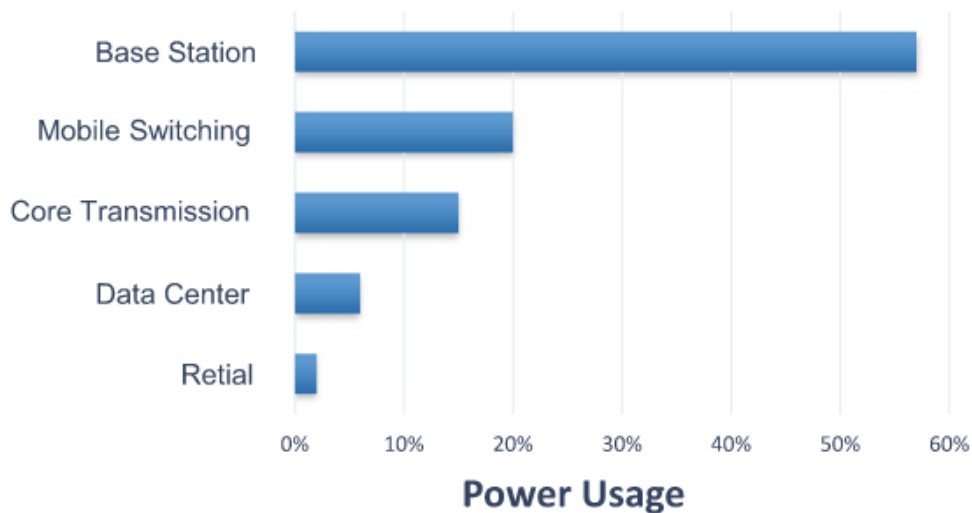
(Viestintävirasto 2017). Näistä kaistoista 700, 800, 1800 ja 2600 MHz ovat LTE käytössä ja muut kaistat ovat tällä hetkellä joko 2G tai 3G käytössä.

Liityntäyhteysverkko on yhteys tukiaseman ja runkoverkon välillä. Kuvassa 2 liityntäyhteys on 2G:n ja 3G:n tapauksessa tukiaseman ja RNC:n (*Radio network Controller*) välillä. Kyseisissä järjestelmissä hierarkian mukaisesti yhden RNC:n perässä on useita tukiasema ja RNC toimiikin matkapuhelinverkossa tukiasemien ja runkoverkon välisenä solmukohtana. 4G:ssä RNC on jätetty pois ja tukiasemat voivat olla suoraan yhteydessä toisiinsa (Alcatel Lucent 2009). Näin ollen 4G tukiasemat voivat olla myös suoraan yhteydessä runkoverkkoon. Liityntäyhteydet ovat yleensä pitkiä ja niissä kulkee paljon dataa, joten liityntäyhteydet ovat toteutettu yleensä fyysisillä tiedonsiirtomedioilla. Maa-seudulla voi kuitenkin olla tilanteita, joissa lähin fyysinen liityntäyhteys on kaukana tukiasemapaikalta. Tällöin usein on järkevää rakentaa radiolinkki tällaiselta tukiasemapaikalta sellaiselle tukiasemapaikalle, josta fyysinen yhteys löytyy.

Runkoverkko on se kokonaisuus, joka yhdistää RNC:t toisiinsa ja matkapuhelinverkon muuhun Internetiin. Kuvasta 2 voidaan havaita kuinka 2G:llä ja 3G:llä on kaksi erilaista yhteyttä runkoverkkoon. Nämä ovat Piirikytkentäinen- (*Circuit Switched*) ja pakettikytkentäinenverkko (*Packet Switched*). Puhelut siirtyvät piirikytkentäistäverkkoa pitkin ja data siirretään pakettikytkentäistäverkkoa pitkin. Piirikytkentäisyys on ollut käytössä jo lankapuhelin aikaan ja siinä puhelulle varataan puhelun muodostamisvaiheessa riittävästi resursseja. Pakettikytkentäisessä verkossa taas käyttäjät kilpailevat resursseista. (RF Wireless World 2012) 4G:ssä piirikytkentäisestäverkosta on luovuttu ja siinä on käytössä ainoastaan pakettikytkentäinenverkko. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että 4G:tä käytetään pääosin ainoastaan datan siirtämiseen. 4G:ssä on kuitenkin myös mahdollisuus hyödyntää VoIP-tekniikkaa (*Voice over Internet Protocol*), jolloin myös 4G:llä kyetään siirtämään puhetta (Alcatel Lucent 2012). Yleisesti tästä käytetään termiä VoLTE (*Voice over Long Term Evolution*).

2.2 Radioverkon synnyttämien kustannusten erittely

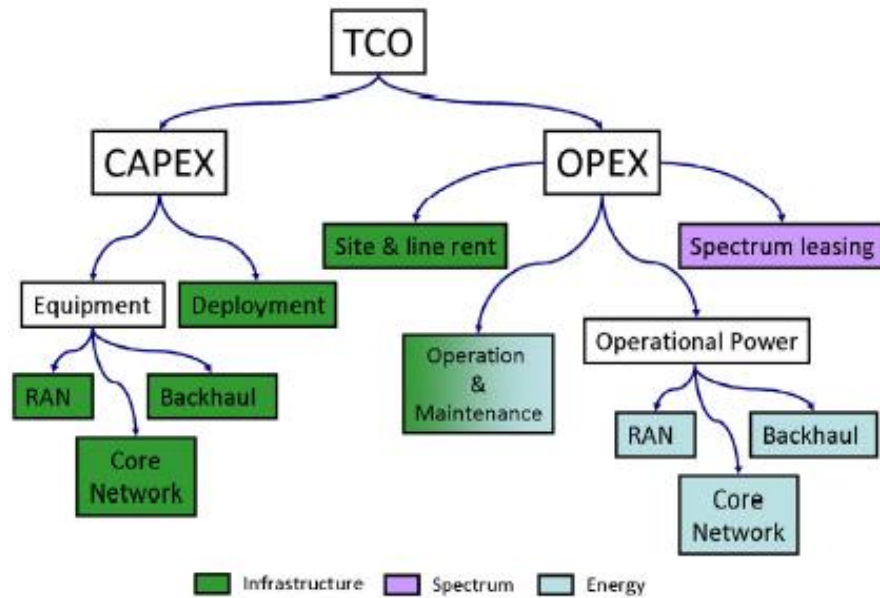
Perinteisesti radioverkon energiankulutusta on pyritty minimoimaan käyttäjälaitteiden näkökulmasta. Tällä on pyritty kasvattamaan käyttäjälaitteiden akunkestoa. Akunkeston maksimoiminen on kuitenkin tehty radioverkon sähkönkulutuksen kustannuksella ja tämä onkin aiheuttanut radioverkon ylläpitäjille suurempaa sähkönkulutusta. (De Domenico et al. 2013) Toisaalta tämä on looginen tapa. Akkutoimisiin laitteisiin on huomattavasti hankalampi rakentaa suurta akkukapasiteettia, kuin siirtää sähköä runkoverkossa oleville tukiasemille. Tutkimuksissa on havaittu, että käyttäjälaitteiden sähkönkulutus koko verkon sähkönkulutuksesta on noin 10 % (Humar et al. 2011). Lukema vaikuttaa hieman isolta, mutta silti kokonaiskuvassa suurimmat säästöt on mahdollista saavuttaa matkapuhelinverkon operaattoripuolen muutoksilla. Kuvassa 3 esitetään sähkönkulutuksen jakautumista matkapuhelinverkossa. Kuvaan on otettu mukaan kohteita, jotka aiheuttavat operaattoreille sähkönkulutusta.



Kuva 3 Sähkönkulutuksen jakautuminen matkapuhelinverkossa (Zhang et al. 2016).

Kuvasta 3 voidaan havaita kuinka tukiasemat (*Base Station*) kuluttavat selvästi eniten sähköä matkapuhelinverkossa. Tukiasemat kuluttavat koko verkon sähköstä lähes 60 %. Seuraavaksi eniten kuluttavat matkapuhelinkeskukset (*Mobile Switching*). Niiden osuus koko verkon kulutuksesta on noin 20 %. Runkoverkon komponentit kuluttavat kolmanneksi eniten. Runkoverkon komponenttien kulutus koko verkon kulutuksesta on noin 15 %. Kuvan 3 perusteella voidaan todeta, että tukiasemat ovat merkittävässä roolissa koko matkapuhelinverkon sähkön kulutuksessa. Näin ollen tukiasemien sähkönkulutuksen pienentämisellä on merkittävä vaikutus koko matkapuhelinverkon sähkönkulutukseen. Tämä tulee kuitenkin tehdä niin, ettei käyttäjälaitteiden sähkönkulutus merkittävästi lisäänty. Samalla tulee myös huomioida, ettei käyttäjien kokema laatu huomattavasti laske. Sähkönkulutuksen lisäksi tukiasemat aiheuttavat myös muita kustannuksia operaattoreille. Sähkönkulutus ei olekaan ainoa kohde, jolla operaattorit voivat säästää toiminnassaan.

Yhdessä investointikustannuksista ja juoksevista kustannuksista syntyy *Total Cost of Ownership* (TCO), joka kuvaa toiminnan tai laitteiden elinkaarikustannuksia. Tutkimusten mukaan yrityksillä on tapana aliarvioida juoksevien kustannusten suuruus verrattuna investointikustannuksiin. Yritysten kannattaisikin tehdä yksittäisestä investoinnista erilaisia skenaarioita, joissa tuotaisiin ilmi investoinnin kannattavuus juoksevien kustannusten huonoimmassa ja parhaimmassa tapauksessa. (Lepadatu 2011) Näin ollen TCO:n avulla voitaisiin paremmin havaita, missä investoinnissa suuri alkuinvestointi ei välttämättä ole huono asia, sillä pienempien juoksevien kustannusten avulla elinkaarikustannukset jäisivät kuitenkin pienemmiksi.



Kuva 4 Elinkaarikustannusten lähde matkapuhelinverkossa (De Domenico et al. 2013).

Kuvassa 4 esitetään elinkaarikustannusten lähteitä matkapuhelinverkossa. Kuvassa vihreällä olevat asiat kuvastavat infrastruktuuriin kuuluvia asioita. Violetilla kuvaan on merkitty taajuusalueen vuokraaminen. Vaalean vihreällä merkityt osat kuvassa taas kuvastavat niitä osia, joihin matkapuhelinverkossa kuluu sähköenergiaa.

2.2.1 Investointikustannukset

Kuten edellä todettua, investointikustannuksiksi käsitetään ne kustannukset, jotka investointi aiheuttaa kertaluontoisesti. Kuvassa 4 näitä kustannuksia on esitetty CAPEX – osuuden alla. Pääsääntöisesti voidaan sanoa, että ylläpitokorjauksia lukuun ottamatta kaikki rakentaminen lasketaan investointikustannuksiksi. Rakentamisen lisäksi myös verkon suunnittelu, tukiasemapaikkojen hankinta ja laitteiston ostaminen lasketaan investointikustannuksiksi (Yeganeh & Vaezpour 2016). Matkapuhelinverkossa rakentaminen voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: liityntäverkon ja tukiasemapaikkojen rakentamiseen. Tukiasemapaikkojen rakentamiseen voidaan lukea kuuluvan myös tukiasemien ja oheislaitteiston asentaminen.

Laitteisto voidaan jakaa rakentamisen lailla kahteen eri kategoriaan: liityntäverkon ja tukiasemapaikkojen laitteistoon. Yeganeh & Vaezpour (2016) toteavat että matkapuhelinverkon laitteiston kokonaiskustannuksista vain 10–30 % aiheutuvat runkoverkon laitteistosta. He myös toteavat että vastaavasti radioverkko aiheuttaa jopa 40 % matkapuhelinverkon kokonaislaitteistokustannuksista. Vaikka tämä työ keskittyy pääosin juokseviin kustannuksiin, on kuitenkin tärkeää havainnoida radioverkon laitteiston hinnan suhteellinen osuus koko verkon laitteistosta. Runkoverkkoon kuuluvaa laitteistoa ovat muun muassa reitittimet, kytkimet ja kupari- sekä valokuitusiirtomediat. Radioverkon laitteistoon

taas kuuluvat tukiasemapaikoilla oleva laitteisto. Laitteistoon kuuluvat muun muassa voimalaite, tasasuuntaajat, akustot, radiolaitteistot, antennit, jäähdytyskoneet ja laitteistotila.

2.2.2 Juoksevat kustannukset

Kuvassa 4 esiteltiin tyypillisiä OPEX kohteita matkapuhelinverkossa. Suuri osa näistä juoksevista kustannuksista syntyy sähkönkulutuksesta. Juoksevien kustannusten muodostuminen vaihtelee varmasti hyvin paljon eri maiden ja eri operaattoreiden välillä. Tutkimukset osoittavat, että joidenkin operaattoreiden juoksevista kuluista jopa 50 % tulee pelkästään sähkönkulutuksesta (Tombaz 2014). Tällöin voidaan kuvien 3 ja 4 pohjalta todeta, että tukiasemapaikkojen sähkönkulutus on merkittävässä roolissa koko matkapuhelinverkon juoksevista kustannuksissa.

Juoksevia kustannuksia syntyy kuitenkin myös muista lähteistä. Vuokratulot ovat hyvä esimerkki tyypillisistä juoksevista kustannuksista. Matkapuhelinverkossa vuokratuloja voi aiheutua useasta eri lähteestä. Operaattoreiden ei ole järkevää eikä aina myöskään mahdollista rakennuttaa omaa tukiasemaa sinne missä se radioverkon näkökulmasta olisi viisainta. Tämmöisissä tilanteissa operaattorit vuokraavat toisilleen tukiasemapaikkoja. Esimerkiksi radiomastot maaseudulla ovat tällaisia paikkoja, joissa yhdessä tukiasemapaikassa voi toimia useampia operaattoreita. Kuvassa 4 *Spectrum leasing* pitää sisällään sen, että operaattorit vuokraavat toistensa liityntäyhteyksiä. Maaseudulla tämä korostuu entisestään, mutta myöskään kaupungissa operaattoreiden ei aina ole järkevää rakentaa omaa liityntäyhteyttä heille uudelle tukiasemapaikalle. Jos paikan omistavalla operaattorilla on riittävä liityntäyhteys tällaiselle tukiasemalle, voi toinen operaattori vuokrata osan liityntäyhteydestä itselleen. Tämän kaltaisissa tilanteissa syntyvät kustannukset ovat myös käyttöpohjaisia, joten ne ovat juoksevia kustannuksia.

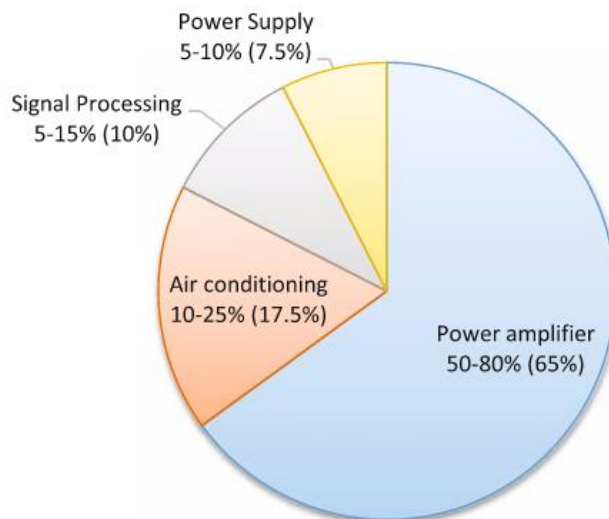
Matkapuhelinverkon ylläpitoon ja huoltoon kuuluu monia eri kohteita ja myös nämä kustannuskohteet ovat myös juoksevia kustannuksia. Runkoverkon puolella esimerkki huoltokohteesta on vaurioitunut runkokaapeli. Myös muut rikkoutuneista laitteistosta aiheutuvat kustannukset voidaan katsoa huoltokustannuksiksi. Investointisuunnitelmaa tehtäessä tämän kaltaiset vahingot ovat hankalia ennakoita, mutta silti niihinkin voidaan varautua ennakoon. Esimerkiksi investointiin voidaan lisätä prosentuaalinen osuus varmuuskertoimeksi huomioimaan ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia. Radioverkon puolella ylläpitokustannuksia aiheuttavat myös tukiasemapaikkojen saavutettavuuteen liittyvät toimet. Esimerkiksi korkealla prioriteetilla oleville mastokohteille tulee päästä vuorokauden sisällä. Tästä johtuen operaattorin on tehtävä urakointisopimus yrityksen kanssa, joka hoitaa tien kunnossapidon mastolle.

Tämän työn kannalta mielenkiintoisimmat juoksevat kustannukset muodostuvat kuitenkin sähkönkulutuksesta. Vuonna 2011 matkapuhelinverkkojen on maailmanlaajuisesti arveltu kuluttavan noin 3 % koko maapallon sähkönkulutuksesta. Tämä vastaa vuosi tasolla

noin 600 terawattitunnin (TWh) vuosikulutusta. Matkapuhelinverkkojen sähkönkulutuksen on arvioitu nousevan vuoteen 2030 mennessä jopa 1700 terawattitunnin vuositasolle. (Humar et al. 2011) Toisen tutkimuksen mukaan vuonna 2015 matkapuhelinverkot kuluttivat maailmanlaajuisesti 1000 TWh vuositasolla (Zhang et al. 2016). Samainen tutkimus osoittaa myös, että sähkönkulutus kasvaa vuosittain 10 %.

Kustannusten lisäksi on huomattava, että sähköntuotanto aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Näin ollen matkapuhelinverkkojen sähkönsäästöillä on mahdollista vaikuttaa globaalilla tasolla merkittävästi. Kustannusten vähentämisen lisäksi operaattoreilla on mahdollisuus vaikuttaa myös ilmastonmuutoksen hidastamiseen (Zhang et al. 2016). Viime aikoina matkapuhelinverkkojen sähkönkulutukseen on alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Esimerkkinä tästä on muun muassa EARTH-projekti (*Energy Aware Radio and neTwork tecHnologies*), joka tutki kuinka sähkönkulutusta voitaisiin pienentää matkapuhelinverkoissa. EARTH-projektissa oli mukana 15 kumppania, joiden joukossa olivat muun muassa Alcatel-Lucent, Ericsson ja Oulun yliopisto (EARTH 2011).

Kuvassa 3 esitettiin kuinka sähkönkulutus jakautuu matkapuhelinverkossa. Kuvan 3 huomiota tukiasemien sähkön kulutuksen suuresta osuudesta tukee myös toinen tutkimus. Kyseisessä tutkimuksessa todetaan tukiasemien kuluttavan jopa kaksi kolmasosaa koko matkapuhelinverkon sähköstä (Humar et al. 2011). Vaikka arvot eivät välttämättä kuvastaisikaan absoluuttista totuutta esimerkiksi Elisan matkapuhelinverkon sähkönkulutuksesta, antavat ne silti suuruusluokkaa tukiasemien sähkönkulutuksen osuudelle. Kuvassa 5 esitetään kuinka sähkönkulutus jakautuu tukiasemapaikalla.



Kuva 5 Sähkönkulutuksen jakautuminen tukiasemapaikalla (Zhang et al. 2016).

Kuvasta 5 voidaan havaita kuinka radioyksiköt (*Power amplifier*) kuluttavat selkeästi suurimman osan tukiasemapaikan sähköstä. Radioyksiköt ovat laitteita, jotka muodostavat matalatehoisesta signaalista sen lopullisen signaalin, joka lähetetään antennista

(Zhang et al. 2016). Näin ollen se ei pidä sisällään pelkästään tehovahvistimia, vaikka suomennettuna termi siihen viittaakin. Nämä laitteet kuluttavat selvästi yli puolet koko tukiaseman sähköstä. Kuvan 5 mukaan radioyksiköt vievät koko tukiaseman sähköstä 50–80 %.

Seuraavaksi eniten tukiasemapaikoilla sähköä kuluttavat ilmastointilaitteet. Ilmastointilaitteita tarvitaan, jotta tukiasemapaikan lämpötila ei nousisi liian korkeaksi (Zhang et al. 2016). Tutkimus josta tämä kuva on otettu, ei ole tehty Suomessa. Näin ollen viileän ilmaston vuoksi jäähdytyksen osuus Suomessa olevilla tukiasemapaikoilla on todennäköisesti pienempi. Sen sijaan Suomessa tukiasemapaikoilla on myös lämmityslaitteisto talvea varten. Tästä johtuen tukiasemapaikkojen lämmitys ja jäähdytys yhteen laskettuna voi hyvin olla tämän tutkimuksen mukainen. Kuvan 5 tutkimuksen mukaan jäähdytykseen kuluva sähkö on 10–25% koko tukiaseman sähkön kulutuksesta. Kuvassa 5 esitetyt kaksi viimeisintä sähkönkulutuksen kohdetta ovat signaalin käsittely ja teholähteet (*Power supply*). Nämä yhdessä kuluttavat 10–25%. Signaalinkäsittely pitää sisällään kaiken laskennan, jota signaalin lähettäminen ja vastaanottaminen vaativat. teholähteet taas pitävät sisällään tasasuuntaajien ja akustojen aiheuttaman hävikin (Zhang et al. 2016).

Kuvien 3 ja 5 pohjalta voidaan todeta, että suurimmat sähkön säästöt matkapuhelinverkossa voidaan saada aikaan tukiasemapaikoilla järkevillä laitteisto valinnoilla. Myös laitteiston sijoittamisella tukiasemapaikoilla voidaan vaikuttaa sähkönkulutukseen, sillä laitteiston sijoittamisella voidaan vaikuttaa suoraan jäähdytyksen ja Suomessa oltaessa myös lämmityksen tarpeeseen. Totta kai kokonaiskuvan kannalta on tärkeää myös pyrkiä minimoimaan signaalinkäsittelyn tarve ja samalla pyrkiä minimoimaan teholähteistä aiheutuvat häviöt.

3. ELISA OYJ:N MATKAPUHELINVERKON JUOKSEVIEN KUSTANNUSTEN TÄMÄNHETKINEN TILANNE

Matkapuhelinverkon juoksevien kustannusten tämänhetkisen tilanteen määrittäminen on ensiarvoisen tärkeää. Nykytilanteen avulla voidaan löytää keinoja, joilla tilannetta voidaan parantaa. Kustannuspaikat voidaan karkeasti jakaa kahteen kategoriaan: omat ja vuokratut tukiasemapaikat. Tässä luvussa katsotaan kuinka kustannukset muodostuvat näillä paikoilla. Myöhemmin tässä työssä esitetään keinoja, joilla kustannuksia olisi mahdollista pienentää. Vaikka omat ja vuokratut tukiasemapaikat ovat periaatteessa kustannusrakenteeltaan toisistaan merkittävästi poikkeavia, löytyy niistä kuitenkin myös yhteneväisyyksiä.

3.1 Omien tukiasemapaikkojen juoksevien kustannusten lähteet

Luvussa 2.2 käsiteltiin tutkimusta, jonka mukaan matkapuhelinoperaattoreiden juoksevista kustannuksista noin puolet tulee sähkönkulutuksesta. Elisalla sähkönkulutuksen osuus ei ole aivan niin suuri. Elisän juoksevista kustannuksista noin 36 % tulee sähkönkulutuksesta. Toki tämäkin on erittäin merkittävä luku, sillä se on yli kolmannes koko juoksevien kustannusten kokonaismäärästä.

Tukiasemapaikalla sähkönkulutus voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan. Radioverkon laitteiden sähkönkulutukseen ja tukiasemapaikkalaitteiston sähkönkulutukseen. Ensimmäiseen kategoriaan lasketaan mukaan system modulien, radioyksiköiden, mastovahvistimien ja tukiasemakytkimen kuluttama sähkö. Nämä laitteet ovat niitä, jotka aiheuttavat operaattorille sähkönkulutusta riippumatta siitä, onko tukiasemapaikka operaattorin oma vai ollaanko vuokrapaikassa. Tukiasemapaikkalaitteiston sähkönkulutukseen sisältyy voimalaitteiden kuluttama sähkö, akkujen purkautumisesta aiheutuva häviö, jäädytykseen ja lämmitykseen käytettävä sähkö sekä tukiasemapaikalla muuten käytetty sähkö. Operaattori voi halutessaan viedä omat voimalaitteistonsa myös toisen operaattorin tukiasemapaikalle. Yleisempi tapa on ostaa sähkö tukiasemapaikan omistajalta. Tästä johtuen lasken myös voimalaitteiston tukiasemapaikkalaitteisto kategoriaan.

Elisalla on useita laitetoimittajia niin radioverkon laitteille kuin tukiasemapaikkalaitteistolle. Yhteistyökumppaneita ei tuoda esille tässä työssä, vaan niitä käsitellään lähinnä yleisellä tasolla. Radioverkon laitteistontoimittajista yksi on tällä hetkellä Elisän päätoi-

mittaja, joten tässä työssä keskitytään enimmäkseen heidän tuotteidensa energiatehokkuuteen. Myös työssä käsiteltävät numeroarvot ja teholaskelmat ovat pääosin heidän tuotteiden tietojen pohjalta toteutettu.

Kuvassa 5 oli esitettyä tukiasemalla syntyvän sähkönkulutuksen lähteitä. Kuvassa *Power Amplifiers* vei selkeästi eniten, 50–80 % koko tukiasemapaikan sähköstä. Kyseisen kuvan pohjalta voidaan todeta, että radioverkon laitteet kuluttavat siis enemmän kuin mitä muu tukiasemapaikan laitteisto kuluttaa. Tämä toki riippuu hyvin voimakkaasti siitä, kuinka korkean kapasiteetin kohde sattuu olemaan. Maaseudulla olevalla matalan kapasiteetin kohteella sähkönkulutusjakauma on erilainen kuin kaupungin keskustassa olevalla kohteella. Tämä selittyy sillä, että maaseudulla ei käytetä niin suuria konfiguraatioita kuin kaupunkialueilla. Esimerkiksi LTE radioyksiköt kuluttavat enemmän sähköä kuin 2G radioyksiköt.

Myös tukiasemapaikan tyyppi vaikuttaa merkittävästi sähkönkulutukseen ja siihen kuinka kulutus jakautuu tukiasemapaikalla. Tukiasemapaikat voidaan jakaa esimerkiksi neljään eri kategoriaan solun koon mukaan: *macro*, *micro*, *pico* ja *femto* (Zhang et al. 2016). Näistä *macro*-solut ovat suurimpia ja vastaavasti *femto*-solut ovat pienimpiä. Kuvien 3 ja 5 tilanne on esitetty *macro*-soluille. Periaatteessa solujen koon mukaan Elisalla on käytössään *macro*-, *micro*- ja *pico*-soluja, mutta tyyppillisesti solun koon lisäksi myös lähetysteho on vaihtelee erityyppisissä soluissa. Elisalla ei näin kuitenkaan ole, joten voidaan yleistää Elisan käyttävän ainoastaan *macro*-soluja. Ainoastaan sisäverkoissa käytetään eri lähetystehoa säteilyturvallisuuden takaamiseksi.

Kuten todettua, radioverkon sähkönkulutus koostuu lähinnä neljänlaisten laitteiden sähkönkulutuksesta. Näistä radioyksiköt vievät selkeästi eniten sähköä. System modulit ovat seuraavana, mutta niiden kulutus on selkeästi pienempää kuin mitä radioyksiköiden. Vähihiten kuluttavat mastovahvistimet. Mallista riippuen mastovahvistimien tehonkulutus on noin 10 Wh:n luokkaa, joten niiden kulutus on aika maltillinen muihin laitteisiin verrattuna (Kaelus 2017). Mielestäni myös kaapelihäviöt tulee laskea mukaan radioverkon sähkönkulutukseen. Vaikka kyseessä ei ole varsinainen laite, joka kuluttaa sähköä, aiheuttavat ne välillisesti lisäystä sähkönkulutukseen. Ilman kaapelihäviöitä voitaisiin käyttää pienempiä lähetystehoja radioyksiköissä, jolloin niiden sähkönkulutus olisi pienempi.

System moduletkaan eivät kuluta läheskään niin paljoa tehoa kuin mitä radioyksiköt. System modulien tehonkulutus on kuitenkin merkittävästi mastovahvistimia suurempi. Hieinan tekniikasta riippuen System modulien tehonkulutus on noin 50-200 Wh. Kulutus myös pysyy kohtalaisen tasaisena käyttöasteesta riippumatta. Tukiasemakytkimien tehonkulutus on myös hyvin lähellä system modulien tehonkulutusta. Toisin kuin system modulien ja antennivahvistimien, radioyksiköiden kulutusta on hankala ilmoittaa yksinkertaisesti. Niiden kulutus riippuu erittäin voimakkaasti käytetystä laitemallista ja tekniikasta. Erityisesti LTE radioyksiköillä myös käyttöaste vaikuttaa merkittävästi laitteen ku-

lutukseen. Jotta saadaan jotain vertailupohjaa edellisiin tehokulutuksiin, niin 2G:ssa käytetty radio pienellä kuormalla kuluttaa noin 184 Wh, kun taas LTE:n tietyllä taajuudella radio voi kuluttaa suurella käyttöasteella jopa 1.3 kWh. Näiden tehojen pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että kuvassa 5 esitetyt luvut radioyksiköiden kulutuksesta voivat olla hyvin lähellä totuutta. Taulukossa 1 esitetään yhden LTE-radiotyypin tehonkulutus käyttöasteen ja lähetystehon mukaan. Taulukko 1 LTE:ssä käytetyn radion tehonkulutus käyttöasteen mukaan.

Lähetysteho (W)	10 % (Wh)	30 % (Wh)	50 % (Wh)	100 % (Wh)
60	401	690	865	1310
40	346	549	664	957
30	321	483	571	793
20	305	425	487	634
8	274	331	360	422

Taulukosta 1 voidaan huomata kuinka 60 watin lähetysteholla 10 % ja 100 % käyttöasteen välillä on erittäin suuri ero radioyksikön tehonkulutuksessa. Eroa on $1310 W - 401 W = 909 W$. Tämä on noin 70 % maksimikuorman lähetystehosta. Tämä vahvistaa myös Elisalla tiedossa olevan ajatuksen siitä, että LTE radioiden tehonkulutus on erittäin vahvasti riippuvainen sen hetkisestä kuormasta. Tässä vaiheessa ei ole tarpeellista käydä radioiden kulutusta tämän tarkemmin läpi. Aiheeseen palataan myöhemmin luvussa 5, jossa esitellään keinoja sähkönkulutuksen pienentämiseen.

Voimalaitteiden hyötysuhde on asia, joka ei aivan ensimmäisenä tule mieleen kun aletaan etsiä keinoja säästää sähkölaskussa. Mutta kuten työssä on aiemmin todettu, matkapuhelinverkot kuluttavat todella paljon sähköä ja tällöin myös pienillä asioilla on vaikutusta. Pelkästään Elisan radioverkon laitteiden teho on useita megawatteja. Jos voimalaitteen hyötysuhde on 90 %, hukkaan menisi vuositasolla useita satoja tuhansia euroja. Summa on erittäin suuri, mutta asia ei kuitenkaan aivan ole näin yksioikoinen. Esimerkiksi niissä tilanteissa, joissa Elisa on vuokralaisena vuokraajan tiloissa, ei Elisa maksa välittömästi voimalaitteen hyötysuhteesta johtuvaa häviötä. Toisaalta taas kun Elisa vuokraa toiselle toimijalle tilojaan, maksaa Elisa tällöin myös heidän laitteidensa aiheuttaman häviön. Näiden tietojen pohjalta voidaan todeta, että voimalaitteiden hyötysuhteella on iso merkitys vuositasolla Elisan sähkölaskun suuruuteen.

Voimalaitteiden valmistajat ilmoittavat markkinointimielessä hyötysuhteet optimaalisissa tilanteissa. Nämä eivät kuitenkaan aina vastaa todellisuutta, sillä hyötysuhteet saavutetaan ainoastaan tietyllä kuormalla ja jännitetasolla. Tasasuuntaajat ovat yleensä suunniteltu siten, että ne antavat maksimaalisen hyötysuhteen todella korkealla kuormalla. Tämä on matkapuhelinverkon kannalta huono asia, sillä korkea kuormitusta verkossa ilmenee vain muutamina tunteina päivästä. Näin ollen voimalaitteisto toimii huonolla hyötysuhteella suurimman osan päivästä. Elisalla on käytössään voimalaitteita, joille ilmoitetaan hyötysuhteeksi noin 91 % (Power-one 2003). Elisän omien mittausten mukaan tämä ei kuitenkaan toteudu todellisuudessa. Matalalla kuormalla esimerkkitapauksessa hyötysuhteeksi muodostui $\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{4483 \text{ W}}{5310 \text{ W}} = 0,84$. Korkeammalla kuormalla vastaavalla tavalla lasketuksi hyötysuhteeksi saatiin 0,88. Eroa eri tapauksilla on siis neljä prosenttiyksikköä. Korkeammalla kuormalla päästään kohtalaisen lähelle ilmoitettua hyötysuhdetta, mutta eroa siihen on silti kolme prosenttiyksikköä.

Akkujen purkautumisesta (*Self discharge*) aiheutuu kustannuksia sähkönkulutuksen kautta. Tyypillisesti akkujen purkautumisnopeus on verrannollinen akun lämpötilaan. Mitä lämpöisempi akku on, sitä nopeammin akun virta purkautuu. Purkautumisvirrat ovat kuitenkin kohtalaisen pieniä, mutta toisaalta akkuja on Elisän tukiasemapaikoilla sen erittäin paljon. Akkujen tiedot ilmoitetaan yleensä 20 celsiusasteen lämpötilassa ja tyypillinen akun purkautumisaika on tällöin yli vuoden. Purkautumisaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu siitä, kun täysi akku on purkautunut 50 % varukseen. Jos akun lämpötila nousee 40 celsiusasteeseen, on akkujen purkautumisaika tällöin noin neljä kuukautta. Tämä on merkittävästi lyhyempi. Usein käytetyn 12 akkuisen järjestelmän purkautumisteho jää kuitenkin vain 0,02 wattiin, joten kustannuksia tästä ei vuositasollakaan hirveästi muodostu. Nämä ovat tosin valmistajan ilmoittamia purkautumisaikoja, joten todellisuudessa purkautumisajat saattavat myös olla jotain muuta.

Jäähdytys ja lämmitys ovat suuria sähkönkuluttajia matkapuhelinverkossa. Suomen ilmasto-olosuhteet ovat kuitenkin siinä mielessä hyvät tässä suhteessa, että kesät eivät ole kovin kuumia ja vastaavasti talvet varsinkaan eteläisessä Suomessa eivät ole kylmiä. Tukiasemakopeissa on sähköpatterit, joita ohjataan termostaatilla. Tällöin patterit lämmittävät koppia talvella, jos sisälämpötila laskee alle asetetun lämpötilan. Lämmitystä tarvitaan tukiasemapaikoilla, sillä osaa radioverkon laitteista ei ole tehty kestämään kylmiä olosuhteita. Kylmässä niiden toimintavarmuus heikkenee ja riittävän kylmässä laitteet eivät toimi enää ollenkaan. Myös akkujen vuoksi tukiasemapaikoilla on oltava lämmitys. Akustot nimittäin menevät pilalle, jos ne joutuvat olemaan pitkiä aikoja liian kylmässä. Samasta syystä akustojen viilennys on hieman ongelmallista, sillä akkuihin ei saa puhaltaa liian kylmää ilmaa, etteivät niiden lämpötila putoa liian alas. Vastaavasti akkujen lämpötila ei saa nousta liian korkealle, sillä akut tuhoutuvat myös liian korkeassa lämpötilassa.

Lämmityksen kuluttamaa sähkön määrää ei Elisalla ole toistaiseksi tutkittu vielä kovin paljoa, mutta radio- ja voimalaitteiden huonon hyötysuhteen takia lämmitykselle ei ole juurikaan tarvetta. Aiemmin lasketun hyötysuhteen tilanteessa pelkästään voimalaite on lämmittänyt tukiasemapaikkaa noin 1 kW:n teholla. Voimalaitteen lisäksi myös sisällä olevat radiolaitteet lämmittävät tukiasemapaikkaa. Taulukossa 1 esiteltiin yhden LTE-radioyksikön sähkönkulutusta. 60 W:n lähetystehon ja 30 % käyttöasteen tilanteessa kyseinen radio lämmittäisi tukiasemakoppia noin 600 watin teholla. Radioyksiköitä voi olla sisällä useita, jolloin lämpökuorma voi olla melkoinen.

Vaikka Suomen kesät eivät aivan hirveän kuumia olekaan, tarvitsee tukiasemapaikkoja silti viilentää kesäisin. Kuten lämmityksen kanssa, myös jäähdytystä tarvitaan, jotta tukiasemapaikkojen lämpötila pysyisi sopivalla tasolla. Elektroniikka on herkkää myös kuumalle ilmalle. Elisalla on käytössään kolmenlaista viilennystä: passiivinen, kanavapuhaltimella toimiva ja jäähdytyskoneella toimiva viilennys. Tehottomin ja samalla halvin näistä on passiivinen jäähdytys kun taas tyypillisesti tehokkain ja kallein on jäähdytyskoneella toimiva viilennys. Passiivinen viilennys tarkoittaa sitä, että tukiasemapaikalla ei ole mitään viilennykseen tarkoitettua laitetta. Tällöin lämmin ilma sekoittuu itsestään muuhun ilmamassaan ja lämpöenergia poistuu tilasta. Passiivinen viilennys ei ole tehokas jäähdytyskeino, mutta toimii esimerkiksi tapauksissa, joissa tukiasemalaitteisto on isossa tilassa. Tällöin lämpö pääsee sekoittumaan isompaan ilmamassaan. Kerrostalon ullakko-tila voi olla tällainen paikka, jossa riittää passiivinen viilennys. Tällöin tulee huolehtia muun muassa siitä, ettei lämpökuorma ole liian pistemäinen, jottei siitä aiheudu ongelmia esimerkiksi talvella katolla sulavan veden takia.

Kanavapuhaltimia Elisalla on käytössä kahdenlaisia: vaihtovirralla (*AC, Alternating Current*) ja tasavirralla (*DC, Direct Current*) toimivia. DC:lla toimivat puhaltimet jakautuvat vielä kahteen eri kategoriaan: hiiliharjallisiin ja hiiliharjattomiin. Hiiliharjattomista käytetään nimitystä EC (*Electronically Commutated*) (Ebmpapst 2017). EC puhaltimet ovat näistä parhaita hyötysuhteeltaan ja eroa esimerkiksi AC puhaltimiin on noin 30 % (Ebmpapst 2017). Kanavapuhaltimet pyörivät kesäaikaan lähes ympäri vuorokauden, joten myös kanavapuhaltimen hyötysuhteella on merkitystä sähkönkulutukseen.

Kanavapuhaltimilla siirretään tukiasemapaikalla joko lämmintä ilmaa ulos, kylmää ilmaa sisälle, tai näitä molempia. Ensimmäisessä tapauksessa tukiasemapaikalla on korvausilmaritilä, josta tukiasemapaikan ulkopuolelta imeytyy alipaineen ansiosta viileämpää ilmaa sisälle ja näin ollen tukiasemapaikan lämpötila laskee. Toisessa tapauksessa tukiasemapaikalla on ritilä, josta ylipaine työntää ilmaa ulos ja tämän ansiosta tukiasemapaikka viilenee. Viimeisessä tapauksessa toinen kanavapuhallin imee kylmää ilmaa tilaan ja toinen kanavapuhallin puhalltaa kuumaa ilmaa ulos. Mitä suuremmaksi saadaan sisään tulevan ja ulos menevän ilman lämpötilaero, sitä paremmin puhaltimet viilentävät. Tämä perustuu siihen, että ulos puhallettavaan ilmamassaan sitoutuu tukiasemalaitteiden tuottamaa lämpöenergiaa. Näin ollen mitä kuumempaa ilma on ulospuhallusvaiheessa, sitä enemmän energiaa siihen on sitoutunut.

Elisalla on asennettuna joihinkin tukiasemapaikkoihin sähkö- ja lämpötilamittareita, joilla nähdään lähes reaaliajassa tietoja tukiasemilta. Näiden tietojen avulla voidaan analysoida kuinka hyvin esimerkiksi jäähdytys toimii kyseisillä tukiasemilla. Elisän yhdellä tukiasemapaikalla päivien 14.7-20.7.2017 välisenä aikana kanavapuhallin pysähtyi keran vuorokaudessa noin tunnin ajaksi. Muuna aikana kanavapuhallin puhalsi noin 500 watin teholla. Tarkasteluajanjakson ulkolämpötilan kuumin hetki oli 22,7 celsiusastetta ja viilein hetki oli 5,9 astetta (Foreca 2017). Tarkastelujakson ulkolämpötilan keskiarvo oli noin 14 celsiusastetta. Silti tukiasemapaikan lämpötila ei laskenut alle 23 celsiusasteen, edes tuona viileimpänä hetkenä. Vastaavasti kuumimman hetken aikaan tukiasemapaikalla oli 37 celsiusastetta. Kanavapuhallin ei siis ole kovin tehokas viilennystapa, mutta mielestäni tämänkaltaisissa paikoissa se riittää Suomen ilmastossa.

Jäähdytyskoneella tehtävä viilennys on kaikista näistä kolmesta keinosta tehokkain. Jäähdytyskone taas kuluttaa käydessään merkittävästi enemmän sähköä kuin kanavapuhallin. Jäähdytyskone kuluttaa myös niin sanotussa tyhjäkäyntitilassa jonkin verran sähköä. Elisän joissain tukiasemapaikoissa on energiamittarit mittaamassa jäähdytyskoneiden sähkönkulutusta. Näissä kohteissa tyhjäkäynti teho on hieman yli 100 wattia ja kylmäkoneen käydessä laite vie noin 2,5 kWh. Jäähdytyskone käy lämpiminä päivinä monia lyhyitä pätkiä. Edellisen esimerkin 22,7 celsiusasteen vuorokautena toisen mittapaikan kylmäkone on käynnistynyt 14 kertaa ja keskimääräinen käyntiaika on noin 10 minuuttia. Erikoisen fakta tässä on kuitenkin se, että kanavapuhallin on tuona päivänä kuluttanut enemmän sähköä kuin mitä jäähdytyskone. Kanavapuhallimen kulutus on ollut tuona päivänä 9,60 kWh, kun taas jäähdytyskone kulutti 8,16 kWh. Tukiasemapaikat ovat kuitenkin erilaisia, joten pelkästään kahta paikkaa vertailemalla ei voida vetää johtopäätöksiä näiden laitteiden paremmuudesta. Esimerkiksi kanavapuhallimella varustetulla tukiasemapaikalla kanavapuhallimien ilmanotto on kopin eteläpuoleisella sivulla. Tällöin auringonpaiste lämmittää tämän seinustan ympäröivää ilmaa lämpöisemmäksi ja tämä lämpöenergia siirtyy ilmassaan mukana sisälle. Tämä osaltaan selittää sitä miksi kyseisellä tukiasemapaikalla kanavapuhallin ei kykene laskemaan lämpötilaa alaspäin.

Tukiasemapaikoilla kuluttaa sähköä myös siellä vierailevat henkilöt. Asentajat ja huoltomiehet käyttävät tarvittaessa sähkötyökaluja, jotka kuluttavat sähköä. Tätä ei mielestäni voida kuitenkaan laskea säästökohteeksi, mutta on kuitenkin hyvä tiedostaa että myös tukiasemapaikoilla vierailevat henkilöt kuluttavat siellä sähköä. Tukiasemapaikan valaistus sen sijaan on yksi mahdollinen sähkönkulutuskohte. Jos tukiasemapaikalta poistuvilta henkilöiltä jää valot päälle kun he poistuvat paikalta, jäävät valot todennäköisesti pitkäksi aikaa päälle. Esimerkiksi valojen kytkeminen liiketunnistimien perään voisi olla ratkaisu tämän ongelman poistamiseen.

Omien tukiasemapaikkojen ylläpito aiheuttaa myös juoksevia kustannuksia Elisalle. Ylläpitoa tukiasemapaikoilla vaatii monet asiat. Osa on säännöllisiä ylläpitotoimenpiteitä ja osa on vikaantumisesta johtuvaa. Tyypillinen säännöllinen ylläpitotoimenpide on tuulet-

timien ja jäähdytyskoneiden suodattimien vaihtaminen. Tavallisen tukiasemapaikan kanavapuhaltimien suodattimet vaihdetaan kerran kahdessa vuodessa. Paikoissa joissa on myös runkoverkon laitteistoa vaihtamisväli on vuosi. Tämä selittyy suuremmilla tuulettimilla, jolloin myös likaa kertyy enemmän. Jäähdytyskoneiden huoltaminen tapahtuu enemmän vikapohjaisesti, mutta myös kylmäaineiden tarkastaminen tulee tehdä tietyin väliajoin. Elisalla on kuitenkin pyrkimyksenä päästä jäähdytyskoneista eroon ja korvata ne kanavapuhaltimilla. Tämä osaltaan myös pienentäisi juoksevia kustannuksia, sillä kylmälaitteet ovat herkempiä vikaantumaan kuin yksinkertainen kanavapuhallin.

Akustojen vaihdossa on myös pyritty säännöllisyyteen, mutta niitä joudutaan vaihtamaan myös ennen vaihtoajan täyttymistä. Akustoissa pyritään seitsemän vuoden vaihtoaikaan, mutta on ollut ainakin yksi tapaus, jossa akustot on jouduttu vaihtamaan jo alle vuoden jälkeen. Kyseisessä tapauksessa Elisasta riippumattoman toimijan vuoksi tukiasemapaikan jäähdytys oli pysäytetty koko kesäksi, jolloin tukiasemapaikan lämpötila oli ollut todella korkea. Korkea lämpötila oli tuhonnut akut yhden kesän aikana, jonka jälkeen ne täytyi vaihtaa. Voimalaitteissa on toiminto, joka tekee akuille kolme kertaa vuodessa testin, jolla testataan akuston kykyä varata energiaa. Jos testi osoittaa, että varauskyky on heikentynyt, joudutaan akut vaihtamaan jo ennen määräajan täyttymistä.

Myös voimalaitteet vaatii silloin tällöin huoltamista. Voimalaitteissa on tasasuuntaajat, jotka saattavat mennä rikki. Tasasuuntaajien rikkoutuminen on siinä mielessä huono asia, että tällöin tukiasemalaitteille ei välttämättä riitä riittävästi virtaa. Tätä varten Viestintävirasto (2014) on kuitenkin määrännyt, että tukiasemien voimalaitteissa tasasuuntaajia on oltava N+1 kappaletta. Tämä tarkoittaa sitä, että voimalaitteissa on oltava aina yksi tasasuuntaaja enemmän kuin mitä tukiasemalaitteiston tehon vuoksi tarvittaisiin. Tämän ansiosta yhden tasasuuntaajan rikkoutuminen ei aiheuta häiriötä tukiasemalaitteistoon. Voimalaitteet ovat myös kytkettynä verkkoon ja niiden lähettämät virheilmoitukset ovat nähtävissä etänä. Näiden ilmoitusten avulla voidaan havaita milloin laitteisto tarvitsee huoltoa.

Osa tukiasemapaikoista on myös sellaisia, joihin tarvitsee olla pääsy ympäri vuoden. Esimerkiksi tukiasemapaikat joissa on runkoverkon laitteita, ovat tällaisia paikkoja. Vian ilmestyessä näihin on päästävä nopeasti. Tällöin esimerkiksi talvella joudutaan aarimaan tie auki tämän kaltaisille tukiasemapaikoille. Vastaavasti kesällä osalla tukiasemapaikoista joudutaan hoitamaan nurmikkoja, josta aiheutuu kustannuksia. Valitettavasti myös ilki-valta työllistää tukiasemapaikkojen omistajia. Tukiasemapaikoilla tapahtuu jonkin verran ilki-valtaa ja niiden jälkiä joudutaan korjaamaan aina aika ajoin.

Myös omista tukiasemapaikoista joudutaan usein maksamaan vuokraa. Mastopaikoissa Elisa maksaa vuokraa tukiasemapaikan alla ja välittömässä läheisyydessä olevasta maa-alueesta vuokraa maanomistajalle. Tällä pyritään korvaamaan maanomistajalle menetettyä tuloa siitä, ettei alueella voida esimerkiksi kasvattaa puustoa normaalisti. Samoin

muussa kuin Elisan omistamassa kiinteistössä sijaitsevasta tukiasemapaikasta joudutaan maksamaan vuokraa kiinteistönomistajalle.

3.2 Vuokrattujen tukiasemapaikkojen juoksevat kustannukset

Matkapuhelinverkkoalalla Suomessa on yleistä, että operaattorit vuokraavat toisiltaan tukiasemapaikkoja. Jos tukiasemapaikkoja ei vuokrattaisi, joutuisi jokainen operaattori rakentamaan kaikki omat tukiasemapaikkansa ja tämä tulisi investointikustannusten näkökulmasta erittäin kalliiksi. Eikä se olisi muutenkaan järkevää, sillä esimerkiksi maaseudulla hyvät tukiasemapaikat saattavat olla harvassa ja tällöin operaattorit joutuisivat rakentamaan samalle alueelle omat mastot. Toinen vaihtoehto olisi se, että mastoja rakennettaisiin huonoille paikoille, jolloin niitä täytyisi olla useampia. Näin ollen operaattoreiden on järkevää toimia niin vuokraajana kuin vuokralaisena.

Tällä hetkellä Suomessa toimii kolme suurta matkapuhelinoperaattoria. Näiden lisäksi on myös lukuisia pienempiä paikallisia puhelinyhtiöitä (Finnet 2017). Omien tukiasemapaikkojen lisäksi Elisa on vuokralaisena noin 20 toimijan tiloissa. Näistä noin 20 toimijasta 2 toimijaa on Elisan matkapuhelinverkon juoksevien kustannusten kannalta tärkeimpiä, joten tässä työssä keskitytään näihin kahteen toimijaan hieman tarkemmin. Muita vuokraajia käsitellään tässä työssä yleisemmällä tasolla. Työn julkaisemisen takia myöskään vuokraajia ei haluta mainita nimellä, vaan heistä käytetään tässä työssä termejä vuokraaja 1 ja vuokraaja 2.

Näillä kahdella vuokraajalla on hyvin erilainen lähestymistapa omien tukiasemapaikkojen hinnoittelun suhteen. Vuokraaja 1 on laatinut laskurin, joka tiettyjen kaavojen avulla laskee tukiasemapaikalle hinnan. Laskurista ei näe suoraan, miten mitkään muutokset vaikuttavat vuokrahintaan, mutta muuttamalla yhtä parametria kerrallaan voidaan havaita, kuinka muutokset vaikuttavat. Vuokraaja 2 sen sijaan on laatinut kappalehinnoittelun, josta voidaan nähdä suoraan, miten vuokrahinta muodostuu. Seuraavaksi esitettävät tiedot ovat peräisin Elisan sisäisistä työkaluista ja laskutusdokumenteista. Ne ovat tarkoitettu ainoastaan Elisan sisäiseen käyttöön, jolloin näiden tietoja ei löydy lähdeluettelosta.

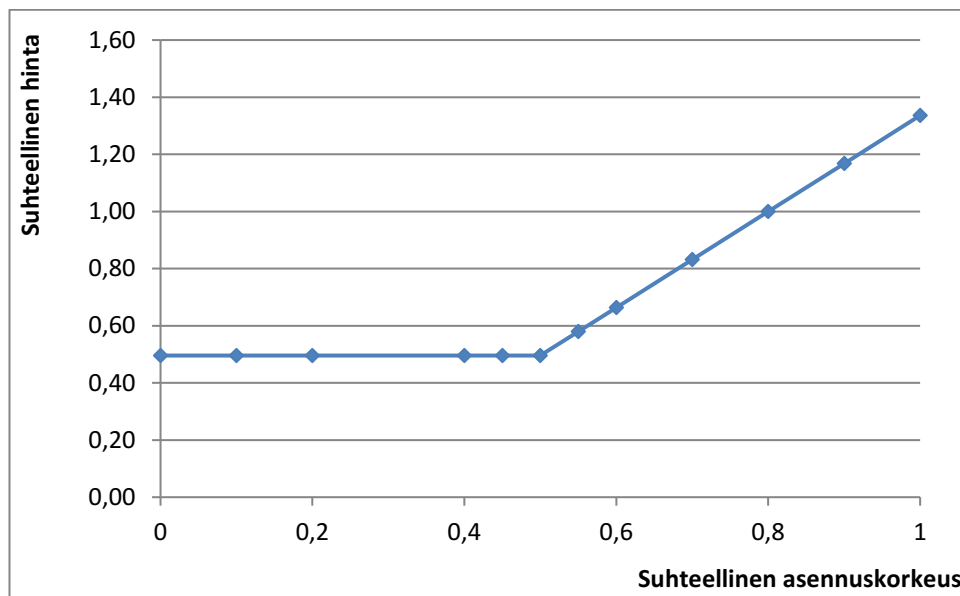
3.2.1 Vuokraaja 1

Kuten todettua, vuokraaja 1 hyödyntää vuokrahintojen muodostamisessa laskuria, jonka kaavat eivät ole Elisalle nähtävissä. Laskurin avulla voidaan tarkastella miten mitkään muutokset vaikuttavat kokonaishinnan muodostumiseen. Laskurissa on kuitenkin hyvin monta eri parametria, jotka vaikuttavat toisiinsa. Pelkästään antennien aiheuttamaan kustannukseen vaikuttaa lähes kymmenen parametria. Kaavat ovat vielä linkitetty toisiinsa siten, että toisen komponentin vaikutus kokonaishintaan nousee ja samalla se laskee toi-

sen komponentin vaikutusta kokonaishintaan. Tietojen salaisuudesta johtuen tässä kohdassa ei esitetä euromääräisiä hintoja, vaan parametrien vaikutus kokonaishintaan esitetään suhteellisena hintana vaihtelevaan minun valitsemaan arvoon.

Seuraavaksi esitettävät kuvaajat on saatu siten, että laskuriin syötetty konfiguraatio on pidetty muuten vakiona ja ainoastaan yhden parametrin arvoa on muutettu. Eri kaavojen linkityksestä johtuen tämä ei anna absoluuttisesti tarkkoja arvoja. Linkitysten vaikutus tuntui olevan kuitenkin kohtalaisen pieni. Suuruusluokka hieman tilanteesta riippuen oli korkeimmillaan noin prosentin luokkaa, joten mielestäni niitä ei tarvitse ottaa huomioon tässä työssä. Vuokraaja 1 käyttämän laskurin hintaan vaikuttaa vielä erikseen määräytyvä alennusprosentti. Koska alennusprosentti on suhteellinen luku, se ei näy seuraavaksi esitetyissä kuvissa millään tavalla. Vaikka alennusprosentti vaikuttaa absoluuttisiin arvoihin, ei sitä tässä työssä voida käsitellä.

Kuvassa 6 esitetään mastokohteessa antennien asennuskorkeuden vaikutusta hintaan. Mastokohteiksi vuokraaja 1 on määritellyt kohteet, joissa on maassa seisova teräsristikko rakenne. Mastot voivat olla vapaasti seisovia, mutta yleensä mastot ovat harustettuja.



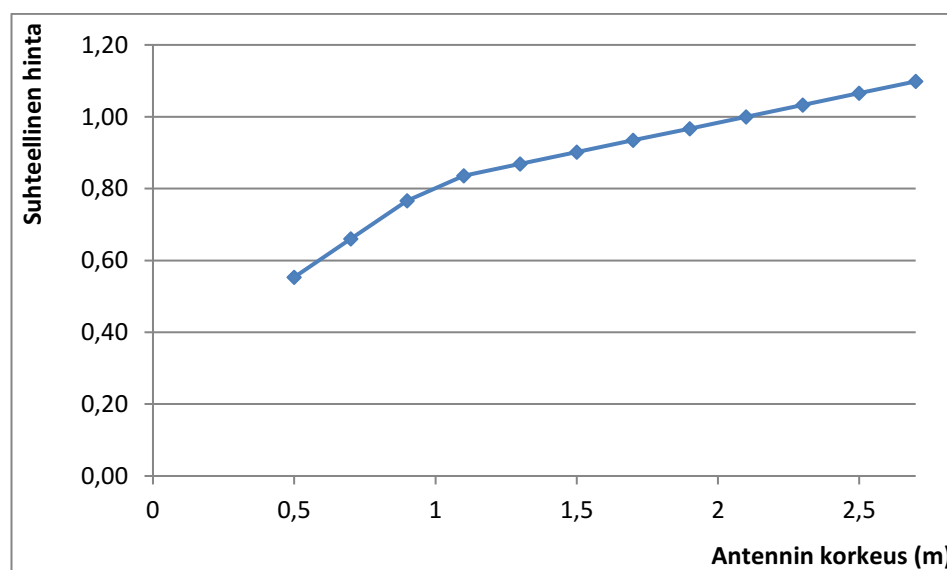
Kuva 6 Kustannukset asennuskorkeuden suhteen.

Kuvasta 6 voidaan havaita, että asennuskorkeus ei vaikuta hintaan ennen tiettyä pistettä. Tämä piste vaikuttaisi olevan puolet maston pituudesta. Eli 100 metrin mastoon antennija asennettaessa hinta pysyy samana 50 metriin saakka. Vastaavasti 80 metrin mastossa hinta pysyy samana 40 metriin saakka. Kuvaan 6 on valittu skaalaus siten, että hinta on 1 kun asennus korkeus on 0,8 maksimaalisesta asennuskorkeudesta. Tällöin voidaan huomata, että alle 0,5 korkeuteen asennettujen antennien hinta on puolet 0,8 korkeuden hinnasta. Tämän havainnon pohjalta voidaan todeta, että kulmakerroin on kohtalaisen jyrkkä 0,5 suhteellisen asennuskorkeuden jälkeen. Kulmakertoimeksi saadaan:

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{1,34 - 0,5}{1 - 0,5} = 1,7. \quad (1)$$

Kulmakertoimen avulla voidaan laskea kuinka paljon siirtymä x-suunnassa vaikuttaa y-suuntaan. Nyt kun kulmakerroin on yli yksi, muuttuu y-suunta hyvin nopeasti siirryttäessä x akselilla. Näin ollen voidaan todeta, että puolen välin jälkeen asennuskorkeus vaikuttaa merkittävästi antennista syntyvään vuokratustannukseen. Tämä on Elisän radioverkon juoksevien kustannusten kannalta hieman ongelmallinen asia, sillä usein antennit pyritään sijoittamaan mahdollisimman korkealle mastoon, jotta palvelualue saataisiin mahdollisimman isoksi (Agbinya et al. 2013). Tämä pätee erityisesti maaseudulla, sillä kaupunkialueella ei voida käyttää suuria palvelualueita kapasiteettitarpeen takia. Toisaalta korkeat mastot kaupunkialueella on hyvin harvinaisia ja kaupunkialueella suurin osa tukiasemapaikoista sijaitsee kiinteistöissä.

Vuokraaja 1 vuokraa Elisalle mastokohteiden lisäksi myös pylväskohteita. Pylväät ovat yleensä 20–50 metriä korkeita kohteita. Mastot ja pylväät erottavat toisistaan se, että mastot ovat teräsristikkorakenteisia ja pylvässä on yleensä sileä osuus ennen pylvään päässä olevaa teräsristikkorakennetta. Pylvässä asennuskorkeuteen vaikuttaminen on huomattavasti hankalampaa kuin mastossa, sillä antennit asennetaan yleensä nimenomaan siihen päässä olevaan teräsristikkorakenteeseen. Laskurin mukaan pylväskohteen antennien asennuskorkeudella ei kuitenkaan ole vaikutusta niistä aiheutuvaan kustannukseen. Myöskään pylväskohteen asennuskorkeudella ei ole vaikutusta hintaan. Näin ollen vaikuttaisi, että pylväskohteessa on jokin vakiokerroin, jonka mukaan hinta muodostuu. Laskurin tarkempi tutkiminen osoittaa, että pylväskohteen aiheuttama kustannus on hyvin lähellä sama kuin mastokohteessa suhteellinen asennuskorkeus 0,8. Eli toisin sanoen jos mastokohteessa antennit asennetaan 0,8 suhteelliseen korkeuteen, aiheuttaa se saman kustannuksen kuin mikä tahansa asennuskorkeus pylväskohteessa. Kuvassa 7 esitetään antennin fyysisen korkeuden vaikutusta vuokrahintaan.



Kuva 7 Kustannukset antennin korkeuden suhteen.

Kuvasta 7 voidaan havaita kuinka hinta kasvaa aluksi suuremmalla kulmakertoimella, mutta tietyn pisteen jälkeen kulmakerroin muuttuu loivemmaksi. Tämä piste vaikuttaisi sijaitsevan yhden metrin kohdalla. Alle metrin korkeille antennille kulmakertoimeksi saadaan kaavalla 1 laskettuna: $k = \frac{0,77-0,55}{0,9-0,5} = 0,55$. Yli metrin olevilla antennilla kulmakerroin taas on: $k = \frac{1,10-0,87}{2,7-1,3} = 0,16$. Kulmakertoimien ero on suuri, mutta se on kuitenkin Elisalle positiiviseen suuntaan. Elisan kannalta huonompi olisi, jos kulmakerroin nousisi metrin jälkeen, sillä suurin osa käytetyistä antennista on yli metrin korkuisia. Yleensä antennin korkeus on suhteessa sen taajuuskaistaan ja antennivahvistuksen (Tongyu Communication 2014; Kathrein 2017). Tämän vuoksi Elisan matkapuhelinverkossa käytettyjen antennien korkeudet ylittävät tämän metrin käännekohdan. Alle metrin korkuisia antennia käytetään lähinnä erikoistapauksissa. Esimerkki tämän kaltaisesta erikoistapauksesta on kerrostalokorttelin sisäpihalle suunnatut antennit. Tällöin ei antennien vahvistuksen tarvitse olla suuri ja yleensä tällaisessa tapauksessa käytetään korkeita taajuuksia. Korkeita taajuuksia käytetään tämän kaltaisissa tilanteissa sen takia, että peittoalueen ei tarvitse olla suuri eikä signaalin tarvitse läpäistä esteitä (Agbinya et al. 2013).

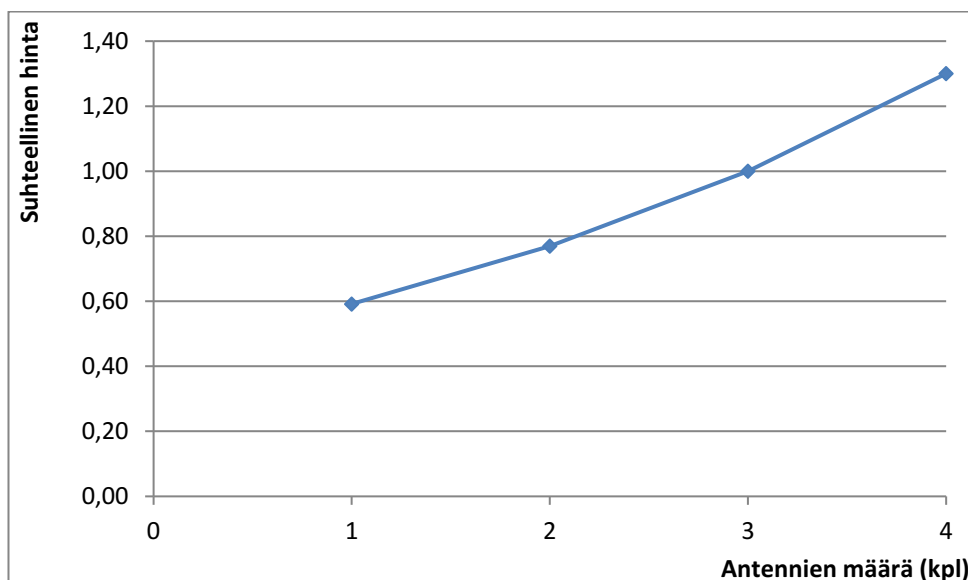
Tyypillisesti Elisan matkapuhelinverkossa käytettyjen antennien pituudet ovat noin 1,5 metriä, noin 2 metriä tai noin 2,5 metriä (Tongyu Communication 2014; Kathrein 2017; Huawei 2016). Näiden korkeuksien sisällä on merkittäviä eroja antennin korkeuden vaikutuksessa hintaan. Esimerkiksi jos vertaa 2,5 metrin ja 1,5 metrin antennien aiheuttamia kustannuksia, niin käytetyllä esimerkki konfiguraatiolla hintaero olisi 17 %. Todellisuudessa valintaa ei kuitenkaan usein tehdä 2,5 metrin ja 1,5 metrin antennien väliltä, sillä kyseisten antennien ominaisuudet eroavat toisistaan merkittävästi. Yleensä valinta tehdään 1,5 metrin ja 2 metrin antennin väliltä tai 2 metrin ja 2,5 metrin antennin väliltä. Tällöin hintavaikutus on puolet eli 8,5 %.

Kuten todettua, antennivahvistus on tyypillisesti suoraan verrannollinen antennin korkeuteen ja käytettyyn taajuuteen. Matalille taajuuksille on vaikeampi saada vahvistusta joutuen pidemmästä aallonpituudesta (Agbinya et al. 2013; Kelly et al. 2015). Tästä syystä 800–900 MHz:n taajuuksille halutessa isompaa antennivahvistusta joudutaan käyttämään korkeampia antennia. 8,5 %:n eroa miettiessä tulee kuitenkin huomioida se, että 2,5 metrin antenna käytettäessä saadaan vain yhden desibelin hyöty verrattuna 2 metrin antenniin (Tongyu Communication 2014). Peittoalueen kasvun lisäksi antennivahvistus mahdollistaa myös paremman häiriönhallinnan. Vahvistuksen kasvaessa säteilyn suuntakuvio muuttuu terävämmäksi, jolloin antennin keila on helpompi rajata tietylle alueelle. Tämä parantaa ympärillä olevan radioverkon toimintaa pienemmän häiriön ansiosta. Joten radioverkkosuunnittelija joutuu myös miettimään tätä tehdessään valintaa antennin korkeudesta.

Vuokraaja 1:n laskurissa yhtenä parametrina on antennin leveys. Antennin leveyden vaikutusta hintaan on kuvattu liitteessä A. Antennien leveys vaikuttaa hintaan hieman samalla tavalla kuin kuvassa 6 esitetty antennien asennuskorkeus. Antennien leveydellä on

sama hinta tiettyyn pisteeseen saakka, jonka jälkeen hinta nousee leveyden kasvaessa. Tämä piste vaikuttaisi sijaitsevan 0,5 metrin kohdalla. Tämän jälkeen hinta kasvaa kulmakertoimella $k = \frac{1,0-0,79}{1-0,6} = 0,525$. Suurin osa Elisan käyttämistä matkapuhelinverkon antenneista on leveydeltään alle 0,5 metriä. Jopa osa nykyaikaisista monisädeantenneista on alle 0,5 metriä leveitä (Huawei 2016).

Elisalla on kuitenkin käytössään myös yli 0,5 metrin antenneja. Esimerkiksi yksi aiemmin käytetty antenni on 0,55 metriä leveä (Tongyu Communication 2014). Tämän antennin hintaero alle 0,5 metrin antenniin on 8 %. Kokonaiskuvan kannalta tämä ei kuitenkaan ole kovinkaan merkittävä, sillä näitä antenneja on käytetty harvoissa paikoissa. Tämä antenni on valittu silloin kun tarvitaan kahdeksan antenniporttia, eikä haluta käyttää diplexereitä. Kuvassa 8 esitetään kuinka antennien kappalemäärä vaikuttaa Elisan hintaan vuokraaja 1:n kohteessa.



Kuva 8 Kustannukset antennien kappalemäärän suhteen.

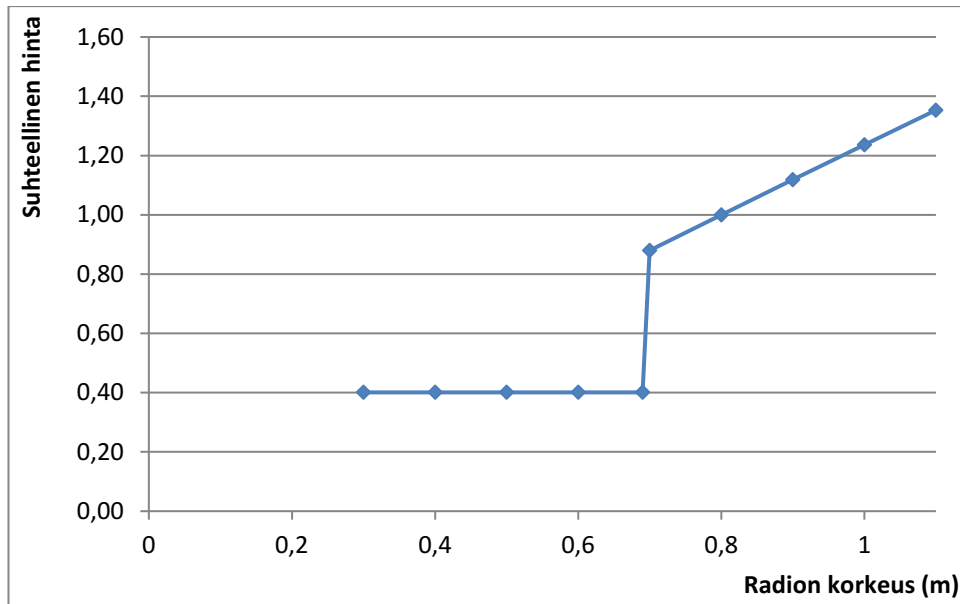
Kuvasta 8 voidaan havaita kuinka antennien määrä vaikuttaa hintaan eksponentiaalisesti kasvaen. Kasvukäyrä ei kuitenkaan ole kovin jyrkkä. Tyypillisesti matkapuhelinverkossa pyritään käyttämään kolmea antennia yhdellä tukiasemapaikalla (Agbinya et al. 2013). Näin ollen Elisaa kiinnostaa eniten kuinka antennimäärän muutos kolmesta kahteen tai kolmesta neljään vaikuttaa vuokrahintaan. Käyrän ollessa eksponentiaalinen ei sille voida laskea kulmakerrointa, mutta tässä tapauksessa mielenkiintoisia pisteitä on sen verran vähän, että ne voidaan käsitellä ilman sen laskemista.

Kuvassa 8 vertailukohdaksi on asetettu tämä tyypillisesti käytetty kolmen antennin konfiguraatio. Jos siirryttäisiin käyttämään kahta antennia kolmen sijaan, kustannukset laskevat 77 prosenttiin alkuperäisestä antennien aiheuttamasta kustannuksesta. Jos taas siirryttäisiin käyttämään neljää antennia kolmen sijaan, kustannukset nousisivat 1,30 kertaisiksi alkuperäiseen nähden. Yhtä antennia käytettäessä kustannukset laskevat vain 0,59

kertaisiksi kolmen antennin konfiguraatioon nähden. Yhden antennin konfiguraatio on kuitenkin sen verran haastava toteuttaa suuressa mittakaavassa, että sellaista käytetään vain hyvin erikoisissa tapauksissa. Esimerkki tällaisesta erikoistapauksesta voisi olla peitto- tai kapasiteettitarve yksittäiselle pienelle alueelle tai kiinteistölle.

Kahden antennin konfiguraatiot ovat yhden antennin konfiguraatioita yleisempiä, mutta niitäkin käytetään kohtalaisen harvoin. Kahden antennin konfiguraation käyttämisen taustalla on usein maantieteelliset syyt. Aikoinaan mastoja on rakennettu paljon valtateiden varsille myös sellaisiin paikkoihin, joissa ei asutusta muuten ole. Tällöin on mahdollisesti laitettu ainoastaan kaksi antennia mastoon tien molempiin suuntiin. Toisena maantieteellisenä syynä kahden antennin konfiguraatioon voidaan pitää tukiasemapaikan sijaintia mäen tai kukkulan juurella. Usein masto- ja pylväskohteet pyritään sijoittamaan alueen korkeimmalle paikalle, mutta tämä ei aina ole mahdollista. Tällöin voi syntyä tilanne, jossa tukiasemapaikan jollain sivulla on mäki esteenä. Sähkömagneettinen säteily ei läpäise sen edessä olevaa mäkeä, joten signaalin olisi edettävä kimpoamalla mäen taakse (Agbinya et al. 2013). Tämän kaltaisessa tilanteessa ei aina ole järkevää laittaa kolmatta antennia, sillä siitä aiheutuu kustannuksia ja se mäen puoleinen antenni saattaa aiheuttaa häiriötä kimpoavilla signaaleilla niihin kahteen muuhun antenniin.

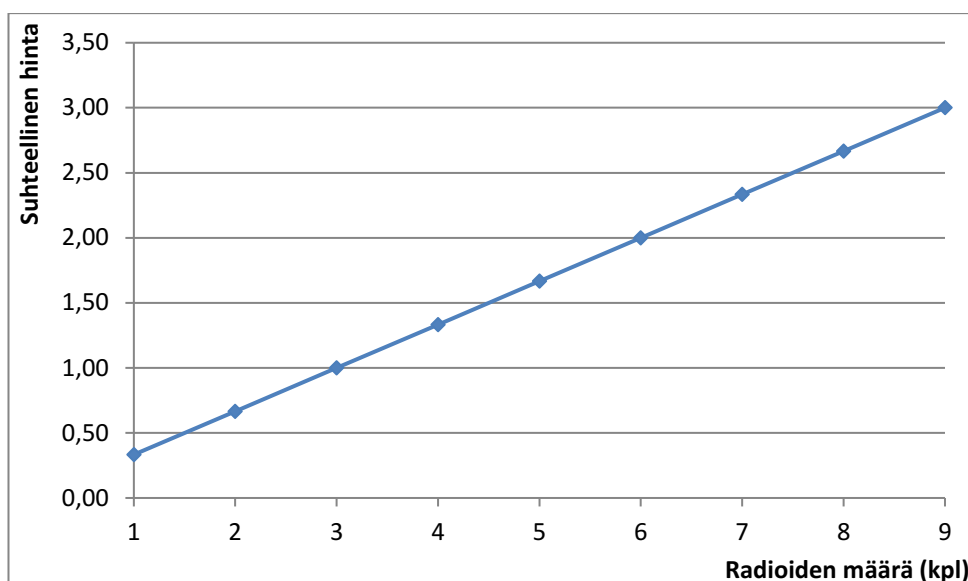
Neljän antennin konfiguraatio taas on kohtalaisen yleinen maaseudulla, jossa tukiasemapaikkoja on harvassa. Neljällä antennilla saadaan alueelle parempi peitto ilman uusien tukiasemapaikkojen rakentamista. Neljän antennin konfiguraatio maksaa kuitenkin lähes kolmanneksen enemmän kuin mitä kolmen antennin konfiguraatio. Radioverkkosuunnittelijan tulisikin tarkkaan miettiä onko neljä antennia todella tarpeen, vai kykenisikö kolmella antennilla takaamaan riittävän peiton siten, että antennit ovat suunnattu järkevästi. Elisan radioverkkosuunnittelijoilla on käytössään myös väestötiheyteen liittyvää tietoa, jolloin antennien suuntaaminen onnistuu niihin suuntiin, joissa käyttäjiä on eniten. Neli-sektoriset tukiasemat sisältävät myös kustannusten lisäksi hieman sähkömagneettiseen säteilyyn liittyviä ongelmia, mutta niitä tullaan käsittelemään myöhemmin tässä työssä. Kuvassa 9 esitetään radion korkeuden vaikutus radioista aiheutuvaan kustannukseen.



Kuva 9 Kustannukset radion korkeuden suhteen.

Kuvasta 9 voidaan havaita kuinka radion korkeus vaikuttaa hintaan hieman samalla tavalla kuin antennin asennuskorkeus. Radion korkeudella ei ole tiettyyn pisteeseen asti vaikutusta hintaan, mutta tämän pisteen jälkeen hinnan käyttäytyminen eroaa kuvan 6 tilanteesta. Kun radion korkeus ylittää tämän pisteen, hinta hyppää uudelle tasolle ja lähtee nousemaan tältä tasolta lineaarisesti. Kokeilujen perusteella vaikuttaisi siltä, että hinta on vakio alle 0,7 metriä korkeille radiolle. 0,69 metriä on vielä suhteellisen hinnan tasolla 0,4, mutta kun korkeus on 0,7 metriä pomppaa hinta 0,88 suhteelliselle tasolle. Nousu on merkittävä, sillä hinta yli kaksinkertaistuu kun radion korkeus ylittää tämän pisteen.

Korkeuden ylittäessä 0,7 metrin kasvaa radion hinta kaavaa 1 hyödyntäen kulmakertoimella $k = \frac{1,35-0,88}{1,1-0,7} = 1,175$. Kasvu tämän pisteen jälkeen on siis myös suurta. Elisan käyttämät radioyksiköt ovat kuitenkin kaikki alle tämän 0,7 metrin. Näin ollen tällä hetkellä radioiden korkeudella ei ole merkitystä vuokrahintaan kun ollaan vuokraaja 1 kohteissa. On kuitenkin muistettava, että tulevaisuudessa radiot voivat olla erimuotoisia kuin tänä päivänä, jolloin ne saattaisivat nousta yli tuon 0,7 metrin pisteen. Toinen vaihtoehto on myös se, että vuokraaja 1 pudottaa tuota rajaa esimerkiksi 0,5 metriin. Tällöin käytetyillä radioilla on merkitystä myös Elisan kannalta. Kuvassa 10 esitetään normaalikokoisten radioiden määrän vaikutusta vuokraaja 1 vuokrakustannuksiin.



Kuva 10 Radioiden lukumäärän vaikutus suhteelliseen hintaan.

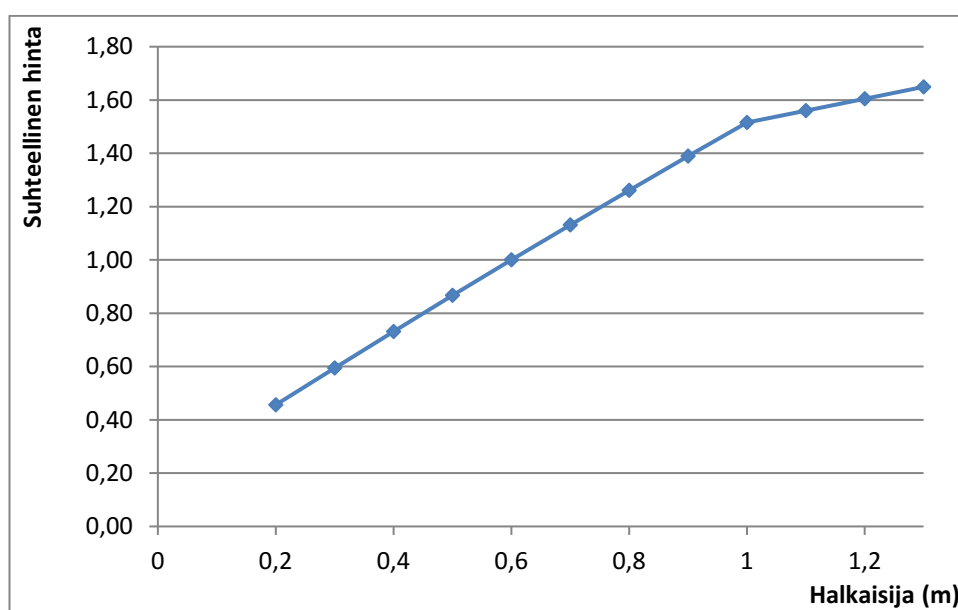
Kuvasta 10 voidaan havaita kuinka hinta on suoraan verrannollinen radioiden määrään. Vuokratustannukset siis kasvavat lineaarisesti radioiden määrän suhteen. Eri laitevalmistajilla on erilainen lähtökohta radioiden toteuttamiseen. Osa laitevalmistajista valmistaa radioita, joilla yhdellä radioilla voidaan toteuttaa kolmisesektoriselle tukiasemapaikalle yksi tekniikka. Kiinteistökohteissa tästä käytetään termiä keskitetty ratkaisu. Osa laitevalmistajista taas valmistaa radioita, joilla toteutetaan ainoastaan yksi sektori. Tällöin kolmisesektoriseen ratkaisuun tarvitaan kolme radiota yhdelle tekniikalle. Tästä puolestaan käytetään kiinteistökohteissa termiä hajautettu ratkaisu. Kaavalla 1 laskettuna radioiden määrä vaikuttaa hintaan kulmakertoimella $k = \frac{2,67-0,33}{8-1} = 0,33$. Kulmakerroin on kohdalaisen matala verrattuna aiempiin tapauksiin. X-akselin arvot kasvavat kuitenkin nopeammin verrattuna aiempiin tapauksiin, joten siitä johtuen myös matalalla kulmakertoimella y-akseli kasvaa nopeasti.

Elisalla on mastopaikoilla tyypillisesti samankaltainen konfiguraatio. Esimerkiksi jos kyseessä on tukiasemapaikka, jossa on kolme eri tekniikkaa: 2G 900 MHz, LTE 1800 MHz ja 3G 2100 MHz. Tällöin tarvittaisiin kolme keskitetyn ratkaisun radiota, kun puolestaan hajautetun ratkaisun radioita tarvittaisiin yhdeksän. Näiden kahden konfiguraation ero hinnassa on 200 %. Ero kuulostaa erittäin suurelta, jota se prosentuaalisesti tietenkin onkin. Absoluuttisilla hinnoilla näiden konfiguraatioiden ero ei kuitenkaan ole niin merkittävä kuin esimerkiksi kuvassa 6 esitetyllä antennien asennuskorkeudella.

Vuokraaja 1 jakaa radiot kahteen kategoriaan koon puolesta. Kuvassa 10 esitettiin niin sanottujen normaalin kokoisten radioiden lukumäärän vaikutus hintaan. Liitteellä A esitetään kuinka niin sanottujen miniradioiden lukumäärä vaikuttaa hintaan. Vuokraaja 1 on määritellyt miniradioksi radioyksikön, jonka koko on pienempää kuin 310 mm x 380 mm x 110 mm. Miniradioiden määrän vaikutus on samanlainen kuin normaalin kokoisten radioiden vaikutus. Näin ollen myös miniradioiden tapauksessa hinta nousee lineaarisesti

radioiden määrän lisääntyessä. Normaalien radioiden ja miniradioiden määrän vaikutuksessa on kuitenkin eroa kulmakertoimessa. Kaavalla 1 laskettuna miniradioiden määrä vaikuttaa hintaan kulmakertoimella: $k = \frac{2,25-0,25}{9-1} = 0,25$.

Tällä hetkellä Elisalla käytössään olevat radiot ovat sen verran suuria, etteivät ne mahdu miniradiolle määriteltyyn kokoon. Laitevalmistajat kuitenkin kehittävät jatkuvasti laitteitaan ja on hyvin mahdollista, että tulevaisuudessa jotkin hajautetun ratkaisun radiot ovat sen verran pieniä, että ne mahtuvat miniradiolle määriteltyyn kokoon. Koska tässä työssä en voi käsitellä absoluuttisia hintoja, en voi ottaa kantaa kuinka paljon säästöä tulisi, jos normaalin kokoiset radiot olisivat miniradioita. Kuvassa 11 esitetään vuokraaja 1 tukiasema-apaikkojen vuokratukustannuksia linkkipeilin halkaisijan suhteen.



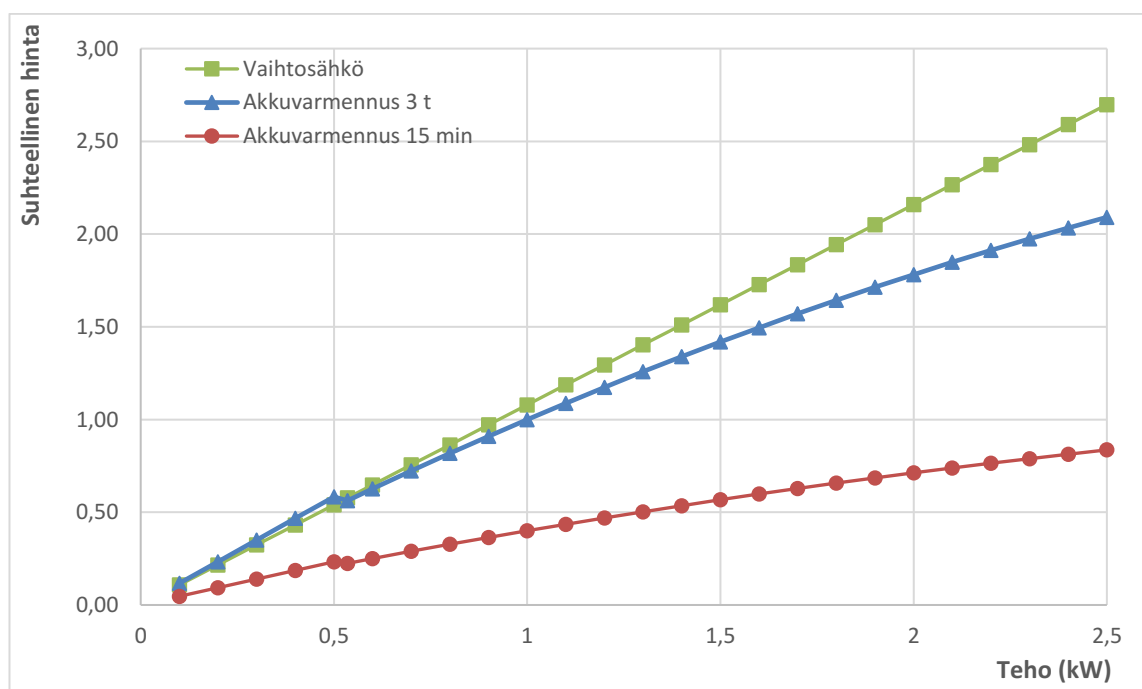
Kuva 11 Kustannukset suhteessa linkkipeilin halkaisijaan.

Kuvasta 11 voidaan havaita kuinka halkaisija tiettyyn pisteeseen saakka vaikuttaa lineaarisesti vuokratukustannuksiin. Piste jossa muutos tapahtuu vaikuttaisi sijaitsevan yhden metrin kohdalla. Linkkipeileissä halkaisija tyypillisesti menee brittiläisen yksikköjärjestelmän jalkojen mukaisesti. Elisalla on käytössään useimmissa kohteissa joko yhden (30,48 cm) tai kahden (60,96 cm) jalan halkaisijalla olevia linkkipeilejä. Joissain erityiskohteissa käytössä on myös kolmen tai neljän jalan halkaisijalla oleva linkkipeili. Nämä ovat kuitenkin selvästi harvinaisempia kuin yhden ja kahden jalan halkaisijan linkkipeilit. Tästä johtuen näiden kahden välinen ero hinnassa on Elisan kannalta mielenkiintoisinta. Ero onkin melkoisen suuri, sillä yhden jalan linkkipeilin aiheuttama vuokratukustannus on 41 % pienempi kuin kahden jalan linkkipeilin. Jos taas haluttaisiin käyttää kolmen jalan linkkipeiliä, olisi sen hinta 39 % enemmän kuin mitä kahden jalan linkkipeilin. Neljän jalan linkkipeili sen sijaan olisi jopa 60 % kalliimpi verrattuna kahden jalan linkkipeiliin.

Linkkipeilin halkaisijan optimointi on tyypillisessä tilanteessa haastavaa, sillä suurempi linkkipeilin halkaisija tuottaa paremman antennivahvistuksen. Kahden maston välillä oleva linkkiyhteys on kuitenkin sen verran tärkeä, että siinä kannattaa mieluummin ottaa varman päälle, eikä pyrkiä hakemaan säästöä sillä riskillä, että linkkiyhteys menisi tukkoon. Linkkiyhteydet ovat vielä erittäin riippuvaisia kelistä. Linkkiyhteyksissä voidaan käyttää jopa yli 20 GHz:n taajuutta, jolloin esimerkiksi sade voi aiheuttaa häiriötä siihen. Paremman antennivahvistuksen myötä suuremmalla halkaisijalla oleva linkkipeili sietää paremmin muun muassa juuri sateen aiheuttamaa häiriötä.

Vuokraaikoilla vuokralainen maksaa myös sähköstä vuokraajan asettaman hinnan. Matkapuhelinverkon laitteisto toimii pääasiallisesti 48 voltin tasajännitteellä. Tätä varten tarvitaan jännitteenalentaaja ja tasasuuntaaja, joilla sähköverkosta saatava sähkö saadaan muutettua tukiasemalaitteistolle sopivaksi. Näiden lisäksi käytetään myös akkuvarmennusta sähkökatkojen varalle. Jos vuokraajalla ei ole vuokraipaikassaan omia voimalaitteita, maksaa hän tällöin vuokraajalle erikseen vaihto- ja tasasähköstä.

Vuokraaja 2 on hinnoitellut vaihtosähkön tietyllä hinnalla suhteessa Elisan ilmoittamaan laitteiden kuluttaman tehoon per kilowattitunti. Koska myöskään tätä lukua ei saa ilmaista tässä työssä, käytetään tästä hinnasta merkintää ”X snt/kWh”. Päivien määrä kuukaudessa vaihtelee, joten selkeyttämisen vuoksi vuokraaja 2 on valinnut kuukauden kestoksi 30 päivää. Näin ollen jos Elisan tukiasemalaitteiston keskimääräinen teho on 2,4 kW vuokraaja 2 tukiasemapaikalla, muodostuu siitä kuukausittain $2,4kW * 24 h * 30 * X \frac{snt}{kWh} = 1728 * X snt$ suuruinen lasku pelkästä vaihtosähköstä. Kuvassa 12 esitetään kuinka tukiasemalaitteiston teho vaikuttaa kustannuksiin.



Kuva 12 Kustannukset suhteessa tukiasemalaitteiston tehoon.

Kuvassa 12 alimpana käyränä on 15 minuutin akkuvarmennuksen käyrä. Keskimäinen käyrä kuvaa kolmen tunnin akkuvarmennusta ja ylimpänä kuvassa on tehon vaikutus vaihtosähkön suhteelliseen hintaan. Molempien akkuvarmennusten käyrä on samanmuotoinen, mutta niiden kerroin vaikuttaisi olevan eri. Molemmissa käyrissä on havaittavissa kuinka ne aluksi kasvavat lineaarisesti, mutta tietyn pisteen jälkeen käyrien kasvu alkaa hidastua. Tämä piste sijaitsee hyvin lähellä 0,5 kW:n kohtaa. Iteroimalla tarkaksi kohdaksi löytyi teho 0,535 kW. Jos oletetaan voimalaitteen jännitteeksi 53,5 voltia (V) tulisi tällöin virraksi 10 ampeeria (A). Näin ollen voidaan todeta että jos vuokraaja 1 tiloihin laitettavien tukiasemalaitteiden virta on alle 10 ampeeria, kasvaa hinta lineaarisesti. Jos virta ylittää 10 ampeeria niin kustannukset kasvavat hidastuvasti. Vaihtosähkön vaikutus suhteelliseen hintaan sen sijaan kasvaa lineaarisesti tämän 0,535 kW:n pisteen jälkeenkin.

Viestintävirasto (2014) on määritellyt, mitkä laitteet tulee olla minkäkin akkuvarmennuksen takana. Peruseriaatteena tässä määräyksessä on se, että LTE-verkon laitteisto saadaan laittaa 15 minuutin akkuvarmennuksen perään ja 2G sekä 3G laitetaan vähintään kolmen tunnin akkuvarmennuksen perään. 3G:tä ei ole välttämätöntä laittaa kolmen tunnin akkuvarmennuksen perään, jos tukiasema ei ole peruspeittokohde tai sieltä löytyy myös 2G tekniikka. Näiden määräysten puitteissa Elisa useimmiten käyttää 15 minuutin akkuvarmennusta LTE-laitteille ja kaikki muut kytketään kolmen tunnin akkuvarmennuksen perään.

Akkuvarmennuksesta aiheutuvan kustannuksen takia sähköstä maksetaan todellisuudessa paljon enemmän kuin mitä omalla tukiasemapaikalla siitä jouduttaisiin maksamaan. Vaihtosähkön hinta on vuokraaja 1 kohteissa suurempi kuin mitä Elisan omissa tukiasemapaikoissa ja tämän lisäksi joudutaan maksamaan myös akkuvarmennuksesta. Esimerkiksi jos laitteiden teho on 1 kW ja käytettäisiin kolmen tunnin akkuvarmennusta, tällöin akkuvarmennuksesta aiheutuva kustannus lähes tuplaa sähköstä aiheutuvan kustannuksen verrattuna pelkkään vaihtosähköön. Kolmen tunnin ja 15 minuutin akkuvarmennuskäyrien tarkempi tutkiminen tuo esiin myös sen faktan, että kolmen tunnin akkuvarmennus on 150 % kalliimpi kuin 15 minuutin. Tämä vaikuttaisi olevan vakio, eikä riippuvainen tehosta. Näin ollen rahallisesti on järkevää käyttää 15 minuutin akkuvarmennusta LTE-laitteille.

Viimeisenä vuokraaja 2 laskurissa on laitepaikkojen tiedot. Matkapuhelinalalla tukiasemalaitteet ovat hyvin pitkälle standardimittaisia ja tyypillinen tukiasemaräkki on sisämitaltaan 19 tuumaa kertaa 19 tuumaa. Ulkomittoina tämänlaisella räkällä on 60 cm kertaa 60 cm. Vuokraaja 2 laskurissa laitepaikan mitoista vaikuttaa ainoastaan leveys ja syvyys. Tällöin korkeudella ei ole merkitystä kustannusten kannalta. Seinälle sijoitettavalla laitepaikalla sen sijaan määrittelevinä tekijöinä ovat leveys ja korkeus. Tyypillisesti myös seinätelineiden koko on vakio ja Elisan käyttämät seinätelineet ovat leveyssuunnassa 60 cm ja korkeussuunnassa 30 cm.

Vaikuttaisi siltä, että lattiapaikat ja seinäpaikat ovat molemmat omalla kustannuskertomella, eivätkä ne myöskään vaikuta toistensa hintoihin. Tämän Elisan useimmiten käytämän seinätelineen hinta on kokonaiskuvan kannalta kohtalaisen pieni, mutta tietenkin pidemmällä aikavälillä myös niiden aiheuttamat kustannukset kasvavat merkittäviksi. Lattiatelineiden hinnat puolestaan ovat kokonaiskuvan kannalta enemmän merkityksellisiä. Ensimmäinen lattialaitepaikka on kalliimpi kuin seuraavat laitepaikat. Ensimmäinen laitepaikka maksaa tietyn verran ja siitä seuraava maksaa noin 40 % vähemmän. Näin ollen toinen laitepaikka tulee halvemmaksi kuin ensimmäinen. Kun lisätään kolmas laitepaikka, nousee hinta taas noin 60 %. Vaikuttaisikin että ensimmäisen laitepaikan jälkeen muilla laitepaikoilla on vakio hinta, joka on noin 60 % ensimmäisen laitepaikan hinnasta.

3.2.2 Vuokraaja 2

Vuokraaja 2 on ottanut käyttöönsä vuokraaja 1:stä poikkeavan tavan hinnoitella heidän tukiasemapaikkojensa vuokrat. Vuokraaja 1:llä on käytössään laskuri tyyppinen hinnoittelu, jossa kaikki vaikuttaa hintaan eri tavalla. Vuokraaja 2 käyttää hinnoittelussaan pakettihinnoittelua, jossa paketti sisältää tyyppilliset tukiasemapaikalla tarvittavat laitteet. Paketteja on kaksi eri tyyppiä. Ensimmäinen paketti on masto- ja toinen on kiinteistöpaketti. Pakettien lisäksi vuokraaja 2 on laatinut myös kappaletyyppisen hinnoittelun, jota on myös mahdollista käyttää, jos ei halua ostaa valmista pakettia. Erityisesti mastopaketti on kuitenkin hinnoiteltu sen verran edullisesti, että useasti se tulee halvemmaksi kuin yksittäin ostettuna.

Vuokraaja 2:n hinnoittelun pohjalta on mahdollista nähdä suoraan miten mikäkin muutos tukiasemapaikalla vaikuttaa Elisan maksamaan vuokrahintaan. Tässä työssä hinnat on muutettu tietyn kertoimen avulla sellaisiksi, etteivät ne vastaa Elisan todellisuudessa maksamia hintoja. Seuraavaksi esitellyt vuokraaja 2:n hinnat ovat kuitenkin kohtalaisen hyvin verrattavissa toisiinsa.

Mastopaketti on hinnoiteltu siten, että sen suhteellinen hinta on 8,89 kuukaudessa. Mastonpaketin sisältö on seuraava:

- Mastotila matkapuhelinverkon antennille, käytettävissä korkeintaan 3 m
- radioyksiköiden sijoittaminen antennille varattuun tilaan tai vuokraajan osoittamaan tilaan
- kaksi 60x60x220 cm laitepaikkaa tukiasemapaikan laitetilassa
 - Vaihtoehtoisesti yksi kaappipaikka ja yksi hylly- tai telinepaikka
- mastossa olevien laitteiden kaapelien sijoitusoikeus mastoon ja laitetilaan
- akkuvarmennus 1,8 kW:iin saakka
- jäähdytys.

Käytännössä mastopakettiin siis kuuluu kaikki normaalit mastopaikalla tarvittavat asiat. Antennien lisäksi kolmen metrin käytettävissä olevaan tilaan tulee sijoittaa myös radioyksiköt sekä muut mastossa olevat laitteet. Jos laitepaikkoja tarvitaan useampi kuin kaksi, niistä maksetaan erikseen myöhemmin esiteltävä hinta. Mastopakettiin ei sen sijaan kuulu varsinainen sähköenergia, vaan siitä Elisa joutuu maksamaan ilmoittamansa laitteiden tehonkulutuksen pohjalta. Joissain mastopaikoissa 1,8 kW akkuvarmennus riittää, mutta jos kohteessa on esimerkiksi 2G, 3G, LTE-800 MHz ja LTE-1800 MHz, 1,8 kW:n akkuvarmennus ei riitä. Tällöin vuokraaja 2 veloittaa ylimenevästä tehosta 100 W välein kolmen tunnin akkuvarmennuksen hinnan. Myös akkuvarmennus esitellään tarkemmin myöhemmässä vaiheessa tätä työtä. Myöskään mahdolliset linkkipeilit eivät kuulu mastopakettiin. Näidenkin hinnat tulevat myöhemmässä vaiheessa tätä työtä.

Kiinteistöpaketti on hinnoiteltu siten, että sen suhteellinen hinta on 4,17 kuukaudessa. Kiinteistöpaketin sisältö on hyvin samankaltainen kuin mastopakettin sisältö, mutta siitä on poistettu antenneihin liittyvät asiat. Kiinteistöpaketti sisältää seuraavat asiat:

- yksi 60x60x220 cm laitepaikka tukiasemapaikan laitetilassa
- tarpeen mukaisten kaapelien sijoitusoikeus laitetilaan
- akkuvarmennus 1,8 kW:iin saakka
- jäähdytys.

Vuokraaja 2 ei siis ota kantaa kiinteistöpaketissaan Elisan antennisijoitteluun, vaan Elisan tulee sopia kiinteistön omistajan kanssa mihin antennit sijoitetaan. Jos radiot sijoitetaan ulos, tulee myös tällöin Elisan sopia kiinteistön omistajan kanssa tästä. Kuten mastopakettissa myös kiinteistöpaketissa Elisa maksaa sähköenergian ilmoittamansa tehonkulutuksen pohjalta. Kiinteistöpaikoissa käytetyt konfiguraatiot ovat yleensä sen verran laajoja, ettei 1,8 kW akkuvarmennus riitä, vaan vuokraaja 2 veloittaa ylimenevästä osuudesta kolmen tunnin akkuvarmennuksen mukaan. Seuraavaksi tarkastellaan vuokraaja 2:n hintoja, jos kohteeseen ei osteta masto- tai kiinteistöpakettia. Taulukossa 2 on esitetty vuokraaja 2:n hinnat antennista mastokohteissa.

Taulukko 2 Antennien hinta vuokraaja 2:n mastokohteissa.

Antennin korkeus (m)	Suhteellinen hinta / kk	Lisäantennit / kk / kpl
alle 0,5	0,61	0,39
0,5–1,5	1,39	0,83
1,5–3,0	2,89	0,94
yli 3,0	3,64	2,19

Taulukosta 2 voidaan nähdä kuinka hinnat ovat jaettu antennin pituuden mukaan. Hintaan vaikuttaa myös antennien lukumäärä. Ensimmäinen antenni on hieman kalliimpi kuin sen jälkeen lisättävät lisäantennit. Kuten luvussa 3.3.1 todettiin, suurin osa Elisan matkapuhelinverkon mastokohteiden antenneista on joko noin 2 tai 2,5 metrisiä. Näin ollen vuokraaja 2:n mastokohteissa suurin osa Elisan antenneista osuu 1,5–3,0 metrin kategoriaan. Taulukosta 2 kannattaa huomata ettei antennin asennuskorkeus vaikuta antenneista aiheutuvaan vuokratustannukseen. Tämä on merkittävä ero vuokraaja 1 nähden. Huomionarvoista on myös se, että myöskään mastopakettissa antennien asennuskorkeus ei vaikuttanut paketin hintaan.

Elisan tyypillinen mastokohde sisältää joko 3 tai 4 antennisen konfiguraation. Vuokraaja 2:n hinnoilla näillä kahdella konfiguraatiolla on hintaeroa yhden lisäantennin verran eli 0,94. Näin ollen neljän antennin konfiguraatio on $\frac{5,71-4,77}{4,77} = 19,7\%$ kalliimpi kuin kolmen antennin konfiguraatio. Vuokraaja 1:n vastaava luku oli 30 %. Vuokraaja 2:n antennien hinnoittelussa mastokohteissa huomionarvoista on myös se, että yksittäistä antennia kohden hinta tulee halvemmaksi mitä useampaa antennia käytetään. Tämä johtuu siitä että ensimmäinen antenni on huomattavasti arvokkaampi kuin mitä lisäantennit. Taulukossa 3 esitetään linkkipeilin halkaisijan vaikutusta hintaan. Jos kohteessa siirtoyhteys toteutetaan radiolinkin avulla, joutuu Elisa maksamaan linkkipeileistä erillistä vuokraa riippumatta siitä ostetaanko kohteeseen mastopaketti vai maksetaanko yksittäisten komponenttien mukaan.

Taulukko 3 Linkkipeilin halkaisijan vaikutus hintaan.

Linkkipeilin halkaisija (m)	Suhteellinen hinta / kk / kpl
alle 0,6	1,22
0,6–1,2	2,08
yli 1,2	3,17

Taulukosta 3 voidaan huomata kuinka linkkipeilin halkaisija vaikuttaa suoraan siitä aiheutuvaan kustannukseen. Halkaisijat ovat jaettu kolmeen eri kategoriaan ja niille on määritetty kappalehinta. Luvussa 3.3.1 mainittiin, että suurin osa Elisan käyttämistä linkkipeileistä ovat joko yhden tai kahden jalan halkaisijalla. Näitä vastaavat metriset arvot ovat noin hieman yli 30 cm ja 60 cm. Taulukon 3 mukaan tällöin yhden jalan linkkipeili menisi alle 0,6 m hinnalla, joka on 1,22. Kahden jalan linkkipeili sen sijaan menisi seuraavaan kategoriaan, jolloin hinta on 2,08. Eroa näillä hinnoilla on noin 70 %.

Mielenkiintoisen tästä hinnoittelusta tekee se, että tuohon 0,6–1,2 kategoriaan mahtuu myös kolmen jalan linkkipeili, jonka halkaisija on metriasteikolla 0,91 metriä. Tästä johdun vuokraaja 2:n kohteissa ei ole vaikutusta kustannuksiin käytetäänkö siellä 0,6 metrin vai 0,9 metrin linkkipeiliä. Sen sijaan seuraava koko eli neljän jalan (1,2 m) linkkipeili menee taas seuraavaan kategoriaan. Näiden kahden kategorian ero hinnassa on noin 52 %. Myös absoluuttisissa arvoissa näiden kaikkien kolmen kategorian erot ovat selvät, joten liityntäyhteyttä suunniteltaessa vuokraaja 2:n kohteisiin tulisi myös linkkipeilien halkaisijaan kiinnittää huomiota.

Vuokraaja 2 on asettanut mastoon asennettaville pienlaitteille omat hinnat. Radioyksiköille suhteelliseksi hinnaksi on asetettu 0,33. Tämä kasvaa lineaarisesti radioyksiköiden määrän kasvaessa. Esimerkiksi jos Elisa sijoittaa kolme radioyksikköä vuokraaja 2 mastoon, joutuu Elisa maksamaan 0,99 yksikköä suhteellista hintaa. Hinta on kohtalaisen lähellä yhden lisäantennin hintaa mastokohteessa. Radioyksiköiden lisäksi vuokraaja 2 on määritellyt alle 6 kilogrammaa (kg) painaville laitteille oman hinnan. Tähän kategoriaan meneviä laitteita ovat muun muassa diplexerit. Näille pienlaitteille suhteelliseksi hinnaksi on asetettu 0,25. Nämä pienlaitteet sisältyvät vuokraaja 2:n mastopakettiin, jolloin näistä ei tarvitse maksaa lisähintaa, jos Elisa ostaa mastopaketin yksittäishinnoittelun sijaan. Seuraavaksi taulukossa 4 esitellään laitepaikkojen hinnat vuokraaja 2:n tukiasematiiloissa. Kuten todettua, mastopaketti pitää sisällään kaksi laitepaikkaa ja kiinteistöpaketti yhden. Jos kuitenkin tukiasemapaikalle tarvitaan lisää laitepaikkoja, menee niiden hinnoittelu taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4 Laittepaikkojen hinnat vuokraaja 2:n mastokohteessa.

Laittepaikka (m)	Suhteellinen hinta / kk / kpl
lattiateline 0,6x0,6x2,2	0,89
lattiateline 0,6x0,3x2,2	0,50
seinäteline 0,6x0,6x0,3	0,42
seinäteline 0,6x0,3x0,1	0,33
pienlaittepaikka 1 yksikkö	0,08

Taulukosta 4 voidaan nähdä laitepaikkojen maksimimitat ja niistä aiheutuvat kustannukset kuukautta kohden. Kuten todettua luvussa 3.3.1, Elisan yleisimmin lattiatelineen koko on 60x60x220 cm. Tämän telineen suhteellinen hinta on 0,89. Tässä on eri vuokraajien välillä merkittävä ero, sillä todellisilla arvoilla vuokraaja 1 laitepaikkavuokra on merkittävästi kalliimpi kuin vuokraaja 2. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että molempiin paketteihin on sisällytetty laitepaikka ja tänä päivänä harvoin vuokralaisena tarvitaan kahta tai

kolmea laitepaikkaa. Pienlaitapaikka tarkoittaa tässä yhteydessä yksittäisen laitteen sijoittamista vuokraaja 2:n omiin telineisiin.

Seuraavaksi katsotaan vuokraaja 2:n hintojen muodostumista kiinteistökohteissa. Kiinteispaketin sisältöön ei kuulu antennejä. Kiinteistöpaketin ostettuaan Elisan ei kuitenkaan tarvitse maksaa antennista vuokraa. Tällöin Elisa huolehtii itse antennien sijoittelusta ja antennipaikkojen huoltamisesta. Jos Elisa ei kuitenkaan osta kiinteistöpakettia, joutuu Elisa maksamaan vuokraaja 2:lle myös antennista. Taulukossa 5 esitetään kappalehinnalla vuokrattavien antennipaikkojen hintoja kiinteistökohteissa.

Taulukko 5 Antennien hinta vuokraaja 2:n kiinteistökohteissa.

Antennin korkeus (m)	Suhteellinen hinta / kk / kpl
Alle 0,5	0,39
0,5–1,5	0,83
1,5–3,0	1,33
yli 3,0	2,19

Kuten mastokohteissa, myös kiinteistökohteissa antennien korkeus määrittää siitä maksettavan vuokrahinnan. Myös korkeuskategoriat ovat samat. Kiinteistö- ja mastokohteiden ero antennien vuokrahinnoissa on kuitenkin se, että kiinteistökohteissa ensimmäinen antenni ei ole kalliimpi kuin siitä seuraavat. Kiinteistökohteiden suhteelliset hinnat ovat samat kuin mastokohteiden lisäantennien suhteelliset hinnat. Kiinteistökohteissa käytetään kuitenkin pääsääntöisesti 0,5–1,5 m kategorian antennejä, jolloin antennista aiheutuvat kustannukset tulevat halvemmaksi kuin mastokohteissa. Taulukossa 6 esitetään vuokraaja 2 laitepaikkojen hinnat kiinteistökohteissa.

Taulukko 6 Laitetilojen hinta vuokraaja 2:n kiinteistökohteissa.

Laitepaikka (m)	Suhteellinen hinta / kk / kpl
lattiateline 0,6x0,6x2,2	1,14
seinäteline 0,6x0,6x0,3	0,92

Taulukon 6 laitepaikkojen suhteellisia hintoja, kun vertaa taulukon 4 laitepaikkojen suhteellisiin hintoihin, voidaan havaita kuinka kiinteistökohteiden laitepaikkojen hinnat ovat

merkittävästi kalliimmat. Tavallinen 0,6x0,6x2,2 metrin lattiateline on noin 30 % kalliimpi kiinteistökohteessa kuin mastokohteessa. Seinäteline sen sijaan on jopa 120 % kalliimpi kiinteistökohteessa kuin mastokohteessa. Seinätelineeseen tyypillisesti on asennettu radiolinkin alayksikkö ja näitä harvemmin kiinteistökohteissa käytetään. Tästä syystä seinätelineille ei juurikaan ole käyttöä kiinteistökohteissa. Kiinteistöpakettiin sisältyy yksi laitepaikka, jonka takia myös kiinteistössä lisälaittepaikkojen hintaa on ehkä tietoisesti nostettu. Tällä saatetaan pyrkiä ehkäisemään sitä, että vuokralainen toisi oman voimalaitteen laitetilään, jolloin vuokraaja ei saisi vuokratuloja akkuvarmennuksesta. Taulukko 7 pitää sisällään vuokraaja 2 sähköenergian hinnat. Taulukossa oleva jännite 230 V on vaihtovirtaa ja 48 voltin jännitteellä olevat ovat tasavirtaa

Taulukko 7 Sähköenergian hinta vuokraaja 2:n kohteissa.

Jännite (V)	Varmistusaika (h)	Porras (W)	Suhteellinen hinta
230	jatkuva	1	y
48	3	100	0,14
48	Jatkuva	100	Tarjous

Kuten todettua, sähköenergia ei kuulu kumpaankaan pakettiin, vaan se tulee ostaa aina taulukon 7 mukaisesti kun ollaan vuokraaja 2 tiloissa. Perus periaate on samanlainen kuin vuokraaja 1:n sähköenergian veloituksessa. AC-sähköstä maksetaan yhden watin portaalla Elisan ilmoittaman tehonkulutuksen mukaisesti. AC-sähköllä on tietty hinta kilowattituntia kohden ja laskutuksessa käytetään 730 tuntia kuukautta kohden. Esimerkiksi jos Elisan ilmoittama teho olisi 2143 wattia ja hinta kilowattituntia kohden olisi y snt/kWh, muodostuisi kuukaudessa laskuksi $\frac{2143 W}{1000} * 730 h * Y \frac{snt}{kWh} = 1564 * Y snt$ pelkästään vaihtosähköstä. Tähän päälle lisätään vielä akkuvarmennuksen hinta. Kumpaankin pakettiin kuuluu 1,8 kilowattia varmennettua sähköä, jolloin paketin päälle tulisi ostaa varmennus $2143 W - 1800 W = 343 W$. Koska akkuvarmennus veloitetaan 100 W:n välein, akkuvarmennusta tarvittaisiin näin ollen $4 * 0,14 = 0,56$ suhteellisen hinnan edestä. Jos pakettia ei ostettaisi, tulisi tällöin ostaa akkuvarmennusta $22 * 0,14 = 3,08$ suhteellisen hinnan edestä.

3.2.3 Muut vuokraajat

Edellä mainittujen vuokraaja 1:n ja vuokraaja 2:n lisäksi Elisa on myös useiden muiden toimijoiden tukiasemapaikoilla vuokralaisena. Vuokraaja 1 ja vuokraaja 2 ovat kuitenkin suurimmat vuokraajat Elisalle. Muut vuokraajat ovat pääosin pienempiä toimijoita, tai

sellaisia toimijoita joilta Elisa vuokraa ainoastaan muutamia tukiasemapaikkoja. Näin olen kaksi edellä esiteltyä vuokraajaa ovat Elisan vuokratilakustannusten kannalta merkittävämmässä asemassa kuin muut vuokraajat. Tästä syystä muita vuokraajia ei käsitellä tässä työssä syvällisesti, vaan niihin otetaan ainoastaan pinnallinen yleiskatsaus. Elisa toimii vuokralaisena myös monen taloyhtiön tiloissa. Tällöin vuokrasopimusta ei välttämättä tehdä minkään yrityksen kanssa, vaan sopimus on suoraan asunto-osakeyhtiön kanssa. Nämä taloyhtiöiden kanssa tehdyt sopimukset ovat salaista tietoa, joten niitäkään ei käsitellä tässä työssä. Tyypillisesti taloyhtiöille tarjotaan saman sisältöistä sopimusta, jolloin hinta on kaikille taloyhtiöille sama.

Vuokraaja 1 hyödyntää laskuripohjaista ratkaisua, kun taas vuokraaja 2 on sopinut Elisan kanssa paketti- ja kappalehinnoittelusta. Muilla vuokraajilla on käytössään kumppaakin tapaa hinnoitella heidän vuokrapaikan kustannukset. Aiemmin hinnoittelu on painottunut enemmän laskuripohjaisiin ratkaisuihin, mutta Elisalla on tällä hetkellä tuntuma siitä että hinnoittelu on siirtymässä entistä enemmän pakettipohjaiseen hinnoitteluun (Salmela 2017). Paketti- ja kappalepohjainen hinnoittelu on mielestäni kummankin osapuolen kannalta parempi vaihtoehto, sillä se on läpinäkyvää molemmille. Laskuripohjaisesta hinnoittelusta vuokralaisen on hankala tietää mistä hinta todellisuudessa muodostuu. Erityisesti jos laskuri toimii siten, että se ilmoittaa ainoastaan lopullisen hinnan. Tällöin laskuriin on voitu piilottaa kalliita objekteja ilman että vuokralainen saa niistä tietää. Esimerkiksi toisen laitepaikan vuokraaminen voi joiltain vuokraajilta tulla yllättävän kalliiksi.

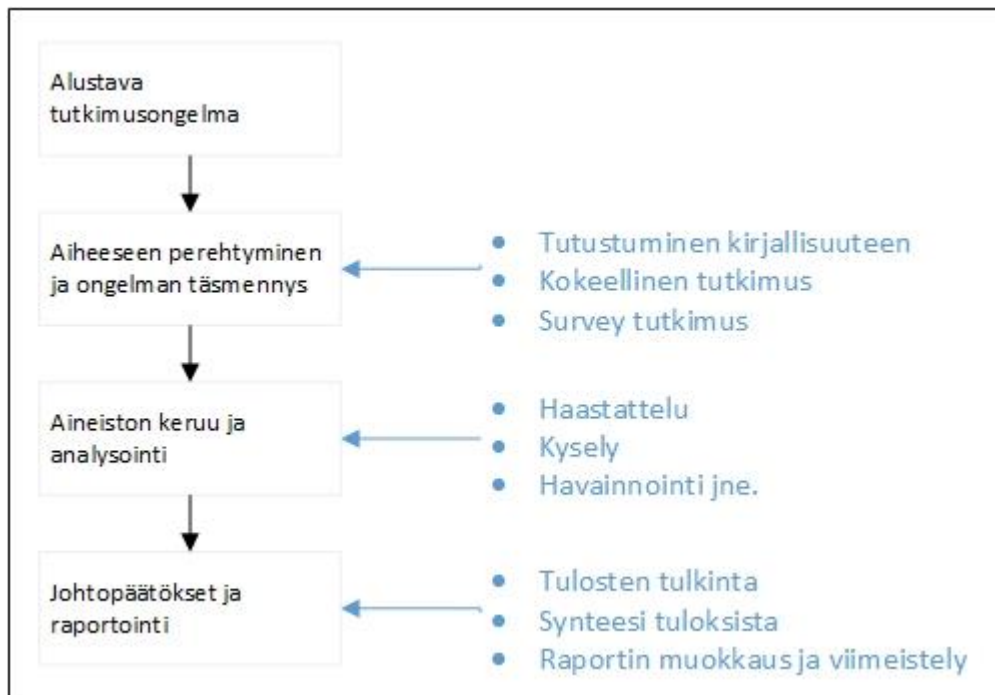
Tyypillistä näiden pienempien toimijoiden hinnoittelulle on myös se, että niiden hinnat ovat usein kalliimpia kuin näillä kahdella tarkemmin esitellyllä toimijalla. Elisalla on näkemys siitä, että pienempien toimijoiden hinnoittelu on hieman vanhanaikaista (Salmela 2017). Tivi (2016) on uutisoinut otsikolla ”*Digita voitti, kuluttaja hävisi - ”Pysyy monopolina, kun viranomaiset sen sallivat”*”. Uutinen ei liity Elisaan, mutta on osoitus kuinka osa mastoja Suomessa vuokraavista yrityksistä toimivat. Uutinen kertoo Norjalaisesta televisio-operaattorista, joka halusi murtaa Digitan monopolin ja ryhtyy lähettämään maanpäällisiä televisiolähetyksiä Suomessa. He saivat hankittua kolme verkkotoimilupaa antenniverkkoon, mutta Digita esti mastojensa vuokrahinnoittelulla Norjalaisten toiminnan Suomessa. Uutisessa todetaan: ”*Antennipaikan vuokraaminen Digitan mastosta Pihtiputaalla maksaa kuukaudessa enemmän kuin kaksion vuokraaminen Lontoon Westminsterin kalleimmalta paikalta. Totta kai Digita pysyy monopolina, kun viranomaiset sen sallivat*”.

Monista toimijoista johtuen on hankala tarkastella kuinka Elisa voisi pienentää juoksevia kustannuksia näiden toimijoiden tukiasemapaikoilla. Pääsääntönä voidaan kuitenkin sanoa, että ylimääräisten laitepaikkojen poistaminen on yksi tehokkaimmista keinoista. Hieman toimijasta riippuen myös antennien määrän ja niiden asennuskorkeuden pienentämisellä on mahdollista saavuttaa säästöjä. Myös ylimääräistä sähkönkulutusta kannattaa välttää, sillä kuten vuokraaja 1 ja vuokraaja 2 myös muut toimijat veloittavat pääsääntöisesti sähkön energiana ja akkuvarmennuksena.

4. TUTKIMUS

RADIOVERKKOSUUNNITTELIJOIDEN KÄYTÖSSÄ OLEVASTA TIEDOSTA

Elisalla on jo ennen tätä työtä tutkittu jonkin verran juoksevien kustannusten muodostumista radioverkossa. Näin ollen radioverkkosuunnittelijoilla on entuudestaan jo hieman tietoa asiasta. Tästä syystä päädyimme tekemään tutkimuksen, jonka avulla pyrimme saamaan selville, kuinka hyvin jo tutkittu tieto on saavuttanut radioverkkosuunnittelijat. Kuvassa 13 esitellään Hirsjärven ja Hurmeen luoma malli empiirisen tutkimuksen kokonaisuudesta ja sen vaiheista. Hirsjärvi ja Hurme (2008) huomauttavat kirjassaan, että vaikka heidän malli etenee lineaarisesti, käytännössä tutkimus ei kuitenkaan etene näin suoraviivaisesti. Heidän mielestään osavaiheet voivat olla keskenään myös iteratiivisessa suhteessa. Tällöin esimerkiksi aineiston keruun ja analysoinnin jälkeen voitaisiin palata takaisin aiheeseen perehtymiseen ja ongelman täsmennykseen, jos siihen ilmenee tarvetta.



Kuva 13 Empiirisen tutkimuksen kokonaisuus ja vaiheet (Hirsjärvi & Hurme 2008).

Kuvasta 13 voidaan nähdä, kuinka empiirinen tutkimus lähtee alustavan tutkimusongelman asettamisella. Tämän jälkeen seuraa vaihe, jossa kyseisen tutkimussuunnitelman aiheeseen tutustutaan tarkemmin ja samalla täsmennetään tutkimusongelma. Tähän vaiheeseen kuuluvia keinoja ovat tutustuminen kirjallisuuteen, kokeellinen tutkimus ja survey-tutkimus. Tutustumisella kirjallisuuteen tarkoitetaan tässä yhteydessä jo olemassa olevien tutkimusten etsimistä ja niiden tarkastelemista. Kokeellinen tutkimus taas tarkoittaa

pientä tutkimusta samasta aihepiiristä. Kokeellisen tutkimuksen tarkoituksena ei ole tuottaa tietoa, jota käytettäisiin johtopäätöksissä (Hirsjärvi & Hurme 2008). Sen sijaan sillä pyritään ennakoimaan ongelmia, joita voisi tulla esille varsinaisessa tutkimuksessa. Kokeellisella tutkimuksella voidaan muun muassa testata kysymysteemoja, joita varsinaisessa tutkimuksessa halutaan käyttää. Myös kohderyhmän testausta voidaan tehdä tässä vaiheessa. Tällä siis pyritään selvittämään onko tutkimuksen otosryhmä oikea. Kokeellinen tutkimus voidaan suorittaa esimerkiksi survey tutkimuksena.

Aineiston keruu ja analysointi -vaiheessa tapahtuu varsinainen tiedonkeruu. Sen toteuttamiseen on useita eri keinoja. Parhaiten sopiva keino riippuu vahvasti siitä, mikä tutkimusongelma on ja millaista tietoa tutkimuksella pyritään saavuttamaan (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008). Haastattelulla saavutetaan kvalitatiivista tietoa tutkimusongelmasta, mutta isojen otoskokojen kanssa ongelmaksi tulee sen suuri työllistyvyys. Kyselyillä taas on helpompaa toteuttaa tutkimus, jossa otoskoko on suuri, mutta sen avulla saadaan pääosin vain kvantitatiivista tietoa. Havainnointi on hyvä keino tietynlaisissa tilanteissa, mutta sitä ei voida hyödyntää kovinkaan laajasti. Havainnoinnin huonoihin puoliin kuuluu myös sen heikkous suurten otoskokojen kanssa sen aiheuttamasta työmäärästä johtuen. (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008) Havainnoinnille otollisia tutkimuksia ovat sellaisia, missä halutaan tutkia ihmisten käyttäytymistä määrätynlaisissa tilanteissa. Esimerkiksi käyttöliittymätestauksessa havainnointi on erittäin tehokas tapa, sillä havainnoinnilla nähdään kuinka käyttäjät todellisuudessa käyttäisivät käyttöliittymää.

Tässä työssä lähdetään lähestymään suoritettavaa tutkimusta kuvan 13 kaltaisen reitin mukaisesti. Tosin aivan orjallisesti en noudattanut kyseistä kaavaa, sillä olimme sopineet ohjaajani kanssa jo ennen tarkkaa tutkimusongelman määrittämistä, että työhön olisi hyvä sisällyttää haastattelu. Toisaalta voidaan ajatella, että ohjaajallani oli jo alustava tutkimusongelma mielessään. Näin ollen tässä tapauksessa tutkimus noudattaisi kuvan 13 mukaista kaavaa. Käytän tutkimuksessa tukena myös toista mallia, joka tullaan esittelemään hieman myöhemmässä vaiheessa tätä työtä. Vaikka on kritisoitu, ettei tutkimustavaksi saisi valita itselleen helpointa tapaa, päädyin silti lopulta haastatteluun (Hirsjärvi & Hurme 2008). Olen suorittanut haastatteluita jo aiemmin, joten se oli minulle jossain määrin tuttu tapa tehdä tutkimusta. Koen myös, että haastattelulla päästäisiin tässä tapauksessa eniten informaatiota tarjoaviin tuloksiin.

4.1 Alustavan tutkimusongelman määrittäminen

Tieteelliseen tutkimukseen keskittyvissä kirjoissa tutkimuksen yhdeksi tärkeimmäksi vaiheeksi mainitaan tutkimusongelman määrittäminen (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008). Toisaalta Metsämuuronen toteaa myös: ”Hyvä aihepiiri ei takaa hyvää tutkimusta.” Nämä kaksi asiaa yhdistämällä voidaan todeta, että tutkimusongelman määrittäminen on suuressa roolissa tutkimuksen onnistumisen kannalta, mutta hyvin valittu aihe

ja tutkimusongelma eivät kuitenkaan takaa tutkimuksen onnistumista. Tieteellisen tutkimuksen aiheen valintaan liittyy aina myös rajaamista. Jotta tutkimuksella voitaisiin saavuttaa uutta ja mielenkiintoista tietoa, tulee tutkimusongelma rajata mahdollisimman tarkasti (Metsämuuronen 2006). Metsämuuronen listaa seuraavat asiat, jotka liittyvät aiheen valintaan:

- tieteenalan näkökulma
- aiheen merkitys
- kiinnostavuus
- tutkittavuus
- voimavarat
- käytännönrajoitukset.

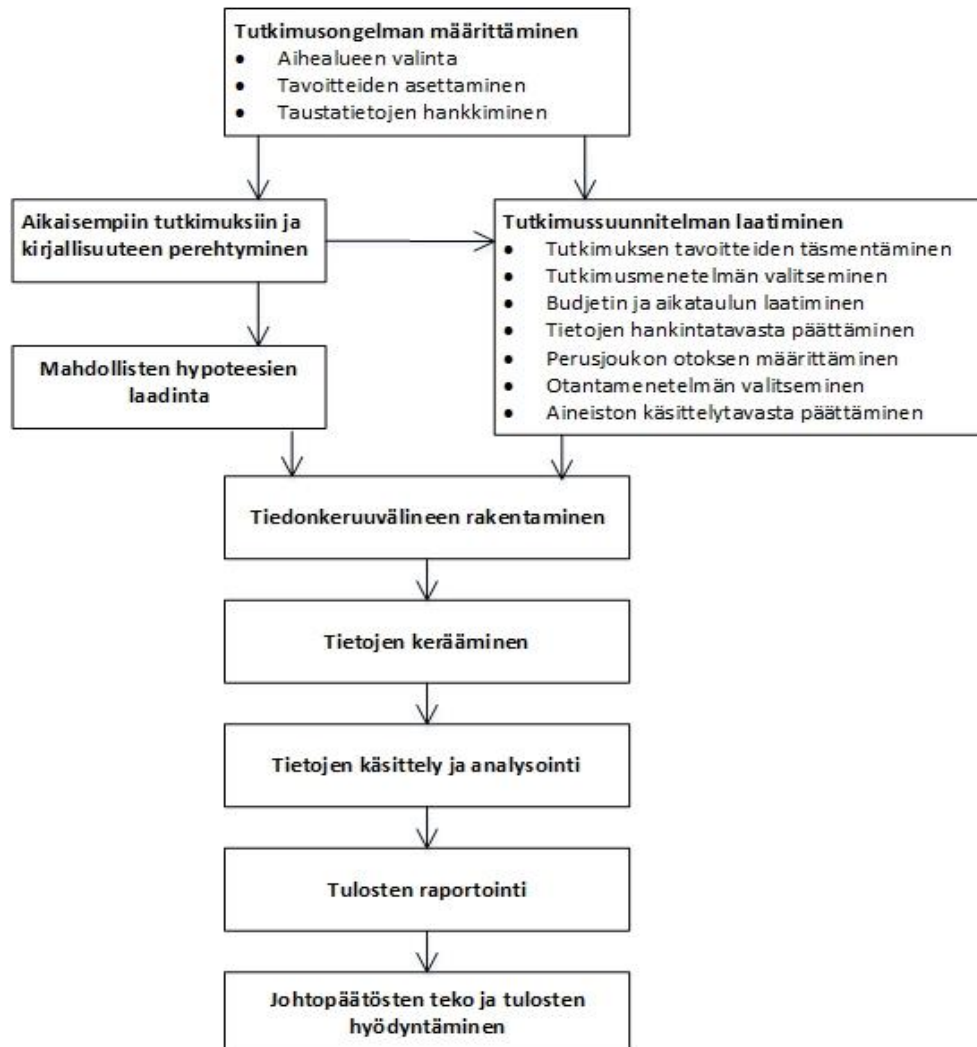
Edellä mainittujen tietojen pohjalta alustavaksi tutkimusongelmaksi tässä tutkimuksessa muodostui selvittää mitä tietoa suunnittelijoilla on käytettävissään liittyen juokseviin kustannuksiin. Samalla pyrittäisiin selvittämään käyttävätkö he tätä tietoa, vai ohittavatko he juoksevien kustannusten huomioimisen heidän suunnittelutyössään. Tämä aihe täyttää kaikki tai ainakin lähes kaikki Metsämuurosen listaamat asiat. Aihe on tieteellinen siinä mielessä, että tutkimuksen johtopäätösten pohjalta voidaan päätellä uusia asioita. Aiheen merkitys on suuri, sillä juoksevien kustannusten hallinta on tärkeässä roolissa yrityksen kestävän jatkon kannalta. Aihe on kiinnostava erityisesti niiden henkilöiden työtä ajatellen, jotka vastaavat kustannusten kehityksen hallitsemisesta. Myös voimavarat on otettu huomioon. Haastateltavien henkilöiden saavuttaminen on helppoa, sillä Elisalla on käytössä *Skype for Business* -sovellus. Tämän avulla kykenen haastattelemaan ympäri Suomea olevat henkilöt ilman, että minun tarvitsee poistua Tampereelta. Voimavaroihin liittyy myös se, että tässä tutkimuksessa haastateltavia henkilöitä on vain noin kymmenkunta, joten en tarvitse apuvoimia haastatteluihin. Viimeinen kohta on hieman hankalampi ymmärtää mitä sillä tarkoitetaan, sillä Metsämuuronen ei kovin hyvin avannut sitä kirjassaan. Käsittäisin sen kuitenkin niin, että käytännönrajoituksia pohtiessa siihen voisi sisällyttää erinäköiset huomiot, jotka liittyvät tutkimuksen tekemiseen. Yksi tällainen huomio voisi olla tutkimuksessa mahdollisesti ilmi tulevien asioiden julkiseksi tekeminen. Haastatteluissa saattaa tulla esille asioita, joita ei haluta julkaista kilpailijoiden saataville. Tämän kaltaiset asiat olisivat siis käytännönrajoituksia tutkimukselle.

Tutkimusongelman tarkentamiseen liittyy vahvasti tutustuminen jo suoritettuihin tutkimuksiin samankaltaisista aiheista (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008). Tämä aihe osoittautui kuitenkin aika spesifiseksi, joten vastaavia tutkimuksia oli haastava löytää. En löytänyt aiempia tutkimuksia, joissa olisi tutkittu vastaavassa roolissa olevien henkilöiden tietoutta juoksevista kustannuksista. Aiheeseen tutustuessa kävi kuitenkin ilmi hieman toisenlainen asia, joka liittyy tähän koko diplomityöhön. Tutkimukset joissa käsitellään radioverkon juoksevien kustannusten minimoimista vaikuttavat olevan pääosin peräisin 2010 luvulta. Näin ollen tätä aihetta on tutkittu kohtalaisen vähän ja Elisa

vaikuttaisi olevan hyvissä ajoin mukana tässä mahdollisessa muutoksessa. Operaattorit ympäri maailmaa alkavat tiedostaa tämän ongelman ja pyrkivät tekemään asialle jotain. Tämän on positiivinen asia, sillä luvussa 2 esitetyt sähkönkulutuslukemat ja niiden oletettu kasvu ei ole hyvä asia operaattoreille pitkässä juoksussa.

4.2 Tutkimussuunnitelma

Kuvassa 13 esiteltiin Hirsjärven ja Hurmeen ideoima malli empiirisestä tutkimuksesta. Siinä ei kuitenkaan oteta kantaa, missä vaiheessa tutkimusta tutkimussuunnitelma tulisi luoda. Heikkilä taas on luonut mallin, jossa tutkimussuunnitelma laaditaan aikaisempiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen perehtymisen sekä hypoteesin laadinnan rinnalla. Tämä malli esitetään kuvassa 14. Heikkilän malli on luotu kvantitatiiviseen tutkimusprosessiin, mutta pienin muutoksin mallia voidaan käyttää myös kvalitatiiviseen tutkimusprosessiin.



Kuva 14 Kvantitatiivisen tutkimusprosessin vaiheet (Heikkilä 2014).

Heikkilä (2014) toteaa tutkimussuunnitelman sisällöstä seuraavasti: ”*Tutkimussuunnitelman tulee sisältää yksityiskohtaiset tiedot kaikista tutkimuksen toteuttamiseen vaikuttavista asioista.*” Tutkimussuunnitelman laatiminen onkin siis hyvä keino ruveta pohtimaan tutkimuksen toteutukseen liittyviä asioita ja mahdollisia ongelmia. Kuvassa 14 esitetty listaus tutkimussuunnitelman laatimisesta on kattava ja sen pohjalta on hyvä lähteä tekemään varsinaista tutkimusta.

Ensimmäisenä listauksessa on tutkimuksen tavoitteen täsmentäminen. Hirsjärven (2008) mallissa tästä käytetään termiä tutkimusongelman täsmentäminen. Alustavana tutkimusongelmana tässä tutkimuksessa oli selvittää mitä tietoa suunnittelijoilla on käytettävissään liittyen juokseviin kustannuksiin. Alustavassa tutkimusongelmassa oli myös maininta selvittää käytetäänkö tätä saatavilla olevaa tietoa, vai ohitetaanko juoksevien kustannusten huomioiminen heidän suunnittelutyössään. Työskennellessäni Elisan radioverkkosuunnittelijoiden kanssa huomasin, että tutkimuksessa olisi hyvä selvittää myös suunnittelijoiden asenne juoksevia kustannuksia kohtaan. Elisalla on nyt muutaman viime vuoden aikana keskusteltu juoksevien kustannusten vähentämisestä ja tässä vaiheessa olisiikin hyvä selvittää miten suunnittelijan suhtautuvat niihin. Keskustelimme asiasta ohjaajani kanssa ja lopulliseksi tutkimusongelmaksi tulivat seuraavat asiat. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, onko Elisan radioverkkosuunnittelijoilla riittävästi tietoa juoksevista kustannuksista, jotka liittyvät Elisan radioverkkoon. Tutkimuksessa selvitetään myös Elisan radioverkkosuunnittelijoiden asennetta juoksevia kustannuksia kohtaan.

Tutkimuksen tavoitteisiin liittyy olennaisesti myös hypoteesit. Metsämuuronen kuvailee hypoteesia seuraavalla lailla: ”*Hypoteesi on lause, jossa kuvataan muuttujien välistä yhteyttä ja hypoteesissa esitetään selkeä väite, jonka paikkansapitävyyttä testataan.*” Hypoteesin määrittämisen avulla tutkimukselle voidaan siis asettaa oletettu lopputulos ja sitä testataan tutkimuksella. Tutkimuksen suorittamisen jälkeen voidaan siis joko vahvistaa tai kumota hypoteesi. Hypoteesien asettamisesta on apua sekä itse tutkimukselle, että tutkimusta suorittavalle henkilölle. Tutkimukselle hypoteeseista on seuraavat edut:

- hypoteesi on teorian työväline
- hypoteesien oikeellisuus voidaan testata
- hypoteesi mahdollistaa objektiivisuuden. (Metsämuuronen 2006)

Hypoteeseista on tutkijalle seuraavat edut:

- hypoteesit suuntaavat tutkimusta
- tutkija saa teorialle testattavan muodon
- hypoteesi auttaa hylkäämään tai hyväksymään käytetyn teorian. (Metsämuuronen 2006)

Näiden etujen takia päädyin myös itse kehittämään hypoteesit tähän tutkimukseen. Ensimmäinen tutkimuksella testattava hypoteesi on, että Elisan radioverkkosuunnittelijoilla ei ole riittävästi tietoa liittyen Elisan radioverkon juokseviin kustannuksiin. Tällä tarkoitan sitä, että suunnittelijoille annettu tieto on puutteellista tai hankalasti saavutettavissa. Toisena testattavana hypoteesina pidän sitä, että Elisan radioverkkosuunnittelijoiden asenne juoksevia kustannuksia kohtaan on negatiivinen. Tämän hypoteesin perustan siihen huomioon, että näistä asioista puhuttaessa suunnittelijoiden puheet ovat useimmiten negatiivissävytteisiä. Molemmat näistä hypoteeseista ovat myös tutkimuksen tarkoituksena, joten mielestäni näihin hypoteeseihin vastatessa myös tutkimuksen tavoitteet täyttyvät.

4.2.1 Tutkimusmenetelmän ja tiedonhankintatavan valitseminen

Tutkimussuunnitelman laatimiseen liittyvät myös tutkimusmenetelmän valitseminen ja tietojen hankintatavasta päättäminen. Nämä kaksi vaihetta liittyvät toisiinsa hyvin vahvasti, sillä tutkimusmenetelmän valitseminen rajaa mahdollisuuksia tiedonhankintatavoille. Tutkimusmenetelmät voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään. Nämä pääryhmät ovat kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset menetelmät (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008; Heikkilä 2014). Kvalitatiivisesta tutkimuksesta käytetään usein myös termiä laadullinen tutkimus ja kvantitatiivisesta voidaan käyttää myös termiä määrällinen tutkimus (Heikkilä 2014). Usein näiden kahden tutkimusmenetelmän välillä vallitsee täydellinen kahtiajako, jolloin tutkimukseen otetaan vain jompikumpi. Viime aikoina on kuitenkin ollut havaittavissa, että näitä kahta tutkimusmenetelmää on alettu yhdistelemään yksittäisissä tutkimuksissa (Hirsjärvi & Hurme 2008).

Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä on hyvä erityisesti tutkimuksissa, joissa pyritään selvittämään lukumääriin tai prosentuaalisiin osuuksiin liittyviä asioita. Kvantitatiiviset menetelmät sopivat myös silloin kun pyritään selvittämään eri asioiden välisiä riippuvuuksia tai tutkitaan tietyssä ilmiössä tapahtuneita muutoksia (Heikkilä 2014). Kvantitatiivisissa tutkimusmenetelmissä aineistoa kerätään useimmiten standardoidusti. Esimerkki standardoidusta tiedonkeruumenetelmästä on tutkimuslomake, jossa on valmiit vastausvaihtoehdot (Heikkilä 2014). Valmiit vastausvaihtoehdot voivat olla esimerkiksi numeroasteikko. Asteikkoa 1-5 kutsutaan Likertin asteikoksi ja se on laajalti käytössä kvantitatiivisessa tutkimuksessa (Metsämuuronen 2006). Kvantitatiivisten tutkimusmenetelmien huonona puolena pidetään usein niiden pinnallisuutta (Heikkilä 2014). Niissä on annettu vastaajalle vain tietyt vastausvaihtoehdot, joten vastaaja ei itse voi välttämättä vastata juuri sitä mikä omasta mielestään vastaisi todellisuutta. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa myös otoskokoa joudutaan kasvattamaan suureksi, jotta saataisiin mahdolliset häiriötekijät suljettua pois tutkimuksesta. Toisaalta tulosten analysoiminen on kvalitatiivista tutkimusta helpompaa, sillä usein kvantitatiivisten tutkimusten tulokset voidaan

syöttää suoraan tietokoneelle, joka tekee tuloksille haluttuja toimenpiteitä. Erilaisia kvantitatiivisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmiä ovat muun muassa postikysely, www-kysely, puhelinkysely ja henkilökohtainen haastattelu lomakkeen avulla (Heikkilä 2014).

Kvalitatiivisissa tutkimusmenetelmissä painotetaan numeroiden sijaan ymmärtämistä. Niissä pyritään ymmärtämään tutkittavia ihmisiä tai ilmiöitä (Heikkilä 2014). Laajan tilastollisen käsittelyn sijaan kvalitatiivisissa tutkimusmenetelmissä rajoitetaan pieneen määrään tutkittavia tapauksia, mutta se pienempi määrä tutkitaan kvantitatiivisia menetelmiä tarkemmin. Kvalitatiiviset tutkimusmenetelmät pohjautuvat vahvasti psykologian ja muiden käyttäytymistieteiden oppeihin (Hirsjärvi & Hurme 2008; Heikkilä 2014). Tutkimustapojen eroista johtuen myös aineistonkeruumenetelmät eroavat kvalitatiivisessa ja kvantitatiivisessa tutkimuksessa. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa hyödynnetään vähemmän strukturoituja menetelmiä, jonka takia aineisto on usein tekstipohjaista (Heikkilä 2014). Tekstipohjaisuudesta johtuen aineiston analysointi on hankalampaa ja vaatii enemmän työtä. Kvalitatiivista tutkimusta tehdessä tiedonkeruumenetelmistä on käytettävissä muun muassa valmiit aineistot (päiväkirjat, kirjeet, omaelämäkerrat jne.), avoimet haastattelut, avoin kyselylomake, ryhmäkeskustelut, havainnointi ja eläytymismenetelmät (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008; Heikkilä 2014). Taulukossa 8 esitetään eri tutkimusmenetelmien keskeisimpiä eroja tiivistetysti.

Taulukko 8 Kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimuksen oleellimmat erot (Heikkilä 2014).

	Kvantitatiivinen	Kvalitatiivinen
Vastaa kysymyksiin:	Mikä? Missä? Paljonko? Kuinka usein?	Miksi? Miten? Millainen?
Otos:	Numeerisesti suuri, edustava	Suppea, harkinnanvarainen
Tiedon pohjautuminen	Ilmiön kuvaaminen numeerisen tiedon pohjalta	Ilmiön ymmärtäminen, ns. pehmeä tieto

Kuten mainittua, tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää onko Elisan radioverkko-suunnittelijoilla riittävästä tietoa Elisan radioverkon juoksevista kustannuksista. Samalla pyritään myös selvittämään radioverkkosuunnittelijoiden asennetta juoksevia kustannuksia kohtaan. Nämä molemmat pääkohdat voitaisiin hoitaa niin kvalitatiivisella kuin kvantitatiivisella tutkimuksella. Taulukon 1 pohjalta analysoituna kvantitatiivinen tutkimus voisi olla yleisesti tämän kaltaisiin tutkimuksiin parempi vaihtoehto, sillä tutkimuksessa pyritään selvittämään asioita, joita on helppo pukea numeroiksi. Elisan radioverkkosuun-

nittelijoita on kuitenkin sen verran vähän, että myös kvalitatiivinen tutkimus olisi mahdollista toteuttaa ilman, että tutkimusaineiston koko kasvaisi mahdottoman suureksi. Näiden havaintojen pohjalta päädyin kokeilemaan Hirsjärven ja Hurmeen (2008) mainitsemaa tapaa yhdistää nämä kaksi eri tutkimusmenetelmää. Myös Metsämuuronen (2006) toteaa, että nämä kaksi tutkimusmenetelmää on mahdollista yhdistää, mutta hän huomauttaa myös seuraavaa: ”*On järkevää valita jompikumpi metodologia päämetodologiaksi.*” Näin ollen tämä tutkimus tultaisiin tekemään pääosin kvalitatiivisena tutkimuksena, mutta siihen yhdistetään myös kvantitatiivisissa tutkimuksissa käytettyjä piirteitä. Näin toteutettuna minulla olisi mahdollista kerätä tarvittavat numeeriset aineistot ja samalla pystyn hyödyntämään kvalitatiivisen tutkimuksen tuomaa vapautta vastaajalle.

Tutkimusmenetelmän valitsemisen jälkeen voidaan valita tutkimukselle sopiva tiedonhankintamenetelmä. Tiedonhankintamenetelmistä voidaan käyttää myös termiä tutkimusmetodi (Metsämuuronen 2006). Tekstianalyysi ei tässä tapauksessa tule kyseeseen, sillä minulla ei ole käytettävissä ennalta kerättyä aineistoa, jonka pohjalta voisin tutkimuksen toteuttaa. Myöskään havainnointi ja eläytymismenetelmät eivät mielestäni sovi tämän tyyppiseen tutkimukseen. Havainnoinnin avulla voitaisiin kyllä selvittää millaista tietoa radioverkkosuunnittelijoilla on käytettävissään, mutta se olisi siihen minun mielestäni kankea keino. Näin ollen mielestäni ainoat järkevät valinnat tähän tutkimukseen ovat haastattelut, avoin kyselylomake ja ryhmäkeskustelut. Päädyin kuitenkin hylkäämään ryhmäkeskustelut, sillä koen saavani haastateltavista enemmän irti haastatelllessani heitä yksitellen. Ryhmäkeskusteluissa yksittäinen henkilö saattaisi dominoida keskustelua, jolloin muut henkilöt saattaisivat muokata heidän mielipiteitään dominoivan henkilön suuntaan.

Jäljelle jäävät siis avoin kyselylomake ja haastattelu. Avoimella kyselylomakkeella on monia hyviä puolia verrattuna haastatteluun. Tosin myös haastattelulla on hyviä puolia avoimeen kyselylomakkeeseen verrattuna. Kyselylomakkeiden määrä on viime vuosina lisääntynyt, joten ihmiset ovat tottuneet niiden täyttämiseen. Samalla kuitenkin ihmiset ovat kyllästyneet lomakkeiden täyttämiseen, joten halukkuus lomakkeella suoritettuun tutkimukseen on vähentynyt. (Hirsjärvi & Hurme 2008) Haastattelu on selvästi aikaa vievämpää lomaketutkimukseen verrattuna, sillä lomaketutkimuksesta jää pois se aika, jonka tutkija käyttää itse haastatteluihin ja niihin valmistautumiseen. Kyselylomakkeeseen vastatessaan ihmiset useimmiten vastaavat juuri siihen kysymykseen, joka paperissa lukee. Haastattelussa kuitenkin keskustelu voi ajautua hieman sivuraiteille ja näin tutkimusaineistoon kertyy paljon tutkimusaiheen kannalta kiinnostamatonta materiaalia (Hirsjärvi & Hurme 2008). Avoimen lomaketutkimuksen etuna haastatteluun verrattuna voidaan pitää myös sitä, että yleensä lomaketutkimuksen kysymyslomake on huolellisemmin valmisteltu kuin vastaava kysymyslomake haastattelussa. Tästä aiheutuu se, että hyvin suunniteltu avoin kysymyslomake tuottaa usein parempia tuloksia kuin hutaisten tehty haastattelu (Metsämuuronen 2006). Kuitenkin ehkä tärkein etu kyselylomaketta käytettäessä

on se, että haastateltava voi olla varma anonymiteettinsä säilyvyydestä. Tämän takia käytäytymistieteissä kyselylomaketta käytetään edelleen yleisimpänä tiedonkeruumenetelmänä (Hirsjärvi & Hurme 2008). Hirsjärvi ja Hurme ovat listanneet tilanteita, joissa haastattelu on kuitenkin parempi kuin avoin kyselylomake. Muun muassa seuraavan kaltaisissa tilanteissa tutkimus kannattaa toteuttaa haastatteluna:

- Haastatteluun osallistuvilla on alhainen motivaatio tutkimusta kohtaan
- Halutaan säädellä aiheiden järjestystä kesken haastattelun
- Tavoitellaan korkeaa osallistumisprosenttia
- Tutkitaan emotionaalisia aiheita
- Etsitään kuvaavia esimerkkejä
- Halutaan etsiä tietoa, jota ei osata kysyä
- Tutkitaan alueita, joita ei voida testata objektiivisesti (Hirsjärvi & Hurme 2008).

Tämän listauksen pohjalta valitsin haastattelun tämän tutkimuksen tiedonkeruumenetelmäksi. Erityisesti kohdat ”*Etsitään kuvaavia esimerkkejä*” ja ”*Halutaan etsiä tietoa, jota ei osata kysyä*” vakuuttivat minut siitä, että tutkimuksen tiedonkeruumenetelmä tulisi olla haastattelu.

4.2.2 Haastattelu tiedonhankintamenetelmänä

Haastattelu voidaan myös toteuttaa monella eri tavalla. Haastattelutyypit jaetaan usein strukturointiasteen mukaan eri kategorioihin. Kirjallisuudessa on olemassa monia eri nimityksiä haastatteluille, mutta usein myös puhutaan samalla nimellä erityyppisistä haastatteluista. Haastattelutyyppejä ovat muun muassa standardoitu lomakehaastattelu, strukturoitu haastattelu, teemahaastattelu, syvähaastattelu sekä kvalitatiivinen haastattelu. (Hirsjärvi & Hurme 2008) Haastattelut voidaan kuitenkin jakaa kolmeen pääkategoriaan. Näidenkin nimitykset hieman vaihtelevat lähteittäin. Hirsjärvi ja Hurme (2008) käyttävät näistä pääkategorioista nimityksiä lomakehaastattelu, teemahaastattelu ja strukturoimaton haastattelu. Metsämuuronen taas käyttää vastaavista kategorioista nimityksiä strukturoitu haastattelu, puolistrukturoitu haastattelu ja avoin haastattelu.

Lomakehaastattelu (*strukturoitu haastattelu*) on näistä kolmesta haastattelutyypistä käytetyin (Hirsjärvi & Hurme 2008). Siinä haastateltavalla on kysymyslista, joissa on valmiit vastausvaihtoehdot. Haastattelun aikana haastattelija pohtii mikä vastausvaihtoehdoista on lähimpänä haastateltavan mielipidettä ja merkitsee sen ylös. Lomakehaastattelun etuna voidaan nähdä muun muassa tiedonkäsittelyn nopeus ja haastattelijan intressien vaikutuksen minimoiminen. Lomakehaastattelun suurin ongelma taas liittyy lomakkeen rakentamiseen. Jos tutkittavaa ilmiötä tai asiaa ei tunneta entuudestaan hyvin, voi olla hyvin haastavaa rakentaa vastausvaihtoehdot, jotka kuvaavat ongelmaa monipuolisesti. (Hirsjärvi & Hurme 2008)

Strukturoimaton haastattelu (*avoin haastattelu*) on olemukseltaan lähellä keskustelua (Metsämuuronen 2006). Tätä haastattelutyyppiä käytetään usein kliinisissä haastatteluisissa, mutta viime aikoina strukturoimaton haastattelu on saavuttanut suosiota myös psykologien ja sosiaalityöntekijöiden joukossa (Hirsjärvi & Hurme 2008). Strukturoimattomassa haastattelussa haastateltava itse ohjaa haastattelun kulkua ja haastattelija lähinnä kysyy tarkentavia kysymyksiä (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008). Metsämuuronen mielestä avoin haastattelu sopii erityisen hyvin tilanteisiin, joissa haastateltavilla on erilaisia kokemuksia ja kun käsitellään menneisyyteen sijoittuvaa heikosti muistettavaa asiaa. Strukturoimattoman haastattelun huonoja puolia ovat sen suuri työmäärä aineiston analyysivaiheessa ja tutkijan tulee olla erittäin hyvin tietoinen tutkittavasta aiheesta, jotta osaa kysyä tarkentavia kysymyksiä (Metsämuuronen 2006).

Näiden kahden haastattelumuodon välistä löytyy teemahaastattelu (*puolistrukturoitu haastattelu*). Siinä haastattelija on valmiiksi miettinyt joitain kysymyksiä (*voidaan kutsua myös teemoiksi*), joista hän keskustelee haastateltavan kanssa (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008). Teemahaastattelussa haastattelija ohjaa keskustelua, mutta haastattelijalla on mahdollisuus antaa haastateltavalle vapautta keskustella teemoista, joista haastateltava haluaa keskustella. Tällöin haastattelussa saattaa tulla esiin tietoa, jota haastattelija ei olisi osannut kysyä. Tämä kuitenkin myös mahdollistaa sen, että haastattelu ei karkaa aiheen ulkopuolelle, vaan haastattelu pysyy ennalta asetetuissa teemoissa (Hirsjärvi & Hurme 2008). Teemahaastattelun hyviin puoliin voidaan laskea myös se, että se ei sido tutkimusta pelkästään kvantitatiiviseen tai kvalitatiiviseen tutkimusmuotoon, vaan se mahdollistaa niiden sekoittamisen. Kuvassa 15 esitetään teemahaastattelun sijoittuminen muihin päähaastattelukategorioihin. Teemahaastattelu sijaitsee näiden välissä ja siinä onkin havaittavissa piirteitä molemmista.



Kuva 15 Teemahaastattelu suhteessa lomakehaastatteluun ja strukturoimattomaan haastatteluun (Hirsjärvi & Hurme 2008).

4.2.3 Tutkimussuunnitelman viimeistely

Edellä käsiteltyjen asioiden lisäksi Heikkilän (2014) mallin mukaisessa tutkimussuunnitelmassa tulee lisäksi määrittää tutkimuksen budjetti, aikataulu, perusjoukko, otos, otantamenetelmä sekä päättää aineiston käsittelystä. Tässä tutkimuksessa budjetti ei ole ko-

vinkaan merkittävässä roolissa, sillä suoritan tämän tutkimuksen muun työni ohessa, jolloin tutkimukseen ei tarvitse varata rahallista budjettia. Haastateltavien osaltakaan ei synny kustannuksia, joten budjettia ei tarvitse tämän enempää suunnitella.

Sen sijaan aikataulun suunnittelu on tärkeää ja myös merkittävässä roolissa tutkimuksen onnistumisen kannalta (Heikkilä 2014). Tämä tutkimus tehdään osana diplomityötä, jolloin diplomityön aikataulu asettaa raamit myös tutkimuksen aikataululle. Tutkimus tulee kin tehdä hyvissä ajoin, jotta siinä havaittuja asioita voidaan mahdollisesti tutkia vielä tarkemmin. Päädyimme ohjaajani kanssa toteuttamaan tutkimuksen seuraavan laisella aikataululla:

- Viikko 15: Kysymysten ja teemojen pohtiminen
- Viikko 16: Teemojen tarkastaminen ohjaajan kanssa, esitutkimus ja kutsujen lähettäminen haastateltaville
- Viikko 17: Haastattelut ja aineiston käsittely
- Viikko 18: Alustavien havaintojen esittäminen ohjaajalle ja esimiehelle
- Viikko 20: Havainnoista keskusteleminen radioverkkosuunnittelijoiden kanssa
- Viikko 22: Haastattelututkimuksen loppuun saattaminen

Vaikka kyseessä on kohtalaisen pienimuotoinen ja helposti toteutettavissa oleva tutkimus, on sen suorittamiseen varattava riittävästi aikaa. Yllä olevan aikataulun mukaisesti mentäessä tutkimukseen menisi siis lähes kaksi kuukautta, joka voi kuulostaa pitkältä ajalta, mutta muun työn ohessa tehtäessä se kuulostaa mielestäni realistiselta aikataululta. Lisäksi Hirsjärvi ja Hurme huomauttavat, että tutkijoilla on tapana aliarvioida analyysivaiheen raskaus eikä siihen osata varata riittävästi aikaa.

Perusjoukko, otos ja otantamenetelmä liittyvät toisiinsa erittäin vahvasti niin käsitteinä kuin myös tutkimuksen kannalta. Perusjoukkoon koetaan kuuluvan kaikki ne henkilöt, jotka ovat tutkimuksen kannalta kiinnostuksen kohteina (Heikkilä 2014). Tässä tutkimuksessa perusjoukkona ovat Elisan radioverkkosuunnittelijat. Otokseksi luetaan ne perusjoukon henkilöt, joita tutkimuksessa tutkitaan (Heikkilä 2014). Otantamenetelmäksi kutsutaan sitä menetelmää, jolla otos muodostetaan perusjoukosta. Yleisesti käytettyjä otantamenetelmiä ovat:

- yksinkertainen satunnaisotanta
- systemaattinen otanta
- ositettu eli stratifioitu otanta
- ryväotanta eli klusteriotanta
- otanta otosyksikön koon mukaan (Heikkilä 2014).

Ryväotantaa voidaan käyttää tilanteissa, joissa perusjoukko on jakautunut luonnollisiin ryhmiin. Näistä luonnollisista ryhmistä voidaan suorittaa otanta esimerkiksi satunnaisotannalla. Elisan radioverkkosuunnittelijat ovat jakautuneet usealla paikkakunnalle, joten

ryväotanta on luonnollinen otantamenetelmä tässä tapauksessa. Vaikka suunnittelijoille on annettu samat ohjeet, löytyy ohjeiden noudattamisessa varmasti paikkakuntakohtaisia eroja. Tämän takia olisi hyvä saada tutkimukseen haastateltavia mahdollisimman monelta paikkakunnalta.

Varsinaisia radioverkkosuunnittelijoita Elisalla on 12 ja heidän lisäksi on 3 ulkopuolista henkilöä, jotka tekevät Elisalle radioverkkosuunnittelua. Myös Elisän *pre-planning* tiimistä muutama henkilö tekee muun työnsä lisäksi radioverkkosuunnittelua. Myös heidän ajatuksiaan olisi mielenkiintoista tutkia, joten lopulliseksi otokseksi tuli 6 Elisän radioverkkosuunnittelijaa yhteensä kolmelta eri paikkakunnalta, 1 ulkopuolinen suunnittelija ja 1 *pre-planning* tiimin suunnittelija. Heidän lisäksi haastattelin myös *site-planning* tiimin esimiestä.

Tutkimussuunnitelman viimeiseksi vaiheeksi Heikkilä mainitsee päätöksenteon aineiston käsittelyyn. Aineiston käsittely voidaan jakaa kolmeen erilaiseen tapaan. Ensimmäinen tapa pitää sisällään aineiston purkamisen ja purkamisesta edetään suoraan analyysiin tutkijan käyttäen hyödyksi tutkijan intuitiota. Toisessa tavassa aineisto puretaan ja purkamisen jälkeen aineisto koodataan. Analysointi tehdään tämän koodaamisen perusteella. Kolmannessa tavassa purkamis- ja koodaamisvaiheet on yhdistetty ja niitä seuraa analysointi. (Eskola & Suoranta 1998) Koodaamisella tässä tapauksessa ymmärretään toimenpide, jolla pyritään tuomaan esille aineistossa olevia yhteneväisyyksiä tai erityisiä huomioita. Aineiston koodaamista on siis se että, tutkija asettaa tietyn merkinnän koskemaan tiettyä havaintoa. Esimerkiksi hän voi käyttää merkintää ”1” merkitsemään niitä haastateltavia, joiden mielestä tietoa on liian vähän saatavilla. Vastaavasti merkintä ”2” voi tarkoittaa niitä haastateltavia, joiden mielestä tietoa on riittävästi saatavilla. Tästä käytetään myös termiä aineiston kvantifiointi (Eskola & Suoranta 1998). Mielestäni Eskolan ja Suorannan esittelemistä tavoista tapa 2 tuottaisi tässä tapauksessa parhaan tuloksen, joten päädyin valitsemaan sen. Harkitsin myös tapaa 3, mutta koen paremmaksi tavaksi ensin purkaa aineiston ja vasta tämän jälkeen pohtia kuinka lähtisin koodaamaan purettua aineistoa. Tavassa 3 koodaamiseen liittyvät asiat olisi pitänyt päättää jo ennen ensimmäisenkään haastattelun purkamista, joten se vaatisi kokemuksen tuomaa pelisilmää, jotta osaisi haastatteluiden pohjalta tehdä koodaamisen.

4.3 Aineiston keruu

Aiheeseen perehtymisen ja tutkimusongelman täsmentämisen jälkeen Hirsjärven ja Hurmeen tutkimusmallissa on aineiston keruu ja analysointi. Tutkimussuunnitelmassa tiedonhankintamenetelmäksi määritettiin puolistrukturoitu haastattelu. Aineiston keruun ensimmäinen vaihe onkin haastattelukysymysten päättäminen. Haastattelun tyypistä johtuen kysymysten asettelu ei ole niin merkittävässä roolissa kuin esimerkiksi lomakehaastattelussa. Sen sijaan haastattelijan tulisi miettiä millaisista teemoista haluaa haastateltavien kanssa keskustella (Hirsjärvi & Hurme 2008).

4.3.1 Haastattelujen teemat

Tarkasti määritelty tutkimusongelma helpottaa haastattelun kysymysten muodostamista. Tässä tutkimuksessa tutkimusongelma on kaksi osainen, joten myös kysymysten tulisi jakautua näiden kahden osan mukaisesti. Kysymykset voidaan tässä tapauksessa jakaa pääosin kahteen kategoriaan. Ensimmäisen kategorian kysymyksillä pyritään selvittämään onko tietoa riittävästi käytettävissä ja kuinka tietoa käytetään. Toisen kategorian kysymykset pyrkivät selvittämään haastateltavien asennetta juoksevien kustannusten vähentämiseen.

Seuraavassa on näkemyksiä hyvien kysymysten ominaispiirteistä:

- kysytään vain yhtä asiaa kerrallaan
- kysymys on hyödyllinen ja tarpeellinen
- kysymys on kohteliaasti esitetty, ymmärrettävä ja selkeä
- kysymys ei ole liian pitkä tai monimutkainen
- kysymys ei ole johdattelua
- kysymys ei sisällä sivistyssanoja, slangia eikä erikoissanastoa (Heikkilä 2014).

Heikkilän listaus ominaispiirteistä on tarkoitettu kvantitatiivisen tutkimuksen tekijälle, mutta mielestäni listausta voidaan hyödyntää myös kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Mielestäni toiseksi viimeinen kohta on näistä kaikista tärkein. Olen itsekkin osallistunut tutkimuksiin ja olen huomannut, että joissain tutkimuksissa kysymykset ovat olleet johdatteluvia. Niihin kysymyksiin vastatessa ryhdyn miettimään millaisia vastauksia tutkimuksen tekijä tähän kysymykseen haluaa ja näin ollen vastaus ei välttämättä vastaa todellisuutta. Viimeisestä kohdasta olen tämän tutkimuksen osalta Heikkilän kanssa eri mieltä. Mielestäni tutkimuksessa voidaan käyttää erikoissanastoa esimerkiksi silloin kun tutkimukseen osallistuvat henkilöt omaavat saman erityisosaamisen. Tähän tutkimukseen osallistuvat henkilöt omaavat pitkän taustan radioverkkosuunnittelun kanssa, joten heillä on kaikilla alan sanasto tiedossa. Tällöin mielestäni on perusteltua käyttää myös erikoissanastoa.

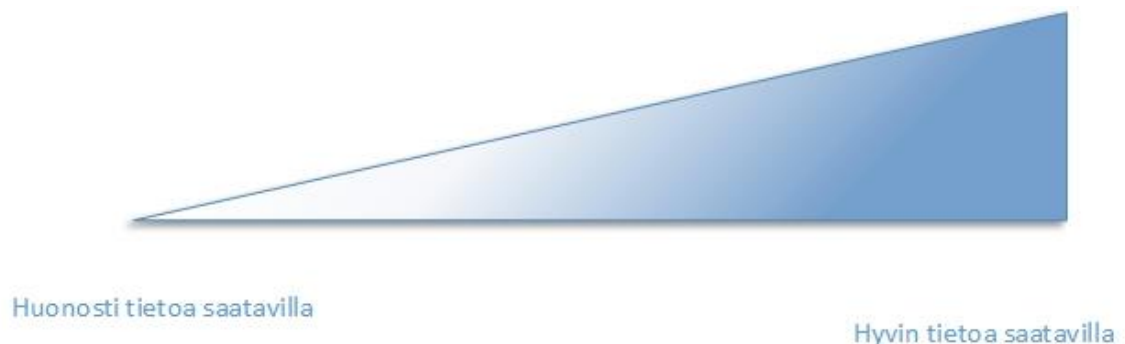
Vaikka Hirsjärvi ja Hurme (2008) toteavat, etteivät puolistrukturoidussa haastattelussa kysymykset ole niin merkittävässä roolissa, halusin kuitenkin luoda itselleni listan kysymyksistä, joihin pyrin löytämään vastauksen haastattelujen avulla. Kysymykset joihin halusin löytää vastauksen haastattelujen avulla löytyvät A liitteeltä. Samalla käytin kysymyslistaa haastattelumuistiinpanojen pohjana.

Haastattelun alkupuolella haastateltavan kanssa keskustellaan siitä millaista tietoa hänellä on liittyen juokseviin kustannuksiin ja pyritään hieman selvittämään kuinka hyvin haastateltava tietää mitä juoksevat kustannukset ovat. Kuten totesin aiemmin, haastatteluilla pyritään myös saamaan kvantitatiivista dataa. Haastatteluissa on tarkoituksena selvittää radioverkkosuunnittelijoilta kokevatko he, että heillä on riittävästi tietoa juoksevista kustannuksista. Tämänkaltaiseen kysymykseen on käytettävissä monta erilaista asteikkoa.

Asenne ja motivaatio kysymyksissä käytetään yleensä Likertin asteikkoa tai VAS asteikkoa (*Visual Analog Scale*) (Metsämuuronen 2006; Heikkilä 2014). Likertin asteikko on todennäköisesti monille tuttu, jos he ovat osallistuneet tutkimuksiin aiemmin. Siinä asteikko on 1-5 ja vastausvaihtoehdot menevät usein seuraavasti:

1. Täysin eri mieltä
2. Jokseenkin eri mieltä
3. Ei samaa eikä eri mieltä (Ei osaa sanoa)
4. Jokseenkin samaa mieltä
5. Täysin samaa mieltä

VAS asteikossa vastaajalle ei anneta valmista asteikkoa, vaan siinä on annettu ainoastaan pienin ja suurin vaihtoehto. Vastaaja merkkää näiden vaihtoehtojen välistä mielestään sopivimman kohdan. Kuvassa 16 on esimerkki VAS asteikosta. VAS asteikon hyvänä puolenä voidaan nähdä sen joustavuus vastaajan näkökulmasta. Koska siinä ei ole ennalta annettua asteikkoa, voi vastaaja valita juuri sen kohdan asteikosta, jonka itse parhaaksi kokee (Metsämuuronen 2006). Huonona puolenä VAS asteikossa voidaan nähdä sen työllistyvyys ja epätarkkuus analysointivaiheessa. Epätarkkuutta aiheutuu siitä kun aineistoa analysoidaan ja vastaukset asetetaan numeroasteikolle.



Kuva 16 Esimerkki VAS asteikosta.

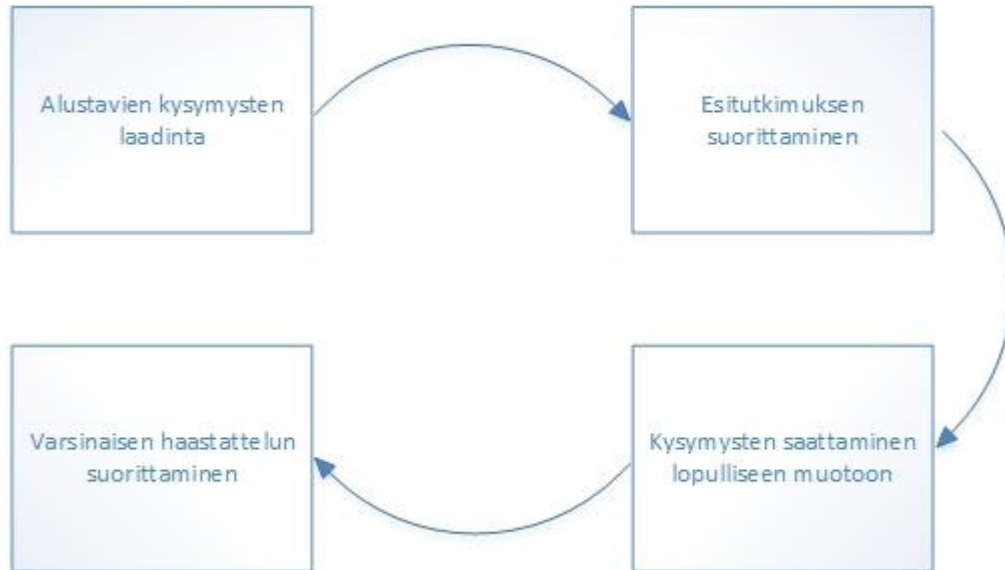
Olisin ottanut VAS asteikon muuten käyttöön mutta, osa haastatteluista tehdään tietokoneen välityksellä puheluna, joten haastateltavan olisi hankalaa vastata tämän kaltaisiin kysymyksiin.

Osgoodin asteikko voidaan nähdä Likertin asteikon ja VAS asteikon yhdistelmänä. Osgoodin asteikossa kysymykseen vastataan valitsemalla numero suurimman ja pienimmän vaihtoehdon välistä (Heikkilä 2014). Esimerkki Osgoodin asteikosta:

Tietoa on huonosti saatavilla 1 2 3 4 5 Tietoa on hyvin saatavilla

Osgoodin asteikossa asteikko ei ole ennalta määrätty, vaan sen voi päättää tutkimuksen mukaan. Myös asteikon alkamis- ja päättymiskohta on tutkijan valittavissa. Tyypillinen

tään esitutkimuksen vaikutus varsinaisen tutkimuksen kysymyksiin. Prosessi alkaa alustavien kysymysten laadinnalla. Sitä seuraa esitutkimuksen suorittaminen. Kysymykset saatetaan esitutkimuksen havaintojen pohjalta lopulliseen muotoon, jonka jälkeen suoritetaan varsinaiset haastattelut.



Kuva 17 *Prosessi alustavista kysymyksistä lopulliseen haastatteluun.*

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa esitutkimuksen kooksi suositellaan kahta tai kolmea henkilöä, jotka kuuluvat tutkimuksen perusjoukkoon (Hirsjärvi & Hurme 2008). Kvantitatiivisessa tutkimuksessa taas esitutkimuksen kooksi riittää 5–10 henkilöä (Heikkilä 2014). Koen tässä tutkimuksessa esitutkimukseksi riittäväksi yhden henkilön haastattelun ennen varsinaista haastattelua. Elisan radioverkkosuunnittelijat ovat kohtalaisen homogeeninen ryhmä, jolloin yhden henkilön parannusehdotuksilla saadaan riittävä tarkkuus kysymyksiin. Toinen syy yhden henkilön esitutkimukseen on tutkimuksen pieni perusjoukon koko. Jotta varsinaiseen tutkimukseen saataisiin kerättyä mahdollisimman laaja aineisto, ei esitutkimuksessa voida haastatella kovin montaa henkilöä. Mielestäni tässä tapauksessa yhden henkilön esitutkimuksella saadaan riittävän varmuus siitä, että haastattelussa keskusteltavat aiheet ovat haastateltavien mielestä ymmärrettäviä.

Päädyin näin ollen haastattelemaan yhtä Elisan radioverkkosuunnittelijaa esitutkimuksessa ennen varsinaista tutkimusta. Esitutkimuksessa selvisi, että haastattelussa olevat aiheet ovat pääosin selkeitä ja ymmärrettäviä. Ennen esitutkimusta olin hieman epävarma yhden kysymyksen sanamuodosta ja siihen sain esitutkimuksessa varmistuksen, että sitä täytyy vielä hieman hioa. Kuten kohdassa 4.3.1 totesin, päädyin esitutkimuksen pohjalta myös muuttamaan asteikkoa, jota käytin parissa kysymyksessä. Alun perin olin ajatellut käyttäväni asteikkona 1-8, mutta kuten todettua, Elisalla on vastaavissa kysymyksissä asteikkona käytetty 1-5. Päädyin myös hieman muokkaamaan kysymysten järjestystä, jotta

kysymykset muodostaisivat parempia loogisia kokonaisuuksia. Esitutkimuksena toteutetun haastattelun kesto oli noin 30 minuuttia. Tämän johdosta päädyin pyytämään varsinaisia haastateltavia varaamaan haastattelulle ainakin 30 minuuttia.

Esitutkimuksen ja sen pohjalta tehtyjen parannusten jälkeen seuraa varsinainen tutkimus ja siihen liittyvät haastattelut. Lähetin tutkimukseen valikoituneille henkilöille sähköpostilla kutsun osallistua haastatteluun. Kutsussa informoin haastateltavia siitä kuka olen ja miksi tällaista tutkimusta ollaan tekemässä. Haastattelun ajankohdan annoin haastateltavan itse päättää. Kutsussa ilmoitin että toivoisin heidän tekevän kalenterivarauksen minulle viikolle 17 heille sopivaan aikaan. Ajaksi pyysin varaamaan 30 minuuttia, mutta totesin että haastattelussa voi mennä pidempäänkin, jos haastateltavalla on paljon sanottavaa haastattelun asioista.

Tutkimukseen osallistuvia henkilöitä on ennen haastattelun alkua informoitava tärkeimmistä tutkimukseen liittyvistä asioista. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tästä käytetään termiä saatesanat ja haastattelussa ne sanotaan ennen haastattelun alkamista. (Heikkilä 2014) Kerroin jokaisen haastattelun alussa saatesanoissa seuraavat asiat:

- opiskelen Tampereen teknillisellä yliopistolla ja teen diplomityötä Elisalle
 - ohjaajani on Karri Sunila
- diplomityössäni tutkitaan keinoja OPEX kustannusten vähentämiseksi
- työssä suoritetaan haastattelu, jonka avulla selvitetään suunnittelijoiden tämän hetkinen tietotaso
- haastattelussa ei tutkita yksittäistä henkilöä, vaan johtopäätökset ovat ryhmä tasolla
- pyysin luvan kerätä muistiinpanoja ja tallentaa keskustelun
 - luvan saatua totesin tuhoavani muistiinpanot ja tallenteet tutkimuksen valmistuttua.

Olin positiivisesti yllättynyt haastateltavien asenteesta tutkimusta kohtaan ja kaikki antoivat luvan tallentaa keskustelun. Oman haasteensa haastatteluihin toi se, että osan haastatteluista jouduin pitämään Skypea välityksellä ja yhden haastattelun suoritin ihan perinteisesti puhelimen välityksellä. Kuten saatesanoissa tuli ilmi, tallensin jokaisen haastattelun joko Skypea avulla tai matkapuhelimeni ääninauhurilla. Ennen haastatteluja ajattelin selviäväni ainoastaan muistiinpanojen avulla, mutta ääninauhurin käyttö haastatteluissa on tutkimuskirjallisuuden mukaan suotavaa, joten otin myös sen käyttöön (Metsämuuronen 2006; Hirsjärvi & Hurme 2008). Jälkikäteen voin todeta että se oli loistava valinta, sillä vaikka kirjoitin muistiinpanoihin sen minkä ehdin, niin silti niistä jäi puuttamaan olennaisia asioita. Esimerkiksi tallenteilta pystyi jälkikäteen tarkastamaan tarkat sanamuodot ja äänenpainot joita haastateltava oli käyttänyt.

Haastateltavilla oli pääosin paljon sanottavaa, joten heitä ei tarvinnut patistella keskustelemaan esille tuomistani asioista, vaan päinvastoin heitä joutui ohjaamaan takaisin olennaisempaan asiaan. Haastatteluja tehdessä oli myös mielenkiintoista huomata kuinka samoista aiheista keskusteltaessa eri henkilöiden kanssa sain aivan erilaisia näkökulmia asioihin. Haastatteluja tehdessäni huomasin myös että varaamani 30 minuutin aika oli hie-man lyhyt, sillä joidenkin haastateltavien kanssa jatkoimme heidän suostumuksellaan lähes tunnin mittaiseen haastatteluun. Haastattelut päättyivät siihen, että viimeisenä asiana kysyin haastateltavilta onko heillä jotain lisättävää tähän keskusteluun ja tällä pyrin saamaan viimeisetkin mielipiteet ulos heistä. Joidenkin kanssa keskustelu lähti tässä vaiheessa uudelleen lentoon ja sieltä löytyi vielä erittäin mielenkiintoisia asioita juoksevien kustannusten minimoimisen historiasta Elisalla. Aivan viimeisenä kiitin haastateltavia ja sanoin heille, että voivat laittaa sähköpostia tai soittaa minulle, jos heille tulee vielä jotain lisättävää keskustelemistamme aiheista.

4.4 Aineiston käsittely ja analysointi

Tutkimuksen viimeisimpien vaiheiden joukkoon kuuluu aineiston käsittely. Kyseisessä vaiheessa tutkimuksen aikana kerätyt muistiinpanot ja tallenteet käsitellään muotoon, josta ne voidaan analysoida lopputuloksiksi (Hirsjärvi & Hurme 2008). Tämän tutkimuksen osalta se tarkoitti tallenteiden litterointia ja muistiinpanojen puhtaaksi kirjoittamista. Kuten aiemmin todettiin, jokainen haastateltava antoi suostumuksen haastattelun nauhoittamiseen. Erityisesti litterointi vaihe oli erittäin aikaa vievää, sillä haastattelut kestivät yhteensä useita tunteja, joten litteroitavaa materiaalia oli paljon. Tämä oli kuitenkin myös erittäin palkitsevaa, sillä pystyin nauhoitusta kuunnellessa kiinnittämään erityistä huomiota niihin kohtiin, joissa muistiinpanoissani oli merkintöjä mielenkiintoisista huomioista.

Suoritin litteroinnin siten, että tein kysymyslistani jokaisen kysymyksen alle 10 rivisen taulukon. Nauhoitusta kuunnellessani kirjoitin haastateltavan sanomia asioita parhaiten sopivan kysymyksen alle. Tämä mahdollisti sen, että haastateltavien järjestys pysyy samana, jolloin pystyin vertaamaan yksittäisen haastateltavan kommentteja eri kysymysten välillä. Toisaalta tämä mahdollisti myös sen, että pystyin vertaamaan eri haastateltavien kommentteja samojen kysymysten sisällä. Pelkästään litteroinnilla puhtaaksi kirjoitettua aineistoa syntyi 12 sivua. Tähän päälle kun lisätään vielä kirjoittamani muistiinpanot, niin käytettävää aineistoa on melkoisen paljon.

Aineiston käsittelyn jälkeen seuraa aineiston analysointi. Myös kvalitatiivisen tutkimuksen analysointiin olisi käytettävissä ohjelmistoja, mutta en kokenut niitä tarpeelliseksi tässä tutkimuksessa. Hirsjärven ja Hurmeen (2008) suositus analysoinnista oli lähinnä luottamus tutkijan omaan intuitioon, joten päätin luottaa rohkeasti siihen. Eskolan ja Suorannan (1998) ohjeen mukaisesti koodasin aineistosta samankaltaisuudet. Analysoinnin ja haastattelujen lopulliset tulokset käsitellään luvussa 5.2.

5. ELISAN RADIOVERKKOON SUOSITELTAVAT MUUTOKSET

Luvussa 2 esiteltiin yleisellä tasolla miten juoksevat kustannukset tyypillisesti muodostuvat matkapuhelinoperaattorien radioverkossa. Luvussa 3 käsittelyyn otettiin Elisan radioverkon juoksevat kustannukset. Juoksevien kustannusten kertyminen jaettiin kahteen eri osaan, omien tukiasemapaikkojen juoksevat kustannukset ja vuokrattujen tukiasemapaikkojen juoksevat kustannukset. Paikoissa on eroa siinä miten kustannukset muodostuvat, mutta niistä on löydettävissä myös yhteneväisyyksiä. Tukiasemalaitteiston kuluttama sähkö on molemmissa tapauksissa samankaltaista. Kun taas omissa tukiasemapaikoissa ei tarvitse maksaa toiselle operaattorille vuokraa.

5.1 Juoksevien kustannusten minimoisen mahdollistavat keinot

Halvin keino jolla juokseviin kustannuksiin kyetään vaikuttamaan on laskutustietojen tarkistaminen. Laskutustietoja tutkiessani tein pienen testin ja etsin suunnitteluohjelmasta vuokraaja 1:n tukiasemapaikalla olevia Elisan kohteita ja vertasin Elisan dokumentaatiojärjestelmien tietoja vuokraaja 1 laskutustietoihin. Ehdin katsoa kolme kohdetta, kunnes löytyi ensimmäinen kohde, jossa laskutustiedot eivät täsmänneet Elisan dokumentaation kanssa. Kyseisessä kohteessa laskutustiedot olivat muuten oikein, mutta antennien asennuskorkeus oli väärä. Samaan aikaan tämän diplomityön kanssa oli menossa projekti, jossa pyrittiin löytämään väärin laskutettavia kohteita. Itse en ollut kyseisessä projektissa mukana muuten kuin sivustaseuraajana, mutta vaikutti siltä, että väärin laskutettavia kohteita oli paljon. Väärin laskutetut kohteet on siinä mielessä ongelmallisia, että laskutus voi olla myös Elisan kannalta positiiviseen suuntaan väärin. Mielestäni myös näistä tulisi ilmoittaa vuokraajille, jotta laskutuksesta saataisiin rehellistä ja läpinäkyvää.

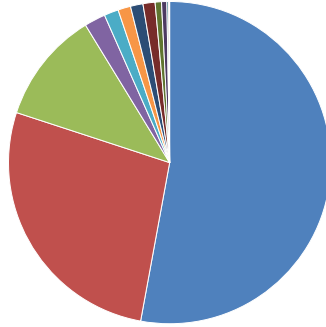
Nyt kun on havaittu, että laskutuksessa on ollut vääriä tietoja, tulisi miettiä kuinka laskutus saataisiin jatkossa oikeanlaiseksi. Haastattelin Elisalla töissä olevaa *Account Manager*-tittelillä työskentelevää Heikki Salmelaa. Salmela työskentelee tiimissä, joka vastaa vuokra-asioista. Hänen mukaan laskutustiedot kulkevat usean ihmisen kautta, ennen kuin ne päätyvät lopulliseen laskutusjärjestelmään. Tämän ketjun läpi kulkiessaan tiedoilla on ainakin kolme eri kohtaa, missä tietoihin saattaa tulla muutoksia inhimillisen virheen takia. Mielestäni tähän olisi hyvä keksiä keino, jolla ylimääräiset välikädet saataisiin pois laskutusketjusta. Tällä saataisiin pienennettyä todennäköisyyttä, jolla laskutustiedot jossain vaiheessa vääristyisivät.

Vuokrakohteissa urakoitsija laittaa Elisan dokumentaatiojärjestelmään Excel-tiedoston, josta näkee mitä asioita laskutukseen on menossa, mutta senkään avulla ei voida olla varmoja, että laskutus olisi lopulta oikein. Tukiasemapaikan laskutustiedoista asian voisi varmistaa, mutta Elisan radioverkkosuunnittelijoilla ei ole pääsyä kyseisiin tietoihin. Samoin tämän veisi heiltä myös aikaa, joka olisi pois suunnittelutyöstä. Radioverkkosuunnittelijoille tehdyssä haastattelussa kävi ilmi, että osa suunnittelijoista kysyy projektipäälliköiltä laskutustietoja. Heiltä tiedon saa, mutta mielestäni se ei ole oikea prosessi laskutustietojen tarkastamiseen, sillä projektipäälliköt ovat jo ennestään erittäin työllistettyjä. Olisikin siis hyvä, että jatkossa myös radioverkkosuunnittelijoilla olisi pääsy katsomaan vuokratietoja. Vuokra-asioihin liittyviä säästökohteita esitellään vielä tarkemmin luvuissa 5.1.2 ja 5.1.3.

Kiinteistökohteissa antennien etäisyys toisistaan usein on niin pitkä ettei ole järkevää vetää yhdeltä radiolta kaapeleita jokaiselle antennille. RF-kaapelit vaimentavat signaalia, joten pitkät kaapelivedot aiheuttavat ylimääräistä tehohäviötä radioverkkoon. Tällöin voidaan käyttää hajautettua ratkaisua, jossa joko jokaiselle antennille sijoitetaan oma radio, tai esimerkiksi kaksi antennia hoidetaan samalla radiolla ja kolmannelle viedään oma radio. Vastaavasti ratkaisua jossa yksi radio hoitaa kaikkien antennien lähetteen, kutsutaan keskitetyksi ratkaisuksi.

Keskitetty ratkaisu on usein halvempi investointi- ja juoksevien kustannusten osalta. Hajautetussa ratkaisussa radioiden hinta yleensä nostaa investointikustannukset RF-kaapeleiden vetämisen hinnan yläpuolelle. Samoin juoksevat kustannukset ovat usein suuremmat useampaa radiota käytettäessä. Radiot tyypillisesti kuluttavat matalammilla kuormilla enemmän tehoa suhteutettuna kuormaan, sillä radioilla on myös tyhjäkäynnillä kulutusta. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka radiolla ei olisi kuormaa ollenkaan, kuluttaa se silti sähköä jatkuvasti kun se on päällä. Tästä syystä hajautettu ratkaisu kuluttaa yleensä enemmän sähköä kuin keskitetty, vaikka kuorma jakautuukin eri radioiden kesken. LTE:ssä käytetyt radiot ovat kuitenkin tässä tapauksessa hieman poikkeuksellisia, sillä niiden tehonkulutus kasvaa huomattavan paljon kuormitustason noustessa. Luvussa 5.1.1 tarkastellaan tarkemmin eri tekniikoiden osalta kuinka sähkönkulutus eroaa hajautetussa ja keskitetyssä ratkaisussa.

Salmelaa haastatellessa tuli esille myös kysymys mastojen omistajuuksista. Tällä hetkellä mastojen omistajuudet ovat jakautuneet Suomessa hyvin epätasaisesti. Kuvassa 18 esitetään masto- ja pylväskohteiden omistajuudet Suomessa.



Kuva 18 Masto- ja pylväskohteiden omistajuudet Suomessa 1.8.2017.

Kuvasta 18 voidaan havaita kuinka Suomessa on kolme suurta masto- ja pylväskohteiden omistajaa. Yli 90 % Suomen masto- ja pylväskohteista on näiden kolmen toimijan omistuksessa. Näistä kolmesta suurin toimija omistaa yli 50 % näistä kohteista. Luvussa 3.3 esiteltiin uutinen, jossa käsiteltiin mastopaikkojen hinnoittelua Suomessa. Uutisessa todettiin, että televisiolähettimen paikan vuokraaminen Suomessa on erittäin kallista. Kyseessä ei ole sama toimija, mutta tällä suurimmalla omistajalla on melkoinen etu muihin toimijoihin verrattuna. Kyseinen toimija saa vuokratuloja masto- ja pylväskohteista merkittävästi enemmän kuin mitä se joutuu muille maksamaan. Tietysti tukiasemapaikan omistaminen tuo operaattoreille kustannuksia, mutta vuokratulot ovat kuitenkin sen verran paljon suuremmat, että mielestäni myös Elisan tulisi aktivoitua masto- ja pylväskohteiden omistajuuden suhteen.

Rakentamalla uusia mastoja tai pylväitä Elisalla olisi mahdollisuus saada vuokratuloja muilta toimijoilta. Tällöin ei myöskään tarvitsisi mennä vuokralle toisen operaattorin kohteeseen ja näin ei tarvitse maksaa vuokraa toisille toimijoille. Nykyisellään pylvä- ja mastokanta kattaa Suomen tämän hetkisen tilanteen hyvin, mutta esimerkiksi uusia asuinalueita rakennettaessa alueelle voidaan tarvita pylvästä tai mastoa, jonka avulla saadaan alueelle riittävä kapasiteetti. Tällaisissa tilanteissa Elisan olisi hyvä olla riittävän ajoissa liikkeellä, jotta tällaisia kohteita saataisiin rakennettua mahdollisimman paljon. Uusille asuinalueille ei kuitenkaan kaikki operaattorit saa rakentaa mastoa tai pylvästä, joten kaikki joutuvat tulemaan sen operaattorin kohteeseen, joka saa alueelle luvan. Tietysti mastoja tai pylväitä voitaisiin rakentaa myös muualle kuin uusien asuinalueiden läheisyyteen, jos jossain huomataan selkeä peitto- tai kapasiteetti ongelma. Tämä osaltaan auttaisi tulevaisuudessa alentamaan juoksevia kustannuksia ja mahdollistaisi myös suurempien vuokratulojen saamisen.

Haastattelujen pohjalta mieleeni tuli myös ajatus siitä, että tulevaisuudessa investointirahoista kannattaisi varata jonkin verran rahaa pelkästään juoksevia kustannuksia säästäviä kohteita varten. Esimerkiksi 10 % yhden vuoden investointirahoista voitaisiin varata kohteille, joilla juoksevien kustannusten vähentyessä investoinnin takaisinmaksuaika olisi kaksi tai kolme vuotta. Tällä ohjattaisiin ja kannustettaisiin suunnittelijoita etsimään kohteita, joissa olisi optimoitavaa. Tällä

hetkellä työnohjausjärjestelmästä löytyy kategoria ”*OpexOptimointi*”, joten tämä olisi kohtalaisen yksinkertainen toteuttaa. Mielestäni tämä olisi kokeilun arvoinen keino, sillä tämän kaltainen ”*pakkotilanne*” voisi aktivoida suunnittelijoita etsimään juoksevien kulujen kannalta kalliita kohteita. Tämä tietysti vaatii sen, että suunnittelijoille tarjotaan riittävät työkalut niiden kohteiden etsimiseen. Yksi tällainen työkalu olisi tieto siitä, mitä mikäkin kohde maksaa kuukaudessa. Seuraavaksi esitellään hieman tarkemmin keinoja kuinka juoksevia kustannuksia voidaan alentaa.

5.1.1 Tukiasemalaitteiston sähkönkulutuksen minimoiminen

Kuten työssä on aiemmin käynyt ilmi, tukiasemalaitteisto ja erityisesti radioyksiköt kuluttavat sähköä erittäin paljon. Laittevalmistajat kehittävät kuitenkin jatkuvasti laitteitaan ja uudemmat radioyksiköt kuluttavat vähemmän tehoa kuin aiemmin valmistetut laitteet. Osassa tapauksessa kulutuksen putoaminen on kohtalaisen pientä, mutta joissain tapauksissa tehonkulutusta on onnistuttu pienentämään merkittävästi. Vuokrakohteissa toimitaessa on tärkeää myös muistaa se, että sähköstä maksetaan energian lisäksi myös akkuvarmennus, jolloin pienempikin sähkönkulutuksen muutos voi vaikuttaa paljon. Omissa tukiasemapaikoissa taas tulee ottaa huomioon voimalaitteen hyötysuhteen takia hävityn energian määrä.

Aiemmin tukiasemalaitteet olivat merkittävästi suurempia kuin tänä päivänä. Tästä esimerkkinä on Elisän päälaitetoimittajan kaappimallinen 2G tukiasemayksikkö. Samainen yksikkö kuluttaa myös sähköä erityisen paljon. Kyseisen laitteen teho on kolmiseskertoisena noin 800 W, riippuen hieman montako kanavaa on käytössä. Tämä laite voidaan korvata laitteella jonka teho on noin 350 W. Eroa syntyy tällöin 450 W. Vuodessa tämä tekee 3942 kWh. Jos laite on vuokratiloissa, joutuisi siitä todennäköisesti maksamaan ylimääräisen laitepaikkavuokran ja lisäksi akkuvarmennuksen. Vuokrapaikoissa ollessa tästä syntyisi vuodessa niin iso summa, että yhden vuoden juoksevilla kustannuksilla maksettaisiin uusista laitteista aiheutuvat investointikustannukset. Näiden laitteiden modernisointi on Elisalla meneillään, mutta näitä löytyy edelleen verkosta erittäin paljon. Erityisesti vuokrapaikoissa olisi mielestäni järkevää jopa käydä varta vasten vaihtamassa näitä laitteita pois tukiasemapaikoilta. Tällä hetkellä Elisalla on käytössä kahden tyyppisiä radioita 2G:llä, näiden väliset erot ovat tehonkulutuksessa sen verran pienet, ettei ole väliä kummalla radiotyypillä tämän kaappimallisen laitteen korvaa.

Kaappimallinen 2G tukiasema on aina toteutettu keskitetysti, sillä siinä kaikki radioyksiköt sijaitsevat samassa kaapissa, eikä niitä voida hajauttaa antennien läheisyyteen. Uudemmat radiot sen sijaan voidaan tarvittaessa hajauttaa antennien läheisyyteen, jos suunnittelija kokee sille tarvetta. Kaappimallisessa 2G:ssa RF-kaapelien aiheuttamaa häviötä kompensoi korkeampi lähetysteho, joka on yksi syy siihen, miksi se kuluttaa uusia laitteita enemmän sähköä. Moderneilla laitteilla hajautetussa järjestelmässä voidaan käyttää pienempiä lähetystehoja, jolloin säästyy sähköä. Toisaalta kolmen radion tyhjäkäyntiku-

lutus nollaa tämän edun. Jos oletetaan, että yhdellä radiolla kuorma olisi 30 %. Hajaute-
tussa ratkaisussa ideaalitulanteessa tämä kuorma jakautuisi siten, että toiselle radiolle tu-
lisi 20 % kuorma ja toiselle 10 % kuorma. Yhden radion tilanteessa moderni 2G radio
kuluttaisi 350 wattia ja kahden radion tilanteessa kulutus olisi 440 wattia. Jos hajautettu
ratkaisu tehtäisiin kolmella radiolla, tulisi kulutukseksi 560 wattia, olettaen että kuorma
jakautuu kaikille radioille tasaisesti. Keskitetyn ja kolmen radion hajautetun ratkaisun
sähkönkulutus ero on kohtalainen, joten suunnittelijoiden tulisi miettiä onko hajautettu
ratkaisu tarpeellinen.

3G laitteistoa modernisoimalla ei pystytä saavuttamaan yhtä paljoo säästöä kuin mitä
2G:llä. Suurimmat säästöt saavutettaisiin sillä, että 3G 2100 MHz otettaisiin pois käytöstä
ja otettaisiin käyttöön 3G 900 MHz 2G:n kanssa multiradiona. Tällöin voitaisiin saavuttaa
parhaassa tapauksessa noin 300 Wh:n säästö tehonkulutuksessa. Jos 3G:llä on käytetty
uudempaa radiota tehonkulutus ero olisi vain 170 Wh. Jälkimmäisessä tapauksessa muu-
tosta ei ole järkevää tehdä ero on sen verran pieni, ettei sitä voi kustannussäästöillä pe-
rustella. Ainoa peruste tällaiselle muutokselle olisi se, että 2100 MHz kaistaa haluttaisiin
vapauttaa LTE käyttöön. Ensimmäisessä tapauksessa sen sijaan muutos kannattaisi tehdä
myös kustannusmielessä, jos tukiasemapaikalla on jo 2G:llä sopiva radio ennestään. Täl-
löin takaisinmaksettavaksi kustannukseksi jäisi ainoastaan työn osuus. Muutosta tehtä-
essä on suunnittelijoiden kuitenkin varmistuttava siitä, että 3G 900 MHz kapasiteetti riit-
tää kattamaan paikallisen tarpeen. Kantoaaltojen määrästä riippuen kapasiteetti voi olla
2100 taajuuskaistalla monikertainen verrattuna 900 MHz kaistaan, joten aivan sokkona
muutosta ei voida tehdä.

Uusien 3G 2100 MHz tukiasemien rakentaminen on Elisalla tällä hetkellä hyvin pientä.
Uudet 3G tukiasemat ovat pääosin 900 MHz taajuudella. Jos kaupungin keskustaan tulee
uusi tukiasemapaikka, voi olla edelleen välttämätöntä laittaa sinne kapasiteetin takia
myös 2100 MHz. Tällöin myös voi tulla eteen päätös hajautetusta ratkaisusta. 3G:llä käy-
tetään nykyään kuutta lähetys porttia radioissa, jotta saadaan hyödynnettyä MIMO (*Mul-
tiple-Input, Multiple-Output*). Tällöin hajautetussa ratkaisussa voidaan käyttää kahden
antennin luona radiota, jossa on kuusi lähetysporttia ja yksittäisen antennin luona voidaan
käyttää radiota, jossa on kolme lähetysporttia. Kolmen lähetysportin radio on vanhempaa
mallia, mutta koska sitä on Elisalla käytössään kierrätysmateriaalina, niin siitä ei aiheudu
investointikustannuksia. Yksi kuusi porttinen 3G 2100 MHz radio kuluttaa 30 % kuormi-
tustasolla 670 Wh. Vastaavasti hajautettuna ratkaisuna yhdellä kuusiporttisella ja yhdellä
kolmiporttisella kulutus olisi 680 Wh, joten sähkönkulutuksen vuoksi ei kannata inves-
toida kahta kuusiporttista radiota. Kolmella kolmiporttisella radiolla kulutukseksi tulisi
780 Wh, joten sekään ei ole merkittävästi suurempi kuin yhdellä kuusiporttisella. 3G 900
MHz:n tapauksessa pätee samat laskelmat kuin 2G 900 MHz:n kanssa sillä niissä käyte-
tään saman tyyppisiä radioita.

LTE on nykyisin investointimielessä Elisalle kaikista tekniikoista mielenkiintoisin.
LTE:tä rakennetaan tällä hetkellä suurilla volyyymeillä, joten tulevaisuuden juoksevien

kustannusten kannalta on tärkeää keksiä optimaalisia konfiguraatioita LTE:lle. LTE800 MHz:n taajuudella Elisalla on käytössään kolmea eri tyyppistä radiota. Vanhin on kolmiporttinen, siitä seuraava on kuusiporttinen mutta maksimi lähetysteho on 40 W ja uusin on kuusiporttinen 60 W radio. Uusimman ja vanhimman radion sähkönkulutuksen ero on noin 400 Wh riippuen kuormitustasosta. Omissa tukiasemapaikoissa ero on sen verran pieni, että vaikka huomio voimalaitteen hyötysuhteen, investoinnin takaisinmaksuaika olisi noin kolmesta neljään vuotta. Omassa tukiasemapaikassa vaihto kannattaa, kun sinne olisi tulossa uusi tekniikka ja kuituparit ovat loppu. Tällöin vaihdettaessa kahdesta radiosta yhteen, vapautuisi yksi kuitupari uudelle tekniikalle. Näin ollen uudelle tekniikalle ei tarvitsisi asentaa kuitua eikä myöskään sähkönsyöttöä. Vuokrapaikoissa maksettaessa myös akkuvarmennuksesta vaihto sen sijaan kannattaa. Erityisesti silloin jos radioista maksetaan vuokraa kappalehintaesesti. Käytettäessä 40 W lähetystehoa, ei uusimman ja toiseksi uusimman radion välillä ole juuri eroa. Joten jos kohteessa ei tarvita lisää lähetystehoa, ei tämmöisessä tapauksessa kannata vaihtaa kohteeseen uusinta radiota.

Uusimman kuusiporttisen radion tehonkulutus 60 % kuormituksella on noin 1010 Wh. Jos hajautettu ratkaisu tehtäisiin kahdella tämmöisellä radiolla, jolloin kuormitukset olisivat 20 % ja 40 %, olisi tehonkulutus 890 Wh. Tulos vaikuttaa hieman erikoiselta, mutta se selittyy sillä, että mitä korkeammaksi kuormitus nousee, sitä huonommaksi käy radion hyötysuhde. Jos hajautus tehtäisiin kolmella radiolla, olisi kulutus noin 840 Wh. Näin ollen kahden radion hajautettu järjestelmä on juoksevien kustannusten kannalta hyvä ratkaisu. Tehonkulutus ero on kuitenkin se verran pieni, että investointikustannukset huomioon ottaen ei ole järkevää lähteä sijoittamaan aina kahta radiota sähkönsäästö mielessä. Jos taas hajautuksessa käytettäisiin yhtä kuusiporttista ja yhtä kolmiporttista, olisi sähkönkulutus noin 960 Wh. Tämä sen sijaan on mielenkiintoinen tulos, sillä vanhemman mallisia radioita on Elisalla käytössään kierrätysmateriaalina. Käytettäessä kolmiporttista radiota olisivat investointikustannukset pienemmät, mutta juoksevat kustannukset olisivat aavistuksen suuremmat.

LTE 1800 MHz:n taajuudella Elisalla on myös käytössä kolmea erilaista radiota. Kaksi vanhempaa ovat kolmeporttisia ja uusin on kuusiporttinen. Näistä vanhimmassa on merkittävästi suurempi sähkönkulutus kuin kahdessa uudemmassa. Kuormitustasosta riippuen tehoero on 460-510 Wattia uusimman ja vanhimman mallisen radion välillä kun käytetään kuutta lähetysporttia. LTE 1800 MHz:n tapauksessa on hieman sama tilanne kuin LTE 800 MHz:n tilanteessa. Omissa tukiasemapaikoissa ei vaihtoa välttämättä kannata tehdä, ellei sillä saavuteta jotain etua myös investointikustannuksissa. Vuokrapaikoissa vaihto kannattaa tehdä jos joudutaan maksamaan myös akkuvarmennuksesta. Muuten vaihto ei kannata, sillä uusin radio on investointikustannuksiltaan sen verran kallias. Jos radioista joudutaan maksamaan vuokraa kappaleittain, olisi takaisinmaksuaika sen verran lyhyt, että radiot kannattaisi vaihtaa vanhimmista uusimpaan. Tämä on kuitenkin tapauskohtaista.

Keskitettynä ratkaisuna uusimman mallisella radiolla tehonkulutus olisi 60 % kuormituksella noin 950 Wh. Jos LTE 800 MHz:n tapaan tämä hajautettaisiin kahdella radiolla kuormituksilla 20 % ja 40 %, niin tehonkulutus olisi 860 Wh. Myös tämä selittyy sillä, että kuormitus jakautuu radioiden välille. Jos taas hyödynnettäisiin kierrätyksestä saatavaa materiaalia ja toteutettaisiin yksittäisen antennin lähete vanhemman mallisella radiolla, tulisi kokonaistehoksi tällöin 990 wattia. Tämä kuluttaa vain hieman keskitettyä ratkaisua enemmän tehoa. Kaikista pienin tehonkulutus saavutettaisiin, jos käytettäisiin kolmea uusinta radiota. Tällöin tehonkulutus olisi noin 800 Wh. Investointikustannukset olisivat kuitenkin niin suuret, ettei ole perusteltua käyttää kolmea radiota yhden sijasta, jos yksikin takaa verkolle riittävän hyvän laadun.

LTE 2600 MHz on mielenkiintoinen siinä mielessä, että se oli ensimmäinen LTE taajuuskaista, joka Elisalla tuli käyttöön. Se kuitenkin nopeasti korvaantui 1800 MHz:n taajuuskaistalla signaalin etenemisen vuoksi. Nyt 2600 MHz:n taajuutta on alettu käyttämään uudelleen kapasiteetin vuoksi. Elisalla on tällä hetkellä verkossaan kuitenkin myös näitä vanhoja radioita. Aiemmin käytetty radio on kolmiporttinen ja maksimi lähetysteho on 60 wattia, kun taas uudempi radio on kuusiporttinen ja maksimi lähetysteho on 40 W. Vaikka pitäisi verrata samaa lähetystehoa keskenään, on tässä mielestäni perusteltua verrata maksimi lähetystehojen kuluttamaa tehoa. Tämä siksi että verkossa olevat laitteet ovat asetettu maksimiteholle ja desibeli asteikolla eroa on ainoastaan 1,8 dB. Tässä tapauksessa on hyvin havaittavissa uudemman ja vanhemman laitteiston ero sähkönkulutuksessa. Nimittäin radiot kuluttavat hyvin lähelle saman verran tehoa, mutta jotta saataisiin hyödynnettiä MIMO:a, joudutaan vanhempia radioita käyttämään kahta kappaletta. Tällöin tehonkulutus tuplaantuu uudempiin radioihin verrattuna. Kyseessä on myös merkittävä ero, sillä 50 % lähetysteholla uudempi radio kuluttaa 800 Wh ja yksi vanhempi radio kuluttaa 806 Wh. Tässä on toki huomattava, että tehoerot ovat osittain eri lähetystehojen takia noin suuria.

Kiinteistökohteiden kannalta 2600 MHz:n taajuuskaista on hieman ongelmallinen, sillä korkean taajuutensa vuoksi myös kaapelihäviöt kasvavat. Tästä johtuen LTE 2600 MHz:n joudutaan usein tekemään hajautettuna, jos halutaan maksimoida verkon laatu. Yksittäinen kuusiporttinen radio kuluttaa 60 % kuormituksella noin 870 Wh. Jos kuormitus jaetaan kahdelle radiolle 20 % ja 40 % kuormituksiin, olisi tehonkulutus tällöin noin 810 Wh. Myös tässä on havaittavissa sama ilmiö kuin aiemmissa LTE tapauksissa, jossa yksi radio suuremmalla kuormitusasteella kuluttaa enemmän kuin kaksi pienemmän kuormitusasteen radiota. Kolmella radiolla tehonkulutukseksi tulisi 820 Wh, joten LTE 2600 MHz käyttäytyy hyvin samankaltaisesti kuin aiemmin esitellyt LTE radiot. Tässäkään tapauksessa sähkönkulutuksen muutos ei ole syy eikä este hajautetun ratkaisun hyödyntämiseen.

Radioyksiköiden sähkönkulutukseen on mahdollista vaikuttaa myös erilaisilla laitteistovalmistajien ominaisuuksilla. Elisan päälaitteistotoimittaja mahdollistaa LTE tukiasemiin

ominaisuuden, jolla halutuksi ajaksi voidaan sammuttaa taajuuksia. Yö aikaan matkapuhelinverkossa dataa siirretään merkittävästi vähemmän, sillä suurin osa käyttäjistä on nukkumassa. Näin ollen yön ajaksi voidaan sammuttaa jokin tekniikka, jota yön aika ei tarvita. Elisalla on käytössään tällä hetkellä ominaisuus, joka sammuttaa CA kohteissa LTE 1800 MHz:n lähetykset klo 2–7 välisenä aikana. Liitteellä C on kuva, jossa havainnollistetaan kyseisen sähkönsäästöominaisuuden toimintaa. Kohteessa on kaksi LTE 1800 MHz radiota, mutta kuvassa käyrät menevät päällekkäin, joten se näyttää kuin kohteessa olisi vain yksi 1800 MHz:n radio. Ilman sammutusta radiot kuluttaisivat noin 400 Wh kumpikin. Sammutuksen avulla yksittäinen radio kuluttaa noin 120 Wh. Näiden tietojen avulla laskettuna saadaan vuosittaiseksi säästöksi hieman yli 1000 kWh. Yksittäisen tukiasemapaikan säästö on tällöin noin 100 € vuodessa, mutta näitä paikkoja on Elisalla verkossa hyvin monia, joten säästö vuositasolla on erittäin merkittävä.

5.1.2 Vuokraaja 1

Vuokraaja 1:n vuokrahinnoittelumalli mahdollistaa monia eri keinoja, joiden avulla Elisalla on mahdollista säästää vuokrakustannuksissa. Vuokraaja 1:n hinnoittelua käsiteltiin tarkemmin luvussa 3.3.1. Oikeastaan kaikki laitteistoon liittyvät päätökset vaikuttavat jollain lailla Elisalla vuokrakustannuksiin vuokraaja 1 kohteessa. Toiset päätökset vaikuttavat tietenkin enemmän kuin toiset, mutta myös pienemmillä säästöillä voidaan saavuttaa kokonaiskuvassa suuria säästöjä. Antennit ovat yksi kohde johon kannattaa kiinnittää huomiota, sillä niiden avulla on mahdollista saavuttaa suuriakin säästöjä. Sähkönkulutus on myös yksi kohde, jossa Elisalla on mahdollisuuksia säästää vuokraaja 1:n tukiasemapaikoilla. Sähkönsäästöä käsiteltiin luvussa 5.1.1 ja samat lainalaisuudet pätevät myös vuokraaja 1:n tiloissa.

Elisalla on tälläkin hetkellä sellaisia kohteita, joissa aiemmin on tarvittu pelkästään albandille portteja antenniin. Myöhemmin on tullut tarve antennille, joissa on myös yläbandille. Tällöin osaan paikkaan vanhat antennit on jätetty myös paikoilleen ja lisätty uudet. Nyt kun Elisalla on käytössään kohtalaisen hyvä valikoima erilaisia antennia, tämän kaltaiset ratkaisut voidaan purkaa. Vuokraaja 1 hinnoittelee antenniryhmät korkeuden mukaan, joten jos kohteessa on antennia kahdessa eri korkeudessa, joutuu Elisa maksamaan niistä käytännössä kaksinkertaisen hinnan verrattuna yhteen antenniryhmään. Tällä saavutetaan merkittäviä säästöjä kuukausitasolla, joten tämänlaiset konfiguraatiot tulisi purkaa aina jos semmoiseen törmää. Säästö on vuositasolla sen verran merkittävä, että kyseiset konfiguraatiot kannattaisi käydä vaihtamassa myös varta vasten. Jos on tiedossa, että kyseiselle tukiasemapaikalle on tulossa muutoksia noin vuoden sisään, siinä tapauksessa kannattaa odottaa ja käydä vaihtamassa ne vasta sitten.

Teollisuusalueiden läheisyydessä saattaa käydä siten, että antennien ollessa korkealla mastossa, niiden säteilykuvion pääkeila menee lähimpien alueiden yli eikä niihin näin ollen tule vahvaa signaalia. Tämän kaltaisia tilanteita on korjattu esimerkiksi laittamalla

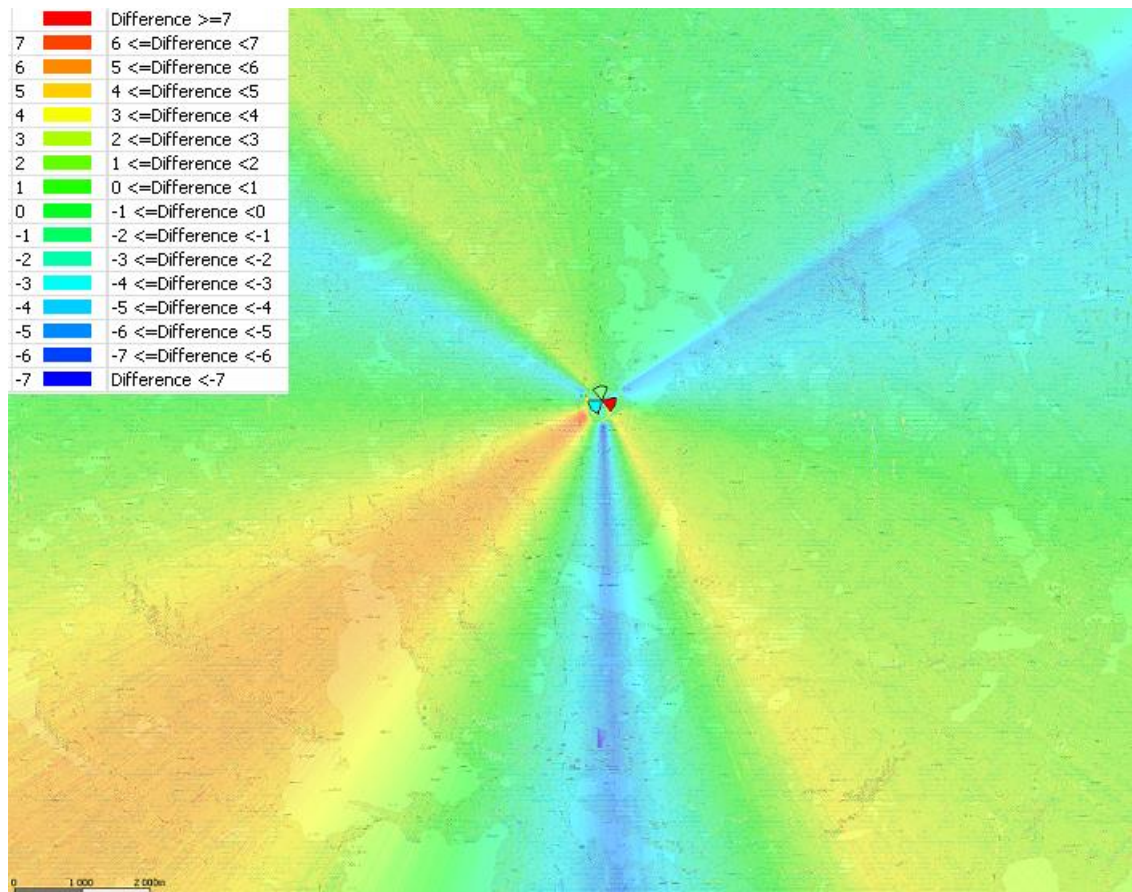
mastoon yksi lisäantenni hieman alemmaksi ongelmasuuntaan. Ympärillä oleva matkapuhelinverkko on kuitenkin tämän jälkeen voinut muuttua, joten nyt kun suunnittelija törmää tämän kaltaiseen tilanteeseen, tulee hänen miettiä vaihtoehtoja tämän yksittäisen antennin poistamiseen. Yhtenä vaihtoehtona voidaan pitää mastossa olevien antennien tuomista alaspäin. Tällöin saavutettaisiin säästöjä myös asennuskorkeudesta aiheutuvista kustannuksista.

Edelliseen esimerkkiin liittyen antennien asennuskorkeutta muuttamalla voidaan myös saavuttaa kohtalaisia säästöjä vuokratustannuksissa. Kuten todettua, ympärillä oleva matkapuhelinverkko muuttuu. Näin ollen kun tehdään muutoksia korkean asennuskorkeuden kohteisiin, olisi syytä miettiä voidaanko antennit asentaa alemmas. Esimerkiksi jos 100 metrin mastossa tiputettaisiin antennit 80 metristä 70 metriin, säästöä tulisi 17 %. Absoluuttisina arvoina tämä on myös merkittävä, mutta ei aivan yhtä merkittävä kuin esimerkiksi edellisessä tilanteessa ollut ylimääräisen antenniryhmän purkaminen. Antennien asennuskorkeuden muuttamisesta tulee myös työtä kohtalaisen paljon urakoijille, sillä antennien lisäksi myös radioyksiköt tulee purkaa ja asentaa uuteen korkeuteen. Tästä johtuen lyhyttä takaisinmaksuaikaa tavoiteltaessa antennien asennuskorkeutta kannattaa muuttaa vain silloin kun antennit joudutaan vaihtamaan joka tapauksessa. Tällöin asennuskorkeuden muuttaminen ei aiheuta aivan niin paljoa ylimääräistä työtä.

Luvussa 3.3.1 todettiin myös, että antennien fyysinen koko vaikuttaa myös vuokratustannuksiin vuokraaja 1:n tukiasemapaikoilla. Tällä hetkellä Elisalla käytössä olevat antennit ovat leveydeltään sellaisia, ettei niiden leveyteen tarvitse kiinnittää huomiota. Aiemmin käytössä ollut antennimalli, joka on yli tämän 0,5 metrin rajan on kuitenkin sen verran kapea, ettei niitä ole kannattavaa lähteä vaihtamaan uusiin pelkästään vuokratustannusten takia. Antennien korkeuteen sen sijaan kannattaa kiinnittää huomiota. Radioverkkosuunnittelijan on mietittävä onko korkeamman antennin käyttämisestä hyötyä vai ei. Jos mastokohteeseen valitaan 2,6 metrin antenni 2 metrisen sijaan, on saavutettu antennivahvistushyöty ainoastaan yhden desibelin luokkaa, mutta hinta kasvaa 7,5 %. Tämäkään säästö ei ole kuitenkaan ole niin iso, että antennejä kannattaisi lähteä varta vasten vaihtamaan, mutta uusia antennejä valittaessa mielestäni tämä asia olisi hyvä pitää mielessä.

Antenneihin liittyvistä vuokraaja 1:n kohteessa suurimmat säästöt voidaan saavuttaa optimoimalla antennien lukumäärää. Kolmesta antennista siirryttäessä neljään antenniin, vuokratustannukset nousevat 30 % alkuperäiseen nähden. Neljän antennin konfiguraatio aiheuttaa suurempien vuokratustannusten lisäksi myös muun laisia ongelmia. Neljäs sektori voidaan toteuttaa samalla lailla kuin muutkin, tai tehonjaolla yhdestä muusta sektorista. Jos neljäs sektori toteutetaan samalla lailla kuin muutkin sektorit, tarvitaan tällöin usein ylimääräinen radioyksikkö. Lisäradioyksikkö aiheuttaa taas investointikustannuksia, se nostaa sähkönkulutusta ja vuokraaja 1:n kohteessa myös radioiden määrä vaikuttaa vuokratustannuksiin. Näin ollen se tulee kalliiksi. Tehonjaolla tehtynä taas yhdestä fyysisestä sektorista tehdään kaksi loogista sektoria. Tällöin ei tarvita ylimääräistä radiota.

Tehonjaon huonona puolena taas voidaan pitää pudonnutta lähetystehoja tehojaon takia. Toinen huono puoli tällä on myös se, että antennit eivät sijaitse samassa pisteessä, vaan niillä on hieman välimatkaa. Tästä voi aiheutua vaihe-erosta johtuvaa kumoutumista (*Phase cancellation*) näiden kahden signaalin välille tiettyihin kohtiin palvelualueetta (Vaughan & Bach Andersen 2003). Kuvassa 19 esitetään kolmisektorisen ja nelisektorisen konfiguraation ero signaalivoimakkuudessa.



Kuva 19 Nelisektorisen ja kolmisektorisen antennikonfiguraation ero.

Kuva on piirretty siten, että ensin on simuloitu signaalin voimakkuus näkyvällä alueella nelisektorisella konfiguraatiolla. Tämän jälkeen saatua tulosta verrataan kolmensektorin konfiguraation signaalivoimakkuuteen. Kuvassa näky siis näiden kahden simulaation erotus. Mitä punaisempi alue kuvassa, sitä voimakkaampi kolmisektorisen konfiguraation signaali on siinä ja vastaavasti mitä sinisempi, sitä voimakkaampi nelisektorisen konfiguraation signaali on. Kuvasta voidaan havaita kuinka kolmisektorisen signaali on joillain osin vahvempi, mutta taas joillain osin nelisektorisen signaali on vahvempi. Asteikko on tässä simulaatiossa -7 dB:stä 7 dB:iin. Missään kohtaa kuvaa erot eivät kuitenkaan ole näin suuria, vaan suurimmat erot ovat noin viiden desibelin luokkaa molempiin suuntiin. Suunnitteluohjelmalla näkee missä alueen väestö sijaitsee, joten sen tiedon avulla antennien suunnat saadaan siten, ettei heikomman signaalin alue osu sinne, missä asukkaat pääasiassa sijaitsevat. Mielestäni kuvan 18 pohjalta voidaan myös todeta, ettei 4-sek-

toriset antennikonfiguraatiot ole välttämättömiä myöskään syrjäseudulla. Yhtenä vaihtoehtona olisi myös käyttää kolmea leveäkeilaista antennia, jolloin peittoalueeksi saadaan lähes yhtä kattava kuin neljällä antennilla (Kelly et al. 2015).

Antennien lisäksi myös radioiden määrä on keino, jolla vuokratustannuksia voitaisiin pienentää. Radioiden määrää voidaan pienentää useallakin eri tavalla. Jos nelisektorinen konfiguraatio on toteutettu ylimääräisellä radiolla, saadaan tällöin myös radion purkamisesta säästöä aikaan. Toinen keino vähentää radioiden määrää on käyttää 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz multiradiota. Tämä tosin on jo laajasti käytössä Elisalla, mutta edelleen on olemassa kohteita, joissa tämän avulla voidaan vähentää radioiden määrää. Kolmas keino radioiden vähentämiseksi on vanhempien radioiden korvaaminen uusilla. Elisalla on ollut aiemmin käytössään radioita, joita on tarvittu kaksi kolmea sektoria kohden. Näiden korvaaminen uudemmilla radioilla, joita tarvitaan ainoastaan yksi kolmea sektoria kohden auttaa vähentämään niiden määrää. Tässä tarvitsee kuitenkin ottaa huomioon se, että osa näistä uudemman mallisista radioista on kohtalaisen kalliita, joten tarvitsee laskea saavutetaanko sillä säästöä järkevässä ajassa. Uudemmat radiot kuluttavat myös sähkö vähemmän kuin vanhemmat radiot. Tämä auttaa lyhentämään radioiden vaihdosta syntyvää takaisinmaksuaikaa.

Vuokraaja 1 velottaa myös laitepaikoista vuokraa. Elisalla on joissain paikoissa vielä käytössään 2G tukiasemia, jotka vievät yksistään yhden laitepaikan. Tyypillisesti nämä tukiasemat myös kuluttavat paljon sähköä. Näiden laitteiden vaihtamisella nykyaikaisiin tukiasemiin Elisan on mahdollista säästää merkittävästi juoksevia kustannuksia. Osalla tukiasemapaikoista on myös tavallisen telineen lisäksi pienempi seinäteline. Näissä on usein liityntäyhteyteen liittyviä asioita esimerkiksi tukiasemapaikkakytkin tai linkkipeilin alayksikkö. Näiden siirtämisellä muiden tukiasemalaitteiden kanssa samaan telineeseen voidaan myös säästää vuokratustannuksissa.

Kuten todettua, vuokralaisena Elisa maksaa sähköstä kahteen kertaan. Yksi keino säästää tässä olisi käyttää omaa voimalaitetta, jolloin akkuvarmennuksesta ei tarvitsisi maksaa erikseen. Oman voimalaitteen hankkiminen aiheuttaa tietysti investointikustannuksia ja myös tällöin joudutaan vuokraamaan toinen laitepaikka, joista juuri edellä pyrittiin pääsemään eroon. Oman voimalaitteen kannattavuus on suoraan verrannollinen tarvittavan akkuvarmennuksen määrään, joka taas on verrannollinen laitteiston tehoon. Vuokraaja 1 myy Elisalle akkuvarmennusta 15 minuutin ja 3 tunnin kategorioissa. 2G ja 3G laitteet pyritään laittamaan kolmen tunnin varmennuksen perään ja LTE laitteet puolestaan asennetaan 15 minuutin varmennuksen perään. 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz laitteiden tehonkulutus on yhteensä noin 0,8 kW. Näin ollen Elisa ostaa kolmen tunnin varmennusta 0,8 kW:n edestä. LTE 800 MHz ja LTE 1800 MHz kuluttavat yhteensä noin 1,6 kW. Tällöin 15 minuutin varmennusta ostettaisiin tämän tehon edestä. 1,6 kW:n tehonkulutuksella ostettavalla akkuvarmennuksen määrällä voimalaitteiston takaisinmaksuajaksi muodostuisi

aivan liian pitkä että kyseinen investointi kannattaisi tehdä. Tässä tapauksessa takaisinmaksuaika olisi yli kahdeksan vuotta. Vaikka LTE laitteiden teho nousisi 2,5 kW:n ei tällöinkään takaisinmaksuaika olisi järkevä.

5.1.3 Vuokraaja 2

Vuokraaja 2 on hinnoitellut masto- ja kiinteistöpaketit hyvin kilpailukykyisiksi kappalehintoihin nähden. Tästä johtuen useimmiten on kannattavaa ostaa vuokraoikeus suoraan pakettina. On kuitenkin olemassa tilanteita, joissa pakettia ei kannata ostaa, vaan halvemmaksi tulee vuokrasopimus kappalehinnoilla. Luvussa 3.3.2 esiteltiin pakettien sisällöt tarkasti, joten tässä kohdassa pakettien sisältöjä ei käydä kattavasti läpi.

Vuokraaja 2 mastopaketti maksaa siis 8,89 suhteutettuna hintana kuukaudessa. Jos paketin sisältö ostettaisiin kappalehinnoilla, tulisi se maksamaan:

$$2,89 + 2,5 * 0,94 + 3 * 0,33 + 2 * 0,89 + 18 * 0,14 = 10,53$$

Mastopaketissa ei ole rajattu antennien eikä radioiden määrää, joten tässä laskelmassa on antennien määräksi valittu 3,5 ja radioiden määräksi 3. Antennien määrän arvioiminen on hankalaa, sillä mastokohteet sijaitsevat usein maaseudulle, jossa käytetään neljää antennia, mutta toisaalta usein kaupunkien lähellä olevissa mastoissa käytetään tyypillisesti kolmea antennia. Radioiden määrään vaikuttaa suoraan käytettyjen tekniikoiden lukumäärä. Epäilisin että kolme radiota on hyvin tyypillinen määrä myös maaseudulla. Vaihtosähköä ei tässä tarvitse huomioida, sillä se tulisi joka tapauksessa ostaa molemmissa tapauksissa erikseen. Eroa paketin ja kappalehinnoilla vuokratun kohteen välille muodostuisi näin ollen $10,53 - 8,89 = 1,64$. Ero on siis lähes 20 % mastopaketin hinnasta.

Aina ei kuitenkaan ole rahallisesti järkevää ostaa mastopakettia kun Elisa menee vuokralaiseksi vuokraaja 2 kohteeseen. Kun laskee kappalehinnan kolmen antennin konfiguraatiolle, jossa 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz on toteutettuna multiradiona ja niiden lisäksi on ainoastaan LTE 800 MHz. Antenneissa on oltava 2 porttiparia alataajuuksille, jotta mastoon ei tarvitse sijoittaa dipleksereitä. Tällöin tarvitaan ainoastaan kaksi radiota ja yksi laitepaikka. Laitteiden yhteenlaskettu teho on noin 1,4 kW. Tällöin suhteelliseksi hinnaksi muodostuisi:

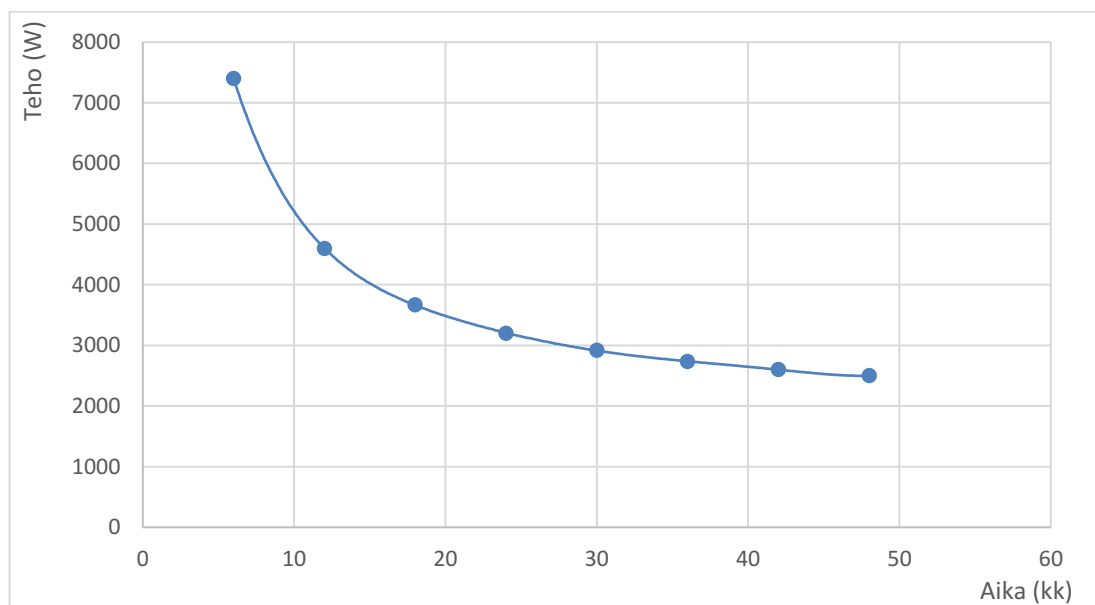
$$2,89 + 2 * 0,94 + 2 * 0,33 + 0,89 + 14 * 0,14 = 8,28$$

Mastopaketin hintaan nähden tämä on $8,89 - 8,28 = 0,61$ halvempi suhteellisina hintoina. Tällöin kappalehintana vuokrattuna Elisalle aiheutuvat kustannukset olisivat noin 7 % pienemmät kuin mitä ostettaessa mastopaketti. Edelleen halvemmaksi kappalehinnoilla vuokrattava mastokohde tulee jos kohteessa käytettäisiin ainoastaan kahta antennia ja siellä olisi vain 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz multiradiona toteutettuna. Tällöin vuokra kuukautta kohden olisi:

$$2,89 + 0,94 + 0,33 + 0,89 + 9 * 0,14 = 6,31$$

Tällöin kappalehinnalla vuokrattu kohde tulisi jopa $8,89 - 6,31 = 2,58$ suhteellisilla hinnoilla katsottuna halvemmaksi. Eroa olisi tällöin hieman alle 30 % mastopaketin hinnasta. Säästö olisi prosentuaalisesti kohtalaisen suuri ja myös absoluuttisilla arvoilla tämän kokoluokan säästöillä voisi Elisa saavuttaa vuositasolla säästöjä. Tämän kaltaiset konfiguraatiot ovat kuitenkin erittäin harvinaisia. Erityisesti tulevaisuutta ajatellen kun 4G peittoa halutaan kasvattaa, vähenee mahdollisuudet tämän kaltaiseen konfiguraatioon entisestään. Myös kahden antennin käyttäminen mastokohteessa on useimmiten hieman kyseenalaista peiton kannalta, mutta tietenkin on olemassa tilanteita, joissa myös mastoissa on perusteltua käyttää vain kahta antennia.

Vuokraaja 2 mastopaketti pitää sisällään kaksi laitetelinettä tukiasemapaikalla. Nykyään suurimmalla osalla tukiasemapaikoista tukiasemalaitteet ovat sen verran kompakteja, että ne mahtuvat kaikki yhteen telineeseen. Tämä mahdollistaa esimerkiksi oman voimalaitteen viemisen ilman lisälaittepaikkakustannusta. Mastopakettiin tosin kuuluu akkuvarmennus 1800 W:iin asti, joten jos Elisan laitteiden teho on sen alle, ei oman voimalaitteen vieminen sinne ole rahallisesti järkevää. Kuvassa 20 esitetään voimalaitteen takaisinmaksuaika tehon suhteen vuokraaja 2:n mastokohteessa. Takaisinmaksuajan investointiin on valittu voimalaitteeksi tyypillinen mastokohteessa käytetty voimalaite, riittävä määrä tasasuuntaajia sekä riittävä akusto, jotta viestintäviraston (2014) määräykset akkuvarmennuksesta täyttyvät. Laskelmaan ei ole otettu mukaan asentamisesta aiheutuvia kustannuksia. Laskelmassa on huomioitu mastopakettiin kuuluva 1800 W:n akkuvarmennus.



Kuva 20 Voimalaitteen takaisinmaksuaika tehon suhteen.

Kuvasta 20 voidaan nähdä kuinka aluksi takaisinmaksuun vaadittava teho laskee voimakkaasti, mutta pidemmällä ajalla tehon lasku hidastuu. Takaisinmaksuun vaadittavat tehot ovat melko korkeita mastopaikoiksi, eikä näin kovia tehonkulutuksia ilmene kuin osalla

tukiasemapaikoista. Edellä mainittiin tyypillisen peruspeittokohteen tehonkulutukseksi 1,4 kW. Tyypillinen kapasiteettikohde, joka sisältää 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz multi-radiona, 3G 2100 MHz, LTE 800 MHz sekä LTE 1800 MHz CA (*Carrier Aggregation*) kuluttaa noin 2,7 kW tehoa. Tällöin takaisinmaksuaika voimalaitteelle, akustolle ja tasa-suuntaajille olisi noin 36 kuukautta eli kolme vuotta. Jos kohteessa olisi vielä LTE 2600 MHz, olisi se korkean kapasiteetin kohde. Tällaisella kohteella tehonkulutus on noin 3,5 kW. Tällöin takaisinmaksuaika asettuisi noin 20 kuukauden kohdalle eli alle kaksi vuotta. Tämän kaltaisiin kohteisiin oman voimalaitteen asentaminen voisi olla järkevää. Tällaisissa laskelmissa on aina kuitenkin huomioitava myös se, että omien laitteiden ylläpitäminen maksaa ja laitteet saattavat mennä rikki, jolloin joudutaan hankkimaan uusi laite tilalle. Mielestäni kuitenkin kannattaisi harkita oman voimalaitteiston viemistä vuokraaja 2 kohteisiin, joissa on korkean kapasiteetin tukiasemalaitteisto.

Kuten mastopakettin myös kiinteistöpakettin sisältö on avattu tarkasti luvussa 3.3.2. Kiinteistöpakettin suhteellinen hinta on 4,17 ja kappalehinnoilla sen hinnaksi muodostuisi:

$$1,14 + 18 * 0,14 = 3,64$$

Erikoisen tästä tekee se, että kiinteistöpaketti on näin ollen kalliimpi kuin mitä kappalehinnoilla vuokrattuna. Vaikka kiinteistöpakettiin ei varsinaisesti kuulukaan antennipaikoja, joutuisi Elisa kuitenkin kappalehinnoilla vuokralla ollessaan maksamaan myös antennipaikoista. Kiinteistöpaketissa antennit olisivat Elisan vastuulla, mutta kappalehinnoilla vuokratessa Elisan antennista huolehtiminen siirtyisi vuokraaja 2:n vastuulle. Tällöin kolmen antennin konfiguraatiolla kappalehinnoittelulla kiinteistöpakettia vastaavaksi hinnaksi tulisi:

$$3 * 0,83 + 1,14 + 18 * 0,14 = 6,14$$

Tämä on kiinteistöpakettia merkittävästi kalliimpi. Eroa on $6,14 - 4,17 = 1,97$, joka on noin 45 % kiinteistöpakettin hinnasta. Ero on tässä tapauksessa niin suuri, ettei kappalehinnoittelua oikein saa kiinteistöpakettia halvemmaksi. Jos konfiguraatio sisältäisi ainoastaan yhden antennin ja akkuvarmennuksen takana oleva teho olisi pieni, tällöin kappalehinnoittelu tulisi kiinteistöpakettia halvemmaksi. Tämä taas on joko olematon tai erittäin harvinainen tilanne Elisan matkapuhelinverkossa, sillä kiinteistöihinkin pyritään sijoittamaan useampia antennia. Tämän lisäksi kiinteistökohteissa laitteiden kuluttama teho on yleensä suurempi. Suurempi tehonkulutus selittyy sillä, että kaupunkialueella kapasiteettitarve on isompi, jolloin myös tukiasemapaikalla olevien tekniikoiden määrää nostetaan.

Oman voimalaitteiston vieminen vuokraaja 2:n kiinteistökohteeseen on myös joissain tilanteissa järkevää. Kiinteistöpaketti ei tosin pidä sisällään toista laitepaikkaa, joten se nostaa hieman vaadittavaa tehon määrää, jotta olisi kannattavaa viedä oma voimalaitteisto. Vaikka kiinteistöpaketti onkin halvempi kuin kappalehinnoilla ostettu vuokrasopi-

mus, tulee oman voimalaitteiston kanssa kappalehinnat lopulta halvemmaksi. Tämä selittyy sillä että toisin kuin mastopakettissa, kiinteistöpaketissa ei ole toista laitepaikkaa. Tällöin ei ole järkevää ottaa kiinteistöpakettia ja tavallaan maksaa turhasta akkuvarmennuksesta, vaan järkevämpää on vuokrata ainoastaan ne komponentit mitä tarvitsee.

Kuvassa 20 esiteltiin takaisinmaksuaika oman voimalaitteiston viemiselle mastokohteeseen. Kiinteistökohteessa takaisinmaksuajan käyrän muoto on samanlainen kuin kuvassa 20, mutta vaadittava teho on kiinteistökohteessa enemmän. Kiinteistökohteissa laitteiston tehon tulisi olla noin 0,5 kW suurempi kuin mastokohteessa. Jos takaisinmaksuajaksi valittaisiin 36 kuukautta eli kolme vuotta, tulisi laitteiston tehon olla kiinteistökohteessa 3,2 kW tai enemmän. Jos sen sijaan investointi haluttaisiin kuolettaa esimerkiksi kahdessa vuodessa, tulisi laitteiston tehon olla vähintään 3,7 kW. Tässäkään laskelmassa ei ole otettu huomioon asennuksesta aiheutuvia kustannuksia. Tällöin todelliset tehomäärät ovat edellä mainittuja suurempia. Jotta kaikki investoinnista aiheutuvat kustannukset saataisiin kuoletettua järkevässä ajassa, tulisi laitteiston tehon olla erittäin korkea. Kohtalainen realistisella arviolla asennuskustannuksista, tulisi investoinnin takaisinmaksuajaksi 3,5 kW:n teholla noin 36 kuukautta, eli noin kolme vuotta. Tässäkään ei tosin ole otettu huomioon huoltamisesta aiheutuvia kustannuksia, eikä laskettu riskikerrointa laitteistovioista aiheutuville kustannuksille. Näin ollen vuokraaja 2:n kiinteistökohteisiin ei oman voimalaitteiston vieminen ole kannattavaa, ellei käytetyn laitteiston teho ole erittäin suuri.

5.1.4 Tukiasemapaikkalaitteiston muutokset

Luvussa 3.2 käsiteltiin omien tukiasemapaikkojen kustannusten lähteitä. Yhdeksi kustannuslähteeksi osoittautui voimalaitteissa olevien tasasuuntaajien hyötysuhde. Tällä hetkellä Elisalla on käytössään tasasuuntaajia, joiden ilmoitetut hyötysuhteet pyörivät noin 90–92 % kohdilla. Samassa luvussa laskettiin myös suurpiirteinen arvio siitä, minkä verran Elisa maksaa vuosittain sähköstä tasasuuntaajien hyötysuhteen takia. Arvio oli noin 1,4 miljoonaa euroa vuodessa. Lukuarvon täsmällisyydellä ei ole tässä tapauksessa niin merkitystä, vaan enemmän merkitsee lukuarvon suuruusluokka, joka tässä tapauksessa on iso. Näin ollen tasasuuntaajien hyötysuhdetta parantamalla voitaisiin säästää erittäin iso summa rahaa juoksevien kustannusten pienentyessä.

Nykyään tasasuuntaajien valmistajat tarjoavat erittäin hyvällä hyötysuhteella olevia tasasuuntaajia. Esimerkiksi yksi valmistaja tarjoaa jopa 98 % hyötysuhteen omaavia laitteita (Delta 2017). Jos hyötysuhde saataisiin nostettua 90 %:sta jopa 98 prosenttiin, saavutettaisiin sillä vuositasolla kohtalaisia säästöjä. Jos Elisan matkapuhelinverkossa olevat tasasuuntaajat vaihdettaisiin 98 prosentin hyötysuhteella oleviin, säästyisi vuodessa jopa useita kymmeniä tuhansia euroja. Mutta kuten luvun 3.2 esimerkissäkin todettiin, on hankala laskea todellista säästöä, sillä Elisa on itse vuokralaisena osassa paikassa, mutta toisaalta Elisalla on myös vuokralaisena muita toimijoita.

Elisalla ei tällä hetkellä ole käytössään kyseistä hyvän hyötysuhteen omaavaa tasasuuntaajaa, joten en takaisimaksuaikaa ei voi laskea hinnan puutteesta johtuen. Tyypillisesti uutta tekniikkaa tai uusia ominaisuuksia sisältävät laitteet ovat hieman kalliimpia kuin edellisen sukupolven laitteet. Tämän tiedon ja aiempien laskelmien pohjalta epäilen, ettei ole järkevää vaihtaa nykyisiä 90–92 %:n hyötysuhteella olevia tasasuuntaajia uuden malliseen. Uskoisin kuitenkin, että jatkossa on järkevämpää käyttää näitä korkean hyötysuhteen tasasuuntaajia. 98 %:n hyötysuhteen tasasuuntaajalla saavutetut säästöt ovat kuitenkin sen verran merkittävät, että uusia laitteita asennettaessa tai vanhoja rikkiäisiä korvattaessa kannattaisi mieluummin käyttää niitä. Tietenkin tulee ensin testata, millaisella hyötysuhteella ne toimivat vajaakuormitteisina, sillä voihan olla, että valmistaja on keksinyt keinon parantaa optimaalista hyötysuhdetta, mutta vajaalla kuormalla toimittaessa hyötysuhde on edelleen sama.

Jos tukiasemapaikalla radioyksikön on sijoitettu ulos, on voimalaitteisto tällöin suurin yksittäinen lämmöntuottaja. Hyötysuhteen parantuessa myös voimalaitteiston lämmöntuotto vähenee. Tästä taas aiheutuu se, että tukiasemapaikkaa ei tarvitse viilentää niin paljoa. Näin ollen voi tulla tilanne, jossa tasasuuntaajien vaihdolla voitaisiin luopua jäähdytyskoneesta ja korvata se pelkällä kanavapuhaltimella. Luvussa 3.2 laskettiin tasasuuntaajan todelliseksi hyötysuhteeksi matalammalla kuormalla 0,84, tällöin se lämmitti tukiasematilaa noin 1,1 kW:n teholla. Jos todellinen hyötysuhde saataisiin nostettua esimerkiksi 94 %:iin, lämmittäisi tasasuuntaaja tilaa enää noin 300 W:n teholla. Tämä toisi merkittävästi vähemmän lämpökuormaa tukiasemapaikalle, jolloin pelkän kanavapuhaltimen tuoma viilennys saattaisi riittää.

Myös jäähdytyksellä on saavutettavissa säästöjä edellisen maininnan lisäksi. Kylmälaitteet kuluttavat käydessään paljon tehoa ja niiden huoltaminen on kallista. Näin ollen niiden korvaaminen kanavapuhaltimilla voisi tuoda säästöjä juoksevista kustannuksista. Kanavapuhaltimien tuoma jäähdytysteho ei kuitenkaan ole yhtä suuri kuin jäähdytyskoneilla, joten muutosta suunniteltaessa tulee miettiä riittääkö kanavapuhaltimen jäähdytysteho tilaan. Toinen asia jota tulee miettiä kanavapuhaltimien käytössä on niiden sijoittelu laitetilään. Tällä hetkellä Elisalla on käytössään mastokopeilla tapa, jossa tukiasemakopin oven yläpuolella on kaksi kanavapuhallinta, jotka puhaltavat koppiin viileää ilmaa. Kopissa on ovesta katsottuna joko vasemmalla tai oikealla seinustalla ritilä, josta ylimääräinen ilma pääsee ulos. Tässä tavassa jäähdytys perustuu kuuman ja kylmän ilmamassan sekoittamiseen keskenään. Tämä on helppo toteuttaa, mutta nykyisten tutkimusten mukaan se on epätehokas tapa jäähdyttää laitteistotiloja (Ahuja et al. 2013; Green et al. 2012; Chiriac & Chiriac 2012). Mielestäni Elisalla tulisi jatkossa kiinnittää huomiota myös tukiasemakoppien sijoitteluun. Työssä esiteltiin kohde, jossa lämpötila nousi hyvin korkeaksi. Kyseisessä kohteessa koppi on sijoitettu siten, että ovi on etelään päin. Tällöin aurinko lämmittää koppiin puhallettavan ilman lämpöiseksi. Aurinkoisina päivinä lämpötilaero aurinkoisen ja varjoisen puolen ero voi olla yli kymmenen astetta. Tällöin varjoisella puolella sijaitsevan kanavapuhaltimen jäähdytysteho olisi merkittävästi suurempi.

Varjoisen puolen etua ajaa myös se tosiasia, että se tuottaa paremman jäähdytystehon juuri niinä päivinä kun jäähdytystä eniten tarvitaan.

Kylmä ja kuuma ilmamassa tulisi pitää erossa toisistaan mahdollisimman pitkään ennen varsinaista jäähdytettävää laitetta (Green et al. 2012). Tällä mahdollistetaan se, että viileällä ilmalla on mahdollisimman suuri kapasiteetti imeä lämpöenergiaa itseensä lämpöisen laitteen lähellä. Konesaleissa käytetään nykyään tekniikkaa, jossa joka toinen rakkiväli pidetään viileänä ja joka toinen kuumana. Tällöin kylmä ilma tuodaan lattian alla kylmälle käytävälle ja kylmä ilmamassa virtaa kuumien laitteiden läpi kuumalle käytävälle, josta lämmin ilma nousee ylös ja kiertää yksiköille, joilla ilma viilennetään. (Chiriatic & Chiriatic 2012) Tukiasemakopit ovat sen verran pieniä, ettei niihin mahdu tekemään tämän kaltaisia ratkaisuja. Vastaavanlainen ratkaisu olisi esimerkiksi se, että kylmä ilma puhalletaan lähes lattian tasoon ja ylhäällä olisi toinen kanavapuhallin joka imisi ylhäällä olevan kuuman ilmamassan pois. Ilmiötä voisi tehostaa asentamalla ulos imettävän ilman kanavat kuumien kohtien yläpuolelle. Tällöin kanavapuhallin imisi kuuman ilman suoraan ulos. Tämä ratkaisu mahdollistaisi myös sen, että tuoreilman ja jäteilman lämpötilaero olisi mahdollisimman suuri. Tässä ratkaisussa on otettava huomioon, että kylmää ilmaa ei saa puhaltaa suoraan niitä kestäättömille laitteille. Esimerkiksi akustot eivät kestä kylmää ilmaa suoraan puhallettuna. Parantamalla kanavapuhaltimilla toteutetun jäähdytyksen hyötysuhdetta voidaan juoksevia kustannuksia säästää pienentyneenä tarpeena jäähdytyslaitteelle ja myös kanavapuhaltimien tarvitsee olla päällä vähemmän aikaa kun jäähdytys on tehokasta.

Työssä mainittiin aiemmin myös, että kanavapuhaltimia on olemassa erilaisia. Näistä EC puhaltimet ovat hyötysuhteeltaan parhaita (Ebmpapst 2017). Niistä on mainittu, että ne ovat jopa 30 % energiatehokkaampia kuin mitä perinteiset AC puhaltimet. Tästä johtuen niiden avulla voitaisiin myös saavuttaa säästöä tukiasemapaikan jäähdytyksessä. Osa tästä hyödystä kuitenkin häviää voimalaitteen aiheuttamaan hukkaan hyötysuhteen kautta. Mielestäni tärkein syy miksi EC (*tai DC*) puhaltimia kannattaisi käyttää on se, että ne toimivat myös sähkökatkon aikana. Kyseiset puhaltimet toimivat samalla käyttöjännitteellä kuin tukiasemalaitteisto. Näin ollen sähkökatkon aikana akuista saataisiin käyttöenergiaa myös puhaltimille. Jos puhaltimet sammuisi sähkökatkon ajaksi, lämpiäisi tukiasemapaikka hyvin nopeasti, erityisesti jos radioyksiköt ovat sisällä.

5.2 Haastatteluissa esiin tulleita huomioita

Haastattelut olivat mielenkiintoisia ja niissä syntyi haastateltavien kanssa hyviä keskusteluja. Kokosin tähän lukuun tämän työn kannalta tärkeimmät huomiot. Haastattelujen tuloksia on käyty Elisalla jo läpi tarkemmin, joten mielestäni tähän työhön on tarpeellista koota ainoastaan tärkeimmät huomiot haastatteluista. Yhtenä tärkeimmistä huomioista voitaneen pitää tietoa siitä, että OPEX-termi oli tuttu kaikille Elisan radioverkkosuunnittelijoille. Kuitenkin termin tarkoitusta eivät kaikki tieneet, vaan osa piti juoksevia kustannuksia niinä kuluina, joita Elisa maksaa kilpailijoille. Tavallaan he olivat oikeassa,

mutta siitä unohtuu omien tukiasemien juoksevat kustannukset kokonaan. Osalla taas meni investointi- ja juoksevat kustannukset sekaisin. Vain kaksi osasivat sanoa, mistä sanoista OPEX on lyhenne. Mielenkiintoista oli huomata kuinka haastateltavat olivat jakautuneet selkeästi kahteen ryhmään, toinen ryhmä tiesi juoksevista kustannuksista hyvin paljon, mutta toinen ryhmä taas ei tiennyt niistä juurikaan.

Tutkimuksen toinen hypoteesi oli, että suunnittelijoilla ei ole riittävästi tietoa juoksevista kustannuksista. Tutkimus vahvisti tämän hypoteesin. Keskiarvoksi tiedon riittävydelle annettiin 2,5. Tämä ei kuitenkaan mielestäni kerro koko totuutta, sillä kukaan ei sanonut tietoa olevan riittävästi tarjolla, vaan kaikki sanoivat kaipaavansa lisää tietoa. Suuri osa kommentoi tilannetta tämän kaltaisesti: ”*Meillähän vähän heikonlaisesti on löydettävissä sitä tietoa –*”. Tämän lisäksi koetaan tiedon olevan hankalasti saatavissa. ”– *tällä hetkellä ei ole sellaista mistä se selviäisi helposti ja nopeasti.*” Tällä hetkellä suunnittelijat etsivät tietoa erinäisistä Excel-listoista, vuokraaja 1:n ja 2:n laskuista, projektipäälliköiltä, palavereista sekä suoraan esimieheltä. Mielestäni tilannetta kuvaa sekin, että kolme haastateltavaa aloitti vastaamaan tähän aiheeseen toteamalla ”*Hyvä kysymys –*”. Tässä kohtaa haastattelua kävi myös ilmi, että erityisesti vuokrapaikkojen hinnoista kavaataan lisää tietoa. Eli ainakaan osalla suunnittelijoista ei ollut tiedossa, kuinka hinnat muodostuvat vuokrapaikoissa. Haastatteluissa kävi ilmi myös se, että suunnittelijat kokevat tiedon lisääntyneen viime aikoina.

Juoksevien kustannusten huomioimiseen ja niiden säästöjen merkitsemisessä oli suurta hajontaa haastateltavien kesken. Sähkönkulutukseen kiinnitetään selkeästi enemmän huomiota kuin vuokrakuluihin. Tämä selittynee sillä, että suunnittelijan on merkittävä uuteen suunnitelmaan uuden ja vanhan konfiguraation sähkönkulutus. Vuokrakulut kuitenkin nousivat vain yksittäisillä haastateltavilla esiin kun heiltä kysyttiin juoksevien kustannusten huomioimisesta. Näihin kysymyksiin tyypillinen vastaus oli ”– *kyllä niihin on ohjeistettu kiinnittämään huomiota –*”. Näin ollen voitaneen todeta, että kaikki kiinnittää niihin huomiota ainakin jollain tasolla. Sen sijaan juoksevien kustannusten pienentymisestä aiheutuvien säästöjen merkintä oli hieman huonommalla tasolla. Lähes kaikki haastateltavat tiesivät, että työnohjausjärjestelmän info-kenttään tulisi merkitä säästö. Mutta kun kysyin mitä siihen tulee merkitä, vastaus oli suurimmalla osalla ”*En nyt muista mitään*”. Kolme haastateltavaa tiesivät myös tukiasemapaikkojen purkamiseen liittyvät merkinnät.

Seuraavaksi esittelen huomioita, jotka liittyvät tutkimuksen toiseen hypoteesiin, joka liittyi Elisan radioverkkosuunnittelijoiden asenteeseen juoksevia kustannuksia kohtaan. Hypoteesina oli, että radioverkkosuunnittelijoiden asenne juoksevien kustannusten minimoimista kohtaan on negatiivinen. Tutkimus kuitenkin kumosi tämän hypoteesin, tämä hieman yllätti minut. Asenne kysymyksen keskiarvoksi tuli 3,4, joka on mielestäni reippaasti positiivisella puolella. Kuitenkin mielenkiintoista tässä oli vastausten hajonta. Yleistäen sanottuna haastateltavat vastasivat tähän kysymykseen joko 1 tai 5. Kysyttäessä kuinka paljon uskoo omalla suunnittelutyöllään voivansa vaikuttaa juokseviin kustannuksiin yksi haastateltava totesi ”*Itehän sä sen määrittelet, eihän niihin kukaan muu voi vaikuttaa.*”.

Vastaavasti toinen haastateltava vastasi samaan kysymykseen ”*Vuokratulot on neuvoteltu isoissa pöydissä ja niihin et voi vaikuttaa.*”. Näistä kommenteista näkyy hyvin kuinka haastateltavat olivat jakautuneet kahteen kategoriaan.

Asennetta kartoittaessa keskustelin haastateltavien kanssa myös siitä mikä toimii ajurina heidän suunnittelutyössään. Tyypillisimpänä vastauksena tuli verkon laatu. Kun taas lähdin selvittämään mikä on verkon laatu, siitä tuli jokaiselta vastaajalta vähän hieman omanlainen vastaus. Myös verkon peitto ja mahdollisimman suuri kapasiteetti tuli esille oikeastaan kaikilla haastateltavilla. Painopisteen todettiin myös siirtyneen kokonaan LTE:n puolelle ja 2G sekä 3G tulevat ainoastaan siinä sivussa. Harmikseni tässä kohtaa täytyy todeta, että kukaan haastateltavista ei todennut kustannustehokkuuden tai juoksevien kustannusten säästöä ajurinaan. Kaksi haastateltavista toi esille myös asiakkaan ja asiakkaan kokeman asiakaselämyksen. Äänensävyistä päätellen uskoisin toisen heittäneen sen hieman vitsillä, sillä perusteluksi tuli perään ”— *eikös nämä ole niitä Elisan tärkeitä sanoja.*”.

Haastattelun loppupuolella keskustelin haastateltavien kanssa siitä, kuinka heitä saisi kiinnittämään enemmän huomiota juokseviin kustannuksiin. Haastattelun perusteella voidaan todeta, että ehdottomasti merkittävin asia, jolla suunnittelijoita saataisiin kiinnittämään huomiota juokseviin kustannuksiin on *lisätieto*. Tätä ei voi riittävästi korostaa, sillä kaikki haastateltavat (*mukaan lukien site planning-tiimin esimies*) oli sitä mieltä, että lisätieto auttaisi suunnittelijoita kiinnittämään enemmän huomiota juokseviin kustannuksiin. Tätä kuvasta hyvin yhden haasteltavan kommentti ”*Meiltä vaaditaan sitä, muttei ole kerrottu miten sitä tehdään.*”. Millaista tietoa kaivataan, se vaihtelee hieman suunnittelijoittain. Kolmen haastateltavan mielestä kalliista kohteista muodostetut ”*Toplistat*” olisivat paras ratkaisu tiedon jakamiseen. Heidän mielestään tällöin suunnittelijat näkisivät missä paikoissa on muista poikkeavan kalliit juoksevat kustannukset, joten niille olisi helpointa tehdä jotain. Toisaalta yksi näistä kolmesta totesi heti perään ”*Massalista keran puolella vuodessa ei ole oikea ratkaisu jatkuvaan tekemiseen.*”. Vastaavasti kolme muuta suunnittelijaa ehdotti *key performance indicator* (KPI) tyyppistä ratkaisua. Tällöin olisi mahdollista verrata oman alueen kehitystä ja samalla voisi verrata omaa aluettaan muiden suunnittelijoiden alueisiin.

Lisätiedon lisäksi tuli myös muita keinoja, joilla suunnittelijat saataisiin kiinnittämään enemmän huomiota juokseviin kustannuksiin. Yksi haastateltava toi suoraan ja kaksi muuta toi epäsuorasti esille, että pitäisi olla enemmän aikaa. Tämä pitää varmasti hyvin paikkansa. Ajankohta jolloin haastattelu tehtiin, on ollut erityisen kiireistä aikaa suunnittelijoilla. Näin ollen heillä on ollut aikaa tehdä vain välttämättömimmät työt eivätkä he ole voineet keskittyä toissijaisiin asioihin, jollainen juoksevien kustannusten pienentäminen on heille ollut. Ennen haastattelujen aloittamista olin lähes varma, että rahapalkkio nousisi esille tässä kysymyksessä. Yksikään haastateltava ei kuitenkaan tarjonnut tätä ensisijaisena keinona. Muutama haastateltava toi asian kyllä esille, mutta äänensävyistä päätellen se taisi olla lähinnä humoristinen heitto.

Mielenkiintoinen huomio haastatteluissa oli se, että osan mielestä juoksevien kustannusten minimoiminen on vapaaehtoista. Yksi haastateltava totesi ”*No ei se nyt ehkä ole suoranainen pakko, siihen varovasti patistellaan, mutta kukaan ei pakota.*”. Kun taas toinen haastateltava totesi ”*Kyllä se on ihan ohjeistuksena ja vaatimuksena tullut.*”. Toinen erikoinen huomio liittyi haastateltavien tietotasoon juoksevista kustannuksista. Osa haastateltavista sanoi, että on hyvin perillä juoksevista kustannuksista, mutta todellisuudessa heidän tietonsa olivat varsin puutteellisia. Toisaalta osa taas sanoi, ettei juurikaan tiedä Elisän juoksevista kustannuksista, mutta haastattelun aikana selvisi, että heillä oli hyvin kattavasti tietoa niistä. Suurimmassa osassa tapauksissa jopa enemmän kuin niillä, jotka sanoivat omaavansa hyvät tiedot. Kaiken kaikkiaan mielestäni haastattelut olivat onnistuneita ja ne antoivat Elisalle erittäin arvokasta tietoa muun muassa suunnittelijoiden tämän hetkistä tiedoista ja asenteesta juoksevia kustannuksia kohtaan.

Yksi haastateltava toi esille asian, jonka koin erittäin mielenkiintoiseksi näkökulmaksi juokseviin kustannuksiin. Hän heitti ajatuksen ilmoille siitä ovatko kaikki juoksevat kustannukset yhtä tärkeitä, vai tulisiko toisiin kiinnittää enemmän huomiota kuin toisiin. Tällä hän ajoi takaa sitä, että ovatko 2G:n ja 3G:n aiheuttamat kustannukset samalla viivalla LTE:n aiheuttamien kustannusten kanssa. Erityisesti jos mietitään 3G 2100 MHz:iä, jota käytetään kapasiteetin tuottamiseen. Samalla määrällä juoksevia kustannuksia tällä ei kuitenkaan saada toteutettua yhtä paljon kapasiteettia kuin esimerkiksi LTE 1800 MHz:llä. Hänen kanssaan keskusteltua tulin siihen tulokseen, että mielestäni juoksevat kustannukset tulisi suhteuttaa niiden tuottamaan palveluun asiakkaalle. Tämän pohjalta voitaisiin sitten tehdä päätöksiä siitä, mitkä juoksevat kustannukset todellisuudessa toisivat Elisalle suurimmat säästöt.

Haastatteluiden perusteella paras keino lisätä suunnittelijoiden motivaatiota juoksevia kustannuksia kohtaan on tiedon lisääminen. Viisi haastateltavaa toivoi parempaa näkyvyyttä tämän hetkisille kustannuksille. Tällä hetkellä jokaisen tukiasemapaikan kustannukset löytyvät Excel-tiedostosta, joka päivitetään kuukausittain. Mielestäni tämä ei kuitenkaan ole paras tapa tuoda kustannuksia esille. Yksi tapa tuoda kustannukset paremmin esille olisi tuoda ne näkyville web-pohjaiseen työnhousjärjestelmään. Tällöin suunnittelijat näkisivät sen kohteen kustannukset, jota he ovat tekemässä. Tällöin vaiva kustannusten tarkistamiseen on pieni. Toinen keino olisi esimerkiksi nettisivu, josta voisi suunnittelijan mukaan suodattaa kohteet. Kohteet listattaisiin kalleusjärjestykseen, jolloin suunnittelija näkisi suoraan oman alueensa ongelmakohteet. Sivulla olisi hyvä olla myös mahdollisuus kommentoida kohteita, jolloin samat kalliit kohteet eivät aina tukkisi suunnittelijalle esitettävää näkymää. Elisalla on tällä hetkellä käytössä sivu, jossa esitetään tukottavat LTE tukiasemapaikat. Mielestäni tämä konsepti olisi erittäin hyvä myös juoksevien kustannusten kanssa.

5.3 Dokumentaation kehittäminen

Dokumentaatio on erittäin tärkeässä asemassa juoksevien kustannusten pienentämisessä. Ilman kunnollista dokumentaatiota on mahdotonta tietää varmaksi mitä laitteistoa milläkin tukiasemapaikalla todellisuudessa on. Jos ei ole varmuutta siitä mitä milläkin tukiasemapaikalla on, ei voida tietää mitä tukiasemapaikkoja tulee tai edes voidaan optimoida. Dokumentaatio Elisän radioverkkojen osalta on tällä hetkellä kohtalaisen hyvällä mallilla, mutta siitä löytyy muutamia asioita, joita voidaan vielä parantaa.

Yhtenä suurena osana tätä dokumentaatiota on urakoitsijoiden ottamat valokuvat tukiasemapaikoilta. Ilman näitä kuvia Elisän radioverkkosuunnittelijoiden olisi mahdotonta tietää minkälaisesta tukiasemapaikasta on kyse, elleivät he itse vieraile kyseisellä paikalla. Tähän taas suunnittelijoiden aika ei riitä, joten heidän täytyy luottaa urakoitsijoilta saatuihin valokuviin. Urakoitsijoita on ohjeistettu ottamaan tietyistä asioista kuvia riippuen onko kyseessä masto- vai kiinteistökohte. Eri urakoitsijoiden välillä on kuitenkin suuria eroja kuinka nämä kuvat todellisuudessa otetaan ja mitä kohteita tukiasemapaikalla kuvataan. Minusta tuntuu, että ajan kuluessa Elisän radioverkkosuunnittelijat eivät enää ole vaatinut urakoitsijan toimittamalta dokumentaatiolta niin paljoa, kuin mitä urakointisopimuksessa oleva ohje dokumentoimiseen mahdollistaisi. Tässä olisi mielestäni yksi kehittämisen kohde. Esimerkiksi on enemmän sääntö kuin poikkeus, että dokumentaatioissa on kuvattu ainoastaan yksi laiteteline, vaikka kohteessa olisi myös toinen teline. Tämä korostuu erityisesti seinätelineiden kohdalla. Hyvät kuvat helpottaisivat suunnittelijoita löytämään kohteita, joissa laskutetaan ylimääräisistä laitepaikoista. Laitepaikat ovat vuokra- paikoissa arvokkaita, joten tällä voitaisiin saavuttaa isoja säästöjä, jos paikkoja löytyisi useampia.

Dokumentaatiojärjestelmän ja suunnittelutyökalun välillä on joissain tapauksissa eroa tietojen sisällöistä. Molemmista löytyy esimerkiksi tieto antennien asennuskorkeudesta, mutta jossain kohteissa ne ovat eriävät näissä kahdessa eri järjestelmässä. Tämä voi osaltaan lisätä juoksevia kustannuksia, jos Elisalla ei ole varmuutta mikä todellinen asennuskorkeus on. Vaikka molemmissa järjestelmissä olisi sama asennuskorkeus se ei takaa sitä, että todellinen asennuskorkeus olisi sama. Mielestäni olisi kuitenkin hyvä, jos näiden kahden järjestelmän tietoja verrattaisiin toisiinsa ja eroavaisuuksia löydettyessä suunnittelija pyrkisi tarkistamaan esimerkiksi dokumentaatiosta mikä on todellinen korkeus. Saattaa nimittäin käydä, että antennit on haluttu asennettavaksi 80 metriin, mutta todellisuudessa ne on jouduttu asentamaan 70 metriin. Laskutukseen on kuitenkin saattanut jäädä laskutusperusteeksi tuo 80 metriä, jolloin Elisa maksaa turhaan vuokraa.

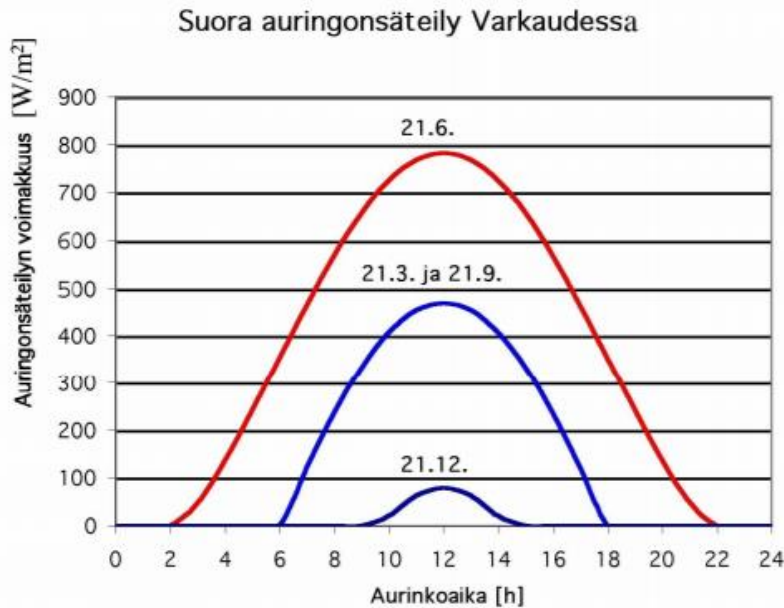
Elisalla on pyritty siihen, että radiot asennettaisiin ulkotiloihin, jottei niitä tarvitsisi jäähdyttää. Tästä ei kuitenkaan ole tehty mitään virallista dokumentaatiota, joten ilman valokuvia on mahdoton tietää missä minkäkin kohteen radiot ovat. Yksittäisen kohteen tilanteen saa selville helposti kun käy katsomassa dokumentaatiojärjestelmästä kohteen kuvat, mutta isossa mittakaavassa tämä ei ole toimiva ratkaisu. Radioiden sijainnilla voidaan

kuitenkin merkittävästi vaikuttaa jäähdytyskustannuksiin, joten mielestäni olisi viisasta, jos jostain löytyisi merkintä siitä, onko kyseisen kohteen radiot ulkona vai sisällä.

5.4 Tulevaisuuden tukiasemapaikat

Osa tukiasemapaikoista on paikoissa, joihin ei saada sähkönsyöttöä runkoverkosta. Suomessa tämänkaltaisia paikkoja on esimerkiksi saaristossa ja Pohjois-Suomen tunturialueella. Myös näille alueille kuitenkin tarvitaan edes jonkinlainen peitto matkapuhelinverkolle. Tämänkaltaisille tukiasemapaikoille tarvitsee siis sähkönsyöttö hoitaa jotenkin muuten. Yksi ratkaisu tähän on uusiutuvan energian käyttäminen sähköntuottoon tukiasemapaikalla. Vuonna 2012 on arvioitu olevan noin 13 000 tukiasemapaikkaa ympäri maailman, missä käytetään uusiutuvia energialähteitä. Määrän on arveltu nousevan 84 000 vuoteen 2020 mennessä. (Lorincz et al. 2014)

Uusiutuvan energian käyttäminen paikalliseen sähköntuotantoon on myös siinä mielessä mielenkiintoinen idea, että sillä kyetään pienentämään myös juoksevia kustannuksia. Tällöin ei tarvitse maksaa erikseen käytetystä sähköenergiasta. Muualla maailmassa syrjäisillä tukiasemapaikoilla tähän asti sähköä on tuotettu dieselgeneraattoreilla (Lorincz et al. 2014). Tästä kuitenkin muodostuu operaattoreille suuri määrä juoksevia kustannuksia ja sen johdosta vaihtoehtoja on alettu tutkimaan. Aurinkopaneeleilla ja tuulivoimaloilla on mahdollista korvata nämä dieselgeneraattorit, jolloin myös verkon ilmastovaikutus pienee. Suomessa uusiutuvan energian käyttö ei kuitenkaan ole aivan niin yksinkertaista kuin esimerkiksi Intiassa, jossa tutkimusta on tällä hetkellä tehty paljon (Ibrahim et al. 2015). Suomessa talvet ovat pimeitä, jolloin aurinkoenergiaa on tarjolla vähän ja myös tuulivoimakkuudet pysyvät Suomessa pääosin maltillisina. Kuvassa 21 esitellään auringonsäteilyn määrä varkaudessa.



Kuva 21 Auringonsäteily määrä Varkaudessa (Suntekno 2000).

Kuvasta 21 voidaan havaita kuinka Varkaudessa auringonsäteilyn määrä vaihtelee erittäin paljon vuoden sisällä. Enimmillään aurinkoenergiaa on tarjolla kesäisi, jolloin säteilyä on hieman alle 800 W/m^2 . Pienimmillään säteily on talvipäivänseisauksena, jolloin säteilyä tulee ainoastaan 80 W/m^2 . Vastaavat kokonaisenergiat näinä päivinä ovat $8,7 \text{ kWh/m}^2$ ja $0,2 \text{ kWh/m}^2$ (Suntekno 2000). Hyötysuhde aurinkopaneeleissa jää kuitenkin kohtalaiseen alaan. Teoreettinen maksimi tämänhetkisillä paneeleilla on 42,5 %, mutta tyypilliset massatuotantopaneelit ovat hyötysuhteeltaan 20-25 %:n luokkaa (Wirth et al. 2016). Tällöin kesäpäivänseisauksen aikaan energiaa saataisiin talteen $2,2 \text{ kWh/m}^2$ ja talvipäivänseisauksen aikaan ainoastaan $0,05 \text{ kWh/m}^2$. Kesällä aurinkoenergian hyödyntäminen on mahdollista tukiasemapaikoilla, mutta talviaikaan paneelien pinta-alan tulisi olla erittäin suuri, jotta niillä kyettäisiin tuottamaan riittävästi sähköä tukiasemapaikan laitteistolle.

Alsharif & Kim (2016) suosittelivat hybridi energiantuottoa, jolloin tukiasemapaikalla hyödynnetään aurinkoenergian lisäksi myös tuulienergiaa. Suomessa nämä tukevat toisiaan hyvin, sillä kesällä aurinkoenergiaa on hyvin saatavilla, kun taas talvikuukausina rannikko- ja tunturialueilla tuulee keskimääräistä enemmän (Tuuliatlas 2008). Tukiasemapaikalla voitaisiin hyödyntää pieniä vertikaalisia tuulimyllyjä. Kuvassa 22 esitetään yhden vertikaalisen tuulimyllyn tehokäyrä tuulennopeuden suhteen.



Kuva 22 Vertikaalisen tuulimyllyn tehontuotto tuulennopeuden suhteen (Aeolos 2017).

Tuuliatlaksen (2008) mukaan Hangon saaristossa matalin keskituulennopeus on heinäkuussa noin 5,2 m/s. Vastaavasti korkein keskituulennopeus on marraskuussa, jolloin keskituulennopeus on noin 8,5 m/s. Keskimäärin pienimmillään kyseinen tuulimylly tuottaisi siis tehoa noin 0,8 kW/h ja suurimmillaan 3,4 kW/h. Näiden tietojen pohjalta olisi mahdollista toteuttaa tukiasemapaikka syrjäiselle seudulle, johon ei saada sähköä runkoverkosta. Tuuliatlaksen (2008) mukaan Muonion Sammaltunturilla tuulennopeudet ovat hyvin lähellä Hangon tilannetta, joten tuulimyllyjen ja aurinkopaneelien avulla myös Pohjois-Suomen tunturialueilla on mahdollista toteuttaa tukiasemapaikka

Uusiutuvan energian käyttämisessä yhtenä haasteena on energian säilöminen. Normaalisti tukiasemapaikoilla akkukapasiteetti on sen verran pieni, ettei sen avulla voida varastoida riittävästi energiaa kattamaan hetket, jolloin sitä ei ole saatavilla. Tutkimuksesta riippuen uusiutuvaa energiaa käyttävillä tukiasemapaikoilla käytetään eri suuruisia akustoja. Akustot kuitenkin ovat suuruusluokaltaan 360 Ah:n ja 2500 Ah:n välissä (Ibrahim et al. 2015; Lorincz et al. 2014; Alsharif et al. 2016). Suomessa käytettävät akustot sijoituisivat varmasti edellä mainitun asteikon yläpäähän edellä mainittujen vaihtelevista olosuhteista johtuen. Jos tukiasemapaikalla on 2500 Ah:n akusto, riittää siitä yhdeksi vuorokaudeksi energiaa 5000 W:n teholle. Jos laitteiston teho on 5000 W, tarkoittaa se sitä, että akut täytyy ladata täyteen joka päivä. Laitteisto tulee kuitenkin mitoittaa sellaiseksi, että niistä jää reserviä myös niille päiville, jolloin niitä ei pystytä lataamaan täyteen. Sopiva konfiguraatio etäiselle tukiasemapaikalle on 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz toteutettuna multiradiona sekä LTE 800 MHz. Tällöin myös muulle tukiasemalaitteistolle jää riittävästi energiaa käytettäväksi.

Juoksevien kustannusten säästöä haettaessa ei Suomessa kannata tämänkaltaisia energiaratkaisuja tehdä, sillä energia on tällä hetkellä Suomessa sen verran halpaa, ettei tuulimyllyihin ja aurinkopaneelisiin menevää investointia saada kuoletettua järkevissä ajassa. Mielestäni uusiutuvan energiantuotto kuitenkin mahdollistaa tukiasemapaikkojen sijoittamisen myös paikkoihin, jossa sähköä ei muuten olisi saatavilla. Lisäksi uusiutuvista energianlähteistä voi olla hyötyä myös tilanteissa, joissa tukiasemapaikalle ei saada riittävää sähkönsyöttöä runkoverkosta.

Uusiutuvan energian käyttäminen tukiasemapaikalla vaatii hieman muutoksia perinteiseen tukiasemakoppiin nähden. Aurinkopaneelien käytettäessä niille tarvitaan riittävän avoin paikka, jotta ne toimivat tehokkaasti. Lisäksi niiden sijoittaminen voi olla haastavaa ilkvallasta johtuen. Toisaalta tämänkaltaiset ratkaisut olisivat hieman syrjäisemmällä seuduilla, joten siellä ei välttämättä ilkvallanriski ole niin merkittävä. Yksi paneelien sijoituspaikka voisi olla tukiasemakopin katto. Koppien katot ovat yleensä kohtalaisen pieniä, jolloin katolle ei välttämättä saada riittävän suurta paneelistoa. Myös tuulimyllyn sijoittaminen voi tuottaa haasteita, sillä sen tulee olla riittävän aukealla paikalla. Tällöin siitä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty. Tulevaisuutta ajatellen olisi mielenkiintoista, jos Elisa kokeilisi sopivalla tukiasemapaikalla toimisiko siellä uusiutuvan energian hyödyntäminen. Kokeilutukiasemapaikka voisi olla eteläisessä Suomessa saaristossa, jolloin nähtäisiin kuinka hyvin aurinko- ja tuulienergiaa voitaisiin hyödyntää.

5.5 Työn virhetarkastelu

Tässä työssä on kohtalaisen vähän laskentaa perustuvaa tietoa. Tästä johtuen työssä esitetyt laskelmat eivät ole kovin merkittävässä roolissa työn lopputuloksen kannalta. On kuitenkin otettava huomioon, että esimerkiksi takaisinmaksuaikoja laskettaessa mukaan on saattanut tulla virheellisiä lukuja, tai että koko lasku on suoritettu väärin. Tätä kuitenkin pyrin ehkäisemään sillä, että suoritin laskut kahtena erillisenä päivänä ja molempina päivinä laskin takaisinmaksuajat uudelleen. Tällä pyrin pienentämään riskiä näppäily- ja ajatusvirheestä.

Yksi mikä tulevaisuudessa tulee aiheuttamaan virhettä tässä työssä on muuttuvat vuokrasopimukset. Tässä työssä käsitellyt asiat olivat vuoden 2017 vuokrasopimuksista, joten käsitellyt asiat eivät välttämättä ole enää 2018 valideja. En kuitenkaan usko että ensi vuoden vuokrasopimukset poikkeavat merkittävästi tämän vuotisista. Yksi muutos on kuitenkin aivan varma ensi vuoden ja tämän vuoden välillä. Vuokraaja 1:n alennusprosentti riippuu sen hetkisestä vuokratilanteesta, joten ensi vuonna alennusprosentti on eri kuin tänä vuonna. Tietenkin on mahdollista myös, että vuokrasopimuksia tulkitessani olen joko ymmärtänyt jonkun asian väärin, tai en ole huomannut jotain asiaa ollenkaan. Tämän kaltaiset asiat voivat siis myös aiheuttaa virhettä tähän työhön.

Työssä käsiteltiin myös Elisan päälaitetoimittajan ilmoittamia tehonkulutuksia heidän laitteistolleen. Myös tämä voi aiheuttaa virhettä työssä esitettyihin laskelmiin. Laitetoimittaja on saattanut kaunistella heidän tuotteidensa todellista tehonkulutusta, tai he ovat voineet ilmaista tehot optimaalisessa olosuhteessa. Tällöin mitatut tehonkulutukset eivät välttämättä toteudu todellisessa radioverkossa. Tätä virhettä on kuitenkin pyritty minimoimaan Elisalla suorittamalla omia tehonkulutusmittauksia. Kyseisissä mittauksissa laitetoimittajan ilmoittamat arvot osuivat hyvin Elisan suorittamien mittausten kanssa yhteen. Mittauksissa kuitenkin ilmeni, että hajonta on yllättävän suurta samalla laitetyypillä. Elisan mittausten trendiviiva kuitenkin osuu hyvin lähelle laitetoimittajan ilmoittamaa kulutusta, joten voidaan todeta laitetoimittajan toimittamat kulutukset riittävän luotettaviksi.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tarkoituksena oli löytää keinoja, joilla pystytään vähentämään juoksevia kustannuksia Elisan matkapuhelinverkossa. Juoksevilla kustannuksilla tarkoitetaan käytöstä aiheutuvia kuluja, jotka tässä tapauksessa muodostuvat pääosin kulutetusta sähköstä ja vuokrasta. Juoksevat kustannukset ovat ongelmallisia koska, niiden maksaminen päättyy vasta kun niiden aiheuttaja otetaan pois käytöstä. Investointikustannukset sen sijaan ovat kertaluonteisia ja ne maksetaan ainoastaan rakennusvaiheessa.

Juoksevia kustannuksia aiheutuu matkapuhelinverkossa monista lähteistä. Vuokrakustannuksia syntyy kun Elisa toimii vuokralaisena jonkun toisen toimijan tiloissa. Toimijoita voivat olla esimerkiksi toinen matkapuhelinoperaattori tai kiinteistökohteissa taloyhtiö. Matkapuhelinverkon laitteet kuluttavat erittäin paljon sähkö, joten myös niistä aiheutuu vuositasolla suuria kustannuksia Elisalle. Näiden lisäksi juoksevia kustannuksia aiheutuu liittytaverkon puolelta. Esimerkiksi vuokralla ollessaan Elisa voi joutua maksamaan vuokraa linkkipeilin paikasta mastossa. Tai jos kohteeseen ei ole saatavilla Elisan liittytähteyttä, joutuu Elisa vuokraamaan liittytähteyden esimerkiksi tukiasemapaikan omistajalta. Yhtenä juoksevia kustannuksia aiheuttavana kohteena on myös omien tukiasemapaikkojen huolto- ja ylläpitotyöt.

Matkapuhelinverkon suurin sähköä kuluttava kohde on tukiasemapaikka. Sähkön osalta tässä työssä keskityttiin nimenomaan tukiasemapaikkojen sähkönkulutukseen. Tutkimusten mukaan siellä kuluu jopa yli puolet koko verkon sähkönkulutuksesta. Tukiasemapaikalla puolestaan suurimmaksi yksittäiseksi sähkönkuluttajaksi on tutkimuksissa osoittautunut radioyksiköt. Toiseksi eniten sähköä kuluttavat jäähdytys ja lämmitys. (Zhang et al. 2016) Elisa toimii masto- ja pylväskohteissa noin 20 eri toimijan kohteissa. Näistä kaksi on kuitenkin Elisan kannalta muita merkittävämpiä, joten tässä työssä keskityttiin näihin kahteen toimijaan.

Näillä kahdella eri vuokraajalla on hyvin erilainen lähestymistapa oman tukiasemapaikansa vuokrahinnoittelussa. Vuokraaja 1 on luonut laskurin, johon syötetään tietyt parametrit. Näiden parametrien avulla laskuri laskee vuokrahinnan kyseiselle konfiguraatiolle. Laskurista ei suoraan näe miten mikäkin muutos vaikuttaa hintaan, mutta tässä työssä laskurin toimintaa tutkittiin siten, että siinä muutettiin ainoastaan yhtä parametria kerrallaan. Parametreja on kuitenkin hyvin monta ja pelkästään antennien aiheuttamaan hintaan vaikuttaa lähes 10 eri parametria. Vuokraaja 2 sen sijaan on luonut pakettihinnoittelun. Paketin ostamalla Elisa saa oikeuden sijoittaa kohteeseen tyypillisimmät tukiasemapaikalla tarvittavat asiat. Mastokohteessa nämä ovat antennit, radioyksiköt ja niiden kaapelit sekä kaksi laitelinettä. Näiden lisäksi mastopakettiin kuuluu akkuvarmennus 1,8 kW:n saakka sekä jäähdytys. Kiinteistöpaketti pitää sisällään yhden laitelineen ja akkuvarmennuksen 1,8 kW:n saakka sekä jäähdytyksen. Kiinteistöpaketin ostettuaan

Elisa tekee oman sopimuksen kiinteistön omistajan kanssa antennien sijoittelusta. Paketien lisäksi vuokraaja 2 myy myös yksittäiskappaleena oikeutta sijoittaa laitteita heidän tiloihinsa. Yksittäiskappaleina ostetut oikeudet ovat kuitenkin usein kalliimpia kuin paketit, joten Elisan näkökulmasta on usein kannattavampaa ostaa paketti.

Radioverkon laitetoimittaja puolella Elisalla on yksi pääyhteistyökumppani, joten tässä työssä keskityttiin pääosin heidän laitteidensa sähkönkulutukseen. Työssä löydettiin joi-tain radioyksikkötyyppejä, jotka tulisi vaihtaa moderneihin laitteisiin mahdollisimman pian. Elisalla käytössä oleva kaappimallinen 2G tukiasemalaitteisto tulisi vaihtaa uudemman mallisiin laitteisiin. Kyseinen vanha tukiasemalaitteisto kuluttaa sähköä merkittävästi enemmän kuin modernit laitteet ja erityisesti vuokrapaikoissa ollessa se tuo kustannuksia myös ylimääräisen laitepaikan kautta. Säästöä saavutetaan erityisesti silloin jos 3G 2100 MHz voidaan samalla purkaa ja ryhtyä käyttämään 2G 900 MHz ja 3G 900 MHz multiradiota. Tällöin saavutettavat säästöt ovat niin suuret, että laitteisiin menevä investointikustannus säästetään yhden vuoden juoksevien kustannusten pienenemisellä.

Myös vanhemman malliset LTE 2600 MHz:n radiot tulisi vaihtaa uudemman mallisiin. Vanhemmat radiot kuluttavat kaksi kertaa enemmän tehoa kuin uudemman malliset radiot. LTE 800 MHz:n radioiden kohdalla asia ei ole aivan yhtä selkeä. Kaikista vanhimmat radiot kannattaa vaihtaa uudempiin, jos kohteeseen jouduttaisiin muuten asentamaan uusia kuituja tai sähkönsyöttökaapeleita uusille radioille. Myös maksettaessa akkuvarmennuksesta voi tulla eteen tilanne, jolloin kannattaa vaihtaa vanhimmat radiot uusimpaan. Tämä koskee kolmeporttisia radioita. Vanhempaa kuusiporttista radiota ei kannata sähkönsäästö mielessä vaihtaa. LTE 1800 MHz:n kanssa on hieman samankaltainen tilanne. Vanhimmat kolmiporttiset radiot kannattaa vaihtaa uusimpiin kuusiporttisiin radioihin, jos kohteeseen tarvitaan vapaita kuitupareja tai jos joudutaan maksamaan akkuvarmennuksesta. Erityisesti vuokraaja 1:n kohteissa tulee huomioida myös mahdolliset kustannukset ylimääräisistä radioista.

Vuokraaja 1:n kohteissa oikeastaan kaikki laitteistoon liittyvät päätökset vaikuttavat vuokrahintaan. Kyseisissä kohteissa tulee pyrkiä minimoimaan kaikki ylimääräinen laitteisto. Yhtenä suurimpana säästökohteena vuokraaja 1:n kohteissa ovat antennit. Antennien koolla, määrällä ja asennuskorkeudella on suuri vaikutus muodostuvaan vuokrahintaan. Antennien lisäksi myös radioiden ja laitepaikkojen määrä vaikuttaavat suoraan vuokrahintaan. Vuokraaja 2:n kohteissa sen sijaan on hieman vapaampaa laitteiston suhteen. Heidän kohteissa suurimpaan osaan kannattaa ostaa valmis paketti, jolloin esimerkiksi antennien määrällä ja koolla ei ole merkitystä. Korkean kapasiteetin mastokohteessa voi tulla tilanne, jolloin omalla voimalaitteella saavutettaisiin kustannushyötyä, mutta tämä kannattaa tarkastaa tapauskohtaisesti.

Omissa tukiasemapaikoissa suurimmat säästöt saavutetaan sähkönsäästöillä. Edellä mainitut radioyksikköihin liittyvät asiat pätevät myös omissa tukiasemapaikoissa. Radioyksiköiden lisäksi myös voimalaitteiden hyötysuhteisiin tulee jatkossa kiinnittää huomiota.

Hyötysuhteissa on kuitenkin sen verran pieni ero, että vanhoja laitteita ei kannata lähteä päivittämään uudenmallisiin, mutta tulevaisuudessa uusia laitteita ostettaessa tulee tasa-suuntaajien hyötysuhteeseen kiinnittää huomiota. Jäähdytys ja lämmitys ovat myös merkittävässä roolissa omien tukiasemapaikkojen sähkönkulutuksessa. Siellä kannattaisikin pyrkiä hyödyntämään kanavapuhaltimia jäähdytyslaitteiden sijaan, mutta samalla tulisi myös kiinnittää huomiota ilman kiertoön tukiasemapaikalla. Tällä hetkellä käytetty tapa ei ole tehokas tapa hyödyntää kanavapuhaltimia.

Työssä suoritettiin myös tutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää Elisan radioverkko-suunnittelijoiden tämänhetkistä tietotasoa juoksevista kustannuksista. Tutkimus suoritettiin haastatteluna, jossa haastateltiin *pre-planning* ja *site-planning* tiimeistä suunnittelijoita. Tutkimuksen hypoteeseiksi asetettiin seuraavat: suunnittelijoilla ei ole riittävästi tietoa ja suunnittelijoiden asenne juoksevia kustannuksia kohtaan on negatiivinen. Haastatteluiden pohjalta ensimmäinen hypoteesi vahvistettiin, mutta toinen kumottiin. Haastatteluissa selvisi, että osalla suunnittelijoista on hyvin tiedossa juoksevien kustannusten lähteet, mutta osalla oli selkeästi puutteita tiedoissa. Haastateltavien asenne juoksevien kustannusten pienentämistä kohtaan oli yllättävän positiivinen, mutta syy siihen minkä takia niitä ei kuitenkaan tehdä työn ohessa, oli tiedon puute. Suunnittelijoilla ei yksinkertaisesti ole riittävästi tietoa tukiasemapaikkojensa juoksevista kustannuksista, joten he eivät voi tehdä ratkaisuja, jotka pienentäisivät näitä kustannuksia.

Parannusehdotus haastateltavien mielestä olisi esimerkiksi lista, josta näkisi heidän suunnittelualueen kalleimmat kohteet. Tällä tiedolla he saisivat selville kohteet, joihin parannuksia tarvittaisiin. Toinen haastateltavilta tullut ehdotus on KPI -tyyppinen ratkaisu, jossa näytettäisiin heidän suunnittelualueen tilanne. Tällöin he voisivat seurata sen kehittymistä ja samalla verrata omaa aluettaan muiden alueisiin. Taulukossa 9 esitetään tiivistetyksi tärkeimmät työssä löytyneet keinot vähentää juoksevia kustannuksia.

Taulukko 9 Yhteenvedo keinoista juoksevien kustannusten pienentämiseen

Keino	Mahdollinen säästö	Kohteiden lukumäärä
Kaappimallisen 2G:n modernisointi	Suuri	Useita satoja
LTE 800 / 1800 modernisointi	Pieni	Satoja
LTE 2600 modernisointi	Keskinkertainen	Muutamia
Antennivalinnat vuokraaja 1 kohteissa	Suuri	Useita satoja
Oma voimalaite vuokraaja 2 tiloihin	Keskinkertainen	Kymmeniä
Voimalaitteen hyötysuhteen parantaminen	Suuri	Tuhansia
Kanavapuhaltimien hyödyntäminen	Keskinkertainen	Tuhansia

Tämän työn tärkein havainto oli kuitenkin se, että Elisan tulee jatkossa kiinnittää enemmän huomiota radioverkon juokseviin kustannuksiin. Juoksevien kustannusten jatkuva lisääntyminen tuo vuosi vuodelta enemmän kustannuksia verkon ylläpitoon ja voi tulevaisuudessa aiheuttaa kestävämmän tilanteen. Tämä työ oli ainoastaan pintaraapaisu siihen, mitä kaikkia keinoja Elisalla on käytettävissään juoksevien kustannusten minimoimiseksi. Toivonkin että Elisalla myös jatkossa panostettaisiin juoksevien kustannusten minimoimiseen.

LÄHTEET

- 3GPP. (2017). LTE Overview. Saatavilla: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. Viitattu: 31.7.2017.
- Agbinya, J. I., Aguayo-Torres, M. C. & Klempous, R. (2013). 4G Wireless Communication Networks: Design Planning and Applications. River Publishers. pp. 512.
- Ahuja, N., Rego, C. W., Ahuja, S., Zhou, S. & Shrivastava, S. (2013). Real time monitoring and availability of server airflow for efficient data center cooling. 29th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium. pp. 243–247.
- Alcatel Lucent. (2009). The LTE Network Architecture, A comprehensive tutorial. Saatavilla: http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf. Viitattu: 14.4.2017.
- Alsharif, M. H. & Kim, J. (2016). Hybrid Off-Grid SPV/WTG Power System for Remote Cellular Base Stations Towards Green and Sustainable Cellular Networks in South Korea. *Energies*. Vol (10). pp. 9.
- Aeolos. (2017). Aeolos Wind Turbine 5kW Specification. Saatavilla: <http://www.wind-turbine-star.com/5kwh-aeolos-wind-turbine.html>. Viitattu: 10.8.2017.
- Chiariac, V. A., & Chiariac, F. (2012). Novel energy recovery systems for the efficient cooling of data centers using absorption chillers and renewable energy resources. 13th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems. pp. 814–820.
- Cisco. (2017). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021. Saatavilla: www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html. Viitattu: 10.4.2017.
- De Domenico, A., Strinati, E.C. & Capone, A. (2013). Enabling Green cellular networks: A survey and outlook, *Computer Communications*, Vol. 37 pp. 5–24.
- Delta. (2017). DPR 3000 EnergE Single Phase Rectifier. Datalehti. Saatavilla: <http://www.deltapowersolutions.com/media/download/FactSheet-DPR-3000-EnergE-98-percent-en.pdf>. Viitattu: 27.7.2017.
- EARTH. (2011). Energy Aware Radio and neTwork tecHnologies, EARTH – The Success Story. Saatavilla: <https://www.ict-earth.eu/>. Viitattu: 26.7.2017.

- Ebmpapst. (2017). What's so special about an EC fan?. Saatavilla: http://www.ebmpapst.com.au/en/ec_technology/ec_fans_and_motors/ec-technology_special.html. Viitattu 27.7.2017.
- Eskola, J. & Suoranta, J. (1998). Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Vastapaino, Tampere. s. 268.
- Finnet. (2017). Finnet-liiton jäsenet. Saatavilla: <https://www.finnet.fi/jasenyhtiot/>. Viitattu: 30.6.2017.
- Foreca. (2017). Havaintohistoria heinäkuu 2017, Tampere Härmälä. Saatavilla: <http://www.foreca.fi/Finland/Tampere/havaintohistoria>. Viitattu: 27.7.2017.
- Green, M., Karajgikar, S., Voza, N., Gmitter, N. & Dyer, D. (2012). Achieving energy efficient data centers using cooling path management coupled with ASHRAE standards. 28th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM). pp. 288–292.
- Heikkilä, T. (2014). Tilastollinen tutkimus. Edita Helsinki. Vol 9. s. 328.
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2008). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press Helsinki. s. 213.
- Huawei. (2016). EasyRET Single-Band Tri-Beam Antenna with 3 Integrated RCUs - 1.4m. Datalehti 3MX-1710-2690-22-21i-M-R. Viitattu 5.7.2017.
- Humar, I., Ge, X., Xiang, L., Jo, M., Chen, M. & Zhang, J. (2011). Rethinking energy efficiency models of cellular networks with embodied energy. IEEE Network. Vol. 25 (2). pp. 40–49.
- Ibrahim, M., Tayyab, M. & Zubair, M. (2015). PV-solar / Wind Hybrid Energy System for GSM/CDMA Type Mobile Telephony Base Station. International Journal of Engineering Research and Applications. Vol. (5). pp. 74–79.
- Kaelus. (2017). Tower Mounted Amplifiers. Saatavilla: <http://www.kaelus.com/en/rf-conditioning-solutions/tower-mounted-amplifiers/tma2009f5v3-1>. Viitattu 26.7.2017.
- Kathrein. (2017). 65° Dualband Directional Antenna with Integrated Combiner. Datalehti 936.4059/c. Saatavilla: <http://www.kathreinusa.com/wp-content/uploads/2015/12/7422-22V01.pdf>. Viitattu: 5.7.2017.
- Kelly, I. Y., Zimmerman, M., Butler, R. & Zheng, Y. (2015). Base station antenna selection for LTE networks. CommScope. Saatavilla: http://www.commscope.com/Docs/BSA-Selection-for-LTE-Networks_WP-108976.pdf. Viitattu: 12.7.2017.

Laroia, R., Uppala, S., & Li, J. (2004). Designing a mobile broadband wireless access network. *IEEE Signal Processing Magazine*. Vol. 21 (5). pp. 20–28.

Lepadatu, G. (2011). THE IMPORTANCE OF THE COST INFORMATION IN MAKING DECISIONS. *Romanian Economic and Business Review*. Vol. 6 (1). pp. 52.

Lorincz, J., Bule, I. & Kapov, M. (2014). Performance Analyses of Renewable and Fuel Power Supply Systems for Different Base Station Sites. *Energies*. Vol (7). pp. 7816–7846.

Metsämuuronen, J. (2006). Laadullisen tutkimuksen käsikirja. *International Methelp Helsinki*. s. 750.

Power-one. (2003). PMP 11 Rectifier module Description. *Datalehti*. Saatavilla: <http://www.cpsauxilion.co.uk/resources/pmp11482.pdf>. Viitattu: 27.7.2017.

RF Wireless World. (2012). Circuit switching (CS) vs packet switching (PS) network: difference between circuit switching and packet switching. Saatavilla: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/circuit-switching-vs-packet-switching.html>. Viitattu: 14.4.2017.

Salmela, H. (2017). *Account Manager*. Elisa Oyj. Tampere. Haastattelu 5.7.2017.

Stahle, D. (2005) Analytic method for coverage prediction in UMTS radio network planning process. *IEEE 61st Vehicular Technology Conference*. Vol (3). pp.1949.

Suntekno. (2000). Auringon kierto ja korkeus taivaalla. Saatavilla: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>. Viitattu: 10.8.2017.

Tivi. (2016). Digita voitti, kuluttaja hävisi - "Pysy monopolina, kun viranomaiset sen sallivat". Saatavilla: http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/digita-voitti-kuluttaja-havisi-pysy-monopolina-kun-viranomaiset-sen-sallivat-6561151. Viitattu 14.7.2017.

Tombaz, S. (2014). On the Design of Energy Efficient Wireless Access Networks. pp. 57.

Tongyu Communication. (2014). *Tongyu Base Station Antenna Product Catalogue*. Saatavilla: <http://www.belcoproducts.com/wp-content/uploads/2015/10/2014-Tongyu-Base-Station-Antenna-Product-Catalogue-BELCO.pdf>. Viitattu 5.7.2017.

Tuuliatlas. (2008). *Tuulisuus Suomessa*. Saatavilla: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html>. Viitattu: 10.8.2017.

Vaughan, R. & Bach Andersen, J. (2003). Channels, propagation and antennas for mobile communications. Vol. (50). pp. 1–753.

Viestintävirasto. (2014). Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto54B2014M.pdf>. Viitattu 20.7.2017.

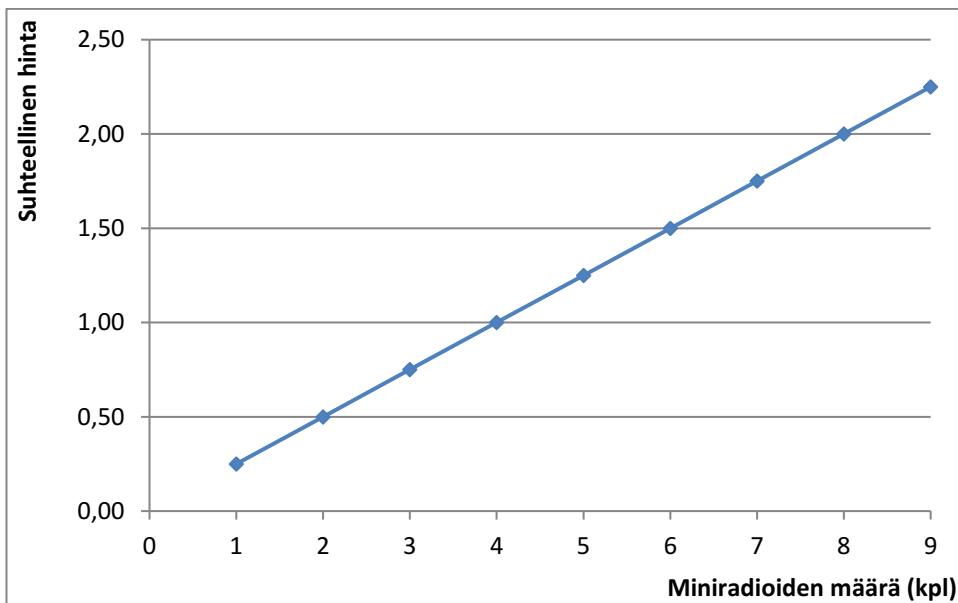
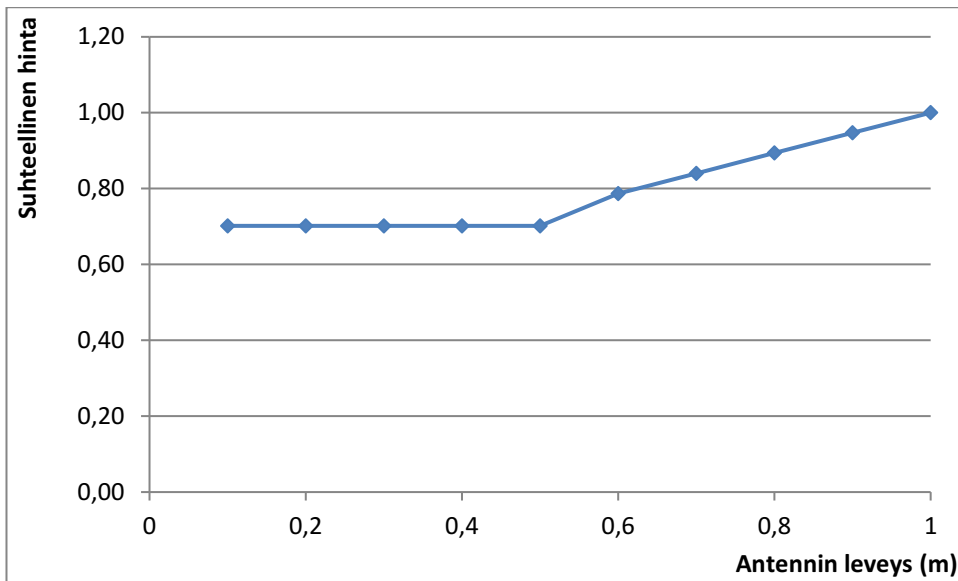
Viestintävirasto. (2017). Matkaviestinoperaattorit ja matkaviestinverkot. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/matkaviestinoperaattorit.html>. Viitattu: 25.7.2017.

Wirth, H., Weiss, K. & Wiesmeier, C. (2016). Photovoltaic Modules: Technology and Reliability. Walter De Gruyter Berlin. pp. 210.

Yeganeh, H. & Vaezpour, E. (2016). Fronthaul network design for radio access network virtualization from a CAPEX/OPEX perspective, *Annals of Telecommunications*, Vol. 71 (11). pp. 665–676.

Zhang, S., Zhang, N., Zhou, S. & Shen, X. (2016). Wireless Traffic Steering For Green Cellular Networks. pp. 128.

LIITE A: ANTENNIEN LEVEYDEN JA MINIRADIOIDEN MÄÄRÄN VAIKUTUS VUOKRAHINTAAN



LIITE B: RADIOVERKKOSUUNNITTELIJOIDEN HAASTATELUSSA KÄYTETYT KYSYMYKSET

Kertoisitko mitä OPEX:ejä radioverkkoon liittyy?

Mistä löydät tietoa OPEX:sta?

Koetko että sinulla on riittävästi tietoa OPEX:sta, jotta kykenet tekemään niihin liittyvät päätökset?

Kuinka sinua on ohjeistettu merkitsemään OPEX:ejä?

- Jatkokysymyksenä tähän voisi esittää: Entä kuinka merkitset opexit?

Kuinka sinua on ohjeistettu kiinnittämään huomiota OPEX:hin?

- Jatkokysymys: Kiinnitätkö huomiota opexeihin?

Asteikolla 1-10 kuinka paljon uskot hyvän suunnittelutyön vaikuttavan OPEX:hin, Perustelut?

- Jatkona kysymys että mihin opexeihin

Mikä toimii ajurina sinun suunnittelutyössä?

- Jatkokysymyksenä miten sitä seurataan?

Millaista tietoa OPEX:sta kaipaisit lisää?

Mikä saisi sinut kiinnittämään huomiota OPEX:hin suunnittelutyössä?

Vaaditaanko suunnittelijoita kiinnittämään huomiota OPEX:hin?

Mitä muuta haluaisit sanoa OPEX:hin liittyen?

Tiedätkö kuinka paljon OPEX:ja pystyttiin säästämään viime vuonna ja mihin ne säästöt liittyivät?

LIITE C: LTE 1800 MHZ:N RADIOIDEN SAMMUTUS YÖNAJAKSI

