

Samuel Järvinen

Sähköverkkosuunnittelun teknis-taloudelliset vertailumahdollisuudet tietojärjestelmien avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

10.12.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Samuel Järvinen Sähköverkkosuunnittelun teknis-taloudelliset vertailumahdollisuudet tietojärjestelmien avulla 52 sivua 10.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	dipl.ins Aki Hämäläinen, Helen Sähköverkko Oy lehtori Sampsa Kupari, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tässä insinööriyössä perehdyttiin Energiaviraston sähkömarkkinoiden valvontamallin vaikutuksiin investointipäätöksiä tehdessä Helen Sähköverkko Oy:ssä sekä selvitettiin mahdollisuuksia tietomallipohjaiseen investointien vertailuun. Koska HSV:llä on jo käytössä Trimble NIS -suunnitteluohjelmisto, pilotoitiin tässä opinnäytetyössä saman ohjelmistovalmistajan NIM-sovellusta kustannusten määrittämiseen.</p> <p>Regulaatio vaikuttaa suuresti verkkoyhtiöiden investointeihin ja painottaa vertailemaan projekteja suunnitellessa eri mahdollisuuksia koko niiden elinkaarikustannusten pohjalta. Valvontamalli säätelee sähköverkkoyhtiön omistajalleen tuottamaa voiton määrää, ja tästä johtuen kustannustehokkaiden projektien läpivienti on erittäin tärkeää. Sähköverkkoon tehtävien investointien vertailu toisiinsa on vaikeaa ilman tietomallipohjaista lähestymistä, jota Trimble NIM -ohjelmistolla tavoitellaan.</p> <p>Insinööriyön aikana pilotoidun NIM-ohjelmiston ehdottamia rakentamisen investointikustannuksia verrattiin jo olemassa olevaan laskentatapaan, joka perustuu käsin syötettäviin urakoitsijakohtaisiin komponenttitietoihin. Tulokset kustannuslaskennassa sekä esimerkitapauksissa, joita esitetään tässä opinnäytetyössä, on muutettu yrityssalaisuuksien vuoksi.</p> <p>Tätä insinööriyötä varten on luettu pääsääntöisesti Helen Sähköverkko Oy:n sisäisiä lähteitä, jotka on tarkoitettu ainoastaan yrityksen omaan käyttöön.</p>	
Avainsanat	Valvontamalli, TCO, Maanrakennuskustannukset, Kaapelioja

Author(s) Title	Samuel Järvinen Cost-Benefit Analysis of Electrical Grid Planning via Information Systems
Number of Pages Date	52 pages + 10 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electric Power Engineering
Instructor(s)	Aki Hämäläinen, M.Sc, Helen Electricity Networks Ltd Sampsa Kupari, M.Sc, Metropolia UAS
<p>The purpose of this thesis was to study the effects of regulation methods set by the Finnish Energy Market Authority (EMA), and also to gain insight about the effects of those methods to the decision making process at Helen Electricity Networks Ltd (HEN). The second part of this thesis was to pilot a program that is used to evaluate investment costs in electricity grid planning. HEN is already using a planning program made by Trimble Navigation Ltd, Trimble NIS (Network Information system), so it was a natural choice to first test Trimble NIM (Network Investment Management).</p> <p>Regulation of the electricity distribution companies has major effects on company's investments and its planning. Regulation methods also emphasize the importance of comparisons of investment costs between different implementation options throughout their lifecycles. The amount of profit an electricity distribution company can make is regulated by the Finnish EMA. Comparisons between different project implementations are difficult to make without an data model application. Therefore there is need for a program like Trimble NIM that can evaluate the financial impact of different plans.</p> <p>During this thesis the construction cost suggestions, provided by NIM-application, were compared to the results from the program already used at HEN. The current method for projecting construction costs in HEN is a program, in which the designer hand picks the components needed for the plan from specific contractor lists and combines them inside the application. Results from construction costs presented in this thesis were changed to protect business secrets</p> <p>Most of the sources in this thesis are internal documents from Helen Electricity Networks and therefore only for use by the company.</p>	
Keywords	Regulation methods, TCO, Civil engineering construction costs, underground cable trench

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helen Sähköverkko Oy	1
3	Valvontamalli	2
3.1	Valvontamallin tavoitteet	2
3.2	Verkkotoimintaan sitoutunut omaisuus	3
3.3	Verkon arvon laskenta	4
3.4	Sähköverkon arvon määrittäminen maakaapeloinnin osalta	6
3.5	Ympäristöolosuhdeluokat	8
4	Kohtuullinen tuotto	9
4.1	WACC-malli	9
4.2	Oman pääoman kohtuullinen kustannus	9
4.3	Vieraan pääoman kohtuullinen kustannus	11
4.4	Kohtuullisen tuottoasteen laskenta	12
4.5	Kohtuullinen tuotto	13
5	Investointien teknis-taloudellinen vertailu	16
5.1	TCO1-projekti	16
5.1.1	Hankintahinta, CAPEX	17
5.1.2	Käyttö ja kunnossapito, OPEX	18
5.1.3	Riskit ja turvallisuus	18
5.1.4	Keskeytyksestä aiheutunut haitta	21
5.1.5	Ympäristö, energiatehokkuus ja häviöt	25
5.2	Kannustimet	26
5.2.1	Investointikannustin	27
5.2.2	Laatukannustin	29
5.2.3	Tehostamiskannustin	31
5.3	Investointivaihtoehtojen vertailu	32
6	Trimble NIM benchmarkkaus	35

6.1	Verkon arvon ja hinnastojen määrittely	36
6.2	Energiaviraston sekä urakoitsijoiden hinnastojen käyttö NIM-ohjelmistossa	37
6.3	Maanrakennuskustannusten määrittely NIM:ssä	38
6.4	Ohjelman käyttäminen	40
6.4.1	Projektin luonti	40
6.4.2	Hankkeen suunnitelman tekeminen	41
6.4.3	Tilastollinen vertailu NIM/RKJ	47
6.4.4	NIM esisuunnittelun työkaluna	48
6.4.5	Tunnuslukujen vertailu	49
7	Johtopäätökset	51
	Lähteet	53

Lyhenteet

CAPEX	<i>Capital Expedinture</i>
CLC-aineisto	<i>Corine Land Cover</i> –aineisto, maanpeitteitä kuvaava aineisto
CPP	<i>Construction Project Planning</i>
HSV	Helen Sähköverkko OY
JHA	Jälleenhankinta-arvo
KAH	Keskeytyksestä aiheutunut haitta
KJ	Keskijännite
NKA	Nykykäyttöarvo
NPV	<i>Net Present Value</i> , nykykäyttöarvo
OPEX	<i>Operational Expedinture</i>
PJ	Pienjännite
RKJ	Rakennuttamistietojärjestelmä
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i> / Kokonaiskustannusajattelu
Trimble NAM	<i>Trimble, Network Assets Management</i> , Trimble NIS -lisäosa
Trimble NIM	<i>Network Investment Management</i> , Trimble NIS -lisäosa
Trimble NIS	<i>Network Information System</i> , sähköverkkotiedon järjestelmä

1 Johdanto

Sähköverkkosuunnittelun pitkäaikaisten kustannusten laskenta on nykypäivänä merkittävä osuus projektin toteutuksesta. Valittaessa laitteistoja sähkönjakeluun on tärkeää saada hankkeisiin investoidun pääoman tuotto mahdollisimman korkealle. Mitä paremmin varat voidaan investoida verkon arvoa nostaen sitä suuremman voiton yritys voi tuottaa omistajalleen. Nykypäivänä verkkoyhtiön sallittu tuotto on Energiaviraston regulaation kautta riippuvainen verkon arvoon, verkkoon tehtäviin investointeihin sekä erilaisiin kannustimiin ja niiden vaikutuksiin.

Regulaation tarkoituksena on luoda keinotekoinen kilpailutilanne verkkoyhtiöille, jotta verkon laatu olisi korkea ja hinnoittelu kohtuullista. Valvontamalli säätelee verkon arvoa ja hintojen kohtuullisuutta, joten valvontamallin tehokas hyödyntäminen on yrityksen kannalta merkittävä tekijä voitollisen liiketoiminnan ylläpitämisessä.

Tässä insinööriyössä perehdytään Energiaviraston valvontamallin käsittelyyn Helen Sähköverkko Oy:ssä sekä hankkeiden suunnitteluun TCO-mallia (kokonaiskustannusajattelu) käyttäen siten, että investointeja tehdessä päästäisiin koko elinkaaren aikana suurimpaan mahdolliseen katteeseen. Samoin työssä selvitetään tietojärjestelmäpohjaisen Trimble NIM -sähköverkon suunnitteluohjelman käyttömahdollisuuksia Helen sähköverkko Oy:n toiminnassa.

2 Helen Sähköverkko Oy

Helen sähköverkko Oy on Helen konserniin kuuluva asiantuntijaorganisaatio joka toimii sähköverkkoyhtiönä Helsingin alueella, pois lukien Östersundomin liitosaluetta. HSV on Suomen kolmanneksi suurin jakeluyhtiö asiakasmäärissään mitattuna ja Helen Oy:n (entinen Helsingin Energia) tytäryhtiö. HSV ylläpitää ja tuottaa sähkön siirto- ja jakelupalveluja toimialueellaan. Helsingin sähköverkon kautta toimitetaan energiaa noin 360 000 asiakkaalle. Vuonna 2014 sähkön kulutus Helsingissä oli 4 520 GWh, joka oli 0,5 prosenttia vähemmän kuin vuonna 2013. HSV:n jakeluverkossa on 1 603 km keskijännite ja 4 458 km pienjännitekaapeleita ja kaapelointiaste pien- ja keskijänniteverkossa on 99,6 %. [1; 2.]

Sähköverkon silmukkamainen rakenne ja korkea kaapelointiaste nostavat sähkön toimitusvarmuutta ja näin vähentävät asiakkaille sähkökatkoina tapahtuvaa haittaa. Koska sähköverkko on pääsääntöisesti rakennettu silmukkamaisesti, voidaan sähköasemille ja muuntamoille toimittaa vian sattuessa sähköä toisesta suunnasta nopeasti. Vuonna 2015 HSV:llä on jakelualueellaan käytössä tai rakennusvaiheessa olevia sähköasemia 23 ja muuntamoita 2 564 kappaletta. [1; 2.]

3 Valvontamalli

Sähkön jakeluliiketoiminta on valvottua Energiaviraston valvontajaksojen kautta. Tällä hetkellä meneillään oleva kolmas valvontajakso päättyy vuoden 2015 loputtua, ja uusi neljäs jakso alkaa virallisesti 1.1.2016. Valvontajaksot ovat nelivuotisia, ja niiden aikana Energiavirasto valvoo sähkön jakeluyhtiöiden toimintaa.

3.1 Valvontamallin tavoitteet

Sähköverkkoyhtiöt toimivat jakelualueellaan luonnollisina monopoleina joten niiden valvonnan on oltava tarkempaa kuin muilla teollisuuden alueilla. Pää tavoitteet valvontamallille ovat hintojen kohtuullisuus sekä sähköverkon korkea laatu. Valvontamallilla verkkoyhtiöille luodaan keinotekoinen kilpailutilanne, joka painostaa yrityksiä parantamaan tuottavuuttaan ja investoimaan jakeluverkkoonsa. [3, s. 8–12.]

Valvonnan muita päätavoitteita ovat tasapuolisuus, verkon kehittäminen, sekä liiketoiminnan pitkäjänteisyys, kehittäminen ja tehokkuus. Tasapuolisuus tarkoittaa, että yritys ei saa tuottaa liikaa tuloa omistajilleen tai tehdä eri riskitason investointeja asiakkaidensa kautta, eli investoida tavalla, jonka riskitaso on suurempi kuin yrityksen pääliiketoiminnalla. Pitkäjänteisyydellä ja kehittämisellä tavoitellaan riittäviä investointeja verkon laadun parantamiseen. [3, s. 9.]

Verkkoyhtiöt toimivat alueillaan pitkiä aikoja ja tilanteissa, joissa avoimesta kilpailusta tulevaa painetta palvelun parantamiseen ei ole. Ilman regulaatiota tämä voisi johtaa tilanteeseen, jossa verkkoyhtiö ei investoisi verkkoonsa tarpeeksi, mutta samaan aikaan nostaisi siirtomaksuja näin kompensoiden omaa kustannustehottomuuttaan. Valvontamallin tärkein tavoite on pitää monopolihinnoittelu kohtuullisella tasolla ja kannustaa verkkoyhtiöitä pitämään huolta omasta jakeluverkostaan.

Verkkoyhtiöiden on jokaisena vuonna toimitettava energiavirastolle valvontaan tarvittavat dokumentit, jotka toimitetaan energiavirastolle huhtikuun loppuun mennessä. Ne pitävät sisällään tilinpäätöksen, taloudelliset ja teknilliset tunnusluvut sekä tiedot käytössä olevista sähköverkkokomponenteista. Sähköverkkokomponenttien tiedoista lähetetään käytössä olevien verkkokomponenttien lukumäärät sekä keski-iat, samoin ilmoitetaan verkkoon investoitujen ja verkosta poistettujen komponenttien määrät sekä tarvittaessa niiden pitoajat. [3, s. 12–14.]

Valvontajaksot kestävät neljä vuotta ja niiden päätyttyä Energiavirasto antaa verkonhaltijoille valvontapäätöksen, jossa se ilmoittaa kuinka suurella euromäärällä verkkoyhtiö on alittanut tai ylittänyt kohtuullisen tuoton rajan, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.5 ”Kohtuullinen tuotto”. Tuotto lasketaan vuosittaisesta toteutuneesta oikaistusta tuloksesta. Jos jakeluyhtiö on ylittänyt valvontajaksolle sallitun kohtuullisen tuoton yli viidellä prosentilla, on sen maksettava ylijäämästä korkoa asiakkaille, mikä tarkoittaa yleensä siirtomaksujen hyvitystä. Korkona käytetään keskiarvoa kyseisen valvontajakson oman pääoman kohtuullisen kustannuksen arvoista. Yli- tai alijämä otetaan huomioon seuraavan valvontajakson tuottojen laskennassa. [3, s. 21; 4.]

3.2 Verkkotoimintaan sitoutunut omaisuus

Sähköverkkoon sitoutunut omaisuus lasketaan verkkokomponenttien ja yksikköhintaluettelon avulla. Kaikki verkkoon asennetut komponentit lasketaan ja niiden arvo summataan valvontamallin yksikköhintojen mukaisesti, ja jokaisella verkkokomponentilla on oma arvonsa ja pitoaikansa. Komponenttien määrä ja ikävuodet ilmoitetaan jokaisen tarkasteluvuoden lopun tilanteessa eli siten kuin ne vastaavat kyseisen vuoden 31. joulukuuta tilannetta. Komponenttien ikätietoina käytetään komponenttien valmistusvuotta tai käyttöönottopäiväystä. Vaikka komponenttia käytettäisiinkin verkossa sen määritetyn pitoajan yli, sen ikänä käytetään komponentin keski-ian laskennassa verkonhaltijan valitsemaa komponentin suurinta pitoaikaa. Pitoikatietoja tarvitaan sähköverkko-omaisuuden oikaistun nykykäyttöarvon ja oikaistujen tasapoistojen laskentaan [3, s. 24–27; 5.]

Sähköverkko-omaisuuden laskennassa otetaan huomioon sen todellinen käyttöarvo. Oikaistu sähköverkon nykykäyttöarvo saadaan laskettua kaavalla 1 oikaistusta sähköverkon jälleenhankinta-arvosta joka lasketaan kaavalla 3. [3, s. 33.]

$$NKA_{t,i} = \left(1 - \frac{\text{keski} - \text{ikä}_{t,i}}{\text{pitoaika}_i} \right) \times JHA_{t,i} \quad (1)$$

jossa

<i>NKA_{t,i}</i>	<i>Verkkokomponentin i kaikkien komponenttien nykykäyttöarvo vuonna t vuoden t rahanarvossa.</i>
<i>JHA_{t,i}</i>	<i>Verkkokomponentin i kaikkien komponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo vuonna t vuoden t rahanarvossa.</i>
<i>pitoaika_i</i>	<i>Verkkokomponentin i pitoaika. Pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaa jonka verkkokomponentti todellisuudessa on toiminnallisessa käytössä ennen sen uusimista eli teknistaloudellista valvontamenetelmissä käytettyä pitoaikaa.</i>
<i>keski – ikä_{t,i}</i>	<i>Verkkokomponentin i määrätiedolla painotettu ikätieto vuoden t alussa.</i>

3.3 Verkon arvon laskenta

Verkkoyhtiön omistaman verkon arvon laskentaan käytetään Energiaviraston kyseiselle valvontakaudelle ilmoittamia yksikköhintoja, jotka perustuvat Empower Oy:n tekemään Sähköverkkokomponenttien yksikköhintojen määrittely -selvitykseen [15] sekä Energia-teollisuus ry:n verkostosuositus KA 2:10:ssä esitettyihin yksikköhintoihin. Komponenttien yksikköhintoja ei päivitetä tuleville neljännelle (2016–2019) ja viidennelle (2020–2023) valvontajaksolle, mutta niihin tullaan tekemään vuosittainen korjaus kyseisen vuoden ra-

hanarvoon rakennuskustannusindeksin perusteella, joka perustuu vuoden 1995 tilanteeseen, esimerkiksi vuonna 2015 yksikköhintoja korjattiin +4,2 % vuoden 2012 hintata-
sosta. Verkon arvon laskennassa otetaan huomioon kaikki yhtiön omistama sähkömark-
kinalaissa eritelty sähköverkkolaitteisto, joka koostuu toisiinsa liitettyistä sähköjohdoista
ja -asemista sekä sähköverkon käyttöä ja tuottamista palvelevista muista sähkölaitteista
ja sähkölaitteistoista, järjestelmistä ja ohjelmistoista [3, s. 25; 6.]

Verkon arvo määritetään siihen kytketyistä komponenteista sekä niiden yksikköhin-
noista. Yhden komponentin kohdalta oikaistu jälleenhankinta-arvo lasketaan kaavan 2
mukaisesti. [3, s. 32.]

$$JHA_i = yksikköhinta_i \times määrä_i \quad (2)$$

Koko sähköverkon osalta jälleenhankinta-arvo lasketaan kaikkien verkkoon liitettyjen
verkkokomponenttien jälleenhankinta-arvojen summana kaavan 3 mukaisesti. [3, s. 32.]

$$JHA = \sum_{i=1}^n (JHA_i) \quad (3)$$

kaavoissa 2 ja 3

JHA_i Verkkokomponentin *i* kaikkien komponenttien yhteenlaskettu
oikaistu jälleenhankinta-arvo.

yksikköhinta_i Verkkokomponentin *i* yksikköhintojen mukainen hinta.

määrä_i Verkkokomponentin *i* kaikkien komponenttien lukumäärä.

JHA Sähköverkko-omaisuuden oikaistu jälleenhankinta-arvo.

3.4 Sähköverkon arvon määrittäminen maakaapeloinnin osalta

Verkon arvoa laskettaessa maakaapeloinnin osalta on huomioitava kaapeliojan kaivuolosuhteet. Helsingin alueen kaapelointiaste on suuri, ja maanrakennuskustannukset lisäävät merkittävästi hankkeiden investointeja. Maakaapeleiden jälleenhankinta-arvoa laskettaessa on huomioitava, millaisissa kaivuolosuhteissa ne sijaitsevat. Kaivuolosuhteet määritellään kolmella erilaisella periaatteella, jotka ovat sanallisilla määritelmillä, parametreilla määrittelemällä sekä kartta-aineiston avulla tehtävillä määrittelyillä. [7, s. 15.]

Sanallisten määritelmien suurimpina hyötyinä ovat tarkat kuvaukset kaivuolosuhteista. Koska määritelmät ovat sanallisia, niiden ongelmana on tulkinnanvaraisuus. Toimijat voivat tulkita niitä omalla tavallaan, mikä voi johtaa valvontamallin kannalta liian epämääräisiin ja joustaviin kaivuolosuhteiden määrittelyihin. Tilanteissa, joissa verkonhaltija ei pysty CLC-aineiston (Corine Land Cover) perusteella todentamaan olosuhteita Energiaseläntöalueelle, on sen mahdollista käyttää vain helppoa ja tavallista olosuhdetta. Määrittäessä vaikean tai erittäin vaikean luokan kaivuolosuhdetta sanalliset määritelmät sekä CLC-aineisto huomioidaan määrittelyyn yhteydessä. [3, s. 27–28; 7, s. 15–22.]

Kaivuolosuhdeluokat ja niiden sanalliset määritelmät ovat seuraavat:

- Haja-asutusalue – helppo:
 - o Vähäistä liikennettä, ei juurikaan pinnoitetta, helppo kaivuympäristö, ei juurikaan muita verkostoja. Asemakaavan ulkopuoliset alueet, pienet kylät ja palvelukeskukset, pääosin harvaa omakotiasutusta, melko vähän teitä. [8, s. 7.]
- Taajama-alue – tavallinen:
 - o Keskustojen reuna-alueet, aluekeskusten keskustat, päällystettyjä tie- ja katualueita, jonkin verran varottavia muita verkostoja. Palvelukeskuksia, paljon eri tarkoituksiin varattuja alueita (urheilupuistot, jäähallit, jne.), paljon rakennuksia. [8, s. 7.]
- Kaupungissa – vaikea:
 - o Paljon jalankulku- ja ajoneuvoliikennettä, kadunvarsipysäköintiä asiointiin, aktiivista toimintaa päivällä ja illalla, liiketoimintaa ja toimistoja, kaikki alueet päällystettyjä, erikoispäällystettyjä (mm. kiveykset), koneellinen kaivu edellyttää ojamiestä, useita

verkostoja varottavana, sijoitusvaikeuksia. Tiheästi monikerroksisia rakennuksia, joukkoliikennettä, kallioiset alueet, joissa on tarve louhinnalle, kaivu edellyttää maansiirtoa. [8, s. 7–8.]

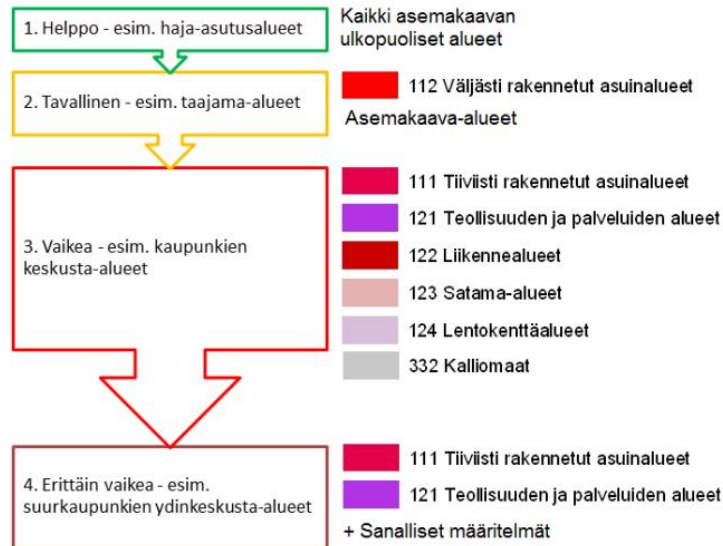
- Suurkaupunkien ydinkeskusta-alueet – erittäin vaikea:
 - o Samat määritykset kuin kaupunkialueella, paljon jalankulku- ja ajoneuvoliikennettä, kadunvarsipysäköintiä asiointiin, aktiivista toimintaa päivällä ja illalla, liiketoimintaa ja toimistoja, koneellinen kaivu edellyttää ojamiestä, useita verkostoja varottavana, sijoitusvaikeuksia. Lisäksi suurimman osan seuraavista määrittelyistä on sovittava tilanteeseen: kaikki alueet päällystettyjä, erikoispäällystettyjä (mm. kiveykset), erittäin tiheästi kerrot-/tornitaloja, paljon joukkoliikennettä, paljon tiloja myös (parkkipaikoja) maan alla, kaivu edellyttää maansiirtoa ja kalliita erikoisjärjestelyjä liikenteelle, erittäin paljon erikoispäällystettyä, tarkasteltavan alueen keskimääräisen rakennustehokkuuden on oltava huomattavasti kaupungissa esiintyvää vaikeaa olosuhdetta suurempi ($e = n. 3$), töitä joudutaan tekemään myös yöllä. [8, s.8.]

Kaapeleita asennetaan yleensä taajama- ja kaupunkiolosuhteissa useita samaan kaivuosaan ja Energiavirastolle on vuosittain ilmoitettava eri kaivuolosuhteisiin asennetut maakaapelioijat sekä -kaapeloinnit metrimäärien mukaisesti. Maakaapelioijan pituuden määrittää sen todellinen reittipituus. Kaapelioijan kokonaispituuteen ei siis vaikuta sen sisältämien kaapeleiden lukumäärä. Siirryttäessä neljänteen valvontajaksoon vuonna 2016 kaapelioijien määritys perustuu niiden todellisiin oja pituuksiin. Tilanteissa, joissa jo olemassa olevan kaapelioijan viereen kaivetaan uusi oja neljännen valvontajakson aikana, voidaan uuden kaapelioijan kaivukustannukset ottaa huomioon verkon arvoa määrittäessä. [3, s. 28.]

Kaivuolosuhdeluokkien määritys on helpointa tehdä CLC-aineiston perustella, joka on ilmaiseksi saatavissa Suomen ympäristökeskukselta ja julkaistu viimeksi vuonna 2014. Helppoa kaivuolosuhdetta vastaavat kaikki CLC-aineiston ulkopuolelle jäävät alueet. Tavallista kaivuolosuhdetta vastaavat luokat 112 sekä asemakaava-alueen sisäpuoliset alueet. Vaikeaa kaivuolosuhdetta ovat CLC-aineiston luokkien 111, 121, 122, 123, 124 sekä 332 kuvaamat alueet. Kaivuolosuhdeluokitus voidaan määrittää erittäin vaikeaksi, jos se on CLC-aineiston mukaan luokassa 111 tai 121 ja se täyttää suurimman osan erittäin vaikean kaivuolosuhteen sanallisista määritelmistä. [8, s. 6.]

3.5 Ympäristöolosuhdeluokat

Sähköverkkoa rakentaessa ympäristöolosuhteet voivat olla kaivualueiden suhteen alueittain täysin erilaiset, esimerkiksi pellon viereisellä tienpenkereellä kaivutyöt ovat kustannuksiltaan edullisemmat kuin kivetetyllä keskusta-alueella. Verkonhaltijan toiminta-alueella vallitsevat ympäristöolosuhteet otetaan huomioon CLC-aineiston perusteella, joka ilmaisee maakäyttö- ja maanpeiteaineistot alueittain. [3, s. 27–29; 8, s. 5–9; 9.]



Kuva 1. Kaivuolosuhteiden määrittäminen [7, s. 5].

Kuvasta 1 nähdään kaivuolosuhdeluokat jaoteltuna niitä vastaaviin CLC-aineistossa määriteltyihin alueisiin. Helsingin jakelualueen maakaapelien sijainnit kaivuolosuhteiden mukaan on esitetty tarkemmin taulukossa 1. Luvuista huomataan, että suuri osa Helsingistä kuuluu maanrakennuskustannuksien suhteen kahteen kalleimpaan luokkaan. Ero maanrakennuskustannuksissa erittäin vaikean ja helpon kaivuolosuhteen välillä on Energiaviraston selvityksen mukaan yli kymmenkertainen, mutta Helsingin ydinkeskustan alueella erot voivat olla hankkeesta riippuen vieläkin suurempiakin. [8, s. 2.]

Taulukko 1. Maakaapeleiden kaivuolosuhdejaottelu Helsingissä [10].

CLC Kaivuolosuhdejaottelu / maakaapelit	01.01.2015	
	20 kV	0,4 kV
Helppo (esim. haja-asutusalue)		
Tavallinen (esim. taajama)	13,9 %	6,9 %
Vaikea (esim. kaupunki)	52,1 %	70,3 %
Erittäin vaikea (esim. ydinkeskusta)	33,9 %	22,8 %

4 Kohtuullinen tuotto

Energiaviraston valvontamalli säätelee verkkoyhtiöiden tekemän voiton määrää sekä määrittelee myös yhtiöiden rahoitusrakenteita. Tärkeimmät laskentakaavat jakeluyhtiöiden osalta ovat kohtuullisen tuottoon sekä tuottoasteeseen liittyviä.

4.1 WACC-malli

Kohtuullista tuottoastetta laskettaessa tarvitsee tietää verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu pääoma sekä kohtuullinen tuottoaste, joiden tulona voidaan laskea kohtuullinen tuotto. Kohtuullisen tuottoasteen laskentaan käytetään Energiaviraston valvontamallissa WACC-mallia (Weighted Average Cost of Capital). Tämä malli kertoo yrityksen keskimääräisen pääoman kustannukset. Mallin parametrien määrittämiseksi Energiavirasto on teettänyt vuonna 2014 lausunnon Ernst & Young Oy:llä (EY). Lausunnossa EY kertoo omat suosituksensa WACC-mallin kehittämiseksi ja vertailee nykyistä mallia vaihtoehtoiseen kiinteään malliin. [11; 3, s. 40.]

4.2 Oman pääoman kohtuullinen kustannus

Oman pääoman kohtuullista kustannusta käytetään kohtuullisen tuottoasteen määrittämisessä, ja se lasketaan CAP-mallilla (Capital Asset Pricing Model). CAP-mallissa laskettava sijoituskohteen tuottovaatimuksen ja riskin välinen suhde on esitetty kaavassa 4. Riskittömään korkoon lisätään likvidittömyyspreemio sekä riskilisä, joka muodostetaan markkinariskipreemion ja beeta-kertoimen tulona [3, s. 40–41.]

$$C_E = R_f + \beta_{\text{velallinen}} \times (R_m - R_f) + LP \quad (4)$$

jossa

C_E oman pääoman kohtuullinen kustannus

R_f riskitön korkokanta

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

R_m markkinoiden keskimääräinen tuotto

$R_m - R_r$ markkinariskipreemio

LP likvidittömyyspreemio

Oman pääoman riskittömän korkokannan arvo lasketaan kahdella vaihtoehdoisella tavalla, R_1 tai R_2 . Näistä vaihtoehdoista valitaan seuraavalle vuodelle se arvo, joka antaa riskittömälle korkokannalle korkeamman arvon. Vaihtoehdossa R_1 , korkokanta päivitetään vuosittain käyttäen Suomen valtion kymmenen vuoden obligaatioiden koron edellisen vuoden huhti–syyskuun toteutuneiden päiväarvojen keskiarvoa. Vaihtoehdossa R_2 , korkokanta päivitetään vuosittain käyttäen Suomen valtion kymmenen vuoden obligaatioiden koron kymmenen edellisen vuoden toteutuneiden päiväarvojen keskiarvoa. [3, s. 41.]

Beeta-kerroin, joka on esitetty kaavassa 5, kertoo tarkasteltavan yrityksen riskipitoisuuden suhteessa kaikkien sijoitusten keskimääräiseen riskipitoisuuteen. Se on riippuvainen yrityksen kustannusrakenteesta, velkaisuusasteesta sekä kasvusta. Samalla alalla toimivien yritysten beeta-kertoimet ovat yleisesti lähellä toisiaan ja neljännelle valvontakaudella, vuosilla 2016–2019. EY:n selvityksestä saatujen tietojen mukaisesti käytetään velallisen beetan arvona 0,828 ja velattoman beetan arvona 0,54. Syy samalle kertoimelle yhtiöiden kesken on Energiaviraston näkemys toimialaan kohdistuvista riskeistä, jotka ovat samat kaikille yhtiöille [3, s. 42; 11]

$$\beta_{velallinen} = \beta_{velaton} \left(1 + (1 - yvk) x \frac{D}{E} \right) \quad (5)$$

jossa

$\beta_{velallinen}$ velallinen beeta-kerroin

$\beta_{velaton}$ velaton beeta-kerroin

yvk yhteisverokanta

D / E pääomarakenne (korolliset velat / oma pääoma)

Markkinariskipreemio kertoo, kuinka paljon korkeampi osakkeiden tuotto on riskittömään korkoon nähden. Oman pääoman kustannuksia määritettäessä markkinariskipreemion ja riskittömän koron arvot ovat vuorovaikutuksissa toisiinsa, koska riskittömän koron valinta vaikuttaa riskipreemion suuruuteen. Markkinaoikeus on hyväksynyt päätöksessään (MAO:635-688/10) markkinariskipreemion arvon, ja EY:n selvityksen mukaan kyseinen taso on perusteltu, kun riskitön korko on määritetty Suomen valtion kymmenen vuoden obligaatioiden tuottoa vastaavaksi. [3, s. 43.]

Likvidittömyyspreemiolla tarkoitetaan rahoituskirjallisuudessa sijoittajan vaatimaa lisäkorvausta sille, että hän ei pysty halutessaan realisoimaan sijoitustaan yritykseen. [12, s. 2.]

Likvidittömyyspreemiolla korjataan sähköverkkotoimintaan sitoutuneen omaisuuden arvoa, koska yhtiöt, laitteistot sekä verkkoon investoidut komponentit ovat epälikvidejä. Tästä johtuen oman pääoman kohtuullista kustannusta laskettaessa likvidittömyyspreemiota käytetään pörssilistaamattomille yhtiöille. Pörssilistattujen konsernien kohdalla likvidittömyyspreemiota ei tule sisällyttää oman pääoman kohtuullisen kustannuksen laskentaan. [3, s. 43–44; 12.]

4.3 Vieraan pääoman kohtuullinen kustannus

Vieraan pääoman suhteen kohtuullisten kustannuksien laskenta suoritetaan samanlaisia määritelmiä käyttäen kuin oman pääoman suhteen. Kohtuullisia kustannuksia laskettaessa käytetään kaavaa 6. [3, s. 44–45.]

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

jossa

C_D *vieraan pääoman kohtuullinen kustannus*

R_r *riskitön korkokanta*

DP *vieraan pääoman riskipreemio*

Kaavaa käytettäessä riskittömän korkokannan laskenta suoritetaan samalla tavalla kuin oman pääoman kohtuullisen tuoton kanssa laskettaessa ja riskipreemiolla kuvataan sitä kustannusta, jota vieraasta rahoituksesta tulee riskittömän koron päälle. Riskipreemio päivitetään jokaiselle valvontajaksolle ja vaihteluvälin alaraja lasketaan Bloombergin A-luottoluokituksen omaavista eurooppalaisista julkisten palveluiden yhtiöiden kymmenen viime vuoden velkakirjojen tuotoista koostuvista indeksin keskiarvoista, josta vähennetään Saksan valtion 10 vuoden joukkovelkakirjan kuukausinoteerauksien keskiarvo. Yläraja lasketaan taas Bloombergin BBB-luokan eurooppalaisten julkisten palveluiden yhtiöiden osalta samalla tavalla. Riskipreemion arvo muodostetaan edellä mainituiden vaihteluvälien keskiarvosta tarkastelujakson aikana. [3, s. 45–46.]

4.4 Kohtuullisen tuottoasteen laskenta

Valvontamenetelmissä kohtuullisena tuottoasteena (WACC-%) käytetään oikaistun pääoman painotettua keskimääräistä kustannusta. Koko pääoman kustannus lasketaan oman pääoman ja korollisen vieraan pääoman kustannusten painotetun keskiarvon perusteella. Kohtuullinen tuottoaste lasketaan valvontamallissa veroja edeltävänä pre-tax -arvona. Tämän tapaisella laskutavalla yhteisöverot vähennetään kohtuullisen tuoton eikä toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa. Kohtuullinen tuottoaste veron jälkeen lasketaan kaavalla 7. [3, s. 46–47.]

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

jossa

$WACC_{\text{post-tax}}$	<i>kohtuullinen tuottoaste yhteisöverojen jälkeen</i>
C_E	<i>oman pääoman kohtuullinen kustannus</i>
C_D	<i>korollisen vieraan pääoman kohtuullinen kustannus</i>
E	<i>verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu pääoma</i>
D	<i>verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu korollinen vieras pääoma</i>

Yvk

voimassa oleva yhteisöverokanta

Kaavan 7 laskennan jälkeen kohtuullinen tuottoaste oikaistaan voimassa olevalla yleisöverokannalla, jotta saadaan laskettua veroja edeltävä kohtuullinen tuottoaste kuten kaavassa 8 on esitetty. [3, s. 47.]

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

jossa

 $WACC_{pre-tax}$

yhteisöveroja edeltävä kohtuullinen tuottoaste

Koska verkonhaltijalle sovelletaan kiinteää pääomarakennetta, jonka painoarvo vieraille pääomalle on 40 % ja omalle pääomalle 60 %, voidaan kaavasta 8 johtaa kaavan 9 mukainen esitystapa. [3, s. 47.]

$$WACC_{pre-tax} = \frac{C_E \times 0,60}{(1-yvk)} + C_D \times 0,40 \quad (9)$$

4.5 Kohtuullinen tuotto

Energiaviraston valvontamallin kautta verkonhaltija saa kohtuullisen tuoton verkkotoimintaan sitoutuneelle oikaistulle omalle ja korolliselle vieraille pääomalle. Korottomalle vieraille pääomalle ei saa kohtuullista tuottoa, koska sen tuottovaatimus on nolla. Kohtuullinen tuotto ennen veroja voidaan laskea kaavasta 10 [3, s. 48–52.]

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

Verkkotoimintaan sitoutuneen korollisen vieraan pääoman sekä toimintaan sitoutuneen oman pääoman oikaistu kohtuullinen kustannus lasketaan kaavojen 11 ja 12 mukaisesti. [3, s. 53.]

$$C_D = R_r + DP \quad (11)$$

$$C_E = R_r + \beta_{velaton} \times \left(1 + (1 - yvk) \times \frac{40}{60}\right) \times (R_m - R_r) + LP \quad (12)$$

Laskettaessa kohtuullista tuottoa ennen yhteisöveroja yhdistetään edellä mainitut kaavat yhdeksi lausekkeeksi ja lopputulokseksi saadaan kaavan 13 mukainen esitystapa kohtuulliselle tuotolle ennen veroja. [3, s. 53.]

$$R_{k,pre-tax} = \left(\frac{C_E \times 0,60}{(1-yvk)} + C_D \times 0,40 \right) \times (E + D) \quad (13)$$

Kaavoissa 10, 11, 12 ja 13

$R_{k,pre-tax}$	<i>kohtuullinen tuottoaste ennen yhteisöveroja, (euroa)</i>
$WACC_{pre-tax}$	<i>kohtuullinen tuottoaste, (prosenttia)</i>
E	<i>verkkotoimintaan sitoutunut oma pääoma, euroa</i>
D	<i>verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu korollinen vieras pääoma, (euroa)</i>
C_E	<i>oman pääoman kohtuullinen kustannus</i>
C_D	<i>korollisen vieraan pääoman kohtuullinen kustannus</i>
yvk	<i>yhteisöverokanta</i>
R_r	<i>riskitön korkokanta</i>
$\beta_{velaton}$	<i>velaton beeta-kerroin</i>
$R_m + R_r$	<i>markkinariskipreemio</i>
LP	<i>likvidittömyyspreemio</i>
DP	<i>vieraan pääoman riskipreemio</i>

Energiavirasto on määrittänyt neljännelle ja viidennelle valvontajaksolle kohtuullisen tuottoasteen parametrien arvot, ja ne pysyvät samoina molempien valvontajaksojen aikana. Vuosittain päivitetään tarvittaessa yhteisöverokannan arvo siten, että se vastaisi voimassaolevaa arvoa. Samoin viidennelle valvontajaksolle päivitetään kohtuullisen tuottoasteen vieraan pääoman riskipreemio. Taulukossa 1 esitetään parametrien arvot neljännelle valvontajaksolle. [3, s. 54–55.]

Taulukko 2. Neljännelle valvontajaksolle sovellettavien parametrien arvot [3, s. 54].

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 %

5 Investointien teknis-taloudellinen vertailu

Tehtäessä päätöksiä investoinneista sähköverkkoon on huomioitava useita asioita investoitavan laitteiston laadusta sen käytön kustannuksiin. HSV:ssä on vuonna 2014 aloitettu TCO1-projekti, jonka tarkoituksena on selvittää investointien kokonaiskustannuksia niiden koko elinkaaren aikana. Projektin tarkoituksena oli luoda toimintamalli hankkeiden liiketoiminnallisen kannattavuuden arvioimiseksi. Kannattavuutta vertaillaessa on tarpeellista tietää hankinnan elinkaarikustannukset sekä investoinnin vaikutus verkon arvoon valvontamallin puitteiden sisällä. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin eri tekijöiden vaikutusta investointien kannattavuuden arviointiin Helen Sähköverkko Oy:n näkökulmasta. [13.]

5.1 TCO1-projekti

Elinkaarikustannukset, jotka voidaan esittää kaavan 14 mukaisesti, luovat suuren osan kaikista kuluista sähköverkkoliiketoiminnassa. Niiden tarkastelu laitteiston koko elinkaaren aikana on huomioitava tarkasti investointipäätöstä tehdessä. HSV:ssä käytössä olevassa mallissa tarkastellaan CAPEX (5.1.1) ja OPEX (5.1.2) tunnuslukuja, häviöitä, keskeytys- ja riskikustannuksia sekä tuottoa regulaation kautta. [13.]

$$TCO = C_{capex} + \sum_{a=1}^N \frac{C_{opex} \times (1+i)^a}{(1+p_{roi})^a} \quad (14)$$

$$C_{capex}_a = C_{capex}_0 \times \frac{(1+i)^a}{(1+p_{roi})^a} \quad (15)$$

Kaavoissa 14 ja 15

TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
C_{capex}	<i>investointikustannus</i>
C_{opex}	<i>operatiiviset kustannukset</i>
P_{roi}	<i>haluttu pääoman tuotto</i>
C_{capex}_a	<i>investointikustannus vuonna a</i>

5.1.1 Hankintahinta, CAPEX

CAPEX kuvaa investoinnin hankintahintaa ja CAPEX-factor (16) sen suhdetta valvontamallista saatavaan sähköverkon jälleenhankinta-arvoon. CAPEX-factorilla voidaan nopeasti arvioida, onko hanke kannattava valvontamallin näkökulmasta. Alle yhden tuloksella hanke ei ole taloudellisesti kannattava, vaikka se voikin olla teknisesti tarpeellinen. Hankkeen tarkempi tarkastelu sen koko elinkaaren suhteen voi kylläkin muuttaa tilannetta. Hankintahintaan vaikuttavat kaikki investointiin liittyvät kulut ja Helsingin alueella maanrakennuskustannukset tuovat merkittävän lisän hankkeen kokonaiskustannuksiin. Hankkeissa, joissa tien pintaan tarvitaan erityispäällystettä, kuten kaapelioiden kaivaminen mukulakivellä päällystetyllä alueella, sähkötekniisten komponenttien osuus hankkeen kustannuksista voi olla alle 20 %. [14; 15.]

$$CAPEX_{factor} = \frac{JHA}{investointi} \quad (16)$$

jossa

CAPEX_{factor} *investoinnin kannattavuusluku*

JHA *jälleenhankinta-arvo*

Investointi *hankkeen investoinnit (laitteisto, asennus, maanrakennus)*

Maanrakennuskustannukset ovat Helsingin alueella korkeita tilanpuutteen sekä vaikeiden kaivuolosuhteiden takia. HSV:n toimintaympäristöstä 33,9 % KJ- (keskijännite) ja 22,8 % PJ- (pienjännite) kaapeleista kuuluu CLC-aineiston perusteella erittäin vaikealuokkaan. Kaivamista vaikeuttavat tilanpuute, joka johtuu muiden toimijoiden sekä kunnallistekniikan tarpeista. Maanrakennuskustannusten osalta teiden erikoispinnoitteet, kuten mukulakivetykset ja asfaltointi, nostavat maanrakennuskustannuksia hankkeissa merkittävästi. Energiaviraston yksikköhintojen mukaiset arvot maanrakennuskustannuksille eri ympäristöolosuhteluokissa on muodostettu yrityksille esitettyjen kyselyiden perusteella ja ne pohjautuvat painotettuihin keskiarvoihin. Toimintatapa on todettu hyväksi, mutta se ei vastaa todenmukaisesti kustannuksia suurten kaupunkien keskusta-alueilla toimiessa. Tämä johtaa tilanteisiin, joissa sähköverkon rakentamisen investointikulut eivät vastaa regulaation kautta johdettua verkon arvon kasvua ja se asettaa toimijat eriarvoiseen asemaan niiden toiminta-alueen mukaan. [13; 15.]

Sähköverkon rakenne määrittelee suuresti Helsingin alueella käytettävien laitteistojen rakennetta. HSV:n sähköverkko on lähes täysin kaapeloitu, joten muuntamot ja jakokaapit on suunniteltu kyseiseen tarkoitukseen sopiviksi. Kaapeloidun jakeluverkon etuja ovat korkea laatu sekä vähäiset keskeytykset, mutta investoinnit esimerkiksi puistomuuntamoihin ovat suuret. Helsingin kaupunki säätelee laittilojen ulkoasua, ja HSV:n näkyvillä paikoilla oleviin puistomuuntamoihin on asennettava erillinen pinnoite, joka kasvattaa puistomuuntamon investointikustannuksia. Lisääntyneen kustannuksen vaikutusta laitteiston jälleenhankinta-arvoon, joka lasketaan yksikköhintojen mukaan, sitä ei siis huomioida täysimääräisesti. [13; 3, s. 107.]

5.1.2 Käyttö ja kunnossapito, OPEX

Koko elinkaaren aikaiset kulut ovat merkittävä osa sähköverkon rakentamisen kulurakenteesta. Kalliimpi investointi voi jopa tulla halvemmaksi sen elinkaaren aikana, jos sen käyttö- ja kunnossapitokulut ovat merkittävästi edullisemmat kuin kilpailevalla toimittajalla. HSV on lähivuosina investoinut merkittävästi muuntamoiden keskijännitekojeistojen kaukokäyttöautomaatioon, joiden osalta investointikustannukset ovat pienemmät ylläpito- ja käyttökuluihin verrattuna. OPEX kuvaa kontrolloitavia operatiivisia kustannuksia, kuten muuntamoautomaatioprojektin kohdalta huolto- ja kunnossapitokuluja, tiedonsiirtokuluja sekä palkkakuluja, joita tarvitaan liiketoiminnan ylläpitämiseen. Vertaillen vaihtoehtoja toisiinsa, TCO-mallin mukaisesti, arviossa huomioidaan laitteistojen häviökustannukset eli tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöt sekä tilakustannukset. Laitteiston koko on merkittävä tekijä investointipäätöksiä tehdessä Helsingin keskustan alueella. Kiinteistömuuntamoiden laittilat voivat olla ahtaita sekä kulku niihin hankalaa. Uusien hankintojen on myöskin mahdollista vanhoihin tiloihin sillä uusien tilojen ostaminen tai vuokraaminen uuden laitteiston tarpeisiin nostaa merkittävästi hankinnan investointia, ja on joissain paikoissa mahdotonta. [13; 16.]

5.1.3 Riskit ja turvallisuus

Riskit ja niiden vaikutukset huomioidaan investointipäätöksiä tehdessä. HSV:llä on viimeisen kymmenen vuoden aikana ollut noin 10 kappaletta X-merkkisen jakokaapin paloja. Palojen seurauksena vialle alttiit jakokaapit, jotka olivat asuntojen läheisyydessä, vaihdettiin toisiin, jotta turvallisuus- ja imago-riski alentuivat. Investointiesitystä tehdessä laskettiin kaksi mahdollista hanketta, joista taulukko 3 käsittelee ensimmäistä tapausta, ja tarkasteltiin niiden vaikutusta riskiin sekä hankkeiden taloudellisuutta. Alkutilanteessa

X-merkkisiä kaappeja oli 245 kappaletta ja todennäköisyydeksi, että kaappipalo aiheuttaisi rakennuspalon, arvioitiin 1/20. Ensimmäisessä hankintaehdotuksessa 75 kappaletta X-merkkisiä jakokaappeja vaihdettaisiin toisen valmistajan jakokaappeihin. [13.]

Taulukko 3. Jakokaappipalojen riskien arviointi, ensimmäinen vaihe [13].

Riski	Hinta	Todennäköisyys	kpl
Jakokaappipalo	15 000 €	1/245	75
Kiinteistöpalon johdosta	500 000 €	1/245/20	75
Edellisen imagoriski	1 000 000 €	1/245/20	75

Toisessa ehdotuksessa selvitettiin jatkoetenemisen vaikutusta, jos ensimmäisen hankkeen jälkeen vaihdettaisiin vielä 50 kappaletta jakokaappeja. Jakokaappipalon riski oli ensimmäisen hankkeen jälkeen pudonnut jakokaappien määrän suhteessa, mutta kiinteistöpalon leviämisen riski on puolittunut, sillä ensimmäinen investointi kohdistui jakokaappeihin, jotka olivat rakennuksien lähellä. Hankkeen riskin alenemista on esitetty tarkemmin taulukossa (4), jossa jakokaappipalon todennäköisyys on laskenut. [13.]

Taulukko 4. Jakokaappipalon riskien arviointi, toinen vaihe [13].

Riski	Hinta	Todennäköisyys	kpl
Jakokaappipalo	15 000 €	$(170/245) * 1/245$	50
Kiinteistöpalon johdosta	500 000 €	$\frac{1/245/20}{2}$	50
Edellisen imagoriski	1 000 000 €	$\frac{1/245/20}{2}$	50

Riskin vaikutus lasketaan kaavan 17 mukaisesti.

$$R = H * p * n \quad (17)$$

jossa

R Riskin vaikutus koko elinkaaren aikana, €

H Riskin hinta (toteutuessa), €

P todennäköisyys

N määrä

Laskettaessa hankkeiden kannattavuutta yhden kaapin vaihtamisen kustannuksiksi arvioitiin noin 5 000 €. Tämän kautta laskettiin hankkeen kokonaishinta ja siitä aiheutuva riskin vähennys kaavan 17 mukaisesti, jolla hankkeen kannattavuutta voitiin arvioida. Riskien kustannukset elinkaaren aikana tuotiin nykypäivän arvoon NPV:n (Net Present Value) avulla. [13; 17.]

Taulukko 5. Elinkaarikustannusten vertailu riskikustannuksien osalta [13].

Elinkaarikustannus	Vähennys (K/E)	TCO 1	TCO 2
		Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Hankintahinta		375 000	250 000
Riskikustannus / Riskin vähennys	k	- 489 694	- 132 140
Elinkaarikustannus (TCO)		-114 694	117 860

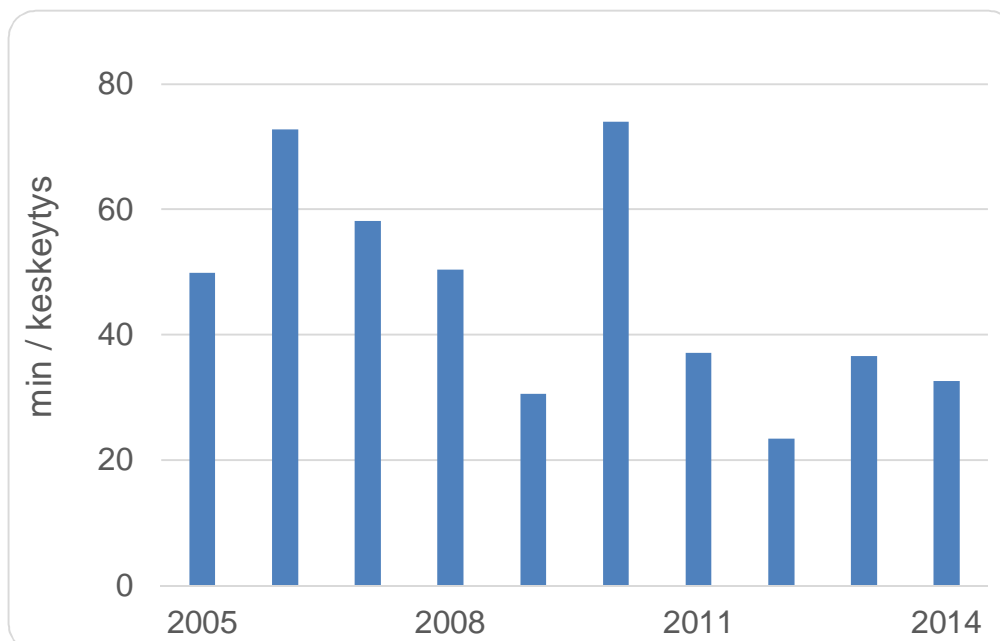
Taulukon 5 tuloksista huomattiin, että ensimmäisen vaihtoehdon kohdalla riskin alennus tuli kannattavammaksi kuin hankintahinta, minkä takia se kannatti toteuttaa. Jatkoselvityksen kohdalla laskenta antoi tulokseksi merkittävästi pienemmän riskinalennuksen, jolloin hankinta ei ole kannattava. Tämä johtui ensimmäiseen hankkeeseen valituista kohteista, jotka sijaitsivat lähellä rakennuksia, jotka olisivat palon tapahtuessa mahdollisesti

aiheuttaneet imagolle sekä kiinteistölle huomattavia vahinkoja. TCO-mallin mukaisesti ensimmäinen hanke oli kannattava riskin alennuksen johdosta, mutta jakokaappipalon todennäköisyyden laskiessa hankkeen jatkaminen seuraavien 50 jakokaapin kohdalla ei ollut kannattavaa. [13.]

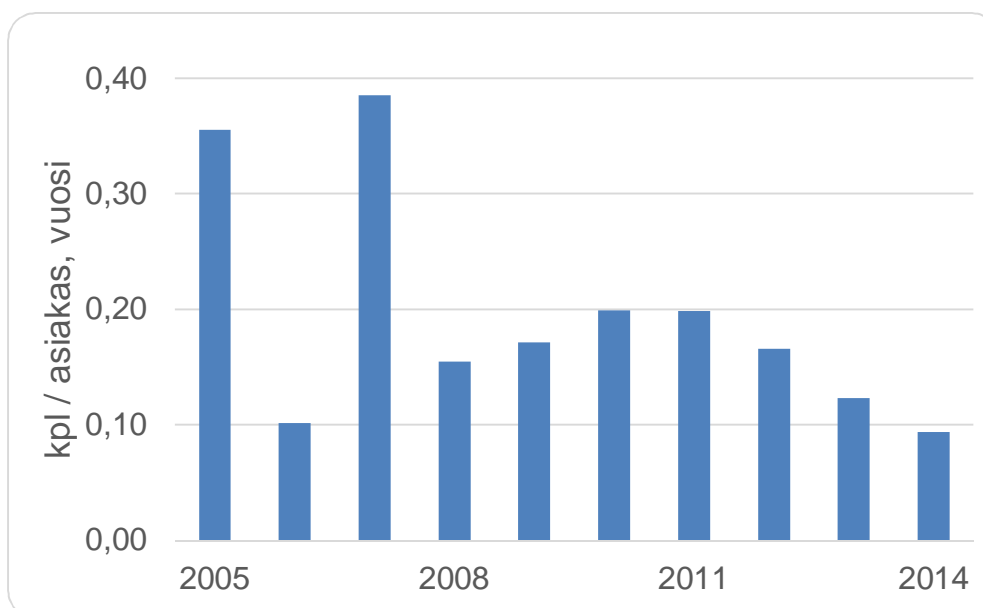
5.1.4 Keskeytyksestä aiheutunut haitta

Keskeytykset sähkönjakelussa aiheuttavat kuluttajille harmia, ja niiden määrä olisi pidettävä mahdollisimman alhaisena. Investointipäätöksiä tehdessä on arvioitava, aiheuttaako investoinnin myöhästyttäminen suuremman riskin asiakkaan sähkön toimitusvarmuuden ylläpitämiseen kuin hankkeen toteutus. Sähkön toimitusvarmuus Helsingin alueella on hyvä ja odottamattomia sähkökatkoja tapahtuu harvoin, mutta sähkökatkon tapahtuessa esimerkiksi ydinkeskustassa voivat seuraamukset olla vakavampia kuin taajama-alueilla.

HSV investoi määrätietoisesti toimitusvarmuutta parantaviin hankkeisiin, joista esimerkiksi voidaan mainita maasulkuvirran kompensointilaitteistojen asentaminen 11 sähköasemalle vuosien 2012–2019 välillä. Kompensointilaitteistoilla voidaan vähentää 20 kV:n jakelualueen asiakaskeskeytyksiä yksittäisten maasulkukeskeytyksien poistumisen muodossa. Laitteistoilla voidaan estää maasulkuvikojen laajentuminen oikosuluiksi sekä vähentää sähköasemien laitteistoille aiheutuvaa rasitusta, mikä vuorostaan vähentää vielä enemmän asiakkaille aiheutuvia odottamattomia keskeytyksiä. Keskeytyksiä kuvaavat tunnusluvut: T-CAIDI, joka kertoo keskimääräinen keskeytyksen keston, (min / keskeytys) ja T-SAIFI, keskimääräinen keskeytysten lukumäärä, (kpl /asiakas, vuosi). Kuvassa 2 esitellään Helsingissä tapahtuneiden keskeytyksien keskimääräisiä kestoja vian alkuhetkestä sen poistumiseen vuosittain ja kuva 3 esittää kuinka monta keskeytystä asiakas kokee keskimääräisesti vuosittain Helsingin jakelualueella. HSV:n keskeytysajat ovat jo vuosia olleet Suomen parhaimpien joukossa. [13.]



Kuva 2. Keskimääräinen keskeytyksen kesto (T-CAIDI) vuosina 2005–2014 [13].



Kuva 3. Keskimääräinen keskeytysten lukumäärä (T-SAIFI) vuosina 2005–2014 [13].

Energiaviraston määrittelemä keskimääräinen yksikköhinta keskeytyksestä aiheutuneelle haitalle (KAH), on esitetty taulukossa 6. Keskimääräisten yksikköhintojen luomisen pohjaksi on käytetty Tampereen teknillisessä yliopistossa tehtyä tutkimusta [18]. Jatkotutkimuksessa [19] analysoitiin asiakkaille aiheutuvia haittoja eri asiakaskuntien näkökulmista. Tarkasteltavia asiakaskuntia olivat ”maatalous”, ”kaupallinen”, ”julkinen”, ”teollinen” sekä ”asuminen”. Selvityksissä keskeytyksestä aiheutuneen haitan arvo määriteltiin lukuisille asiakaskunnille, joista ryhmien kokoja painottaen laskettiin kaikille asiakaskunnille yhteiset hinnat keskeytyksestä aiheutuneelle haitalle. [18; 19; 20.]

Taulukko 6. Keskimääräinen yksikköhinta keskeytyksestä aiheutuneelle haitalle [3, s. 68].

Odottamaton keskeytyks		Suunniteltu keskeytyks		Aikajälleen-kyt-kentä	Pikajälleen-kyt-kentä
$h_{E,odott}$	$h_{W,odott}$	$h_{E,suunn}$	$h_{W,suunn}$	h_{AJK}	h_{PJK}
€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW	€/kW
11,0	1,1	6,8	0,5	1,1	0,55

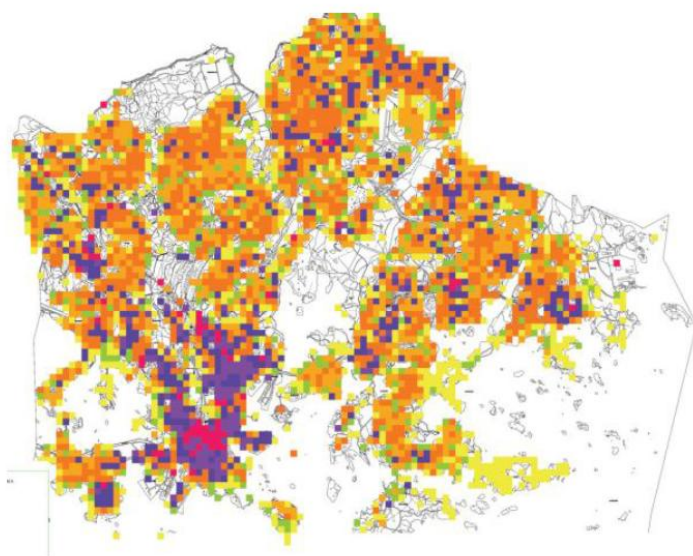
Helsingin sähkönjakelun osalta tarkasteltavia asiakaskuntia ovat kaikki edellä mainitut pois lukien maatalous. Kun tuloksia jalostaa, voidaan laskea keskimääräiset keskeytykskustannukset yhden tunnin keskeytykselle asiakaskunnittain ja ne on esitetty taulukossa 7. [19; 20.]

Taulukko 7. Keskeytyksestä aiheutunut haitta [20, s. 1].

1 h odottamaton keskeytyks, Energiavirasto	
Asiakasryhmä	€/kW
asuminen	4,65
teollisuus	24,45
julkiset palvelut	16,97
kaupallinen	32,54

Sähkönjakelun keskeytysten vaikutus on huomattavasti suurempi kaupallisille toimijoille kuin asukkaille. Tarkastellessa tilannetta vielä tarkemmin Helsingin näkökulmasta, jossa KAH on merkittävästi riippuvainen sijainnista, voidaan jakelualue jakaa kolmeen vyöhykkeeseen. Nämä alueet ovat ydin, kaupunki ja esikaupunki, joissa kaikissa on omanlaiset asiakasryhmien koostumuksensa. [20.]

Vuonna 2010 tehdyssä tutkimuksessa [21] tutustuttiin tarkemmin KAH:n hintaan yksityisten palveluiden näkökulmasta Helsingin eri vyöhykkeillä ja vastaustuloksien sekä vuosikulutusten perusteella tuloksista johdettiin keskimääräiset keskeytyskustannukset eri alueille. Kustannukset laskettiin huipputeholla noteeraten ja energiapainotettua keskiarvoa käyttäen. Vastaustuloksissa ei ole huomioitu tarkastelualueilla olleita suuria tavaraaloja tai vuosikulutukseltaan poikkeuksellisen suuria yrityksiä, jotka vääristäisivät tuloksien keskiarvoja. Kuvassa 4 esitetään sähkön jakelun energiatiheyttä sekä kuormitusten jakautumista Helsingin alueella ja taulukossa 8 eritellään kaupallisille toimijoille keskeytyksestä aiheutuneen haitan arvoa Helsingin eri alueilla. [20; 21, s.26.]



Kuva 4. Sähkön jakelun energiatiheys sekä kuormituksen jakautuminen HSV:n jakelualueella [22, s. 26].

Taulukko 8. Keskeytyksestä aiheutunut haitta kaupallisille toimijoille alueittain [21].

€/kW	30 min	1 h	4 h
Kaikki	32,53	65,06	260,23
ydin	47,81	95,62	382,48
kaupunki	19,02	38,03	152,12
esikaupunki	24,43	48,86	195,45

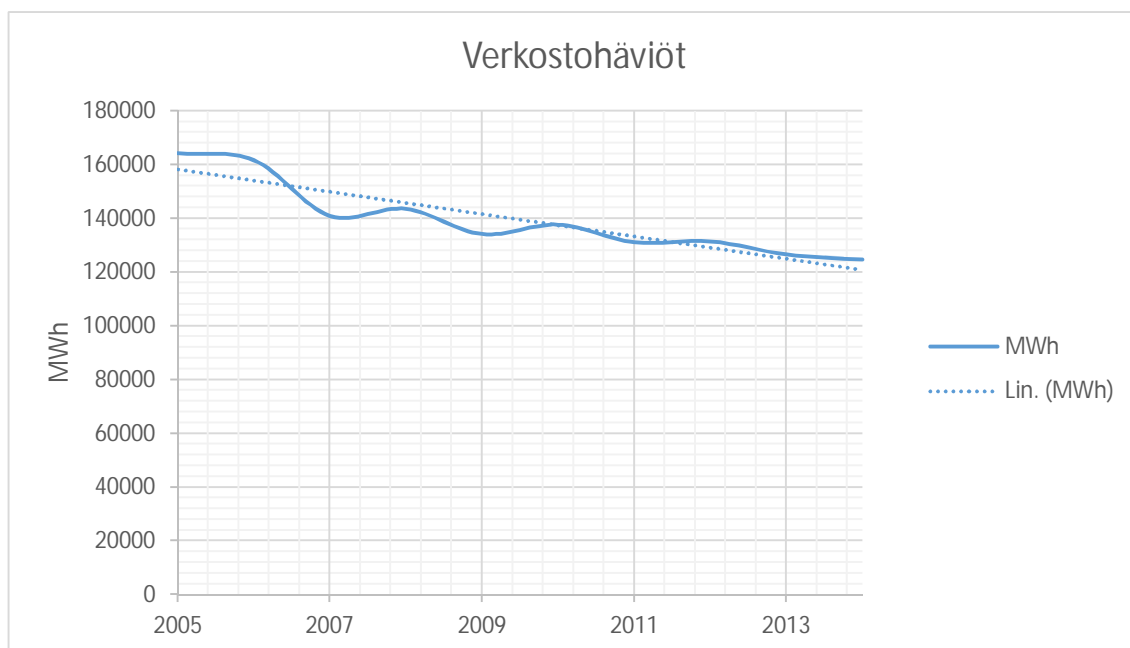
[21, s. 35.]

HSV:ssä käytössä olevassa TCO-mallissa KAH -arvoja käsitellään vähennyksinä hankkeen kokonaiselinkaarikustannusten osalta. Vähentyneet keskeytykset johtavat pienempään KAH arvoon, jolloin asiakkaille korvattavat osuudet siirtohinnoissa laskevat. Verkon luotettavuutta parantavat hankkeet nostavat samalla energiaviraston laatukannustimen määrää. [3, s. 75; 13.]

5.1.5 Ympäristö, energiatehokkuus ja häviöt

Rakentamisympäristönä Helsingin alue luo erikoislaatuisia vaatimuksia sähkönjakelujärjestelmien rakentamiselle. Tilanpuutteen takia laitteistojen tarvitsee olla pienempiä, mikä johtaa usein tilanteeseen, jossa päädytään käyttämään SF₆- (rikkiheksafluoridi) eristeisiä keski- ja suurjännitekojeistoja. SF₆-kojeistojen käyttäminen pienentää merkittävästi laitteiden tilantarvetta, mutta vikatapauksissa purkautuessaan kaasu aiheuttaa suuria kasvihuonepäästöjä. Päästöjä vertaillessa yleisesti käytetty indeksi on GWP (Global Warming Potential), jossa aineen vaikutusta verrataan hiilidioksidin vaikutukseen ilmaston lämpenemisessä. Tällä asteikolla SF₆ -kaasu saa arvoksi 23 900. Laitteistot, jotka käyttävät SF₆ -kaasua, ovat kuitenkin luotettavia, ja vikojen aiheuttamat päästöt koko Helenin konsernissa olivat 32 kiloa vuonna 2014. Ottaen huomioon, että koko Helenin konsernissa SF₆ -kaasua on käytössä ja varastossa 22 209 kiloa, ovat päästöt erittäin pienet vuosittaisella tasolla. [23; 24.]

Verkostohäviöt määritetään vähentämällä verkkoon tuodusta energiasta laskutettu kulu ja näiden erotus kuvaa sähköverkossa tapahtuvia häviöitä. Häviöt muodostuvat laitteistoissa tyhjäkäynti- kuormitus ja lämpöhäviöinä sekä vikatilanteissa, kuten maasuiluissa, maahan syötettynä sähköenergiana. Verkostohäviöt ovat olleet jo useita vuosia laskussa Helsingin alueella, kuten kuva 5 osoittaa. Sähkön käyttö on laskenut sekä sähkön jakelulaitteistojen uudistaminen ovat molemmat osiltaan alentaneet häviöitä. [25.]



Kuva 5. Verkostohäviöt Helsingissä vuosina 2005–2014 [3].

Sähköverkkoliiketoiminnassa investoitavat laitteistot ovat käytössä useita vuosia tai jopa vuosikymmeniä. Täten laitteistojen häviöt vaikuttavat päätöksentekoon merkittävästi TCO-näkökulmasta. Esimerkiksi jakelumuuntajien osalta häviöt ovat niiden koko elinkaaren aikana suuremmat kuin niiden hankintahinta. Päätöksentekoon vaikuttavat myös laitteistojen mahdolliset ympäristövahingot, jos laitteisto vikaantuu. [25.]

5.2 Kannustimet

Valvontamallissa käytettävien kannustimien tehtävänä on kannustaa verkkoyhtiötä tehostamaan toimintaansa sekä parantamaan sähkön toimitusvarmuutta ja laatua. Kannustinten vaikutuksia harkitaan investointeja tehtäessä, sillä ne voivat tehdä merkittäviä eroja laitteiston kokonaiskannattavuuteen niiden elinkaaren aikana. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan valvontamallissa olevia kannustimia HSV:n näkökulmasta investointivaihtoehtoja vertaillen. [3, s. 64.]

5.2.1 Investointikannustin

Investointikannustimen tarkoituksena on kannustaa verkonhaltijaa tekemään investointinsa keskimäärin kustannustehokkaasti sekä mahdollistaa riittävät korvausinvestoinnit, sähköverkon kehittämisen ja ennenaikaiset korvausinvestoinnit [3, s. 64.]

Investointikannustin koostuu suurimmaksi osaksi oikaistusta jälleenhankinta-arvosta laskettavasta tasapoistosta sekä yksikköhintojen luomasta kannustinvaikutuksesta. Verkonhaltijoita kannustetaan hakemaan aiempaa kustannustehokkaampia toteutustapoja yksikköhinnoista muodostuvan kannustinvaikutuksen takia. Investoimalla keskimääräistä tehokkaammin verkonhaltija saa investoinneiltaan suuremman hyödyn valvontamallin näkökulmasta. Tehokkailla toteutustavoilla ja investointipäätöksillä, joilla hankintakustannus jää pienemmäksi kuin valvontamallista saatu hyöty, verkonhaltija saa investoinneiltaan suuremman toteutuneen arvon, (eli oikaistun JHA:n), kuin investointikustannukset olivat. Oikaistu JHA lasketaan verkon komponenttien yksikköhintojen sekä maanrakennuskustannuksien mukaan, jolloin investoimalla kustannustehokkaasti verkon arvo nousee valvontamallin mukaisesti, vaikka kustannukset olisivatkin alemmat. [3, s. 64.]

Korkeampi jälleenhankinta-arvo nostaa myös suunniteltujen tasapoistojen arvoja. Kannustinvaikutus syntyy menetelmän sallimasta laskennallisesta tasapoistosta, joka sallii verkonhaltijan laskea jokaiselle tosiasiallisessa käytössä olevalle komponentille tasapoiston täysimääräisenä pitoajan ylittymisenkin jälkeen. Laskennalliset tasapoistot huomioidaan toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa ja niillä taataan tarvittava tulotaso verkon korvausinvestointien tekemiseen. Yhden verkkokomponentin kohdalta laskennallinen tasapoisto lasketaan kaavan 18 mukaisesti. [3, s. 65.]

$$JHATP_{t,i} = \frac{JHA_{t,i}}{\text{pitoaika}_i} \quad (18)$$

jossa

$JHATP_{t,i}$ verkkokomponentin i laskennallinen tasapoisto vuonna t .

$JHA_{t,i}$ verkkokomponentin i jälleenhankinta-arvo vuonna t , vuoden t rahanarvossa.

pitoaika_i verkkokomponentin *i* pitoaika. Pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka verkkokomponentti todellisuudessa on toiminnallisessa käytössä ennen sen uusimista eli teknistaloudellista valvontamenetelmissä käytettyä pitoaikaa.

Laskettaessa laskennallisten tasapoistojen määrää koko sähköverkossa summataan kaikkien yksittäisten komponenttien laskennalliset tasapoistot toisiinsa. Koko sähköverkon osalta laskennallinen tasapoisto vuonna *t* on esitetty kaavassa 19. [26, s. 13.]

$$JHATP_t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{JHA_{t,i}}{pitoaika_i} \right) \quad (19)$$

jossa

$JHATP_t$ Verkon laskennallinen tasapoisto vuonna *t*

Yksinkertaistetusti sanottuna investointikannustin on laskennallisten tasapoistojen ja kirjanpidollisten tasapoistojen erotus. Näiden erotuksesta saatu arvo lisätään määritettävän komponentin nykykäyttöarvoon, jolloin jokaisesta tosiasiallisessa käytössä olevasta komponentista saa tuottoa, vaikka sen pitoaika olisikin päättynyt.

Investointikannustin otetaan huomioon verkkotoiminnan toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa. Eriytetyn tilinpäätöksen mukaisesta liikevoitosta tai -tappiosta vähennetään investointikannustimen vaikutus. Vaikutus lasketaan vähentämällä verkonhaltijan kirjanpitoon perustuvan suunnitelman mukaiset poistot verkonhaltijan sähköverkon oikaistusta jälleenhankinta-arvosta lasketusta tasapoistosta. Kannustimen vaikutusta voidaan kuvailla kaavalla 20. [26 s. 14.]

$$Investointikannustimen\ vaikutus = -(tasapoistot - suunnitelman\ mukaiset\ poistot) \quad (20)$$

5.2.2 Laatukannustin

Laatukannustimen tarkoitus on kannustaa verkonhaltijaa kehittämään sähkönsiirron ja -jakelun laatua. [3, s. 66]

Laatukannustin pyrkii ohjaamaan verkonhaltijaa saavuttamaan vähintään sähkömarkkinain edellyttämän toimitusvarmuustason. Energiaviraston tavoitteena laatukannustimen suhteen on ohjata verkonhaltijaa oma-aloitteisesti parantamaan sähkönsiirron ja -jakelun laatua vähimmäistavoitteita paremmaksi. Yksi suurimmista muutoksista siirtäessä kolmannelta valvontajaksosta neljännenteen valvontajaksoon on keskeytyskustannusten huomioiminen kokonaisina aikaisemman jakson puolikkaiden sijaan. Toimitusvarmuuden parantaminen vaikuttaa täten nopeammin kannustimen vaikutuksiin. [3, s. 66.]

Kannustimen vaikutuksia laskiessa otetaan huomioon keskeytyksistä aiheutunut haitta KAH, joka lasketaan keskeytysaikojen sekä keskeytysten yksikköhintojen perusteella. Verkonhaltijan tehtäviin kuuluu ilmoittaa energiavirastolle valvontatiedoissa tunnuslukumääräyksen mukaan keskeytysmäärät sekä -ajat. Neljännellä valvontajaksolla keskeytyksistä otetaan huomioon jakeluverkon osalta keskijänniteverkosta aiheutuneiden suunniteltujen ja odottamattomien keskeytysten lukumäärät ja keskeytysajat sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen määrä. Viidennellä valvontajaksolla huomioidaan myös suurjännitejakeluverkosta aiheutuvat keskeytykset. [3, s. 67.]

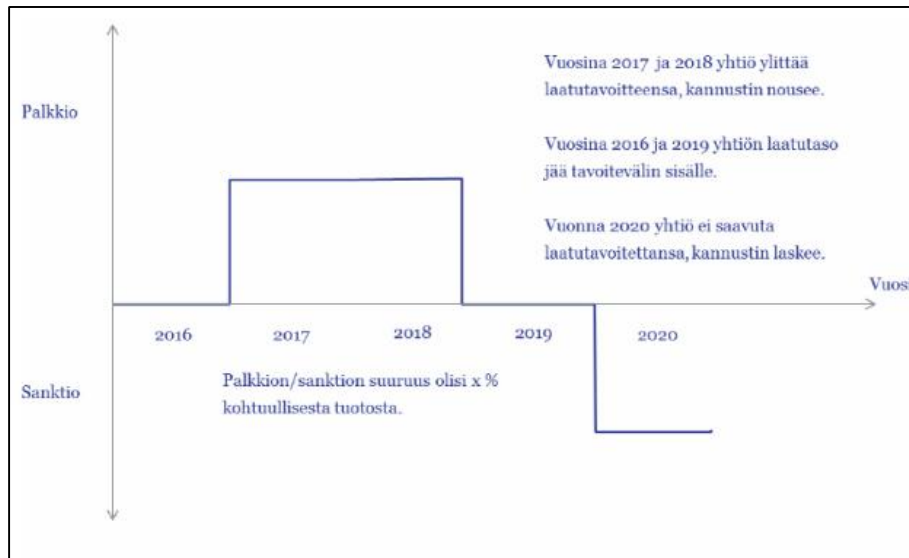
Keskeytyskustannusten vertailutasosta vähennetään toteutuneet keskeytyskustannukset, jolloin tulokseksi saadaan laatukannustimen vaikutus, yhtälömuodossa sama on esitetty kaavassa 21. Laatukannustimen vaikutus vähennetään toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa ja kannustimen vaikutus voi olla enintään 15 % verkonhaltijan kyseisen vuoden kohtuullisesta tuotosta. Kannustin sisältää myös laatu-bonus -järjestelmän jossa verkonhaltija tavoittelee ennalta määritellyä keskeytysaikaa. Ylittäessä tietyn tavoitetaso, verkonhaltija saa palkkion, mutta vastaavasti tavoitetason alittamisesta seuraa sanktio. Palkkio ja sanktio ovat molemmat kiinteitä prosentuaalisia osuuksia kohtuullisesta tuotosta, kuvassa 6 selvennetään laatu-bonus -järjestelmän toimintaa. [3, s. 75; 27, s. 58, s. 66–69.]

$$Laatubonus_t(sanktio) = KAH_{ref} - KAH_t \quad (21)$$

jossa

KAH_{ref} Keskeytyskustannusten vertailutaso

KAH_t Toteutuneet keskeytyskustannukset



Kuva 6. Laatubonusjärjestelmän toiminta [27, s.58].

Vuosittaisia toteutuneita laskennallisia keskeytyskustannuksia verrataan verkonhaltija-kohtaiseen vertailutasoon. Neljännellä valvontajaksolla vertaillaan vuosien 2008–2015 keskeytyskustannuksia ja ne lasketaan yhtälöllä 22. Viidennellä valvontajaksolla vertailutasoa laskettaessa huomioon otetaan myös suurjännitteisessä jakeluverkossa tapahtuvat keskeytykset ja vertailuarvo lasketaan yhtälöllä 23. [3, s. 71–72.]

$$KAH_{ref,k} = \frac{\sum_{t=2008}^{2015} \left[KAH_{t,k}^{KJ} \times \left(\frac{W_k}{W_t} \right) \right]}{8} \quad (22)$$

$$KAH_{ref,k} = \frac{\sum_{t=2012}^{2019} \left[KAH(K)^{KJ}_{t,k} \times \left(\frac{W_k}{W_t} \right) \right]}{8} + \frac{\sum_{t=2012}^{2019} \left[KAH(SJ)^{KJ}_{t,k} \times \left(\frac{W_k}{W_t} \right) \right]}{7} \quad (23)$$

5.2.3 Tehostamiskannustin

Tehostamiskannustimen tarkoituksena on kannustaa verkonhaltijaa toimimaan kustannustehokkaasti [3, s. 75.]

Energiaviraston valvontamalli kannustaa verkkoyhtiöitä toimimaan kustannustehokkaasti. Tehostamiskannustin ohjaa yhtiöitä tämän tavoitteen saavuttamiseksi, ja se muodostuu kuudesta tekijästä. Yleinen tehostamistavoite kannustaa verkkoyhtiötä toimimaan yleisen tuottavuuskehityksen mukaisesti. Yrityskohtainen tehostamistavoite taas kannustaa verkonhaltijaa parantamaan kontrolloitavia kustannuksia sekä saavuttamaan StoNED-menetelmän mukaisessa tehokkuusmittauksessa tehokkaan toiminnan mukaisen tason. Tehokkuusrintama estimoidaan neljännelle ja viidennelle valvontajaksolle ennen valvontajaksojen alkamista. Lähtötietoina käytetään seitsemän vuoden kuluttajahintaindeksillä korjattuja kyseisten vuosien operatiivisia kustannuksia sekä sähköverkkomaisuuden oikaistuja jälleenhankinta-arvoja. StoNED -menetelmällä estimoidun tehokkuusrintaman laskenta on esitetty kaavassa 24 [3, s. 75–82.]

$$\ln x = \ln IR(x, y) + \delta'z + u + v \quad (24)$$

jossa

x	<i>kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset</i>
IR	<i>panostarvefunktio, joka täyttää asetetut monotonisuus-, konveksisuus- ja skaalatuottoehdot</i>
x	<i>kiinteiden panosten vektori</i>
y	<i>tuotosvektori</i>
δ'	<i>heterogeenisuuden marginaalivaikutuksia kuvaava vektori</i>
z	<i>heterogeenisuutta kuvaavien tekijöiden vektori</i>
u	<i>tehottomuuden odotusarvo – estimoidaan ilman jakaumaoletuksia ei-parametrisen kernel dekonvoluutio -menetelmän avulla</i>
v	<i>satunnaisvirhe</i>

StoNED -menetelmä mittaa siis yrityksen tehokkuutta. Verkonhaltijan kohdalla analysoitavia asioita ovat verkko-omaisuuden osalta KJ-verkon kaapelointiaste sekä tuotoksien osalta verkonpituudet, asiakasmäärät sekä siirrettävä energia. Tehokkuusmittauksen tulokseen vaikuttavat myös keskeytyskustannukset sekä kontrolloitavat operatiiviset kustannukset. Tehostamiskannustimen vaikutus vähennetään toteutunutta oikaistua tulosta laskettaessa ja kannustimen vaikutus lasketaan vähentämällä toteutuneet tehostamiskustannukset saman vuoden vertailutasosta. Samoin kuin muillekin kannustimille myös tehostamiskannustimelle on asetettu raja-arvot. Toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa huomioitava tehostamiskannustimen vaikutus voi olla suurimmillaan 20 % verkonhaltijan kohtuullisesta tuotosta kyseisellä vuodella. [3, s. 90–91.]

5.3 Investointivaihtoehtojen vertailu

HSV:ssä on tavoitteena vertailla jokaista suunniteltavaa hanketta TCO-pohjaisen ajattelumallin avulla ja täten valita toteutettaviksi hankkeiksi sellaiset vaihtoehdot, jotka ovat taloudellisesti kannattavia ja täyttävät laitteistoille osoitetut tekniset ja taloudelliset vaatimukset. Riippuen investoinnin kohteesta ja tarkoituksesta pisteytysperusteet voivat olla hankekohtaisesti erilaiset. Esimerkiksi muuntamoautomaatioprojektin kohdalla, jossa käytön kustannukset luovat suuren osan kokonaiskustannuksista, elinkaarikustannukset olivat suuremmissa arvossa kuin laatupisteitys. Valittaessa toimittajaa muuntamoautomaatiolaitteistoille elinkaarikustannusten painoarvo oli 70 % ja laatupisteiden 30 %. [28.]

Laadun osalta muuntamoautomaatioprojektissa kilpailutetut hankkijat saivat pisteitä järjestelmän toiminnallisuudesta ja laajuudesta, huollon toteutuksesta koko laitteiston elinkaaren aikana, vikaindikoitien luotettavuudesta sekä projektin toteutuksesta. Vertailussa toimittajien tuotteiden laatupisteitä sekä elinkaarikustannuksia vertailtiin toisiinsa. Laitteistojen toiminnallisuutta vertailtaessa huomioitiin niiden kehitysmahdollisuudet elinkaaren aikana sekä se, miten laitteita on mahdollista päivittää käytön aikana. Huollon toteutuksen arvioinnin tärkeimpiä kohtia olivat se, miten ennaltaehkäisevä huolto järjestetään ja kuinka nopeasti odottamattomien vikojen tapauksissa ne korjataan. Vikaindikoitien luotettavuudesta saatuihin pisteisiin vaikutti se, miten toimittajan järjestelmä soveltui maasta erotetun verkon maasulkuindikoiteihin, sekä se, kuinka vikaindikoitit toi-

mivat maasulkuvirran kompensointilaitteistojen kanssa katkeileviin maasulkuihin. Projektin toteutuksesta saataviin pisteisiin vaikuttivat toimittajien toiminnasta aikaisemmissa projekteista, saadut kokemukset sekä se, oliko toimittajalla kokemusta vastaavista projekteista. [28.]

Elinkaarikustannuksia laskiessa selvitettiin kohteisiin asennettavien järjestelmien hinnat kohteittain. Kuvassa 7 näytetään kilpailijoiden tarjouksia Siemens 8DJ.10.10/20 -kojeiston osalta. Kohdetyyppejä olivat eri valmistajien keskijännitekojeistot, joihin muuntamoautomaatiolaitteistot asennettiin. HSV:n keskijänniteverkon yleisimmin käytetyt kojeistot ovat Siemensin sekä Merlin Gerinin (Schneider Electric) valmistamia, ja erilaiset laitteistokokoonpanot johtolähtöjen osalta vaikuttivat toimittajien tarjoamiin hintoihin. [28.]

1b Basic site, motor controllers are to be installed retrospect				
Ei moottoriohjaimia, johtolähtöjä 2	Ohjaus- ja mittaus		XXXX Ohjaus- ja mittaus	XXXX
Moottoriohjaimien määrä: 2	Moottoriohjaimet (2kpl)		XXXX Moottoriohjaimet (2kpl)	XXXX
Kojeisto: Siemens 8DJ10/20, jälkeen 2001	Yhteydet ja sensorit		XXXX Yhteydet ja sensorit	XXXX
Paketin hinta			XXXX	XXXX
Pakettien määrä	62		XXXX	XXXX

Kuva 7. Tarjousehdotuksien investointihintojen vertailua Siemens 8DJ10/20 KJ-kojeistojen kohdalta [28].

Investointikohteiden lopullinen kustannusvertailu tehdään kaikkien päätöksiin vaikuttavien yksityiskohtien huomioimisen jälkeen. Muuntamoautomaatioprojektin kohdalla tarjouskilpailun ensimmäisen vaiheen jälkeen, jossa laitteistojen toimittajien vastauksien yhdenmukaisuus tarjouspyynnön kanssa tarkistettiin. Toiseen vaiheeseen siirtyivät ne toimittajat, joiden tarjous täytti hankkeen reunaehdot. Toimittajien vastauksien perusteella laskettiin tarjouksille investointien kokonaisvertailuhinta laitteistojen nykykäyttöarvon mukaan. Kuvassa 7 on esitetty toimittajien hintatarjouksia yksittäisen kohteen osalta, kustannustiedot on poistettu liikesalaisuuksien takia. Lopullinen investointikustannus laskettiin laitteistojen elinkaarelle eli noin 15 vuodelle. Laskennassa otettiin huomioon myös laitteistojen energiankäyttö sekä koko elinkaarikustannus kyseiseltä ajalta. Laatupisteillä skaalattu kokonaisvertailuhinta laskettiin kaavalla 25, jossa laatupisteiden vaikutus oli 30 %, minkä perusteella tehtiin hankintapäätös ja sopimus Emtele Oy:n kanssa toteutettava hankkeesta. [28.]

$$TCO_{kokonais} = Elinkaarikust_{.15\text{ vuotta}} \times \left(1 - \frac{\frac{komp_x - 50}{komp_{max} - 50} \times 100}{100} \times 0,3\right) \quad (25)$$

jossa

$TCO_{kokonais}$ kokonaiselinkaarikustannuksien vertailuhinta

$Elinkaarikust_{.15\text{ vuotta}}$ 15 vuoden elinkaarikustannukset

$komp_x$ laatupisteet toimittajalle x

$komp_{max}$ laatupisteet toimittajalle, jonka pisteet olivat suurimmat

6 Trimble NIM benchmarkkaus

Tämän työn tavoitteena oli etsiä HSV:lle toiminallinen työkalu sähköverkon rakentamisen hankkeiden teknis-taloudelliseen vertailuun. Koska HSV:llä oli jo käytössä Trimble NIS -suunnitteluohjelmisto, oli luontevaa kokeilla ensimmäisenä vaihtoehtona saman ohjelmistovalmistajan tuotteita. Alkukeskusteluiden ja HSV:n tarpeiden selvittämisen jälkeen Trimble tarjosi ohjelmistoksi NIM-suunnitteluohjelmaa sekä siihen liittyvää NAM -ohjelmistoa, jotka toimivat yhdessä pääkäyttöisen suunnitteluohjelman NIS:in kanssa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää olisiko NIM -suunnitteluohjelmisto toiminnallinen HSV:n toimintaympäristössä sekä ovatko ohjelmalla saadut tulokset todennukaisia. Toiseksi päätavoitteeksi testauksen yhteydessä asetettiin ohjelmiston yksinkertaisuus, jotta työtaakka suunnittelijoiden näkökulmasta ei kasvaisi liikaa saatuihin hyötyihin nähden.

HSV:n näkökulmasta hankkeiden kustannusten ennustaminen olisi tärkeää jo esisuunnitteluvaiheessa. Tällä hetkellä tarvittavia työkaluja, joilla investointien maanrakennuskustannuksia sekä laitteisto- ja komponenttikustannuksia voisi mallintaa, ei ole ollut käytössä. Maanrakennuskustannuksien arvioiminen HSV:n suunnitteluprosessissa tehdään tällä hetkellä pelkästään arvioimalla tai laskemalla arvio yksinkertaisella Excel-taulukolla.

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena pilotoida Trimble NIS -suunnitteluohjelmistoon mahdollisesti lisättäviä ominaisuuksia ja niiden toiminnallisuuksia. Tavoitteena oli saada käsitys, soveltuuko Trimble NIM -sovellus HSV:n tarpeisiin. Pilotointiprosessin tässä vaiheessa tehtiin päätös projektin ohjausryhmän kanssa määrittää vain tarpeelliset komponentit koekäyttöä varten. Koska suurin osa hankkeen kustannuksista tulee maanrakennuskustannuksista, päätettiin pilotoinnissa keskittyä tarkemmin niiden määrittelemiseen ohjelmiston sisällä. Toisena tavoitteena oli saada esisuunnitteluun yksinkertaistettu työkalu, jolla voitaisiin laskea mahdollisten hankkeiden CAPEX-factor. Esisuunnittelijoille suunnatussa työkalussa käytettäisiin hyväksi jo tiedossa olevia keskimääräisiä kustannuksia KJ- ja PJ -kaapeloinnille.

6.1 Verkon arvon ja hinnastojen määrittäminen

Ohjelmisto määrittelee verkon arvon komponenttien määrätietojen sekä Energiaviraston valvontamallin yksikköhintojen perusteella. Ohjelmiston sisällä on mahdollista määrittää jokaiselle verkkokomponentille yksilökohtainen pitoaika, jota käytetään jatkossa verkon arvon laskennassa. Pitoajat vaikuttavat verkon JHA:han sekä NKA:han, joten niiden määrittäminen on tärkeää, jotta verkon arvon laskennassa saadaan jatkossa oikeita tuloksia. Jokaiselle Energiaviraston valvontamallin mukaiselle komponentille määritetään yksikköhinnat, joiden kautta niiden arvo lasketaan sähköverkon näkökulmasta. Jokaiselle yksittäiselle komponentille määritetään myös investointihinta, joka jaotellaan HSV:n näkökulmasta kahteen alalajiin: materiaalikustannuksiin, jotka sisältävät laitteistot sekä sähkötekniiset komponentit, sekä maanrakennuskustannuksiin. Tiettyjen komponenttien kohdalla määritetään myös poistohinta, joka lasketaan hankkeen kustannuksiksi siinä vaiheessa, kun ne poistetaan sähköverkosta. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi muuntajat, joissa sähköverkosta poistamisen yhteydessä tulee kustannuksia niiden hävittämisestä.

The screenshot shows a software interface with three main sections:

- Lajit (Types):** A table with columns 'Lajin numero', 'Lajin nimi', and 'Taulun...'. It lists three types:

Lajin numero	Lajin nimi	Taulun...
112	erillismuuntamo(m)	102
113	erillismuuntamo(m2)	102
1620	AXM AXMK 4X185	203
- Rakennustoimenpiteet (Construction measures):** A table with columns 'Toimenpidekoodi', 'Nimi', and 'Kuvaus'. It lists one measure:

Toimenpidekoodi	Nimi	Kuvaus
21262	Maakaapeli 185 mm2	
- Purkutoimenpiteet (Removal measures):** An empty table with columns 'Toimenpidekoodi', 'Nimi', and 'Kuvaus'.

Kuva 8. Ristiviittauksen tekeminen Energiaviraston yksikköhintaluettelon ja NIS -ohjelman komponentin välille.

Jokaiselle NIS -suunnitteluohjelmiston komponentille määritetään vähintään kaksi ristiviittausta CPP -ohjelmistossa (Construction Project Planning) eri hinnastoihin. Ensimmäinen viittauksista on HSV:n omaan rakennuttamishinnastoon, joka sisältää komponenttikohtaisia kustannuksia eri lajeille, kuten kaapeleille ja jakokaapeille. Toisessa, kuvan 8, ristiviittauksessa, komponenttiin liitetään sen Energiaviraston yksikköhintaluettelon mukainen arvo, kuten kuvassa 9 on esitetty, jonka kautta NIM laskee rakennettavan verkon jälleenhankinta-arvoa.

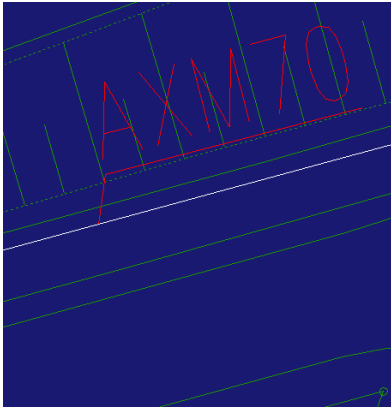
Toimenpidekoodi	21262	Toimenpideryhmän koodi	70
Nimi	Maakaapeli 185 mm ²	Toimenpideryhmä	0,4 kV Maakaapelit
Kuvaus		Toimenpiteen tyyppi	Investointi
Tunnit		Käytössä	Kyllä
Oma työ (h)	0.000	Yksikkö	m
Kone (h)	0.000	Pituus käytössä	<input checked="" type="checkbox"/>
Urakoitsija (h)	0.000	Lajittelujärjestys	70062
Kustannukset		Pitoaika (a)	45
Oman työn kustannus	0.00		
Konekustannukset	0.00		
Urakointikulut	0.00		
Materiaalikustannus	18.10		
Muut kulut	0.00		
Kokonaiskulut	18.10		
Määrän korjaus			

OK Peruuta Ohje

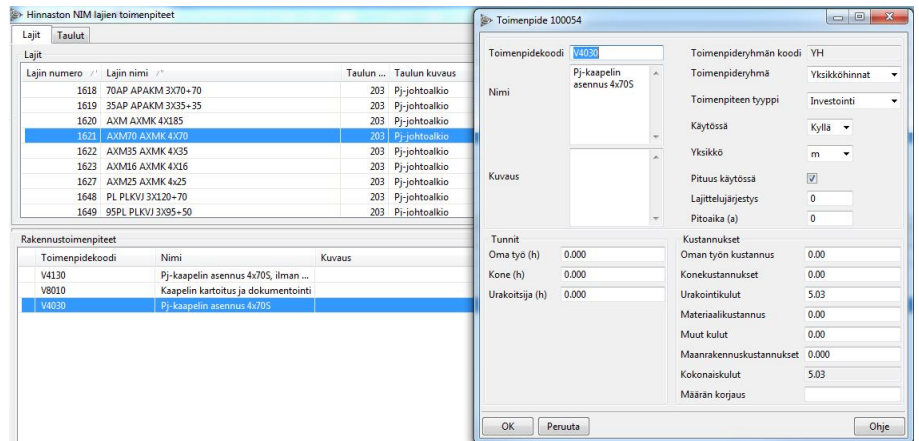
Kuva 9. 185 mm² -kaapelin yksikköhintaluettelon mukainen arvo toimenpiteellä

6.2 Energiaviraston sekä urakoitsijoiden hinnastojen käyttö NIM-ohjelmistossa

Trimble NIM -ohjelmiston kaikkien ominaisuuksien käyttö vaatii toimiakseen myös toisen Trimblen ohjelman, CPP cost editor:in, jonne syötetään komponenttikohtaiset hinnastot sekä tehdään tarvittavat ristiviittaukset eri toimintojen välille. NIS -suunnitteluohjelmistossa piirretyn AXMK 4X70 -kaapelin, esitetty kuvassa 10, kohdalla tarvittavat toimenpiteet uutta verkkoa rakennettaessa ovat samat kuin tosielämässä. Rakennustoimenpiteet ovat kaapelin asennus, kartoitus, dokumentointi sekä sijaintitietojen merkintä sijaintikarttaan kuten kuvassa 11 on esitetty.



Kuva 10. Kaapeli NIS –suunniteluohjelmassa.



Kuva 11. AXMK 4X70 -kaapeliin liitetyt toimenpiteet.

Jokaiselle erilliselle komponentille NIS -suunnitteluohjelmiston sisällä on erikseen määriteltävä, mistä toimenpiteistä kyseinen komponentti koostuu. Rakentamistoimenpiteet koostuvat erilaisista yksittäisistä töistä ja niiden kombinaatioista. Yksittäisen työn hinta selvitetään HSV:n ja urakoitsijoiden välisten sopimuksien mukaisista hinnoista ja syötetään CPP:hen. Esimerkki yksittäisen toimenpiteen kustannuksesta on esitetty kuvassa 11, jossa PJ -kaapelin urakointikuluksi on esimerkin vuoksi asetettu arvo 5,03.

Pilotoinnin tässä vaiheessa ristiviittaukset sekä hinnastot luotiin vain tarvittaville ja yleisimmin käytettäville komponenteille, jotta ohjelmiston soveltuvuudesta suunnittelun työkaluna saataisiin keskitetysti tietoa ja käyttökokemusta. Jos ohjelmisto todetaan pilotoinnin loputtua käytännölliseksi ja tarvittavaksi, hinnastot sekä ristiviittaukset tehdään kaikkien sähköverkossa olevien komponenttien kohdalle kyseisen vuoden urakointisopimusten mukaisesti.

6.3 Maanrakennuskustannusten määrittely NIM:ssä

Maanrakennuskustannuksien osuus HSV:n toiminta-alueen hankkeissa on erittäin suuri ja suurimmat yksittäiset kustannuserät aiheuttavat erilaiset päällysteet. HSV:n jakeluverkon rakenne ja kaupungin määräykset ohjaavat kaapeloinnin alueille, jotka on päällystetty asfaltilla. Tällöin maanrakennuskustannusten arviointi hankkeissa, joissa tehdään pitkiä kaapelinvetoja asfaltoiduilla alueilla, on tärkeää kustannusten laskuvaiheessa. Laskettaessa hankkeiden kannattavuutta esisuunnitteluvaiheessa, vertaillaan hankkeen kustannuksia valvontamallin kautta johdettuun verkon arvon kasvuun.

NIM-pilotissa tarkoituksena maanrakennuskustannusten kohdalta on saada raaka arvio hankkeen kuluista. Arvion idea on olla suuntaa-antava kokonaishinta hankkeen kanava-kaivuusta, putkituksesta ja asfaltoinnista. Arvioiden pohjalta on mahdollista vertailla erilaisia toteutusvaihtoehtoja, niiden vaikutuksia verkon arvoon sekä vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia. Koska tarkoituksena on luoda suuntaa-antava arvio maanrakennuskustannuksista yleisimmissä tapauksissa, on mahdollista tehdä tiettyjä yksinkertaistuksia ohjelman sisäisissä laskentaparametreissa.

Suunnitelmia tehdessä NIS-ohjelmistolla, riippuen suunnitelman alueesta, kaapelioja piirretään, joko tavallista, vaikeaa tai erittäin vaikeaa olosuhdeluokkaa käyttäen. Olosuhdeluokat tulevat CLC-aineiston pohjalta (kappale 3.4). Esimerkiksi suunnitelmassa, joka olisi Helsingin keskusta-alueella, kaapelioja piirrettäisiin ”kaapelioja – erittäin vaikea” -työkalua käyttäen. Seuraavaksi määritetään kaapelioja-alkion vapaat attribuutit vastaamaan suunnitelmassa tarvittavia tietoja. Alasvetovalikoista valitaan kuinka monta kaapelikourua ojaan tulee sekä minkä kokoista putkea on tarkoituksena käyttää. HSV:ssä yleisimmin käytettävät putket ovat 110 mm² PJ-kaapeleille sekä 140 mm² KJ-kaapeleille. Lopuksi valitaan, tehdäänkö kaivu routakaivuna, joka on vaikeampaa ja kalliimpaa, ja minkälainen päällyste tarvitaan kaivuun sekä kaapeloinnin valmistuttua valmiin tien pintaan.

Kun tarvittavat tiedot on määritelty kaapeliojan parametreihin, NIM -ohjelmisto laskee maanrakennuskustannukset kaapelioja-alkioiden pituuksien sekä CPP:hen määritettyjen toimipiteiden yhdistelmien mukaan (kuva 12).

Jotta kaapeliojien maanrakennuskustannusten laskenta olisi tarpeeksi tarkkaa, laskeaan kustannukset erikseen erilaisille päällysteille sekä kaapelikourujen lukumäärille. Tällöin kustannuksia voidaan vertailla tarpeellisella tarkkuudella hankkeen suunnittelun yhteydessä. Päällystevaihtoehdot on jaoteltu päätien asfaltointiin, asuntokadun ajoradan asfaltointiin, jalkakäytävän tai kevyen liikenteen väylän asfaltointiin sekä tilanteisiin, joissa ei ole päällysteitä. Edellä mainituilla vaihtoehdoilla voidaan kattaa yleisimmät tilanteet, jotka tulevat vastaan hankkeita suunnitellessa. Putkien lukumäärä määritellään kaapeliojaa suunnitellessa, vaikkakin putkien vaikutus maanrakennuskustannuksiin ei ole läheskään yhtä suuri kuin päällysteiden, on niilläkin suuri vaikutus hankkeen kokonaiskustannuksiin suurilla etäisyyksillä.

6.4 Ohjelman käyttäminen

Tässä kappaleessa tutustutaan Trimble NIM -ohjelmiston käyttämiseen HSV:n suunnitteluympäristössä sekä sen mahdollisiin hyötyihin suunnitteluprosessin kehittämisessä. Ohjelmiston ollessa pilotti-vaiheessa ei sen kaikkia toiminnallisuuksia ole käytössä.

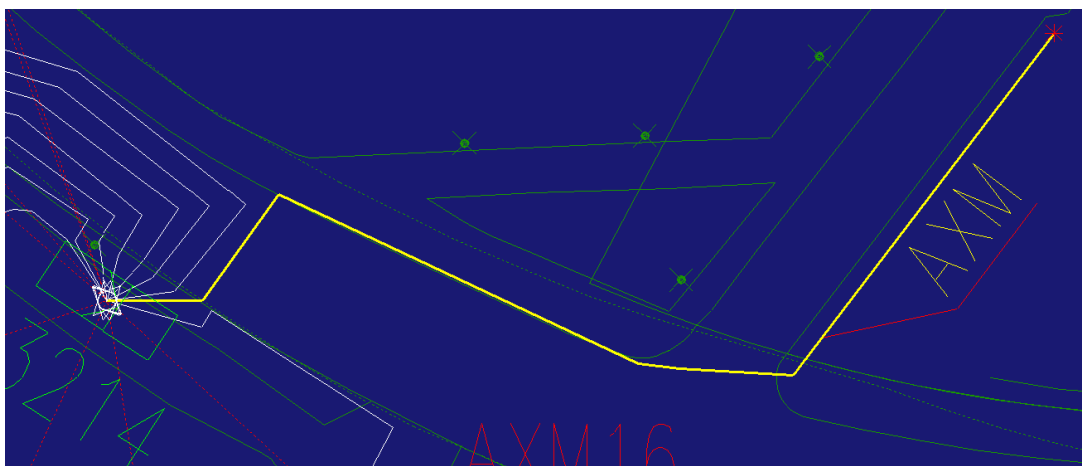
6.4.1 Projektin luonti

Ohjelmiston käyttäminen aloitetaan projektin luomisella, joka on esitetty kuvassa 12. Projekti nimetään ja sille asetetaan kesto, jonka avulla projektin tunnuslukuja voidaan tarkastella usean vuoden ajalta, tai yksittäinen projekti voidaan jakaa useaan toteutusajankohtaan eri vuosille. Esimerkiksi HSV:n jakeluverkon Itäisen osan PJ-kaapeloinnin osalta uusiminen voidaan ajastaa neljälle vuodelle. Jonka aikana projektin sisälle tehdyt suunnitelmat hankkeista vaikuttavat tunnuslukuihin koko projektin sisällä.

Kuva 12. Projektin luonti.

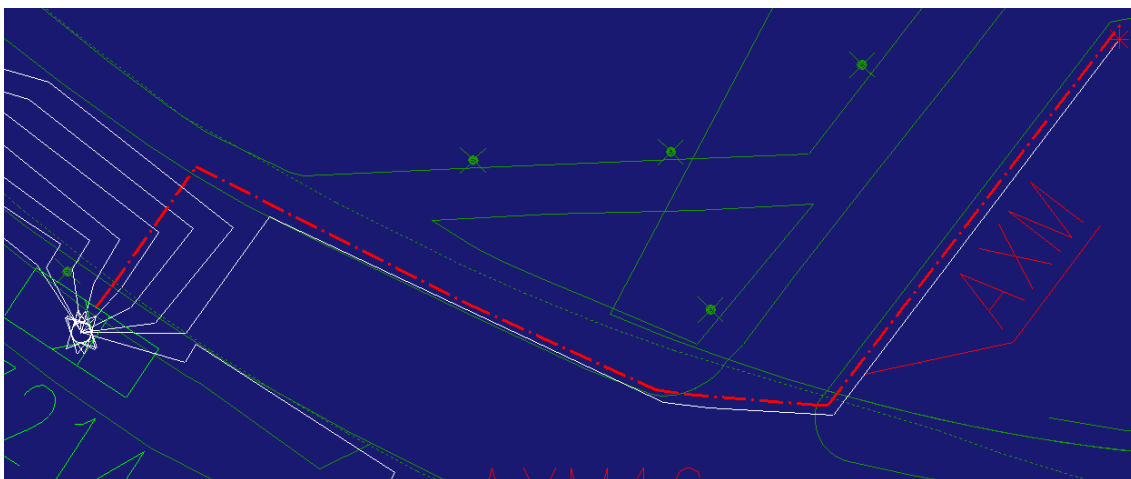
6.4.2 Hankkeen suunnitelman tekeminen

Hankkeen suunnittelu aloitetaan NIS-ohjelmistossa. Esimerkkihankkeena käytetään seuraavissa luvuissa kaapelin lisäystä jakokaapilta liittymispisteelle. Suunnittelija piirtää ensin haluamallaan kaapelilla jakokaapilta liittymispisteelle janan, kuten kuvassa 13, joka seuraa kaapelin tulevaa reittiä maastossa. Valittavan kaapelin poikkipinnan kokoon vaikuttavat kulutuspisteen sähkönkulutus sekä oikosulkuvirran- että jännitteenaleneman arvot. Reitti valitaan siten, että matka liittymispisteeseen olisi mahdollisimman lyhyt, erityisen vaikeat kohdat kuitenkin kierretään mahdollisuuksien mukaisesti



Kuva 13. AXM-kaapeli NIS -ohjelmistossa.

Seuraavaksi suunnittelija piirtää kaapeliojan NIS -ohjelmiston työkalulla. Esimerkkita-
paus sijaitsee keskustan alueella, jolloin työkaluksi valitaan ”kaapelioja – erittäin vaikea”.
Oikean työkalun valitseminen on tärkeää Energiaviraston maakaapeliojien yksikköhinto-
jen takia ja tällöin NIM -tarkastelussa ohjelmisto huomioi kaapeliojan arvon oikein las-
kennassa. Kaapelioja piirretään samalle reitille kaapelialkion kanssa, mutta erona kaa-
peli-alkioon tulee käsiteltävänä olevassa tapauksessa jakokaapin edusta. Jotta verkko-
kartta olisi helposti luettavissa, on jakokaappien ja muuntamoiden kohdalla tarpeellista
erottaa kaapeli-alkiot toisistaan. Kaapelioja piirretään kuitenkin sen oikeaa reittiä pitkin,
kuten kuvassa 14 on esitetty, jotta maanrakennuskustannukset mallinnettaisiin mahdol-
lisimman tarkasti.



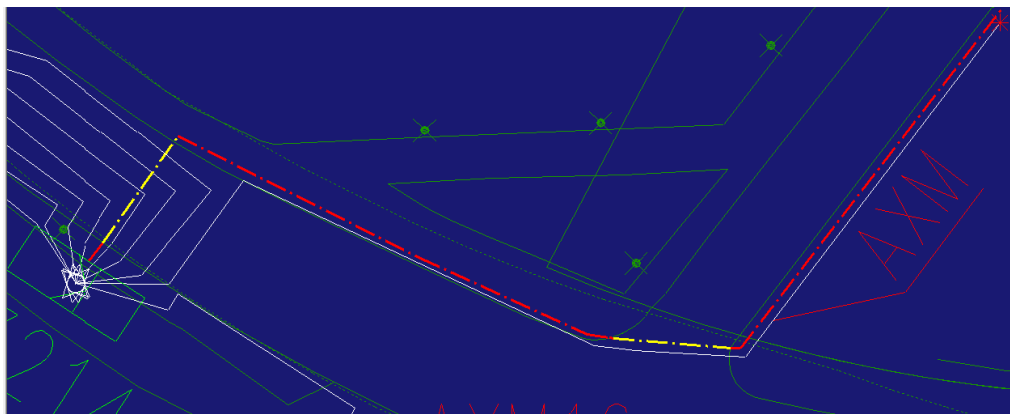
Kuva 14. Kaapeliojan oikea reitti.

Kuvattavassa tapauksessa kaapelioja kaivettaisiin kahdenlaisesti päällystetylle alueelle. Suurin osa kaapeliojasta kulkisi jalkakäytävällä, mutta kahdessa kohdassa oja kulkisi päätiellä. Koska kyseessä olevassa tapauksessa kaivu tehtäisiin sulana aikana, kaapeliojan vapaisiin attribuutteihin merkitään routakaivuun kohdalle ”ei” mikä näkyy kuvasta 15. Samoin koko kaapeliojan matkalla käytetään vain yhtä putkea, jolloin kaapelikourujen lukumääräksi valittaisiin 1–2 ja putken kooksi 110.

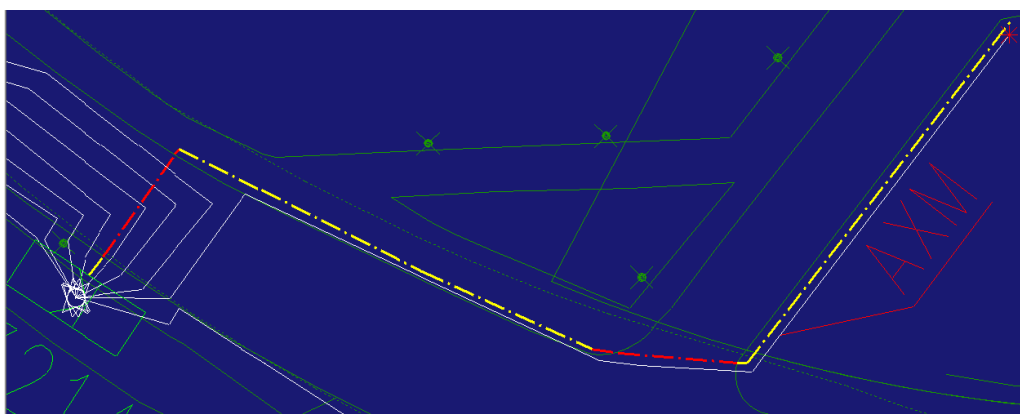
Yleistiedot	Vapaat attribuutit +	Vapaat attribuutit -lista	Liitteet	Huomautus	Kunnossapitotiedot	Mittauserä
TS johtoreitti						
Kourujen_lukumäärä	1-2		Päällyste	Ei määritetty		
Routakaivu	Ei		Putki	110		
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Hyväksy"/> <input type="button" value="Peruuta"/>						<input type="button" value="Ohje"/>

Kuva 15. Kaapeliojan vapaat attribuutit.

Seuraavaksi suunnittelija valitsee kaapeliojan eri alkiolle niille sopivat vapaat attribuutit päällysteen osalta, alkiot ja niiden sijainnit on esitetty kuvissa 16 ja 17. Sijainnista riippuen alkiolle valitaan vapaaksi attribuutiksi oikeanlainen päällyste, joka vaikuttaa lopullisessa tarkastelussa hankkeen kokonaiskustannuksiin.

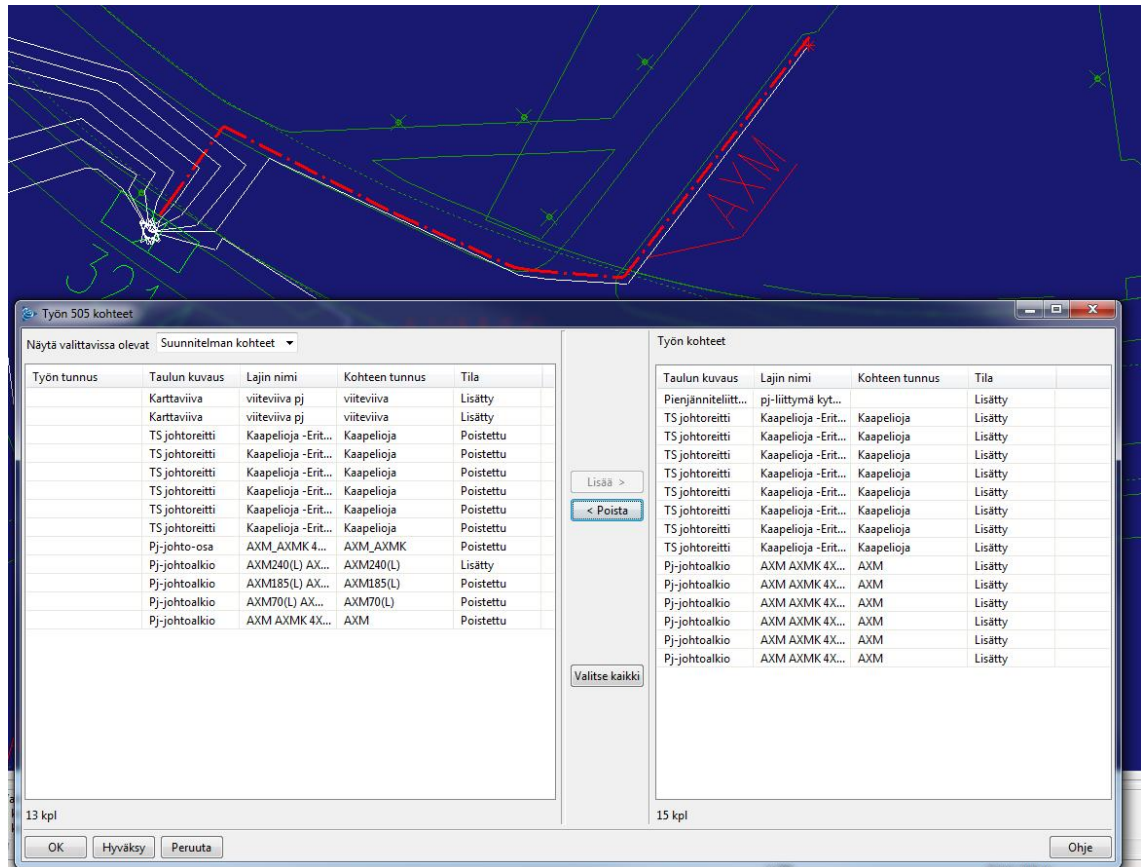


Kuva 16. Kaapelioja päätien kohdalla.



Kuva 17. Kaapelioja jalkakäytävän / kevyen liikenteen väylän kohdalla.

Hankkeen kustannusten laskentaa varten työhön valitaan siihen kuuluvat elementit, joiden perusteella ohjelmisto laskee rakennuskustannukset hankkeelle. Komponentteja voi poistaa tai lisätä työhön myös käsin, kuten kuvassa 18 on näytetty, jolloin tarpeettomat komponentit, kuten työn aikana jakokaapin edustalta siirretyt kaapeliaalkiot, voidaan jättää huomioimatta laskennassa.



Kuva 18. Työhön kuuluvien komponenttien valinta.

Hankkeen kustannuksia laskettaessa NIM antaa kaksi vaihtoehtoa, kuten kuvassa 19 on esitetty: laskea kustannukset joko suunnitelmasta tai työltä. Suunnitelma voi sisältää useita erillisiä töitä, joiden kohdalta voidaan laskea kustannukset erikseen. Tunnusluvut koko projektista lasketaan kaikista siihen kuuluvista suunnitelmista ja töistä.

Kuva 19. Rakentamiskustannuksien laskentavaihtoehdot.

Laskentatulokset on mahdollista esittää usealla erilaisella tavalla, lajeittain kutein kuvassa 20, tai kohteittain, ja on myös mahdollista eritellä kustannukset jokaiselle erilaiselle toimenpiteelle. Laskentatulokset kertovat myös, kuinka paljon mitäkin laatua hankkeeseen kuuluu. Koska HSV:n rakennuttamiskustannukset ovat salaisia, niiden todellisia arvoja ei esitetä tässä työssä.

Nimi	Kokonaiskulut
Laji: 142 pj-liittymä kytketty	0
Laji: 198 TYÖPISTE	143
Laji: 1620 AXM AXMK 4X185	2528
Laji: 15073 Kaapelioja -Erittäin vai...	10421
Työ yhteensä: 505	13092

Kuva 20. NIM-laskentatulokset, hankkeessa satunnaiset arvot komponenteille.

Projektin tai suunnitelman tunnusluvut, jotka esitetään kuvassa 21, kertovat useita tarpeellisia tietoja hankkeista. Investointien kulurakenteen näkee nopeasti NIM:stä, ja sieltä näkyy myös se, kuinka suuren vaikutuksen hanke tekee verkon arvoon. Vertaamalla investointikustannuksia jälleenhankinta-arvoon voidaan CAPEX-factorilla (kappale 5.1.1.) saada nopeasti käsitys hankkeen taloudellisesta kannattavuudesta tai sen puutteesta. Jos hankkeen havaitaan olevan kannattamaton, sen suunnittelu voidaan aloittaa uudelleen.

PJ-nim - Suunnitelma

Suunnitelma Oikeudet Taustatiedot Osapuolet Tunnusluvut + Vapaat attribuutit -lista Liitteet

Näytä Tunnuslukujen arvot

Tunnuslukuvuosi 2015

Toteutusvuosi 2015 Seuraavan vuoden osuus (%) 0 Jaa vuosille

Tyyppi	Nimi	Vuosi	Yksikkö	Näytettävä ...
Ennakoitu	Investointien tehokkuus			0.000
Ennakoitu	NKA muutos tehokkuus			0.000
Ennakoitu	Materiaalikustannus		k€	27.4
Ennakoitu	Urakointikustannus		k€	3.8
Ennakoitu	Maanrakennuskustannus		k€	31.6
Ennakoitu	Rakennuskustannus		k€	62.9
Ennakoitu	Maanrakennuskustannusten osuus		%	50.3
* Ennakoitu	Jälleenhankinta-arvo (JHA), uusi		k€	3.5
Ennakoitu	Jälleenhankinta-arvo (JHA), purku		k€	
* Ennakoitu	Jälleenhankinta-arvo (JHA), muutos		k€	3.5

Kuva 21. Suunnitelman tunnuslukuja.

6.4.3 Tilastollinen vertailu NIM/RKJ

Vertailtaessa hintoja NIM-laskennan ja HSV:ssä käytössä olevan rakennuttamisjärjestelmä RKJ:n välillä [29], otettiin tarkasteluun mahdollisimman yksinkertaisia ja laajoja tilanteita. Tarkastelu tehtiin neljän yleisimmän päällystevaihtoehdon kesken laskien maanrakennuskustannukset ja niiden erotukset RKJ:ssä laskettuihin tarkkoihin maanrakennuskustannuksiin [30] yhden kilometrin matkalta. Tarkastelussa käytetyn kilometrin matkalla maanrakennuskustannukset olivat kalleimmalla vaihtoehdolla lähes 13 -kertaiset halvimpaan nähden.

Taulukko 9. Maanrakennuskustannusten laskentatapojen vertailu.

Putkien lukumäärä	Päätie ajorata	Jalkakäytävä / kevyen liikenteen väylä	Asuntokadun ajorata	Ei päällystettä
1	1,6 %	8,6 %	3,1 %	18,4 %
2	0,1 %	0,5 %	0,2 %	-1,9 %
3	2,7 %	9,5 %	3,9 %	14,9 %
4	0,8 %	1,8 %	0,7 %	-3,3 %
5	2,8 %	8,8 %	3,9 %	10,2 %
6	0,9 %	2,2 %	1,0 %	-4,0 %
Keskiarvo	1,5 %	5,2 %	2,1 %	5,7 %
Keskiarvo yht.	3,6 %			

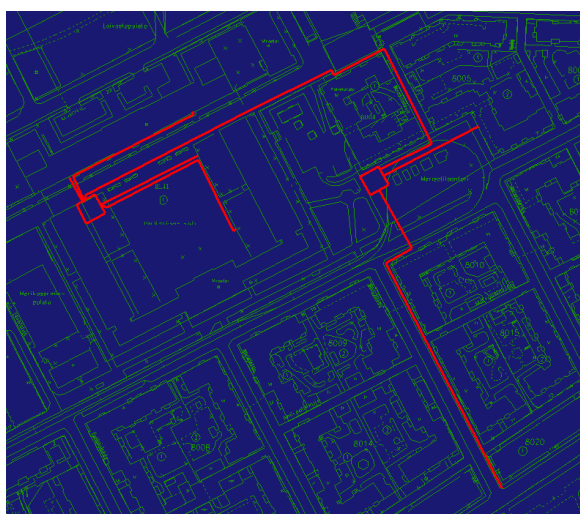
Taulukossa 9 olevat arvot kuvastavat eroa NIM-ohjelmistolla ja RKJ:llä laskettuihin maanrakennuskustannuksiin laskettuna kaavalla 26. NIM -laskenta perustuu CPP:hen määritellyistä komponenteista ja niiden kombinaatioista. Laskenta on tehty NIM:ssä kahden johtokourun välein ja RKJ:ssä jokaisen kourumäärän kohdalla erikseen. Tilanteissa, joissa kaivuisiin ei sisälly päällysteitä tai päällysteet ovat merkittävästi halvempia, ovat erot suurempia, mikä oli odotettua NIM -laskennassa tehtyjen yksinkertaistusten takia. Tietojärjestelmäpohjaisesti lasketut maanrakennuskustannukset ovat pilotoinnin tässä vaiheessa tarpeeksi tarkkoja, jotta niillä on mahdollista tehdä maanrakennuksen kustannusarvioita hankkeissa sekä esisuunnittelussa ja siirtyä pilotoinnin seuraavaan vaiheeseen.

$$\text{vertailu \%} = \left(1 - \frac{\text{Maanrakennuskustannukset}_{RKJ}}{\text{Maanrakennuskustannukset}_{NIM}}\right) * 100 \% \quad (26)$$

6.4.4 NIM esisuunnittelun työkaluna

Yksi HSV:n tavoitteista NIM:n suhteen on sen käyttäminen esisuunnittelun työkaluna. Tätä tarkoitusta varten CPP:hen tehtiin uusi hinnasto, jota käytettäisiin esisuunnittelun karkeimmassa muodossa. Hinnastossa käytettiin arvoja, jotka on laskettu HSV:n vuosikustannusten ja kappalemäärien kautta. Tällä tavalla saadaan erittäin yksinkertaistettu hinta-arvaus esimerkiksi muuntamosta tai PJ-kaapelin kilometrihinnasta. Hintoihin sisältyvät muuntamoiden osalta kaikki sähkötekniset sekä muut investointikulut, KJ- ja PJ -kaapeleiden hintaan sisältyvät jonovarokeytkimet, maanrakennuskustannukset sekä jakokaapit. Hinnastoa käytetään jo tällä hetkellä HSV:n esisuunnittelussa, mutta tällä hetkellä suunniteltavan kohteen kustannukset sekä mahdolliset vaikutukset verkon arvoon lasketaan käsin. Tietomallipohjainen tarkastelu tekee esisuunnitelmien tekemisen tarkempaa sekä helpottaa vaihtoehtosuunnitelmien tarkastelua suurista kohteista.

Hinnaston luomisen jälkeen CPP:ssä tehtiin ristiviittaukset NIS:ssä oleviin komponentteihin. Tällä hetkellä NIS:ssä ei ole omia komponenttejaan esisuunnittelua varten, joten ristiviittaukset tehtiin yhteen satunnaiseen muuntamotyyppiin, PJ -kaapeliin sekä KJ -kaapeliin, jotta työkalun toiminnallisuutta pystyttiin kokeilemaan suunnitteluohjelmiston sisällä, esimerkki suunnitelmasta on esitetty kuvassa 22. Jatkossa NIS:iin lisätään yksilöidyt komponentit esisuunnittelua varten. NIM-ohjelmisto mahdollisti esisuunnittelussa helpon vertailun investointikustannusten ja jälleenhankinta-arvon välillä. Tarkkuutta pystytään tulevaisuudessa parantamaan hinnaston yksityiskohtia tarkentamalla sekä lisäämällä esisuunnitteluun yksityiskohtaisempia komponentteja, kuten muuntamoita, joissa on kaksi keskijännitekojeistoa.



Kuva 22. Esisuunnitelman teko NIS-ohjelmistolla.

6.4.5 Tunnuslukujen vertailu

NIM-ohjelmisto mahdollistaa sähköverkon rakentamisen tunnuslukujen nopean vertailun. Suunnittelija saa suunnitelman tunnusluvut -välilehdeltä nopeasti ohjelmiston laskeman selvityksen hankkeen kannattavuudesta sekä erottelun kustannuksien jakautumisesta. Kuvassa 23 on esitetty tarkemmin hankkeen kulujen jakautumista sekä hankkeesta saatavia hyötyjä valvontamallin näkökulmasta. Investointien tehokkuus lasketaan samalla tavalla kuin CAPEX -factor, eli jälleenhankinta-arvo suhteessa investointikustannuksiin, NKA:n muutostehokkuuden laskentaan sovelletaan samaa toimintatapaa. Tällä hetkellä ohjelmiston parametrisoinnissa ei ole otettu huomioon maanrakennuskustannuksia hankkeen tehokkuuksien laskennassa mutta se tullaan korjaamaan ennen ohjelmiston käyttöönottoa tuotannossa.

Suunnitelma	Oikeudet	Taustatiedot	Osapuolet	Tunnusluvut +	Vapaat attribuutit -lista	Liitteet
	Tyyppi	Nimi	Vuosi	Yksikkö	Näytettävä ...	
*	Ennakoitu	Investointien tehokkuus			10.377	
*	Ennakoitu	NKA muutos tehokkuus			9.767	
*	Ennakoitu	Materiaalikustannus		k€	2.8	
*	Ennakoitu	Urakointikustannus		k€	1.9	
*	Ennakoitu	Maanrakennuskustannus		k€	2.2	
*	Ennakoitu	Rakennuskustannus		k€	6.8	
*	Ennakoitu	Maanrakennuskustannusten osuus		%	32.1	
*	Ennakoitu	Jälleenhankinta-arvo (JHA), uusi		k€	48.0	
*	Ennakoitu	Jälleenhankinta-arvo (JHA), purku		k€	8.0	
*	Ennakoitu	Jälleenhankinta-arvo (JHA), muutos		k€	40.0	
*	Ennakoitu	Nykykäyttöarvo (NKA), uusi		k€	48.0	
*	Ennakoitu	Nykykäyttöarvo (NKA), purku		k€	2.8	
*	Ennakoitu	Nykykäyttöarvo (NKA), muutos		k€	45.2	
*	Ennakoitu	Rakennettava kj-verkko		km	0.0	
*	Ennakoitu	Purettava kj-verkko		km	0.0	
*	Ennakoitu	Rakennettava pj-verkko		km	0.2	
*	Ennakoitu	Purettava pj-verkko		km	0.2	
*	Ennakoitu	Rakennettavat muuntamot		kpl	0	
*	Ennakoitu	Purettavat muuntamot		kpl	0	

Kuva 23. Suunnitelman tunnuslukujen vertailua.

Tunnusluvut kertovat myöskin purettavan ja rakennettavan KJ- ja PJ -verkon sekä muuntamoiden lukumäärät. Ohjelmistoon on mahdollista lisätä tulevaisuudessa toiminnallisuus jolla voidaan hankkeiden valmistumisen jälkeen verrata suunniteltuja tunnuslukuja toteutuneisiin tuloksiin. Tämä toiminnallisuus vaatisi NIM -ohjelmiston sekä HSV:ssä käytössä olevan toiminnanohjausjärjestelmän RKJ:n linkitystä toisiinsa, jotta ohjelmistojen tiedonsiirto onnistuisi. Tällä hetkellä linkityksen toteuttaminen ei ole kannattavaa sen monimutkaisuuden vuoksi. Jos NIM -laskenta otetaan tulevaisuudessa käyttöön kaikkien suunniteltavien kohteiden kohdalla, voi ohjelmistojen linkitys olla kannattavaa suunnitelmien kustannusarvioiden ja -toteutumien tarkkaan seurantaan.

7 Johtopäätökset

Tässä insinööriyössä pilotoitiin Trimble NIM -suunnitteluohjelmistoa sekä selvitettiin soveltuuko se investointien kannattavuuden tietomallipohjaiseen tarkasteluun Helen Sähköverkko Oy:ssä. Koska HSV:llä oli jo käytössä Trimble NIS -suunnitteluohjelmisto, oli luontevaa selvittää saman palveluntarjoajan tarjoamia vaihtoehtoja sähköverkon arvon määrittämiseen. Työ aloitettiin selvittämällä ensin HSV:n tarpeet ohjelmiston osalta, minkä jälkeen Trimblen asiantuntijoilta pyydettiin mahdollisia ratkaisuja tilaajan tarpeisiin.

Trimble tarjosi ratkaisuksi NIM -ohjelmistoa, jolla pystytään selvittämään investointien vaikutusta sähköverkon arvoon. Aloituskokouksessa toimittajan asiantuntijat esittelivät ohjelmistoa ja sen toimintaa sekä siitä mahdollisia saatavia hyötyjä HSV:lle, jonka jälkeen päätettiin aloittaa ohjelmiston pilotointi. Koekäytön alussa huomattiin maanrakennuskustannusten olevan suurin kuluerä hankkeissa ja todettiin niiden arvioiminen vaikeaksi, joten pilotin päätavoitteeksi asetettiin maanrakennuskustannusten mahdollisimman tarkka mallinnus. Pilotin aikana todettiin, että kaikki aloituskokouksessa Trimblen esitellemät ominaisuudet eivät olleetkaan NIM -ohjelmistossa, sähköverkon arvon mallintamiseksi vuosiksi eteenpäin tarvittaisiin toinen NAM -niminen ohjelmisto, jonka pilotointi tarvitsisi oman projektinsa sen laajuuden takia.

Ohjelmiston käytön haluttiin olevan mahdollisimman yksinkertaista, joten kaapeliojien suhteen tehtiin joitain yksinkertaistuksia. Tavoitteena oli saada kokemusta NIM:stä ja vertailla NIM -laskennan tuloksia RKJ:n tuloksiin, saavutettiin maanrakennuskustannusten oikeellisuuden osalta pilotoinnin ensimmäisessä vaiheessa tarpeeksi hyvä tarkkuus.

Maanrakennuskustannuksien tuloksien tarkkuutta on mahdollista kasvattaa tulevaisuudessa lisäämällä kaapeliojien vapaiden attribuuttien ominaisuuksia. Tällöin olisi mahdollista arvioida maanrakennuskustannuksia hyvinkin tarkasti erilaisissa tilanteissa, mutta työmäärä hinnastojen ylläpitämiseksi kasvaisi merkittävästi.

Tuloksien perusteella Helen Sähköverkko Oy:ssä voidaan jatkaa NIM -ohjelmiston pilotoinnin toiseen vaiheeseen, jossa hinnaston laajuutta ja tarkkuutta kasvatetaan sekä ohjelmiston toimintaa kokeillaan sähköverkon esisuunnittelussa. Maanrakennuskustannusten tietomallipohjaisella arvioinnilla hankkeiden kustannusarviot tarkentuvat erityisesti suurissa hankkeissa ja yhtiötasolla budjetoinnin tarkkuus kasvaa.

Lopuksi haluaisin kiittää Helen Sähköverkko Oy:tä mahdollisuudesta tehdä insinööryötä mielenkiintoisesta aiheesta sekä työn antamasta kokemuksesta sähköverkkoliiketoiminnasta. Erityiset kiitokset haluan antaa työni ohjaajalle Aki Hämäläiselle sekä Mikko Oravaaarelle, jotka jaksoivat auttaa sekä ohjata työni edistymistä.

Lähteet

- 1 Helen Sähköverkko Oy:n yritysesitys. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 2 Sähkön käyttö Helsingissä 2014. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 3 Luonnos valvontamenetelmät neljännelle 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennelle 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolle. 2015. Energiavirasto. julkaistu 2.10.2015. < https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_luonnos.pdf/321fee5c-f449-4bc5-bae7-d1fc70b69da9> Luettu 10.9.2015
- 4 Sähkönsiirtäjät keräävät ylituottoja - sakot uhkaavat. 2014. verkkodokumentti. . Taloussanomien. < <http://www.talouselama.fi/uutiset/sahkonsiirtajat-keräävät-ylituottoja-sakot-uhkaavat-3462582>> Luettu 30.11.2015.
- 5 Suuntaviivojen tilannekatsaus, Sähköverkkotoiminnan ja maakaasuverkkotoiminnan valvontamenetelmät 2016-2023. 2015. Energiavirasto. Verkkodokumentti. <http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Suuntaviivojen+2016-2023+tilannekatsaus+07012015.pdf/a0b821e5-c254-4d65-b919-adff31bd4f27>> Luettu 22.09.2015
- 6 Sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat 2015. 2014. Energiavirasto. verkkodokumentti < <https://www.energiavirasto.fi/sahkonjakeluverkon-komponenttien-yksikkohinnat-2015>> Luettu 25.09.2015.
- 7 Maakaapeloinnin kaivuolosuhteiden määrittäminen ja verkkokomponenttien keski-ikätiöiden käyttö verkkoarvon määrittämisessä. 2010. Energiavirasto. Muistio. < https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Maakaapeli_ja_keski-ikätiöiden_käyttö_verkkoarvon_määrittämisessä.pdf/94003143-183a-48f8-8b93-b408e2d3ff44> Luettu 8.10.2015
- 8 Perustelumistio nro 1 (versio 3) / 2011 asiakirjalle: Sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamenetelmien suuntaviivat vuosille 2012 – 2015. 2011. Energiavirasto. Muistio. < [https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_10_EMV_Perustelumistio_1_\(versio_3\)-2011.pdf/f7e18a7e-a797-4451-b127-2d400dc24b7e](https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_10_EMV_Perustelumistio_1_(versio_3)-2011.pdf/f7e18a7e-a797-4451-b127-2d400dc24b7e)> Luettu 30.09.2015
- 9 Suomen ympäristökeskus. 2014. Verkkodokumentti <<http://www.syke.fi/maanpeite-seuranta>>. Luettu 30.10.2015.
- 10 Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti maakaapeleiden sijainnista. Ei julkaistu.

- 11 Energiavirasto, Kohtuullisen tuottoasteen määrittäminen sähkö- ja maakaasuverkotoimintaan sitoutuneelle pääomalle. 2014. Ernst & Young. Loppuraportti <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/EY_kohtuullinen_tuotto_WACC_loppuraportti.pdf/65533364-df15-4c0c-96ae-ad3d8a4268eb> . Luettu 1.10.2015
- 12 Kallunki, Juha-Pekka KTT. 2011. Lausunto energiamarkkinaviraston käyttämästä sähköverkkotoiminnan valvontamallista. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_22_Kallunki_Valvontamalli_2011.pdf/b23157e6-356d-4140-bba0-253562bfc4c7> Luettu 10.10.2015
- 13 Helen Sähköverkko Oy. Sisäisen dokumentti, ei julkaistu.
- 14 Investopedia. Verkkodokumentti. <<http://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp?layout=orig>>. Luettu 11.10.2015
- 15 Sähköverkko komponenttien yksikköhintojen määrittäminen. 2010. Empower Oy. Raportti. Julkaistu 17.11.2010. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_9_Empower_Yksikkohinnat_2010+%282%29.pdf/4844805e-7bd2-460b-8e96-9dcc11186262> Luettu 15.10.2015
- 16 Investopedia. Verkkodokumentti. <http://www.investopedia.com/terms/o/operating_expense.asp?layout=orig> Luettu 11.10.2015.
- 17 Investopedia. Verkkodokumentti. <<http://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp?layout=orig>> Luettu 15.10.2015.
- 18 Keskeytyslukujen referenssiarvojen määrittäminen. 2007. Tampereen teknillinen yliopisto. Raportti. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_33_LUTTUT_Keskeytystunnusluvut_2007.pdf/c530af0b-271f-4038-b773-ec135c6b5abb> Luettu 15.11.2015
- 19 Silvast, Antti, ym. 2005. Raportti. Sähköjakelun keskeytyksistä aiheutuva haitta. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_31_TKKTTY_KAH_2005.pdf/3363428a-d57e-452f-a5bf-9dd5b634b0f6> Luettu 15.11.2015
- 20 Siirto, Osmo, ym. 2011. Raportti. Customer damage evaluation and network automation strategies for different urban zones. <http://www.cleen.fi/en/SitePages/publicdeliverables.aspx?fileId=757&webpartid=g_e6ff1fc0_9a94_40af_8aae_e1274f853ff6> Luettu 15.11.2015

- 21 Jääskeläinen, Jonna. 2010. Diplomityö. Sähkönjakelun keskeytysten aiheuttamat haitat kaupungissa. < http://www.cleen.fi/en/SitePages/publicdeliverables.aspx?fileId=134&webpartid=g_d983b7e9_318c_4993_bc7b_e37819392f25> Luettu 16.11.2015
- 22 Hyvärinen, Markku. 2008. Väitöstyö. Electrical networks and economies of load density. < <http://lib.tkk.fi/Diss/2008/isbn9789512296583/isbn9789512296583.pdf>> Luettu 16.11.2015
- 23 IPCC fourth assessment report: Climate change 2007. 2007. IPCC. Verkkodokumentti. <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html> Luettu 17.11.2015
- 24 Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti SF6-kaasun taseesta. Ei julkaistu
- 25 Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti muuntajien häviöistä. Ei julkaistu
- 26 Heikkilä, Tuukka. 2013. Diplomityö. Sähköverkon toimitusvarmuuteen liittyvien valvontamenetelmien kehittäminen. < <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Diplomity%C3%B6%20Tuukka+Heikkil%C3%A4%20Energiavirasto+FINAL.pdf/5f3b5842-ae34-4aff-af94-9ccd51401598>> Luettu 17.11.2015
- 27 Verkkopäivä 4.11.2014. 2014. Energiavirasto. Verkkodokumentti. < <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Energiaviraston+Verkkop%C3%A4iv%C3%A4%2004112014.pdf/587ffc15-9683-428c-8167-4e2a8d7d9731>> Luettu 13.11.2015
- 28 Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti muuntamoautomaatio-projektin kilpailutuksen tarjouksista. Ei julkaistu
- 29 Bitmill Oy. Verkkodokumentti. Tuotekuvaus. < http://www.bitmill.fi/exact_rakennuttamisjarjestelma.html> Luettu 24.11.2015
- 30 Rauhala, Ari. 2015. Sähköverkon rakennuttaja. Helen sähköverkko Oy, Helsinki. Asiantuntijahaastattelu. 24.11.2015