



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joona Kylmäniemi

Kaupunkisähköverkkoyhtiön optimaalinen muuntamoratkaisu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

10.2.2020

Tekijä Otsikko	Joona Kylmäniemi Kaupunkisähköverkkoyhtiön optimaalinen muuntamoratkaisu
Sivumäärä Aika	60 sivua 10.2.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	suunnittelupäällikkö Aki Hämäläinen lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Maakaapeloidun sähkönjakeluverkon jakelumuuntamot voidaan toteuttaa kiinteistö- tai erillismuuntamona. Useat verkkoyhtiöt pyrkivät välttämään uusien kiinteistömuuntamoiden rakentamista, sillä niitä on pidetty monella tapaa haastavana ratkaisuna. Tämän insinöörityön tavoitteena oli selvittää Helen Sähköverkko Oy:lle kiinteistö- ja erillismuuntamon väliltä optimaalinen muuntamoratkaisu, jotta uusien jakelumuuntamoiden suunnittelua pystytäisiin tulevaisuudessa ohjaamaan oikeaan suuntaan.</p> <p>Kiinteistömuuntamoille sekä Helen Sähköverkko Oy:n käyttämille erillismuuntamomalleille laskettiin elinkaarikustannukset niiden pitoajalta. Investointi- ja kunnossapitokulujen lisäksi elinkaarikustannusten vertailussa huomioitiin eri muuntamotyyppien vaikutus yhtiön kohtuulliseen tuottoon Energiaviraston valvontamenetelmien mukaisesti. Työssä tarkasteltiin myös sähköverkkoyhtiön roolia kaupungin kaavoituksessa sekä asemakaavoituksen vaikutusta muuntamoiden sijoitusprosessiin.</p> <p>Insinöörityön tuloksena saatiin selvitettyä Helen Sähköverkko Oy:n uusien kiinteistö- ja erillismuuntamoiden todelliset erot sekä kunkin muuntamotyyppin tärkeimmät kehityskohteet. Kiinteistömuuntamot osoittautuivat monesta näkökulmasta verhoiltuja erillismuuntamoita paremmaksi ratkaisuksi. Suuri osa kiinteistömuuntamoihin liittyvistä ongelmista ei viimeaikaisen kehitystyön ansiosta enää koske Helen Sähköverkko Oy:n uusia kiinteistömuuntamoita, eivätkä ne ole enää nykytilanteessa elinkaarikustannuksiltaan verhoiltuja erillismuuntamoita kalliimpia.</p>	
Avainsanat	muuntamo, kiinteistömuuntamo, erillismuuntamo, jakeluverkko

Author Title	Joona Kylmäniemi Optimal Secondary Substation Type in an Urban Environment
Number of Pages Date	60 pages 10 February 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Aki Hämäläinen, Planning Manager Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>The secondary substations of underground cable networks can either be built indoors or using prefabricated secondary substations. Many distribution system operators try to avoid building indoor secondary substations, as they have been seen as a challenging solution in many ways. The aim of this bachelor's thesis study was to compare the two secondary substation types and find out which is the better solution for Helen Electricity Networks Ltd.</p> <p>The total cost of ownership (TCO) for each secondary substation type was calculated in this thesis. In addition to the investment, operating and maintenance costs of the different secondary substation types, their effect on the company's allowed revenue was also considered in the TCO comparison. This thesis examines the role of a distribution system operator in city planning, in addition to the effects of a detailed plan on the placement of secondary substations.</p> <p>The result of this thesis study is a report on the actual differences between new indoor and prefabricated secondary substations, as well as their most important development needs in the near future. Due to recent developments, a large portion of the challenges regarding indoor secondary substation aren't relevant to Helen Electricity Network Ltd.'s new indoor secondary substations. When compared to the upholstered prefabricated secondary substations used in Helsinki, indoor secondary substations proved in many ways superior.</p>	
Keywords	secondary substation, distribution network

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helen Sähköverkko Oy	2
3	Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan valvontamenetelmät	5
3.1	Kohtuullisen tuoton määrittäminen	6
3.1.1	Verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu omaisuus ja pääoma	6
3.1.2	Kohtuullinen tuottoaste	9
3.1.3	Kohtuullinen tuotto	12
3.2	Oikaistut tasapoistot	13
4	Jakelumuuntamot	14
4.1	Kiinteistömuuntamo	15
4.2	Erillismuuntamo	17
4.3	Jakelumuuntamon komponentit	21
5	Muuntamoiden sijoitusprosessi	27
6	Muuntamoiden elinkaarilaskenta	34
6.1	Elinkaarilaskennan periaatteet	34
6.2	Muuntamoiden elinkaarikustannusten laskeminen	36
6.2.1	Kustannustekijöiden määrittäminen	38
6.2.2	Muuntamon vaikutus sallittuun liikevaihtoon	48
6.2.3	Elinkaarilaskennan tulokset	49
7	Kiinteistö- ja erillismuuntamoiden vertailu	53
7.1	Nykytilanne	53
7.1.1	Kiinteistömuuntamo	53
7.1.2	Erillismuuntamo	55
7.2	Kehitysmahdollisuudet	56
7.2.1	Kiinteistömuuntamo	56

7.2.2	Erillismuuntamo	57
7.3	Johtopäätökset	58
8	Yhteenveto	60
	Lähteet	61

Lyhenteet

EV	Energiavirasto.
HSV	Helen Sähköverkko Oy.
JHA	Jälleenhankinta-arvo.
KJ	Keskijännite.
NKA	Nykykäyttöarvo.
PJ	Pienjännite.
RMU	Ring Main Unit. Rengassyöttökojeisto
SF ₆	Rikkiheksafluoridi-eristekaasu.
WACC	Weighted Average Cost of Capital. Pääoman painotettu keskikustannus.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on vertailla kiinteistö- ja erillismuuntamoita kaupunkiympäristössä toimivan sähköverkkoyhtiön näkökulmasta. Lisäksi työssä selvitetään näistä Helen Sähköverkko Oy:lle (HSV) optimaalinen muuntamoratkaisu, jota tulisi jatkossa tavoitella uutta jakelumuuntamoita suunniteltaessa. Aiheesta on yrityksen sisällä monia näkemyksiä, ja ne perustuvat usein historiallisten seikkojen perusteella tehtyihin johtopäätöksiin. Muuntamotyyppien välisiä todellisia eroja ei ole aiemmin selvitetty.

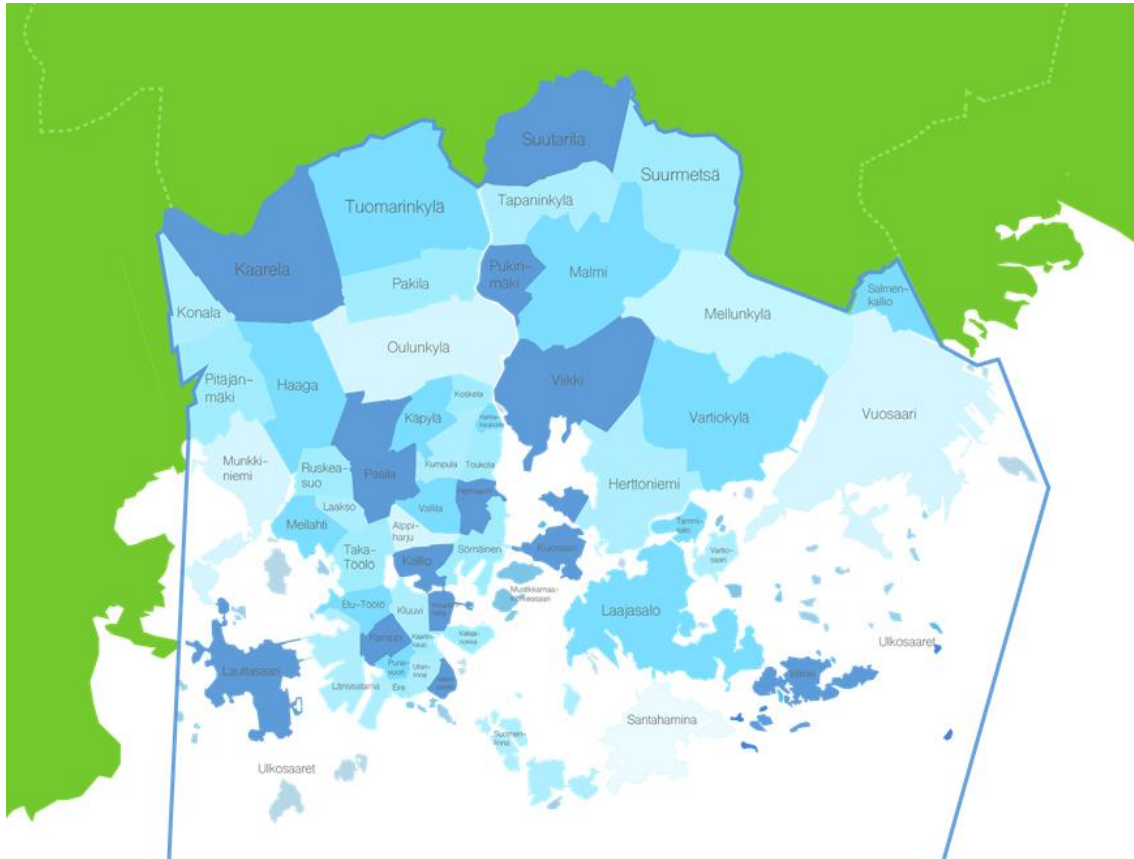
Pääkaupungissa toimiminen asettaa HSV:n toiminnalle muihin suomalaisiin sähköverkkoyhtiöihin verrattuna ainutlaatuisia vaatimuksia, joiden vaikutus näkyy monella tapaa myös jakelumuuntamoiden kohdalla. Eri muuntamotyypeillä on historiallisesti koettu olevan omat haasteensa, joiden todellisia vaikutuksia nykytilanteessa arvioidaan tässä työssä.

Työssä tarkastellaan sähköverkkoyhtiön roolia kaupungin kaavoitusprosessissa sekä asemakaavoituksen vaikutusta jakelumuuntamoiden sijoittamiseen. Muuntamotyyppien taloudellisia eroja vertaillaan laskemalla HSV:n erillismuuntamomallien sekä kiinteistömuuntamon elinkaarikustannukset niiden pitoajalta. Elinkaarilaskennan tulokset eivät ole julkista tietoa, joten työssä pitäydytään kustannusten vertailuun.

Erittäin tiheästi rakennetuilla alueilla jakelumuuntamot voidaan käytännössä toteuttaa vain kiinteistömuuntamona ja vastaavasti on alueita, joissa erillismuuntamo on ainoa järkevä vaihtoehto. Tässä työssä tarkastellaan kuitenkin tilannetta, jossa uutta jakelumuuntamoita suunniteltaessa pystytään asemakaavoitusvaiheessa valitsemaan ilman sijoittamisen rajoituksia kiinteistö- ja erillismuuntamon väliltä.

2 Helen Sähköverkko Oy

Helen Sähköverkko Oy on asiakasmäärältään Suomen kolmanneksi suurin jakeluverkkoyhtiö, joka vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta 390 000 asiakkaalle lähes koko Helsingin alueella. HSV:n vastuulla oleva jakelualue on esitetty kuvassa 1. Vuosittainen sähkönkulutus alueella on noin 4500 GWh. HSV on osa Helsingin kaupungin omistamaa Helen-konsernia ja yrityksen liiketoiminta muodostaa noin 13 % koko konsernin liikevaihdosta. Vuonna 2018 HSV:n liikevaihto oli 124 M€. [1; 2.]



Kuva 1. Helen Sähköverkko Oy:n jakelualue (1).

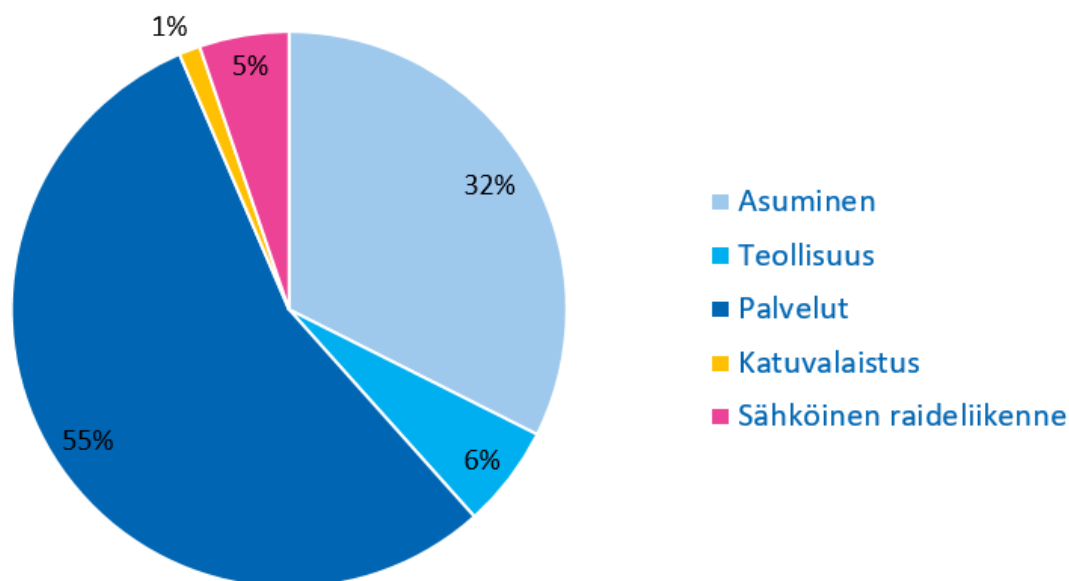
HSV:n sähköverkon pituus on noin 6400 km ja siihen on liittynyt yli 35 000 sähköliittymää. Pien- ja keskijänniteverkon kaapelointiasteet ovat 98,1 % ja 99,7 %, suurimmat koko Suomessa. Korkean kaapelointiasteen ja silmukoidun verkkomuodon ansiosta yrityksen toimitusvarmuus on erinomaisella tasolla. Vuonna 2019 sähköjakelun keskeytysten keskimääräinen kesto asiakasta kohti oli Helsingissä 1,5 minuuttia. [1; 3.]

Yrityksen toimintaympäristö

Verkkoyhtiöt toimivat vaihtelevissa ympäristöissä ja tämä vaikuttaa merkittävästi niiden kustannusrakenteisiin ja -tasoihin. Suomen pääkaupunkina Helsinki eroaa huomattavasti muiden verkkoyhtiöiden toimintaympäristöistä, mikä aiheuttaa HSV:n toimintaan omat haasteensa.

Sekä maanpäälliset että maanalaiset katutilat kaupungissa ovat ahtaita ja liikenneväylät ovat vilkkaasti liikennöityjä, mikä vaikeuttaa maakaapeloidun verkon vaatimia maanrakennustöitä. Tiheästi rakennetussa kaupungissa jakeluverkon komponenttien sijoitus on hankalaa ja tämän takia varsinkin keskusta-alueella muuntamot sijoitetaan yleensä rakennuksiin. Erittäin vaikeat kaivuolosuhteet näkyvät jakeluverkon korkeina investointikustannuksina, sillä maanrakennustyöt muodostavat suurimman kustannuserän HSV:n jakeluverkon rakentamisessa. Maanrakennustöiden vaatimat tilapäiset liikennejärjestelyt vaikuttavat Helsingin kaupungin asetusten mukaisestikin toteutettuina negatiivisesti kaupungin asukkaiden arkeen. Kun toimiva sähkönjakelu nähdään Helsingissä usein itsensä selvyytenä, välttämättömät verkonrakennustyöt nähdään helposti lähinnä negatiivisena asiana. Tällä on vaikutus yrityksen julkiseen kuvaan, joka luo HSV:n toiminnalle taloudellisten seikkojen lisäksi ulkopuolisia paineita. [1; 4.]

Helsingissä sähkönkulutuksen tärkeimpiä asiakasryhmiä ovat palvelusektori sekä asuminen sähkökulutus. Suurin sähkönkuluttaja on palvelusektori, jonka kulutus kattaa yli puolet HSV:n toimittamasta sähköenergiasta. Sähkönkulutuksen jakautumista asiakastyypeittäin on havainnollistettu kuvassa 2. [1.]



Kuva 2. Sähkönkulutuksen jakautuminen asiakastyypeittäin Helsingissä [1].

Helsingissä on useita yhteiskunnallisesti tärkeitä toimijoita. Pääkaupungissa toimii esimerkiksi merkittävä osa Suomen hallinnosta, useita pankkeja sekä monen suuren yrityksen pääkonttori. Helsingissä on myös useita valtakunnallisesti tärkeitä sairaaloita, ja sähköinen raideliikenne on tärkeä osa kaupungin julkista liikennettä. Tämä asettaa sähkön toimitusvarmuudelle erittäin korkeat vaatimukset.

Sähkön toimitusvarmuus Helsingissä on historiallisesti ollut hyvällä tasolla. Runsas vuosikymmen sitten siinä esiintyi kuitenkin huomattavaa vuosittaista vaihtelua, johtuen lähinnä suurista sähköasemahäiriöistä. Vuonna 2007 tapahtuneiden sähköasemavikojen jälkeen HSV päätti aloittaa merkittävän toimitusvarmuuden parantamishankkeen. Hankkeen aikana toimitusvarmuutta on parannettu entisestään mm. rakentamalla viisi uutta sähköasemaa, vanhojen sähköasemien toisiouusinoilla, muuntamoautomaation käyttöönotolla, 20 kV:n keskijänniteverkon maasulkuvirran kompensoinnilla sekä kaapeloidulla loput keskijänniteverkon avojohdoista. Toimitusvarmuus on nykyään erinomaisella tasolla, sillä helsinkiläinen kokee keskimäärin puolen tunnin sähkökatkon kerran 10 vuodessa. [1; 5.]

3 Sähköjakeluverkkoliiketoiminnan valvontamenetelmät

Sähköverkot muodostavat luonnollisen monopolin, joten sähköverkkoliiketoiminnassa ei ole kilpailun kautta syntyvää painetta kohtuulliseen hinnoitteluun ja palveluiden laadun kehittämiseen. Tästä johtuen sähköverkkoyhtiöiden toimintaa säännellään viranomaisen toimesta. Sähköverkkoliiketoiminnan sääntelystä ja valvonnasta vastaava viranomainen on Energiavirasto (EV). Sääntelyllä pyritään varmistamaan hintojen kohtuullisuus, verkopalveluiden korkea laatu, asiakkaiden tasapuolinen kohtelu sekä toiminnan pitkäjänteisyys, kehittäminen ja tehokkuus. [6, s. 50.]

Sähköverkkoyhtiöiden hinnoittelun kohtuullisuuden arviointi perustuu sähköverkkotoimintaan sitoutuneen pääoman kohtuullisen tuoton ja liiketoiminnan toteutuneen tuloksen vertaamiseen. Jokaiselle verkkoyhtiölle määritetään vuosittain verkon arvoon ja kohtuulliseen tuottoasteeseen perustuva suurin sallittu kohtuullinen tuotto. Kohtuullisen hinnoittelun valvonta tapahtuu neljän vuoden pituisissa valvontajaksoissa, joiden välillä myös itse valvontamenetelmiä kehitetään ja päivitetään. Nykyiset valvontamenetelmät ovat voimassa neljännellä (1.1.2016 – 31.12.2019) ja viidennellä (1.1.2020 – 31.12.2023) valvontajaksoilla. Valvontamenetelmien mukaisesti laskettu toteutunut oikaistu tulos koko valvontajakson ajalta ei saa olla kohtuullista tuottoa suurempi. Mahdollinen ylituotto täytyy tasata seuraavan valvontajakson aikana. Valvontajakson aikana kertynyt alituotto voidaan tasata seuraavan valvontajakson aikana, mutta alituoton tasaaminen ei ole pakollista. [6, s. 55.]

Vaikka sähköverkkotoiminnan valvonta keskittyy pääoman tuoton kohtuullisuuteen, se asettaa käytännössä rajan myös verkkoyhtiön sallitulle liikevaihdolle. Laskettaessa yksittäisen komponentin vaikutusta verkkoyhtiön sallittuun liikevaihtoon keskeisimmät tekijät ovat kohtuullinen tuotto sekä komponentin jälleenhankinta-arvoon perustuvat oikaistut tasapoistot, joiden määrittämistä valvontamenetelmien mukaisesti tarkastellaan tässä luvussa.

3.1 Kohtuullisen tuoton määrittäminen

Sähköverkkoyhtiön kohtuullisen tuoton laskenta perustuu verkkotoimintaan sitoutuneen oman ja korollisellen vieraan pääoman sekä niille sallitun tuoton määrittämiseen.

3.1.1 Verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu omaisuus ja pääoma

Verkkotoimintaan sitoutuneen oikaistun omaisuuden lähtökohtana on verkkoyhtiön eriytetyn taseen vastaava-puoli. Oikaistaessa eriytetyn taseen vastaava-puoli valvontamenetelmissä esitetyillä tavoilla saadaan oikaistun taseen loppusummana verkkotoimintaan sitoutuneen oikaistun omaisuuden arvo. [7, s. 24.]

Sähköverkko on suurin yksittäinen osa verkonhaltijan omaisuutta. Sähköverkko-omaisuuden arvo oikaistaan valvontamenetelmissä vastaamaan sen todellista käyttöarvoa. Omaisuuden arvo oikaistaan käyttämällä sähköverkon tase-arvon sijaan sen jälleenhankinta-arvosta laskettua oikaistua nykykäyttöarvoa. [7, s. 25.]

Sähköverkon jälleenhankinta-arvon (JHA) laskentaan käytetään Energiaviraston määrittelemiä yksikköhintoja. Energiavirasto on määrittänyt neljännellä ja viidennellä valvontajaksolla käytettävät yksikköhinnat vuosina 2014 ja 2015 tekemiensä kustannuskyselyjen perusteella. Kyselyllä selvitettiin Energiaviraston määrittämille verkkokomponenteille verkonhaltijoiden todellisia investointikustannuksia. Yksikköhinnat määriteltiin lähtökohteisesti käyttäen kyselyn tulosten keskihajonnalla korjattua ja investointimäärillä painotettua keskiarvoa. Harvinaisempien komponenttien kohdalla jouduttiin käyttämään muitakin tapoja vähäisen otannan vuoksi. [7, s. 104.]

Energiavirasto on myös määrittänyt verkkokomponenteille teknistaloudellisten pitoaikojen sallitut vaihteluvälit. Verkonhaltijan on valittava sallittujen pitoaikavälien puitteissa komponenttiansa pitoajat niin, että ne vastaavat komponenttien todellisia keskimääräisiä teknistaloudellisia pitoaikoja. Teknistaloudellisella pitoajalla tarkoitetaan aikaa, jonka verkkokomponentit ovat keskimääräisesti käytössä ennen niiden korvaamista. Pitoaikoja käytetään sähköverkko-omaisuuden oikaistun nykykäyttöarvon (NKA) sekä oikaistujen tasapoistojen laskentaan. [7, s. 26.]

Sähköverkko-omaisuuden oikaistun nykykäyttöarvon laskentaan tarvitaan myös komponenttien keski-ikä tiedot. Verkonhaltijan on selvitettävä jokaisen sähköverkon komponentin todellinen ikätieto jokaisen valontavuoden lopussa. Todellisella ikätiedolla tarkoitetaan komponentin ensimmäisestä käyttöönottohetkestä laskettua ikää. Ikätietojen perusteella verkonhaltijan on laskettava kaikille käyttämilleen verkkokomponenteille Energiavirastolle ilmoitettavat keski-ikä tiedot. [7, s. 26.]

Verkkokomponentin oikaistu jälleenhankinta-arvo lasketaan Energiaviraston määrittelemän yksikköhinnan ja verkonhaltijan ilmoittaman verkkokomponentin lukumäärän tulona. Koko sähköverkko-omaisuuden oikaistu jälleenhankinta-arvo saadaan laskemalla yhteen verkkokomponenttikohtaiset oikaistut jälleenhankinta-arvot. [7, s. 32.]

Verkkokomponenttikohtaisen oikaistun jälleenhankinta-arvon laskenta on esitetty kaavassa 1.

$$JHA_i = yksikköhinta_i \times määrä_i \quad (1)$$

Koko sähköverkko-omaisuuden oikaistun jälleenhankinta-arvon laskenta on esitetty kaavassa 2.

$$JHA = \sum_{i=1}^n (JHA_i) \quad (2)$$

Kaavoissa 1 ja 2

JHA_i on verkkokomponentin i kaikkien komponenttien yhteenlaskettu oikaistu jälleenhankinta-arvo

$yksikköhinta_i$ on verkkokomponentin i valvontamenetelmien mukainen yksikköhinta

$määrä_i$ on verkkokomponentin i kaikkien komponenttien lukumäärä

JHA on koko sähköverkko-omaisuuden oikaistu jälleenhankinta-arvo.

Verkkokomponentin oikaistu nykykäyttöarvo lasketaan sen oikaistun jälleenhankinta-arvosta verkonhaltijan valitseman pitoajan ja verkkokomponentille ilmoitetun keski-ikä perusteella. Koko sähköverkko-omaisuuden oikaistu nykykäyttöarvo saadaan laskemalla yhteen verkkokomponenttikohtaiset oikaistut nykykäyttöarvot. [7, s. 33.]

Verkkokomponenttikohtaisen oikaistun nykykäyttöarvon laskenta on esitetty kaavassa 3.

$$NKA_i = \left(1 - \frac{\text{keski-ikä}_i}{\text{pitoaika}_i}\right) \times JHA_i \quad (3)$$

Koko sähköverkko-omaisuuden oikaistun nykykäyttöarvon laskenta on esitetty kaavassa 4.

$$NKA = \sum_{i=1}^n (NKA_i) \quad (4)$$

Kaavoissa 3 ja 4

NKA_i on verkkokomponentin i kaikkien komponenttien yhteenlaskettu oikaistu jälleenhankinta-arvo

$pitoaika_i$ on verkkokomponentin i pitoaika

$keski-ikä_i$ on verkkokomponentin i kaikkien komponenttien keski-ikä

NKA on koko sähköverkko-omaisuuden oikaistu nykykäyttöarvo.

Verkkotoimintaan sitoutuneessa oikaistussa omaisuudessa huomioidaan myös sellaiset sähköverkon hyödykkeisiin kirjatut erät, joita ei oteta huomioon oikaistun jälleenhankinta-arvon ja nykykäyttöarvon laskennassa. Nämä erät otetaan verkkotoimintaan sitoutuneessa oikaistussa omaisuudessa huomioon tasearvossaan. Tällaisia eriä ovat esimerkiksi varastoidut sähköverkkotoimintaan liittyvät laitteet ja materiaalit sekä keskeneräiset hankinnat. Mikäli sähköverkko-omaisuuteen kuuluva komponentti ei sisälly Energiaviraston määrittämiin verkkokomponentteihin, kyseinen komponentti voidaan myös ottaa huomioon tasearvossaan. [7, s. 33–34.]

Verkkotoimintaan sitoutunut pääoma muodostuu lähinnä verkon nykykäyttöarvosta. Verkkotoimintaan sitoutunut pääoma voidaan laskea vähentämällä verkon nykykäyttöarvosta koroton vieras pääoma. Tämän lisäksi pääomaa oikaistaan muutamilla taseen erillä. [8, s. 39.]

3.1.2 Kohtuullinen tuottoaste

Verkkotoimintaan sitoutuneelle oikaistulle pääomalle sallittu kohtuullinen tuottoaste määritetään pääoman painotetun keskekustannusmallin (Weighted Average Cost of Capital, WACC) avulla. WACC-malli ilmaisee yrityksen käyttämän pääoman keskimääräisen kustannuksen, jossa käytetään painoina oman ja vieraan pääoman suhteellisia arvoja. [7, s. 40.]

Oman pääoman kohtuullinen kustannus

Kohtuullisen tuottoasteen määrittämisessä oman pääoman kohtuullinen kustannus lasketaan CAP-mallilla (Capital Asset Pricing Model). Reaaliseen riskittömänä pidettyyn korkokantaan lisätään riskilisä, joka saadaan kertomalla markkinariskipreemio beeta-kertoimella. Edellä mainitun lisäksi korkoon lisätään likvidittömyyspreemio. Oman pääoman kohtuullisen kustannuksen laskenta on esitetty kaavassa 5. [7, s. 40.]

$$C_E = R_r + \beta_{velallinen} \times (R_m - R_r) + LP \quad (5)$$

C_E on oman pääoman kohtuullinen kustannus

R_r on riskitön korkokanta

$\beta_{velallinen}$ on velallinen beeta-kerroin

R_m on markkinoiden keskimääräinen tuotto

$R_m - R_r$ on markkinariskipreemio

LP on likvidittömyyspreemio.

Riskitön korkokanta kuvaa mahdollisimman riskittömän sijoituskohteen, kuten korkean luottoluokituksen valtion velkakirjan tuottovaatimusta. Riskittömänä korkokantana käytetään Suomen valtion kymmenen vuoden obligaatioiden korkoa. Markkinariskipreemio kuvaa osakesijoituksen tuoton ja riskittömän koron erotusta eli sitä tuotto prosenttia,

jonka osakesijoitukset ovat tuottaneet riskittömän koron päälle. Beeta-kerroin kuvaa yrityksen riskipitoisuutta suhteessa kaikkien sijoituskohteiden keskimääräiseen riskiin. Valvontamenetelmissä beeta-kerrointa pidetään toimialakohtaisena suureena eli se kuvaa sähköverkkotoimialan yrityksiin tehtyjen sijoitusten riskipitoisuutta verrattuna kaikkiin osakemarkkinoilla tehtyihin sijoituksiin. Likvidittömyyspremio kuvaa sijoituksen mahdollista epälikvidisyyttä. [7, s. 40–43.]

Vieraan pääoman kohtuullinen kustannus

Vieraan pääoman kohtuullinen kustannus lasketaan lisäämällä riskittömään korkokantaan vieraan pääoman riskipremio [7, s. 44]. Tämän laskenta on esitetty kaavassa 6.

$$C_D = R_r + DP \quad (6)$$

C_D on vieraan pääoman kohtuullinen kustannus

DP on vieraan pääoman riskipremio.

Vieraan pääoman kohtuullisen tuoton perustana olevan riskittömän korkokannan arvo on sama kuin oman pääoman kohtuullisen tuoton laskennassa. Vieraan pääoman riskipremio kuvaa sitä kustannusta, mikä tulee vieraan pääoman rahoituksesta riskittömän koron päälle. [7, s. 44–45.]

Kohtuullisen tuottoasteen laskenta

Valvontamenetelmissä käytetään kohtuullisena tuottoasteena (WACC-%) verkkotoimintaan sitoutuneen oikaistun pääoman painotettua keskimääräistä kustannusta. Valvontamenetelmissä käytetään veroja edeltävää (pre-tax) kohtuullista tuottoastetta, jolloin yhteisöverot huomioidaan kohtuullisen tuoton laskennassa eikä niitä vähennetä toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa. Koko pääoman kustannus lasketaan oman ja kontrollisen vieraan pääoman kustannusten painotetun keskiarvon avulla. [7, s. 46.]

Kohtuullinen tuottoaste lasketaan ensin verojen jälkeisenä (post-tax) arvona. Tämän laskenta on esitetty kaavassa 7.

$$WACC_{post-tax} = C_E \times \frac{E}{E + D} + C_D \times (1 - yvk) \times \frac{D}{E + D} \quad (7)$$

$WACC_{post-tax}$ on kohtuullinen tuottoaste yhteisöverojen jälkeen

E on verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu oma pääoma

D on verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu korollinen vieras pääoma

yvk on voimassa oleva yhteisöverokanta.

Veroja edeltävä kohtuullinen tuottoaste lasketaan oikaisemalla verojen jälkeinen kohtuullinen tuottoaste voimassa olevalla yhteisöverokannalla kaavassa 8 esitetyllä tavalla [7, s. 47].

$$WACC_{pre-tax} = \frac{WACC_{post-tax}}{(1 - yvk)} \quad (8)$$

$WACC_{pre-tax}$ on yhteisöveroja edeltävä kohtuullinen tuottoaste.

Valvontamenetelmissä sovelletaan verkonhaltijoille kiinteää pääomarakennetta, jossa korollisen vieraan pääoman painoarvo on 40 % ja oman pääoman 60 %. Yhteisöveroja edeltävä kohtuullinen tuottoaste voidaan täten laskea kaavan 9 mukaisesti. [7, s. 47.]

$$WACC_{pre-tax} = \frac{C_E \times 0,6}{(1 - yvk)} + C_D \times 0,4 \quad (9)$$

Taulukossa 1 on esitetty neljännellä valvontajaksolla käytetyt kohtuullisen tuottoasteen laskentaparametrit.

Taulukko 1. Kohtuullisen tuottoasteen parametrit neljännellä valvontajaksolla [7, s. 53].

Parametri	Sovellettava arvo
Riskitön korkokanta	Korkeampi arvo vuosittain laskettavista seuraavista kahdesta arvosta R_{r1} = Suomen valtion 10 vuoden obligaatioiden koron edellisen vuoden huhti-syyskuun päiväarvojen keskiarvo R_{r2} = Suomen valtion 10 vuoden obligaatioiden koron kymmenen edellisen vuoden päiväarvojen keskiarvo
Velaton beeta	0,54
Velallinen beeta	0,828
Markkinariskipreemio	5,0 %
Likvidittömyyspreemio	0,6 %
Pääomarakenne (velat / oma pääoma)	40 % / 60 %
Vieraan pääoman riskipreemio	1,4 %
Yhteisöverokanta	20,0 %

3.1.3 Kohtuullinen tuotto

Verkonhaltijan kohtuullinen euromääräinen tuotto lasketaan verkkotoimintaan sitoutuneen oikaistun pääoman ja kohtuullisen tuottoasteen tulona kaavan 10 mukaisesti [7, s. 48].

$$R_{k,pre-tax} = WACC_{pre-tax} \times (E + D) \quad (10)$$

$R_{k,pre-tax}$ on kohtuullinen tuotto ennen yhteisöveroja

$E + D$ on verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu pääoma.

3.2 Oikaistut tasapoistot

Sähköverkko-omaisuuden oikaistut tasapoistot lasketaan verkkokomponentteittain niiden oikaistusta jälleenhankinta-arvosta. Yksikköhintoja ei päivitetä neljännen ja viidennen valvontajakson välissä eikä niissä ole huomioitu inflaatiota, joten oikaistun tasapoiston laskennassa inflaation vaikutus huomioidaan kuluttajahintaindeksillä. [7, s. 65.]

Verkkokomponentin i vuoden k oikaistu tasapoisto lasketaan kaavassa 11 esitetyllä tavalla [7, s. 65].

$$JHATP_{i,k} = \frac{JHA_i}{pitoaika_i} \times \left(\frac{KHI_k}{KHI_{2016}} \right) \quad (11)$$

Koko sähköverkko-omaisuuden osalta oikaistut tasapoistot lasketaan yksittäisten verkkokomponenttien oikaistujen tasapoistojen summana kaavassa 12 esitetyllä tavalla [7, s. 65].

$$JHATP_k = \sum_{i=1}^n \left(\frac{JHA_i}{pitoaika_i} \right) \times \left(\frac{KHI_k}{KHI_{2016}} \right) \quad (12)$$

Kaavoissa 11 ja 12

$JHATP_{i,k}$ on verkkokomponentin i oikaistu tasapoisto vuonna k

$JHATP_k$ on koko sähköverkko-omaisuuden oikaistut tasapoistot vuonna k

KHI_k on kuluttajahintaindeksi vuonna k

KHI_{2016} on kuluttajahintaindeksi vuonna 2016.

Kaavan 12 mukaisesti lasketut sähköverkko-omaisuuden oikaistut tasapoistot vähennetään verkkoyhtiön oikaistua tulosta laskettaessa ja näin ollen ne kasvattavat yhtiön salittua liikevaihtoa.

4 Jakelumuuntamot

Muuntamo on keskijänniteverkon komponentti, jossa 10 kV:n tai 20 kV:n keskijännite muunnetaan tavalliselle sähkökäyttäjälle sopivaksi 0,4 kV:n pienjännitteeksi. Muuntamolla tarkoitetaan muuntamotilan ja sen sisältävien komponenttien muodostamaa kokonaisuutta. Koska pienjännitteisellä sähköjakelulla ongelmaksi koituvat pitkillä välimatkoilla mm. jännitteenalenema ja suuremmat tehohäviöt, muuntamot pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle sähkökäyttäjiä. Käyttämällä erityyppisiä muuntamoita asiakkaiden sijainnista riippuen voidaan saada muuntamolle optimaalinen sijoituspaikka sekä taajamassa että haja-asutusalueilla. [9, s. 10.]

Muuntamot voidaan jakaa niiden rakenteen ja sijainnin mukaan eri tyypeihin. Rakennuksen sisällä sijaitsevaa muuntamoita kutsutaan kiinteistömuuntamoksi. Erillis- tai puistomuuntamoksi kutsutaan rakennuksen ulkopuolelle, erilliseen muuntamorakennukseen sijoitettua muuntamoita. Maaseudun ja haja-asutusalueiden ilmajohtoverkoissa käytetään kevyttä pylväsmuuntamoksi kutsuttua muuntamorakennetta, jossa muuntaja ja muut muuntamon komponentit on asennettu sähköpylvääseen. Maakaapeloidussa keskijänniteverkossa käytettävät jakelumuuntamot ovat kiinteistö- ja erillismuuntamoita.

Erillismuuntamot voivat olla myös tilapäisiä muuntamoita, joita rakennetaan tarpeen mukaan esimerkiksi isojen työmaiden käyttöön. Tilapäinen muuntamo voi olla tarpeellinen, jos alueen nykyinen kapasiteetti ei riitä tilapäisille liittymille, eikä uusia pysyviä muuntamoita pystytä rakentamaan alueelle tarpeeksi ajoissa. Tilapäismuuntamot ovat yleensä rakenteeltaan ulkoa hoidettavia peltisiä muuntamokoppeja.

HSV:n jakeluverkossa on 1832 jakelumuuntamoita, joista noin 65 % on kiinteistömuuntamoita, 30 % erillismuuntamoita ja 5 % tilapäismuuntamoita. Verkkoon on liitetty myös yli 700 keskijänniteasiakkaiden omistamaa kuluttajamuuntamoita. Kiinteistömuuntamot ovat yleisempiä erityisesti keskustassa ja muilla tiheästi rakennetuilla alueilla, kun taas erillismuuntamot sijoittuvat enimmäkseen esikaupunkialueelle. [10.]

Osa HSV:n jakelumuuntamoista on kaksoismuuntamoita, joissa muuntamon komponentteja on kahdennettu. Yleisesti kahdennettuja komponentteja ovat muuntaja, keskijännitekojeisto, sekä muuntamoautomaatio ja -valvonta. Pienjännitekeskuksena käy-

tään kaksoismuuntamoihin tarkoitettua, kiskoerottimella varustettua pienjännitekeskusta. Kaksoismuuntamon käyttö voi olla tarpeellista sen suuremman muuntokapasiteetin tai parempien verkon kytkentämahdollisuuksien vuoksi. [11, s. 45.]

4.1 Kiinteistömuuntamo

Kiinteistömuuntamo on rakennuksen sisälle, erilliseen muuntamotilaan sijoitettu muuntamo. Muuntamotila pyritään sijoittamaan rakennukseen maantasolle siten, että muuntamoon on suora käynti rakennuksen ulkoseinältä. Tällöin muuntamon komponenttien kuljettaminen sekä käyttöhenkilökunnan kulku ovat helpoiten järjestettävissä. Muuntamotilan sijoituksessa tulee ottaa huomioon tulvarajat, eli muuntamon ja siihen liittyvän kaapelitilan tulee sijaita tulvarajan yläpuolella.

Kaupungissa toimiessa kiinteistömuuntamoiden kellarisijoitukselta ei aina kuitenkaan voida välttyä, jolloin muuntamon kulkureitteihin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Muuntamotiloihin on oltava ympärivuorokautinen esteetön pääsy ilman ulkopuolista apua. Mikäli muuntamoon ei ole suoraa kulkua rakennuksen ulkoseinältä, kulku voidaan järjestää jättämällä reittiavaimet rakennuksen ulkopuolelle asennettuun putkilukkoon, joka on sijoitettu verkonhaltijan avaimille. Haalausreitit tulee ottaa huomioon muuntamotilan sijoitusta miettiessä, sillä muuntamotilaan tulee pystyä kuljettamaan kappale, jonka pituus on 2500 mm, leveys 1100 mm, korkeus 2200 mm ja paino 3000 kg. [12; 13.]

Muuntamotila voidaan myös rakentaa jätekatoksen, autokatoksen tai huoltorakennusten yhteyteen, jolloin myös mahdolliset kiinteistölle muuntamosta aiheutuvat haitat saadaan minimoitua. [13.]

Kiinteistömuuntamoiden haasteet Helsingissä

Kiinteistömuuntamoita on yleisesti pidetty HSV:ssä monella tapaa ongelmallisena ratkaisuna, mutta toimintaympäristöstä johtuvista syistä niiden käytöltä ei ole voitu välttyä. Kiinteistömuuntamoiden ongelmiksi on koettu mm. seuraavat asiat:

- erillismuuntamoita korkeammat kustannukset
- muuntamotilojen vuokrausprosessin hallinta

- muuntamopaikan pysyvyys
- monimutkainen ja aikaa vievä rakennuttamisprosessi
- kellarisijoituksen aiheuttamat ongelmat.

Muuntamopaikan pysyvyyden kohdalla on koettu ongelmia muuntamotilojen vuokrasopimusten määräaikaisuuden vuoksi. Vuokrasopimukset ovat yleisesti olleet 30–50 vuoden pituisia, eikä kiinteistön omistaja ole aina ollut halukas uusimaan sopimusta sen päätyttyä. Joissain tapauksissa sopimuksen toinen osapuoli on vastoin sopimusehtoja yrittänyt irtisanoa sopimuksen kesken sopimuskauden. Muuntamopaikan pysyvyys on tärkeää, sillä muuntamon siirtämisestä aiheutuvat verkonrakennuskustannukset ovat usein suuremmat kuin itse muuntamon rakentamis- tai saneerauskustannukset. Korvaavan muuntamopaikan löytäminen on myös usein haastavaa, etenkin tiiviisti rakennetuilla alueilla.

Kiinteistömuuntamoiden rakennuttamisprosessi on työläämpi kuin erillismuuntamoiden ja vaatii runsaasti yhteistyötä kiinteistön rakentajan kanssa. Muuntamotilan tarkasta sijoittumisesta rakennukseen neuvotellaan kiinteistön rakentajan kanssa, joka on ajoittain johtanut HSV:n kannalta haitallisiin kompromisseihin. Pahimmassa tapauksessa muuntamo joudutaan sijoittamaan rakennuksen kellarikerrokseen, mistä aiheutuu lukuisia ongelmia sekä muuntamon rakentamisen että käytön aikana. Kaupungin tulvastrategian mukaisesti muuntamoita ei sijoiteta tulvarajan alapuolelle, mutta kellariin sijoitettu muuntamotila voi silti tulvia esimerkiksi kadulla tapahtuvan putkirikon seurauksena. Kaapeli- ja haalausreitit ovat kellarisijoituksen seurauksena usein pitkiä ja hankalia eikä muuntamolle ole mahdollista rakentaa tilapäistä varasyöttöyhteyttä. Haalausreitit voivat myös olla HSV:n ohjeiden vastaisesti joko osittain tai kokonaan tukittuja. Kiinteistömuuntamon ilmanvaihdon suunnittelu ja toteutus on huomattavasti haastavampaa, jos muuntamo sijoitetaan kellarikerrokseen. Näiden sekä muiden kellarisijoituksesta aiheutuvien riskien hallitseminen muuntamotilan suunnittelun, rakentamisen ja käytön aikana aiheuttaa merkittävän määrän lisätöitä.

Muuntamotilasta maksetaan kiinteistön omistajalle korvaus vuosivuokran tai kertakorvauksen muodossa. Korvaus pyritään ensisijaisesti maksamaan vuosivuokrana, jolloin muuntamotilasta tehdään määräaikainen vuokrasopimus. Vuokrasopimusten hallinta on koettu haastavaksi ja muuntamotiloista maksetut vuokrat liian korkeiksi. Haasteita on usein ollut etenkin muuntamotilojen vuokrasopimusten uusimisen yhteydessä.

4.2 Erillismuuntamo

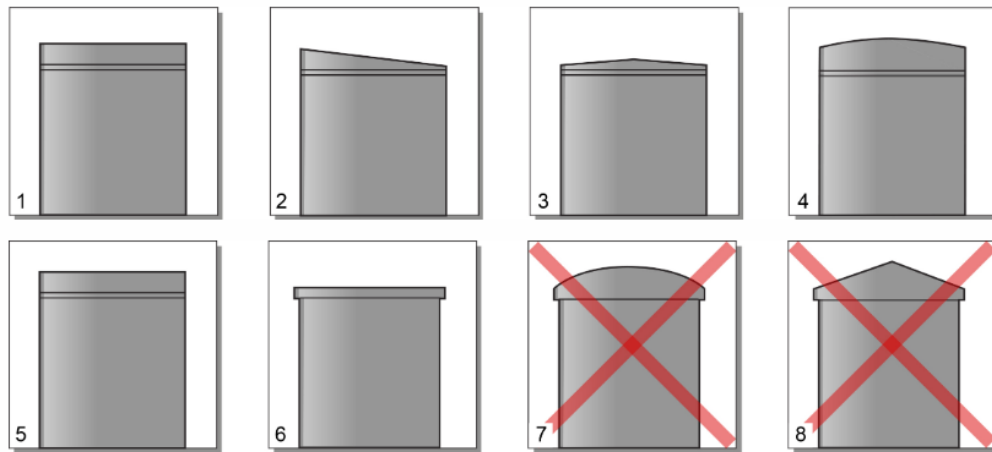
Erillismuuntamot voivat olla tehdasvalmisteisia muuntamokoppeja tai muuntamokäyttöön rakennettuja erillisiä rakennuksia. Uudet erillismuuntamot ovat lähes poikkeuksetta tehdasvalmisteisia betoni- tai peltikoppeja. Betonimuuntamo voidaan myös integroida osaksi piha- tai huoltorakennusta. Helsingissä muuntamoiden integroimisesta on joillain alueilla määrätty asemakaavassa.

Tehdasvalmisteiset erillismuuntamot voidaan jakaa rakenteensa mukaan sisältä ja ulkoa hoidettaviin muuntamoihin. Sisältä hoidettavassa muuntamossa on hoitokäytävä ja kaikki muuntamon käyttötoimenpiteet tehdään muuntamon sisältä käsin. Ulkoa hoidettavassa muuntamossa ei ole hoitokäytävää, joten keskijännite-erottimien ja pienjännitekeskuksen ohjaus tapahtuu muuntamon ulkopuolelta. [14, s. 65–66.]

Erillismuuntamoissa paloturvallisuuden, melun, magneettikenttien sekä muiden mahdollisten häiriöiden hallitseminen on helpompaa kuin kiinteistömuuntamoissa [14, s. 48].

Erillismuuntamoiden haasteet Helsingissä

Tiiviisti rakennetussa kaupungissa toimivalle verkkoyhtiölle erillismuuntamoiden ongelmiksi nousevat tilan puute sekä kaupunkikuvaan liittyvät määräykset, jotka asettavat vaatimuksia erillismuuntamoiden ulkonäölle. Tiheästi kaavoitetussa pääkaupungissa erillismuuntamoille on huomattavasti vaikeampi saada sijoituspaikkoja kuin Helsingin ulkopuolella. Helsingin kaupunkikuvaan kiinnitetään paljon huomiota, joten pienienkin julkisille alueille sijoitettavien laitteiden ja rakennelmien ulkonäköä säädellään tarkasti. Kaupungin ohjeistuksessa esitetään vaatimuksia mm. rakenteiden julkisivuväriytykselle sekä yläpinnan muodolle (kuva 3).



Kuva 3. Helsingin kaupunkitilaohjeen muotopaletin ohjeistus rakenteiden yläpinnoista [15].

Helsingissä käytettäville erillismuuntamomalleille täytyy hakea mallihyväksyntä ennen kuin niiden sijoittamiseen voi hakea toimenpidelupaa. Mallihyväksyntää ei kuitenkaan ole saatu muuntamovalmistajien vakiomallisille erillismuuntamoille, joten HSV on joutunut kehittämään yhdessä arkkitehtitoimiston kanssa Helsingin kaupunkikuvaan sopivat erillismuuntamomallit.

HSV:n tämän hetkisisissä mallihyväksytyissä erillismuuntamoissa on puu- tai metalliverhoilu, joka tekee niistä huomattavasti vakiomallisia erillismuuntamoita kalliimpia. Nykyisten puu- ja metalliverhoilujen osuus muuntamokopin kokonaishinnasta on valmistajan antaman arvion mukaan noin 25–35 %. HSV:n käyttämiä verhoiltuja erillismuuntamomalleja on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. HSV:n metalli- ja puuverhoillut erillismuuntamomallit.

Huomattavasti korkeampien investointikustannuksien lisäksi verhoillun erillismuuntamon kunnossapito on haastavampaa ja kalliimpaa kuin tavallisen verhoilemattoman erillismuuntamon. Puuverhoilun huoltomaalaus on hankalaa, jonka vuoksi verhoilun elinikä lyhenee. Puuverhoiluissa erillismuuntamoissa on todettu myös lahoamisongelmia. Painava verhoilu rasittaa muuntamon ovien saranoita ja saattaa jopa vääntää muuntamon rungon tukipalkkeja. [16.]

HSV:n käyttämissä erillismuuntamomalleissa on tasakatto, josta vesi ohjataan katolla olevaan vedenpoistoaukkoon. Tällainen kattorakenne synnyttää useita kunnossapidollisia ongelmia, joita ei ole tavallisella harjakatolla varustetulla erillismuuntamolla. Katolle kerääntyy roskia ja katto sammaloituu, joka tukkii helposti vedenpoistoaukon (kuva 5). Talvella katolle jäänyt vesi jäätyy ja sulaa, mikä saattaa lyhentää katon pinnoitteen elinikää. [16.]



Kuva 5. Erillismuuntamon katolle kerääntyneitä roskia.

Verhoiluprojekti

HSV:llä on käynnissä erillismuuntamoihin liittyvä projekti, jossa etsitään uusia verhoiluratkaisuja nykyisten mallien tilalle. Projektin tavoitteena on löytää uusi kaupungin hyväksymä erillismuuntamomalli, jolla päästään nykyistä alhaisempiin investointi- ja kunnossapitokustannuksiin. Yhteistyökumppanina projektissa toimii arkkitehtitoimisto, joka suunnittelee HSV:n ohjeiden mukaisesti erillismuuntamolle mahdollisimman kustannustehokkaan Helsingin kaupunkikuvaan sopivan julkisivuratkaisun.

Helsingin kaupunkikuvaan sopivan erillismuuntamomallin kehittämisestä on keskusteltu myös muuntamovalmistajien kanssa. Jotta uusi muuntamomalli pystyttäisiin kilpailuttamaan tehokkaasti, tulisi kiinnostusta löytyä mahdollisimman monelta eri valmistajalta. Pieniltä vaikuttavat rakenteelliset muutokset valmistajien nykyisiin muuntamomalleihin voivat kuitenkin tulla kalliiksi. Esimerkiksi kattorakenteen muuttaminen johtaisi monen valmistajan kohdalla muuntamon uusiin tyyppitestauksiin riippumattomassa laboratoriossa, sillä valokaaren aiheuttaman paineen hallittu purkautuminen tapahtuu monessa muuntamomallissa katolla olevan kanavan kautta. Jotta uuden muuntamomallin kehittäminen olisi valmistajien näkökulmasta kannattavaa, HSV:n vuosittaisen tilausmäärän tulisi olla huomattavasti nykyistä suurempi. Helsingissä rakennetaan vuosittain keskimäärin noin 15 uutta erillismuuntamoita, kun taas suuret maaseutuyhtiöt saattavat asentaa verkkoonsa vuoden sisällä jopa yli 1000 uutta muuntamoita. [17.]

Haasteena on löytää kustannustehokas, kevyt ja helposti huollettava verhoiluratkaisu, joka sopii kaupungin maisema-arkkitehdille eikä aiheuta ongelmia esimerkiksi veden poiston tai ilmanvaihdon kanssa. Valmistajilta saatujen hinta-arvioiden perusteella vaihtoehtoiset verhoiluratkaisut eivät tule merkittävästi alentamaan verhoiltujen erillismuuntamoiden investointikustannuksia. Tämän vuoksi HSV:n tavoitteena on päästä kaupungin kanssa sopimukseen verhoilemattomien erillismuuntamoiden sijoittamisesta sellaisille alueille, joissa kaupunkikuvalliset vaatimukset eivät ole yhtä korkeita kuin muualla Helsingissä, kuten teollisuus- ja yritysalueille. Tällä hetkellä verhoiltuja erillismuuntamoita asennetaan myös syrjäisille alueille, joissa tiukat vaatimukset muuntamon ulkonäölle eivät ole kaupunkikuvan näkökulmasta perusteltavissa.

Kustannustehokkain ratkaisu olisi luultavasti kaupungin ohjeiden mukaisella värillä maalattu vakiomallinen erillismuuntamo loivalla harjakatolla, joka verhoiltaisiin kevyesti Helsingin kaupunkikuvaan sopivaksi sijoituspaikan niin vaatiessa. Tällöin valmistajien ei tarvitsisi kehittää HSV:n tarpeisiin uutta muuntamomallia, jonka ansiosta erillismuuntamotilaus pystyttäisiin myös kilpailuttamaan tehokkaammin useamman valmistajan kesken. Valmistajien vakiomallit ovat myös koetellumpaa tekniikkaa kuin erikoisvalmisteiset erillismuuntamomallit, joten ne ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan parempi vaihtoehto.

4.3 Jakelumuuntamon komponentit

Keskijännitekojeisto

Keskijännitekojeisto on verkkokomponentti, jota käytetään keskijänniteverkon ohjaukseen, suojaukseen, kytkentään sekä valvontaan. Keskijännitekojeistot voidaan luokitella niiden rakenteen mukaan avorakenteisiin ja koteloituihin kojeistoihin. Kojeistot voidaan myös luokitella niissä käytettävän eristeaineen mukaan ilmaeristeisiin ja SF₆-kaasueristeisiin kojeistoihin. [18, s. 117.]

Avorakenteiset kojeistot ovat ennen olleet yleisiä ratkaisuja keskijänniteverkoissa ja niitä on yhä käytössä vanhoissa muuntamoissa. Tehdasvalmisteiset koteloidut kojeistot ovat kuitenkin korvanneet avorakenteiset keskijännitekojeistot niiden tarjoaman tilansäästön ja käyttöturvallisuuden vuoksi. Paikan päällä rakennettavia avorakenteisiä kojeistoja (kuva 6) ei enää rakenneta millään käyttöjännitetasolla, joten käytössä olevat avorakenteiset keskijännitekojeistot ovat yleisesti yli 30 vuotta vanhoja. [12, s. 21; 18, s. 119.]



Kuva 6. Vanha avorakenteinen muuntamon keskijännitekojeisto.

Koteloitujen SF₆-kaasueristeisten keskijännitekojeistojen käyttö yleistyi Suomessa 1990-luvun alussa. Nykyään useat kaupunkiverkko-yhtiöt käyttävät keskijännitekojeistoinaan yksinomaan niitä, sillä niiden avulla säästetty tila on erityisen arvokasta tiiviissä kaupunkiympäristössä. Muuntamokäyttöön tarkoitetut SF₆-eristeiset keskijännitekojeistot vievät pituussuunnassa noin kolmasosan ja korkeussuunnassa noin puolet vähemmän tilaa verrattuna vastaavaan ilmaeristeiseen kojeistoon. [12, s. 19; 18, s. 126.]

HSV:n jakelumuuntamoissa on käytetty vuodesta 1986 lähtien lähes yksinomaan SF₆-kaasueristeisiä RMU-kojeistoja [11, s. 31]. RMU-kojeisto (Ring Main Unit) on silmukoituun keskijänniteverkkoon tarkoitettu SF₆-kaasueristeinen kuormanerotinkojeisto, joka mahdollistaa muuntajan liittämisen silmukoituun verkkoon ja sen erottamisen molemmista syöttösuunnista [18, s. 138]. HSV:n käyttämissä RMU-kojeistoissa käytetään johdotähdöillä kuormanerotintia ja muuntajälähdöillä varokekuormanerotintia. Muuntajälähtöjen varokekuormanerotimet ovat varustettu keskijännitesulakkeilla, jotka suojaavat muuntajia pääasiassa oikosulkuvirran vaikutuksilta [19, s. 11]. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki HSV:n käyttämästä RMU-kojeistosta.



Kuva 7. Esimerkkikuva HSV:n käyttämästä RMU-kojeistosta.

Keskijännitekojeiston muuntajaliitäntä

HSV:n uudet jakelumuuntamot rakennetaan kosketussuojattuina, jolloin keskijännitekojeisto, muuntaja, pienjännitekojeisto sekä niiden väliset yhteydet ovat rakenteeltaan kosketussuojattuja. Keskijännitekojeiston ja muuntajan välisenä kaapelina käytetään HXCMK 1x35/16 -keskijännitekaapelia. HXCMK on yksijohtiminen PEX-eristetty kupari-kaapeli, jossa on konsentrinen kuparijohdin. [19, s. 11]

HSV:n jakelumuuntamoissa on käytetty sekä eristettyjä että kosketussuojattuja kaapelipäätteitä. Nykyään muuntamoiden KJ-kaapelipäätteinä käytetään pelkästään kosketussuojattuja pistokepäätteitä (kuva 8).



Kuva 8. Keskijännitekojeiston muuntajaliitännän kosketussuojatut päätteet muuntajan kannella.

Muuntaja

Muuntaja on rakenteeltaan yksinkertainen vaihtosähköjärjestelmissä käytetty sähkölaite, joka muuntaa ja usein myös säättää jännitteitä ja virtoja sähkömagneettisen induktion avulla [18, s. 141]. Keskijänniteverkoissa käytettävät jakelumuuntajat muuntavat 10 kV:n tai 20 kV:n keskijännitteen 0,4 kV:n pienjännitteeksi.

Jakelumuuntajat voidaan jakaa rakenteensa mukaan paisuntasäiliöllisiin, hermeettisesti suljettuihin sekä valuhartsieristeisiin jakelumuuntajiin [20, s. 284].

Paisuntasäiliölliset ja hermeettisesti suljetut muuntajat ovat öljyeristeisiä ja -jäähdytteisiä. Muuntajan kuormituksen noustessa sen lämpötila nousee, jonka vuoksi muuntajan sisältämä öljy laajenee. Paisuntasäiliöllisessä muuntajassa öljyn tilavuuden muuttuessa öljyn pinnankorkeus vaihtelee paisuntasäiliössä. Hermeettisissä muuntajissa ei ole paisuntasäiliötä. Ne ovat kaasutiiviisti suljettuja ja niiden seinämät on suunniteltu joustamaan öljyn tilavuuden muuttuessa. Muuntajien rakenne on mitoitettu kestämään ylikuormituksenkin aiheuttama ylipaine. Hermeettisesti suljetut muuntajat ovat hieman matalampia kuin paisuntasäiliöiset muuntajat ja kaasutiiviin rakenteensa ansiosta öljy vanheee niissä hitaammin. [20, s. 284–285.]

Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja, eli kuivamuuntaja, on tarkoitettu käytettäväksi sellaisissa kohteissa, joissa öljyeristeisen muuntajan käyttö ei ole esimerkiksi palo- tai saastumisvaaran vuoksi mahdollista. Kuivamuuntajien yleisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi kauppakeskukset ja sairaalat. Korkeamman hintansa vuoksi kuivamuuntajat ovat kuitenkin harvinaisia jakeluverkoissa. [20, s. 288.]

HSV:n jakelumuuntajat ovat lähes yksinomaan paisuntasäiliöllisiä ja hermeettisiä muuntajia, mutta käytössä on myös hyvin pieni määrä kuivamuuntajia. 1980-luvun puolivälistä lähtien uusiin ja saneerattuihin muuntamoihin on asennettu yksittäisiä kuivamuuntajia lukuun ottamatta pelkästään hermeettisiä muuntajia [11, s. 49]. Nykyään käytössä olevat muuntajakoot ovat 630, 800 ja 1000 kVA. HSV:n jakelumuuntajat ovat suurimman osan ajasta noin 30–50 % kuormituksessa. [19, s. 10.]

Pienjännitekeskuksen muuntajaliitäntä

Jakelumuuntaja kytkeytyy pienjännitteiseen jakeluverkkoon muuntamon pienjännitekeskuksen kautta. Muuntajan ja pienjännitekeskuksen yhdistykseen käytetään HSV:n jakelumuuntamoissa virtakiskoja sekä suurvirtakaapelijärjestelmiä. Kuvassa 9 on esitetty pienjännitekeskuksen muuntajaliitännän eri toteutustavat.



Kuva 9. Pienjännitekeskuksen muuntajaliitäntä virtakiskoilla (vas.) ja suurvirtakaapelijärjestelmällä (oik.) toteutettuna.

Virtakiskot voivat olla rakenteeltaan joko taipuisia tai kiinteitä ja niiden materiaalina on käytetty sekä alumiinia että kuparia. Kiinteät alumiinikiskot ovat olleet aiemmin yleinen ratkaisu, mutta uusissa muuntamoissa käytetään vain taipuisia kuparikiskoja tai suurvirtakaapelijärjestelmiä. Taipuisaa virtakiskoa käyttämällä muuntaja ja pienjännitekeskus

voidaan asentaa seläkkäin, jonka ansiosta voidaan käyttää pienempiä muuntamotiloja. [11, s. 49–50.]

Jos muuntaja ja pienjännitekeskus joudutaan asentamaan kauemmas toisistaan, niiden välinen yhteys toteutetaan yleisesti suurvirtakaapelijärjestelmällä. Suurvirtakaapelointiin käytetään HSV:n jakelumuuntamoissa XMK 1x185 -pienjännitekaapelia. XMK on PEX-eristeinen yksijohtiminen kuparikaapeli. [11, s. 49–50.]

Pienjännitekeskus

Muuntamon pienjännitekeskukseen kytketään jakokaapeille lähtevät pienjänniteverkon runkojohdot sekä etenkin kiinteistömuuntamoissa myös liittymisjohtoja. Pienjännitekeskuksen kytkinlaitteina toimivat jonovarokeytkimet, joihin asennetaan runkojohtojen suo-
jaukseen käytetyt kahvasulakkeet. HSV:n uusien jakelumuuntamoiden pienjännitekeskuksissa on tavallisesti 14 kappaletta 400 A:n jonovarokeytkimiä. Pienjännitekeskus sisältää myös omakäyttöosan, josta syötetään muuntamon sisäisiä sähkölaitteita, kuten valaistusta sekä automaatio- ja valvontalaitteistoa. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki jakelumuuntamon pienjännitekeskuksesta.



Kuva 10. Esimerkkikuva jakelumuuntamon pienjännitekeskuksesta.

5 Muuntamoiden sijoitusprosessi

Kaavoitusprosessi

Uudisalueelle rakennettavan uuden muuntamon sijoitusprosessi käynnistyy alueen kaavoitusvaiheessa. Kaavoitus on maankäytön suunnittelua, jonka tavoitteena on varmistaa ja ohjata alueiden kehittymistä. Kunnat ovat vastuussa maa-alueidensa yleis- ja asemakaavoituksesta, joilla määritellään eri toimintojen, kuten asuinalueiden, työpaikkojen ja viheralueiden sijoittuminen kaupungin sisällä. [21.]

Yleiskaava on koko kaupungin kattava maankäytön ja liikenteen järjestämisen yleispiirteinen suunnitelma, joka ohjaa asemakaavoitusta. Yleiskaavaa voidaan täydentää tai muuttaa tiettyä aluetta koskevalla osayleiskaavalla. Helsingissä on voimassa olevia osayleiskaavoja mm. Jätkäsaaren, Keski-Pasilan, Kuninkaantammen sekä Kruunuvuorenrannan alueilla. Nykyään uusista alueista ei kuitenkaan usein tehdä erillistä osayleiskaavaa vaan alueen asemakaava tehdään koko kaupunkia ohjaavan yleiskaavan pohjalta. [21.]

Asemakaavoilla säädellään alueen käyttöä ja rakentamista. Kaavassa määrätään mm. rakennusten sijainti, koko ja käyttötarkoitus, katujen leveydet sekä muita alueen rakenteeseen ja kaupunkikuvaan vaikuttavia asioita. Asemakaavoja on erilaajuisia, sillä ne voivat koskea kokonaista asuinalueita tai vain yhtä tonttia. [21.]

Kaavoitus on monivaiheinen prosessi ja se voi kestää jopa useita vuosia. Prosessin laajuuteen vaikuttavat kaavan luonne ja merkittävyys. Laajoja alueita koskevissa yleiskaavassa ja osayleiskaavoissa prosessi on pidempi ja osallistumismahdollisuuksia on enemmän. Kaavoitusprosessin eri vaiheet on esitetty kuvassa 11. Aloite kaavan laatimiseksi voi tulla maanomistajalta tai kaupungin eri tahoilta. Kaavamuutosta aletaan laatimaan, jos kaupunki pitää sitä tarkoituksenmukaisena. [22.]



Kuva 11. Kaavoitusprosessin vaiheet [22].

Kaavahankkeen aloitusvaiheessa sen etenemisestä tehdään suunnitelma, jota kutsutaan osallistumis- ja arviointisuunnitelmaksi (OAS). Suunnitelmassa kerrotaan kaavahankkeen tavoitteet ja lähtökohdat, miten kaavan valmisteluun voi osallistua, miten kaavan valmistelu ja päätöksenteko etenevät, miten kaavoitushankkeen edistymisestä tiedotetaan sekä miten kaavan vaikutuksia arvioidaan. [22.]

Kaavoituksen aloitusvaiheessa kaikki hankkeesta kiinnostuneet voivat tutustua aineistoon ja antaa siitä mielipiteensä kirjallisesti, puhelimitse tai tapaamisessa kaavoittajan kanssa. Jos kaavahanke on merkittävä ja herättää tarpeeksi kiinnostusta, siitä voidaan järjestää myös erillinen yleisötilaisuus. Kaavoituksen käynnistymisestä ilmoitetaan myös kirjeitse kaikille hankkeen osallisille, kuten kaavoitettavan alueen maanomistajille, asukkailla, yritykselle sekä seuroille. Hankkeen aloitusvaiheessa kaavan valmistelija laatii kaavaluonnoksen sekä yhteistyössä eri alojen asiantuntijoiden kanssa muuta valmisteluaineistoa, joissa kuvataan alustavasti mm. kaavoitettavan alueen eri osien käyttötarkoitukset sekä rakentamisen määrä ja sijoittaminen. [22.]

Alkuvaiheessa laaditun valmisteluaineiston pohjalta laaditaan kaavaehdotus, joka asetetaan virallisesti nähtäville. Kaavaehdotus on lähes valmis kaava, joka on kaupunkiympäristön toimialan näkemyks alueesta päätöksentekoa varten. Kaavaehdotus sisältää kaavaselostuksen sekä kaavakartan kaavamerkintöineen ja -määräyksineen. Kaavaselostus on asiakirja, jossa kerrotaan mm. alueen historiasta ja nykytilanteesta, kaavan vaikutuksista, suunnittelun tavoitteista ja vaihtoehdoista sekä kerrotaan valitun kaavaratkaisun keskeisistä ominaisuuksista. Varsinaisen juridisen kaavan muodostavat kaavakartta ja sen sisältämät kaavamerkinnät ja -määräykset. [22; 23.]

Kaavaehdotuksessa otetaan mahdollisuuksien mukaan huomioon alkuvaiheessa saadut mielipiteet, ja osakkaat sekä kunnan jäsenet voivat halutessaan jättää ehdotuksesta

muistutuksia. Muistutuksien määräaika on 14 tai 30 päivää kaavaehdotuksen merkittävyydestä riippuen. Kaavaehdotuksesta pyydetään myös lausunnot viranomaisilta. Kaavan valmistelija laatii lausuntoihin ja muistutuksiin perustellut vastaukset ja tekee tarpeen mukaan kaavaan muutoksia. Jos muutokset ovat merkittäviä, kaavaehdotus asetetaan uudestaan julkisesti nähtäville. [22; 23.]

Nähtävilläoloajan jälkeen kaavaehdotus etenee hyväksyttäväksi. Muun kuin vaikutukseltaan merkittävän asemakaavan muutoksen hyväksyy kaupunkiympäristölautakunta. Tällaisia muutoksia ovat mm. kadun nimen tai numeron muuttaminen, tietyt muutokset rakennusoikeuteen, rakennuksien julkisivujen tai rakennusmateriaalien muutokset, rakennuksen suurimman sallitun kerrosluvun muuttaminen enintään kahdella kerroksella sekä muutokset alueen käyttötarkoitukseen. Kaupunkiympäristölautakunta päättää myös uuden asemakaavan hyväksymisestä, jos kaava laaditaan maanalaisten tilojen rakentamiseksi katualueella tai muulla yleisellä alueella, tai jos kaava laaditaan laajuudeltaan vähäiselle asemakaavoittamattomalle alueelle. Jos kaavalla on merkittäviä vaikutuksia, kaavaehdotus etenee kaupunginhallituksen kautta valtuuston hyväksyttäväksi. [22; 24.]

Kaavan hyväksymisestä ilmoitetaan kaupungin verkkosivuilla ja erikseen Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle sekä niille viranomaisille, kuntalaisille ja muistutuksen tehneille, jotka ovat sitä pyytäneet kaavan nähtävilläoloaikana. Hyväksymispäätöksestä voi valittaa Helsingin hallinto-oikeuteen sekä edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Mikäli hyväksymispäätöksestä ei valiteta, asemakaava tulee voimaan valitusajan jälkeen. Jos kaavan hyväksymispäätöksestä tulee valituksia, kaava tulee voimaan vain, jos valitukset hylätään oikeuskäsittelyssä. [22.]

Muuntamoiden merkitseminen asemakaavaan

Kaavoituksen pohjalta tehdään keskijänniteverkon yleissuunnitelma, jossa määritetään suunnitelma-alueelle keskijännitteisen jakeluverkon tavoiteverkkomallin mukainen topologia. Uusi asemakaava tulee HSV:n yleissuunnittelijan tarkasteltavaksi kaavaluonnosvaiheessa, jolloin selvitetään, täytyykö alueelle rakentaa uutta keskijänniteverkkoa sekä uusia muuntamoita. Alueelle tehdään kaavamerkintöjen perusteella alustavat kuormitusennusteet, joiden pohjalta määritetään mahdollisesti tarvittavien uusien muuntamoiden määrä. Muuntamoille suunnitellaan sähkötekniisesti optimaalinen sijainti, josta riippuen muuntamo suunnitellaan toteutettavaksi joko erillis- tai kiinteistömuuntamona.

Kaavan valmistelijalle lähetetään kaavoitettavasta alueesta keskijänniteverkon yleissuunnitelma, johon on merkitty muuntamoiden suunnitellut sijainnit. Kaavan valmistelijalla voi olla ehdotuksia muuntamon tarkkaan sijaintiin liittyen, etenkin erillismuuntamoiden kohdalla, joten muuntamoiden sijoittumisesta neuvotellaan tarvittaessa kaavan valmistelijan kanssa. Kaavaehdotukseen kirjattavat muuntamoihin liittyvät määräykset syntyvät kaavan valmistelijan ja HSV:n yleissuunnittelijan vuorovaikutuksen tuloksena.

Yleiselle alueelle sijoitettavaa erillismuuntamoita varten merkitään asemakaavaan yhdyskuntateknistä huoltoa palvelevien rakenteiden ja laitteiden alue (kuva 10). Tontille sijoitettavia muuntamoita varten tehdään asemakaavaan yleensä kortteli- tai tonttikohtainen kaavamääräys. Kaavamääräys voi olla myös koko kaava-alueen koskeva yleispiirteisempi määräys, jossa esimerkiksi veloitetaan varautumaan muuntamon sijoittamiseen tontille.



Kuva 12. Erillismuuntamolle merkitty alue asemakaavassa.

Tontille rakennettavat muuntamot voivat olla tavallisia erillismuuntamoita tai integroitua erillismuuntamoita, mutta tavallisesti kaavan valmistelija ohjaa sijoittamaan tontille rakennettavat muuntamot rakennuksien sisälle, eli toteuttamaan ne kiinteistömuuntamoina. Kaavamääräyksen sanamuoto vaihtelee tapauskohtaisesti ja sillä voi olla suuri

vaikutus siihen, kuinka muuntamotila sijoitetaan rakennukseen sekä kuinka helposti muuntamotilan sijoittamisesta päästään sopimukseen kiinteistön rakentajan kanssa.

Liian tarkka kaavamääräys voi olla myös haitaksi HSV:lle, kun muuntamon varsinainen suunnittelu ja rakentaminen aloitetaan. Asemakaavan hyväksymisen jälkeen voi kulua useita vuosia, ennen kuin alueen rakentaminen aloitetaan, eikä asemakaavaan merkitty muuntamopaikka välttämättä olekaan enää tässä vaiheessa HSV:n näkökulmasta optimaalinen sijainti muuntamolle. Jos muuntamolle on määrätty paikka asemakaavassa, on kuitenkin erittäin vaikeaa saada muuntamo kaavamerkinnästä poikkeavalle sijainnille. Tämä on todellinen riski etenkin erillismuuntamoiden kohdalla, sillä maanrakennuskustannukset voivat vaihdella suuresti erillismuuntamon sijainnista riippuen. Pahimmassa tapauksessa kaavaan merkityssä muuntamopaikassa voi olla kallioinen maaperä, jolloin louhinnasta aiheutuvat kustannukset voivat olla suuremmat kuin itse erillismuuntamon rakentamiskustannukset. Kiinteistömuuntamoiden kohdalla riskinä ovat liian tarkat kaavamääräykset jotka velvoittavat muuntamon sijoittamisen tietyille tontille, korttelin rakennusjärjestyksestä huolimatta. Tällöin muut muuntopiirin asiakkaat voivat tarvita sähköliittymän muuntamosta ennen kuin muuntamotilan sisältävän kiinteistön rakentamista on edes aloitettu.

Kaavamääräys on kuitenkin paras tapa varmistaa muuntamopaikkojen saaminen tiheästi rakennettavilla alueilla, joten muuntamoille pyritään lähestulkoon aina saamaan asemakaavaan kaavamerkintä tai -määräys.

HSV:lle lähetetään vielä lausuntopyyntö, kun kaavaehdotus asetetaan virallisesti nähtäville. Kaavaehdotuksesta annettava lausunto on käytännössä HSV:n viimeinen tilaisuus vaikuttaa muuntamoihin liittyviin kaavamerkintöihin, mutta pääosin niihin pyritään vaikuttamaan jo kaavaehdotuksen laatimisvaiheessa käytävän vuorovaikutuksen aikana. Lausunnossa voidaan kuitenkin ottaa kantaa mahdollisiin puutteisiin, mikäli kaavan valmistelija ei ole kaavaehdotuksessa huomioinut kaavoitusprosessin alkuvaiheessa annettuja kommentteja.

Muuntamon lopullinen sijoitus

Kiinteistömuuntamon tarkka sijoittuminen asemakaava-alueella määräytyy alueen rakentamisen valmistelun yhteydessä. HSV:n yleissuunnittelija on mukana viranomaisten

ja alueen rakentajien välisessä keskustelussa, jossa sovitaan mm. alueen rakentamisen aikataulusta. Kiinteistömuuntamo pyritään sijoittamaan korttelin ensimmäisenä nousevaan rakennukseen. Jos kiinteistöjä rakennetaan samanaikaisesti, muuntamon sijoittamista ehdotetaan sen kiinteistön rakentajalle, johon muuntamo sopii parhaiten verkon kannalta.

Muuntamotilan varsinainen suunnittelu- ja rakennuttamisprosessi käynnistyy, kun kiinteistön rakentaja ottaa yhteyttä HSV:n muuntamoasiantuntijaan. Muuntamotilan vuokrausprosessi käynnistetään myös heti yhteydenoton jälkeen, sillä vuokrasopimuksen tulisi olla valmis ennen muuntamotilan rakentamisen aloittamista. Muuntamotilan tarkasta sijoittumisesta rakennuksessa neuvotellaan vielä rakentajan kanssa ja heille painotetaan HSV:n ohjeiden mukaisen sijoituksen tärkeyttä, jotta vältetään muuntamon kellarisijoituksen aiheuttamilta haitoilta. Muuntamotila pyritään sijoittamaan aina maan tasalle, niin että muuntamoon on suora kulku rakennuksen ulkoseinältä. Kiinteistön arkkitehtikuvien pohjalta muuntamosta piirretään rakennuspiirustus, jossa on esitetty tilaa koskevia tarkennuksia. Muuntamon rakennuspiirustuksen lisäksi rakentajalle toimitetaan HSV:n laatima kiinteistömuuntamon suunnittelu- ja rakentamisohje. Kiinteistön suunnittelun aikana HSV:n muuntamoasiantuntija ohjaa yksityiskohtaisesti muuntamotilan suunnittelua ja varmistaa, että tila on suunniteltu viranomaisten määräysten ja HSV:n ohjeiden mukaisesti.

Rakentamisen alkaessa työmaalla pidetään rakentamisen aloituspalaveri. Aloituspalaverissa käsiteltäviä asioita ovat mm. muuntamotilan vuokrasopimuksen tilanne, HSV:n muuntamosuunnitelma sekä suunnittelu- ja rakentamisohje, kiinteistön suunnitelmat, muuntamon haalausreitti sekä rakentamisen aikataulu. Muuntamotilan rakentamisen aikana pidetään usein vielä rakentajan kanssa välikatselmus, jotta mahdollisiin puutteisiin pystytään reagoimaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tilan valmistuttua sille tehdään vastaanottotarkastus ja mikäli tarkastuksen aikana ei tule ilmi puutteita, muuntamotila otetaan vastaan.

Uudisalueelle rakennettavan erillismuuntamon sijoituspaikka on lähes poikkeuksetta merkitty asemakaavaan, jolloin muuntamon sijainnista ei täydy enää neuvotella muuntamon rakentamisen yhteydessä. Pysyville erillismuuntamoille täytyy kuitenkin Helsingissä hakea toimenpidelupa rakennusvalvontavirastosta. Toimenpidelupa tarvitaan Helsin-

gissä rakennelman sijoittamiseen, jos sillä on vaikutusta luonnonoloihin, ympäröivän alueen maankäyttöön tai kaupunki- ja maisemakuvaan [25, s. 1]. Toimenpideluvan hakee HSV:n sopimusarkkitehti, joka tekee hakemusta varten muuntamon asemapiirustuksen, suunnittelee muuntamon maisemoinnin, valitsee ympäristöön sopivan verhoilun sekä piirtää muuntamosta kuvaistutuksen. Kuvaistutuksessa esitetään luonnos erillismuuntamosta sen sijoituspaikassa (kuva 11). Muuntamon maa-alasta tehdään myös kaupungin kanssa tilapäinen vuokrasopimus toimenpidelupaa varten. Muuntamon valmistuttua se lisätään HSV:n ja kaupungin välisen yleisillä alueilla sijaitsevia erillismuuntamoita koskevan maanvuokrasopimuksen piiriin.



Kuva 13. Verhoillun erillismuuntamon sijoitusta havainnollistava kuvaistutus

Mikäli erillismuuntamolle ei ole merkitty paikkaa asemakaavassa, HSV:n muuntamoasi-
antuntija ja sopimusarkkitehti käyvät maastossa etsimässä muuntamolle sopivan paikan.
Arkkitehti ehdottaa paikkaa kaavoittajalle ja käy tarvittaessa paikan päällä neuvottele-
massa muuntamon tarkasta sijainnista. Kun kaavoittaja on hyväksynyt paikan, arkkitehti
voi hakea muuntamolle toimenpidelupaa, jonka jälkeen muuntamon rakentamisessa voi-
daan edetä normaaliin tapaan.

6 Muuntamoiden elinkaarilaskenta

6.1 Elinkaarilaskennan periaatteet

Voidakseen vertailla eri vaihtoehtojen kannattavuutta investointipäätöstä tehdessä, yrityksen on otettava huomioon ostohinnan lisäksi kaikki muut investointipäätöksestä aiheutuvat kustannukset. Investointikustannuksiltaan kalliimpi ratkaisu voi todellisuudessa olla taloudellisesti kannattavampi vaihtoehto, kun vertailussa huomioidaan kaikki eri vaihtoehtojen elinkaarien aikana syntyvät kustannukset. [26, s. 1.]

Elinkaarikustannukset syntyvät pitkällä aikavälillä, mutta eri ajankohtina syntyvät kustannukset ja tuotot eivät ole sellaisenaan vertailukelpoisia. Raha kasvaa korkoa, joka on otettava laskelmissa huomioon. Yksi tapa vertailla eri ajankohdille sijoittuvia kustannuksia on nykyarvomenetelmä, jota käytetään tässä työssä tehdyissä laskelmissa. Nykyarvomenetelmässä tulevaisuuden kustannuksille ja tuotoille lasketaan nykyarvo diskonttaamalla. Mitä kauempana tulevaisuudessa maksu tapahtuu, sitä pienempi sen arvo on nykyhetkellä. (19, s. 1–2.)

Kustannuksen nykyarvo voidaan laskea kaavassa 13 esitetyllä tavalla.

$$K_N = K_t \times \frac{1}{(1 + p)^t} \quad (13)$$

K_N on kustannuksen nykyarvo

K_t on kustannus vuonna t

p on laskennassa käytetty korkokanta

t on vuosi, jona kustannus toteutuu.

Elinkaarikustannusten laskeminen on teoriassa yksinkertaista, mutta käytännössä tarkkojen laskelmien tekeminen voi olla haastavaa, etenkin suurien kokonaisuuksien kohdalla. Jotta laskelmien perusteella voidaan tehdä hyödyllisiä johtopäätöksiä, täytyy olla tarkat lähtötiedot eri kustannustekijöistä ja niiden hinnoista.

Laskelmissa ennustetaan tulevaisuuden kustannuksia, joten niihin sisältyy aina hieman epävarmuutta. Mitä pidempi tarkastelujakso laskennan pohjaksi valitaan, sen vaikeampaa elinkaaren tarkasta mallintamisesta tulee.

HSV:n käyttämä elinkaarikustannusmalli

Vuonna 2015 HSV:ssä toteutettiin TCO-projekti, jonka tavoitteena oli luoda toimintamalli hankkeiden liiketoiminnallisen kannattavuuden arvioimiseksi. Projekti oli osa HSV:n laajempaa strategista tavoitetta nostaa kannattavuus- ja elinkaarikustannusajattelu ohjauksiksi tekijäksi yrityksen toiminnassa. HSV:n tavoitteena on tulevaisuudessa käyttää elinkaarikustannuksia yhä laajemmin päätöksenteon kriteerinä ja parantaa TCO-mallin avulla investointitehokkuutta.

TCO-projektin aikana kehitettiin HSV:n käyttötarkoitukseen räätälöity elinkaarilaskentamalli, jossa huomioidaan seuraavat tekijät:

- investointikustannukset
- käyttö- ja kunnossapitokustannukset
- häviöt
- KAH (keskeytyksestä aiheutunut haitta)
- riskit
- regulaatio.

Jotta TCO-mallia pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman laajasti investointipäätösten apuna, projektin aikana kehitettiin Excel-pohjainen TCO-vertailumallipohja. Kyseistä mallipohjaa käytettiin apuna myös tämän insinööriyön aikana tehdyssä muuntamoiden elinkaarilaskennassa.

6.2 Muuntamoiden elinkaarikustannusten laskeminen

HSV:n jakeluverkossa käytetyt muuntamot jaettiin elinkaarikustannusten vertailua varten neljään eri vaihtoehtoon:

- kiinteistömuuntamo
- peltinen erillismuuntamo
- betoninen erillismuuntamo
- integroitu betonimuuntamo.

Peltinen ja betoninen erillismuuntamo tarkoittavat tässä yhteydessä HSV:n nykyisiä verhoiluja erillismuuntamomalleja.

Näiden neljän nykyisen muuntamomallin lisäksi vertailuun otettiin mukaan verhoilematon erillismuuntamo, jotta nykytilanteen lisäksi pystyttiin tarkastelemaan myös HSV:n kannalta kannattavampaa erillismuuntamomallia. Verhoilematon erillismuuntamo toimi vertailukohtana erillismuuntamoiden nykytilanteen ja HSV:n tavoitteleman tilanteen välillä. Sen elinkaarikustannuksista poistettiin sellaisia kustannustekijöitä, joita erillismuuntamoille syntyy HSV:n toimintaympäristön asettamien vaatimuksien vuoksi.

Muuntamoiden elinkaarilaskennassa käytettiin HSV:n TCO-laskentamallia, mutta kaikkia laskentamallin komponentteja ei otettu huomioon. Häviö- ja KAH-kustannukset eivät ole riippuvaisia muuntamon tyypistä, joten ne jätettiin huomioimatta laskennassa. Muuntamoihin liittyvien riskien aiheuttamista kustannuksista sekä riskien todennäköisyyksistä ei löydy tarkkaa tietoa, joten riskien arvostaminen olisi perustunut lähinnä asiantuntijoiden arvioihin. Elinkaarikustannusten vertailu tahdottiin pitää mahdollisimman objektiivisena, joten riskien vaikutusta elinkaarikustannuksiin ei otettu huomioon. Riskien tunnistaminen on kuitenkin tärkeä osa verkon strategista suunnittelua, joten muuntamoihin liittyviä riskejä käsiteltiin erikseen yrityksen sisäisessä dokumentissa.

Elinkaarilaskennan korkokannaksi valittiin 6,2 %, inflaatioprosentiksi 2 % ja tarkastelujaksoksi 40 vuotta. Tarkastelujaksoksi valittiin alun perin 80 vuotta, jotta eroavaisuudet muuntamoiden saneeraus-kustannuksissa saatiin huomioitua vertailussa. Muuntamoiden suhteelliset elinkaarikustannukset eivät kuitenkaan muuttuneet merkittävästi 40 vuoden

tarkastelujaksoon verrattuna. Elinkaarilaskentaan sisältyy aina epävarmuuksia, jotka voidaan minimoida käyttämällä laskennassa mahdollisimman tarkkoja lähtötietoja. Lyhyemmän tarkastelujakson aikana syntyvät kustannukset ovat tarkemmin ennustettavissa, joten elinkaarilaskennassa päädyttiin käyttämään 40 vuoden tarkastelujaksoa 80 vuoden sijaan.

Investointien oletettiin tapahtuvan laskentahetkellä, joten muuntamoiden investointikustannukset laskettiin yksinkertaisesti summaamalla kaikki investointihetkellä syntyvät kustannukset.

Kertaluontoisille käyttö- ja kunnossapitokustannuksille laskettiin nykyarvo kaavan 14 mukaisesti.

$$K_N = K_0 \frac{(1+i)^t}{(1+p)^t} \quad (14)$$

Jaksoittain toistuville käyttö- ja kunnossapitokustannuksille laskettiin tarkastelujakson ajalta nykyarvo kaavalla 15.

$$K_N = \sum_{t=1}^T K_0 \frac{(1+i)^t}{(1+p)^t} \quad (15)$$

Kaavoissa 14 ja 15

K_0 on kustannus laskentahetkellä

i on laskennassa käytetty inflaatioprosentti

T on tarkastelujakson pituus.

6.2.1 Kustannustekijöiden määrittäminen

Muuntamoiden yksittäiset kustannustekijät tunnistettiin HSV:n asiantuntijoiden kanssa pidetyssä palaverissa, jonka jälkeen näille tekijöille määriteltiin elinkaarilaskennassa käytettävät hinnat mahdollisimman tarkasti todellisiin kustannuksiin perustuen.

HSV:n verkonrakennustyöt toteutetaan yksikköhintaurakkana, joten suurin osa rakennuskustannuksista saatiin määriteltyä suoraan nykyisten yksikköhintojen perusteella. Yksikköhinnoissa on urakoitsijoiden välisiä eroja, joten yksikköhintaurakkaan kuuluvien töiden hintoina käytettiin HSV:n urakoitsijoiden yksikköhintojen keskiarvoja.

Kaikki muuntamoihin liittyvät työt eivät sisälly yksikköhintoihin, jolloin niiden hinta pyrittiin arvioimaan laskujen ja urakoitsijoiden toimittamien mittapöytäkirjojen perusteella. Jos tämä ei ollut mahdollista, hintana käytettiin HSV:n asiantuntijoiden antamaa arviota.

Muuntamoiden investointikustannuksissa huomioitiin vain ne tekijät, jotka sisältyvät kiinteistö- ja erillismuuntamon Energiaviraston valvontamallissa määriteltyyn verkkokomponenttiin. Jakelumuuntaja, kaapelilähtöjen päätteet ja kauko-ohjauslaitteisto eivät sisälly muuntamon kustannuksiin [27].

Kustannustiedot eivät ole julkisia, joten todellisten hintojen sijaan taulukossa 2 on esitetty vain eri muuntamotyyppien elinkaarikustannuksiin sisältyvät yksittäiset kustannustekijät.

Taulukko 2. Kustannustekijöiden jakautuminen eri muuntamotyyppien kesken.

Kustannustekijä	K	P	B	I	V
Arkkitehtisuunnittelu	-	x	x	-	x
HSV:n palkkakulut	x	x	x	x	x
Ilmanvaihtolaitteiden kunnossapito	x	-	x	x	-
Keskijännitekojeisto	x	x	x	x	x
Lukitusjärjestelmän uusiminen	x	x	x	x	x
Maankäyttökorvaus	-	x	x	-	x
Muuntamon asennustyöt	x	x	x	x	x
Muuntamon integrointi	-	-	-	x	-
Muuntamon kuntotarkastukset	x	x	x	x	x
Muuntamon käyttöönotto	x	x	x	x	x
Muuntamon paalutus	-	x	x	-	x
Muuntamon perustan rakentaminen	-	x	x	-	x
Muut maanrakennuskustannukset	-	x	x	-	x
Pienjännitekeskus	x	-	-	-	-
Rakenteiden kuntotarkastus	-	x	x	x	x
Tehdasvalmisteinen erillismuuntamo	-	x	x	x	x
Toimenpidelupa	-	x	x	-	x
Töhröjen puhdistus	-	x	x	-	x
Vuosivuokra	x	-	-	-	-

K = Kiinteistömuuntamo, P = Peltinen erillismuuntamo, B = Betoninen erillismuuntamo, I = Integroitu erillismuuntamo, V = Verhoilematon erillismuuntamo.

Muuntamoiden asennustyöt

Muuntamoiden asennustöillä tarkoitetaan tässä yhteydessä erillismuuntamon rakentamiseen sekä kiinteistömuuntamon kalustamiseen kuuluvia töitä. Erillismuuntamon rakentaminen ja kiinteistömuuntamon kalustaminen ovat yksikköhintaurakkaan kuuluvia töitä, joten niiden hinta saatiin urakoitsijoiden yksikköhintojen keskiarvosta.

Erillismuuntamon maanrakennustyöt

Erillismuuntamon rakentamiseen kuuluu aina sellaisia maanrakennustöitä, joita ei tarvitse tehdä kiinteistömuuntamon rakentamisen yhteydessä. Maanrakennuskustannuksissa huomioitiin muuntamon perustan rakentaminen, mahdollinen paalutus, kiviainekset, jälkityöt sekä muut satunnaiset maanrakennustyöt.

Erillismuuntamoiden maanrakennuskustannuksia määriteltäessä tarkasteltiin vuosina 2015–2018 rakennettujen 51 erillismuuntamon todellisia maanrakennuskustannuksia. Tarkastelluista erillismuuntamoista 19 oli paalutettu ja 18 muuntamon perusta oli rakennettu routaiseen maahan. Tämän perusteella arvioitiin, että noin 35 % HSV:n erillismuuntamoista paalutetaan ja että sama osuus erillismuuntamoiden perustoista rakennetaan routaiseen maahan. Paalutukset jakautuivat lähes tasan betoni- ja peltimuuntamoiden välille, joten niille laskettiin yhtä suuret keskimääräiset kustannukset paalutuksesta.

Erillismuuntamon perustan rakentamisen yksikköhinta riippuu siitä, onko muuntamopaikan maaperä routainen vai sula. Edellä mainitun tarkastelun perusteella näistä yksikköhinoista laskettiin painotettu keskiarvo, jota käytettiin perustan rakentamisen hintana.

Paalutuksen hinta on riippuvainen mm. tarvittavien paalujen pituudesta ja määrästä, joten paalutukselle laskettiin keskihinta tarkasteltujen erillismuuntamoiden paalutuskustannuksista. Paalutuksen yhteydessä tehdään myös maaperätutkimus, jonka hinta saatiin urakoitsijoiden yksikköhintojen keskiarvosta. Näiden hintojen ja paalutettujen erillismuuntamoiden osuuden perusteella laskettiin keskimääräinen paalutuskustannus erillismuuntamoille.

Erillismuuntamoon liittyviin maanrakennustöihin käytetyn kiviaineksen ja jälkitöiden kustannuksia ei pystytty selvittämään tarkasti, sillä niitä ei tavallisesti ole eritelty riittävällä

tarkkuudella urakoitsijoiden tekemissä mittapöytäkirjoissa hankkeen muista maanrakennuskustannuksista. Kiviaineksen ja jälkitöiden kustannuksista tehtiin tarkasteltujen erillismuuntamohankkeiden perusteella karkea arvio.

Arkkitehtisuunnittelu ja toimenpidelupa

Toimenpidelupa tarvitaan Helsingissä rakennelman sijoittamiseen, jos sillä on vaikutusta luonnonoloihin, ympäröivän alueen maankäyttöön tai kaupunki- ja maisemakuvaan [25, s. 1]. Erillismuuntamot ovat kaupungin näkemyksen mukaan tällaisia rakennelmia, joten niiden sijoittaminen edellyttää aina erillisen toimenpideluvan hakemista.

HSV:n erillismuuntamoiden toimenpidelupahakemuksia hoitaa sopimusarkkitehti, joka tekee myös tarvittavat asiakirjat lupahakemusta varten, kuten asemapiirustuksen ja muuntamon istutuskuvan. Arkkitehtisuunnittelusta aiheutuvien kulujen lisäksi HSV maksaa toimenpideluvasta Helsingin kaupungin rakennusvalvontataksan mukaisen maksun. Arkkitehtisuunnittelusta aiheutuvat kulut laskettiin sopimusarkkitehdin laskuttamien töiden perusteella.

HSV:n näkemyksen mukaan tehdasvalmisteiset erillismuuntamokopit ovat laitteita, joiden sijoittamiseen ei tulisi malli hyväksynnän jälkeen vaatia toimenpidelupaa. Verhoilemattoman erillismuuntamon oli tarkoitus toimia TCO-vertailussa erillismuuntamoiden nykytilanteen ja HSV:n tavoitetilanteen välisenä vertailukohtana, joten arkkitehtikulut ja lupamaksut jätettiin huomioimatta sen elinkaarikustannuksissa.

Betonimuuntamon integrointi

Integroitavan betonimuuntamon tapauksessa rakennusyhtiö integroi HSV:n toimittaman betonimuuntamon erimerkiksi kiinteistön jätekatoksen yhteyteen. HSV korvaa muuntamon integroinnista aiheutuneet kustannukset rakennusyhtiölle. Kustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti, joten elinkaarilaskennassa käytettiin asiantuntijan arvioimaa keskiarvoa rakennusyhtiöiden laskuttamista töistä. Rakennusyhtiö tekee myös muuntamon perustan vaatimat maanrakennustyöt, joten integroitavan betonimuuntamon elinkaarikustannuksissa ei ole eritelty maanrakennuskustannuksia.

Muuntamoiden komponentit

Muuntamoiden elinkaarilaskennassa huomioituja komponentteja ovat keskijännitekojeisto, pienjännitekeskus sekä erillismuuntamokoppi. Muuntamon komponenttien hintoina käytettiin keskiarvoja HSV:n käyttämien komponenttien hankintahinnoista.

Verhoiltujen muuntamokoppien hintoina käytettiin keskiarvoa nykyisten erillismuuntamallien puu- ja metalliverhoiltujen mallien hinnoista. Verhoilemattomasta erillismuuntamosta ei ollut tiedossa todellista hintaa, joten verhoilemattoman muuntamokopin hinta arvioitiin valmistajien antamien budjettihintojen perusteella.

Keskijännitekojeiston hintana käytettiin HSV:n käyttämien 2+1–kennoisten RMU-kojeistojen keskihintaa. HSV:n kiinteistömuuntamoissa käytetyt pienjännitekeskukset eroavat toisistaan vain muuntajayhdistyksen suunnan kannalta, joten pienjännitekeskuksen hintana käytettiin kaikkien näiden eri mallien keskihintaa. Elinkaarilaskennassa tarkasteltujen erillismuuntamokoppien hintoihin sisältyy muuntamon pienjännitekeskus, joten erillismuuntamoiden kustannuksissa ei ole erikseen mainittu pienjännitekeskusta. Kaksoismuuntamoissa käytäviä komponentteja ei otettu huomioon keskihintoja laskettaessa.

Muuntamon käyttöönotto

Muuntamon käyttöönottoon kuuluu keskijännitekojeiston, jakelumuuntajan ja pienjännitekeskuksen käyttöönotto sekä kaapeleiden vaiheistus. Muuntamon käyttöönotto on yksikköhintaurakkaan kuuluva työ, joten sen hintana käytettiin urakoitsijoiden yksikköhintojen keskiarvoa.

Palkkakulut

Muuntamoille lasketut palkkakulut perustuivat HSV:n henkilöstön tekemiin työaikakirjauksiin, joiden perusteella palkkakulut on jaettu kirjanpidossa eri investointikohteiden kesken. Keskimääräiset palkkakulut yhtä muuntamoa kohden laskettiin jakamalla vuosina 2016–2018 muuntamoille kirjatut palkat ja sosiaalikulut samalla aikavälillä käyttöönotettujen muuntamoiden määrällä. Käyttöönotettujen muuntamoiden määrään sisältyivät kaikki uudet ja saneeratut muuntamot kyseisiltä vuosilta, tilapäisiä muuntamoita lukuun ottamatta.

Palkkakuluja ei pystytty jakamaan tarkasti kiinteistö- ja erillismuuntamoiden kesken, sillä niitä ei ole eritelty työtuntien kirjauksessa. Kiinteistömuuntamoiden ja integroitujen muuntamoiden rakennuttaminen on kuitenkin erillismuuntamoiden rakennuttamista työläämpi prosessi, joka tahdottiin huomioida myös muuntamoiden elinkaarikustannuksissa. Kiinteistömuuntamoiden ja integroitujen muuntamoiden palkkakulujen arvioitiin olevan noin 50 % suuremmat kuin erillismuuntamoiden.

Kiinteistömuuntamon vuosivuokra

Muuntamotilasta maksetaan kiinteistön omistajalle vuosivuokraa, jonka suuruus voi vaihdella mm. kiinteistön sijainnin perusteella. Vuokran suuruus on aiemmin vaihdellut suuresti myös muuntamotilan pinta-alan mukaan. Eroavaisuudet muuntamotilojen pinta-aloissa eivät yleensä ole johtuneet HSV:n tarpeista vaan siitä, miten muuntamotila on saatu sovitettua rakennukseen. Tänä vuonna HSV teki asiasta uuden linjauksen eikä enää maksa korvausta ylimääräisestä pinta-alasta, vaan muuntamotilasta maksettava vuosivuokra määräytyy HSV:n ohjeiden mukaisen muuntamotilan pinta-alan mukaan. HSV:n ohjeiden mukainen pinta-ala tavalliselle kiinteistömuuntamolle on 14 m² ja kaksoismuuntamolle 23 m² [13, s. 1].

Elinkaarilaskennassa käytettävän vuosivuokran määrittämistä varten tarkasteltiin vuonna 2019 maksettuja kiinteistömuuntamoiden vuosivuokria. Verkkotietojärjestelmästä haettujen tietojen avulla tästä listasta suodatettiin pois kaksoismuuntamot. Kirjattujen pinta-alojen ja vuosivuokrien perusteella laskettiin keskiarvo maksetuista neliövuokrista, jonka avulla laskettiin elinkaarilaskennassa käytetty keskimääräinen kiinteistömuuntamon vuosivuokra.

Erillismuuntamoiden maankäyttökorvaus

Erillismuuntamot sijoitetaan pääasiassa yleiselle alueelle, jolloin niistä maksetaan kaupungille vuosittainen maankäyttökorvaus. Korvauksen suuruus perustuu HSV:n ja Helsingin kaupungin väliseen maanvuokrasopimukseen eikä ole riippuvainen muuntamon sijainnista.

Tontille sijoitetusta muuntamosta voidaan maksaa tontin haltijalle tai omistajalle käyttökorvaus, jos tontin luovutus- tai vuokraehdoissa ei ole edellytetty tontin haltijaa sallimaan muuntamon sijoitusta tontille korvauksetta.

HSV on joissain tapauksissa maksanut integroidun muuntamon sijoittamisesta kertakorvauksen, jonka määrä on perustunut yleisille alueille sijoitetuista erillismuuntamoista kaupungille maksettavaan maankäyttökorvaukseen. Helsingin kaupungin tonttien luovutus- ja vuokraehdoissa on nykyään lähes poikkeuksetta kuitenkin määrätty, että muuntamon sijoitus tontille tulee sallia korvauksetta, joten käyttökorvausta ei laskettu osaksi integroidun muuntamon elinkaarikustannuksia.

Erillismuuntamoiden oletettiin sijaitsevan yleisellä alueella ja nykyisten erillismuuntamomallien maankäyttökorvaukset laskettiin sen mukaisesti.

Verhoilemattoman erillismuuntamon kohdalla tarkasteltiin HSV:n tavoittelemaa tilannetta, jossa erillismuuntamoita käsitellään laitteina eikä sijoituslupaa vaativina rakennelmina. Tällöin muuntamosta ei myöskään maksettaisi maankäyttökorvausta kaupungille. Tästä syystä maankäyttökorvaukset jätettiin huomioimatta verhoilemattoman erillismuuntamon elinkaarikustannuksissa.

Kiinteistömuuntamoiden ovien avaukset

Kiinteistön edustajilla tulee ajoittain tarve päästä muuntamotilan sisälle esimerkiksi kiinteistön vastuulla olevien ilmanvaihto- tai sammutusjärjestelmien huoltotoimenpiteiden vuoksi. Tällaisissa tilanteissa HSV:n urakoitsija käy avaamassa muuntamon ovet ja pysyy paikan päällä koko sen ajan, kun muuntamotilassa on ulkopuolinen henkilö. Tästä aiheutuvat kustannukset laskettiin urakoitsijoiden tuntityöhinnan ja asiantuntijan arvion perusteella.

Muuntamoiden kuntotarkastukset

Muuntamoiden kuntotarkastukset ovat osa niiden ennakoivaa kunnossapitoa. HSV:n jakelumuuntamot on jaettu kolmeen eri kriittisyysluokkaan, jonka perusteella niiden tarkastusväli määräytyy. Muuntamoille tehdään kuntotarkastus yhden, kolmen tai viiden vuoden välein. Muuntamon kriittisyysluokitteluun vaikuttavat tekijät on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. HSV:n jakelumuuntamoiden kriittisyysluokittelun tekijät ja niiden pisteytys [28].

Tekijä	Jaottelu	Pisteet
Laji	Kiinteistömuuntamo	2
	Erillismuuntamo	0
Sijainti rakennuksessa	Seiniä purettava haalausta varten	5
	Rakennuksen sisällä	1
	Käynti suoraan ulkoa tai erillismuuntamo	0
Yhteiskunnallinen merkittävyys	Tärkeä	4
	Ei tärkeä	0
Likaantuminen	Merkittävää	4
	Vähäistä	1
	Ei likaannu	0
Ilmastointi	Jäähdytyskone	4
	Muu	0
Kuormitusvirta	Yli 800 A	1
	Alle 800 A	0
Vikatilanteen syöttö	Ei onnistu	7
	Onnistuu	0
Muuntajan ikä	Yli 30 vuotta	1
	Alle 30 vuotta	0
Muuntajan rakenne	Paisuntasäiliö	1
	Hermeettinen	0
KJ-kojeiston rakenne	Ilmaeristeinen	3
	SF6-kaasueristeinen	0

Kriittisyysluokittelusta saadut pisteet määräävät muuntamon kriittisyysluokan taulukossa 4 esitettyjen pisterajojen mukaisesti.

Taulukko 4. Jakelumuuntamoiden kriittisyysluokkien pisterajat ja tarkastusvälit [28].

Kriittisyysluokka	Pisterajat	Tarkastusväli
1	$0 \leq \text{pist.} < 3$	Joka vuosi
2	$3 \leq \text{pist.} < 8$	Joka 3. vuosi
3	$8 \leq \text{pist.}$	Joka 5. vuosi

HSV:n jakelumuuntamoista noin 52 % kuuluu kriittisyysluokkaan 1, 36 % kriittisyysluokkaan 2 ja 12 % kriittisyysluokkaan 3 [28].

Muuntamoiden kuntotarkastuksien yhteydessä tehdään myös pieniä kunnossapitotöitä, kuten lamppujen ja ilmanvaihtosuodattimien vaihtoja, merkintöjen korjauksia sekä varoituskilpien lisäyksiä [29, s. 29–30].

Uuden kiinteistömuuntamon kriittisyysluokittelussa ratkaiseva tekijä on sen sijainti rakennuksessa. Jos muuntamotilaan ei ole suoraa käyntiä rakennuksen ulkoseinältä, sen kriittisyysluokka nousee luokkaan 2. Elinkaarilaskennassa on oletettu, että muuntamotila on rakennettu HSV:n ohjeistuksen mukaisesti, jolloin muuntamoon on suora käynti rakennuksen ulkoseinältä. Kiinteistömuuntamon kriittisyysluokaksi tulee tällöin 1, eli sille tehdään kuntotarkastus viiden vuoden välein. Uudet erillismuuntamot kuuluvat käytännössä aina kriittisyysluokkaan 1, joten niille tehdään vastaavasti kuntotarkastus viiden vuoden välein.

Muuntamoiden kuntotarkastukset ovat osa verkonrakennuksen yksikköhintaurakkaa, joten niiden kustannukset laskettiin urakoitsijoiden yksikköhintojen keskiarvosta [29, s. 29–30].

Töhryjen puhdistus erillismuuntamoista

Helsingin kaupungin rakennusviraston Siisti Stadi -ryhmä puhdistaa töhryjä ja luvattomia ilmoituksia rakennusviraston ja sen yhteistyökumppaneiden kohteista. HSV on yksi näistä yhteistyökumppaneista, sillä erillismuuntamot ja jakokaapit ovat yleisiä töhrinnän kohteita kaupungissa.

Töhryjen puhdistamisesta aiheutuvat kulut laskettiin ajalta 1.4.2019–31.6.2019 laskutettujen puhdistustöiden perusteella. Laskusta eriteltiin erillismuuntamoiden puhdistuksista aiheutuneet kulut, joiden summa jaettiin HSV:n erillismuuntamoiden määrällä. Tuloksen perusteella arvioitiin vuotuiset puhdistuskustannukset yhtä erillismuuntamoaa kohden. Kustannusarviossa ei huomioitu eri verhoilutyyppeiden tai muiden rakenteellisten tekijöiden vaikutusta yksittäisen erillismuuntamon puhdistuskustannuksiin, sillä tämä olisi ollut suhteettoman työläs prosessi verrattuna puhdistuskustannuksien osuuteen erillismuuntamon elinkaarikustannuksista.

Ilmanvaihtolaitteiden kunnossapito

Muuntajassa syntyvät häviöt aiheuttavat muuntajan ja muuntamon lämpenemistä. Liian korkea lämpötila nopeuttaa muuntajan eristysten vanhenemista ja alentaa sen kuormitettavuutta. Tämän vuoksi riittävän ilmanvaihdon järjestäminen on tärkeää. [14, s. 56.] HSV:n jakelumuuntamoiden suurin sallittu lämpötila on +35 °C.

Muuntamoissa voidaan käyttää luonnollista tai koneellista ilmanvaihtoa. Luonnollinen ilmanvaihto riittää yleensä, jos muuntamon huippukuorma ajoittuu valtaosin kylmään vuodenaikaan ja on kohtalaisen lyhytaikainen. Koneellinen ilmanvaihto toteutetaan HSV:n jakelumuuntamoissa termostaattiohjatulla, yksinopeuksisella poistoilmapuhaltimella. [12, s. 10; 13, s. 4–5.]

Koneellista ilmanvaihtoa käytettäessä tulee ottaa huomioon ilmastointilaitteiden aiheuttama melu, etenkin jos muuntamon yläpuolella on asuntoja. Asiassa noudatetaan ympäristöministeriön asetusta rakennuksen ääniympäristöstä, joka asettaa vaatimuksia mm. rakennuksen melun- ja tärinätorjunnalle sekä ääneneristykselle. Ilmanvaihdosta aiheutuvaa ääntä voidaan vähentää pitämällä ilman nopeus riittävän alhaisena (otsapintanopeus ≤ 2 m/s) ja vaimentamalla rakennuksen runkorakenteisiin johtuva ääni riittävästi. HSV:n muuntamoissa ilmanvaihtokoneet täytyy tämän vuoksi kiinnittää vaimennuskuumeja ja joustavia liittimiä käyttäen. [12, s. 13; 13, s. 5.]

Koneellista ilmanvaihtoa käytetään HSV:n betonirunkoisissa erillismuuntamoissa, integroiduissa betonimuuntamoissa sekä kiinteistömuuntamoissa. Peltirunkoisissa erillismuuntamoissa ei käytetä koneellista ilmanvaihtoa.

Erillismuuntamoiden ja integroitujen muuntamoiden ilmanvaihtolaitteiden huolto kuuluu luonnollisesti HSV:lle. Kiinteistömuuntamoiden osalta vain muuntamotilan sisäpuolella sijaitsevien ilmanvaihtolaitteiden kunnossapito on HSV:n vastuulla. Elinkaarilaskennassa käytetyt kunnossapitokustannukset perustuvat asiantuntijan antamaan arvioon. Ilmanvaihtolaitteiden huoltovälin arvioitiin olevan 20 vuotta.

Lukitusjärjestelmän uusiminen

HSV:n muuntamoissa käytetään korkean turvallisuustason, mekaaniseen ja elektroniiseen tunnistukseen pohjautuvaa lukitus- ja kulunhallintajärjestelmää. Järjestelmään kuuluvat älylukot ja -avaimet, joiden kulkuoikeuksia pystytään hallinnoimaan järjestelmään kuuluvalla etähallittavalla ohjelmistolla. [30.]

Muuntamon lukitusjärjestelmän huoltoväliksi arvioitiin 20 vuotta ja siitä aiheutuvat kustannukset perustuvat asiantuntijan arvioon.

6.2.2 Muuntamon vaikutus sallittuun liikevaihtoon

Jotta verkkoyhtiöt pystyvät kehittämään toimintaansa mahdollisimman tehokkaasti, tulee investointien kannattavuus arvioida myös regulaation salliman tuoton kannalta. Tämä on erityisen tärkeää pääkaupungissa toimivalle verkkoyhtiölle, sillä verkonrakennuskustannukset ovat kaupunkiympäristössä selvästi korkeammat kuin haja-asutusalueilla ja maaseudulla. Investointipäätöksiä ei kuitenkaan tehdä tuoton maksimoinnin perusteella vaan regulaation vaikutus huomioidaan vasta siinä vaiheessa, kun teknistaloudellisesti kannattavimmat vaihtoehdot ovat selvillä. Regulaation vaikutus tulee ottaa huomioon etenkin silloin, kun vertailtavat vaihtoehdot ovat teknistaloudellisesti lähes samanvertaisia.

Kiinteistö- ja erillismuuntamoiden teknistaloudelliset erot eivät ole kovin merkittäviä, joten elinkaarilaskennan yhteydessä tarkasteltiin myös, kuinka regulaation vaikutus eroaa kiinteistö- ja erillismuuntamoiden kesken. Yksittäisen verkon komponentin vaikutuksen verkkoyhtiön sallittuun liikevaihtoon muodostavat pääasiassa valvontamenetelmissä määritellyt kohtuullinen tuotto sekä oikaistut tasapoistot. Muuntamoiden hinnoittelulisälle laskettiin nykyarvo tarkastelujakson ajalta kaavalla 16.

$$\text{hinnoittelulisä}_i = \sum_{t=0}^T \left(\frac{\left(\left(1 - \frac{t+0,5}{\text{pitoaika}_i} \right) \times (JHA_i) \times (1+i)^t \times WACC + \frac{JHA_i \times (1+i)^t}{\text{pitoaika}_i} \right)}{(1+p)^t} \right) \quad (16)$$

hinnoittelulisä_i on muuntamotyyppin *i* vaikutus yhtiön sallittuun liikevaihtoon tarkastelujakson ajalta.

Neljännän ja viidennen valvontajakson aikana sähköverkon komponenttien yksikköhinnoinnille tehdään inflaatiokorjaus tasapoistoja laskettaessa, mutta ei kohtullista tuottoa laskettaessa [7, s. 18]. Tämän opinnäytetyön yhteydessä oletettiin, että inflaatiokorjaus tulaa tulevaisuudessa tekemään myös kohtuullisen tuoton laskennassa. Tämän vuoksi työn aikana tehdyissä laskelmissa verkkokomponenttien yksikköhinnoinnille tehtiin inflaatiokorjaus myös kohtuullisen tuoton laskennan yhteydessä.

6.2.3 Elinkaarilaskennan tulokset

Elinkaarilaskennan tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että kaikkia muuntamoiden todellisten elinkaarikustannusten tekijöitä ei varmastikaan saatu huomioitua laskennassa, eikä kaikkien laskennassa huomioitujen tekijöiden hintoja pystytty selvittämään tarkasti. Myös valitut laskentaparametrit vaikuttavat elinkaarilaskennan tuloksiin. Korkeampaa korkokantaa käyttäessä tulevaisuudessa tapahtuvien kulujen nykyarvo on pienempi, kuin alhaisella korkokannalla laskettaessa. Tällä on vaikutusta etenkin silloin, kun vertailtavien vaihtoehtojen kustannukset eivät painotu samoille ajanhetkille. Vuosivuokran takia suuri osa kiinteistömuuntamon elinkaarikustannuksista toteutuu tulevaisuudessa, jonka vuoksi kiinteistömuuntamo hyötyy vertailussa erillismuuntamoita enemmän korkeasta korkokannasta. Tuloksia vertailtiin kuitenkin myös hieman alhaisemmalla korkokannalla, eikä se vaikuttanut merkittävästi tuloksiin.

Kiinteistömuuntamon elinkaarikustannukset olivat helpommin ennustettavissa, sillä ne koostuvat lähinnä muuntamotilan vuosivuokrasta, muuntamon komponenttien hinnoista sekä muuntamon asennustöiden yksikköhinnasta. Suuri osa kiinteistömuuntamon kunnossapidosta on kiinteistön omistajan vastuulla ja siitä aiheutuvat kulut korvataan muuntamotilasta maksettavalla vuosivuokralla. Vuosivuokralla korvataan myös muuntamotilan rakentamisesta aiheutuneet kustannukset. Elinkaarilaskennassa käytetty muuntamotilojen keskimääräinen vuosivuokra pystyttiin laskemaan tarkasti hyvien lähtötietojen ansiosta, joten kiinteistömuuntamon elinkaarikustannukset pystyttiin laskemaan luotettavasti. Kiinteistömuuntamoiden todelliset palkkakulut ovat suurin tulosten luotettavuuteen vaikuttava tekijä, sillä niitä ei pystytty määrittelemään tarkasti puutteellisten tietojen vuoksi.

Puutteellisten lähtötietojen vuoksi erillismuuntamoiden elinkaarikustannuksia ei pystytty laskemaan täysin luotettavasti, todellisten elinkaarikustannusten ollessa luultavasti hieman laskettuja kustannuksia korkeammat. Erillismuuntamoiden todellisia maanrakennuskustannuksia ei ole raportoitu tarkasti, joten elinkaarilaskennassa käytetyt maanrakennuskustannukset ovat luultavasti hieman todellisia kustannuksia alhaisemmat. Elinkaarilaskennassa ei myöskään huomioitu louhinnasta aiheutuvia kustannuksia, jotka voivat olla erittäin merkittäviä. Erillismuuntamoille lasketut kunnossapitokustannukset ovat luultavasti myös todellisia kustannuksia alhaisemmat. Verhoilusta aiheutuvia kunnossapitokustannuksia ei vielä tarkasti tiedetä, sillä nykyiset erillismuuntamomallit ovat olleet käytössä vasta hieman yli 10 vuotta. HSV:n tavoitteena on kuitenkin löytää erillismuuntamoille uusi mahdollisimman huoltovapaa verhoiluratkaisu, joten elinkaarilaskennan tulokset vastaavat oletettavasti tältä osin hyvin tulevien erillismuuntamomallien kustannuksia.

Tässä työssä tehdyn elinkaarilaskennan tulokset eivät ole julkista tietoa, joten tarkkojen elinkaarikustannusten sijaan eri muuntamotyyppien suhteellisia elinkaarikustannuksia vertaillaan kiinteistömuuntamon elinkaarikustannuksiin sidotun TCO-indeksin avulla. Tarkasteltujen muuntamotyyppien TCO-indeksit laskettiin kaavalla 17.

$$TCO - indeks_i = 100 \times \frac{TCO_k}{TCO_i} \quad (17)$$

TCO -indeksi_{*i*} on muuntamotyyppin *i* TCO -indeksi

TCO_k on kiinteistömuuntamon elinkaarikustannukset

TCO_i on muuntamotyyppin *i* elinkaarikustannukset.

Taulukossa 5 on vertailtu tarkasteltujen muuntamotyyppien elinkaarikustannuksia ilman regulaation salliman tuoton vaikutusta. Suurempi TCO -indeksi tarkoittaa taulukossa 5 korkeampia elinkaarikustannuksia, eli pienemmän TCO -indeksin omaava muuntamotyyppi on elinkaarikustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto.

Taulukko 5. Muuntamotyyppien TCO-indeksit ilman regulaation vaikutusta.

Muuntamotyyppi	TCO-indeksi
Kiinteistömuuntamo	100
Peltinen erillismuuntamo	102
Betoninen erillismuuntamo	110
Integroitu betonimuuntamo	113
Verhoilematon erillismuuntamo	73

Kiinteistömuuntamon ja verhoillun peltisen erillismuuntamon elinkaarikustannukset osoittautuivat lähes samanvertaisiksi, kun vertailussa huomioitiin pelkästään elinkaaren aikana syntyvät kulut, eikä regulaation sallimaa tuottoa.

Verhoilematon erillismuuntamo oli elinkaarikustannuksiltaan tarkastelluista vaihtoehtoista edullisin, joka kertoo HSV:n toimintaympäristön vaikutuksesta erillismuuntamoiden kustannuksiin. Erillismuuntamot ovat yleisesti kiinteistömuuntamoa edullisempi vaihtoehto, mutta Helsingissä kaupunkikuvalliset vaatimukset sekä maankäytön ja rakentamisen tiukka sääntely ovat tehneet niistä jopa kiinteistömuuntamoa kalliimman ratkaisun. Tulokset tukivat myös HSV:n asiantuntijoiden näkemystä nykyisten verhoiltujen erillismuuntamomallien ongelmista.

Taulukossa 6 on vertailtu regulaation salliman tuoton vaikutusta tarkasteltujen muuntamotyyppien elinkaarikustannuksiin. Muuntamosta saatavalle hinnoitteluvaramalle laskettiin nykyarvo aiemmin esitetyllä tavalla. Hinnoitteluvaraman nykyarvosta vähennettiin muuntamon investointikustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset ja tuloksien perusteella laskettiin kaavan 17 mukaisesti muuntamoille uudet TCO-indeksit, joissa on huomioitu myös eri muuntamotyyppien vaikutus yhtiön sallittuun liikevaihtoon. Taulukossa 6 suurempi TCO-indeksi tarkoittaa regulaation kannalta kannattavampaa investointia.

Taulukko 6. Muuntamotyyppien TCO-indeksit regulaation vaikutuksen kanssa.

Muuntamotyyppi	TCO-indeksi
Kiinteistömuuntamo	100
Peltinen erillismuuntamo	28
Betoninen erillismuuntamo	12
Integroitu betonimuuntamo	7
Verhoilematon erillismuuntamo	80

Kiinteistömuuntamo osoittautui vertailussa regulaation kannalta verhoilematonta erillismuuntamoakin kannattavimmaksi vaihtoehdoksi. Tuloksia vertaillessa tulee ottaa huomioon, että verhoilemattoman erillismuuntamon kustannuksista poistettiin muuntamon verhoilun hinnan lisäksi muitakin erillismuuntamoiden rakentamisen kulueriä, joista ei luultavasti tulla lähitulevaisuudessa pääsemään eroon. Tämän perusteella voidaan päätellä, että nykyisillä Energiaviraston yksikköhinnoilla erillismuuntamoita ei voida realistisesti saada regulaation kannalta kiinteistömuuntamoita kannattavammaksi vaihtoehdoksi. Verhoilematon erillismuuntamo voi kuitenkin tapauskohtaisesti olla kiinteistömuuntamoa kannattavampi vaihtoehto regulaationkin kannalta, jos muuntamotilasta maksettava vuosivuokra nousee riittävän suureksi.

Elinkaarilaskennan tuloksena ei koskaan voida saada täysin tarkkaa ennustetta todellisista kustannuksista. Nykyarvomenetelmällä saadut tulokset riippuvat myös laskennassa käytetystä korkokannasta, joten tuloksien perusteella ei tule tehdä liian tarkkoja johtopäätöksiä. Tuloksien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että HSV:n nykyisillä erillismuuntamomalleilla kiinteistö- ja erillismuuntamoiden elinkaaren aikaiset kulut eivät eroa suuresti toisistaan, mutta regulaation kannalta kiinteistömuuntamot ovat nykyisillä valvontamenetelmillä erillismuuntamoita kannattavampi vaihtoehto.

7 Kiinteistö- ja erillismuuntamoiden vertailu

7.1 Nykytilanne

7.1.1 Kiinteistömuuntamo

Elinkaarikustannukset

Kiinteistömuuntamon elinkaarikustannukset osoittautuivat vertailussa odotettua alhaisemmiksi. Muuntamotiloista maksettavia vuokria on pidetty liian korkeina, mutta elinkaarilaskennan yhteydessä tehdyn tarkastelun aikana huomattiin, että neliövuokrat ovat todellisuudessa olleet melko kohtuullisia ja suurimmat vaihtelut vuosivuokrien tasoissa ovat johtuneet muuntamotilojen pinta-alojen eroista. Tänä vuonna tehdyn uuden linjauksen mukaisesti tulevaisuudessa ei enää makseta korvausta HSV:n ohjeiden mukaisen pinta-alan ylittävästä osasta. Tämä tulee laskemaan uusista kiinteistömuuntamoista maksettavia vuosivuokria.

Kiinteistömuuntamon elinkaarikustannukset voivat vuosivuokran suuruudesta riippuen olla tapauskohtaisesti huomattavastikin korkeammat kuin erillismuuntamon, mutta vastaavasti monissa yksittäisissä tapauksissa erillismuuntamon elinkaarikustannukset ovat korkeammat. Keskimääräisellä vuosivuokralla elinkaarikustannukset olivat kuitenkin käytännössä yhtä suuret. Kiinteistömuuntamon yksikköhinta on kuitenkin huomattavasti suurempi kuin sisältä hoidettavan erillismuuntamon, joten kiinteistömuuntamo on verhoiltua erillismuuntamoa taloudellisesti kannattavampi vaihtoehto kun huomioidaan myös regulaation vaikutus.

Sijoitus- ja rakennuttamisprosessi

Helsinkiä kaavoitetaan ja rakennetaan entistä tiiviimmäksi, joten rakennuksiin sijoitettavat muuntamot ovat yleisesti kaavoittajan näkökulmasta parempi vaihtoehto. Kiinteistömuuntamoille saadaan tämän vuoksi helposti kaavamääräys keskijänniteverkon yleissuunnitelman mukaiseen kortteliin. Myös muuntamon sijoittumisesta tietyille tontille korttelin sisällä on päästy hyvin sopimukseen alueen rakentajien kanssa. Tämän vaiheen onnistuminen on riippuvainen HSV:n yleissuunnittelijan, kaavan valmistelijan sekä alueen rakentajien välisestä aktiivisesta vuorovaikutuksesta, joka toimii tällä hetkellä hyvin.

Muuntamotilan HSV:n ohjeiden mukaisesta sijoittumisesta rakennukseen joudutaan kuitenkin nykyään neuvottelemaan vielä kiinteistön rakentajan kanssa, sillä he pyrkivät usein sijoittamaan muuntamotilan rakennuksen kellarikerrokseen. Muuntamotilan sijoittumisesta neuvottelu sekä tilan suunnittelun ohjaaminen vievät paljon aikaa. Mikäli muuntamotila joudutaan sijoittamaan kellarikerrokseen, tilan suunnittelu on vielä huomattavasti työläämpi prosessi. Tähän pystytään kuitenkin vaikuttamaan tulevaisuudessa tarkempien kaavamääräysten avulla, jotka velvoittaisivat rakentamaan muuntamotilan maan tasolle ja HSV:n ohjeiden mukaisesti.

Muuntamopaikan pysyvyys

Muuntamopaikan pysyvyys on ollut kiinteistömuuntamoiden kohdalla huolenaiheena muuntamotilojen vuokrasopimuksien määräaikaisuuden vuoksi. Muuntamon sijoitusoikeus ei ole pysyvä ja on ollut tapauksia, joissa kiinteistön omistaja on päättänyt irtisanoa vuokrasopimuksen sopimuskauden päätyttyä tai yrittänyt jopa irtisanoa sopimuksen kesken sopimuskauden. Tällaisen tilanteen selvittäminen on työlästä ja pahimmassa tapauksessa johtaa muuntamon siirtämiseen. Jotkut osapuolet eivät ole halukkaita uusimaan vuokrasopimusta, mutta eivät myöskään irtisano sitä. Nykyiset sopimukset ovat tällaisissa tapauksissa voimassa viisi vuotta kerrallaan, ellei toinen osapuoli irtisano sopimusta viimeistään kaksi vuotta ennen sen päättymistä. Todellisuudessa sopimusten irtisanominen on kuitenkin ollut suhteellisen harvinaista. Joidenkin sopimusten uusiminen on tavallista työläämpää ja vaatii neuvottelutaitoja, mutta yleensä sopimukset saadaan joko uusittua tai niitä jatketaan viiden vuoden jaksoissa.

Uusien kiinteistömuuntamoiden vuokrasopimusten uusimisessa ei oletettavasti tule olemaan tulevaisuudessa samanlaisia ongelmia. Uusilla kiinteistömuuntamoilla on asema-kaavassa kaavamääräys ja kaupungin tontinluovutusehdoissa määrätään sallimaan muuntamon sijoitus tontille. Muuntamotilojen vuokrasopimukset ovat nykyään pidempiä ja sopimuksesta on korjattu sellaiset kohdat, jotka ovat aiheuttaneet ongelmia vanhoja sopimuksia uusiessa. Näiden seikkojen vuoksi muuntamotilojen vuokrasopimuksista vastaavan kiinteistöasiantuntijan näkemys oli, että nykyisten vuokrasopimusten uusiminen ei tule olemaan tulevaisuudessa ongelmallista.

Kiinteistömuuntamo voidaan joutua siirtämään rakennusten purkamiseen johtavan kaavamutoksen yhteydessä. Esimerkiksi Helsingin Meri-Rastilan kaavahankkeessa noin

25 vuotta vanhoja rakennuksia suunnitellaan purettavaksi 10–15 vuoden kuluttua. Kaavahankkeen tavoitteena on tiivistää alueen kaupunkirakennetta, sillä olemassa olevat rakennukset ovat matalia ja väljästi rakennettuja. [31.]

Kaavamuutoksen seurauksena tehtävän muuntamosiirron kustannukset osoitetaan kaavataloudelle, joten niistä ei synny kustannuksia HSV:lle. Helsinkiä rakennetaan nykyään jo hyvinkin tiheästi, joten nykyisten uudisrakennusten purkaminen muuntamon elinkaaren aikana ei oletettavasti ole todennäköistä.

7.1.2 Erillismuuntamo

Elinkaarikustannukset

Nykyisten verhoiltujen erillismuuntamomallien elinkaarikustannukset ovat jopa suuremmat, kuin kiinteistömuuntamon. Verhoiltu peltimuuntamo oli vertailussa elinkaarikustannuksiltaan käytännössä samanvertainen kiinteistömuuntamon kanssa. Kaupungin tiivistyessä joudutaan kuitenkin yhä useammin käyttämään paloturvallisuuden vuoksi betonimuuntamoita, joka osoittautui elinkaarikustannuksiltaan kiinteistömuuntamoita kalliimmaksi ratkaisuksi. Verhoilu nostaa erillismuuntamoiden investointikustannuksia merkittävästi ja tulee luultavasti myös aiheuttamaan sellaisia kunnossapitokustannuksia, joita ei pystytty ottamaan huomioon tässä työssä tehdyssä elinkaarilaskennassa. Suuri osa integroidun betonimuuntamon investointikustannuksista perustui asiantuntijan arvioon, mutta laskennassa käytetyillä lähtötiedoilla sen elinkaarikustannukset olivat nykyisistä muuntamoratkaisuista korkeimmat. Erillismuuntamot eivät myöskään ole regulaation kannalta yhtä kannattavia kuin kiinteistömuuntamot.

Sijoitusprosessi

Helsinkiä rakennetaan entistä tiiviimmäksi, jonka vuoksi erillismuuntamopaikkojen saaminen yleisille alueille voi olla haastavaa. Erillismuuntamo voidaan rakentaa myös tontille, mutta tällöin asemakaavassa määrätään usein niiden integroimisesta kiinteistön muiden rakennelmien yhteyteen. Tämä ei ole HSV:n kannalta hyvä ratkaisu, sillä integroitujen erillismuuntamoiden rakennuttamisprosessi on yhtä työläs kuin kiinteistömuuntamoiden eivätkä ne ole teknistaloudellisesti kiinteistömuuntamoita parempi ratkaisu. Erillismuuntamoille saadaan yleensä kuitenkin kaavamerkintä yleiselle alueelle, mikäli

kaava-alueelta löytyy niille järkevä sijoituspaikka. Tällöin erillismuuntamon sijoitusprosessi on hyvin yksinkertainen. Prosessi vaikuttaa toisaalta HSV:n näkökulmasta hieman todellista yksinkertaisemmalta, sillä erillismuuntamoiden toimenpidelupaprosessin hoitaa HSV:n sopimusarkkitehti. Toimenpidelupien hakemisesta aiheutuvat palkkakulut huomioitiin kuitenkin elinkaarilaskennan yhteydessä.

Muuntamopaikan pysyvyys

Erillismuuntamot voidaan joutua siirtämään kaavamuutoksen yhteydessä, jolloin siirtämisestä aiheutuneet kustannukset osoitetaan kokonaisuudessaan kaavataloudelle. Muuntamon siirtämiseen johtava kaavahanke on varmastikin todennäköisempi erillismuuntamon kohdalla, sillä siihen ei vaadita olemassa olevien rakennusten purkamista. Erillismuuntamo voidaan joutua siirtämään esimerkiksi puistoalueelle kohdistetun täydennysrakentamisen vuoksi.

7.2 Kehitysmahdollisuudet

7.2.1 Kiinteistömuuntamo

Kiinteistömuuntamoiden kannattavuutta on jo parannettu toimintoja kehittämällä. Muuntamotilojen vuokrausprosessi on sulavampi kuin ennen, jonka ansiosta uudet vuokrasopimukset tehdään hyvissä ajoin ennen muuntamotilan rakentamista. Sopimustenhallintaan on tulossa uusi ratkaisu, joka helpottaa edelleen vuokrausprosessia. Muuntamotilan hukkaneliöistä ei enää makseta korvausta, ja tällä säästetään merkittävästi vuokrakuiluissa. Sopimusehtoja on uudistettu, mikä tulee yhdessä tontinluovutusehdoissa ja asemakaavoissa olevien määräyksien kanssa helpottamaan sopimusten uusimista tulevaisuudessa.

Kiinteistömuuntamoiden tärkein kehityskohde on muuntamotilan kellarisijoituksen estäminen. Tähän pystytään vaikuttamaan parhaiten nykyistä tarkempien kaavamääräysten avulla. Monissa viime aikoina valmisteilla olleissa asemakaavoissa onkin jo kiinnitetty asiaan enemmän huomiota, mutta kaavamääräyksen tulisi jatkossa olla sellainen, että sen avulla pystytään ehdottomasti estämään muuntamon kellarisijoitus. Kaavamääräyksellä on myös mahdollista vaikuttaa siihen, että muuntamot saadaan aina sijoitettua kort-

telin ensimmäisenä nousevaan rakennukseen, mikä ei toisaalta kuitenkaan takaa muuntamolle pitkällä tähtäimellä verkon kannalta optimaalista sijaintia. Kaavamääräyksen muotoon kannattaisi myös hakea ideoita muiden kuntien asemakaavoista ja määritellä tämän avulla optimaalinen muoto kaavamääräykselle.

Kaupungin tontinluovutusehdoissa määrätään nykyään usein sijoittamaan mahdollinen muuntamo rakennuksen ensimmäiseen kerrokseen niin, että sinne on suora käynti ulkoa. Tätä tulisi hyödyntää muuntamon sijainnista neuvotellessa. Tontit eivät aina kuitenkaan ole kaupungin luovuttamia, joten kaavamääräys on varmin keino estää kiinteistömuuntamoiden kellarisijoitus.

Vuorovaikutus viranomaisten sekä rakentajien kanssa on kriittinen osa kiinteistömuuntamoprosessia. HSV:n edustajien tulisi jatkossa olla nykyistäkin aktiivisemmin mukana kaupungin rakentamisessa ja suunnittelussa, jotta muuntamotilan tarve, suunnitteluohjeet sekä vuokrasopimusehdot olisivat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kiinteistöjen rakentajien ja omistajien tiedossa.

7.2.2 Erillismuuntamo

Verhoiltujen erillismuuntamoiden ongelmat ovat olleet jo pitkään HSV:n tiedossa ja niihin haetaan jo ratkaisuja käynnissä olevan verhoiluprojektin kautta. Tällä hetkellä näyttää kuitenkin siltä, että vaihtoehtoisilla verhoiluratkaisuilla ei pystytä säästämään merkittävästi erillismuuntamon investointikustannuksissa. Tämän vuoksi erillismuuntamoiden kohdalla tulisi keskittyä verhoilemattomien vakiomallisten erillismuuntamoiden käytön mahdollistamiseen. Mikäli vakiomallisten erillismuuntamoiden käytöstä päästään kaupungin kanssa sopimukseen, voitaisiin nykyisiä verhoiltuja erillismuuntamomalleja yhä käyttää keskeisillä alueilla, joissa kiinteistömuuntamo ei ole järkevä ratkaisu.

Mikäli erillismuuntamon sijoituspaikka olisi vapaammin valittavissa, maanrakennuskustannuksissa lienee mahdollista säästää vähäisemmän paalutus- ja louhintatarpeen vuoksi. Optimaalisessa tilanteessa erillismuuntamoita kohdeltaisiin jakokaappia vastaavana jakeluverkon laitteena eikä niiden sijoittamiseen tarvitsisi hakea toimenpidelupaa. Tällöin välttyttäisiin myös lupakäsittelystä aiheutuvilta kuluilta. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on määritelty toimenpidelupaa vaativat toimenpiteet [32]. Erillismuuntamoa ei ole

erikseen mainittu laissa, mutta se on helposti rinnastettavissa laissa mainittuihin toimenpiteisiin. Kunta voi kuitenkin rakennusjärjestyksessä määrätä, että toimenpidelupaa ei kunnassa tai sen osassa tarvita erillismuuntamon rakentamiseen [32]. Näin ollen erillismuuntamon sijoitusprosessista olisi mahdollista tehdä yksinkertaisempi, mutta muutoksen tapahtuminen on riippuvainen kaupungin yhteistyöstä, lakimuutoksesta tai nykyisen lain erilaisesta tulkinnasta. Muuntamon suunnitellun sijoituspaikan maaperä olisi kuitenkin nykytilanteessakin mahdollista selvittää jo kaavoitusvaiheessa, jolloin olisi mahdollista välttyä louhinnasta aiheutuvilta lisäkustannuksilta.

7.3 Johtopäätökset

Kiinteistömuuntamot ovat nykytilanteessa hyvä ratkaisu alueilla, joissa ne ovat järkevästi toteutettavissa. Ne ovat elinkaarikustannuksiltaan edullisempia tai samanvertaisia nykyisten erillismuuntamomallien kanssa ja monia muuntamotilojen rakennuttamis- ja vuokrausprosessiin liittyviä ongelmia on jo viime aikoina saatu korjattua. Kellarisijoituksen aiheuttamat ongelmat pystytään eliminoimaan asemakaavoitukseen vaikuttamalla. HSV:n yleissuunnittelijan ja kaavan valmistelijoiden välinen yhteistyö toimii hyvin, joten kaavamääräysten tarkentaminen ei todennäköisesti tule olemaan ongelmallista. Muut prosessiin liittyvät pienemmät ongelmat pystytään korjaamaan HSV:n sisäisillä toimenpiteillä.

Jos muuntamo sijoitetaan tontille, sitä ei ole kannattavaa toteuttaa integroituna erillismuuntamona kiinteistömuuntamon sijaan. Integroitava muuntamo ei ole taloudellisesti kannattavampi, sillä sen elinkaarikustannukset olivat vertailuista vaihtoehdoista korkeimmat ja se nähdään valvontamallissa kuitenkin tavallisena sisältä hoidettavana erillismuuntamona. Sen rakennuttamisprosessi ei myöskään ole kiinteistömuuntamoa helpompi ja sen kunnossapitovastuu ei ole yhtä selkeä kuin kiinteistömuuntamon ja tavallisen erillismuuntamon.

Erillismuuntamoiden kannattavuus riippuu käynnissä olevan verhoiluprojektin sekä sen jälkeisen kehitystyön ja edunvalvonnan tuloksista. Erillismuuntamoita olisi mahdollista rakentaa huomattavasti nykyisiä alhaisemmilla kustannuksilla, mutta optimaalista tilannetta ei pystytä saavuttamaan yksinkertaisesti kehittämällä HSV:n sisäisiä toimintata-

poja, vaan siihen päästään vain toimivan ja aktiivisen edunvalvonnan kautta. Sekä kiinteistö- että erillismuuntamoita tullaan jatkossakin tarvitsemaan muuntamon sijainnista riippuen, joten molempien vaihtoehtojen kehittämiseen tulisi panostaa lähitulevaisuudessa.

Mikäli kaupungin kanssa päästään sopimukseen vakiomallisten erillismuuntamoiden sijoittamisesta vähemmän keskeisille alueille, erillismuuntamot olisivat nykytilanteeseen verrattuna paljon kannattavampi vaihtoehto. Tällöin voitaisiin harkita vyöhykemallin käyttöä, jossa erillismuuntamoita käytetään alueilla, joissa verhoilemattomat erillismuuntamot ovat sallittuja ja kiinteistömuuntamoita näiden alueiden ulkopuolella. Verhoiltujen erillismuuntamoiden käyttö rajoittuisi tällöin kaupunkikuvallisesti tarkemmin säädellyille alueille, joissa kiinteistömuuntamon käyttäminen ei kuitenkaan ole järkevää.

Nykytilanteessa voidaan siis todeta, että kiinteistömuuntamo on monesta näkökulmasta aivan yhtä hyvä, ellei jopa parempi ratkaisu kuin erillismuuntamo. Optimaalisen muuntamoratkaisun tavoitetilaa tulee kuitenkin päivittää tulevaisuuden muutosten mukaan.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tehdä Helen Sähköverkko Oy:n kiinteistö- ja erillismuuntamoiden välisestä eroista selvitys, jonka perusteella uusien jakelumuuntamoiden suunnittelua pystyttäisiin jatkossa paremmin ohjaamaan yhtiön kannalta optimaaliseen ratkaisuun.

Työssä laskettiin nykyarvomenetelmällä elinkaarikustannukset eri muuntamotyypeille. Elinkaarilaskennan tuloksia voidaan pitää melko luotettavina, joskaan niissä ei todennäköisesti ole saatu huomioitua kaikkia muuntamoiden todellisten elinkaarikustannusten tekijöitä eikä kaikkien kustannustekijöiden hintoja pystytty tarkasti määrittelemään. Tulokset antoivat kuitenkin hyvän kuvan kiinteistö- ja erillismuuntamoiden elinkaarikustannusten todellisista eroista, sekä siitä millaisilla toimenpiteillä kunkin muuntamotyypin kustannuksia pystytäneen tulevaisuudessa leikkaamaan. Kiinteistömuuntamoiden elinkaarikustannukset osoittautuivat erillismuuntamoihin verrattuna odotettua alhaisemmiksi. Työssä tarkasteltiin myös lyhyesti regulaation salliman tuoton vaikutusta muuntamoiden elinkaarikustannuksiin.

Insinööriyötä tehdessä havaittiin, etteivät useimmat kiinteistömuuntamoihin liittyvät ongelmat jo tehtyjen kehitystoimenpiteiden ansiosta enää koske uusia kiinteistömuuntamoita. Jäljellä olevat kehitystarpeet pystytään myös toteuttamaan suhteellisen yksinkertaisilla toimenpiteillä. Kiinteistömuuntamot osoittautuivat kaiken kaikkiaan oletettua paremmaksi ratkaisuksi eikä niiden huonompi maine ole todellisuudessa uusien kiinteistömuuntamoiden kohdalla helposti perusteltavissa.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä Helen Sähköverkko Oy:n uusien kiinteistö- ja erillismuuntamoiden todelliset erot sekä kunkin muuntamotyypin tärkeimmät kehitystarpeet. Optimaalista muuntamoratkaisua ei pystytty täysin yksiselitteisesti määrittelemään, sillä tietyt kiinteistö- ja erillismuuntamoiden väliset erot eivät ole objektiivisesti vertailtavissa. Työn tuloksia pystytään kuitenkin tulevaisuudessa käyttämään päätöksenteon pohjana tavoiteltavaa muuntamoratkaisua määriteltäessä.

Lähteet

- 1 Helen Sähköverkko yritysesitys. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 2 Helen Sähköverkko Oy:n avainluvut vuodelta 2018. Verkkoaineisto. Helen Sähköverkko Oy. <https://www.helensahkoverkko.fi/helen-sahkoverkko-oy/helen-sahkoverkko-oy/avainluvut/>
- 3 Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2018. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Tekniset+tunnusluvut+S%C3%84HK%C3%96+2018.xlsx/b03e8264-cccb-8e97-ce26-6eb8c12cf836> Luettu 9.9.2019.
- 4 Energiaviraston vierailu Helen Sähköverkko Oy:ssä 26.1.2017. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 5 HSV:n toimitusvarmuus ja miten siihen on päästy. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 6 Partanen Jarmo. 2015. Sähkömarkkinat - opetusmoniste.
- 7 Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla. Verkkoaineisto. Energiavirasto. Luettu 30.12.2019.
- 8 Partanen Jarmo. 2018. Sähkönsiirtohinnot ja toimitusvarmuus. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- 9 Monni, Markku 2003. Sähkölaitos asentajan ammattioppi 3: Jakelumuuntamotyöt, sähköasematyöt. 4., uudistettu painos. Helsinki: Adato Energia Oy.
- 10 Trimble NIS verkkotietojärjestelmä. 2019. Helen Sähköverkko Oy.
- 11 Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohje. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 12 Verkostosuositus RM 3:16. Kaapeliliitäntäinen verkonhaltijan muuntamo. 2016. Energiateollisuus ry.
- 13 HSV kiinteistömuuntamotilan suunnittelu- ja rakentamisohje. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 14 Monni, Markku 2005. Sähköverkkoasennukset. 6., kokonaan uusittu painos. Helsinki: Adato Energia Oy.

- 15 Muotopaletti. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <http://kaupunkitila-ohje.hel.fi/kortti/muotopaletti/> Luettu 17.10.2019.
- 16 Uudet muuntamoratkaisut, lähtötilanne. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy
- 17 Vuosiraportti 2018. Verkkoaineisto. Caruna Oy. https://images.caruna.fi/caruna_annual_report_2018_in_finnish.pdf Luettu 22.10.2019.
- 18 Elovaara Jarmo & Haarla Liisa. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- 19 Verkkomuistio. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 20 Aura & Tonteri. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Muuntajat ja sähkölaitteet. Porvoo: WSOY.
- 21 Kaavoituksen tasot. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/kaavoituksen-tasot/>. Luettu 18.11.2019.
- 22 Kaavoituksen kulku ja osallistuminen. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/osallistuminen>. Luettu 18.11.2019.
- 23 Kaavoituskäsitteitä. Verkkoaineisto. Salon kaupunki. <https://www.salo.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/kaavoituskasitteita/>. Luettu 18.11.2019.
- 24 Milloin kaavasta päättää kaupunkiympäristölautakunta? Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <https://www.hel.fi/Helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/osallistuminen/vahainen-muutos>. Luettu 18.11.2019.
- 25 Toimenpidelupa. Rakennusvalvontaviraston ohje, syyskuu 2014. Verkkoaineisto. Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto. <https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Toimenpidelupa.pdf>. Luettu 7.11.2019.
- 26 Saari Arto. Elinkaarikustannusten ja ympäristökuormitusten ohjaus rakennushankkeissa. Verkkoaineisto. Luettu 23.10.2019.
- 27 Verkkokomponenttien määrytykset (4. ja 5. valvontajakso). Verkkoaineisto. Energiavirasto. <https://vati.energiavirasto.fi/> Tulostettu 8.3.2017.
- 28 Jakelumuuntamoiden kriittisyysluokittelu. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.

- 29 Asennustöiden määrittäminen perusteet 2015–2018. 2014. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 30 PROTEC2 CLIQ. Verkkoaineisto. Abloy. <https://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/tuotteet/ratkaisut/protec2-cliq/>. Luettu 7.11.2019.
- 31 Meri-Rastilan länsiosa. Asemakaavan ja asemakaavan muutoksen selostus. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. https://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunkiymparistolautakunta/Suomi/Paatos/2019/Kymp_2019-09-10_Kylk_24_Pk/0BEDD52C-794F-C98B-8DDE-6C952B600000/Liite.pdf. Luettu 26.11.2019.
- 32 Maankäyttö- ja rakennuslaki 21.12.2012/958, 126 a §: Toimenpideluvanvaraiset toimenpiteet. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#a132-1999>. Luettu 27.11.2019.