

**VAASAN YLIOPISTO  
TEKNILLINEN TIEDEKUNTA  
TIETOTEKNIikka**

Sami Kuusisto

**KUSTANNUSOPTIMOITU SUUNNITTELUSÄÄNTÖ  
MATKAPUHELINVERKON TUKIASEMAYHTEYKSILLE**

Tietotekniikan  
pro gradu -tutkielma

**VAASA 2017**

<b>SISÄLLYSLUETTELO</b>	<b>sivu</b>
TAULUKOT	3
KUVIOT	3
SYMBOLIT JA LYHENTEET	4
TIIVISTELMÄ	6
ABSTRACT	7
1. JOHDANTO	8
1.1 Tutkielman tavoite ja rajaus	9
1.2 Tutkielman rakenne	10
2. KIRJALLISUUSKATSAUS	11
2.1 Matkapuhelinverkot	11
2.2 Matkapuhelintukiasemien siirtoverkon evoluutio	14
2.2.1 Ensimmäinen sukupolvi	17
2.2.2 Toinen sukupolvi: 2G	18
2.2.3 Kolmas sukupolvi: 3G	18
2.2.4 Neljäs sukupolvi: 4G	19
2.3 Siirtoverkon kustannusten jakautuminen	20
2.4 Matkapuhelinverkon kapasiteetin kehittyminen	22
2.5 Matkapuhelinverkon vasteaika palvelun käytölle ja asiakastyytyväisyys	25
2.6 Investoinnit ja operatiivisen toiminnan kulut	27
2.7 NPV ja ROI, Nettonykyarvo ja pääoman tuottoaste	31
3. SUUNNITTELUTIEDE TUTKIMUSMENETELMÄNÄ	36
3.1 DSRM-malli	38
3.1.1 Ensimmäinen vaihe: Ongelman tunnistaminen ja motivointi	40
3.1.2 Toinen vaihe: Tavoitteiden asettaminen	40
3.1.3 Kolmas vaihe: Suunnittelu ja kehitys	41
3.1.4 Neljäs vaihe: Demonstrointi	41
3.1.5 Viides vaihe: Arviointi	42

3.1.6	Kuudes vaihe: Viestintä	42
3.2	Suunnittelutieteen syklit	43
3.3	Mallin soveltaminen kohdeympäristössä	45
4.	SUUNNITTELUPERIAATTEEN LÄHTÖTILANNE	48
4.1	MBH-verkon ratkaisumallit ja suunnitteluperiaatteet	49
4.1.1	Vuokrayhteydet	51
4.1.2	Radiolinkit	52
4.1.3	Valokuituosuuskunnat	52
4.2	Tukiasemakohteen merkittävimmät tulot ja kulut	53
5.	MBH-VERKON KUSTANNUSTEN MALLINTAMINEN	55
5.1	Ongelman tunnistaminen ja motivointi	55
5.2	Tavoitteiden asettaminen artefaktille	57
5.3	Artefaktin suunnittelu ja kehitys	60
5.4	Artefaktin demonstrointi	63
5.5	Artefaktin arviointi	66
5.6	Artefaktin suunnittelun ja kehityksen iteraatio	66
5.7	Iteraation demonstrointi	68
5.8	Iteroidun artefaktin arviointi	70
5.9	Viestintä	73
6.	DISKUSSIO	74
6.1	Tulokset ja johtopäätökset	74
6.2	Tutkimuksen arviointi	77
6.3	Tutkimustulosten hyödyntämismahdollisuudet	80
6.4	Jatkotutkimusaiheet	81
	LÄHDELUETTELO	83

## TAULUKOT

Taulukko 1. MBH-verkon sukupolvien teknologiat ja ominaisuudet	17
Taulukko 2. Pääoman tuottoasteen arvostelutaulukko	35
Taulukko 3. Artefaktin CAPEX-skenaariot	64
Taulukko 4. Artefaktin OPEX-skenaariot	65
Taulukko 5. Iteroidun artefaktin CAPEX-skenaariot	68
Taulukko 6. Iteroidun artefaktin OPEX-skenaariot	69
Taulukko 7. Iteroidun artefaktin OPEX-skenaariot tuottoarviolla laskettuna	71
Taulukko 8. DSRM-prosessin arviointi	77

## KUVIOT

Kuvio 1. MBH-verkon kerrokset. (Metsälä, Salmelin 2012.)	12
Kuvio 2. MBH-siirtoverkko. (Juniper Networks 2010.)	13
Kuvio 3. MBH-verkon universaali infrastruktuuri. (Juniper Networks 2010.)	14
Kuvio 4. Kustannusten jakautuminen MBH:n verkkokerroksilla. (Metsälä ym. 2012.)	21
Kuvio 5. Matkapuhelintilaajamäärät teknologioittain Länsi-Euroopassa.	23
Kuvio 6. Matkapuhelindata-liikennemäärä/kk Länsi-Euroopassa. (Ericsson 2016.)	24
Kuvio 7. Verkkokomponenttien arvioitu CAPEX, vuonna 2015.	29
Kuvio 8. Toteuttamisprosessi (Järvinen & Järvinen 2011.)	37
Kuvio 9. Suunnittelutieteellinen tutkimusmalli, DSRM (Peffer ym 2008.)	39
Kuvio 10. Suunnittelutieteen tutkimussyklit. (Hevner 2007.)	43
Kuvio 11. Skenaario 1 CAPEX-investoitu MBH-verkko	58
Kuvio 12. Skenaario 2 OPEX-investoitu MBH-verkko, kaksi tapaa	59

## **SYMBOLIT JA LYHENTEET**

1G	Langattoman matkapuhelin-tietoliikennetekniikan ensimmäinen sukupolvi, joka oli analoginen
2G	Langattoman matkapuhelin-tietoliikennetekniikan toinen sukupolvi
3G	Langattoman matkapuhelin-tietoliikennetekniikan kolmas sukupolvi
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Langattoman matkapuhelin-tietoliikennetekniikan neljäs sukupolvi
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Stations
CAPEX	Capital Expenditures
CSR	Cell Site Router
CDMA	Code Division Multiple Access
DS	Design Science, suunnittelutiede
DSR	Design Science Research, suunnittelutieteellinen tutkimus
DSRM	Design Science Research Model, suunnittelutieteellinen tutkimusmalli
EPC	Evolved Packet Core
eNB	Evolved Node B
eNodeB	Evolved Node B
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile
I-HSPA	Internet High-Speed Packet Access

IP	Internet Protocol
LTE	Long-Term Evolution
MBH	Mobile backhaul, Matkapuhelintukiasemien siirtoverkko
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobile Switching Centre
NMT	Nordic Mobile Telephones
Node B	Ei lyhenne, samanlainen merkitys kuin BS, eli tukiasema
NPS	Net Promoter Score
OPEX	Operational Expenditures
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PE	Provider Edge
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller, radioverkko-ohjain
ROI	Return On Investment, Sijoitetun pääoman tuottoaste
SAE-GW	System Architecture Evolution Gateway, yhdyskäytävän solmupiste
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SONET	Synchronous Optical Networking
TACS	Total Access Communication Systems
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Terrestrial Mobile System
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

---

**VAASAN YLIOPISTO****Teknillinen tiedekunta**

<b>Tekijä:</b>	Sami Kuusisto	
<b>Tutkielman nimi:</b>	Kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille	
<b>Ohjaajan nimi:</b>	Tero Vartiainen	
<b>Tutkinto:</b>	Kauppatieteiden maisteri	
<b>Ohjelma:</b>	Tietotekniikan maisteriohjelma	
<b>Pääaine:</b>	Tietotekniikka	
<b>Opintojen aloitusvuosi:</b>	2014	
<b>Tutkielman valmistumisvuosi:</b>	2017	<b>Sivumäärä:</b> 85

---

**TIIVISTELMÄ**

Tutkielma käsittelee matkapuhelinverkko-operaattorin suunnittelusääntöjen mallintamisen kustannusoptimin suunnitteluperiaatteen näkökulmasta. Tutkielman tarkoituksena oli mallintaa uudenlainen kustannuslähtöisempi suunnittelusääntö. Matkapuhelinverkkojen suunnittelua ohjaavat matkapuhelinoperaattorien tarkoin laaditut suunnitteluperiaatteet, jotka määräävät suunnittelun reunaehdot eri tekniikkojen toteuttamisessa. Tutkielmassa keskityttiin pääasiassa taloudelliseen näkökulmaan ja tekniikkaa käsiteltiin ylätasolla.

Työ suoritettiin matkapuhelinverkko-operaattorin olemassa oleviin matkapuhelinverkkotietoihin mallintamalla niiden rinnalle uudet kustannuslähtöiset muuttujat, joiden on tarkoitus antaa perusta uudelle suunnittelusäännölle. Uuden suunnittelusäännön, eli artefaktin muodostamisessa sovellettiin suunnittelutiedettä ja sen DSRM-prosessimallia. Tutkielman havainnollistamiseksi kehitettiin kohdeorganisaation verkkotietoihin perustuvaan taulukkoon realistinen malli matkapuhelinverkkojen yhteyksistä, joihin lisättiin muuttuva kustannuskomponentti. Tutkielmaan valittiin kahteen eri skenaarioon satunnaisia matkapuhelinverkkoyhteyksiä, josta löytyi sopiva määrä eri kulurakenteista muodostuvia yhteyksiä. Skenaarioiden kohteisiin lisättiin kustannusmuuttuja, jonka avulla pystyttiin havainnollistamaan yhtä arvoa muutamalla kustannusmuutoksia verkossa.

Artefakti iteroitiin kerran DSRM-prosessin mukaisesti, koska ensimmäisellä syklillä ei päästy tavoitteeseen. Toisella syklillä artefaktin antamia tavoitteita muutettiin suunnitteluvaiheessa ja muokattiin työkalun muuttuvia kustannuskomponentteja suuntiin, jossa löydettiin optimi arvo sopivien investointien ja kustannusten sovittamiseksi. Tutkielman tulokseksi muodostui uusi suunnittelusääntö matkapuhelinverkko-operaattorin oman verkon investoinneille, sekä oma suunnittelusääntö vuokrajohtoyhteyksille.

---

**AVAINSANAT:** Optimointi, matkapuhelinverkko, investointi, suunnittelusääntö

---

**UNIVERSITY OF VAASA****Faculty of technology**

<b>Author:</b>	Sami Kuusisto	
<b>Topic of the Master's thesis:</b>	Cost-optimized design rule for mobile base station connections	
<b>Instructor:</b>	Tero Vartiainen	
<b>Degree:</b>	Master of Science in Economics and Business Administration	
<b>Major:</b>	Computer Science	
<b>Year of entering the university:</b>	2014	
<b>Year of completing the Master's thesis:</b>	2017	<b>Pages:</b> 85

---

**ABSTRACT**

The thesis deals with the modelling of the design rules of the mobile network operator from the point of view of the cost optimization concept. The purpose of the thesis was to model a new type of cost-oriented design rule. The design of mobile phone networks is guided by the well-designed design principles of mobile operators that determine the boundaries of design in the implementation of different technologies. The thesis focused mainly on the financial perspective and technology was processed at the top level.

The work was carried out on the existing mobile network information of the mobile network operator by modelling new cost-oriented variables alongside them, which are intended to provide the basis for a modern design rule. In designing a modern design rule, i.e. the artefact, design science and its DSRM process model were applied. To illustrate the thesis, a realistic model of mobile network connections was added to the table based on the network information of the target organization, to which a variable cost component was added. Two distinct random cellular network connections were selected for the study, which included the appropriate number of connections from different cost structures. A cost variable was added to the scenarios targets that could be used to illustrate a single value with a few cost changes online.

The artefacts were irrigated once in accordance with the DSRM process because the first cycle did not achieve the goal. During the second cycle, the targets set by the artefact were changed at the design stage and modified the tool's variable cost components in the directions where the optimal value was found to fit the appropriate investment and costs. The result of the study was a modern design rule for the investments of the mobile network operator's own network and its own design rule for leased lines.

---

**KEYWORDS:** Optimization, mobile phone network, investment, design rule

## 1. JOHDANTO

Matkapuhelin-runkoverkon suunnittelun ja optimoinnin täytyy perustua yrityksen kokonaisvaltaiseen strategiaan. Tämä on johtanut korkeaan tasoon ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Pitkäaikaisena tarkoituksena matkapuhelinverkon suunnittelu sisältää usein investointeja ja pääoman käytön suunnittelua. Taloudellinen analyysi tarvitaan päätöksentekoon, jotta voidaan arvioida hankkeen arvo yritykselle. Taloudellisia mittareita lasketaan vertailemaan kahta tai useampaa teknistä vaihtoehtoa taloudelliselta kannalta. Taloudellinen mallintaminen on erittäin hyödyllistä kaikilla suunnittelun tasoilla, ei ainoastaan pitkän aikavälin kannalta. Nyt myös pienempiä optimointisyklejä voidaan perustella liiketoimintahyödyillä. (Metsälä, Esa & Juha, Salmelin 2015.)

Viime vuosina matkapuhelinverkkojen liikenteen kysyntä on kasvanut merkittävästi. Data-liikenteen kasvun on oletettu kymmenkertaistuvan vuosien 2013 ja 2019 välissä. Älypuhelimien ja tablettien suosion kasvu on suurin syy matkapuhelin- dataliikenteen kasvulle. Operaattorien täytyy lisätä heidän verkkokapasiteettiaan ja peittoaluetta täyttääkseen asiakkaiden tarpeet. Tämä edellyttää infrastruktuurin rakentamista, esimerkiksi asentamalla uusia tukiasemia. Radioliityntäverkon (RAN) osuus on 40% koko soluverkon operatiivisista kustannuksista. (Yeganeh, Hassan & Elaheh, Vaezpour 2016.)

Tehokkuuden ja saatavuuden kasvavat vaatimukset johtavat korkeampiin kustannuksiin matkapuhelinverkon ylläpidettävyydessä ja palveluiden tarjonnassa. Tämän vuoksi verkon suunnittelu ja suunnittelupäätökset olisi otettava huomioon mahdollisimman tarkasti arvioidessa kustannuksia. Useimmissa tapauksissa laitteiden kustannusmallia käytetään arvioitaessa pääomainvestointien kustannuksia (CAPEX), kun taas operatiivisen toiminnan kuluja (OPEX) laiminlyödään, tai niitä käsitellään summittaisesti. (Verbrugge, Colle, Pickavet, Demeester, Pasqualini, Iselt, Kirstädter, Hülsermann, Westphal & Jäger 2006.)

Usein vertaillaan eri lähestymistapoja, jotta voidaan valita kustannuksiltaan alhaisin vaihtoehto. Matkapuhelinverkon elinkaaren aikana käyttökustannukset hukkuvat helposti

alkuperäisten laitteiden kustannuksiin, joten löytääkseen kustannuksiltaan alhaisimman vaihtoehdon se vaatii analysointia mikä on välttämättömin alkuinvestointi ja mitkä ovat kyseisten laitteiden käyttökustannukset vuosien varrella. (Metsälä, Salmelin 2015.)

Takaisinmaksuaika on yksinkertainen muuttuja, joka antaa tarvittavan ajan kulun tunnetulle alkuinvestoinnille kunnes se on maksettu takaisin. Mitä pienempi tuo ajallinen arvo on, sitä parempi investointi on kyseessä. Takaisinmaksuaika ei kerro kuitenkaan kuinka tuottoisa investointi on. (Metsälä, Salmelin 2015.) Näitä muuttujia käytetään hyvin tavallisesti monissa yrityksissä, joissa tehdään pitkäaikaisia investointeja ja hankkeita.

### 1.1 Tutkielman tavoite ja rajaus

Tutkielman tarkoituksena on mallintaa uusi kustannuslähtöisempi suunnitteluperiaate matkapuhelinverkko-operaattorille. Referenssinä käytetään aiempia operaattorin käyttämiä suunnitteluperiaatteita, joihin lisätään taloudellisia muuttujia. Uutena arvona tutkielma tuottaa kustannusarvion mukaan tulon suunnitteluun. Aihetta tutkitaan tieteelliseltä näkökulmalta käyttäen *tutkimusmenetelmänä* suunnittelutiedettä ja siitä luotua tietojärjestelmän suunnittelutieteellistä tutkimusmallia (Design Science Research Model, myöh. DSRM).

Tutkielman vastaa seuraavanlaiseen *tutkimuskysymykseen*: Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?

Tutkielma on *rajattu* matkapuhelinverkkoa ajatellen tukiasemalta runkoliityntäverkkoon saakka. Kustannusarvioissa tutkitaan laitetasoa, jossa tukiasema on liitettyä. Verkon liikenteen laadun käsittely työssä rajataan pois, koska käsitteenä siitä tulee aiheeseen nähden liian tekninen, sekä laaja. Asiakaskokemuksen vaikutusta kapasiteettiin ja verkon laatuun nähden ei myöskään käsitellä tässä tutkielmassa laajasti, vaan mainitaan suhteellisesti jo tutkituilla tuloksilla. Tekniseltä näkökulmalta katsottuna tutkielmasta

rajataan pois matkapuhelinverkkojen monipisteiset liityntärajoitukset, joten yhteyksiä tulkitaan päästä-päähän-periaatteella.

## 1.2 Tutkielman rakenne

Tutkielma rakentuu kuudesta pääluvusta. Johdannon jälkeen alkaa teoriaosuus, jossa käsitellään tutkittavaan aihealueeseen liittyviä vaikuttajia. Ensimmäisessä teorialuvussa käsitellään matkapuhelinverkkoa yleisellä tasolla, sekä taloudellisia tunnuslukuja ja muuttujia.

Kolmannessa kappaleessa tutustutaan suunnittelutieteeseen, joka on tutkielman tutkimusmenetelmänä. DSRM:n vaiheet käsitellään omilla alaluvuillaan selkeästi.

Neljännessä kappaleessa kuvataan nykyisen suunnittelusääntöjen käytäntöjä matkapuhelinverkko-operaattorin ympäristössä.

Viidennessä kappaleessa kehitetään uutta artefaktia tulevalle uudelle suunnittelusääntöille DSRM-prosessin mukaisesti. Kappaleessa on esitetty kaksi skenaariota, joissa on käytetty omaa pääomainvestoitua verkkoa, sekä toiselta matkapuhelinoperaattorilta vuokrattua matkapuhelinverkkoa.

Kuudennessä kappaleessa suoritetaan tutkielman diskussio, joka sisältää tutkielman tulokset ja johtopäätökset. Johtopäätöksissä kerrotaan, miten uusi kustannusoptimoitu suunnittelusääntö mallinnettiin ja miten se onnistui tutkimusmenetelmää hyödyntäen. Diskussiossa esitetään myös tutkimustulosten hyödyntämismahdollisuuksia eri ympäristöissä, sekä jatkotutkimusaiheita esimerkiksi pois rajatuista tutkimuskohteista.

## 2. KIRJALLISUUSKATSAUS

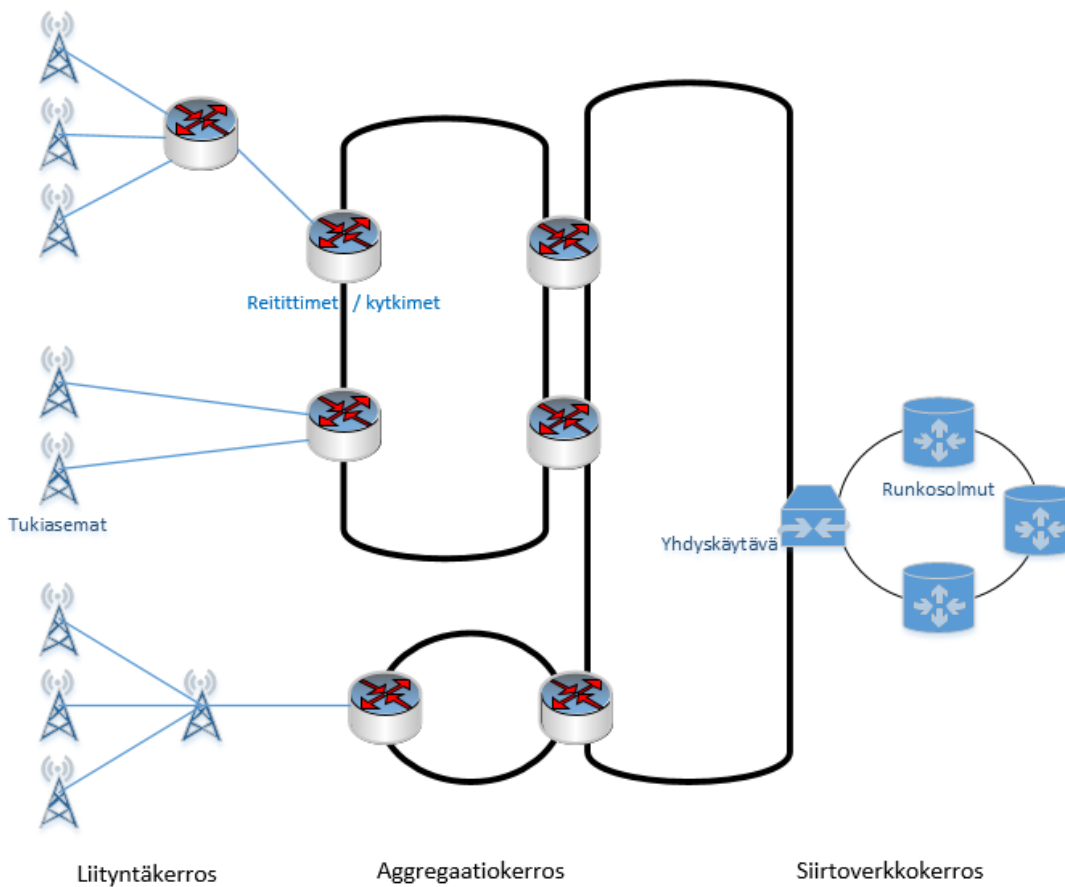
### 2.1 Matkapuhelinverkot

Langattomat verkot eivät voi toimia ilman langallista infrastruktuuria. Käyttäjiä kussakin langattomassa solussa palvelee tukiasema ja tukiasemat vaativat kiinteän data-yhteyden matkapuhelinkeskukselle. Siirtoverkkoja jotka palvelevat matkapuheliverkkoa kutsutaan matkapuhelintukiasemien siirtoverkoksi. Se yhdistää langattomat tukiasemat radioverkko-kontrollereihin, yhdyskäytäviin ja palvelimiin. Matkapuhelintukiasemien siirtoverkot (Mobile backhaul, myöh. MBH) palvelevat matkapuhelinverkkoja tarjoamalla yhteyksiä matkapuhelinverkkojen elementtien välillä, jotka sijaitsevat maantieteellisesti eri sijainneilla. Matkapuhelinverkkoa ei ole olemassa ilman siihen liittyvää matkapuhelintukiasemien siirtoverkkoa (MBH:ta). Matkapuhelintukiasemien siirtoverkkojen (MBH:n) päätehtävänä on yhdistää erittäin suuri määrä matkapuhelinverkkojen tukiasemia suhteellisen pieneen määrään keskuksia, joissa matkapuhelinverkon keskeiset elementit sijaitsevat. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Periaatteessa MBH-verkot siirtävät läpinäkyvästi matkapuhelinjärjestelmän sisäistä liikennettä ja signaloivat matkapuhelinjärjestelmien elementtien välillä. MBH-verkon ominaisuudet vaikuttavat matkapuhelinliikenteeseen monin tavoin ja siten sillä on merkittävä vaikutus kokonaisvaltaisen matkapuhelinverkon laatuun. Nämä vaikuttavat riippuvuudet on otettava huomioon suunniteltaessa matkapuhelinverkkoja, jotka ovat optimoitu kokonaiskustannuksien ja päästä-päähän suorituskyvyn suhteen. (Metsälä, Salmelin 2012.)

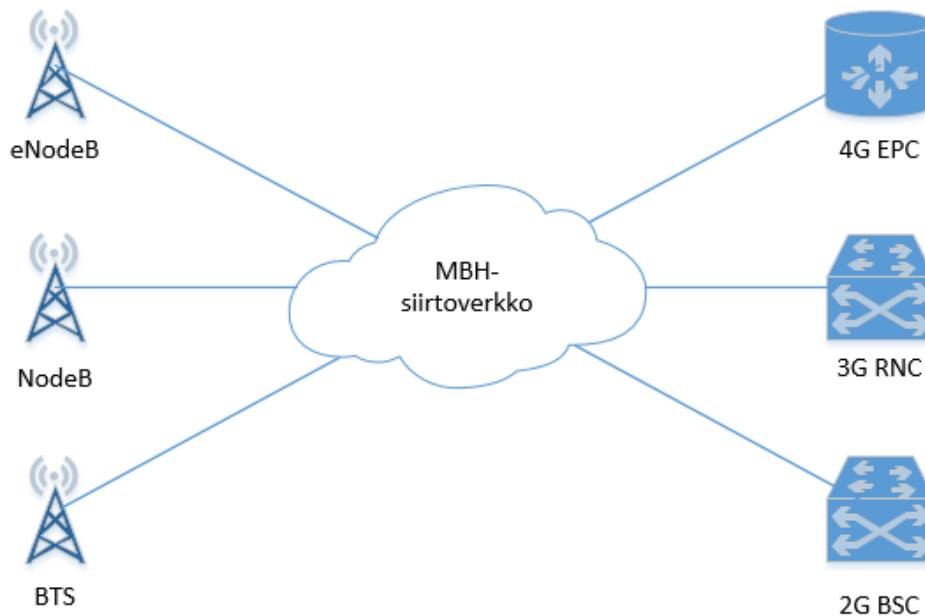
Käsittääkseen MBH-verkon yleistä rakennetta voidaan todeta, että matkapuhelinverkko sisältää tyypillisesti tuhansia, tai jopa kymmeniä tuhansia tukiasemapaikkoja. Runkokeskusten määrä voi kuitenkin vaihdella kahdessa, tai kymmenessä pienemmissä verkoissa. Suurimmissa MBH-verkoissa runkokeskuksia saattaa olla jopa kymmeniä. (Metsälä, Salmelin 2012.)

MBH-verkko voi olla jaettu kolmeen eri kerrokseen. Nämä ovat liityntäkerros, aggregointikerros ja siirtoverkkokerros, kuten alapuolella olevasta kuviossa voidaan nähdä. Siirtoverkon tukiaseman reuna, jota kutsutaan alatasoksi, on liityntäkerros. Tyypillisesti liityntäkerros yhdistää tukiasemat aggregointikerrokselle mahdollisimman pienillä linkkien määrillä. Näin ollen sen topologia on yleensä puu -mallinen. Sillä voi olla myös jossain tapauksissa redundanttisia, eli varmennettuja linkkejä. Liityntäkerrokselle on tavanomaista, että siellä käytetään kiinteitä langattomia linkkejä niiden helpon käyttöönoton vuoksi. Liityntäkerroksen topologia perustuu useisiin renkaisiin, jolla varmistetaan palvelun toimivuus, vaikka yksi linkki vioittuu. Ylätasolla siirtoverkkokerros yhdistyy aggregointikerrokseen runkoverkon solmupisteillä, jotka yhdistyvät muihin runkoverkon solmupisteisiin. Nämä koostuvat aina suurikapasiteettisista kuituoptisista renkaista. (Metsälä, Salmelin 2012.)



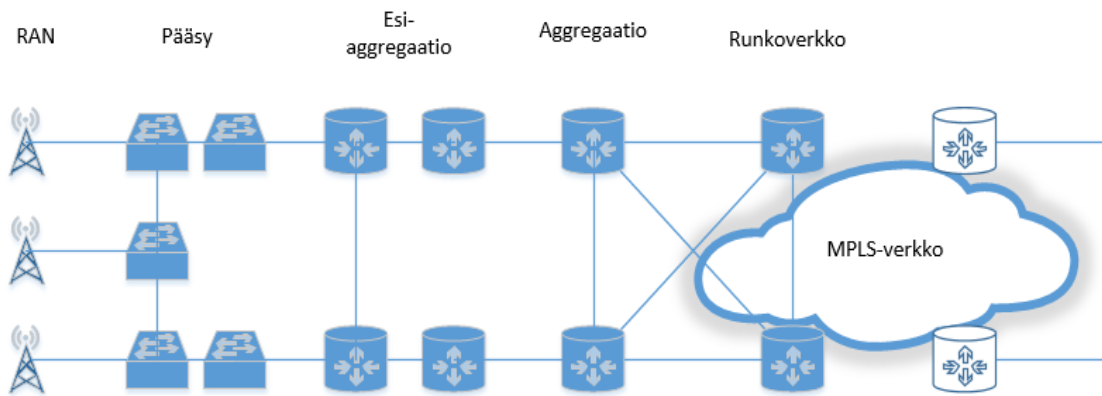
Kuvio 1. MBH-verkon kerrokset. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Siirtoverkko on osa verkkoa, joka yhdistää tukiaseman ja ilmarajapinnan tukiaseman runkoverkkoon. Siirtoverkko koostuu soluryhmäpaikoista, jotka ovat aggregoitu keskusryhmiin. Kuvio 2 esittää korkean tason kuvauksen MBH-verkosta. Soluasema koostuu joko yhdestä tukiasemasta, joka on liitetty aggregaatio-laitteeseen, tai ryhmään aggregoituja tukiasemia. MBH-verkko tarjoaa siirtopalveluja ja liitettävyyksiä matkapuhelinoperaattorin komponenttien välille. Riippuen matkapuhelinverkon tyypistä, matkapuhelinverkko voi sisältää useita komponentteja, jotka vaativat liitettävyyttä erilaisten data – ja verkkotasojen välillä. (Juniper Networks 2010.)



Kuvio 2. MBH-siirtoverkko. (Juniper Networks 2010.)

Neljännän sukupolven MBH-verkon infrastruktuuria lähemmin tarkastellessa runkoverkon segmentti on olennainen osa koko verkkoa. RAN (Radio Access Network) ja EPC (Evolved Packet Core) segmentit ovat toinen tärkeä osa MBH-verkon kokonaisuutta, kuten kuviosta 3 voidaan huomata. Verkon segmentit ovat RAN, pääsy, esi-aggregaatio, aggregaatio, runkoverkko ja 4G EPC. (Juniper Networks 2010.)



Kuvio 3. MBH-verkon universaali infrastruktuuri. (Juniper Networks 2010.)

Pääsy-segmentti sisältää CSR:n (Cell Site Router), joka on tyypillisesti sijoitettu soluasemaan ja yhdistää tukiaseman pakettiverkkoon. Useita CSR:a voidaan kytkeä rengastopologiaan, tai keskittimeen, joka yhdistyy paluusuunnassa esi-aggregointi – ja aggregaatioreitittimiin. Aggregaatio – ja esi-aggregaatiosegmentit sisältävät useita liittymäverkkoja, tyypillisesti kytkettynä paluusuunnan esi-aggregointi ja aggregointiverkon alueelle. Runkoverkon segmentin pääkomponentteja MBH-verkon päästä-päähän ratkaisulle ovat PE (Provider Edge) palvelureitittimet, jotka tyypillisesti erottavat pääsy – ja aggregaatiokerrokset palveluntarjoajan runkolaitteesta. Runkosegmentti on yleensä kompleksinen palveluntarjoajan verkossa, koska sillä on korkein kysyntä ohjaustasolle ja palvelun tason skaalattavuudelle. (Juniper Networks 2010.)

## 2.2 Matkapuhelintukiasemien siirtoverkon evoluutio

Menneisyyteen katsottaessa langaton matkapuhelintekniikka on kehittynyt eri evoluutioiden kautta, joissa yhtenäiset tavoitteet liittyvät MBH-verkkojen suorituskykyyn ja tehokkuuteen. Ensimmäinen sukupolvi (1G) on keskittynyt langattomien laitteiden puhelutoiminteisiin, kun taas toinen sukupolvi (2G) on ottanut käyttöön kapasiteettia ja kattavuutta. Näitä sukupolvia on seurannut kolmas sukupolvi

(3G), jonka pyrkimyksenä on siirtää dataa korkeammilla nopeuksilla ja avata portit todelliselle matkapuhelinlaajakaista-kokemukselle. Matkapuhelinlaajakaistaa on edelleen kehitetty neljännessä sukupolvessa (4G), joka tarjoaa pääsyn laajaan televiestintäpalveluiden valikoimiin, mukaan lukien kehittyneisiin matkapuhelinpalveluihin. (Sharma 2013.)

Langattomien matkapuhelinten sukupolvi viittaa yleensä palvelun perusluoteen muutokseen ja uusiin taajuusalueisiin. Uusia sukupolvia on ilmestynyt noin joka kymmenes vuosi, alkaen vuodesta 1981, jolloin ensimmäinen sukupolvi sai alkunsa analogisena. Toisen sukupolven siirtymävaihe alkoi 1980-luvun lopulla, josta siirryttiin kolmanteen sukupolveen 2000-luvun vaihteessa. 3G tarjosi uutuutena multimedia-tuen ja hajaspektritekniikkaa tiedonsiirrossa. Vuonna 2011 4G toi markkinoille täysin IP-pohjaisen matkapuhelinverkon. (Sharma 2013.)

Viime vuosina on havaittu ilmiömäinen kasvu langattomien tekniikoiden teollisuudessa, johon kuuluvat matkapuhelinverkkojen teknologia ja niiden tilaajat. Vuosituhannen taitteessa on havaittavissa selkeä siirtyminen matkapuhelinyhteyksiin kiinteistä yhteyksistä. Vuoden 2010 jälkeen oli neljä kertaa enemmän matkapuhelintilaajia, kuin langallisten puhelinliittymien tilaajia. (Sharma 2013.)

Viime vuosikymmenellä yleisimmät fyysisen kerroksen siirtoverkon linkki-teknologioita olivat PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SONET (Synchronous Optical Networking), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), sekä mikroaalto-linkit kuten TDM (Time Division Multiplexing). Vaikka nämä olivatkin aikaisemmin käytettyjä standardeja, ovat ne jo lähes täysin korvattu Ethernet-pohjaisilla teknologioilla. Vuonna 2015 yli kolme neljäsosaa siirtoverkkojen linkeistä Ethernet-pohjaisia. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Aikana jolloin GSM oli standardoitu, noin 1980-luvun lopulla, kantataajuuksien laitteisto digitaaliselle prosessoinnille oli erittäin kallista. Näin ollen siirtämällä monien solujen digitaalista prosessointia yhteen paikkaan, saatiin kustannussäästöä. Tätä paikkaa kutsuttiin BSC:ksi (Base Station Controller), joka palvelee useita BTS:a (Base

Transceiver Stations), eli tukiasemia. BSC:t olivat kytkettynä runkoverkossa MSC:lle (Mobile Switching Centre). RNC:t eli radioverkko-ohjaimet olivat kytkettynä SGSN:n (Serving GPRS Support Node), joka oli kytkettynä GGSN:n (Gateway GPRS Support Node). (Metsälä, Salmelin 2012.)

UMTS jatkoi tämän solmupisteen rakenteesta, vaikka tukiaseman nimi muutettiin Node B:ksi ja BSC:n nimeksi tuli RNC. Molempien solmupisteiden monimutkaisuus kuitenkin lisääntyi. Varsin pian UMTS:n standardoimisen jälkeen, kustannuksista tuli ilmeisiä tällä konseptilla. (Holma, Harri & Toskala, Antti 2004; Holma, Harri & Toskala, Antti 2006.)

I-HSPA:ssa (Internet High-Speed Packet Access) datapolku ohittaa SGSN:n, mutta erilliset RNC-solmupisteet on kokonaan poistettu. Kaikki RNC:n toiminnallisuudet on siirretty Node B:lle, aivan kuin Node B:lla olisi oma integroitu RNC käytössään. Tämä arkkitehtuuri yksinkertaisti koko verkkorakenteen. Se myös säästää kustannuksia, kun otetaan käyttöön uusia RNC:ta, sekä tekee verkosta joustavamman ja vikasietoisemman, kun RNC:n pätkimisestä ei aiheudu enää vikoja. Latenssi on myös merkittävästi pienempi, kun datapolku ei ole enää tukossa Node B:n ja yhdyskäytävän välillä. Lisäksi se yksinkertaisti siirtymän LTE- (Long Term Evolution) arkkitehtuureihin. (Holma & Toskala 2006.)

LTE:ssa on samanlainen rakenne, kuin I-HSPA:ssa, sillä erolla että Node B:ta kutsutaan eNodeB:ksi (Evolved Node B), tai lyhemmin eNB. Tämän lisäksi SGSN:n sijaan arkkitehtuurissa on MME (Mobility Management Entity), sekä yhdyskäytävän solmupistettä kutsutaan SAE-GW:ksi (System Architecture Evolution Gateway), joka tunnetaan myös nimellä S-GW (Serving Gateway). LTE-arkkitehtuurissa solmun rakenteet osoittavat, että ne ovat jollain tapaa yksinkertaisemmat ja edullisemmat, kuin perinteiset UMTS-arkkitehtuurit, koska LTE-arkkitehtuurilla ei ole erillistä RNC-solmupistettä. (Holma, Harri & Toskala, Antti 2009.)

Taulukko 1. MBH-verkon sukupolvien teknologiat ja ominaisuudet. (NEC 2010; Sharma 2013.)

Teknologia → Ominaisuus ↓	1G	2G	3G	4G
Alku/kehitys	1970-1980	1990-2004	2004-2010	2010-
Kaistanleveys	2 Kb/s	64 Kb/s	2 Mb/s	1 Gb/s
Datanopeudet		40-130 / 14-130 Kb/s	384 Kb/s-14.4 Mb/s / 384 Kb/s-5.72 Mb/s	138/37 Mb/s
Teknologia	Analoginen, NMT	Digitaalinen, GPRS	UMTS/EDGE	WiMAX/LTE
Palvelut	Matkapuhelimet (ääni)	Digitaalinen ääni, SMS	Integroitu korkealaatuinen ääni, video ja data	Dynaaminen tietojen saanti
Kanavointi	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Runkoverkko	PSTN	PSTN	Paketti	Internet
Tukiaseman elementti	BTS	BTS	Node B	eNodeB, eNB

### 2.2.1 Ensimmäinen sukupolvi

Ensimmäisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmät käyttivät analogista siirtoa puhepalveluihin. Ensimmäinen matkapuhelinjärjestelmä aloitti toimintansa vuonna 1979 Japanissa. Kaksi vuotta myöhemmin matkapuhelinverkkojen aikakausi alkoi Euroopassa. Kaksi tunnetuinta analogista järjestelmää olivat NMT (Nordic Mobile Telephones) ja TACS (Total Access Communication Systems). Järjestelmälle allokoitiin 40 MHz:n taajuusalue 800–900 MHz:n taajuusalueen sisällä. Lähettäminen tukiasemilta matkapuhelimille tapahtuu lähtökanavalla käyttäen taajuuksia 869–894 MHz:n välillä. Paluukanavan lähetyksissä käytetään matkapuhelimilta tukiasemille taajuuksia 824–849 MHz:n väliltä. (Sharma 2013.)

### 2.2.2 Toinen sukupolvi: 2G

Toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmät otettiin käyttöön 1980-luvun lopulla. Verrattuna ensimmäisen sukupolven järjestelmiin, toisen sukupolven järjestelmät käyttävät digitaalista moniliittymäistä tekniikkaa, kuten TDMA:ta (Time Division Multiple Access) ja CDMA:ta (Code Division Multiple Access). Verrattuna ensimmäisen sukupolven järjestelmiin, toisen sukupolven järjestelmät tarjosivat korkeampia ja tehokkaampia taajuuksia, parempia datapalveluita, sekä kehittyneempää roamingia, eli verkkovierailua ulkomaan verkoissa. Tietoliikenne 2G:ssa liittyy yleensä GSM-palveluihin (Global System for Mobile). 2.5G:n on tunnistettu toimivan yhdessä GPRS:n (General Packet Radio Service) ja GSM:n kanssa. (Sharma 2013.)

### 2.2.3 Kolmas sukupolvi: 3G

Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmät tukevat palveluita, jotka tarjoavat 2 Mb/s tiedonsiirtonopeuksia. EDGE-tekniikassa (Enhanced Data rates for GSM Evolution), joka on matkapuhelinverkkojen pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka, mahdollistui datan korkeamääräinen liikkuvuus. Tässä tekniikassa silti data-paketin siirtyminen ilmarajapinnassa käyttäytyy kuten piirikytkentäinen puhelu. (Sharma 2013.)

Standardit joilla kehitetään verkkoja, olivat myös erilaisia eri puolilla maailmaa. Tästä johtuen päätettiin mallintaa verkko, joka tarjoaa palveluita riippumattomalla teknologia-alustalla, sekä sellaista jossa verkon suunnittelu-standardit ovat maailmanlaajuisesti samat. Tämän johdosta syntyi 3G, joka ei ole ainoastaan yksi standardi, vaan se on standardi-perhe jossa kaikki voivat toimia yhdessä. Organisaatio nimeltä 3GPP (3rd Generation Partnership Project) on jatkanut työtä määrittelemällä matkapuhelinjärjestelmää, joka täyttää IMT-2000-standardin. Euroopassa se oli nimeltään UMTS (Universal Terrestrial Mobile System), joka on ETSI:n (European

Telecommunications Standards Institute) ohjaama. WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on UMTS:n ilmarajapintainen tekniikka. (Sharma 2013.)

Verkon pääkomponentteihin kuuluvat tukiasema, joista käytetään verkkokuvissa lyhenteitä BS (Base Station), tai Node B, radioverkko-ohjain RNC (Radio Network Controller) ja SGSN (Serving GPRS Support Node) / GGSN (Gateway GPRS Support Node). 3G-verkot mahdollistavat verkko-operaattoreille tarjota käyttäjille laajempia ja kehittyneempiä palveluita, jossa saavutetaan suurempi verkon kapasiteetti taajuuksien tehokkuutta parantamalla. (Sharma 2013.)

#### 2.2.4 Neljäs sukupolvi: 4G

Neljännän sukupolven matkapuhelinverkkojen historian ensimmäinen onnistunut kenttäkoe suoritettiin Japanissa 23. kesäkuuta vuonna 2005. Matkapuhelinoperaattori onnistui saavuttamaan 1 Gb/s reaaliaikaisen pakettisiirron laskevan siirtotien suunnalla 20 km/h:n liikkuvalla nopeudella. 4G-verkkoja kutsutaan täysin IP-pohjaisiksi matkapuhelinverkoiksi. (Sharma 2013.)

Nykyisissä GSM-järjestelmissä tukiasemat lähettävät ajoittain signalointiviestejä palvelun tilaamiseksi matkapuhelinasemille. Tämä prosessi kuitenkin vaikeutuu 4G-järjestelmien heterogeenisistä järjestelmistä ja niihin vaikuttavista langattomista tekniikoista, sekä liittymäprotokollista. Tarjotakseen langattomia palveluita missä ja milloin tahansa, on päätelaitteen liikkuvuuden oltava 4G-infrastruktuuriin soveltuva. Päätelaitteen liikkuvuus mahdollistaa asiakkaiden liikkumisen eri langattomien matkapuhelinverkkojen maantieteellisissä rajoissa. Sijainnin hallinnalla järjestelmä seuraa ja paikantaa matkapuhelin-päätelaitteen mahdollisia yhteydenottoja. (Sharma 2013.)

Suunnittelu ja optimointi tulevissa radiopääsytekniikoissa, sekä nykyisten järjestelmien edelleen kehittäminen, on 3GPP vahvistanut perustan tulevaisuuden LTE:n kehittyneisiin standardeihin. Tavoitearvot LTE-verkon taajuuksien tehokkuuden huippuarvoissa on

asetettu 30 bps/Hz-15 bps/Hz välille laskevan ja nousevan siirtotien suunnalla. (Sharma 2013.)

### 2.3 Siirtoverkon kustannusten jakautuminen

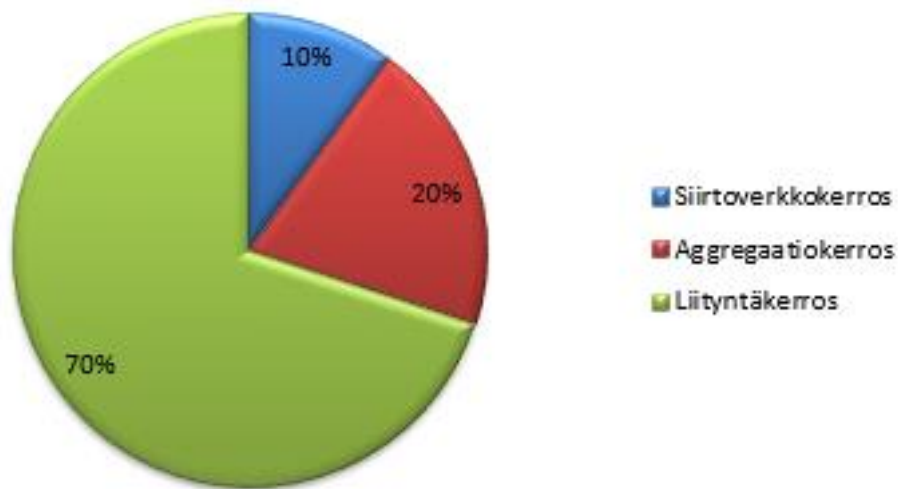
Siirtokapasiteetit ovat yleensä korkeimmat runkoverkko-kerroksella, mutta linkkien ja solmupisteiden (node) määrä ei ole kovinkaan suuri. Runkoverkko kuljettaa yleensä kiinteän- ja matkapuhelinverkon liikennettä käyttäen kapasiteetiltaan erittäin suuria yhteyksiä ja solmuja, joissa kustannukset/siirretty bitti ovat alhaisimmillaan koko verkossa. Koska runkoverkon alhainen hinta/bitti, sekä sen rajallinen määrä solmuja ja linkkejä, on runkoverkon osuus siirtoverkon kokonaiskustannuksista yleensä suhteellisen vaatimatonta. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Päinvastaisuus pätee MBH-verkon liityntäkerroksella jossa linkkien kapasiteetit ovat pienimmät suhteessa muihin siirtoverkon tasoihin. Linkkien määrä on kuitenkin hyvin suuri liityntäkerroksella vastaavaan määrään tukiasemapaikkoja maantieteellisesti eri puolilla. Nämä linkit toimivat usein vain matkapuhelinverkkoina ilman kustannusten jakautumista muiden palvelujen kanssa. Näin ollen kontribuutio liityntäkerroksesta siirtoverkon kustannuksiin on suuri. Liityntäkerroksen kustannukset ovat tyypillisesti huomattavasti korkeammat, kuin muiden tasojen. Lisäksi liityntäkerroksen osuudella kustannuksista on taipumusta kasvaa suuremmiksi, kun matkapuhelinverkon solut muuttuvat pienemmiksi. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Aggregaatiokerros osuu linkkien kapasiteettien ja määrien väliin. Aggregaatiokerros on varsin usein jaettu matkapuhelin – ja kiinteän verkon liikenteelle ja täten linkkien, sekä solmupisteiden kapasiteetit ovat melko korkeat myös tässä kerroksessa. Kulut ovat myös jaettuna palvelujen kanssa. Kokonaiskustannukset MBH-verkon aggregaatiokerroksella ovat yleensä paljon pienemmät, kuin liityntäkerroksella, mutta silti suuremmat kuin siirtoverkkokerroksen kustannukset johtuen linkkien suuremmasta määrästä. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Kaiken kaikkiaan siirtoverkon liikenne muodostaa merkittävän osan matkapuhelinoperaattoreiden kustannuksista. Riippuen matkapuhelinverkon alueesta, koosta ja tiheydestä, sekä MBH-verkon organisaatiosta ja sen ylläpidosta, voi MBH-verkon osuus olla 10–40% koko matkapuhelinoperaattorin verkon kustannuksista. (Metsälä, Salmelin 2012.)

Tämän vuoksi kustannustehokkuus on erittäin tärkeää kaikissa MBH-verkoissa. Kustannusten optimointi on tärkeää siirtoverkkokerroksella, tärkeämpää aggregaatiokerroksella ja kaikkein tärkeintä liityntäkerroksella. Usein liityntäkerros sisältää yli 70–80% kaikista siirtoverkon kustannuksista, kuten kuvio 4 voi huomata. Tällä hetkellä matkapuhelinliikenteen kasvu, etenkin matkapuhelindataliikenteen kannalta, sekä tukiasemien määrän kasvu vilkkaasti liikennöidyllä alueilla on taipumusta lisätä siirtoverkkojen kustannuksia. (Metsälä, Salmelin 2012.)



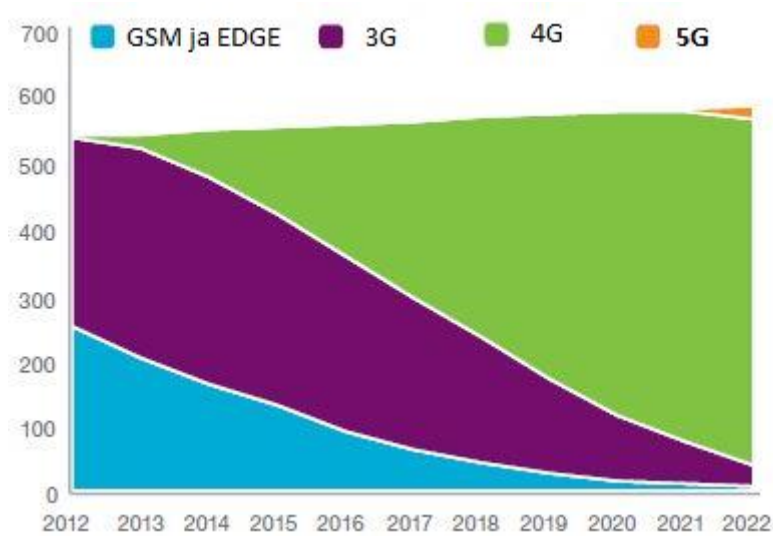
Kuvio 4. Kustannusten jakautuminen MBH:n verkkokerroksilla. (Metsälä, Salmelin 2012.)

## 2.4 Matkapuhelinverkon kapasiteetin kehittyminen

Tarkasteltaessa Ericssonin (2016) Mobility-raporttia, joka on julkaistu vuoden 2016 marraskuussa, voidaan havaita maailmanlaajuisen matkapuhelindataliikenteen kasvaneen vuosien 2015–2016 välissä jopa 50 %. Dataliikenteen kasvun mittarit ovat tuotettu lisääntyneistä matkapuhelinliittymä-määristä, sekä jatkuvasti kasvavalla keskimääräisellä datamäärällä per käyttäjä. Dataliikenteen määrän kasvattavana tekijänä matkapuhelinverkoissa pidetään lisääntyneen videosisällön katsomista.

Raportin liikenne – ja tilaajaennusteet lähtökohtaisesti käyttävät historiallisia tietoja eri lähteistä, jotka ovat validoitu Ericssonin sisäisellä datalla, mukaan lukien laajat mittaukset asiakasverkoissa. Tulevaisuuden kehittyminen on arvioitu perustuvan makrotalouden trendeihin, käyttäjien trendeihin, markkinoiden kypsytyteen, teknologian kehittymisen odotuksiin ja teollisuuden analysointiraportteihin kansallisella, tai alueellisella tasolla, sekä sisäisillä olettamuksilla ja analyyseillä. (Ericsson 2016.)

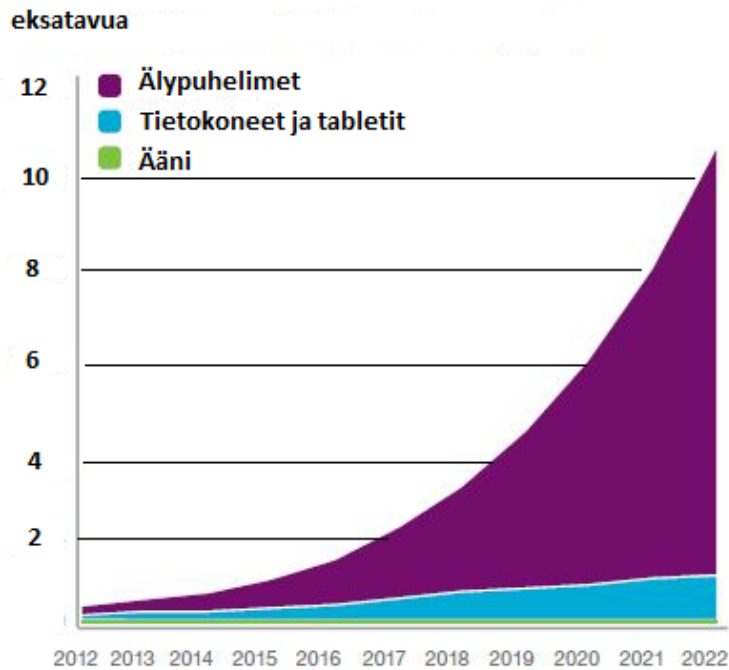
Matkapuhelinliittymien osalta Länsi-Euroopassa on oletettu ohittavan yli 500 miljoonan tilaajan pisteen vuoden 2016 loppuun mennessä. Matkapuhelinliittymien ennustetaan kasvavan lähes 580 miljoonaan vuoteen 2022 mennessä. Länsi-Euroopan osalta LTE verkkoon siirtymisen odotetaan kasvavan, jossa noin 50 % kaikista matkapuhelinliittymistä arvioidaan olevan LTE-verkoissa vuoden 2017 aikana. Siirtymän odotetaan kasvavan aina vuoteen 2022 saakka, jolloin lähes 90 % kaikista matkapuhelinliittymistä toimii LTE-verkoissa. 5G-liittymien osuus matkapuhelinverkoissa odotetaan alkavan vuonna 2021, jossa liittymien ennustetaan kasvavan vuoteen 2022 mennessä 20 miljoonalla. (Ericsson 2016.)



Kuvio 5. Matkapuhelintilaajamäärät teknologioittain Länsi-Euroopassa (Ericson 2016).

Länsi-Euroopan osalta johon Suomikin kuuluu, matkapuhelindataliikenteen on asetettu saavuttavan vuoteen 2022 mennessä noin kymmenen eksatavua dataa/kuukausi, joka on noin kymmenen miljardia gigatavua. Dataliikenteen kasvua lisää nopea siirtyminen LTE-teknologiaan, sekä käyttäjillä lisääntynyt älypuhelimien määrä. Ennusteen mukaan keskimääräinen dataliikenne per älypuhelin nousee 2,7 gigatavusta 22 gigatavuun nykypäivästä vuoteen 2022 mennessä. Tässä ohessa puheliikenteen määrä kasvaa jatkuvasti noin kahdeksan petatavua kuukaudessa. (Ericsson 2016.)

Vuoden 2016 loppuun mennessä noin 70 % Länsi-Euroopan matkapuhelinliittymistä käytetään älypuhelimilla. Tähän verrattuna maailmanlaajuisesti kyseinen lukumäärä on noin 50 %. Länsi-Euroopassa kolme neljäsosaa kuluttajista käyttää internet-pohjaisia TV- ja videopalveluja, sekä kaksi kolmasosaa pelaa internetin välityksellä pelattavia pelejä. Internet-pohjaisten palveluiden merkittävä käyttö ulottuu koulutuksen ja oppimisen toimintoihin. (Ericsson 2016.)



Kuvio 6. Matkapuhelindata-liikennemäärä/kk Länsi-Euroopassa. (Ericsson 2016.)

Applikaatiot, eli matkapuhelinsovellukset kehittyvät jatkuvasti, sekä kuluttajat omaksuvat niiden tarjoamia uusia toiminnallisuuksia. Monet suosittu sovellukset käyttävät niihin sulautettuja videoita ja lähetystoiminnallisuuksia. Suorien lähetysten lähetystoiminnallisuuksia sisältäviä palveluita ovat mm. Twitter ja Facebook, jotka asettavat lataamisvaatimuksiensa kautta paineita MBH-verkkojen tiedonsiirtokyvykkyyksissä verkon alimmalta kerrokselta ylimmälle kerrokselle. Esimerkiksi Ruotsissa 43 % älypuhelimien käyttäjistä katsoo videoiden sisällä toimivia suoratoisto-applikaatioita, kuten Spotifya. (Ericsson 2016.)

Matkapuhelinten videoliikennemäärän ennakoitaan kasvavan noin 50 %:lla vuosittain 2022 mennessä koko matkapuhelindataliikenteestä. Sosiaalisen verkostoitumisen osuuden on oletettu kasvavan 39 %:lla kaikesta matkapuhelindataliikenteestä seuraavan kuuden vuoden aikana. Sen suhteellisen osuuden dataliikenteestä vähenee vuoden 2016 jälkeen 15 %:sta noin 10 %:n vuoteen 2022 mennessä johtuen videokategorian voimakkaasta kasvusta. Sulautetut videot sosiaalisessa mediassa ja internet-sivuilla lisääntyvät jatkuvasti. Tähän on johtanut kannettavien laitteiden, kuten matkapuhelinten

ja tablettien näyttöjen suuremmat koot ja korkeammat resoluutiot, sekä uudet alustat jotka tukevat suoratoistoa. (Ericsson 2016.)

## 2.5 Matkapuhelinverkon vasteaika palvelun käytölle ja asiakastyytyväisyys

Vasteaika palvelun käytölle on erittäin tärkeää MBH-verkon asiakkaille. Nousevan siirtotien, eli laitteelta verkkoon päin siirrettävän datan rajoittuneisuus voi olla kriittinen tekijä aiheuttaen hidasta vasteaikaa palvelun käytölle vierailtaessa monilla suosituilla internet-sivuilla. Tehokas tapa tunnistaa soluja, joilla on alhainen nouseva siirtotie, voidaan tehdä keskitettyjä parannuksia verkoissa parantaakseen kokonaisvaltaista käyttäjäkokemusta. (Ericsson 2016.)

Net Promoter Score (myöh. NPS) on luku joka vaihtelee -100 ja 100 välillä. Luku mittaa asiakkaiden valmiutta suositella yhtiön tuotteita, tai palveluita muille. Sitä käytetään mittarina mitattaessa asiakkaan tyytyväisyyttä yrityksen tuotteesta, palvelusta, tai asiakkaan uskollisuutta yrityksen brandille eli tuotemerkille. Asiakkaille tehdään yksi mielipidekysely jossa heitä pyydetään arvioimaan 11-pisteisellä asteikolla todennäköisyyttä suositella yritystä, tai brandia ystävälle tai työtoverille. Kyselyyn vastanneet luokitellaan saatujen vastausten perusteella kolmeen ryhmään: 0-6 arvostelijat ja parjaajat, 7-8 Passiiviset ja neutraalit, 9-10 suosittelijat. NPS-luku lasketaan vähentämällä suosittelijoiden suhteellisesta osuudesta pois arvostelijoiden ja parjaajien osuus. Täten lopullinen luku voi olla mitä tahansa -100 ja 100 väliltä. (Medallia 2017.)

Tarjoamalla hyvää verkon suorituskykyä, on tärkeä erottava tekijä matkapuhelinoperaattoreille. Sillä on merkittävä vaikutus matkapuhelinverkon tilaajan uskollisuudelle ja NPS (Net Promoter Score) – luvulle. Kun nousevan siirtotien nopeus laskee tietyn kynnyksen alle, syntyy pullonkaula. Pullonkaula rajoittaa nopeutta, jossa sisältöä voidaan siirtää laskevalle siirtotielle, eli suuntaan jossa liikkuu dataa verkosta laitteelle. (Ericsson 2016.)

Suosittujen verkkosivustojen rakenteen on määritellyt monissa tapauksissa matkapuhelinverkon vasteaika palvelun käytölle. Tämä johtaa siihen, että sisällöntuottajat joutuvat varmistamaan sisällön tyylin ja koon jotka ovat optimoitu matkapuhelinverkoissa toimiville älypuhelimille. Myös siihen että sisältö tarjoillaan lähimmiltä välityspalvelimilta. (Ericsson 2016.)

Analysoimalla raportin laboratoriomittauksia verkon suorituskyvystä, tilastot ovat paljastaneet myös juurisyyt rajoittuneelle sovellustasolle. Kun nouseva siirtotie oli rajoittavana tekijänä, oli se tyypillisesti kattavuudeltaan rajoittunut. Kun taas laskeva siirtotie oli pullonkaulana, oli se tyypillisesti kapasiteettirajoittunut. Kapasiteetin puute tarkoittaa yleensä sitä, että siirrettävän informaation määrä jollain tietyllä aikavälillä, on rajallista. (Ericsson 2016.)

Puute nousevassa siirtotiessä osoittaa, että laite on liian kaukana päästäkseen palvelevalle tukiasemalle, joka tarjoaa riittävän vahvaa radiosignaalia. Älypuhelimien radiolähetin voi vain lähettää suurinta tehoa, joka on tietty osa saatavilla olevaa tehoa tukiaseman radiolähettimellä. Nousevan siirtotien kattavuus on haaste maaseudulla ja tiheään asutuilla kaupunkialueilla jossa on korkeat rakennukset. Matkapuhelinoperaattorit voivat parantaa puutteellisen nousevan siirtotien kattavuutta tiivistämällä tukiasemia. (Ericsson 2016.)

Verkon suorituskykytilastoja voidaan seurata ja hallita sovellustason kattavuutta. Tämä johtaa tehokkaampiin tapoihin tunnistaa pullonkauloja ja niiden perussyitä, joka puolestaan auttaa matkapuhelin-operaattoreita kohdistamaan parannuksia siellä missä on suurimmat vaikutukset heidän liittymätilaajilleen. tukiasemia. (Ericsson 2016.)

## 2.6 Investoinnit ja operatiivisen toiminnan kulut

Tietoliikenteen kehittyessä kaikissa muodoissaan yhteiskunnassa, kaupan alalla, hallinnoissa ja koulutuksissa, ovat kustannukset verkkojen osassa joissa tarjotaan tarvittavia verkkopalveluita nousseet suureen merkitykseen. Lisääntyneet vaatimukset tehokkuuden ja saatavuuden suhteen ovat johtaneet suurempiin kustannuksiin kyseisten verkkojen tarjonnassa ja operoimisessa. Tämän vuoksi verkkojen suunnittelut ja niiden päätökset tulisi mahdollisimman tarkasti ottaa huomioon kustannusarvioinneissa. Kyseiset arvioinnit mahdollistavat kompromissit vaaditun verkkosaatavuuden ja siihen liittyvien kustannusten välillä. Useimmissa tapauksissa laitteiden kustannusmallia käytetään arvioidessa CAPEX-kustannuksia (Capital Expenditures), eli pääomainvestointeja. OPEX-kustannukset (Operational Expenditures), eli operatiivisen toiminnan kustannukset ovat puolestaan käyttökustannuksia. (Verbrugge, Colle, Pickavet, Demeester, Pasqualini, Iselt, Kirstädter, Hülsermann, Westphal & Jäger 2006.)

CAPEX viittaa verkkoinfrastruktuurin investointeihin ja yleensä niihin kustannuksiin, joiden odotetaan osaltaan tuottavan tuloja pitkäaikaisen ansaintajakson aikana. OPEX viittaa käyttökustannuksiin, eli kustannuksiin jotka muodostuvat ylläpitokuluista kuluvan tilikauden aikana. CAPEX- ja OPEX-termejä käytetään yleisesti ja ne antavat yleisen käsityksen liiketoiminnan kustannusrakenteista. (Metsälä, Salmelin 2015.)

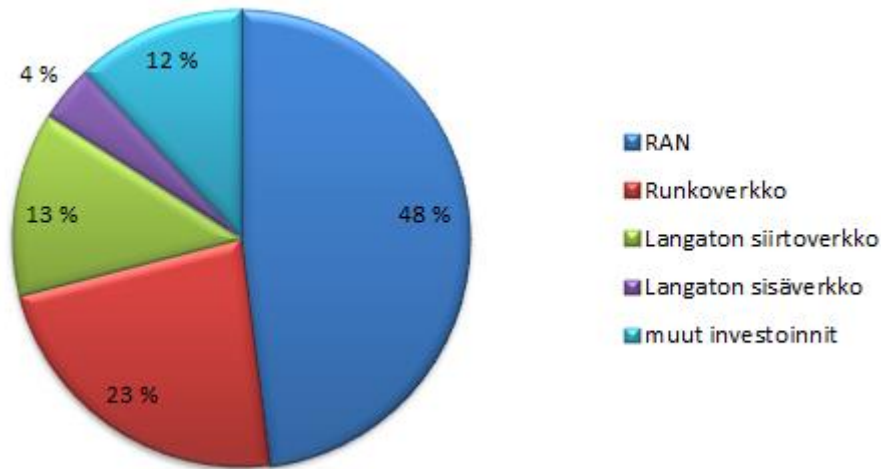
CAPEX on osa yrityksen kiinteää infrastruktuuria, joiden arvo alenee ajan myötä. Verkko-operaattoreille näihin kustannuksiin sisältyvät maan ja rakennusten hankinnat esimerkiksi henkilöstön käyttöön, verkkoinfrastruktuuri, kuten valokuidut ja reitittimet, sekä käytettävät ohjelmistot, esimerkiksi verkonhallintajärjestelmät. Laitteostot myötävaikuttavat aina CAPEX:n riippumatta siitä suoritetaanko maksu kerralla, tai hajauttamalla maksun eri ajanjaksoihin. Myös lainan korot kuuluvat CAPEX-osuuteen. OPEX, eli käyttökustannukset eivät vaikuta infrastruktuuriin. Ne edustavat kustannuksia, jotka pitävät yrityksen toiminnassa, sekä sisältävät kustannuksia jotka liittyvät esimerkiksi kaupallisiin ja hallinnollisiin toimintoihin. Verkko-operaattorin kannalta OPEX muodostuu pääasiassa henkilöstön palkoista, vuokratusta infrastruktuurista, kuten

vuokratusta maasta, rakennuksista, verkkolaitteista ja valokuiduista. (Jarray, Jaumard & Houle 2010; Verbrugge ym. 2006.)

Verkkoteknologia joka mahdollistaa automatisoituja huolto – ja provisiointitehtäviä, on sillä todennäköisesti suuremmat hankintakustannukset, eli CAPEX on korkeampi. Tätä on kuitenkin edullisempi operoida, eli OPEX on matalampi. Esimerkiksi MBH-verkon LTE-infrastruktuurissa käyttämällä pääomainvestointeja verkon rakentamiseen voi tarjota matalampia juoksevia kustannuksia, kuten säästämällä vuokrajohtokustannuksissa. (Verbrugge ym. 2006; Metsälä, Salmelin 2015.)

Vakiintuneilla matkapuhelinoperaattoreilla on käytössään oma MBH-verkko-infrastruktuuri. Uusien operaattoritulokkaiden verkot riippuvat enemmän vuokratyhteisistä, joita tarvitaan tukiaseman verkkosegmentissä. Vuokraaminen tarkoittaa sitä, että on enemmän juoksevia kustannuksia, eli OPEX:a. Riippuen markkinoista, nämä kustannukset voivat olla erittäin korkeat, tai jopa kohtuuttomat edullista siirtoverkkoa ajatellessa. Operaattorin omistaessa oman verkon, se vaatii väistämättä pääoman käyttöä verkon rakentamisessa ja tietysti aiheuttaa käyttökustannuksia itse rakennetulla MBH:lla. (Metsälä, Salmelin 2015.)

LTE-verkossa siirtoverkko on merkittävänä osana matkapuhelinoperaattorin kustannuslähteenä. Kuvio 7. esittää kustannusjakauman matkapuhelinoperaattorin arvioituista CAPEX-kustannuksista vuonna 2015. Operaattorin liikevaihdossa, verkon CAPEX oletetaan tässä olevan noin 10% liikevaihdosta ja koko OPEX-osuus on esimerkiksi 70%, joka on tapauskohtaista riippuen operaattorista. Kuviossa on jaettu verkon CAPEX viiteen eri lohkokon pitäen sisällään RAN-investoinnit, runkoverkon investoinnit, langattomat siirtoverkot, eli radiolinkit, langattomat sisäverkot, sekä muut investoinnit. (Metsälä, Salmelin 2015.)



Kuvio 7. Verkkokomponenttien arvioitu CAPEX, vuonna 2015. (Metsälä, Salmelin 2015.)

Kenties haastavinta on tehdä arviointi operaattorin verkon käyttökustannuksista. Laitteiden kustannuksilla on tarkka tunnettu arvo ja siten laitteiden hintoja voidaan verrata suoraan toisiinsa. On olemassa monia kustannuseriä käyttövaiheen aikana joilla on merkitystä, mutta ne voivat olla vaikeita määrittää ja ne riippuvat eri oletuksista. (Metsälä, Salmelin 2015.)

Operatiivisen toiminnan peruskustannuksista MBH-verkossa muodostuu seuraavista perusluokista. Laitteasemakustannuksiin kuuluvat esimerkiksi laitepaikan vuokrat, sähkömaksut ja vuokrajohtokustannukset. Siirtoverkon asemat ovat usein samassa laitepaikassa tukiaseman kanssa, joten tukiasemat ja siirtolaitteet myötävaikuttavat näihin kustannuksiin. (Metsälä, Salmelin 2015.)

Proaktiivisella siirtoverkolla tarkoitetaan verkon ennakoivaa ylläpitoa. Sillä viitataan verkon ylläpito- ja valvontatoimia pidettäessä verkko virheettömässä tilassa. Mikäli siirtoverkossa tapahtuu häiriö, se täytyy paikallistaa ja korjata. Tätä kutsutaan reaktiiviseksi siirtoverkoksi. Suunnittelu koostuu myös kahdesta elementistä. Ensimmäinen liittyy uuden verkon suunnitteluun ja toinen toiminnassa olevan verkon operatiivisiin, eli toiminnallisiin suunnitteluihin. Verkon käyttöönotto käsittää

toiminnallisten suunnitelmien käyttöönottamista, kuten myös uusien verkkosuunnittelujen käyttöönottamista. Lopuksi siirtoverkon provisiointi, eli palveluntuottamisprosessi tarkoittaa asianmukaisia liitettävyyksiä LTE-siirtoverkon palveluille, joita tarjotaan ulkoisille, tai sisäisille asiakkaille. (Metsälä, Salmelin 2015.)

Artikkelissaan Verbrugge ym. (2006) on määrittänyt laskelmat verkko-skenaarion kokonaiskustannusten laskemiseksi, joka koostuu pääasiassa CAPEX:n ja OPEX:n kokonaiskustannuksista. Mallissa on kuusi askelta:

1. *Tietojen kerääminen laitteista.* Tiedettäessä verkkoskenaarion, tutkitaan mitä tietoja tarvitaan laitteista, kuten laitteen hinta, sekä saatavuustiedot, virran kulutus ja peittoalue. Nämä tiedot löytyvät yleensä laitteen lähtötietolomakkeesta, jonka laitevalmistaja on laatinut.
2. *Mitoitus verkkoon.* Asiakkaiden arvioidusta määrästä ja heidän odotetuista kulutusmalleista voidaan määrittää verkon kapasiteettitarpeet. Verkkoon mitoittaminen tällä kapasiteettimäärällä auttaa määrittämään tarvittavan komponenttien määrän kullekin laitetypille.
3. *Kokonaisinvestointien laskeminen.* Komponenttien määrän kertomalla kunkin laitetypin hinnalla ja yhteen laskemalla nämä verkon kaikilla komponenteilla saadaan laskettua kokonaisinvestointien kustannukset.
4. *Laiteasennusten operatiivisten kulujen laskeminen.* Operatiiviset kustannukset jotka liittyvät laiteasennuksiin on määritettävä investointikustannusten kanssa. Oikeassa verkkoskenaariossa tämä informaatio tulee laitevalmistajan sopimuksen kanssa. Teoriassa voidaan arvioida näiden kustannusten olevan 30 % investointien kustannuksista.
5. *Toiminnassa olevan verkon operatiivisten kustannusten laskeminen.* Kun toiminta-pohjaista lähestymistapaa käytetään kolmannessa kohdassa, kustannukset kaikissa tunnistetuissa toiminnallisissa prosesseissa voidaan

arvioida tulotiedon kautta, esimerkiksi henkilöstön palkoista. Tämän kautta saadut tiedot riittävät kun lasketaan jatkuvan prosessin kustannuksia, kuten rutiinioperoinnista, toiminnallisesta verkon suunnittelusta ja markkinoinnista.

6. *Kustannusten jakautumisen laskeminen ajan kanssa.* Koska on saadut tulokset investointi- ja operatiivisista kustannuksista, voidaan määrittää kustannusten jakautuminen suunnitteluvälin yli. Toiminnassa olevan verkon operatiiviset kustannukset voidaan laskea jokaiselle ajanjaksolle, esimerkiksi vuosittain. Tieto kustannusten jakautumisesta tietyllä ajalla on tärkeää arvioidessa investointipäätöksen kriteerejä, kuten NPV:ta (Net Present Value), eli nettonykyarvoa. (Verbrugge ym. 2006.)

## 2.7 NPV ja ROI, Nettonykyarvo ja pääoman tuottoaste

Diskonttaus, eli nykyarvomenetelmä on perusinvestointilaskentamenetelmä, jota pidetään investointi- ja rahoitusteoriassa oikeana ja perusteltuna menettelytapana. Se on yksi tärkeimpiä käsitteellisiä ja laskennallisia työkaluja rahoituksessa. Nykyarvolla voidaan ymmärtää taloudellisen arvon syntyminen, sekä matemaattisesti arvioida taloudellista arvoa monissa eri tilanteissa. Menetelmän ongelmana on, että sitä käytettäessä investointien tuottovaatimus on määritettävä etukäteen. Tuottovaatimuksena on mahdollista käyttää esimerkiksi rahoituksen kustannuksia, tai yrityksen määrittämää tavoitteen mukaista tuottotasoa. Nykyarvomenetelmä soveltuu esimerkiksi laiteinvestointien ja arvopaperisijoitusten analysointiin. (Kasanen, Koskela, Leppiniemi, Puttonen & Virtanen 1996; Leppiniemi, Jarmo 2002.)

Nykyarvomenetelmässä lasketaan yrityksen määrittelemällä tuottovaatimuksella, joka on yleensä vuosikorkokanta, tulonodotusten nykyarvo. Mikäli nykyarvo ylittää hankintamenon, on investointi kannattava. Muutoin investointi on kannattamaton, mikäli se alittaa hankintamenon. Sijoittajien ja yritysten johtajien toimintoja voidaan ymmärtää nykyarvoajattelun kautta. Nykyarvo on työkalu, jolla voidaan arvioida luoko investointi

taloudellista arvoa, vai aiheuttaako se taloudellista menetystä yritykselle. Nykyarvo on rahoituksellisesti käsitteellinen ajatusmalli, sekä puhdas matemaattinen kaava. Nykyarvo NPV (Net Present Value) on kassavirtojen  $C(0), \dots, C(n)$  ja diskonttokoron  $r$  funktio.

$$\text{NPV} = C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

missä

NPV = nykyarvo, eli kassavirtojen hetkeen 0 diskontattu summa

$C(t)$  = Kassavirta hetkellä  $t$ , jossa  $t = 0, \dots, n$ , esimerkiksi vuosittain

$n$  = Tarkasteltavan ajan pituus esimerkiksi vuosissa

$r$  = Diskonttokorko esimerkiksi vuodessa

Kassavirrat  $C_0, \dots, C_n$  voivat olla positiivisia, negatiivisia, tai nollia. Yksinkertaisuudessaan positiivinen kassavirta tarkoittaa, että yritys saa rahaa ja negatiivinen puolestaan sitä, että yritys joutuu maksamaan. Realistisissa taloudellisissa sovelluksissa diskonttokorko  $r$  on aina positiivinen. Investointien perusajanjakson kesto on tyypillisesti vuosi. Rahoituslaskelmissa vuorokausikin on käytetty perusajanjakso. (Kasanen ym. 1996.)

Kaavaa tarkasteltaessa NPV:n yksikkö on rahayksikkö, esimerkiksi euro €, eli se kuvaa arvoa. Positiivinen NPV tarkoittaa taloudellisen arvon syntymistä ja negatiivinen puolestaan taloudellista tappiota. NPV on vuotuisten kassavirtojen diskontattu summa. Kassavirtoja  $C_0, \dots, C_n$  ei lasketa suoraan yhteen, vaan ne diskonttataan ensin kertomalla ne diskonttausfunktiolla  $\frac{1}{(1+r)^n}$ . Mitä korkeampi diskonttauskorko on ja mitä kauempana tulevaisuudessa kassavirta on, tulee se vaikuttamaan yhä negatiivisemmin diskonttauksen kassavirtaan. (Kasanen ym. 1996.)

Alla olevassa esimerkkilaskussa MBH-verkkoon investoitavan reitittimen kustannukseksi on arvioitu 1 M€, eli  $C_0 = 1 \text{ M€}$ . Arvioidaan investoinnin tuottavan ensimmäisenä vuonna 0,5 M€, toisena vuonna 0,75 M€ ja kolmantena vuonna 1 M€. Täten  $C_1 = 0,5 \text{ M€}$ ,  $C_2 = 0,75 \text{ M€}$ ,  $C_3 = 1 \text{ M€}$ . Yritys on antanut tulosityksikölle tuottotavoitteeksi 15 %, jota käytetään diskonttokorkona. Eli  $r = 0,15$ . Investoinnin NPV:ksi, yksikkönä M€ saadaan

$$\text{NPV} = -1 + \frac{0,5}{(1+15\%)} + \frac{0,75}{(1+15\%)^2} + \frac{1}{(1+15\%)^3}$$

$$\text{NPV} = -1 + \frac{0,5}{1,15} + \frac{0,75}{1,3225} + \frac{1}{1,5209} = 0,6594$$

Kyseisen investoinnin NPV on positiivinen, joten se tuottaisi taloudellista arvoa. Kyseinen summa 0,66 M€ olisi arvio siitä, millaisella hinnalla vastaavassa tilanteessa olevat yritykset voisivat tehdä kauppaa kyseisestä investointihankkeesta. Kun diskonttokorkoa kasvatetaan, niin investoinnin NPV pienenee. Tarpeeksi korkealla tuottovaatimuksella NPV:n arvoksi saadaan nolla ja lopulta negatiivinen arvo. (Kasanen ym. 1996.)

Takaisinmaksuajan menetelmällä selvitetään miten pitkä on investoitujen rahojen sidonnaisuusaika, mikäli aiottu investointiprojekti toteutetaan. Tässä menettelyssä ei oteta huomioon korkokantaa, joten se on epätarkka ja saattaa johtaa virhepäätelmiin sellaisenaan. Varsinkin jos kyseessä on pitkän ja lyhyen ajan tuloa tuottavia investointeja. Se on kuitenkin käytetyin investointilaskentatapa, jota käytetään täydennyksenä kehittyneemmille laskentamenetelmille. Menetelmän avulla saadaan yleiskuva tilanteesta ja näkemys investointiprojektin realistisuudesta. (Leppiniemi 2002.)

Yksinkertaisena esimerkkinä takaisinmaksuajalle, jossa on tasaiset tuotot. Yritys joka suunnittelee investointia, minkä hankintameno on 10 000 €, jonka vuosittaisena tuotto-odotuksena on 4 000 €, takaisinmaksuajaksi saadaan

$$\text{Takaisinmaksu aika} = \frac{10000 \text{ €}}{4000 \text{ €}} = 2,5 \text{ vuotta}$$

Saatua takaisinmaksuaikaa verrataan yrityksen tavoitteena olevaan takaisinmaksuaikaan. (Leppiniemi 2002.)

Yritysten väliseen vertailuun on olemassa vaihtoehtoinen kannattavuusmittauksen väline, joka on nimeltään sijoitetun pääoman tuotto prosentti ROI (Return On Investment). Kyseessä on puhtaasti voiton ja pääoman välinen suhde, jossa on kyse koron laskemisesta yritykseen sidotulle pääomalle. Pääoman tuottoastetta kuvaavasta tunnusluvusta on olemassa ainakin kolme eri muunnelmaa. Näitä ovat oman pääoman tuotto prosentti, sijoitetun pääoman tuotto prosentti ja koko pääoman tuotto prosentti. Oman pääoman tuotto prosentissa on kyse omistajan näkökulmasta, joka saadaan laskettua kaavalla

$$100 \times \frac{\text{Kokonaistulos}}{\text{Oma pääoma}}$$

Vastaavalla tavalla voidaan esittää sijoitetun pääoman tuotto prosenttien laskeminen. Sijoitettuun pääomaan kuuluu oman ja vieraan pääoman sijoitukset. Voiton mittarina voidaan käyttää yrityksen kokonaistulosta, tai satunnaisilla erillä korjattua kokonaistulosta, eli nettotulosta, jota yleisimmin käytetään. Korkokulut, tai vieraan pääoman kulut ovat omana muuttujanaan tuloslaskelmassa. Tunnusluvuksi sijoitetun pääoman tuotto prosentti muodostuu seuraavasti

$$100 \times \frac{\text{Nettotulo} + \text{korkokulut}}{\text{Sijoitettu pääoma}}$$

Tunnusluvun jakajana toimiva sijoitettu pääoma tarkoittaa sijoittajan panosta, jossa on korollinen vieras pääoma ja oma pääoma kokonaisuudessaan. Pääoman tuottoastetta kuvaavat korkoa, joten niiden arvostelukin perustuu millaisen korkotason sijoittaja olisi voinut ansaita tekemällä vaihtoehtoisen sijoituksen. Pääoman tuotto prosenttia voidaan arvostella taulukon 2 mukaisesti. (Artto, Koskela, Leppiniemi & Pitkänen 1990.)

Taulukko 2. Pääoman tuottoasteen arvostelutaulukko. (Artto ym. 1990.)

Arviointi	Tunnusluvun arvo
Hyvä	15 % ...
Tyydyttävä	9 % ... 14,9 %
Välttävä	0 % ... 8,9 %
Heikko	Tappiollinen

Investointilaskelmille NPV on ROI:ta yleensä parempi työkalu, koska kirjanpidolliset säännöt ja käytännöt eivät vaikuta tuloslaskelmiin. NPV antaa päätöksentekijälle selkeän käsityksen tuoko investointi lisäarvoa, vai ei ja kuinka paljon. (Metsälä & Salmelin 2015.)

### 3. SUUNNITTELUTIEDE TUTKIMUSMENETELMÄNÄ

Tässä tutkielmassa käytetään suunnittelutieteellistä tutkimusmenetelmää, joka on konstruktivistista tutkimusta. Menetelmän malli tunnetaan nimellä Design Science Research Model (myöh. DSRM). Tutkielman malli perustuu Peffers, Tuunainen, Rothenberger & Chatterjee (2008) ja Hevner Alan, March Salvatore, Park & Ram (2004) tekemiin artikkeleihin.

DSRM:n avulla voidaan suorittaa tietojärjestelmien suunnittelututkimusta (Design Science Research, myöh. DSR). DSRM:n avulla tutkimusprosesseja voidaan viedä haluttuja tavoitteita kohti. Mallia on lähdetty luomaan ja kehittämään, koska DSR:sta on puuttunut aiemmin yleinen viitekehys. Tätä ennen tietojärjestelmien suunnittelututkimukset on luotu tutkijoiden omien kiinnostusten mukaisesti, jonka vuoksi mallejakin on ollut yhtä paljon kuin tekijöitä. Tästä johtuen on syntynyt vaikeaselkoisuutta syntyneisiin suunnittelututkimuksiin, sekä vaikeuttaneet tutkimusten niiden toistettavuutta. DSR:n lähdettiin tämän vuoksi hakemaan vakioitunutta esitystapaa, jota voidaan käyttää moneen eri ilmiöön. Vakioituneella prosessilla tutkimustuloksia on helpompi vertailla samasta aiheesta aiemmin tehtyihin tutkimuksiin, sekä niiden tuloksiin. (Peffers ym. 2008.)

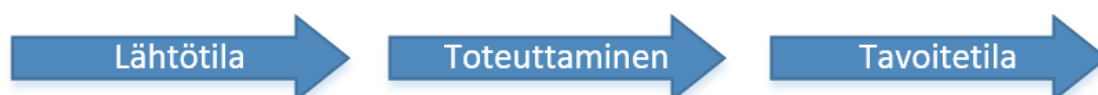
Tietojärjestelmät muodostuvat useista eri tieteenalojen tekijöistä. Tarkemmin tarkasteltuna tietojärjestelmät rakentuvat johonkin tiettyyn tarkoitukseen mallinnetuista vaihtelevista teknisistä kokoonpanoista laitteistoja, ohjelmistoja ja käyttöliittymiä, sekä ihmisistä näiden ympärillä. Eri tieteenalojen monimuotoisuus voi altistaa suuriin suunnitteluongelmiin, joiden ratkaiseminen vaatii suunnittelijoilta täysin uutta ajattelutapaa ja luovuutta. (Hevner & Chatterjee 2010.)

DSR on IT-artefaktien luomiseen ja arvioimiseen keskittyvä tieteenala, jonka keskeisessä asemassa on uusien mahdollisuuksien löytäminen ja niiden hyödyntäminen. DSRM:n tavoitteena on innovaatioiden kehittäminen, joiden avulla ideoista, käytännöistä ja teknologisista mahdollisuuksista voidaan kehittää uusia tuotteita ja palveluita, jotka mahdollistavat yrityksen liiketoiminnan tehostumisen ja kehittymisen (Hevner ym.

2004.) Artefaktilla tarkoitetaan teknistä innovaatiota, jossa on kyse resurssin hyödyntämisestä. Resurssi voi olla tekninen, inhimillinen, tiedollinen, tai näiden muodostama yhdistelmä. (Järvinen & Järvinen (2011.)

Tietojärjestelmätutkimukseen liittyy kaksi tieteenalaa, käyttäytymistieteet ja suunnittelutiede. Näitä käytetään silloin kun tutkitaan ihmisiä, organisaatioita ja teknologioita. Käyttäytymistieteessä kehitetään teorioita ihmisten toimintatavoista organisaatioissa ja selittää käyttäytymistä artefaktien ja uuden teknologian kanssa. Suunnittelutiede taas keskittyy pääasiassa artefaktien tutkimiseen. Artefaktien tarkoituksena on luoda ideoita, mallintaa käytännöt ja teknologiset mahdollisuudet. (Hevner ym. 2004.) Käyttäytymistieteen tarkoituksena on myös tutkia tietojärjestelmiin liittyviä inhimillisiä ilmiöitä, kuten tunteita joita järjestelmän käyttö herättää ihmisissä, sekä tietojärjestelmän käytön aiheuttamaa ylikuormitusta käyttäjissä. Suunnittelutieteen luomien artefaktien avulla voidaan luoda organisaatiolle uusia ja innovatiivisia mahdollisuuksia tehostamaan organisaation toimintaa. (March & Smith 1995.)

Suunnittelutiede on soveltavaa tutkimusta, jonka pääasiallinen tarkoitus on saada pysyvä muutos aikaan tietyssä järjestelmässä, joka ulottuu alkutilasta haluttuun lopputilaan saakka. Lähes aina on mahdollista tunnistaa tutkimuksen lähtötila, josta rakennelmaa lähdetään mallintamaan jonkun tietyn innovaation mukaisesti. Toteuttamisvaiheessa on varsinainen metodi, jolla tavoitetaan pyritään. Tavoitetilassa on jokin ajatus suunnittelusta tutkimustuloksesta, johon mallinnuksella on tarkoitus pyrkiä. Tavoitetilan tarkastelun olennainen osa on arviointi, jonka tuloksena on onnistuminen, epäonnistuminen, tai lopputulos voi olla jokin muu mihin lähtötilassa oli tarkoituksena pyrkiä. (Järvinen & Järvinen 2011.) Kuviossa 8 on kuvattu yksinkertainen DS-tutkimukselle ominainen tutkimusprosessin kulku toteuttamisprosessina.



Kuvio 8. Toteuttamisprosessi (Järvinen & Järvinen 2011.)

### 3.1 DSRM-malli

Pefferin ym. (2008) luoma DSRM-malli toimii kehyksenä tutkijoille siitä, kuinka tutkimusta viedään eteenpäin vaiheesta vaiheeseen. Malli esittää tietojärjestelmätutkimuksessa käytettyjen menetelmien yleisiä periaatteita ja kuvauksia, sekä luo käytännön ohjeita parempaan suunnitteluun, kehittämiseen, demonstroimiseen ja tietojärjestelmien arviointiin, sekä vertailemaan niiden ominaisuuksia. Menetelmä toimii tutkijoiden apuna synnyttämään uusia ideoita ja innovaatioita, sekä kehittääkseen tietojärjestelmä-alan yleistä suunnitteluteoriaa. (Pefferin ym 2008.)

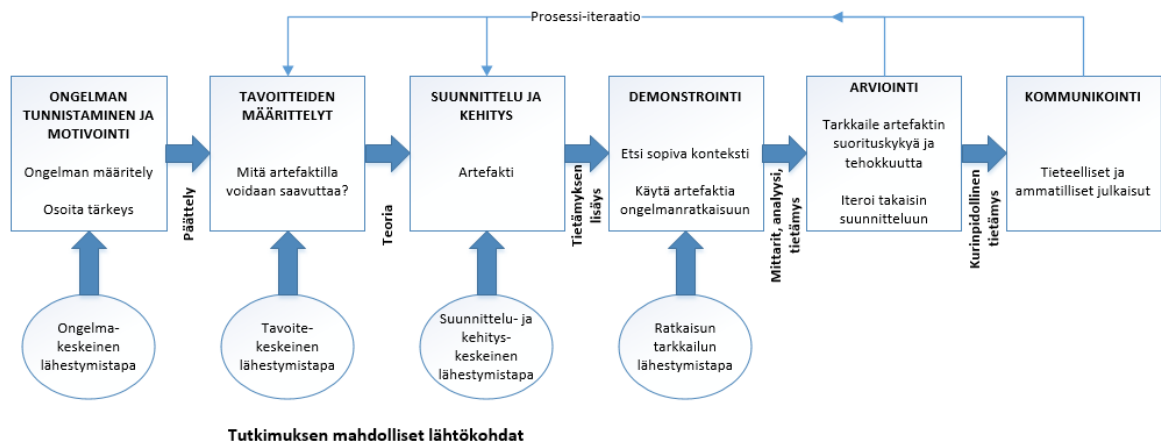
DSRM-mallin tarkoituksena on, että asiantuntijat jotka edustavat eri tieteenaloja voivat ehdottaa parannuksia omien näkemysten, tai tutkimustulosten perusteella tietojärjestelmään. Tutkijoilla on mahdollisuus kommentoida ja arvioida aiemmin aiheeseen liittyviä tutkimusjulkaisuja. (Hevner ym. 2004; Pefferin ym. 2008.)

DSRM-mallin metodologiaosuus kuvaa tutkimuksen prosessin, jotta tutkimukset voidaan tarpeen vaatiessa myöhemmin toistaa. Niitä on myös mahdollista jatkaa, tai kehittää edelleen. Prosessi määrittelee ja arvioi käytettävissä olevat teknologiat, mahdollisuudet ja olemassa olevat riskit. Tämä mahdollistaa sen, että luotavasta artefaktista tulee lopulta mahdollisimman hyvä. Artefakteja on tarkoitus kehittää ratkaisemaan käytännön ongelmia, joita ei ole kyetty aiemmin ratkaisemaan. (Pefferin ym 2008.)

Pefferin (2008) luoma DSRM-mallin mukainen prosessi sisältää kuusi olennaisinta vaihetta, joiden mukaan suoritettava tutkimusprosessi etenee vaiheesta toiseen. Tällä mallilla tutkijat ovat pyrkineet täyttämään kolmenlaista tavoitetta ja näiden mukaan parantamaan tietojärjestelmätutkimuksien laatua. Ensimmäisenä tarkoituksena on mallin johdonmukaisuus. Toisena tulee sen käytön perustuminen tieteen jalostamiseen. Tässä se hyödyntää tieteellistä kirjallisuutta ja tämän kautta pyrkii kehittämään tietojärjestelmien teoriaa. Kolmantena tavoitteena on sen tarjoama malli, jonka perusteella voidaan arvioida ja esittää tietojärjestelmiin liittyviä tutkimuksia yleisölle. Mallin mukaiseen prosessiin on myös mallinnettu neljä mahdollista lähtökohtaa tutkimukselle. (Pefferin ym 2008.)

Prosessi on järjestetty hyvin nimellisessä järjestyksessä. Ei ole kuitenkaan oletettavissa, että tutkijoiden tulisi aina edetä peräkkäisessä järjestyksestä vaiheesta yksi, vaiheeseen kuusi. Todellisuudessa mallista on mahdollista aloittaa lähes joka vaiheesta ja liikkua eteenpäin. (Peffer ym 2008.)

Ongelma-keskeisessä lähtötilanteessa tutkijat voivat aloittaa tutkimuksen suorittamisen ensimmäisestä vaiheesta, mikäli tutkimuksen idea aiheutui ongelman tarkkailusta, tai jonkun projektin tulevaisuuden tutkimuksesta. Tämä lähestymistapa on perustana nimelliselle sekvenssille. Tavoitekeskeisessä lähtötilanteessa herätteenä voisi olla teollisuuden alan, tai tutkimuksen tarve, joille on määrä kehittää artefakti. Suunnittelu – ja kehityskeskeisessä lähestymistavassa voidaan aloittaa kolmannesta vaiheesta. Tämä seuraisi olemassa olevasta artefaktista jonka ei ole vielä virallisesti ajateltu olevan ratkaisuna nimenomaiselle ongelma-alueelle jossa sitä käytetään. Neljännestä vaiheesta on mahdollista aloittaa silloin, mikäli olennainen artefakti tutkimuksen kannalta on jo olemassa ja sitä halutaan tarkastella tarkemmin. (Peffer ym. 2008.)



Kuvio 9. Suunnittelutieteellinen tutkimusmalli, DSRM (Peffer ym 2008.)

### 3.1.1 Ensimmäinen vaihe: Ongelman tunnistaminen ja motivointi

DSRM-prosessin määrittelyvaiheessa kuvataan tutkittava ongelma ja siihen vaikuttavat seikat mahdollisimman tarkasti. On myös perusteltava minkä vuoksi artefakti on luotava. Tutkimuksen tavoitteena olevan ratkaisun määrittelyllä on suuri merkitys tutkijan ja yleisön motivaation ylläpitämiseen. Monimutkaisten ongelmien, tai suuren järjestelmän kyseen ollen on hyvä pilkkoa tutkittava ongelma pienimmiksi kokonaisuuksiksi. Kun ongelma on tunnistettu, seuraa vaihe jossa määritellään ratkaisulle suorituskykytavoitteet. (Peffer ym. 2008.)

### 3.1.2 Toinen vaihe: Tavoitteiden asettaminen

DSRM-prosessin toisessa vaiheessa perehdytään kuvattuun ongelmaan ja perehdytään tarkasti saatavilla olevaan tietoon, joka liittyy tutkittavaan aiheeseen. Saadun tiedon perusteella arvioidaan mitä voidaan tehdä ja mitä ei. Tavoitteita laatiessa on selvitettävä miten uuden, tai kehitettävän järjestelmän tulee toimia. On myös selvitettävä minkälaisia odotuksia artefaktiin kohdistuu, minkälaisia uusia toimintoja siinä tulee olla, tai mitä havaittuja ongelmia artefaktin avulla on tarkoitus ratkaista. (Hevner ym. 2010.)

Prosessin toinen vaihe perustuu jonkin tutkittavan asian nykytilan tutkimiseen ja siitä saatavan tietämyksen mahdollisimman hyvään ymmärtämiseen. Nykytilan kuvaamisen jälkeen keskitytään uuden tuotteen, tai tutkittavan ympäristön suunnitteluun ja sen ominaisuuksiin. Tavoitteena tälle on, että muodostettava artefakti ratkaisee sille asetetun ongelman, sekä sen että uudesta artefaktista tulee entistä parempi. Artefakti on mallinnettava ja suunniteltava mahdollisimman tarkasti, että sen valmistaminen myöhemmin on mahdollista. (Hevner ym. 2010.)

Tässä prosessin vaiheessa on otettava huomioon suunnittelun reunaehdot. Nämä ovat käytettävissä olevat resurssit, aikataululliset ja taloudelliset asiat. Tässä vaiheessa laaditaan tietojärjestelmän vaatimusmäärittely, datan siirtymisen mallintaminen integroitaviin järjestelmiin, tai mallinnetaan miten tieto kulkee järjestelmän sisällä.

Lisäksi määritellään keskeiset käsitteet ja suunnitellaan kaikki olennainen, jolla on merkitystä uudelle tietojärjestelmälle. (Hevner ym. 2010.)

### 3.1.3 Kolmas vaihe: Suunnittelu ja kehitys

Kolmannessa DSRM-prosessin vaiheessa luodaan itse artefakti, joka voi olla esimerkiksi konstruktio eli rakennelma, malli, metodi, tai ilmentymä. Tähän vaiheeseen kuuluu myös halutun artefaktin toiminnallisuuksien, ominaisuuksien ja arkkitehtuurin määrittely. (Peffers ym. 2008.)

Tässä prosessin vaiheessa on myös käyttäjä mukana. Edellisen vaiheen tavoitteiden huolellinen määrittely on erittäin tärkeää, koska tässä suunnittelu- ja kehitysvaiheessa on oltava riittävä tietopohja ratkaisujen tekemiselle. Tämä vaihe keskittyy käytettävissä olevien vaihtoehtojen punnitsemiseen, kuten esimerkiksi minkälaisia mahdollisuuksia ja mitä eri tekniikoita artefaktin toteutuksessa on mahdollista käyttää ja mitkä niistä soveltuvat parhaiten kyseiseen tarkoitukseen. (Hevner ym. 2010.)

Erilaisten vaihtoehtojen kartoittaminen vaatii tutkijalta laajaa tietämystä, joka edellyttää hyvin usein intensiivistä tiedonhakuja ja taustatietojen kartoittamista. Tämä on usein tutkijoille prosessin vaihe, joka vie hyvin paljon aikaa. Tiedonhankinnassa tutkijalla on apunaan aiheeseen liittyvät tieteelliset julkaisut, kirjallisuus, sekä aiemmista projekteista saadut vastaavien tutkimuksien ja kokemusten tulokset. Tutkijan perehtyneisyys tutkittavaan aiheeseen kasvaa tutkimuksen edetessä ja iteraatiokierrosten kautta. Tutkijan kokemuksen kasvaessa projektin prosessin aikana, myös hänen tietämyksensä artefaktien rakentamisesta karttuu. (Hevner ym. 2010.)

### 3.1.4 Neljäs vaihe: Demonstrointi

Neljännessä vaiheessa demonstroinnissa, eli havainnollistamisessa kokeillaan artefaktin käyttöä. Demonstraatiossa arvioidaan sitä, miten luotu artefakti soveltuu ennalta määritellyn ongelman ratkaisuksi, sekä sitä vertaillaan vanhaan toteutustapaan. Näillä keinoin artefaktille pyritään löytämään uusia etuja sen käytöstä. Demonstraatiovaihe

saattaa sisältää myös käytännön kokeiluja, simulaatioita, kokeita, tapaustutkimuksia, tai muita sopivia aktiviteetteja. (Peffer ym. 2008.)

### 3.1.5 Viides vaihe: Arviointi

Viidennessä vaiheessa arvioinnissa tarkkaillaan ja mitataan kuinka hyvin artefakti tukee ratkaisua ongelmaan. Testien ja mittausten suorittaminen arviointivaiheessa tapahtuu laadullisin ja matemaattisin menetelmin. Näiden avulla voidaan kartoittaa esimerkiksi tietojärjestelmän suorituskykyä, integraatioita, tietoturvaa, käytettävyyttä ja nopeutta. Käsitteellisesti arviointiin voisi sisältyä myös tarvittavat empiiriset näytöt, tai loogiset todisteet. Arviointivaiheessa korjataan tutkittavassa järjestelmässä, tai muussa tutkimuskohteessa havaitut virheet. Tämän vaiheen lopussa tutkijat voivat palata takaisin alkuun suunnittelu – ja kehitysvaiheeseen, mikäli artefakti ei toimi halutulla tavalla. Täten artefaktin työstämistä voidaan jatkaa haluttuun suuntaan. Tätä sykliä kutsutaan iteroimiseksi. Iterointiprosessilla on mahdollista parantaa artefaktin tehokkuutta ja kasvattaa entisestään siihen liittyvää tietämispohjaa. (Peffer ym. 2008.)

### 3.1.6 Kuudes vaihe: Viestintä

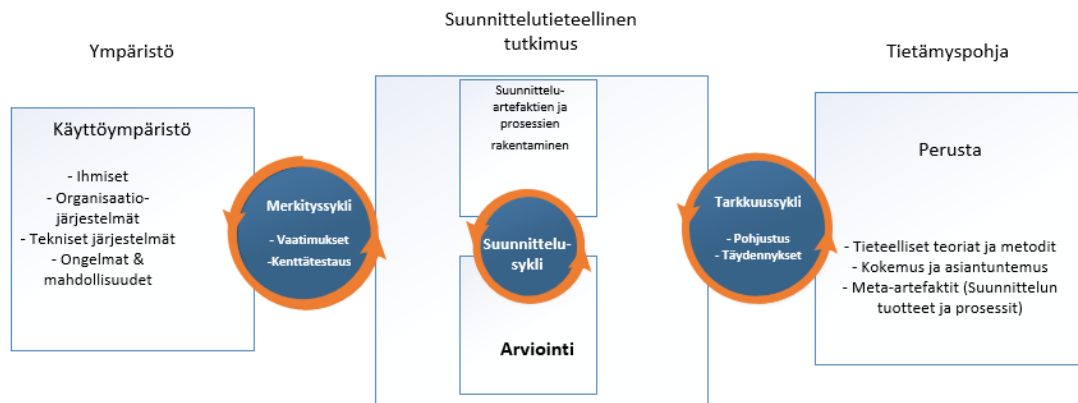
Kuudennessa vaiheessa viestinnässä kuvataan tutkimuksen tulokset ja julkaistaan ne sopivalle kohdeyleisölle halutulla julkaisuvälineellä. Viestintä on DSRM-prosessin tärkeä vaihe. Tieteenalan ja tieteen kehittymisen kannalta on tärkeää, että tutkimuksista saadut tiedot ja löydöt jaetaan yleisölle. Tämän kautta muut alan ammattilaiset kykenevät arvioimaan tietojärjestelmätutkimuksesta saatuja hyötyjä ja käyttää suunnittelutieteen tutkimuksen avulla kerättyä tietoa omissa tutkimuksissaan. Viestinnässä on hyvä noudattaa yhteistä kaavaa, jotta tutkimusten ja tulosten vertailukelpoisuus säilyy. (Hevner ym. 2010.)

Artikkelin on määrä muodostua seuraavista osioista: Ongelman määrittely, kirjallisuuskatsaus, hypoteesin kehittäminen, tiedonkeräys, analyysi, diskussio ja johtopäätös. (Peffer ym. 2008.)

### 3.2 Suunnittelutieteen syklit

Tietotekniikassa, ohjelmistotuotannossa ja tietojärjestelmissä tietojärjestelmätutkimusta on harjoitettu jo vuosikymmeniä. Alusta pitäen tietojärjestelmätutkijat ovat kehittäneet uusia arkkitehtuureja tietokoneille, uusia ohjelmointikieliä, algoritmeja, uutta dataa, sekä kehittäneet tiedostojen rakenteita, muodostaneet uusia datamalleja ja niin edelleen. Lyhyesti todettuna tutkijat ovat tehneet tietojärjestelmätutkimusta koko ajan. (Iivari, Juhani 2007.)

Tietojärjestelmätutkimusprosessin ymmärtämisessä ja viestinnässä on erittäin tärkeää saada tukea tietojärjestelmäammattilaisten kesken. On tärkeää myös luoda uskottavuutta muilla tietojärjestelmätutkimuksen aloilla, kuten tekniikan, taiteen ja arkkitehtuurin aloilla. (Hevner, Alan 2007.)



Kuvio 10. Suunnittelutieteen tutkimussyklit. (Hevner 2007.)

Kuviossa 10 on kuvattuna Hevnerin (2007) luoma suunnittelutieteen tutkimusmallit, jossa on kolme tutkimussykliä. Nämä ovat merkityssykli, suunnittelusykli ja tarkkuussykli. Merkityssyklissä yhdistetään tutkimushankkeen yhteydestä riippuva ympäristö suunnittelutieteen toimintoihin. Tarkkuussyklissä yhdistetään yhteen puolestaan suunnittelutieteen toiminnat tietämispohjan, kokemuksen ja tutkimusprosessiin liittyvien ammattilaisten kanssa. Suunnittelusyklissä tehdään iteroinnit perustoimintojen rakentamisen, suunnitteluarterfaktien arvioinnin ja tutkimusprosessin välillä. Nämä kolme

syliä täytyvät olla käypiä ja selkeästi yksilöitävissä suunnittelutieteellisessä tutkimusprojektissa. (Hevner 2007.)

Hevnerin (2007) mallilla (Kuvio 8) hän esittää, että tietojärjestelmätutkimus on motivoitunut kehittämään ympäristöä esittämällä uusia ja omintakeisia artefakteja ja prosesseja kyseisten artefaktien rakentamiseen. Käyttöympäristö muodostuu ihmisistä, organisaatiojärjestelmistä ja teknisistä järjestelmistä. Nämä rakenteet tekevät yhteistyötä keskenään saavuttaakseen tavoitteensa. Laadukas tietojärjestelmätutkimus alkaa tavallisesti tunnistamalla ja esittämällä mahdollisuudet ja ongelmat todellisessa käyttöympäristössä.

Merkityssykli aloittaa toimimisen tietojärjestelmätutkimuksen käyttöympäristössä. Se ei ainoastaan tarjoa vain vaatimuksia tutkimukselle, vaan määrittelee myös lopulliselle tutkimustulosten arvioinnille hyväksymiskriteerit. Tietojärjestelmätutkimuksen työn tulos täytyy palauttaa käyttöalueen ympäristölle tutkittavaksi ja arvioitavaksi. Kenttätutkimuksissa tehdyt tulokset määrittävät tarvitaanko uusia iterointeja tehdä merkityssyklissä. On mahdollista, että uudella artefaktilla on puutteita toiminnallisuudessa, tai ominaispiirteissään, kuten esimerkiksi suorituskyvyssä, tai käytettävyydessä jotka voivat rajoittaa sen toiminnallisuuksia. Kenttätutkimuksista saatujen tulosten toinen osa voi olla, että tietojärjestelmätutkimuksen vaatimusten lähtötiedot olivat virheellisiä, tai puutteellisia. Näiden tuloksena artefakti täyttää vaatimukset, mutta on silti puutteellinen esitettyyn ongelmaan. Merkityssyklin toinen iterointi alkaa kenttätutkimusten palautteella ja todellisten kokemusten perusteella tehtyihin parannuksiin tutkimusvaatimuksissa. (Hevner 2007.)

Suunnittelutiede ammentaa laajasta tieteellisten teorioiden tietopohjasta ja suunnittelumenetelmistä, jotka tarjoavat pohjan perusteelliselle tietojärjestelmätutkimukselle. On tärkeää, että tietämispohja sisältää myös kahden tyyppistä tietämystä. Nämä ovat kokemus ja asiantuntemus, sekä olemassa olevat artefaktit ja prosessit, jotka ovat määritelty käyttöympäristössä. Tarkkuussykli tarjoaa mennyttä tietämystä tutkimushankkeelle varmistaakseen innovaation. Tarkkuussykli on riippuvainen tutkijoista, jotta he tutkivat perusteellisesti ja viittaavat tietämispohjaan.

Tämän kautta voidaan taata, että syntyvät tuotteet ovat tutkimuksen tuloksia. (Hevner 2007.)

Sisäinen suunnittelusykli on minkä tahansa suunnittelutieteellisen tutkimusprojektin sydän. Tämä tutkimustoiminnan sykli iteroi nopeammin artefaktin rakentamisen. Artefaktin arvioinnilla ja saadulla palautteella voidaan jalostaa suunnittelu yhä eteenpäin. Suunnittelusykli on kohta, jossa suunnittelutieteellisen tutkimuksen kova työ tehdään. Suunnittelusyklin suorittamisen aikana on tärkeää säilyttää tasapaino rakentamisten panostusten ja kehittyvän suunnitteluartefaktin arviointien välillä. (Hevner 2007.)

### 3.3 Mallin soveltaminen kohdeympäristössä

Uutta suunnittelusääntöä on tarkoitus soveltaa DSRM:n (Peffer ym 2008.) avulla olemassa oleviin verkkotopologioihin. Maamme suurimpien matkapuhelinoperaattorien verkot ovat kompleksisia rakennelmia, jossa on mukana vanhaa ja uutta tekniikkaa. Tutkielman tarkoituksena ei ole tarkemmin perehtyä teknisiin seikkoihin, vaan valita yhdeltä tietyltä verkkoalueelta erilaisia verkkokokonaisuuksia, joita käytetään skenaarioina uutta suunnittelusääntöä, eli artefaktia mallintaessa.

Uutta artefaktia lähdetään muodostamaan hyödyntämällä DSRM-prosessimallia (Peffer ym 2008.) ensimmäisestä vaiheesta alkaen, joka on *ongelman tunnistaminen ja motivointi*. Tässä tutkimuksessa tarkoituksena on mallintaa uusi suunnittelusääntö, joka on kustannuslähtöisempi aiempaan verrattuna. Kapasiteettien volyymit kasvavat vuositasolla voimakkaammin muun muassa lisääntyneiden mobiilisovellusten ja niiden sisällön johdosta. Kohdeoperaattorin käyttämä suunnittelusääntö on vankan kokemuksen ja operatiivisen tutkimuksen ja kehittämisen aikaansaannosta, jonka laadukkuutta ei ole syytä kyseenalaistaa. Vastatakseen operaattorin kilpailuasemaa voimakkaasti kilpailutetulla liiketoiminta-alueella on myös syytä tarkastella eri näkökulmia kustannussäästöjä etsiessä. Tämä tutkielma tuo yhden näkökulman kyseisiin kustannussäästöihin.

DSRM:n (Peffer ym 2008.) toisessa vaiheessa *tavoitteen määrittelyssä* viitataan tutkittavan ratkaisun saavutettavissa oleviin tavoitteisiin, jotka perustuvat tutkittavan asian nykytilan tutkimiseen ja siitä saatavan tietämyksen mahdollisimman hyvään ymmärtämiseen. Tutkielman tarkoituksena on luoda uusi kustannusoptimoitu suunnittelusääntö ohjaamaan suunnittelijoita ja päättäjiä matkapuhelinverkkojen kapasiteettilaajenuksissa. Suunnittelusääntöä voi myös päättäjät käyttää strategisia valintoja laatiessaan, kun tarkastellaan maantieteellistä sijaintia jonne aiotaan laajentaa. Uutta suunnittelusääntöä voi käyttää menetelmänä tässä tapauksessa, kun harkitaan investointitapaa.

Kolmannessa DSRM-mallin (Peffer ym 2008.) vaiheessa *suunnittelu ja kehitys* luodaan artefakti. Pohjatietona määrittämisessä käytetään nykyverkon yleisempiä topologioita maantieteellisesti mielenkiintoiselta alueelta. Tämä tarkoittaa eri matkapuhelinverkko-yhteyksien arkkitehtuurista olo tilaa ja sen eri verkkokerroksissa olevien liityntäpintojen kapasiteettitietoja. Näihin kapasiteettitietoihin lisätään rinnalle kuukautiset kustannusarviot yleisellä tasolla, jotka toimivat muuttujina suunnittelusäännössä. Kustannusoptimointimallia laadittaessa käytetään työkaluina Microsoft Excel- taulukkolaskentaa lähtötietokantana ja SQL-tietokantana Microsoft Accessia Excel-datan liittämisenä toisiin taulukkoihin ja laskentaan. Mallia muodostettaessa eri skenaarioita tutkimalla käytetään samaa menetelmää jokaiselle matkapuhelinverkko-yhteydelle.

DSRM-mallin (Peffer ym 2008.) neljännessä vaiheessa *demonstroinnissa* havainnollistetaan ja kokeillaan artefaktin käyttöä käytännössä. Tämä tarkoittaa edellisen vaiheen skenaarioissa käytettyjen matkapuhelinverkkojen mallinnusten toteutumista käytännössä. Artefaktin tehokkuus havainnollistetaan vertaamalla sitä käytössä olevaan nykytilaiseen suunnittelusääntöön, eli löytyykö matkapuhelinverkko-yhteydeltä segmenttejä, joita kannattaa lähteä laajentamaan kohonneen kapasiteetin reunaehdolla, tai kustannusoptimoidusti.

DSRM:n (Peffer ym 2008.) viidennessä vaiheessa arvioinnissa tarkkaillaan ja mitataan kuinka hyvin artefakti tukee ratkaisua ongelmaan, eli käytetään tarkasti edellisessä vaiheessa saatua tietoa. Tässä tutkielmassa arvioinnissa käytetään käsitteellisiä

arviointeja empiirisillä näytöillä ja loogisilla todisteilla, joita saadaan uuden mallin mukaisia kustannuskomponentteja muuttamalla. Uudesta mallista saatuja tuloksia vertaillaan nykytilaisen suunnittelusäännön tuloksiin. Mikäli luotu artefakti ei saavuta tarkoituksenmukaisia tuloksia, voidaan syklin päätteeksi palata suunnittelu- ja kehitysvaiheeseen muodostamaan uusi artefakti korjaamalla aiemmat mallin suunnitteluvirheet. Iteraatio sykliä voidaan toistaa niin monta kertaa, kunnes saavutetaan haluttu lopputulos. Usein kuitenkin yksikin sykli on riittävä.

DSRM:n (Peffer ym 2008.) viimeinen vaihe *viestintä* viittaa tutkielman tulosten julkistamiseen sopivalle kohdeyleisölle halutulla julkaisuvälineellä. Tutkielman ja mallin valmistuttua tullaan ne julkaisemaan Vaasan yliopiston toimesta akateemisen yleisön käyttöön, sekä kohdeyritykselle. Valmis tutkielman teos toimii tutkimusraporttina, joka vastaa tieteelliseltä julkaisulta vaadittavia normeja ja ulkoasumääritelmiltään Vaasan yliopiston teknillisen tiedekunnan kirjoitusohjeita.

#### 4. SUUNNITTELUPERIAATTEEN LÄHTÖTILANNE

Suomessa on kolme suurta keskinäisessä kilpailutilanteessa olevaa matkapuhelinoperaattoria, joita ovat DNA, Telia Finland ja Elisa. Tässä tutkielmassa hyödynnettävää tutkimusdataa hyödynnetään pääosin erästä näistä kolmen operaattorin verkkoympäristöstä. Tutkielmassa julkaistava data on julkista, joten esiintyvät muuttujien arvot ovat keskimääräisiin arvoihin suhteutettuja.

Suomessa toimivien matkapuhelinoperaattorien verkot ovat pääasiassa ympäri valtakuntaa kiertävä optinen valokuituverkosto, jotka ovat verkon arkkitehtuurillisesti hyvin kompleksisia kokonaisuuksia. Valokuituverkostossa liikkuva data on suurikapasiteettista digitaalista tietoliikennettä, jota prosessoidaan suuria kapasiteettia ja ja laskentatehoa vaativilla verkkolaitteilla. Verkkolaitteita valmistaa useat globaalit laitetoimittajat ja niitä on saatavilla lähes jokaiseen tarkoitukseen mitä tulee MBH-verkon rakentamiseen. Mitä suurempaa laskentatehoa vaativaa laitetta käytetään MBH-verkon rakentamisessa, sitä kalliimpaa se tulee olemaan.

Kapasiteetin seuranta on erittäin tärkeä osa verkon laadun toteuttamisessa, koska sillä on välitön vaikutus loppukäyttäjän palvelun kokemaan. Matkapuhelinoperaattoreilla on käytettävissään reaaliaikaisen tiedon seurantaan soveltuvat tietojärjestelmät, jota kautta voidaan paikantaa verkossa esiintyvät häiriöt ja seurata esimerkiksi MBH-verkon kapasiteetin kehittymistä jollain tietyllä maantieteellisellä sijainnilla. Matkapuhelinoperaattoreilla on käytössään omat ohjaavat periaatteet MBH-verkon suunnitteluun, rakentamiseen ja viankorjaukseen liittyen. Esimerkkinä häiriötilanteiden ilmaantuessa periaatteena viankorjaukselle voi olla, että vikaantuneen laitteen tilalle vaihdetaan täsmälleen samanlainen laite. Toisella voi periaatteena olla, että päivitetään vikaantunut laite teknisesti uusimmalla käytössä olevalla laitteella, joka tavallaan toimii etupainossa verkon kehittämisen kannalta. Molemmissa periaatteissa on kuitenkin omat hyvät ja huonot puolensa.

Verkonrakentamisen arkkitehdeillä ja suunnittelijoilla on mahdollisuus taloudelliseen laskentaan turvautuen päättää onko kannattavampaa investoida suuritehoiseen laitteeseen

tietyllä pisteellä, vai onko kannattavampaa investoida matalatehoisempi laite, joka on juuri mitoitettu tarpeeseen. Tyypillisesti matkapuhelinoperaattoreilla on verkkolaitteiden osalta käytössään yhteistyösopimuksia jonkun tietyn laitetoimittajan kanssa, jonka kautta heillä on mahdollisuus saada laitteita erikoishintaan. Nämä sopimukset ovat hyvin kattavia, tarkoin laadittuja ja useaksi vuodeksi voimassaolevia. Esimerkiksi laitteiden tukimallit on tarkoin määrättyjä toimittajan ja operaattorin välillä, koska operatiiviselta kannalta ilman niitä, laitteissa esiintyvät viat voivat tulla hyvinkin kalliiksi operaattoreille.

Yksi laiteinvestointien suurimpia kulueriä ovat laitteiden lisenssit. Eri laitetoimittajilla on käytössään erilaiset lisensointimallit, jotka täytyy ottaa huomioon jo siinä vaiheessa, kun matkapuhelinoperaattorien päättäjät vertailevat laitetoimittajia tuleviin investointeihin. Eli pelkkä verkkolaitteen listahinta ei välttämättä kerro kokonaiskustannuksen suuruutta.

#### 4.1 MBH-verkon ratkaisumallit ja suunnitteluperiaatteet

Matkapuhelinoperaattoreilla on käytössään erilaisia toteutustapoja verkon topologian kannalta. Yleensä lähtökohtana on alan tieteellisten julkaisujen mukaisia periaatteita lähtökohtina, jotka ovat alan standardin mukaisia. Suurimmat eroavaisuudet löytyvät varmasti matkapuhelinoperaattorin historian kehittymisestä ja sen omistamien alueiden verkkoteknisistä ratkaisuista. Matkapuhelinoperaattorien verkot ovat laajentuneet muun muassa eri puhelinosuuskuntien yrityskauppojen ja omien laajentumisten kautta uusille alueille. Matkapuhelinverkkojen evoluution kehittyessä historian sarka on kuitenkin jokaisella matkapuhelinoperaattorilla kehittynyt lähemmäksi standardeja ratkaisuja, jotta esimerkiksi erilaiset yhteistyöratkaisut operaattorien välillä sujuvat helpommin.

MBH-verkkojen suunnittelu on tarkoin organisoitua matkapuhelinoperaattoreilla. Suunnittelua ohjaa vahvimmin yrityksen strategia, joka on joka matkapuhelinoperaattorilla omanlaisensa. Tärkeimpänä havaintona on kuitenkin jokaisella loppukäyttäjän tyytyväisyys ja palvelujen saatavuus. Jotta haluttu MBH-verkon

laatutaso säilyy on tärkeää panostaa matkapuhelinverkon kapasiteetin ylläpitoon ja saatavuuden hallintaan. Matkapuhelinoperaattoreilla on käytössään erilaisia periaatteita organisaatioissaan, miten kapasiteettia hallitaan ja ennaltaehkäistään niin sanottujen pullonkaulojen syntymistä MBH-verkoissaan. Nämä periaatteet, joita voidaan kutsua myös suunnittelusäännöiksi voivat olla esimerkiksi kapasiteetille asetetut prosentuaaliset arvot tietyssä MBH-verkon tasolla olevassa laitteen rajapinnassa. Suunnitteluperiaate voi myös perustua laitteen tarkkaa tietoa tuottavaan tulokseen laitteen suorituskyvystä, kuten prosessoritehoista, tai lämpötiloista. Näitä kutsutaan usein lokitiedoksi, joita laitteen komentoriviltä on mahdollista saada. Näille suorituskykytiedoille voidaan antaa esimerkiksi hälytysraja mikäli suoritinteho käy tietyssä prosentissa jollain laskennallisella ajanjaksolla.

Suunnitteluperiaate ei siis kohdistu yhteen tapaukseen MBH-verkon alueista, vaan jokaiselle niin sanotulle verkkotasolle ja alueelle on omat suunnitteluperiaatteensa. Strategisesti voidaan päättää, että liityntäyhteystekniikkaan perustuvat tukiasemayhteydet toteutetaan aina valokuituyhteyksillä, eli sähköistä kuparijohdollista kytkentäteknikkaa ei saa käyttää. Valokuituyhteydet toimitetaan yleensä kaksiparisena kytkentänä. Kaksiparinen yhteystekniikka on tunnistettu matkapuhelinoperaattoreilla asiaksi, jossa voidaan saada kustannussäästöjä aikaan tekniseltä kannalta. Laitetoimittajat ovat toimittaneet markkinoille vuosien ajan yksikuituista tekniikkaa, jonka valokuidun liityntärajapintamoduuli kykenee teknisesti ja ohjelmallisesti hyödyntämään liikennettä kuin kaksiparisena. Tämä on mahdollistanut valokuitujen rakenteellisen ja kustannuksellisen säästämisen, johon voidaan muodostaa suunnitteluperiaate, että käytetään ainoastaan yksikuituista valokuitutekniikkaa tukiasemayhteyksillä.

MBH-verkon kapasiteetin laajentamiselle on olemassa useita vaihtoehtoja. Nykyaikaisen MBH-verkon tukiasemayhteyden liityntäyhteystekniikan tavallisin porttikohtainen kapasiteetti on 1-10 Gigabitin-väliltä. Korkeammilla tasoilla porttikohtainen kapasiteetti liikkuu tavallisesti 10 Gigabitin tasolla ja runkoverkossa jopa 100 Gigabittiin saakka. MBH-verkon suunnittelijoilla on tyypillisesti ollut melko helppo laajentaa esimerkiksi tukiasemayhteyden kapasiteetti 1 Gigabittiä olevaan yhteyteen, sekä vastaavaan toiseen yhteyteen, joten kokonaiskapasiteetiksi saadaan 2 Gigabittiä. Esimerkiksi investoinnin

takaisinmaksuajalla, tai alueellisen kehittymisen ennusteilla voidaan laskea kuitenkin kannattavuus sille, olisiko mahdollisesti investointi jopa suoraan 10 Gigabitin kapasiteettiin kannattavampaa. On myös mahdollista, että jossain tapauksessa onkin kannattavampaa hankkia yhteys vuokrayhteydellä.

Suunnitteluperiaate voi myös painottua tietyn valitun laitevalmistajan tuottamiin laitteisiin MBH-verkoissa, jossa käytetään laskentatehokkaasti suhteellisen tehokkaita, mutta hinnaltaan edullisia laitteita. Tämän kaltaisen suunnitteluperiaatteen johdosta voidaan kustannusmiehellä pysyä kannattavana ja operatiivisen hallinnan kannalta ei vaadi kompetenssien lisäämistä organisaatioissa.

#### 4.1.1 Vuokrayhteydet

Matkapuhelinoperaattoreilla on pääasiassa kahdenlaista ratkaisua verkon omistajuuden kannalta. Pääsääntöisesti suomalaiset matkapuhelinoperaattorit omistavat oman runko- ja siirtoverkkonsa, mutta myös käyttävät toisten operaattorien verkkoja, joita kutsutaan vuokrayhteyksiksi. Investointien kannalta operaattorin omistama verkko on CAPEX ja vuokrayhteydet kuuluvat operatiivisiin kuluihin, eli OPEX.

Strategiselta kannalta operaattorit ovat valinneet oman suuntansa tietoliikenneverkkojensa elinkaaren ja laajentamisen kannalta. On mahdollista, että erään matkapuhelinoperaattorin strategiaan ja täten suunnitteluperiaatteisiin kuuluu investoida pääasiassa omaan verkkoon. Eli laajennuksien yhteydessä lähdetään siitä, että hankitaan tuleva verkko investointina. Toinen vaihtoehto matkapuhelinoperaattorilla voi olla, että tämä strategisesti hyödyntää olemassa olevien operaattorien omaa tietoliikenneverkkoa vuokraamalla. Tämä malli voisi olla esimerkiksi uuden markkinoille tulevan matkapuhelinoperaattorin liiketoimintamalli. Kolmas vaihtoehto matkapuhelinoperaattorilla on hyödyntää molempia edellä mainittuja ratkaisuja verkon rakentamisen osalta. Tätä mallia hyödyntää jokainen Suomessa toimiva matkapuhelinoperaattori.

Suunnittelusääntönä voi matkapuhelinoperaattorilla olla, että pääasiassa käytetään jollain MBH-verkon tasolla aina vuokrayhteyttä. Käytännössä matkapuhelinoperaattorit vuokraavat ensimmäisen tason tukiasemayhteyttä tukiasemakohteeseen, mutta joskus myös siirtoyhteyksiverkkojakin. Vuokrayhteyksissä on laadun varmistuksesta huolehdittava tarkasti sopimusten puitteissa, joka velvoittaa operaattorit tuottamaan laadukasta verkkoa vuokraajille.

#### 4.1.2 Radiolinkit

Radiolinkkien suunnitteluperiaatteina toimii teknisesti tarkat säädökset, jotka voivat myös tarkoittaa sitä, että käytetään vain tietyn valmistajan laitteita radiolinkeissä. Toiminnallisuuden osalta yksi tärkeä seikka on päättää minkälaista taajuusaluetta käytetään radiolinkkien tietoliikenteessä. Tyypillisesti taajuusalueena käytetään vain yhtä korkeataajuista aluetta. Arkkitehtuurillisesti suunnitteluperiaatteisiin on sovittava myös miten radiolinkkiverkon topologia suunnitellaan. Teknisesti radiolinkkejä voidaan ketjuttaa toisiinsa saaden kätevästi siirtotie haluttuun paikkaan. Laatu- ja vikaherkkyuden kannalta ketjuttamista ollaan kuitenkin vältetty, joten voidaan sopia suunnittelussa pyrkivän aina yhden radiojälkeen toteutukseen.

#### 4.1.3 Valokuituosuuskunnat

Valokuituosuuskunnat kuuluvat matkapuhelinoperaattoreille vuokrakapasiteetin tarjoaviksi tahoiksi. Näitä osuuskuntia ovat tunnetuimmin kuntien ja pienten kaupunkien omat puhelinyhtiöt, kuten Finnet-yhtymän puhelinoperaattorit. Monille valokuituosuuskunnalle vuokrayhteyksien tarjoaminen on yksi merkittävimmistä liikevaihtoa nostavista tulonlähteistä, joihin he panostavat oman alueverkon laadukkaalla operoimisella. Suurelle matkapuhelinoperaattorille valokuituosuuskuntien tarjoamat palvelut ovat kannattavia operatiivisia investointeja, jonka avulla

matkapuhelinoperaattorit kykenevät saamaan sopimustasoista kapasiteettia tarvitsemalleen alueelle.

Matkapuhelinoperaattorien suunnitteluperiaatteisiin kuuluu huomioida kuituosuuskunnat omana asiana, kuten laatutason säilyminen halutulla tasolla sopimuksellisesti. Myös suunnitteluperiaatteena voi olla se, että kun matkapuhelinoperaattori tarvitsee vuokrattavaa verkkoa tai kapasiteettia, niin tulee aina ensisijaisesti investoida valokuituosuuskuntien kapasiteettiin, kuin kilpailevien operaattorien kapasiteettiin. Tällä eettisellä tavalla mahdollistetaan myös alueellisten pienempien osuuskuntien tukeminen ja kehittyminen.

#### 4.2 Tukiasemakohteen merkittävimmät tulot ja kulut

Tutkielman pääasiallinen tarkoitus on selvittää investointien ja operatiivisten kulujen mahdollinen vaikuttaminen MBH-verkon suunnitteluun. Sen vuoksi on aiheellista selvittää muutamia kohtia mistä tukiasemakohteiden kulut pääasiassa muodostuvat ja mikä on investoinneista saatava rahallinen hyöty.

Operatiivisen toiminnan kulut muodostuvat tukiasemakohteissa pääasiallisesti laiteasemien ja kapasiteettien vuokraamisesta, sähkömaksuista ja muista pienistä kustannuksista, kuten vesi- ja siivousmaksut. Vaikka matkapuhelinoperaattori investoi tukiaseman laitetilaa, niin silti siihen sisältyy aina toiminnallisia kuluja. Investoimastaan laitetilasta matkapuhelinoperaattori voi saada myös tuloja vuokraamalla tukiaseman laitetiloihin esimerkiksi muille kilpaileville matkapuhelinoperaattoreille. Valokuituosuuskunnille laitetilojen vuokraaminen onkin yksi suurimmista tulonlähteistä. Laitetiloja on myös mahdollista ottaa vuokralle muiltakin kuin matkapuhelinoperaattoreilta, kuten hankkia laitetilaa esimerkiksi taloyhtiön tiloista, jolloin vuokramaksu päättyy kiinteistön omistajalle.

Laitetila jonka omistaa matkapuhelinoperaattori, tyypillisimmät kuukausittaiset OPEX-kustannukset ovat muutamasta sadasta eurosta noin 25000 euroon asti. Laitetilat joita matkapuhelinoperaattori vuokraa, sen kuukausittaiset OPEX-kustannukset ovat muutamasta sadasta eurosta aina noin 10000 euroon asti. Laitetilat jonka operaattori omistaa, saa se vuokratuottoa tiloista kuukausittain muutamasta sadasta eurosta lähes 100000 euroon asti. Kustannusten vaihtelu riippuu hyvin monesta tekijästä, kuten kiinteistön arvon ja sijainnin mukaan laskettavista summista, sekä vuokrattavan kapasiteetin suuruudesta.

## 5. MBH-VERKON KUSTANNUSTEN MALLINTAMINEN

Tässä luvussa kehitetään uusi artefakti tutkielman luvussa kolme esitellyn DSRM:n prosessin (kuvio 9, Peffers ym. 2008) avulla. Prosessin eri vaiheet on jaettu tutkielmassa omiin kappaleisiin, jotta eri vaiheissa tehtävät toimenpiteet erotetaan selkeästi. Kuten tutkielman kappaleessa kolme esitetyn teorialuvun mukaan DSRM-prosessi (Peffers ym. 2008) voidaan aloittaa neljästä eri kohtaa. Tutkielman tieteellisen tarkoituksen vuoksi lähtökohdaksi valikoitui prosessin ensimmäinen vaihe *ongelman tunnistaminen ja motivointi*, jossa kuvataan tutkittava ongelma ja siihen vaikuttavat seikat.

### 5.1 Ongelman tunnistaminen ja motivointi

Teorian mukaisesti DSRM-prosessin ensimmäisessä määrittelyvaiheessa kuvataan tutkittava ongelma ja siihen vaikuttavat tekijät, sekä perustellaan syy, minkä vuoksi artefakti on luotava (Peffers ym. 2008). Ongelman identifiointi ja määrittely annettiin tutkielman suorittajalle toimeksiantona eräältä matkapuhelinoperaattorilta, jossa tutkielman suorittaja on työskennellyt. Tutkittavaa ongelmaa liittyen matkapuhelinverkkojen suunnitteluun aloitettiin suunnittelemaan syksyllä 2016 toimeksiantajayrityksen kehityspäällikön ja tutkielman suorittajan toimesta.

Intressi tutkittavaan kohdealueeseen määräytyi tutkielman suorittajan kokemuksen ja mielenkiinnon kautta tutustua matkapuhelintukiasemien siirtoverkkojen rakenteeseen tarkemmin ja yliopiston tutkintoa hyödyntäen mahdollisuutta ymmärtää taloudellisia muuttujia tutkimusympäristössä.

Tutkielman kappaleessa neljä määriteltiin MBH-verkkojen nykytilaa tutkimusympäristössä, eli millä keinoilla nyky suunnittelu toimii pääpiirteittäin matkapuhelinoperaattoreilla. Jotta pystytään tarjoamaan asiakkaille, eli matkapuhelinoperaattorien loppukäyttäjille korkealaatuista ja aina saavutettavaa matkapuhelinverkkoa, tulee matkapuhelinoperaattorien vastata jatkuvasti käyttäjien

kulutusten mukaiseen tietoliikennemäärän kasvuun MBH-verkossa. Matkapuhelinverkkojen kehityksen tulee vastata asiakasvaatimukseen tekniikan ja tilaajamäärien kehittyessä, joita tutkittiin kappaleessa 2.4. ja havainnollistettiin Ericssonin (2016) tekemillä tutkimuksilla Länsi-Euroopan matkapuhelindatan liikenne- ja tilaajamäärien ennusteilla.

Tietoliikennettä pystytään matkapuhelinoperaattoreilla seuraamaan hyvinkin reaaliaikaisesti tietoliikennelaitteilta tulevan tietomäärää monitoroimalla. Kehittyneet laitevalmistajien, tai kolmansien osapuolten kehittämät tietojärjestelmät mahdollistavat myös automatisoituneet monitorointijärjestelmät. Nämä tarjoavat monimutkaisten tietoliikenneverkkojen monitorointiin tehokkaat reaktiojärjestelmät, joita seuraavat matkapuhelinoperaattorien valvomoyksiköt organisaatiossa. Näiden reaktiojärjestelmien avulla voidaan havaita poikkeamat verkossa, joita aiheuttavat erilaiset vikatilanteet fyysisessä, tai loogisessa verkossa.

Matkapuhelinoperaattorien täytyy kuitenkin kyetä vastaamaan etukenossa kasvavan kapasiteetin aiheuttamiin niin kutsuttuihin pullonkauloihin. Tähän on ratkaisuna ennakoiva suunnittelu, johon on useita vaikuttavia tekijöitä, kuten kehittyneiden loppukäyttäjien palvelut, uudet asuinalueet, tai toistuvat massatapahtumat. Reagoidakseen kasvavaan kapasiteettiin matkapuhelinoperaattoreilla on käytössään järjestelmiä, jotka osaavat reagoida kasvaviin kasvupiikkeihin ja antaa hälytys kapasiteetin tarpeesta. Loogisina sääntöinä ovat myös matkapuhelinoperaattorien suunnittelusäännöt, joka perustuvat ennakoivaan rakentamiseen.

Tutkittavan kohdeympäristön nykyhetken suunnittelusääntönä toimii prosentuaalinen raja, joka on omansa MBH-verkkotasolla. Useimmiten rakentaminen kohdistuu tukiaseman ensimmäiseen verkkolaitetasoon, jossa on ensimmäinen älykäs verkkolaite, jossa kapasiteetin tarve on suurimmillaan. Pääsääntöisesti suunniteltava ja rakennettava kapasiteetti on Gigabitin suuruinen yhteys, kun tukiaseman tasolla tarvitaan kapasiteettilaajennusta, jolloin kokonaiskapasiteetti on tyypillisesti kaksi Gigabittiä. Pienempiä 100 Megatavun yhteyksiä ei nykyteknologiassa käytetä käytännön syistä.

Nämä ensimmäisen MBH-verkkotasolla toimivien yhteyksien kapasiteettilaajennukset vaikuttavat välittömästi seuraavien tasojen kapasiteetin nousemiseen, jolloin tyypillisesti liikenne aggregoituu kymmenen Gigabitin runkoyhteyteen. Kolmannella verkkokerrostaalla on jo käytössä 10-40 Gigabitin yhteyksiä. Mitä suurempaa kapasiteettia tarvitaan, sitä suuremmasta kertainvestoinnista on kyse. Suunnittelu vaatii suurta osaamista, tarkkoja suunnitteluperiaatteita ja kehittyneitä tietojärjestelmiä.

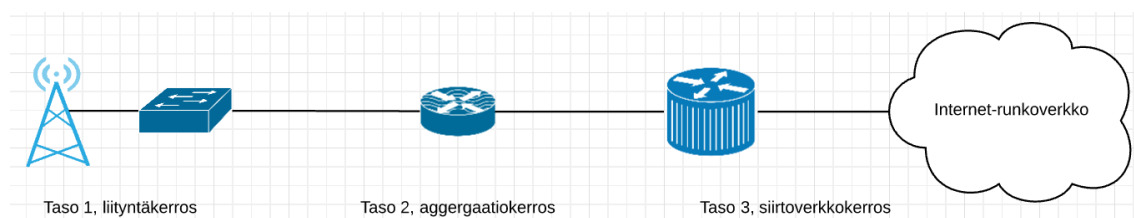
Suomessa on kolme suurta matkapuhelinoperaattoria, jotka omistava matkapuhelinverkkoa, sekä useita pienempiä valokuituosuuskuntaa, joille suuri tulonlähde on oman verkkokapasiteetin tarjoaminen. Kyseisten verkkoarjoajien vuokraaminen on hyvin tavallista, jotta matkapuhelinoperaattori voi laajentaa matkapuhelinverkon peittoaluetta oman verkon ulkopuolelle. Tämä tarjoaa matkapuhelinoperaattorien suunnittelijoille mahdollisuuden oman pääomainvestoinnin sijasta OPEX-investointiin, jolloin matkapuhelinverkon ylläpitovastuu siirtyy verkon vuokrantarjoajan vastuulle.

Tämän tutkielman tärkein tutkittava seikka on, voidaanko muodostaa kustannuslähtöinen suunnitteluperiaate matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille. Tämä tarkoittaa sitä, että investoitavaan suunnittelukohteeseen optimoidaan kapasiteetin tarve ja sen hinta omalla pääomainvestoinnilla ja mikä sen vuokrattavana investointina. Investoitavan suunnittelukohteen CAPEX-investointia verrataan sen saamalla tuloilla ja kuluilla OPEX-investoinnin kuluihin. Tutkielman on tarkoitus DSRM-prosessia hyödyntäen mallintaa uusi suunnittelusääntö prosentuaalisen suunnittelusäännön rinnalle ja tarjota suunnittelijoille ja päättäjille vaihtoehdoisen suunnitteluperiaatteen, jonka jatkokehittäminen voi tarjota merkittäviä investointisäästöjä matkapuhelinoperaattorille.

## 5.2 Tavoitteiden asettaminen artefaktille

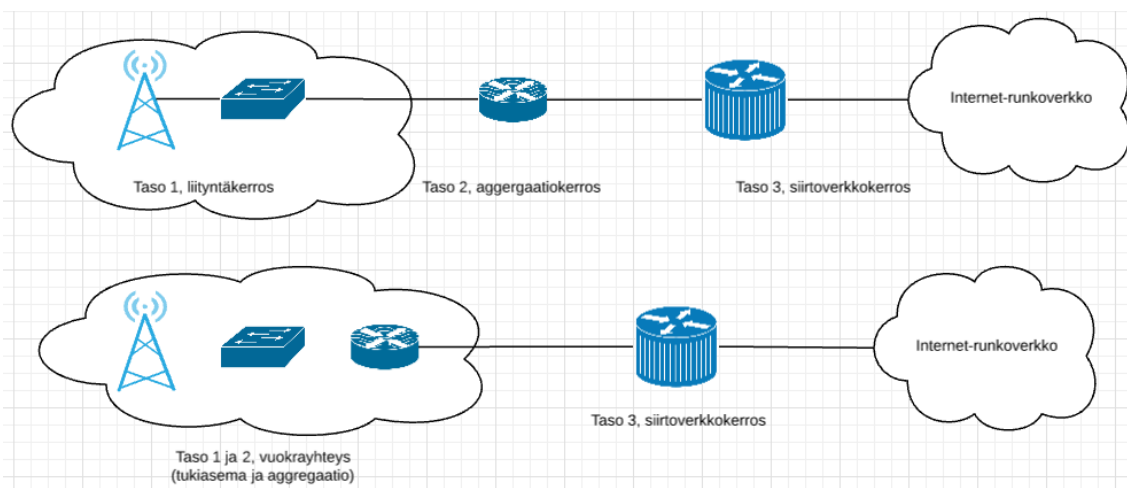
DSRM-prosessin toisessa vaiheessa syvennyttään tarkasti saatavilla olevaan tietoon, joka liittyy tutkittavaan aiheeseen. Artefaktin eli tulevan suunnitteluperiaatteen kannalta

laaditaan tarkat reunaehdot, eli suoritetaan vaatimusmäärittely. Tutkielmassa tarkasteltava tilanne sisältää MBH-verkon yhteyksistä erilaisia skenaarioita, joissa on käytössä CAPEX-investoinnilla toimiva yhteys, vuokratyhteyksiä eli OPEX-investointeja käyttävä yhteys, sekä molempia investointimuotoja sisältävä yhteys. Tuleva kustannusoptimoitu malli pohjautuu nyky suunnitteluperiaatteella toimiva MBH-verkkoyhteys, jossa on mukana laiterajapintojen kapasiteettitieto. Tähän nykytilaan lisätään uudet kustannusmuuttujat mukaan ja määritellään kustannuslaskelmien mukaan kannattavuus. Tavoitteena on löytää apukeino päätöksentekoon tällä kustannusmuuttujalla manuaalisesti soveltaen.



Kuvio 11. Skenaario 1 CAPEX-investoitu MBH-verkko

Kuviossa 11 on verkkokuva ensimmäisestä skenaariosta, jota tullaan käyttämään artefaktia muodostettaessa. Verkkokuva on yksinkertainen kuvaus siitä, minkälainen omalla pääomalla investoitu verkkoyhteys näyttää loogisesti pisteestä-pisteeseen. Normaalisti MBH-verkon yhteydet ovat liittytäkerokselta alkaen pisteestä-useaan pisteeseen olevia kompleksisia rakennelmia, joten rajauksella pyrittiin käsittelemään asiaa tiivistetympin. Internetiin liittyvän runkoverkon osuutta ei myöskään käsitellä tässä tutkielmassa, joten se verkon osa on kuvattu verkkokuvassa pilven muotoisella objektilla. Tutkimusympäristössä on pääasiallisesti käytössä CAPEX-investoitua MBH-verkkoa, jota ylläpidetään matkapuhelinoperaattorin oman henkilökunnan toimesta. CAPEX-investoidulla verkolla voidaan myös ansaita tuottoa vuokraamalla verkkoa muille operaattoreille, tai valokuituusuuskunnille.



Kuvio 12. Skenaario 2 OPEX-investoitu MBH-verkko, kaksi tapaa

Kuviossa 12 on verkkokuva kahdenlaisesta toisen ja kolmannen skenaarion MBH-verkon rakenteesta, jossa tukiaseman ensimmäisen tason liityntäkerroksen yhteydet ovat vuokrattua verkkoa tarjoavalta matkapuhelinoperaattorilta, tai valokuituosuuskunnalta. Kyseisiä verkkorakenteita on matkapuhelinoperaattoreilla käytössään useina variaatioinaan. Vuokrattavan MBH-verkon osan kustannus on lähes poikkeuksetta aina toistaan eri suuruinen vuokran tarjoajan hinnoitteluperiaatteista johtuen kuten esimerkiksi maantieteellisistä sijainneista ja vuokrattavasta kapasiteetista.

Tutkielman tavoitteet rajauksineen esiteltiin pääpiirteittäin tutkielman luvussa 1.1. Tärkeämpinä tavoitteena uudella artefaktilla tulee arvon tuottamisen kannalta olemaan kustannusarvion saaminen mukaan matkapuhelinverkon suunnitteluun. Työn rajauksella pyritään pitämään tutkielma kohtuullisesti rajatussa pisteessä mahdollisuuksien mukaan.

Kapasiteettia ajatellen tulee käytännössä huomioida kapasiteetin tarve ylimmillä verkkokerrostasoilla, mikäli alemmalla tasolla investoidaan suurempaan kapasiteettiin. Kapasiteetti ei kasva kumulatiivisesti ylemmille tasoille, joten on hyvin haastavaa arvioida kapasiteetin tarve ylemmille tasoille. Tässä tutkielmassa ylempien tasojen rajapintojen kapasiteettitarvetta ei käsitellä, vaan tarkoitus on tuoda kustannusvaikutukset käyttöön MBH-verkon suunnittelulle. Tekniseltä näkökulmalta on kuitenkin välttämätöntä, että ylemmän tason rajapinta, tai laite on oltava kapasiteetiltaan ainakin

yhtä suuri tai suurempi, kuin alemman tason rajapinnan laite. Ilman tätä sääntöä yhteys ei tule laisinkaan toimimaan.

### 5.3 Artefaktin suunnittelu ja kehitys

DSRM-prosessin kolmannessa vaiheessa, suunnittelu ja kehitys luodaan artefakti. Tutkimuskysymyksenä tutkielmalle oli laadittu: ”*Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?*”

Tähän voidaan Peffersin ym. kehittämän (2008) teorian mukaan vastata DSRM-prosessilla. Tarkoituksena on DSRM-prosessin avulla artefakti, joka toimii periaatteena matkapuhelinoperaattorin suunnittelijoille ja päättäjille. Teorian mukaan (Peffers ym. 2008) artefakti voi olla konstruktio eli rakennelma, malli, metodi, tai ilmentymä.

Artefaktille määriteltiin kahdessa edellisessä vaiheessa reunaehdot, joilla tuleva artefakti muodostetaan. Näihin ehtoihin määritellään tässä kohdassa artefaktin toiminnallisuudet ja ominaisuudet. Tarkoituksena on myös punnita erilaisia käytössä olevia vaihtoehtoja tulevalle suunnittelusäännölle. Hevnerin ym. (2010) mukaan erilaisten vaihtoehtojen kartoittaminen voi myös perustua tutkielman suorittajan laajaan tietämykseen ja perehtyneisyyteen tutkittavaan asiaan.

Artefaktissa, eli uudessa suunnittelusäännössä tullaan hyödyntämään käytännön teknisistä syistä johtuen olemassa olevia suunnitteluperiaatteita. Kapasiteetti ohjaa voimakkaasti rakentamista myös tulevaisuudessa ennakoivalla suunnittelulla välttämällä pullonkaulojen muodostumista, joka aiheuttaa asiakkaisissa tyytymättömyyttä heikentyneen käytettävyyden ja saatavuuden johdosta. Tästä syystä tekniset ja laadulliset seikat pyritään pitämään ennallaan, koska on suuri riski aiheuttaa vahinkoa muuttamalla hyvin toimivaa käytäntöä.

Tutkielman tavoitteena oli tuoda uutena huomioitavana asiana kustannusten näkyvyys nyky suunnittelun rinnalle, sekä todentamaan onko siinä aihetta suunnittelusääntöjen

jatkokehittämiselle kustannuksia vahvemmin huomioiden. Tulevan artefaktin täytyy osoittaa minkälainen uusi suunnittelusääntö on. Tulevan kustannuslähtöinen suunnittelusääntö tarvitsee mallintaa työkalun, jolla käyttäjä voi havainnoida lukuarvoiltaan erilaisia kustannusmuuttujia. Työkalulla voidaan kuvata ja mallintaa artefakti, eli uusi suunnittelusääntö. Työkalussa käytettävän tiedon määrää täytyy tarkoin harkita, että käytössä olisi ainoastaan tutkimuksessa tarvittavaa tietoa. Seuraavaksi havainnollistetaan mistä tulevat arvot muodostuvat, joita tarvitaan kustannuksia mallintavassa työkalussa ja artefaktia kuvattaessa.

Matkapuhelinoperaattoreilla on MBH-verkon analysoimiseen käytössään erilaisia tarkkaa dataa tuottavia järjestelmiä, joita he käyttävät omiin tarkoituksiin analysoidessaan verkon suorituskykyä. Tukiasemilla, MBH-verkoilla, tietoliikennelaitteilla, laitetiloilla ja näiden välisillä yhteyksillä on jokaisella matkapuhelinoperaattorilla omat nimeämiskäytäntönsä, joilla he kykenevät identifioimaan kohteen tietojärjestelmissään. Tutkielmassa käytetään kohteille ainoastaan universaaleja nimeämisiä, sekä viitteellisiä arvoja. Tietoliikennelaitteiden ja yhteyksien rajapinnoilla olevat kapasiteettitiedot kuvataan myös viitteellisinä arvoina. Tutkielmassa on käytössä julkisessa muodossaan olevia kapasiteettitietoja, kuten tyyppilliset 100:n, 300:n 500:n Megabitin, sekä yhden Gigabitin kapasiteetit tukiasemakohteessa. Tästä ylemmällä tasolla olevat kapasiteetit ovat kymmenen Gigabitin suuruisia yhteyksiä.

Artefaktin muodostamisen kannalta on tärkeää tutkia kahta investointimuotoa, eli CAPEX- ja OPEX-investointeja. Näillä arvona on euro (€), joka tulevassa mallissa esitetään kuukausittaisena kulueränä. Investoinneista puhuttaessa ymmärretään sen tuottavan tuottoja. Tässäkin tapauksessa CAPEX-investoiduissa kohteissa on mahdollista ansaita tuottoa, joka on merkittävä asia investointeja punnitessa. Laitetilan tiloja on mahdollista vuokrata edelleen muille operaattoreille, tai omaa investoitua kapasiteettia voidaan vuokrata toiselle matkapuhelin- tai valokuituoperaattorille. Investoitava kohde on yleensä MBH-verkoissa jokin yhteys kahteen pisteeseen väliltä. Yleensä voidaan käyttää maan sisälle kaivettuja valokuituja, mikäli vapaita on käytössä. Joskus voi kuitenkin tulla tarve rakentaa lisää, kun ei ole vapaita valokuituja, tai yhteyttä uuteen kohteeseen ei ole saatavilla.

Tyypillisesti uuden tukiaseman rakentaminen vaatii maston ja laiteaseman rakentamista. Laiteasemat ovat pieniä rakennuksia, jotka ovat rakennussäädösten puitteissa rakennettu. Jokainen tietoliikennelaite ja laiteasema tarvitsevat korkealla käyttöasteella toimivaa sähköjärjestelmää, joten OPEX-kustannusmuuttujana tulee aina olemaan sähkömaksu, oli sitten kyseessä CAPEX-investointi, tai vuokratyökohteeseen. Sähkömaksut on lähes poikkeuksetta erisuuruiset eri kohteissa, riippuen kohteen ratkaisusta ja sähköyhtiöstä.

Jokaisen kohteen kuluissa on myös muita muuttuvia kuluja sähkömaksujen lisäksi. Näitä ovat tyypillisesti laittilojen, kuten keskuksien ylläpitokulut mihin kuuluvat esimerkiksi siivousmaksut, vartiointiliikkeen maksut, vesimaksut, sekä muut ylläpitoon liittyvät kustannukset.

Vuokrayhteys-kohteissa näiden maksujen lisäksi OPEX-kustannukset muodostuvat vuokrattavan siirtoyhteyden maksusta, joka on riippuvainen vuokranantajan laskutusperiaatteista, kuten vuokrattavan yhteyden kapasiteetin suuruudesta ja yhteyden kapasiteetin teknisen laatutason tyypistä.

Nämä kustannusmuuttujat ovat olennaisia artefaktia muodostettaessa, joita demonstroidaan seuraavassa vaiheessa. CAPEX-investointeja tehtäessä on otettava huomioon useita asioita. Investointimielessä tärkeä tekijä on investoinnin takaisinmaksuaika. Tämä täytyy ottaa huomioon artefaktia muodostettaessa, riippuen millaiselle alueelle kyseinen kapasiteettilaajentaminen kohdistuu. Artefaktin kannalta on myös tärkeää pohtia miten tulevat alueet tulevat kehittymään, jonne rakentaminen kohdistuu. Kapasiteetin tarpeen kannalta täytyy ottaa huomioon konstruktiivisella kannalla, onko järkevämpää investoida yhden Gigatavun suuruisella yhteydellä olemassa olevan yhden Gigatavun yhteyden rinnalle, vai kannattaako investoida suoraan kymmenen Gigatavun yhteyteen.

Konstruktiivisia ja taloudellisia laskentatapoja tullaan tarvittaessa soveltamaan artefaktiin iteraatioiden avulla, mikäli yhden syklin tuottama mallinnus ei tuota haluttua tulosta. Tulevalle artefaktille kuvataan alustavasti kaksi ehtoa, joita tullaan demonstroimaan seuraavassa vaiheessa. Kolmantena ehtona on tutkimuksen tärkein kysymys artefaktille,

eli millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?

- Matkapuhelinoperaattorin oman verkon alueilla kapasiteettilaajentaminen käynnistyy voimassa olevan suunnittelusäännön mukaisesti joka tapauksessa. Artefakti: CAPEX-investointia käytetään aina, mikäli rakentamiskustannukset eivät kohoa yli budjetoidun.
- Vuokrayhteyskohteissa kapasiteettilaajentaminen käynnistyy voimassa olevan suunnittelusäännön mukaisesti joka tapauksessa. Artefakti: Mikäli vuokrayhteyskohteissa OPEX-kustannukset ylittävät 10000 €/kk rajan, niin käytetään CAPEX-investointia tarvittavalle kapasiteetille, mikäli maantieteellisesti se on mahdollista.

#### 5.4 Artefaktin demonstrointi

DSRM-prosessin (Pefferers ym. 2008) neljännessä vaiheessa havainnollistetaan artefaktia ja miten se soveltuu ennalta määritellyn ongelman ratkaisemiseksi. Suunnitteluvaiheessa muodostettiin artefaktit, eli minkälainen uusi suunnittelusääntö on ja miten sen tulee toimia. Nyt demonstroidaan olemassa olevaa suunnittelusääntöä kustannusnäkökulmasta, jossa on oma sääntö vuokrajohtoliselle MBH-verkolle, sekä CAPEX-investoidulle matkapuhelinyhtiön omalle MBH-verkolle.

Artefakteja demonstroitaessa valittiin molempiin suunnitteluperiaatteisiin sopivat skenaariot eräästä Suomen kaupungin MBH-verkon tukiasemayhteyksistä, jossa on tutkittavan matkapuhelinoperaattorin omaa ja muiden matkapuhelinoperaattoreiden toimittamaa vuokrayhteysverkkoa. Taulukko 3 sisältää MBH-verkon tukiasemayhteyden operatiiviset kustannusmuuttujat, joita ovat sähkökustannukset ja muut muuttuvat kustannukset. MBH-verkon laitetilasta saadut vuokratuotot ovat positiivisena lukuna.

Taulukko 3. Artefaktin CAPEX-skenaariot

Tukiasema	Toteutus kapasiteetti	Opex-sähkö €/kk	Opex-muut €/kk	Opex-yht €/kk	Vuokratuotto €/kk
CAPEX-kohde 1	Kuitu 100M	7000	5500	12500	0
CAPEX-kohde 2	Kuitu 100M	5100	3900	9000	0
CAPEX-kohde 3	Kuitu 100M	2100	2100	4200	6400
CAPEX-kohde 4	Kuitu 100M	2600	650	3250	0
CAPEX-kohde 5	Kuitu 100M	4400	400	4800	8400
CAPEX-kohde 6	Kuitu 100M	3000	4100	7100	0
CAPEX-kohde 7	Kuitu 1G	7300	3300	10600	6800
CAPEX-kohde 8	Kuitu 1G	2600	700	3300	4800
CAPEX-kohde 9	Kuitu 1G	950	1500	2450	0
CAPEX-kohde 10	Kuitu 1G	500	1400	1900	5700
CAPEX-kohde 11	Kuitu 1G	5500	2900	8400	0
CAPEX-kohde 12	Kuitu 1G	3100	1200	4300	0
CAPEX-kohde 13	Kuitu 1G	400	1000	1400	3700
CAPEX-kohde 14	Kuitu 1G	4400	3200	7600	9100
CAPEX-kohde 15	Kuitu 1G	2300	3000	5300	6500
CAPEX-kohde 16	Kuitu 1G	3000	3200	6200	0
CAPEX-kohde 17	Kuitu 1G	2000	340	2340	4000
CAPEX-kohde 18	Kuitu 1G	2900	0	2900	6500

Taulukosta 3 voidaan havaita MBH-verkon yhteyksiä, joissa vuokratuotoilla on saatu operatiiviset kustannukset katetuksi. Löytyy myös tapauksia, joissa vuokratuottoa ei ole lainkaan, tai tuotot jäävät operatiivisten kustannusten alle.

Artefaktin toisen uuden suunnittelusäännön mukaan oli kyseessä MBH-verkon vuokrayhteys-kohteista, jotka ovat määritelty taulukossa 4. Tapauksen skenaariot ovat otettu edellisen tapauksen mukaan samasta verkostoalueen MBH-verkosta.

Taulukko 4. Artefaktin OPEX-skenaariot

Tukiasema	Toteutus	Opex-siirto €/kk	Opex-sähkö €/kk	Opex-muut €/kk	Opex-yht €/kk
Vuokra-kohde 1	Vuokra 100M	2900	0	2000	4900
Vuokra-kohde 2	Vuokra 100M	2940	2200	3100	8240
Vuokra-kohde 3	Vuokra 300M	2500	3700	2900	9100
Vuokra-kohde 4	Vuokra 300M	3100	5900	2800	11800
Vuokra-kohde 6	Vuokra 300M	2940	6400	4500	13840
Vuokra-kohde 7	Vuokra 300M	2940	1800	3100	7840
Vuokra-kohde 8	Vuokra 300M	2940	550	2100	5590
Vuokra-kohde 9	Vuokra 300M	2940	5065	2800	10805
Vuokra-kohde 10	Vuokra 300M	2940	4800	2700	10440
Vuokra-kohde 11	Vuokra 300M	3840	1200	1900	6940
Vuokra-kohde 12	Vuokra 300M	2640	1234	600	4474
Vuokra-kohde 13	Vuokra 300M	2940	5000	3500	11440
Vuokra-kohde 14	Vuokra 300M	6180	4500	2600	13280
Vuokra-kohde 15	Vuokra 300M	3540	7400	9000	19940
Vuokra-kohde 16	Vuokra 300M	3540	3600	4600	11740
Vuokra-kohde 17	Vuokra 300M	3240	3400	3100	9740
Vuokra-kohde 18	Vuokra 500M	3840	0	720	4560

Taulukkoon 4 määriteltiin MBH-verkon vuokratyhteisillä toimivat tapaukset, jossa hälytysraja on OPEX-kustannuksien kokonaismäärällä 10000€. Näissä tapauksissa, joissa hälytysraha ylittyy, käynnistyy CAPEX-investoitu rakentamisprosessi. Näissä tapauksissa säästetään kapasiteetin siirtomaksuista, mutta vuokratuottoa ei välttämättä tule, koska alueella on ennestään toisen matkapuhelinoperaattorin yhteydet. Tämä mahdollistaa matkapuhelinoperaattorille uuden tarkastelukulman. Peffersin ym. (2008) mukaisesti DSRM-prosessin avulla löydettiin uusia etuja artefaktin käytöstä. Tämä tarkoittaa sitä, että ennakoivalla suunnittelulla on mahdollista investoida kyseisille alueille suuremmalla kapasiteetilla, mikäli väestönkasvua voidaan ennakoida. Tällöin tulee mahdolliseksi se, että tekniikan kehittyttyä kilpaileva matkapuhelinoperaattori pyytää vuokratarjoista sijoitettua kapasiteetista, jolloin saadaan vuokratuottoa.

## 5.5 Artefaktin arviointi

DSRM-mallin viidennessä vaiheessa arvioidaan demonstroitu artefakti. Käsittelyssä oli matkapuhelinoperaattorin CAPEX-investoidun MBH-verkon kohteita, sekä toisilta matkapuhelinoperaattoreilta vuokrattuja MBH-verkon yhteyksiä.

Skenaariossa matkapuhelinoperaattorin oman MBH-verkon kohteissa käytössä oli laaja koko matkapuhelinoperaattorin verkkotietojen sisältävä Excel-taulukko, josta oli varsin helppo suodattaa poikkeamat näkyviin. Poikkeamilla tarkoitettiin suunnittelusääntöä, joissa suunnittelusäännön ulkopuolelle kuuluvat kohteet saatiin esiin laajasta tietomäärästä.

Ensimmäisessä skenaariossa matkapuhelinoperaattorin oman MBH-verkon tiedoissa esiintyvät kohteet, joissa vuokratuottoja ei ollut, tai ne jäivät kokonais-OPEX:n alle. Vuokrayhteyksiä koskevassa suunnittelusäännössä poikkeavat verkkotiedot saatiin esiin suodattamalla Excelissä kaikki yli 10000€ ylittävät OPEX -kohteet näkyviin.

Kokonaisvaltaisesti artefaktin muodostaminen ensimmäisellä syklillä ei täyttänyt kaikkia tavoitteita täydellisesti. Arvioinnin jälkeen mallinnettu artefakti päätettiin iteroida uudelleen, jonka suunnittelu toteutetaan kappaleessa 5.6.

## 5.6 Artefaktin suunnittelun ja kehityksen iteraatio

Iteraationsyklillä korjataan ja parannetaan ensimmäisen syklin arviointivaiheessa artefaktin havaittuja puutteita ja virheitä. Virheitä ensimmäisessä suunnittelusäännössä ei ollut, koska Excel-työkalu osasi poimia oikeat kohteet kymmenien tuhansien tukiasemayhteyksien joukosta. Jatkokehityksenä tähän malliin haluttiin taloudellisempi arvio sijoitetun pääoman nykyarvomenetelmällä. Nykyarvomenetelmää (NPV) päätettiin

käyttää pääoman tuottoasteen (ROI) sijasta teorian luvun 2.7 mukaisesti, koska NPV antaa päätöksentekijälle selkeän käsityksen tuoko investointi lisäarvoa vai ei.

NPV:n soveltaminen Excel kaavassa vaatii monimutkaisen kaavan laskemiseen. Yksinkertaistamiseksi suunnitellaan laskettavan manuaalisesti 7 vuoden takaisinmaksuajalla vuosittainen OPEX-kustannus. Käytetään skenaariossa CAPEX-investoituja kohteita, joilla ei ole vuokratuottoa. Tavoitteena on löytää sopiva tuottovaatimus, jolla päästään lähes tasalukemiin kertyneen vuosittaisen OPEX:n kanssa.

Tavoitteena on saada käsitys minkälaisella vuosittaisella tuottovaatimuksella tukiasemayhteydet olisi hinnoiteltava. Käytössä ei ole matkapuhelinoperaattorien palveluhinnastoja suhteutettuna asiakasmäärään, joten tarkkaa hinta-arviota ei tässä työssä ole tarkoitus toteuttaa. Tavoitteena on saada kustannusnäkyvät visuaalisesti tarkasteltavaksi suunnittelijoille ja päättäjille.

Matkapuhelinoperaattoreiden suunnittelulla ja rakennuttamisella on käytössään vuosittaiset taloudelliset budjetit investointihankkeilleen, jotka on otettava huomioon myös artefaktissa. Päätettiin hyödyntää tätä budjettia artefaktin suunnittelusäännölle, joka on CAPEX-investoidulle MBH-verkolle.

Artefaktin kuvaamiseksi asetettiin uudet reunaehdot, jossa edelleen tutkimuskysymys on tärkein vaatimus, eli *”Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?”* Kaksi muuta reunaehto ovat:

- Matkapuhelinoperaattorin oman verkon alueilla kapasiteettilaajentaminen käynnistyy voimassa olevan suunnittelusäännön mukaisesti joka tapauksessa. CAPEX-investointia käytetään aina, mikäli rakentamiskustannukset eivät kohoa yli budjetoidun.
- Vuokrayhteyksikohteissa kapasiteettilaajentaminen käynnistyy voimassa olevan suunnittelusäännön mukaisesti joka tapauksessa. Mikäli vuokrayhteyksikohteissa OPEX-kustannukset ylittävät 10000 €/kk rajan, niin käytetään CAPEX-

investointia tarvittavalle kapasiteetille, mikäli maantieteellisesti se on mahdollista.

## 5.7 Iteraation demonstrointi

Iteroitavan artefaktin demonstroinnissa hyödynnetään ensimmäisellä syklillä muodostettua mallia, jossa olivat skenaariot oman ja vuokrayhteysverkon kohteista. Korjattavaan malliin muutetaan kuukausittaiset OPEX-kulut vuosittaisiksi, koska NPV lasketaan vuositalolla. Työssä on tarkoitus saada kustannusmalli tukiasemayhteyksien verkkotietojen ohelle. Käytössä ei kuitenkaan ole asiakas- tai laskutustietoja, joten tarkkaa tulovirtaa on vaikea arvioida. NPV:n laskennassa tuottona käytetään vuosittaisen OPEX-kustannuksien jakamista seitsemällä vuodella, joka on jokaisessa miinusmerkkinen euromäärä. Näin ollen tuottoasteella, joka on asetettu kymmeneen- ja 15 prosenttiin saadaan NPV:n arvoksi myös miinusmerkkinen euromääräinen tulos.

Matkahuolinoperaattorin oman tukiasemaverkon, eli CAPEX-investoidun verkon kustannusmalli esitetään taulukossa 5, jossa uusina muuttujina ovat yhteenlaskettu OPEX vuositasolla, vuosittainen vuokratuotto, NPV:lle 7 vuoteen jaettu tuotto-odotus 15% diskonttauskorolla, sekä vuosittainen vuokratuotto vähennettynä kokonaiskuluilla. NPV:n laskennassa käytettiin kappaleessa 2.7 esitettyä laskentakaavaa.

Taulukko 5. Iteroidun artefaktin CAPEX-skenaariot

Tukiasema	Toteutus	Opex-yht €/v	Vuokratuotto €/v	NPV 7v, 15%	Tuotto-kulut
CAPEX-kohde 1	Kuitu 100M	150000	0	-60848	-60848
CAPEX-kohde 2	Kuitu 100M	108000	0	-43811	-43811
CAPEX-kohde 3	Kuitu 100M	50400	76800	-20445	56355
CAPEX-kohde 4	Kuitu 100M	39000	0	-15821	-15821
CAPEX-kohde 5	Kuitu 100M	57600	100800	-23366	77434
CAPEX-kohde 6	Kuitu 100M	85200	0	-34562	-34562
CAPEX-kohde 7	Kuitu 1G	127200	81600	-51599	30001
CAPEX-kohde 8	Kuitu 1G	39600	4800	-16064	-11264
CAPEX-kohde 9	Kuitu 1G	29400	0	-11926	-11926

CAPEX-kohde 10	Kuitu 1G	22800	68400	-9249	59151
CAPEX-kohde 11	Kuitu 1G	100800	0	-40890	-40890
CAPEX-kohde 12	Kuitu 1G	51600	0	-20932	-20932
CAPEX-kohde 13	Kuitu 1G	16800	44400	-6815	37585
CAPEX-kohde 14	Kuitu 1G	91200	109200	-36996	72204
CAPEX-kohde 15	Kuitu 1G	63600	78000	-25800	52200
CAPEX-kohde 16	Kuitu 1G	74400	0	-30181	-30181
CAPEX-kohde 17	Kuitu 1G	28080	48000	-11391	36609
CAPEX-kohde 18	Kuitu 1G	34800	78000	-14117	63883

Tuloksista voidaan päätellä, että NPV:n laskenta toimii suunnitellusti. Excel-taulukkoon syötettiin teorialuvussa 2.7 käytetty laskentakaava, jonka muuttujina toimivat mainitut arvot. Oletuksena kaikille kohteille, joilla ei ollut tuloja NPV:n arvo on miinusmerkkinen. Suunnittelijoilla ja päättäjillä on käytössään kohteilta saatavat asiakastiedot, joten kaavaa on helppo muuttaa vuosittaisilla, tai kuukautisilla tuottoasteilla ja näin diskonttaus korkoa muuttamalla saamaan toivotunlaisen tuloksen kannattavuutta arvioitaessa.

OPEX-kohteissa, eli vuokrayhteyksissä on myös sama lähtötilanne kuin CAPEX-investoiduissa kohteissa. Asiakastietoja ei ole käytössä, joten tulovirtaa ei lähdetty tavoittamaan. Taulukossa 6 on mallinnettu ensimmäisestä syklistä saatuja tietoja laskemalla vuosittainen euromääräinen kokonais-OPEX, sekä NPV:lle 7 vuoteen jaettu tuotto-odotus 15% ja 10% diskonttauskorolla.

Vuokrayhteyksien kohdalla suunnittelusääntönä on edelleen rakentamisen käynnistäminen CAPEX-investoituun matkapuhelinverkkoon, mikäli kuukausittainen OPEX ylittyy 10000 €:lla.

Taulukko 6. Iteroidun artefaktin OPEX-skenaariot

Tukiasema	Toteutus	Opex-yht €/v	NPV 7v, 15%	NPV 7v, 10%
Vuokra-kohde 1	Vuokra 100M	58800	-23852	-17905
Vuokra-kohde 2	Vuokra 100M	98880	-40111	-30110
Vuokra-kohde 3	Vuokra 300M	109200	-44297	-33253
Vuokra-kohde 4	Vuokra 300M	141600	-57441	-43119
Vuokra-kohde 6	Vuokra 300M	166080	-67371	-50573
Vuokra-kohde 7	Vuokra 300M	94080	-38164	-28648

Vuokra-kohde 8	Vuokra 300M	67080	-27211	-20427
Vuokra-kohde 9	Vuokra 300M	129660	-52597	-39483
Vuokra-kohde 10	Vuokra 300M	125280	-50820	-38149
Vuokra-kohde 11	Vuokra 300M	83280	-33783	-25360
Vuokra-kohde 12	Vuokra 300M	53688	-21779	-16349
Vuokra-kohde 13	Vuokra 300M	137280	-55688	-41803
Vuokra-kohde 14	Vuokra 300M	159360	-64645	-48527
Vuokra-kohde 15	Vuokra 300M	239280	-97065	-72864
Vuokra-kohde 16	Vuokra 300M	140880	-57149	-42900
Vuokra-kohde 17	Vuokra 300M	116880	-47413	-35591
Vuokra-kohde 18	Vuokra 500M	54720	-22197	-16663

NPV:n laskennan tuottamista tuloksista voidaan todeta kaavan toimivan tavoitteen mukaisesti. Oletetusti NPV on miinusmerkkinen, mutta vuosittaista ja siitä laskettua kuukausittaista tuottoastetta on helppo muuttaa tehtyyn kaavaan haluttuun muotoon, joka laskee tavoitellun hinnan.

## 5.8 Iteroidun artefaktin arviointi

Iteroidun artefaktin mallintaminen ja demonstroiointi koettiin onnistuneeksi ja täytti vaatimukset, joita kustannuskomponenttien mukaantulona odotettiin. NPV:n laskentakaavan sisältämä kustannustaulukkoa voidaan näin ollen soveltaa matkapuhelinoperaattorin verkkotietoja sisältävässä taulukossa, jossa on esimerkiksi kaikki olennainen tieto MBH-verkon rajapintojen yhteyksistä. Varsinainen arviointi iteraatiolle pystyttiin suorittamaan jo iteraation demonstroiointivaiheessa, jolloin NPV:n lasketut arvot saatiin mallinnettua kustannuskomponentiksi verkkotietojen rinnalle. Laskentakaava toimi kuten oli suunniteltu, sekä kaavan arvoja muuttamalla pystyttiin vaikuttamaan tulokseen. Varsinaisia asiakastietoja kun ei ole saatavilla, voidaan siihen soveltaa kuvitteellista vuosittaista tuotto-odotusta, joka lisätään yhteenlaskettu OPEX seitsemällä vuodella jaettuna.

Arvioidaan lopuksi mallinnuksen toimivuus taulukossa 7, kun kyseessä on OPEX-kohteet, eli vuokrayhteydelliset kohteet. Arvioidaan jokaisen kapasiteetiltaan 100 Megabitin yhteyden tuottavan joka vuosi 55000€, 300 Megabitin yhteyden 80000 € ja 500 Megabitin yhteyden 100000 €. Käytetään diskonttaus korkona, eli tuottoasteena 10%.

Taulukko 7. Iteroidun artefaktin OPEX-skenaariot tuottoarviolla laskettuna

Tukiasema	Toteutus	Opex-yht €/v	NPV 7v, 15%	NPV 7v, 10% arvio
Vuokra-kohde 1	Vuokra 100M	58800	-23852	20347
Vuokra-kohde 2	Vuokra 100M	98880	-40111	8142
Vuokra-kohde 3	Vuokra 300M	109200	-44297	22386
Vuokra-kohde 4	Vuokra 300M	141600	-57441	12520
Vuokra-kohde 6	Vuokra 300M	166080	-67371	5066
Vuokra-kohde 7	Vuokra 300M	94080	-38164	26991
Vuokra-kohde 8	Vuokra 300M	67080	-27211	35212
Vuokra-kohde 9	Vuokra 300M	129660	-52597	16156
Vuokra-kohde 10	Vuokra 300M	125280	-50820	17490
Vuokra-kohde 11	Vuokra 300M	83280	-33783	30279
Vuokra-kohde 12	Vuokra 300M	53688	-21779	39290
Vuokra-kohde 13	Vuokra 300M	137280	-55688	13836
Vuokra-kohde 14	Vuokra 300M	159360	-64645	7112
Vuokra-kohde 15	Vuokra 300M	239280	-97065	-17224
Vuokra-kohde 16	Vuokra 300M	140880	-57149	12739
Vuokra-kohde 17	Vuokra 300M	116880	-47413	20048
Vuokra-kohde 18	Vuokra 500M	54720	-22197	52886

Todetaan että malli toimii edelleen, kun NPV:n laskentakaavaan lisätään vuosittaiset tuottoarviot. Kyseiset tuottoarviot ovat kuvitteellisia, joita käyttäjä voi muuttaa haluamalla tavallaan. Oheinen laskentamenettely löysi myös poikkeaman skenaariosta, jossa vuokra-kohde 15 jäi miinusmerkkisen puolelle. Tämä voisi olla esimerkki siitä, että kannattaa arvioida tilanne kohteessa voiko sinne investoida CAPEX-rakentamisella.

Artefaktille määriteltiin suunnitteluvaiheessa reunaehdot, joita lähdettiin tavoittamaan:

- Tutkimuskysymys: ”Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?”

- Matkapuhelinoperaattorin oman verkon alueilla kapasiteettilaajentaminen käynnistyy voimassa olevan suunnittelusäännön mukaisesti joka tapauksessa. CAPEX-investointia käytetään aina, mikäli rakentamiskustannukset eivät kohoa yli budjetoidun.
- Vuokrayhteyskohteissa kapasiteettilaajentaminen käynnistyy voimassa olevan suunnittelusäännön mukaisesti joka tapauksessa. Mikäli vuokrayhteyskohteissa OPEX-kustannukset ylittävät 10000 €/kk rajan, niin käytetään CAPEX-investointia tarvittavalle kapasiteetille, mikäli maantieteellisesti se on mahdollista.

Tutkimuskysymykseen artefaktin mallintaminen antoi vastauksen DSRM-mallin mukaisella luomisprosessilla. Uudelleen iteroitu mallinnus antoi hyvän kuvan rakenteesta ja sen toiminnoista miten eri kustannusarvioita pystytään muokkaamaan mallin avulla. Mallinnuksen luotettavuus todennettiin pitäväksi, vaikka muutettiin useita muuttujia demonstroi- ja arviointivaiheissa. Kyseistä mallia voi siis käyttää laajempien kokonaisuuksien rinnalla.

Matkapuhelinoperaattorilla on vuotuiset budjetit käytössään MBH-verkon suunnittelulle ja rakentamiselle. Siinä tukee edelleen tekniset suunnittelusäännöt. Rakentamiskustannuksia vertaamalla budjetoituun rahasummaan voidaan luodun mallin avulla käyttää arvioidessaan CAPEX-investointeja. Pullonkauloja ehkäisemällä kapasiteettilaajennuksissa mallia voidaan käyttää suunnittelusääntöjen apuna hahmottaessaan investointeja mahdollisesti laskentatehoisesti suurempaan laitteeseen. Kustannusmuuttujia hyödyntämällä NPV-kaavaa käyttäen voidaan arvioida kannattavuus rakennettavaan kohteeseen. Useimmat valvontajärjestelmät ovat jatkuvan kehittämisen parissa matkapuhelinoperaattoreilla, joten NPV-laskentakaava voidaan lisätä suunnittelijoiden käyttämiin verkkotietojärjestelmiin suunnittelukohteen kustannuksia arvioitaessa.

MBH-verkon vuokrayhteyksiä sisältävissä OPEX-kohteissa toimii samat tekniset suunnittelusäännöt kuten nykyään. Euromääräinen vuokratustannusraja toimii periaatteellisena suunnittelusääntönä, mutta NPV-laskentakaavan tullessa mallinnukseen

saatiin kattava näkemys kustannuksien muodostumiseen ja siihen minkälaisella tuotto-odotuksella kohde on kannattava. Mallinnettu taulukko antoi osviittaa myös poikkeamista, vaikka tuotto-odotukset olivatkin melko suuria, joihin voidaan reagoida lyhyellä ajalla. Näissä poikkeavat kohteet herättävät kysymyksiä suunnittelijoilla ja päättäjillä, voiko kyseisistä kohteista saada säästöä investoimalla kohteeseen omalla verkko-infrastruktuurilla.

## 5.9 Viestintä

Artefaktin tutkimuksesta saadut tulokset ja löydökset julkaistaan ja jaetaan soveltuvalle kohdeyleisölle Vaasan yliopistossa, sekä kohdeorganisaation johtoryhmän tarkasteltavaksi myöhempää käyttöä varten. Tutkimuksen tulokset julkaistaan pro gradu -tutkielmana painettuna, sekä digitaalisena verkkojulkaisuna tutkijayhteisölle, joita he voivat hyödyntää omissa tutkimuksissaan. Pro gradu -tutkielman julkaisuasu noudattaa Vaasan yliopiston kirjoitusohjeita ja on näin ollen julkaisu- ja vertailukelpoinen.

## 6. DISKUSSIO

Tutkielman tarkoituksena oli mallintaa kustannuslähtöisempi suunnittelusääntö eräälle matkapuhelinverkko-operaattorille. Referenssinä tutkielmalle käytin matkapuhelinverkko-operaattorin käyttämiä suunnittelusääntöjä, MBH-verkon laitetietoja, sekä taloudellisia lukuja, joista muodostin kokonaisuuden lukujen helpompaan vertailuun. Tieteelliseltä näkökulmalta tutkin aihetta käyttäen suunnittelutiedettä tutkimusmenetelmänä, jolla pystyttiin muodostamaan artefakti. Artefakti mallinnettiin DSRM-prosessin (Peffer ym. 2008) mukaisesti. Kehittämäni artefakti toi lisää näkyvyyttä tarkasteltaviin tietoihin, sekä muodosti kaksi uutta suunnittelusääntöä matkapuhelinverkko-operaattorille. Molemmat ovat hyödyllisiä nykyisten suunnittelusääntöjen rinnalle suunnittelijoiden, sekä päättäjille auttamaan investointien päätöstenteeoissa. Tutkimuksessa mallinnettua suunnittelusääntöä testattiin kahdella eri skenaariolla käyttäen reaaliaikaista tietoa matkapuhelinverkko-operaattorin MBH-verkosta.

### 6.1 Tulokset ja johtopäätökset

Tutkimusmenetelmänä käytin suunnittelutieteellistä DSRM-prosessia (Peffer ym. 2008), jossa pohjatietona käytin olemassa olevia suunnittelusääntöjä, sekä matkapuhelinverkko-operaattorin verkkotietoja. Olemassa olevien suunnittelusääntöjen todettiin olevan teknisesti ja laadullisesti niin päteviä, ettei niitä tulla muuttamaan, vaan pyrittiin löytämään kustannuslähtöisempi suunnittelusääntö olemassa olevien rinnalle.

Matkapuhelinverkko-operaattoreilla on käytössään useita tietojärjestelmiä, joilla he kykenevät valvomaan reaaliaikaisesti matkapuhelinverkoissaan tapahtuvia asioita monin eri tavoin. Tärkeimpiä ja yleisimpiä tietojärjestelmiä ovat eräät reagointijärjestelmät, jotka ovat myös visuaalisesti ja automaation kannalta kehittyneitä esittämään laitetietoa tietoa käyttäville tahoille.

Tutkielman tavoitteena oli vastata tutkimuskysymykseen: Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille? Tähän vastausta lähdettiin tutkimaan teorian kautta teknisen tiedon avulla, antaakseen lukijalle ymmärryksen matkapuhelinverkkojen koostumuksesta ja siitä, miten kustannukset muodostuvat. Myös miksi on tärkeää käyttää ennakoivaa suunnittelua, jotta matkapuhelinverkon haluttu laatutaso säilyy. Taulukossa laskukaavion kustannusmuuttujan arvoja muuttamalla on varsin helppo visuaalisesti saada ymmärrys siihen, miten pieni muutos voi vaikuttaa koko MBH-verkon yhteyteen.

Kustannusoptimoitua suunnittelusääntöä havainnollistettiin Excel-taulukoon kerättyjen skenaariokohteiden kautta, jotka olivat poimittu matkapuhelinverkko-operaattorin verkkotietojärjestelmästä. Tähän malliin tuotiin kustannusmuuttujana toimiva laskentatoiminto rinnalle, jossa käytettiin NPV:n laskukaavaa.

Artefaktia suunniteltaessa havaittiin, että on tarpeellista tutkia CAPEX- ja OPEX-investoituja kohteita omilta näkökulmiltaan, koska niissä kustannukset ja ansaintamallit muodostuvat eri tavoin. DSRM-prosessin (Peffer ym. 2008) ensimmäisellä syklillä suunniteltiin artefaktille kaksi erilaista mallia, eli suunnittelusääntöä. CAPEX- ja OPEX-investoiduilla kohteilla oletuksena on käyttää voimassa olevia suunnittelusääntöjä jokaisessa kapasiteettilaajennustapauksessa. Ensimmäisen syklin arviointivaiheessa todettiin, ettei luotu artefakti toiminut täysin toivotulla tavalla OPEX-kohteissa, koska se ei ollut tarpeeksi kattava.

Artefakti iteroitiin DSRM-prosessin (Peffer ym. 2008) toisella syklillä uudelleen, joka aloitettiin artefaktin suunnittelusta. Päätettiin käyttää edelleen pohjatietona CAPEX- ja OPEX-investoiduissa kohteissa olemassa olevia suunnittelusääntöjä. CAPEX-kohteissa suunnittelusääntönä toimi edelleen ensimmäisen syklin määrittämä sääntö, mutta OPEX-kohteissa lisättiin kuukausittainen kustannusraja, joka on jatkossa itse kohdeyrityksen määrittämä.

Iteroitu artefakti demonstroitiin skenaarioiden avulla useasti ja testattiin kohdeyrityksen antamassa verkkotietotaulukossa toimivaksi. Uusiksi suunnittelusäännöiksi muodostui lopulta kaksi uutta suunnittelusääntöä.

- CAPEX-investointia käytetään aina, mikäli rakentamiskustannukset eivät kohoa yli budjetoidun.
- Mikäli vuokrayhteyskohteissa OPEX-kustannukset ylittävät 10000 €/kk rajan, niin käytetään CAPEX-investointia tarvittavalle kapasiteetille, mikäli maantieteellisesti se on mahdollista.

Tämän lisäksi tutkimus vastasi tutkimuskysymykseen: ”*Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?*”, joka auttaa kohdeorganisaatiota jatkokehittämään työkalua, jota käytettiin artefaktia kuvattaessa.

Tutkimuksessa mallinnetun työkalun mallintamisessa käytettiin useita muuttujia matkapuhelinverkon kulurakenteissa, jotka rajauksella pysyivät kohtuullisesti tulkittavina. Rajauksella pystyttiin varmistamaan sen, ettei työkalusta muodostunut liian laajaa ja näin ollen kyettiin keskittymään merkittävimpiin muuttujiin. Kustannuskomponenttien muuttuessa uusi suunnittelusääntö toimi viiden ja seitsemän vuoden investointiajalla laskettuna. Suunnittelusääntö pystyy ohjaamaan tarvittavia investointeja koko verkolla, jotta haluttu laatutaso säilyy.

Tutkielma eteni alusta loppuun suunnitellusti ja tarjosi riittävästi haasteita, joita pystyttiin teorian kautta mallintamaan. Tutkielma mahdollisti tutkijalle tutustua matkapuhelinverkkojen ympäristöön ja niihin liittyviin taloudellisiin muuttujiin, jotka voivat tarjota työuraa silmällä pitäen uusia mahdollisuuksia. Suunnittelutieteeseen tutustuminen tarjosi myös uusia ulottuvuuksia lähestyä tieteen kautta tutkittavaan ympäristöön.

## 6.2 Tutkimuksen arviointi

Taulukossa 8 suoritettiin arviointi, miten tutkimuksessa ollaan onnistuttu hyödyntämään artefaktin kehitystä Peffersin (2008) DSRM-prosessin avulla. Taulukon vasemmalla puolella on DSRM-prosessin vaihe, keskellä Peffersin (2008) ja Hevnerin (2010) kehittämän prosessimallin teoreettinen tarkoitus, sekä oikealla empirisen toteutustavan työvaiheet ja niiden onnistuminen. Taulukko toimii myös pöytäkirjana tutkimusprosessin kulusta.

Taulukko 8. DSRM-prosessin arviointi

<b>DSRM-prosessin vaihe</b>	<b>Vaiheen tarkoitus</b>	<b>Arviointi vaiheen toteutustavan onnistumisesta</b>
<b>Ongelman tunnistaminen ja arviointi</b>	Tutkittavan ongelman kuvaus ja siihen vaikuttavat seikat. Perusteltava minkä vuoksi artefakti on luotava.	Tutkielman tärkein tutkittava seikka oli voidaanko muodostaa kustannuslähtöinen suunnittelu-periaate matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille.
<b>Tavoitteiden asettaminen</b>	Tutkittavan asian nykytilan tutkimus ja siihen liittyvien seikkojen tietämyksen kerääminen. Saadun tiedon perusteella arvioidaan mitä voidaan tehdä ja mitä ei. Prosessin vaiheessa on otettava huomioon suunnittelun reunaehdot, sekä määritellään keskeiset käsitteet.	Tutkimusympäristön nykytila ja siihen liittyvät seikat kuvattiin tutkielman kappaleessa 5.2, sellaisenaan kuin ne ovat nykyhetkellä. Reunaehdot määriteltiin tutkimuksen rajausten mukaisiksi johdanto-kappaleessa 1.2. Kappaleessa 5.2 tunnistettiin kaksi tärkeää skenaariota (CAPEX-investoitu operaattorin oma MBH-verkko ja vuokrayhteyksiä käyttävä MBH-verkko). Tärkeämpinä tavoitteena uudella artefaktilla tulee

		<p>arvon tuottamisen kannalta olemaan kustannusarvion saaminen mukaan matkapuhelinverkon suunnitteluun. Artefaktia luodakseen kehitettiin Excel-pohjainen työkalu, jolla tukiasemayhteyksien kustannuksia voidaan mallintaa tarkoituksen mukaisella tavalla.</p>
<p><b>Suunnittelu ja kehitys</b></p>	<p>Artefaktin luominen, joka voi olla konstruktio, malli, metodi, tai ilmentymä. Määritellään halutun artefaktin toiminnallisuudet, ominaisuudet ja arkkitehtuuri.</p>	<p>Tutkimuskysymyksenä tutkielmalle oli laadittu: ”<i>Millainen on kustannusoptimoitu suunnittelusääntö matkapuhelinverkon tukiasemayhteyksille?</i>”. Tämän rinnalle luotiin kaksi muuta vaatimusta, jotka artefaktin tulee täyttää. Ensimmäisellä syklillä artefaktille muodostettiin kaksi uutta suunnittelusääntöä, jotka iteroitiin kerran tavoittaakseen tutkimuskysymyksen asettamat vaatimukset. Toiselle syklille artefaktille määriteltiin nykyarvomenetelmällä (NPV) kattavampi taloudellinen näkymä. Molemmat suunnittelusäännöt muokattiin kustannuksia kontrolloivammaksi, joita työkalulla oli mahdollista muokata käyttäjän haluamalla muuttujien arvoilla.</p>

<b>Demonstrointi</b>	Muodostetun artefaktin kokeilu ja arvioidaan miten luotu artefakti soveltuu ennalta määrittelyn ongelman ratkaisuksi, sekä vertaillaan aiempaan toimintatapaan.	Ensimmäisellä syklillä artefaktin suunnittelusääntöjä demonstroitiin CAPEX- ja OPEX-skenaarioin. Artefakti tuki tavoitteiden asettamisessa ja suunnittelu- vaiheessa luotuja ehtoja. DSRM-prosessin avulla löydettiin myös uusia etuja artefaktin käytöstä. Toisella syklillä demonstroitiin iteroitua artefaktia. Työkaluun mallinnettua NPV-laskukaavaa hyödynnettiin vuosittaisilla kustannuserillä, jolloin muuttujien arvoja säätämällä haluttuun suuntaan voidaan lopulta saavuttaa haluttu tulos. NPV-laskennan kaava toimii täten suunnitellusti.
<b>Arviointi</b>	Tarkkaillaan ja mitataan miten hyvin artefakti tukee ratkaisua ongelmaan. Käsitteellisesti arviointiin voi sisältyä tarvittavat empiiriset näytöt, tai loogiset todisteet. Löydetyille virheille tehdään korjaukset ja voidaan suorittaa iterointi palaamalla takaisin	Ensimmäisen syklin arvioinnissa artefaktin muodostaminen ei täyttänyt kaikkia tavoitteita täydellisesti, joten artefakti päätettiin iteroida toisella syklillä. Iteroidun artefaktin mallintaminen ja demonstrointi koettiin onnistuneeksi ja täytti vaatimukset, joita kustannuskomponenttien mukaantulona odotettiin. Varsinainen arviointi iteraatiolle pystyttiin suorittamaan jo iteraation demonstrointivaiheessa, jolloin NPV:n lasketut arvot saatiin

	artefaktin suunnittelu- ja kehitysvaiheeseen	mallinnettua kustannuskomponentiksi verkkotietojen rinnalle.
<b>Kommunikointi</b>	Tutkimustulosten kuvaaminen ja niiden julkaiseminen sopivalle kohdeyleisölle halutulla julkaisuvälineellä.	Artefaktin tutkimuksesta saadut tulokset ja löydökset julkaistiin ja jaettiin soveltuvalla kohdeyleisölle Vaasan yliopistossa, sekä kohdeorganisaation johtoryhmän tarkasteltavaksi myöhempää käyttöä varten. Tutkimuksen tulokset julkaistaan pro gradu -tutkielmana painettuja ja digitaalisena verkkojulkaisuna.

### 6.3 Tutkimustulosten hyödyntämismahdollisuudet

Tutkielmassa saavutetuilla tuloksilla on monia mahdollisia hyödyntämismahdollisuuksia. DSRM-prosessin eli suunnittelutieteellisen tutkimusprosessin myötä tutkielmasta julkaistava raportti on akateemisen yhteisön käytettävissä mahdollisesti moniin erilaisiin tutkimustarkoituksiin. Erityisesti tietojärjestelmätieteiden opintoja suorittaville tässä tutkielmassa käytettävät menetelmät ja saavutetut tulokset antavat akateemiselle yhteisölle hyvän kuvan DSRM-prosessin (Peffers ym. 2008) käytännön soveltamisesta.

DSRM-prosessin (Peffers ym. 2008) kautta mallinnetun artefaktin hyödyntämistä kohdeorganisaatiossa voidaan soveltaa moniin tarkoituksiin. Suunnittelusääntöä on tarkoitus jatkokehittää kattavammaksi matkapuhelinverkko-operaattorin liiketoimintaympäristössä. Tutkielman tutkimuksen tärkein tuotos esitettiin DSRM-

prosessin arviointivaiheessa, sekä tutkielman tuloksissa ja johtopäätöksissä. Saavutetut tulokset antavat kattavan visuaalisen kokonaiskuvan verkkoinfrastruktuurin kustannusten muodostumisesta. Tämän on tarkoitus helpottaa suunnittelijoiden ja päättäjien päätöksentekoa. Tutkielman tuottama työkalu on täysin muokattavissa kohdeorganisaation loppukäyttäjien toimesta haluamaan suuntaan.

Tutkielma tarjoaa kohdeorganisaatiolle mahdollisuuden tutustua prosessien kehitystyössä tutkielmassa käytettyyn DSRM-prosessiin (Peffer ym. 2008) ja sen hyödyntämiseen erilaisissa kehityshankkeissa. Nykypäivänä yliopistot tekevät tiivistä yhteistyötä erilaisten teknologiayritysten kanssa, joten tässäkin tutkielmassa käytettyjä metodeja voidaan kehittää edelleen yliopiston tutkijoiden ja yritysten ammattilaisten kesken.

#### 6.4 Jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksen rajausvaiheessa muodostui useita tutkimusaiheita, joita olisi mahdollista jatkokehittää, tai tutkia toiselta näkökulmalta tämän tutkimuksen pohjalta. Tutkimuksesta pois rajatut aihealueet voisivat toimia sellaisenaan omana tutkimusaiheenaan.

Merkittävin asia jota tässä tutkimuksessa jäi avoimeksi, oli investoitavan kapasiteetin vaikutus ylemmillä verkkotasokerroksilla. Mikäli tukiasemapäähän investoitaisiin esimerkiksi 10 Gigabitin yhteys, niin seuraavan tason täytyisi tukea tätä kapasiteettia myös kokonaiskapasiteetin kannalta koko verkkotasokerrosten läpi. Tässä täytyisi kuljettaa kokonaisinvestointeja jokaisella laiterajapinnalla mukana mikä toisi tutkimuksen uuden ulottuvuuden. Mahdollisesti myös muiden taloudellisten laskentamenetelmien tuominen NPV:n laskemien tulosten rinnalle toisi lisää näkyvyyttä tutkittaviin kohteisiin. Nämä tarpeet kuitenkin riippuvat toimeksiantajan tavoitteista, jotka ovat määriteltävä jokaisen kehitysprojektin alkuvaiheessa.

Tämän tutkielman tarkoituksena oli tuoda kustannusnäkyvyys suunnittelijoiden ja päättäjien käytettäväksi, jonka avulla he kykenevät optimoimaan tarvittavia investointeja.

Optimointia on mahdollista jatkokehittää täysin automaattiseksi tutkimusympäristön tietojärjestelmistä saatavalla tiedolla, sekä käyttämällä optimointi algoritmeja monimutkaisissa laskentamenetelmissä. Tekoälyn tutkimisessa vaativia optimointi algoritmeja käyttämällä olisi kyseistä menetelmää mahdollista hyödyntää.

Tietoliikenneympäristössä saatava tiedon määrä on valtava ja usein monimutkainen käsiteltävä. Vaatii paljon ymmärrystä löytääkseen keinot hyödyllisen tiedon käyttämiseen. Tutkimusaihetta voisi hyödyntää ja kehittää Big Datan tutkimuksissa. Tähän tutkimusaiheeseen voisi olla hyödyllistä käyttää tekoälyn tutkimuksissa käytettäviä menetelmiä.

Laatukäsitteet ja erilaiset laatumenetelmät rajattiin tästä työstä pois, koska tutkielma olisi muuten laajentunut liian suureksi. Verkkotekniseltä kannalta laatu on hyvin merkittävä ja tekninen asia. Matkapuhelinverkkojen tekninen laatu ja sen vaikutukset näkyvät suoraan loppukäyttäjällä ja sitä mitataan erilaisilla menetelmillä, kuten asiakastytyväisyysmittauksilla. Laatuongelmien aiheuttamat asiakasvaikutukset, kuten churnin eli asiakaspoistuman tutkiminen olisi mielenkiintoinen aihe jatkotutkimukseksi. Churnista löytyy aiempia tutkimuksia joita voisi käyttää pohjatietona ja soveltaa esimerkiksi tutkimusmenetelmänä tässäkin tutkielmassa käytettyä DSRM-prosessimallia (Peffer ym. 2008).

Laadun tutkimiseen jatkokehityksessä toisena näkökulmana voisi olla laadullinen näkökulma verkon teknisen laatutason häiriintymisestä ja sen vaikutuksesta koko MBH-verkkoon. MBH-verkon tietoliikenteen teknisinä palvelutoimintoina ovat erilaiset laatuluokat, jotka takaavat määritellylle liikenteelle tarvittavan vaaditun kapasiteetin. Mikäli laatuluokat eivät ole määriteltyinä ja optimoituna jokaisella verkkotasolla vaadittuun tasoon, niin se aiheuttaa ongelmia MBH-verkoissa ja siten suoranaista vaikutusta asiakaskokemaan.

## LÄHDELUETTELO

Artto, E., Koskela, M., Leppiniemi, J. & Pitkänen, E. (1990). *Laskentatoimen perusteet*. KY-Palvelu Oy. ISBN 952-90-2348-0

Ericsson (2016), *Ericsson Mobility Report, November 2016*. [Online]. Saatavissa: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2016/ericsson-mobility-report-november-2016.pdf>

Ericsson (2016), *Ericsson Mobility Report, Western Europe, November 2016*. [Online]. Saatavissa: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobilityreport/documents/2016/ericsson-mobility-report-november-2016-rwe.pdf>

Hevner, Alan R. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*: Vol.19: Iss.2, Article 4.

Hevner, Alan R., & Chatterjee, S. (2010). *Design Research in Information Systems. Theory and Practise*. New York: Springer. ISBN13- 978-1441956521

Hevner, Alan R., March Salvatore T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, Vol. 28 no.1, 75-105.

Holma, Harri & Toskala, Antti (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS*. John Wiley & Sons. ISBN-10 0-470-01884-4

Holma, Harri & Toskala, Antti (2009). *LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Services*. Wiley. ISBN 978-0-470-74547-2

Holma, Harri & Toskala, Antti (2004). *WCDMA for UMTS*. John Wiley & Sons. ISBN 0-470-87096-6

Iivari, J. (2007). A paradigmatic Analysis of Information Systems as a Design Science. *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol.19: Iss. 2, Article 5:39-64.

Jarray, A., B. Jaumard & A.C. Houle (2010). CAPEX/OPEX effective optical wide area network design 49: 329-344.

Juniper Networks (2013). *Universal Access and Aggregation Mobile Backhaul Design Guide*. [Online]. Saatavissa: <http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/design-guides/8020018-en.pdf>

Järvinen, P., & Järvinen, A. (2011). *Tutkimustyön metodeista*. Tampere: Opinpajan kirja 2011. ISBN: 978-952-99233-3-5

Kasanen, E., Koskela, M., Leppiniemi, J. Puttonen, V. & Virtanen, K. (1996). *Laskentatoimen ja rahoituksen perustiedot*. KY-Palvelu Oy. ISBN 951-96629-6-0

Leppiniemi, Jarmo (2002). *Rahoitus*. Vantaa: WSOY. 3. uudistettu painos. ISBN 951-0-26948-4

March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and Natural Science Research on Information Technology. *Decision support systems*, 15: 251-266.

Medallia (2017). *Net Promoter Score*. [Online]. Saatavissa: <http://www.medallia.com/net-promoter-score/>

Metsälä, Esa & Juha, Salmelin (2015). *LTE Backhaul: Planning and Optimization*. Wiley. ISBN 9781118924648

Metsälä, Esa & Juha, Salmelin (2012). *Mobile Backhaul*. John Wiley & Sons. ISBN 9786613621467

NEC (2010), E-Seminar White Paper, Mobile Backhaul Evolution and Convergence. [Online]. Saatavissa: [http://au.nec.com/en\\_AU/media/docs/MOBILE\\_BACKHAUL\\_EVOLUTION\\_AND\\_CONVERGENCE\\_WP-9c351f70-6198-4807-bac7-2fac52f56dfb-0.pdf](http://au.nec.com/en_AU/media/docs/MOBILE_BACKHAUL_EVOLUTION_AND_CONVERGENCE_WP-9c351f70-6198-4807-bac7-2fac52f56dfb-0.pdf)

Peffer, K., Tuunainen, T., Rothenberger, M.A. & Chatterjee, S. (2008). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems* 24: 45-77.

Rumney, Moray (2013). *LTE and the Evolution to 4G Wireless*. Wiley. ISBN: 9781119962571

Sharma, Pankaj (2013). Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*. Vol. 2, Article 8: 47-53.

Verbrugge, S., Colle, D., Pickavet M., Demeester, P., Pasqualini, S., Iselt, A., Kirstädter A., Hülsermann R., Westphal, F.-J. & Jäger, M. (2006). Methodology and input availability parameters for calculating OpEx and CapEx costs for realistic network scenarios. *Journal of Optical Networking*: Vol. 5: 509-520.