



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Eemeli Hyvönen

# Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeen laatiminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

24.5.2019

Tekijä Otsikko	Eemeli Hyvönen Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeen laatiminen
Sivumäärä Aika	101 sivua + 2 liitettä 24.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	suunnitteluasiantuntija Samuel Järvinen lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Kattavasti toteutetut ohjeistukset ovat verkkoyhtiön jakeluverkon suunnittelijalle keskeisiä työvälineitä. Ne helpottavat uuden työntekijän perehdytystä tämän työtehtäviin sekä toimivat kokeneemman suunnittelijan aputyövälineenä ja kokoelmana yrityksessä sovitusta suunnitteluperiaatteista. Ohjeistuksien perustana toimivat mm. alan standardit sekä alan toimijoiden laatimat erilaiset verkostosuositukset.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään kokonaisvaltaisesti Helen Sähköverkko Oy:n jakeluverkon suunnitteluperiaatteita sekä avataan niiden taustoja. Työssä perehdyttiin yrityksen keski- ja pienjänniteverkon nykyrakenteeseen, sille määritettyihin suunnitteluperiaatteisiin sekä yrityksessä käytössä olevaan suunnitteluprosessiin. Lisäksi työn yhteydessä selvitettiin mahdollisuuksia kehittää tätä prosessia ja sen lopputuloksena syntyviä sähköverkon suunnitelmadokumentteja.</p> <p>Työn yhteydessä tehtiin myös pieni analyysi yrityksessä tällä hetkellä käytettävästä investointitehokkuusmittarista eli CAPEX-suhteesta. Kyseinen tehokkuusmittari perustuu Energiaviraston valvontamallin ja yrityksen todellisten rakennuskustannusten suhteeseen. Investointien kannattavuuden mittarina sen on kuitenkin koettu olevan huono kuvaamaan yrityksen korvausinvestointien todellista kustannustehokkuutta. Mittarina sen onkin nähty toimivan parhaimmin uudisrakennusalueilla, kun taas uudistamisissä olevan jakeluverkon yhteydessä on todettu, että mittarin ohjausvaikutus kannustaa uudistamaan verkkoa mahdollisesti jopa ennaikaisesti.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena saatettiin alulle yrityksen suunnitteluohjeistuksen laadinta, jonka jatkokehitystä sekä ylläpitoa jatketaan tämän opinnäytetyön pohjalta.</p>	
Avainsanat	sähköverkko, suunnittelu, suunnitteluohje, jakeluverkko, keski-jännite, pienjännite

Author Title	Eemeli Hyvönen Drafting Instructions for Medium and Low Voltage Distribution Network Planning
Number of Pages Date	101 pages + 2 appendices 24 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Samuel Järvinen, Planning Specialist Tuomo Heikkinen, Principal Lecturer
<p>Thoroughly implemented instructions are essential tools for Distribution System Operators (DSO) planners who work with medium and low voltage distribution networks. Comprehensive instructions ease the orientation of new workers but similarly serve as an aiding tool for the more experienced planner. They also work as a collection of the company's fixed planning principles. Industry standards and recommendations are used in defining these instructions.</p> <p>This thesis examines comprehensively Helen Electricity Networks planning principles and their backgrounds. This thesis reviews the company's current medium and low voltage network structure, its fixed planning principles and process. Additionally, possibilities to improve this process and its resulting distribution network plans are reviewed in this thesis.</p> <p>This thesis also contains a small analysis of the company's currently used cost-efficiency indicator; CAPEX-factor. The indicator in question is based on the proportion of expenses between the Finnish Energy Authority's (EMA) regulation methods and the DSO's actual building expenses. CAPEX-factor is used in evaluating and choosing the right timeframe for investments in the network. Considered as an indicator of cost-efficiency in renewal of the electrical distribution network, it has been seen as a suboptimal indicator of realized cost-efficiency. It has been seen to work best in urban development areas, whereas in situations where distribution network is in need of renewal, it has been found that the indicators control influence can encourage to renew the network prematurely.</p> <p>As a result of this thesis work, the drafting of instructions for the company's medium and low voltage network planning was initiated. The future drafting, upkeep, and enhancement of these initial instructions will be continued from the foundation that was set in this thesis.</p>	
Keywords	Electrical grid, Planning, Instructions, Distribution network, Medium voltage, Low voltage

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helen Sähköverkko Oy	2
2.1	Yrityksen toimintaympäristö	3
2.2	Jakeluverkon rakentamisen investointitehokkuus	8
3	Sähköverkon rakenne	13
3.1	Suurjänniteverkko	15
3.1.1	Suurjännitteinen jakeluverkko	15
3.1.2	Sähköasemat	17
3.2	Jakeluverkko	18
3.2.1	Keskijänniteverkko	18
3.2.2	Muuntamot ja kytkemöt	27
3.2.3	Pienjänniteverkko	40
4	Jakeluverkon suunnitteluperiaatteet	50
4.1	Uudistamisperiaatteet	52
4.2	Mitoitusperiaatteet	54
4.3	Vakiokomponentit	66
5	Jakeluverkon suunnitteluprosessi	69
5.1	Suunnitteluvaiheet	69
5.2	Toteutussuunnittelu	73
5.3	Investointihanketyypit	76
5.4	Hankkeen suunnittelu	78
6	Suunnitteluohjeen laatiminen	89
7	Yhteenveto	95
	Lähteet	97



Liitteet

Liite 1. CAPEX-analyysi esimerkkihankkeesta

Liite 2. Esimerkkisuunnitelmia hankesuunnittelusta

## Lyhenteet

AIS	Air Insulated Switchgear. Ilmaeristeinen kojeisto.
CAD	Computer-Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAPEX	Capital Expenditure. Investointikustannukset.
CCP	Construction Cost Planner. Rakentamissovellus.
CHP	Combined Heat and Power. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto.
EV	Energiavirasto.
GIS	Gas Insulated Switchgear. Kaasueristeinen kojeisto.
HSV	Helen Sähköverkko.
JHA	Jälleenhankinta-arvo.
KJ	Keskijännite.
MUVA	Muuntamoalvonta.
NIS	Network Information System. Verkkotietojärjestelmä.
NKA	Nykykäyttöarvo.
PJ	Pienjännite.
RMU	Ring Main Unit. Rengassyöttökojeisto.
SF <sub>6</sub>	Rikkiheksafluoridi-eristekaasu.
SJ	Suurjännite.
TN-C	Jakelujärjestelmä, jossa nolla- ja suojamaadoitusjohdin on yhdistetty PEN-johtimeksi.
TN-S	Jakelujärjestelmä, jossa erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet.
YKT	Yhteinen kunnallistekninen työmaa.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on saattaa alulle Helen Sähköverkko Oy:n keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeistuksen laadinta. Lopullisen ohjeistuksen tarkoituksena on tarkastella jakeluverkon suunnitteluprosessia suunnittelijan näkökulmasta. Laadittavalla ohjeistuksella halutaan parantaa yrityksen hankesuunnitelmien laatua, yhdenmukaisuutta sekä niiden kustannustehokkuutta. Yrityksen tarpeita tämän suunnitteluohjeistuksen laatimiselle on useampia, mutta sen perimmäisenä tarkoituksena on kuitenkin saattaa yhtiön nykyiset suunnitteluohjeistukset taas ajan tasalle ja koota kaikki suunnittelijan kannalta olennaiset tiedot yksiin kansiin. Muita taustatekijöitä ohjeistuksen laatimiselle ovat mm. yrityksen tavoitteleva ISO 9001 -sertifioitu laatujärjestelmä, jonka auditoinnissa tehtiin vuonna 2016 poikkeamahavainto kokonaisvaltaisten ohjeistuksien puuttumisesta sekä suunnittelijoiden yksiselitteinen tarve työtä ohjaavalle ja siinä avustavalle ohjedokumentille.

Opinnäytetyödokumentin tarkoituksena on toimia vasta myöhemmässä vaiheessa laadittavan suunnitteluohjeistuksen lähdetietodokumenttina, eli opinnäytetyössä selvitetään ohjeistuksessa tarvittavia tietoja sekä niiden taustoja.

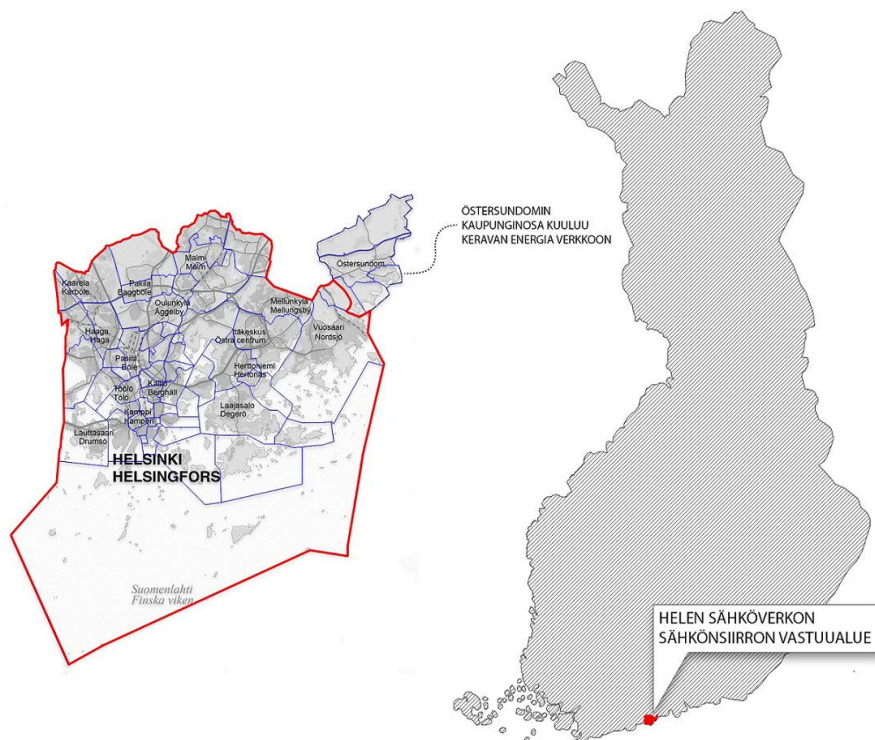
Työn alkuosassa käsitellään yleisesti Helen Sähköverkko Oy:tä ja sitä, millaisessa ympäristössä se toimii. Samassa yhteydessä tarkastellaan lyhyesti myös jakeluverkon investointitehokkuutta, sen arvioinnissa tällä hetkellä käytettäviä mittareita ja myös sitä, kuinka tätä arviointiprosessia voitaisiin kehittää hankkeiden kustannustehokkuuden parantamiseksi.

Kolmannessa luvussa käsitellään yrityksen hallinnoiman sähköverkon rakennetta sen eri jännitetasoilla. Luvussa sähköverkko on jaoteltu suur-, keski- ja pienjännitteisiin jakeluverkkoihin. Ohjeistuksen laadinnan kannalta sähköverkon rakenteiden kokoaminen on tärkeää, sillä rakenteiden tuntemus on sen suunnittelijalle olennaista tietoa. Jakeluverkon rakennetta tarkasteltaessa tulevat esiin yrityksen aikaisemmat suunnittelukäytännöt ja niiden vaikutus verkon tämän hetkiseen suunnitteluun. Rakennekuvauksessa pyritään kokoamaan suunnittelijoiden päivittäisessä työssään kohtaamia verkostokomponentteja ja niiden ominaisuuksia, joita suunnittelijan on työssään huomioitava esimerkiksi asentajien työturvallisuuden kannalta. Luvussa käsitellään pääasiassa keski- ja pienjännitteistä jakeluverkkoa, mutta siinä käydään lyhyesti läpi myös suurjännitteisen jakeluverkon keskeisimpiä osia.

Neljännessä luvussa käydään läpi yrityksen pääperiaatteet keski- ja pienjännitteisen jakeluverkon suunnitteluun, kuten millaisia uudistamisperiaatteita eri verkon osilla on, miten jakeluverkkoa mitoitetään sekä millaisia komponentteja siinä käytetään. Viidennessä luvussa kuvataan jakeluverkon toteutussuunnitteluprosessi hankesuunnittelijan näkökulmasta. Työn loppuosassa kerrotaan suunnitteluohjeistuksen tekemisen vaiheista ja periaatteista sekä työn lopputuloksesta.

## 2 Helen Sähköverkko Oy

Helen Sähköverkko Oy (jäljempänä HSV) on asiakasmäärältään Suomen kolmanneksi suurin jakeluverkkoyhtiö, joka vastaa yksinoikeudella lähes koko Helsingin alueen sähkön siirrosta ja jakelusta sekä sähköverkkopalveluiden tuottamisesta. HSV:n sähkönsiirron vastuualuetta on havainnollistettu kuvassa 1. HSV on osa Helsingin kaupungin omistamaa Helen-konsernia ja sen liikevaihto vuonna 2018 oli noin 124 M€. HSV:n sähköverkkoon on liittynyt 35 000 sähköliittymää ja sen asiakkaina on 390 000 helsinkiläistä sähkökäyttäjää. HSV:n sähköverkon kautta toimitetaan vuosittain sen asiakkaille noin 4 500 GWh sähköenergiaa. Alueen sähkön käytön tunnittainen tehomaksimi on toistaiseksi ollut 828 MW (vuonna 2012). [1.]



Kuva 1. Helen Sähköverkko Oy:n verkkoalue, muokattu [2].

HSV on asiantuntijaorganisaatio, joka hyödyntää toiminnassaan laajasti ostopalveluita. Ostopalveluita hyödynnetään mm. verkon rakennuksessa, kunnossapidossa ja mittauspalveluissa. Infratoimijana HSV on varsin näkyvä Helsingin katukuvassa, sillä kaupungilta vuosittain haetuista noin 3 300 kaivuluvasta HSV:n toiminta kattaa yleensä noin 600 kappaletta. [1; 3; 4.]

## 2.1 Yrityksen toimintaympäristö

Eri verkkoyhtiöt toimivat vaihtelevissa olosuhteissa, joka näkyy niiden erilaisina kustannusrakenteina ja -tasoina. Yrityksen verkkoliiketoimintaan vaikuttavina ympäristötekijöinä voidaan pitää alueellisia sääoloja, sijaintiolosuhteita, toiminta-aluetta ja asiakaskuntaa. *Alueellisilla sääoloilla* tarkoitetaan ilmastotekijöitä, jotka ovat verkkoyhtiön toimialueelle ominaisia kuten tuulisuus, lumen määrä, lämpötilan vaihtelu, maaperän routaantuminen ja tulvimisen riski. *Sijaintiolosuhteina*, jotka vaikuttavat toimintaan, voidaan pitää mm. vesistöjen määrää, maaston erityispiirteitä, metsäisyyttä, korkeuseroja ja taajamaisuutta. *Toiminta-alueella* viitataan verkkoalueen kokoon sekä sen asiakastiheyteen. *Asiakaskunnan* rakenne sekä asiakkaiden lukumäärää ja sen vaihtuvuus vaikuttavat paljon mm. verkkoliiketoiminnan pitkän aikavälin suunnitteluun. Kaikki nämä toimintaympäristöön luettavat tekijät vaikuttavat niin ilmajohto-, kuin myös maakaapeliverkkojen rakenteisiin, rakentamiseen ja niiden operoinnin kustannuksiin. [5, s. 38–47.]

### Alueelliset sääolot

Alueellisten sääolojen kannalta HSV:n verkkoalueen voidaan katsoa sijaitsevan rannikkomaisissa olosuhteissa. Sääolojen vaikutukset HSV:n jakeluverkon toimintaan ovat kuitenkin aika vähäisiä, ainakin jos yrityksen toimialuetta ja sen jakeluverkon rakennetta verrataan joidenkin muiden Suomessa toimivien verkkoyhtiöiden olosuhteisiin. Maaseudulla tai länsirannikolla toimivilla ja pääosin ilmajohtoverkkoa hallinnoivilla verkkoyhtiöillä on viime vuosina ollut isoja ongelmia luonnonilmiöiden, kuten myrskytuulien ja tykkylumen kertymisten aiheuttamien jakelukeskeytysten kanssa. HSV:n kaupunkiverkko on pääosin suojassa ilmastollisilta vaikutuksilta, sillä miltei koko keski- ja pienjänniteverkko on maakaapeloitu ja muuntamot sijaitsevat rakennuksissa tai muissa säältä suojassa olevissa tiloissa. Sähköasemat on pääosin toteutettu rakennuksiin tai maanalaisin tiloihin ja suurjänniteverkonkin kaapelointiaste on jopa kolmanneksen sen johtopituudesta. HSV:n jakeluverkon voidaan näiltä osin siis sanoa olevan säävarmaa sähköverkkoa.

Helsingin alueella voidaan sähköverkon toiminnan kannalta merkittävänä tekijänä sääolosuhteista nostaa kuitenkin esiin kohonnut tulvimisen riski. Jatkuvasti tiivistyvistä kaupunkirakenteesta ja ilmastomuutoksen seurauksena voimistuvista rankkasateista johtuen hulevesi-, meri- ja vesistötulvien riski alueella kasvaa. Rankkasateista johtuvan tulvimisen riski on todennäköisin kantakaupungissa, jossa rakennustiheys on suurin ja vettä imevä pinta-ala näin ollen pienin. Energiahuollon kannalta suurimpana riskitekijänä kantakaupungissa on se, että tulva-  
vesi kantautuu maanalaisiin tiloihin kuten jakelumuuntamoihin, sähköasemiin ja energiatur-  
neleihin. [6, s. 5.]

Muiden ilmastotekijöiden vaikutukset HSV:n toimintaan ovat siis maltillisempia. Tehtävät investoinnit ajoitetaan pääosin sulalle ajalle, joka Helsingissä on tyypillisesti pohjoisempaa Suomea pidempi. Lämpötilan laskeminenkaan ei yleensä häiritse talviaikaan tehtäviä töitä, sillä lämpötila laskee Helsingissä harvemmin alle negatiivisen 20 asteen, jota pidetään PEX-eristeen maakaapelin käsittelyn alarajana. Tuulisuus ja muut säätekijät vaikuttavat lähinnä suurjännitejakelun pylväs- ja johtorakenteiden rakennesuunnitteluun.

#### Sijaintiolosuhteet

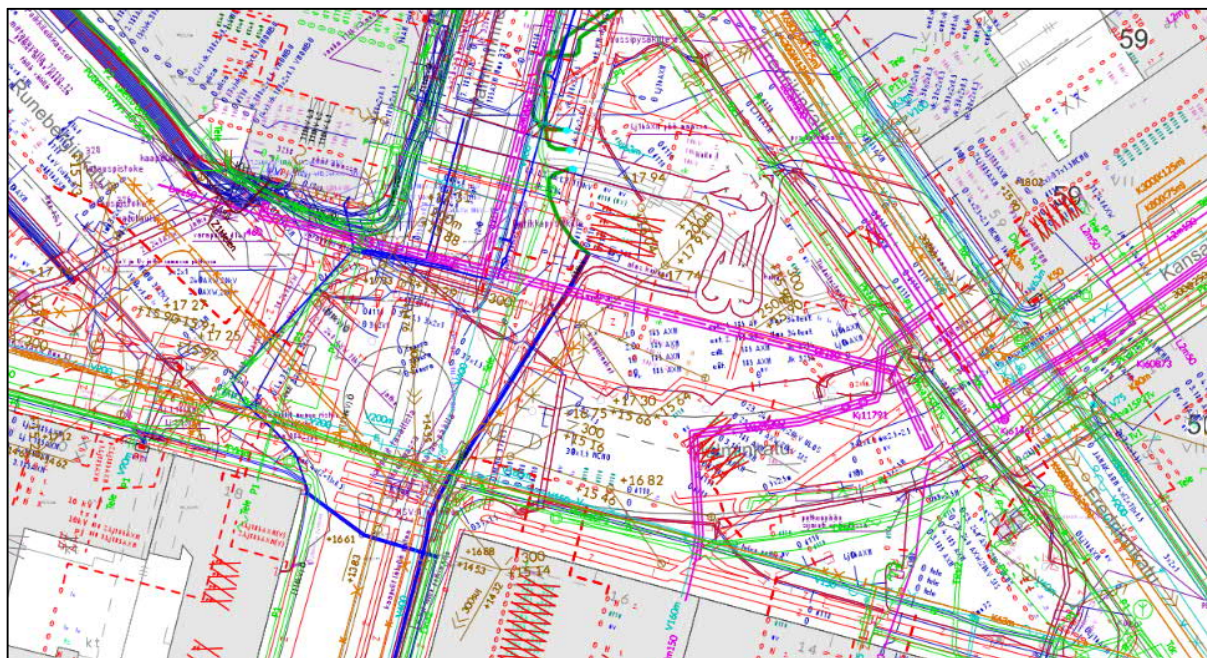
HSV toimii Suomen pääkaupungissa, mikä asettaa sen verkkoliiketoiminnalle omat haasteensa. Sähkön toimitusvarmuuden on luonnollisesti oltava kärkiluokkaa, sillä asiakkaiden joukossa on lukuisia valtakunnallisesti merkittäviä toimijoita, kuten valtioneuvosto, ministeriöt ja parlamentti. Lisäksi Helsingissä sijaitsee valtakunnallisesti tärkeitä HUS:n (Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin) sairaaloita sekä useamman suuryrityksen pääkonttoreita. Sähköverkon häiriöt Helsingissä voivatkin siis vaikuttaa jossain määrin koko Suomen alueella. [7.]

Toimitusvarmuuteen on perinteisesti panostettu vuosikymmenien aikana paljon. Vuonna 2008 tunnistettiin jakeluverkossa kuitenkin merkittävää toimitusvarmuuden vaihtelua, joka johtui osaltaan isoista sähköasemahäiriöistä. Tällöin HSV:ssa päätettiin toimeenpanna toimitusvarmuuden parannusohjelma. Toimitusvarmuutta on tämän jälkeen parannettu mm. uusilla sähköasemilla, vanhojen asemien toisilaitteiden uusinoilla, keskijänniteverkon muuntamoauto-  
maatiolla sekä 20 kV:n jakeluverkon maasulkuvirran kompensoinnilla. Nykyään HSV:n sähköverkosta jopa 96 % kulkee maan alla. Toimitusvarmuus on erinomaisella tasolla ja keskimääräinen helsinkiläinen kokee sähkökatkon vain joka kymmenes vuosi. [1; 8.]



Helsingissä toimimisen erityispiirteenä on myös se, että katualueet ovat infratoimijan näkökulmasta erittäin ahtaita, mikä vaikeuttaa investointien suunnittelua, toteutusta sekä nostaa niiden kustannuksia. Maanrakennustyöt suurkaupunkiympäristössä ovat paikoittain erittäin haasteellista ja muodostavat yleensä suurimman kuluerän verkon rakentamisen kustannuksista. Varsinkin keskusta-alueella maanpäällinen tila on erittäin tiiviisti rakennettua, joka tekee verkostokomponenttien sijoittelusta haastavaa. Käytännössä sähköasemille ja jakelumuuntamoille ei ole keskusta-alueella maanpäällistä tilaa joko rakennustiiviyydestä tai kaupungin kaavoituksesta johtuen. Keskusta-alueella joudutaan siis käyttämään maanalaisia sähköasemia ja kiinteistömuuntamoita, joiden kustannukset ovat suurempia. [1; 9.]

Muita infratoimijoita Helsingin alueella ovat mm. Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Helsingin kaupungin liikenne, Helsingin kaupunkiympäristö, Helen Oy, eri teleoperaattorit ja Gasum Oy. Helsingin kaupunkiympäristö vastaa maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti kadunpidon yhteensovittamisesta eri infratoimijoiden kesken. Erilaisia maanalaisia rakenteita, joita jakeluverkon suunnittelussa täytyy huomioida, ovat mm. kaukolämpö-, kaasu-, vesi- ja viemäriputkistot, katulämmitykset (keskustan alueella), tietoliikenneverkot ja yksityisten omistuksessa olevat sähköverkot (Satamat, raideliikenne ym.). [10.] Kuvassa 2 esimerkki sijaintikartaoteesta Helsingin keskustassa, jossa on näkyvissä alueelle ominainen ahdas maanalainen inf-rarakenne.



Kuva 2. Sijaintikartaote Helsingin keskustasta [11].



HSV:n keskijänniteverkossa on vuosittain tyypillisesti 30–50 häiriötä, joista noin kolmannes aiheutuu ulkopuolisen tekijän toiminnasta. Yleinen toisen infratoimijan tai muun ulkopuolisen tekijän aiheuttama häiriö johtuu huolimattomasta maankaivusta, jonka seuraukset ovat joko välittömiä (kaapelin oiko- tai maasulku) tai vasta pidemmän ajan kuluttua esiin tulevia (ositaispurkauksien aiheuttama läpilyönti). Kaivutyömaat voivat siis aiheuttaa rakennevikoja myös huolimattomasta maantäytöstä tai kaapelivaipan vaurioittamisesta johtuen. [7.]

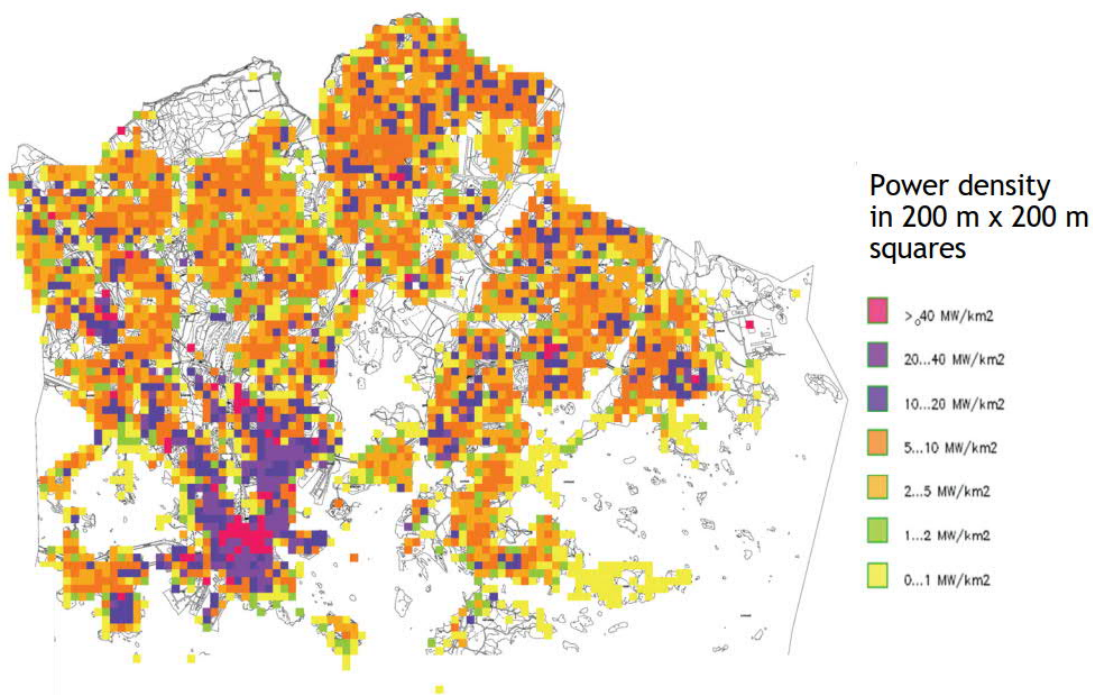
Verkkoalueeseen kuuluu myös paljon saaristoa, jotka sijaitsevat pääasiassa Suomenlinnan, Santahaminan, Villinkin, Vuosaaren ja Ulkosaarten kaupunginosissa. Saaristot eivät kuitenkaan merkittävästi vaikuta HSV:n kustannustasoon tai -rakenteeseen. Sähkömarkkinalain mukaan jakeluverkonhaltija on kuitenkin kohtuullista korvausta vastaan velvollinen liittämään toiminta-alueellaan sähköverkkoonsa kaikki sitä pyytävät, tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset [12, § 20].

#### Toiminta-alue

Helsingin pinta-ala ilman merialueita on noin 214 km<sup>2</sup>, josta HSV:n verkkoalueeseen kuuluu karkeasti arvioituna noin 190 km<sup>2</sup>. Asukkaita Helsingissä on noin 650 000 ja väestötiheys puolestaan on noin 3 000 asukasta neliökilometrillä (lukuihin mukaan luettuna HSV:n sähköverkkoon kuulumaton Sipoon liitosalue). Väestötiheys kaupunginosittain vaihtelee kuitenkin paljon. Esimerkiksi Punavuoressa väestötiheys on jopa noin 20 500 asukasta neliökilometrillä, kun puolestaan Viikissä se on ainoastaan noin 1 900 asukasta neliökilometrillä. [13; 14.]

Sähköverkkoa Helsingissä on asiakasta kohden noin 16,6 metriä [15].

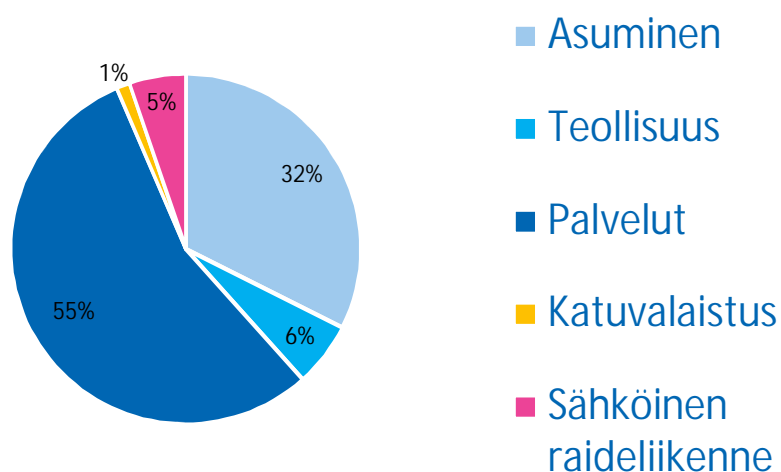
Kuvassa 3 on havainnollistettu jakeluverkon (keski- ja pienjänniteverkko) kuormitustiheyttä Helsingissä vuonna 2007. Kuvassa kantakaupungin ja esikaupunkialueiden keskustat sekä teollisuusalueet ovat näkyvissä selvästi suurempina kulutuksen keskittyminä. Täysin kuormittamattomat alueet kuvassa ovat suuria puistoja, merialueita tai sähköverkkoon kuulumattomia saaria. Kantakaupungin alueella kaupalliset kiinteistöt ja julkiset palvelut ovat suurimpia yksittäisiä kuluttajia, mutta myös asuinkiinteistöjen kulutus niiden alueella on huomattavaa. Esikaupunkialueella puolestaan kotitaloudet ja niihin liittyvät palvelut (koulut, terveysasemat, marketit) muodostavat suurimman osan kulutuksesta. Esikaupungin ja kantakaupungin väli-alueella kulutus vaihtelee tyypillisesti kotitalouksien, kaupallisten ja toimistokiinteistöjen sekä pienteollisuuden välillä. [16, s. 45–46.]



Kuva 3. Jakeluverkon kuormitusiheyden jakauma vuonna 2007 [16, s. 45].

### Asiakaskunta

Helsingissä sähkönkulutuksen asiakastyypit voidaan jakaa asumiseen, teollisuuteen, palveluihin, katuväläistukseen ja sähköiseen raideliikenteeseen. Edellä mainituista asiakastyypeistä palvelusektori kuluttaa yli puolet HSV:n asiakaskunnan käyttämästä sähköstä. Kuvaajassa 1 on havainnollistettu tätä jakaumaa. [1.]



Kuvaaja 1. HSV:n asiakkaiden sähkönkäyttö vuonna 2017 asiakastyypeittäin [1].

HSV:n kustannusrakenteessa on myös huomioitava jakelualueen pitkän aikavälin muutokset, jossa omat haasteensa aiheuttaa Suomen kaupungistuminen, jonka on äärimmillään arvioitu tuovan pääkaupunkiseudulle jopa noin 350 000 uutta asukasta vuoteen 2040 mennessä. Lisäksi Helsingissä sijaitsevien Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksien sähkötuotantoa ollaan kivihiilen käyttökiellon myötä ajamassa alas 2020-luvulla, mikä poistaa tuotantotehoa verkkoalueelta yhteensä jopa 360 MW. Molemmat tilanteet vaikuttavat negatiivisesti sähkötehon riittävyteen tulevaisuudessa ja voivat johtaa tilanteeseen, jossa suurjänniteverkon siirtokapasiteetti jää alueella alimittaiseksi. [17, s. 24; 18; 19, s. 55.]

## 2.2 Jakeluverkon rakentamisen investointitehokkuus

Sähköverkkoa on rakennettava mahdollisimman kustannustehokkaasti sille asetettujen vaatimusten ympärille. Tämä on sekä asiakkaiden, että myös verkkoyhtiön etu. Asiakkaat hyötyvät kustannustehokkaista investoinneista mahdollisimman edullisen siirtohinnan ja käyttövarman sähköverkon muodossa. Verkkoyhtiölle kustannustehokkaat investoinnit mahdollistavat toiminnan hyvät taloudelliset tunnusluvut, jotka puolestaan vaikuttavat Energiaviraston (jäljempänä EV) valvontamallin mukaisen kohtuullisen tuoton laskelmiin ja sen erilaisten kannustimien määrittämiseen.

EV:n valvontamallissa on määritetty erilaisia laskentakaavoja, joiden avulla voidaan arvostaa jakeluverkon haltijan jakeluverkkoa ja sen hankkeita. Tämän opinnäytetyön kannalta näistä oleellisimmat ovat jälleenhankinta-arvo (JHA) ja nykykäyttöarvo (NKA). Näitä verkon arvoa kuvaavia lukuja hyödynnetään niin jakeluverkon kokonaisarvon kuin myös yksittäisten hankkeiden teknistaloudellisten tunnuslukujen määrittämisessä.

Jälleenhankinta-arvo kuvaa jakeluverkon tai hankkeen arvoa, kun sen laskennassa hyödynnetään EV:n määrittämiä yksikköhintoja sen komponenteille. Jälleenhankinta-arvo lasketaan kaavojen 1 ja 2 avulla.

$$JHA_i = \text{yksikköhinta}_i \cdot \text{määrä}_i \quad (1)$$

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

$JHA_i$  on verkostokomponenttien  $i$  yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo

yksikköhinta $_i$  on verkostokomponentin  $i$  valvontamallin mukainen yksikköhinta

määrä $_i$  on verkostokomponentin  $i$  lukumäärä

$JHA$  on verkostokomponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo. [20, s. 27–28.]

Kun tarkastellaan vanhempaa jakeluverkkoa, hyödynnetään EV:n valvontamallissa nykykäyttöarvolle määritettyjä laskentakaavoja (ks. kaavat 3 ja 4). Nykykäyttöarvon laskennan pohjana käytetään jälleenhankinta-arvoa, joka suhteutetaan nykykäyttöarvoksi sen iän ja tavoitteellisen pitoajan suhteella. Kaavojen käytössä on huomioitava, että komponentin nykykäyttöarvo menee nolnaan, kun se saavuttaa sen taloudellisen pitoajan.

$$NKA_i = \left(1 - \frac{\text{Keski-ikä}_i}{\text{Pitoaika}_i}\right) \cdot JHA_i \quad (3)$$

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

$NKA_i$  on verkostokomponenttien  $i$  jälleenhankinta-arvosta laskettu nykykäyttöarvo

Keski-ikä $_i$  on verkostokomponenttien  $i$  keskimääräinen ikä laskenta hetkellä

Pitoaika $_i$  on verkostokomponenttiryhmälle  $i$  määritetty pitoaika, vuosina

$JHA_i$  on verkostokomponenttien  $i$  yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo

$NKA$  on verkostokomponenttien yhteenlaskettu nykykäyttöarvo. [20, s. 28–29.]

Verkostohankkeiden kustannustehokkuutta voidaan mitata esimerkiksi vertaamalla investointihankkeen CAPEX-arvoa (Capital Expenditure) eli sen yritykselle aiheuttamia investointikustannuksia EV:n valvontamallin määrittämään verkko-omaisuuden jälleenhankinta-arvoon. Tätä kaavassa 5 esitettyä suhdelukua kutsutaan CAPEX-suhteeksi ja se kuvaa, kuinka kannattava kyseinen investointi on EV:n valvontamallin näkökulmasta. [21.] Käytännössä suhdetta tulkitaan niin, että alle yhden suhdeluvun hanke ei ole taloudellisesti kannattava, vaikka se voi silti olla teknisesti tarpeellinen. Vastaavasti, mitä korkeampi suhdeluku, niin sitä kannattavampi hanke on taloudellisesta näkökulmasta.

$$\text{CAPEX-suhde} = \frac{\text{JHA}}{\text{CAPEX}} \quad (5)$$

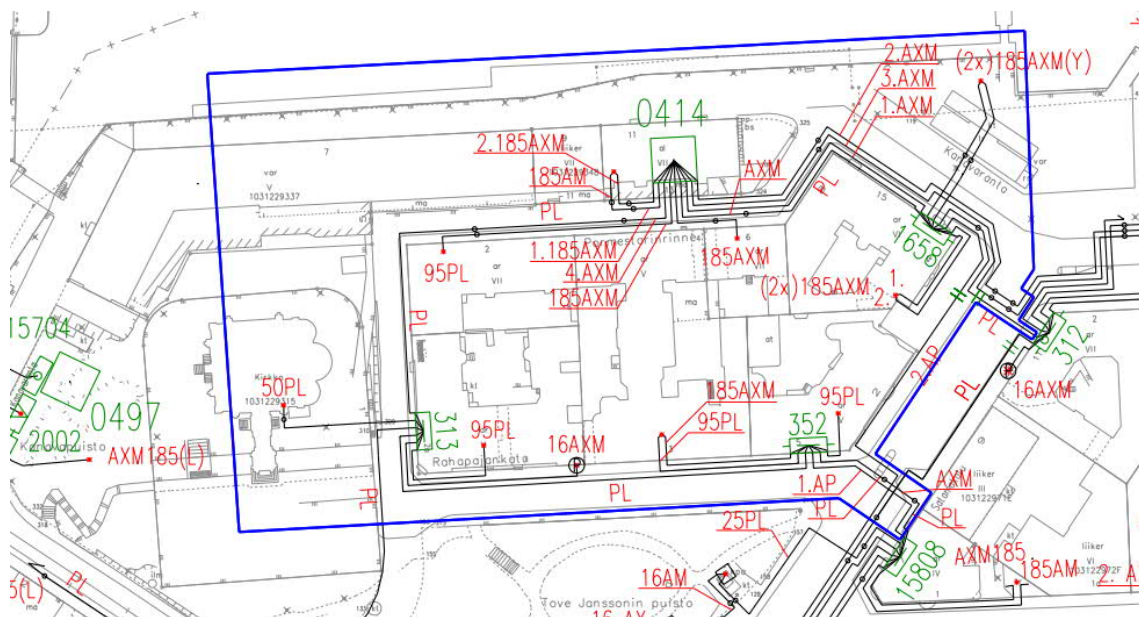
JHA on hankkeen verkostokomponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo, kun niiden yksikköhintoina käytetään Energiaviraston valvontamallin hintoja

CAPEX on hankkeen verkostokomponenttien yhteenlaskettu arvo, kun niiden yksikköhintoina käytetään verkkoyhtiön todellisia kustannuksia. [21.]

HSV:ssa CAPEX-suhde lasketaan hankkeen suunnittelun yhteydessä ja sitä hyödynnetään investointipäätöstä tehdessä taloudellisen kannattavuuden tarkastelussa. CAPEX-suhde ei ole investointipäätöstä tehtäessä ainut päätökseen vaikuttava tekijä vaan päätöstä tehtäessä arvioidaan hanketta tarveperusteisesti sen teknistaloudellinen kannattavuus huomioiden. Hankkeen valmistuttua saadaan tietoon CAPEX-suhteen toteutunut arvo, jonka avulla seurataan yrityksen pidemmän aikavälin toteutunutta investointitehokkuutta.

#### Esimerkki jakeluverkon korvausinvestoinnista

Jakeluverkon korvausinvestoinnin suunnittelusta ja sen taloudellisesta arvioinnista on laadittu yksi hankesuunnitelma opinnäytetyön liitteeksi 1. Arvioinnissa käytetty esimerkisuunnitelma sijoittuu kuvan 4 pienjänniteverkkoon Helsingin kantakaupungissa. Suunnitelman aluerajaus on tehty kuvassa näkyvällä sinisellä viivalla. Alueen pienjännitteistä jakeluverkkoa on muutama liittymisjohtotyötä lukuun ottamatta uudistettu viimeksi 1990-luvulla, ja se sisältää nyt paljon korvausiässä olevia verkonosia. Tällä hetkellä korvausiässä verkosta ovat sen 1950- ja 1970-luvuilla rakennetut verkon runko- ja liittymisjohdot sekä katujakokaapit. Alueen keskijänniteverkko ja jakelumuuntamo on uudistettu 1990-luvulla, mistä johtuen niiden osalta ei vaa-  
dita toimenpiteitä.



Kuva 4. Esimerkin korvausinvestoinnissa saneerattava verkonosa [22].

Liitteessä esitetyssä suunnitelmassa ja sen kustannuslaskelmissa päästään 0,86 CAPEX-suhteeseen, joka tarkoittaa, että EV:n valvontamallin puolesta hanke on ainakin lähellä kannattavaa. Ongelmaksi tässä tapauksessa CAPEX-suhteessa huomataan kuitenkin se, että siinä ei huomioida korvausinvestoinnin yhteydessä verkosta poistuvien osuuksien kuten jakokaappien, kaapeleiden ja kaapelioiden nykykäyttöarvoa. Liitteen 1 hankesuunnitelman tapauksessa se antaa väärän kuvan kyseisen korvausinvestoinnin kannattavuudesta.

CAPEX-suhde voi siis kuvata huonosti sellaisten hankkeiden investointitehokkuutta, joissa uudistetaan eri ajankohtina toteutettua jakeluverkkoa. Hyvä CAPEX-suhde (yli yhden oleva) ei automaattisesti ole tae kustannustehokkaasti ja yrityksen uudistamisperiaatteiden mukaisesti tehdystä suunnitelmasta vaan investoinnin hyväksyjä joutuu tätä arvioidakseen tarkastelemaan myös suunnitelmaa teknistaloudellisessa mielessä.

Tilannetta voitaisiin kuitenkin kehittää hyödyntämällä esimerkiksi kaavassa 6 esitettyä laskentamallia, jossa huomioitaisiin myös verkon nykykäyttöarvon poistuma hankkeen kustannustehokkuuden laskennassa. Tästä suhdeluvusta voitaisiin käyttää esimerkiksi termiä "NKA-korjattu CAPEX-suhde". Kyseinen suhdeluku huomioisi investointitehokkuuden laskennassa myös saneeratun verkon nykykäyttöarvon, joka poistuisi verkonhaltijan jakeluverkon arvosta työn toteutuksen yhteydessä. Poistuvaan nykykäyttöarvoon laskettaisiin kaikki EV:n valvonta-



malliin kuuluvat ja hankkeen yhteydessä käytöstä poistuvat verkostokomponentit kuten jakokaapit, kaapelit ja kaapeliojat. Näiden komponenttien nykykäyttöarvo laskettaisiin kaavojen 3 ja 4 avulla.

$$\text{NKA-korjattu CAPEX-suhde} = \frac{\text{JHA} - \text{NKA}_{\text{poistuma}}}{\text{CAPEX}} \quad (6)$$

JHA on hankkeen verkostokomponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo, kun niiden yksikköhintoina käytetään Energiaviraston valvontamallin hintoja

$\text{NKA}_{\text{poistuma}}$  on hankkeen yhteydessä käytöstä poistuvien verkostokomponenttien yhteenlaskettu nykykäyttöarvo

CAPEX on hankkeen verkostokomponenttien yhteenlaskettu arvo, kun niiden yksikköhintoina käytetään verkkoyhtiön todellisia kustannuksia.

Liitteen 1 hankkeessa NKA-korjatulla CAPEX-suhteella saataisiin investointitehokkuutta kuvaavaksi suhdeluvuksi 0,69. Tämän suhdeluvun vertaaminen aiempaan CAPEX-suhteeseen (0,86) kertoisi siis, että kyseisessä korvausinvestoinnissa tehdään jostain syystä investointeja vielä käyttöikäiseen jakeluverkkoon. Tämänkaltaisten suhdelukujen yhteiskäyttö mahdollistaisi siis sen, että investoinnin hyväksyjä saisi tiedon suunnitteluperiaatteista poikkeamisesta suoraan suhdeluvuista eikä tämän erikseen tarvitsisi perehtyä suunnitelman teknistaloudellisiin taustoihin niiden selvittämiseksi. Poikkeaman havaittuaan investoinnin hyväksyjä voisi ottaa yhteyden suunnittelijaan ja selvittää, onko poikkeamiselle jokin sähkötekniinen syy.

NKA-korjattu CAPEX-suhde (jäljempänä NKA-CAPEX) ei tietenkään ole täydellinen investointitehokkuuden mittari, mutta sitä tai jotain muuta sen kaltaista suhdelukua, voitaisiin kuitenkin käyttää investoinnin kannattavuuden arvioinnissa tavallisen CAPEX-suhteen rinnalla. Mikäli NKA-CAPEX olisi CAPEX-suhdetta huomattavasti pienempi, investoinnin hyväksyjä tietäisi, että hankkeen yhteydessä hylätään jostain syystä käyttöikäistä verkkoa huomattavissa määrin tai ennenaikaisesti. Tällöin tämä tietäisi, että kyseessä ei välttämättä olisi taloudellisista syistä tehtävä hanke, mikä on hyvä huomioida investoinnin hyväksynnässä. Puolestaan mikäli NKA-CAPEX vastaisi CAPEX-suhdetta, olisi kyseessä verkon jälleenhankinta- ja nykykäyttöarvon ylläpidon kannalta kannattava investointihanke.

Tämän hetkisinä suunnittelutyökaluilla NKA-CAPEX -laskenta on kuitenkin vielä erittäin työläs toimenpide. Poistuvien komponenttien NKA-arvo saadaan laskettua verkkotietojärjestelmän

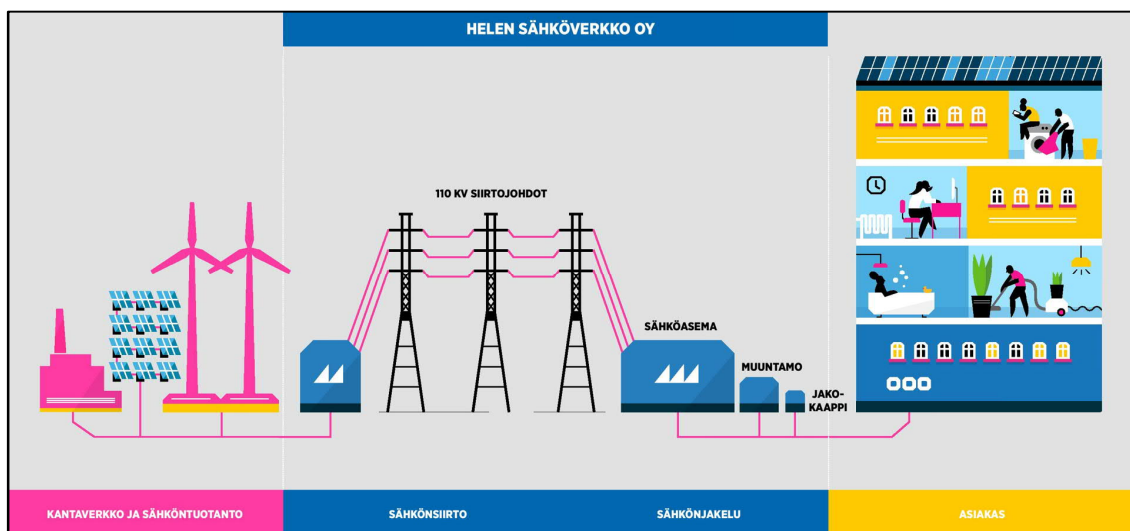


avulla, mutta vanhojen kaapelioiden arvon laskennassa suunnittelijan on hyödynnettävä verkotietojärjestelmän omaisuustietoja Excel-laskennassa. Jokaiselle vanhalle kaapelioidalle on siis erikseen laskettava nykykäyttöarvo käsin. Kuitenkin kehittämällä kustannusarvioinnin työkaluja ohjelmistotoimittajan kanssa, voitaisiin tätäkin helpottaa, ja niin NKA-korjattu CAPEX-suhte voitaisiin mahdollisesti tuoda päivittäiseen suunnittelutyöhön.

Edellä mainitun tai sen kaltaisen uuden investointitehokkuusmittarin käyttöönotto nykyisen rinnalle, toisi siis hankkeiden kannattavuusarviointiin ja analysointiin uusia työkaluja ja vähentäisi itse sähkötekniisten suunnitelmien läpikäynnin tarvetta.

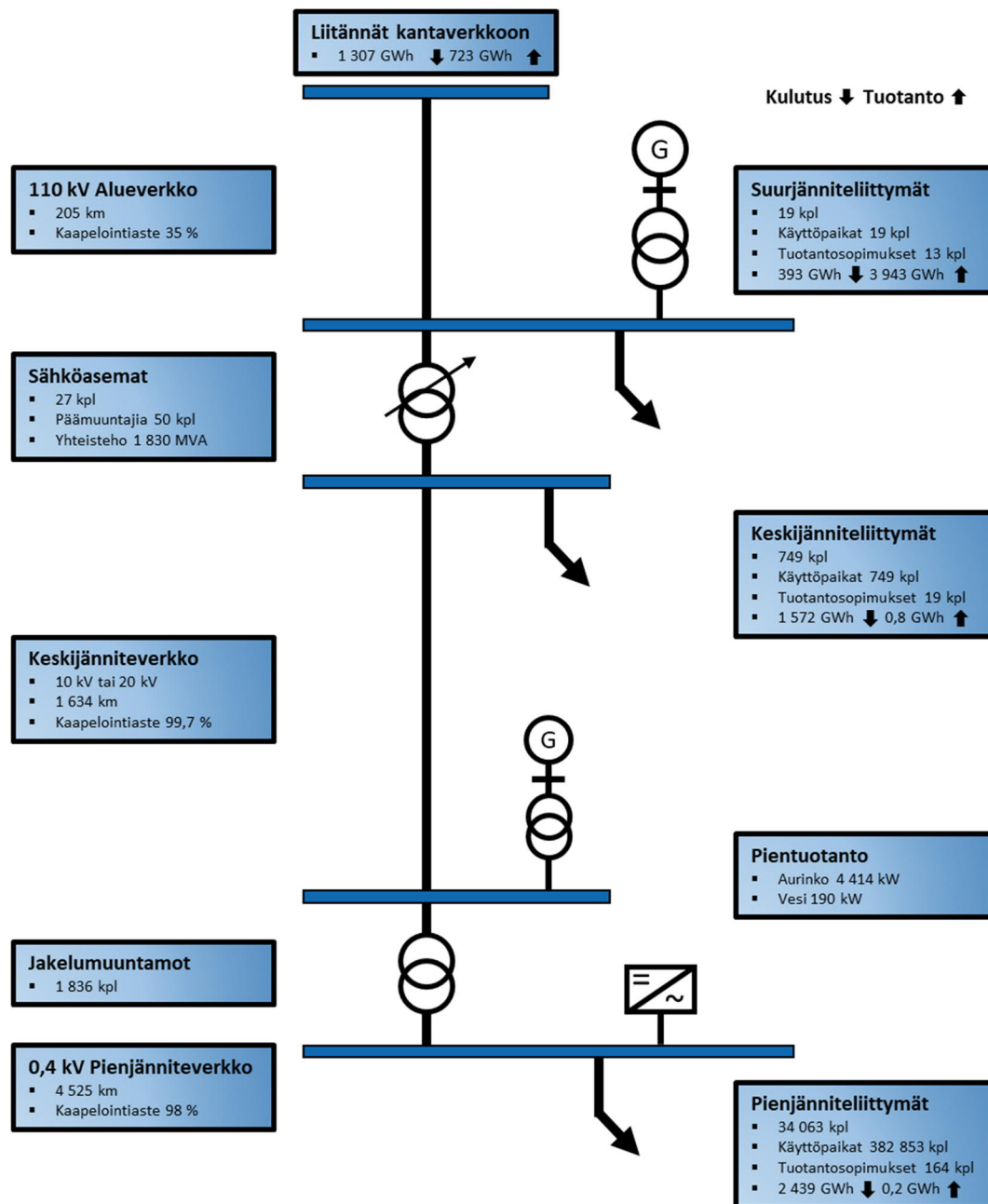
### 3 Sähköverkon rakenne

Pääpiirteittäin HSV:n sähköverkko muodostuu kahdesta eri osa-alueesta, jotka ovat suurjännitteinen ja keski- sekä pienjännitteinen jakeluverkko. Suurjännitteisessä jakeluverkossa sähköä siirretään 110 kV:n jännitteellä pidempiä etäisyyksiä käyttämällä suuria tehoja. Suurjänniteverkko liittyy HSV:n Suomen kantaverkkoon ja toimii myös alustana suurempien tuottajien sekä kuluttajien liittämiseksi sähköverkkoon. Keski- ja pienjännitteisessä jakeluverkossa sähköä siirretään asiakkaille pienemmillä jännitteillä ja tehoilla lyhyempien etäisyyksien päähän. Kuvassa 5 havainnollistetaan HSV:n toiminta-alueita sähköntuotannon ja -kulutuksen välillä.



Kuva 5. HSV:n toiminta-alue [1].

Suomen olosuhteissa HSV:n sähköverkon rakenne on siinä mielessä poikkeuksellinen, että suurkaupunkiympäristöstä johtuen myös sen suurjännitteisen jakeluverkon kaapelointiaste on korkea. Maakaapeleita verkosta on jopa 35 % eli noin 71,6 kilometriä. Suurjännitekaapelin määränä tämä on enemmän kuin yhdelläkään toisella suomalaisella verkonhaltijalla. [15.] Tämä johtuu siitä, että tiivistä rakennetussa kaupungissa ei ole tilaa avojohtojen vaatimille leveille johtokaduille, mutta sähkötehon tarve on suuri ja verkolta vaaditaan korkea käyttövarmuus. Kuvassa 6 on listattu muita HSV:n sähköverkkoa kuvaavia tilastotietoja.



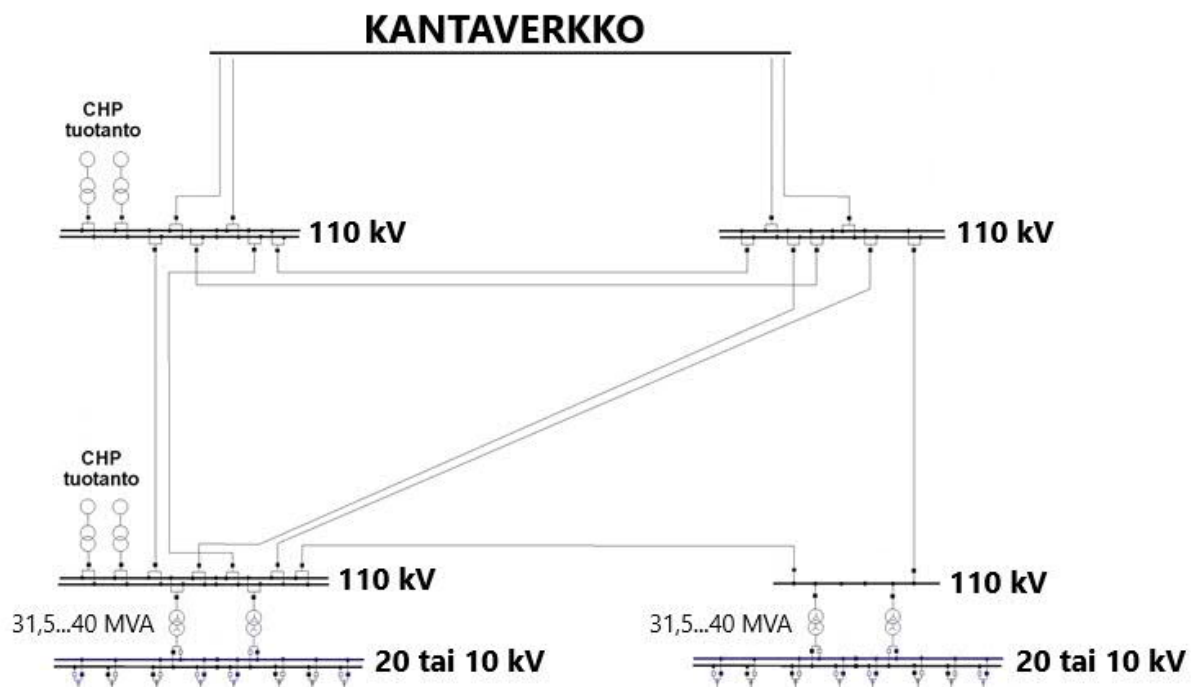
Kuva 6. HSV:n sähköverkon tilastotietoja vuodelta 2017 [15; 23].

### 3.1 Suurjänniteverkko

Sähkömarkkina-alueissa käytetään termiä *suurjännitteinen jakeluverkko* kaikista paikallisista tai alueellisista sähköverkoista ja -johdoista, joiden nimellisjännite on vähintään 110 kV ja ne eivät ylitä valtakunnan rajaa, eivätkä toimi liittymisjohtoina. [12, § 3.] Näistä verkonosista käytetään alalla usein myös vanhan sähkömarkkinalain mukaista termiä *alueverkko*.

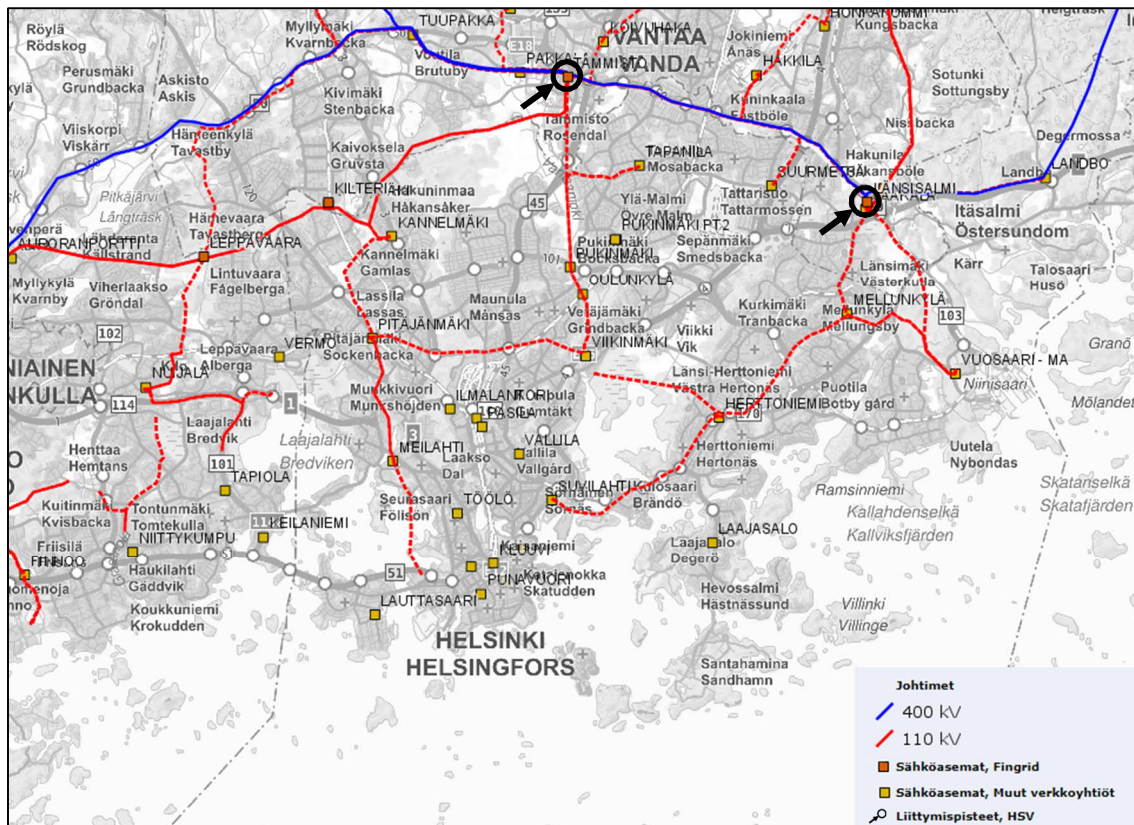
#### 3.1.1 Suurjännitteinen jakeluverkko

HSV:n suurjännitteinen (jäljempänä SJ) jakeluverkko muodostuu 110 kV:n siirtoyhteisistä, asiakasliittymistä ja päämuuntajien liitännöistä. Verkko koostuu avojohdoista ja pääosin kantakaupungissa käytettävistä maakaapeleista. Rakenteeltaan verkko on tehty silmukoiduksi ja sitä myös käytetään pääosin suljetussa silmukassa. Silmukoitu rakenne ja käyttö parantavat sähkön toimitusvarmuutta, pienentävät siirrossa syntyviä tehohäviöitä ja mahdollistavat suurimmassa osassa verkon huolto- ja vikatilanteita sen katkottoman käytön. SJ-verkkoon liitetyt 110 kV:n liittymisjohdot, jotka toimivat sähkön jakelussa suuremmille kuluttajille ja sähköverkkoon liityntänä tuottajille ovat rakenteeltaan säteittäisesti toteutettuja. Verkon periaaterakennetta on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. HSV:n suurjännitteisen jakeluverkon periaaterakenne [24].

Kantaverkkoon HSV:lla on yhteys kahdelta eri Fingrid Oyj:n sähköasemalta. HSV:n suurjänniteverkko kytkeytyy kantaverkon sähköasemilla samaan 400/110 kV -muuntopiiriin kuin myös Vantaan Energian Sähköverkot Oy. Tämä tarkoittaa, että jakeluverkkoyhtiöiden suurjänniteverkot ovat tätä kautta galvaanisesti yhteydessä toisiinsa. Tällöin Vantaalla tapahtuvat suurjänniteverkon viat voivat näkyä myös Helsingissä. Kuvassa 8 on havainnollistettu pääkaupunkiseudun suurjännitteisen sähkönsiirtoverkon rakennetta ja HSV:n liittymispisteitä kantaverkkoon.



Kuva 8. Pääkaupunkiseudun SJ-avojohtoverkko sekä HSV:n liittämispisteet kantaverkkoon [25].

Pääkaupunkiseudun sähkön tuotanto ja kulutus vaihtelevat voimakkaasti vuodenaikojen mukaan, kun talviaikaan alueella on käytössä paljon CHP-tuotantoa (Combined Heat and Power) ja kesäaikaan tuotantoa taas ei ole juuri ollenkaan. Helsingin sähkötehon tarve kantaverkosta onkin suurimmillaan kesäaikaan. Viime vuosina on myös huomattu, että kesän ja talven kulu- tushuippujen erot ovat kaventuneet edellisiin vuosiin verrattuna, johtuen erilaisten viilennysjärjestelmien yleistymisestä Helsingissä. Lisäksi 2020-luvulla alueen sähkön tuotannosta ovat poistumassa Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitokset, minkä myötä Helsingin riippuvuus kantaverkosta tulee entisestään kasvamaan. [19, s. 55; 26; 18.]

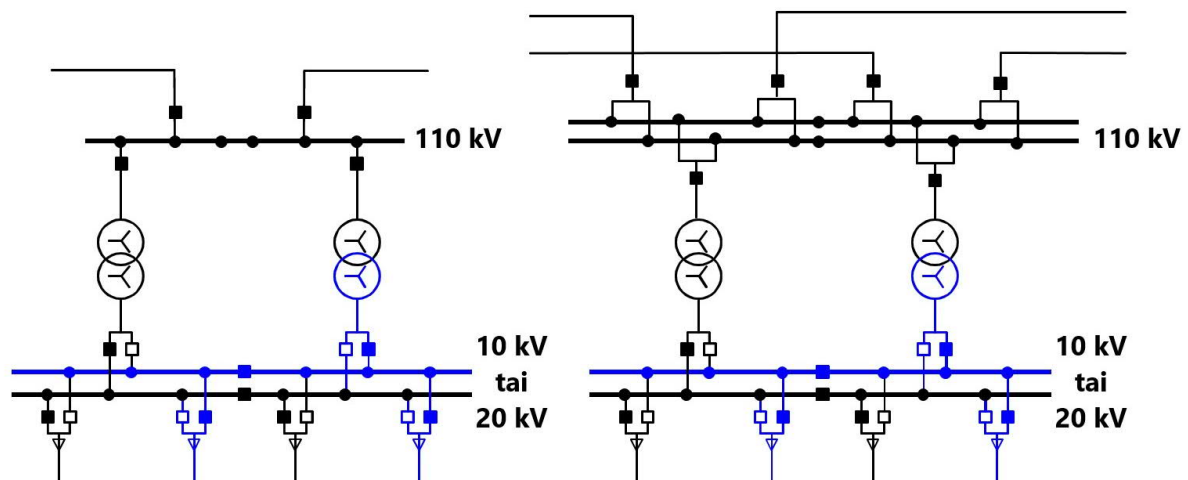
### 3.1.2 Sähköasemat

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista SJ-verkon osaa, jossa voidaan tehdä verkon kytkentöjä, rakenteen muutoksia tai muuntaa sen jännitetasoa toiseen. Sähköaseman tehtävänä on välittää sähköenergiaa siirtoverkosta jakeluverkkoon. Aseman pääkomponentteja ovat ylä- ja alajännitepuolen kiskostot, päämuuntajat, katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat. [27, s. 76.] HSV:n sähköasemat ovat suurjännitteisen jakeluverkon verkostokomponentteja, joissa tehdään verkon kytkentätoimenpiteitä tai muunnetaan 110 kV:n jännite keskijänniteverkon jännitetasoon.

HSV:ssa on käytössä johdonvarsi- ja solmupisteasemia. Johdonvarsi- ja solmupisteaseman pääasiallinen ero on siinä, että johdonvarsi-asemalla suurjännitteisen jakeluverkon johtolähtöjä on vain kaksi, kun taas solmupisteasemalla niitä on useampia. Johdonpääteasemia ei ole käytössä HSV:n jakeluverkossa. Tiheään rakennetussa kaupunkiympäristössä on harvoin tilaa AIS-kojeistoille (Air Insulated Switchgear) sähköasemille, siitä johtuen ne toteutetaan yleensä GIS-kojeistoina (Gas Insulated Switchgear) rakennuksien tai luolien sisään.

Sähköasemilla käytetään yläjännitepuolella pääasiassa SF<sub>6</sub>-eristeisiä GIS-kojeistoja, jotka ovat rakenteeltaan yksi- tai kaksikiskojärjestelmiä. Muutamalta asemalta löytyy kuitenkin vielä myös ilmaeristeisiä AIS-kojeistoja, jotka ovat rakenteeltaan kaksikisko apukiskojärjestelmällä toteutettuja. AIS-kojeistoista ollaan kuitenkin luopumassa asemien uudistuksien myötä. Alajännitepuolella on käytössä pääasiassa kaksikisko- tai Duplex-tyyppisiä kojeistoja. Sähköasemilla keskijännitekojeistojen eri ryhmät jaetaan usein erillisiin palo-osastoituihin tiloihin. Sähköasemilla on käytössä sekä ilma- että myös SF<sub>6</sub>-eristeisiä keskijännitekojeistoja.

Asemat varustetaan tyypillisesti kahdella 31,5 tai 40 MVA:n päämuuntajalla, jotka ovat normaalikäyttötilanteessa kytkettyinä eri kiskoille. Häiriötilanteessa kaikki sähköaseman takana oleva kulutus voidaan kytkentämuutoksilla siirtää, joko toiselle päämuuntajalle tai joissain tapauksissa aseman keskijännitekojeistoja voidaan syöttää toiselta sähköasemalta tulevilla reserviyhteyksillä. Päämuuntajat on varustettu yläjännitepuoleltaan käämikytkimellä, jonka avulla säädellään keskijänniteverkon jännitettä. Kuvassa 9 on havainnollistettu edellä mainittuja sähköaseman periaaterakenteita.



Kuva 9. Periaatekuva johdonvarsi- (vas.) ja solmupisteasemasta (oik.) [24].

## 3.2 Jakeluverkko

Jakeluverkolla tarkoitetaan sähkömarkkina-alueissa sähköverkon osaa, jonka nimellisjännite on alle 110 kV [12, § 3]. HSV:n jakeluverkko on toteutettu 20, 10 ja 0,4 kV:n jännitetasoilla. Jakeluverkko voidaan sen rakennetarkastelussa jakaa kolmeen eri osaan: keskijänniteverkko, muuntamot ja pienjänniteverkko.

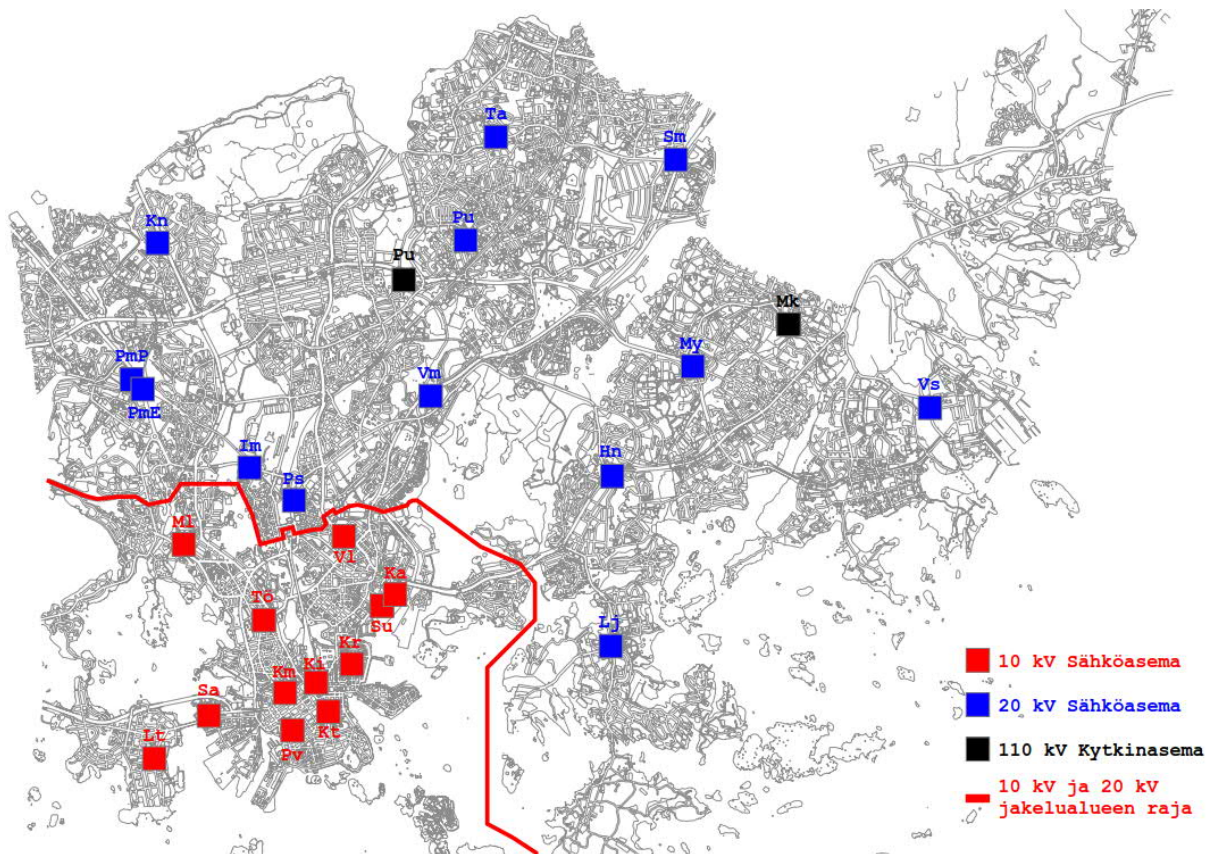
### 3.2.1 Keskijänniteverkko

Keskijännitteellä (jäljempänä KJ) tarkoitetaan standardissa SFS-EN 50160 jännitealuetta 1–36 kV. KJ-verkko toimii jakelureittinä sähköasemien ja muuntamoiden välillä. Verkko koostuu HSV:n omista jakelumuuntamoista, asiakasmuuntamoista, KJ-johdoista sekä niiden kytkinlaitteista.

Keskijänniteverkolla on suuri vaikutus verkon käyttövarmuuteen, sillä tyypillisesti jopa 90 % sähköverkon keskeytyksistä on seurausta sen vikatilanteista. KJ-verkolla on myös tärkeä rooli sähköasemien reserviyhteytenä vaikeissa 110 kV:n häiriötilanteissa. [28, s. 125.]

Helsingissä keskijänniteverkon kaapelointiaste on 99,7 %. KJ-verkossa käytetään kahta eri jännitetasoa, jotka ovat 10 ja 20 kV. Kantakaupungissa sekä sen lähiympäristössä käytetään 10 kV:n jakelujännitettä ja esikaupungissa (ts. muualla Helsingissä) on käytössä 20 kV:n jakelujännite. Tätä jakaumaa on havainnollistettu kuvassa 10.





Kuva 10. HSV:n KJ-jakelualueet sekä sähköasemien sijainnit.

Syy kahteen eri jakelualueeseen on lähinnä historiallinen ja juontaa juurensa vuonna 1946 tehtyyn suureen alueliitokseen, jonka yhteydessä liitettyjen alueiden 15 eri sähkölaitosta yhdistettiin Helsingin kaupungin sähkölaitokseen. Tällöin Helsinkiin liitetyillä uusilla jakelualueilla päätettiin käyttää 110/20 kV:n jakelujärjestelmää, kun puolestaan kantakaupungissa käytössä oli 35/5 kV:n järjestelmä. Kantakaupungin jakelujännitettä alettiin vuoden 1956 jälkeen nostamaan asteittain 10 kV:iin, joka saatiin päätökseen vuonna 1963. Useassa muussakin kaupungissa 10 kV:n jakelujännite on yleinen, sillä ennen 10 ja 20 kV:n maakaapeleiden hintaero on ollut merkittävä ja 20 kV:n jakelujännite ei ole ollut valtakunnallinen suositus. [28, s. 69; 29.]

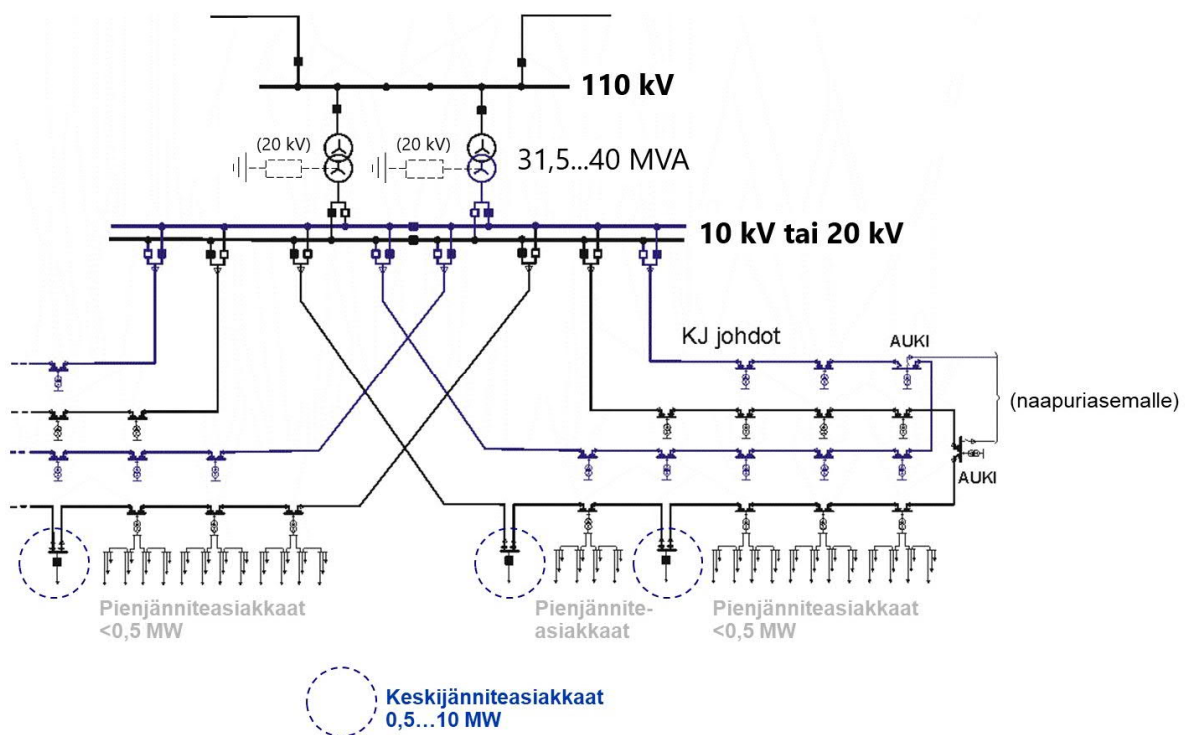
Tähän mennessä kantakaupungin jännitetason uuteen nostoon ei ole HSV:ssa nähty tarvetta. Periaatteessa se voisi kuitenkin vielä joskus olla mahdollista, sillä nykyään HSV:n keskijänniteverkossa käytetään verkon rakennuksessa 20 kV:n eristystasoa vastaavia komponentteja myös 10 kV:n verkossa. Tällä hetkellä asennettavat kaapelit ja kojeistot on siis mitoitettu 24 kV:n nimellisjännitteelle ja uudet muuntajat sopivat molempiin verkkoihin, sillä ne on varustettu 10 kV:n väliottokytkimillä. Jännitteen nostaminen 20 kV:n kantakaupungissa olisi kuitenkin käytännössä mahdotonta kymmeneen vuosiin, vaikka kaikki HSV:n verkostokomponentit olisi



vaihdettu 20 kV:n eristystasoa vastaaviin. Tämä johtuu siitä, että kantakaupungin alueella on myös paljon asiakkaiden omistamia muuntamoita, joissa tähän ei ole millään tavoin varauduttu.

## Topologia

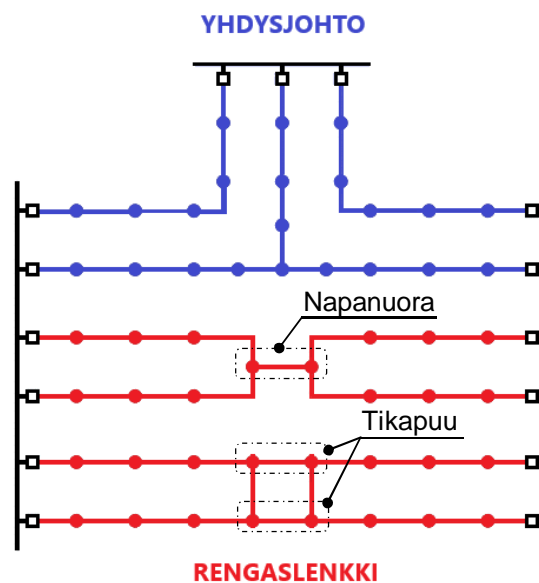
Helsingin keskijänniteverkko on rakenteeltaan silmukoitu, mutta sen käyttötapa on säteittäinen, eli silmukkaa käytetään avoimena. KJ-verkko on 10 kV:n jakelualueella maasta erotettu ja 20 kV:n alueella siinä käytetään maasulkuvirran kompensointia. 10 kV:n jakelualueella maasulkuvirran kompensointia ei tarvita, sillä sen maasulkuvirrat ovat vain neljäsosan 20 kV:n alueen virroista. [30.] KJ-verkko on rakennettu toimimaan (N-1)-periaatteella, joka mahdollistaa vikakohdan erottamisen ja sähköjen palauttamisen minkä tahansa yksittäisen komponentin vikaantumisen jälkeen. KJ-verkon periaaterakennetta on havainnollistettu kuvassa 11.



Kuva 11. HSV:n keskijänniteverkon periaaterakenne [24].

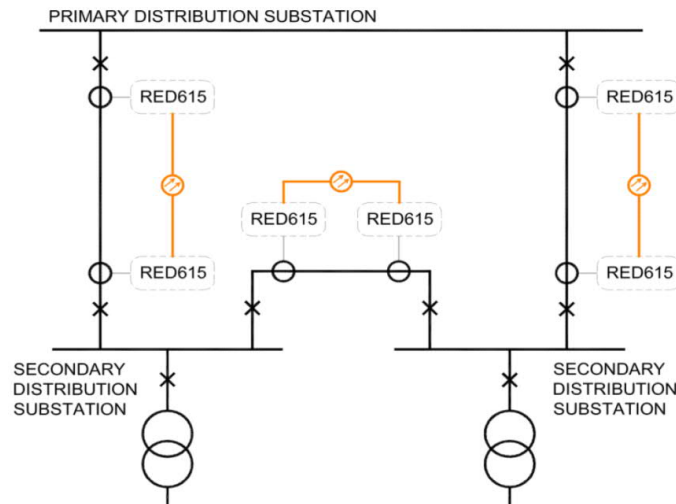
Helsingissä on ajansaatossa ollut käytössä useita erilaisia keskijänniteverkon malleja. Yleisimpiä rakennettuja verkkomalleja ovat olleet erilaiset yhdysjohdot ja rengaslenkit. Yhdysjohdot ovat sähköasemien näkökulmasta yksittäisiä johtolähtöjä, jotka yhdistävät eri asemat toi-

siinsa. Rengaslenkit puolestaan muodostavat aseman eri lähtöjen välille avoimena käytettävän renkaan, joka usein yhdistyy myös toisien sähköasemien rengaslenkkeihin ja muodostaa näin ollen silmukoidun verkkorakenteen. Sähköasemien rengaslenkkien väliset yhdistykset toteutetaan yleensä niin kutsutuilla napanuora- tai tikapuu yhdistyksillä. Napanuorayhdistyksessä rengaslenkkien välille muodostuu väliyhteys ainoastaan kahden muuntamon välille. Tikapuumallissa puolestaan rengaslenkit yhdistetään useamman muuntamon välityksellä, joka mahdollistaa napanuorayhdistystä suuremman kuormituksen ja useamman eri kytkentäkominaation. Etenkin sähköasemahäiriöiden aikaisten reserviyhteyksien käytössä rengaslenkkien tikapuumalli on kyseiseen käyttötarkoitukseen paremmin sopiva. [31, s. 42.] KJ-verkon eri malleja on havainnollistettu kuvassa 12.



Kuva 12. HSV:n sähköasemien väliselle KJ-verkolle tavanomaisia malleja, muokattu [31 s. 42].

Jakelualueella on käytössä myös yksi suljettu KJ-rengasverkko (ks. kuva 13). Rengasverkko on osa Kalasataman alueen älykkäiden energiaratkaisujen konsortiohanketta, jossa kyseinen verkstorakenne toteutettiin yhteistyössä ABB:n kanssa. Verkko koostuu kahdesta Kalasataman sähköaseman 10 kV:n johtolähdöstä, jotka muodostavat suljetun renkaan ja mahdollistavat sen syöttämille asiakkaille sähkönjakelun, jossa kaapeliyhteyden vikaantumisen ei aiheuta jakelukeskeytystä. Rengasverkko on siinä mielessä poikkeuksellinen, että myös sen muuntamoiden kojeistoilla on käytetty sähköasemille tyypillisiä prosessilaitteita ja viestintäväyliä, mutta myös uusia sensoritekniikkaa hyödyntäviä katkaisijoita. [32.]



Kuva 13. Kalasataman KJ-renkasverkon periaaterakenne [32].

## Suojaus

Keskijänniteverkon suojaus toteutetaan pääsääntöisesti sähköasemilla sijaitsevilla katkaisijoilla ja niihin liitetyillä releillä (ylivirta-, maasulku- ja jälleenkytkentärele). Releet suojaavat sähköaseman johtolähtöjä mm. ylikuormitukselta sekä oiko- ja maasuluilta. KJ-verkossa välikatkaisijoiden ja kytkemöiden käyttö on harvinaisempaa. [28, s. 125, 176.]

Keskijänniteverkon kaapeleita suojataan ylikuormitukselta sekä verkossa tapahtuvilta oiko- ja maasuluilta. Oikosulkuutilanteessa vikaantunut johtolähtö kytketään aina katkaisijatoiminnolla pois verkosta, jonka jälkeen vikaantunutta muuntamoväliä lähdetään paikantamaan. HSV:n KJ-verkossa oikosulkua tai kaksoismaasulkua ei koskaan haeta jälleenkytkennällä, sillä vikoina ne ovat luonteeltaan miltei aina pysyviä ja lisäkokeilut voivat aiheuttaa vikapaikalla lisä- tuhoja tai toistuvia jännitekuoppia sähköaseman muulla jakelualueella. Vikavälin löydyttyä se erotetaan verkosta paikallis- tai etäkytkennöin muuntamoiden kuormanerotimilla, jonka jälkeen sähkö voidaan palauttaa johtolähdölle silmukoidun verkostorakenteen ansiosta. [33.]

Maasulkusuojaus toimii hälyttävänä koko HSV:n jakelualueella. Hälyttävän maasulkusuojaus- sen käyttö tarkoittaa, että verkolla tapahtuvat maasulut eivät aiheuta asiakaskeytyksiä ja verkon käyttöä voidaan jatkaa normaalisti, kunnes vikaantunut erotinväli löydetään. Verkkoa voidaan käyttää maasulussa, mikäli maasulkuvirta ja maadoitusjännite täyttävät SFS 6001

standardin raja-arvot ja käyttöä ei jatketa yhtäjaksoisesti yli kahta tuntia. Mikäli vikapaikka onnistutaan tässä ajassa paikallistamaan ja se ei aiheuta vaaraa sivullisille, voidaan maasulussa käyttö jatkaa myös pidempään. [30; 33.]

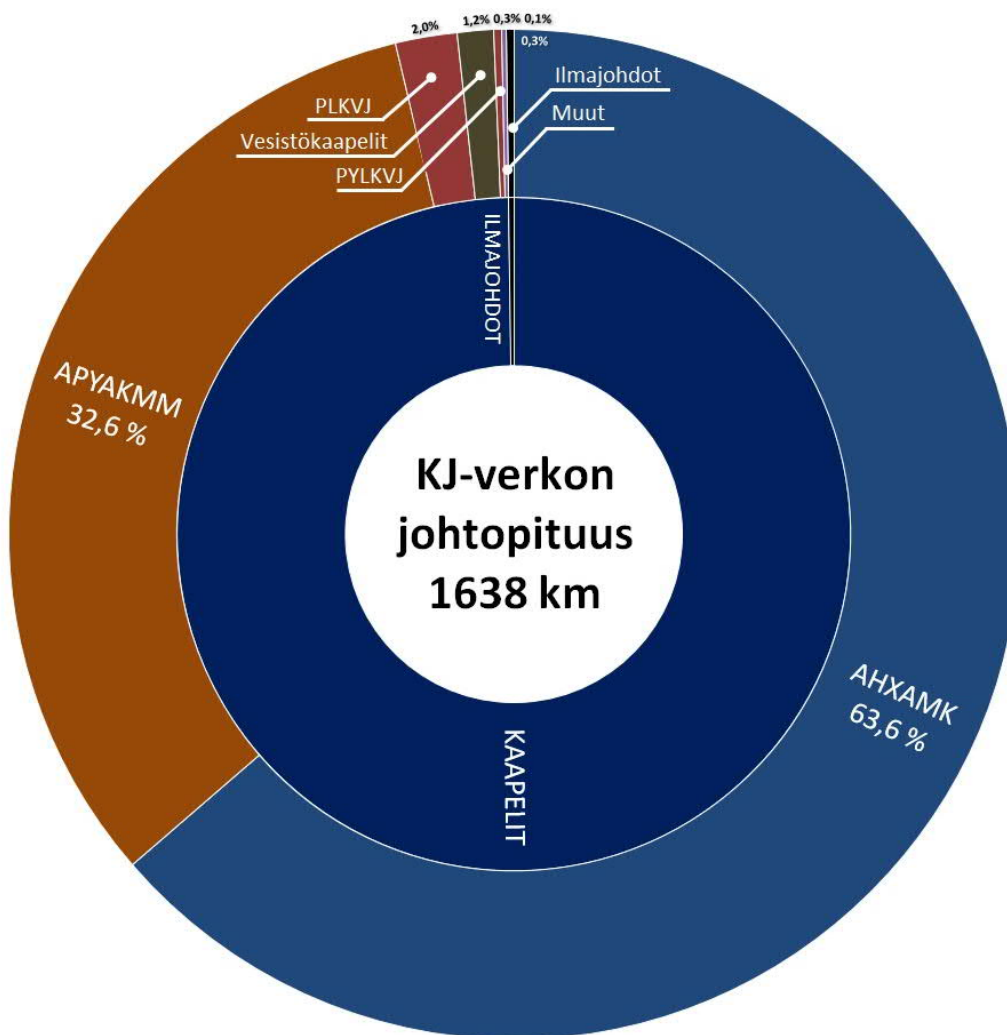
## Johtorakenne

HSV:n keskijänniteverkossa on pääsääntöisesti käytössä poikkipinnaltaan 185 ja 240 mm<sup>2</sup>:n maakaapeleita (97 % maakaapeleista). Vanhimmat käytössä olevat kaapelit ovat 1950-luvulta peräisin olevia öljypaperieristeisiä kaapeleita. Yleisin KJ-verkossa käytössä oleva kaapelityyppi on muovieristeinen AHXAMK, joka on ollut käytössä 1980-luvulta eteenpäin ja on nykyään ainut verkon rakentamisessa käytettävä kaapelityyppi. Vuodesta 1988 eteenpäin KJ-verkkoon on pääasiassa asennettu poikkipinnaltaan vain 240 mm<sup>2</sup>:n maakaapeleita. Kuitenkin osassa verkon sähköasemalähdöistä käytetään ensimmäisellä muuntamovälillä myös 300 mm<sup>2</sup>:n kaapeleita, jotka mahdollistavat lähdöiltä suuremman kuormitettavuuden.

Öljypaperieristeiset kaapelit eli ns. massakaapelit ovat olleet laajasti käytössä keski- sekä pienjänniteverkossa aina 1980-luvulle asti, kun ne alkoivat korvaantua muovieristeisillä kaapeleilla. Kaapelissa on eristeaineena käytetty kyllästettyä paperia, jonka kyllästyksen on käytetty massamaista kyllästeöljyä. Massan suhteellisen kiinteä rakenne on mahdollistanut sen, että pienillä korkeuseroilla kaapeleissa ei tapahdu huomattavaa massan valumista, joka voisi johtaa kaapelin vikaantumiseen. Öljypaperieristeistä kaapelia ei pidä kuitenkaan sekoittaa öljykaapelin, jossa käytetään pieni viskositeettista öljyä, jonka puolestaan kuuluu päästä esteetömästi virtaamaan kaapelin sisällä. [34, s. 11.] Öljykaapeleita on ennen käytetty HSV:n suurjännitteisessä jakeluverkossa, jossa niitä on edelleen pieni määrä käytössä SJ-asiakasliitännöissä.

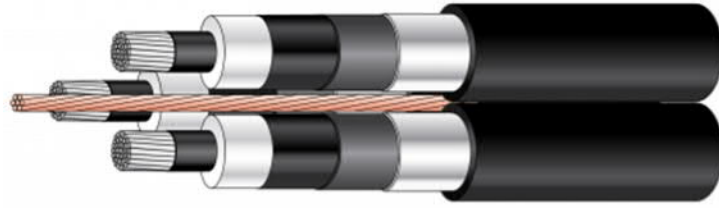
HSV:n keskijänniteverkon kaapelointiaste on korkea, mutta ilmajohtoja on edelleen käytössä noin 4 kilometriä (0,3 % johtopituudesta). KJ-ilmajohtoja on nykyään käytössä lähinnä saaristoissa, joissa maaperä on usein kallioista ja ilmajohtojen maakaapeloinnilla saavutettavat hyödyt sen kustannuksiin nähden pieniä. KJ-verkon johtotyyppien jakauma vuonna 2018 on esitetty kuvaajassa 2.

## KJ-verkon kaapelityypit 2018



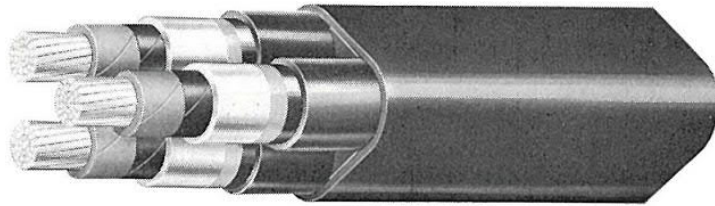
Kuvaaja 2. HSV:n keskijänniteverkon kaapelityypit vuonna 2018 [22].

AHXAMK-W (ks. kuva 14) ja AHXAMK-WP ovat yleisimpiä Suomessa käytössä olevia keskijänniteverkon kaapelityyppejä. AHXAMK-W-kaapeli koostuu kolmesta kuparisen keskusköyden ympärille kerratusta vesitiiviistä alumiinisesta yksivaihekaapelista. Vaihejohtimet kaapelissa on päällystetty puolijohtavalla johdinsuojalla, pääeristyskerroksella, puolijohtavalla hohotosuojakerroksella, kosketussuojalla ja säänkestävällä PE-muovilla. Ero AHXAMK-W- ja AHXAMK-WP-kaapeleiden välillä on se, että jälkimmäisessä kaapelityypissä ei ole kuparista keskusköyttä. [35, s. 17.]



Kuva 14. AHXAMK-W keskijännitekaapeli [36].

APYAKMM (ks. kuva 15) ja APYAKMT ovat alumiinijohtimisia 10 tai 20 kV:n maakaapeleita, joissa ulkokuoren suojana ei ole armeerausta. Kaapeleissa on erilliset johtimet, jotka on eristetty valumattomalla massalla (öljyllä) kyllästetyllä paperilla ja suojattu alumiini- sekä muovikerroksella. APYAKMM-kaapelin ulkokuori on muovia, kun taas APYAKMT-kaapelin ulkokuori on kyllästettyä juuttinauhaa. [37, s. 15.] Helsingissä APYAKMM-kaapelia on käytössä vielä noin 534 kilometriä ja sitä löytyy molemmilta jännitealueilta. APYAKMT-kaapelia on käytössä enää noin kilometrin verran ja sitä löytyy lähinnä esikaupunkialueelta. Käytössä olevien kaapeleiden asennusajankohdat vaihtelevat 1950–1990-lukujen välillä.



Kuva 15. APYAKMM keskijännitekaapeli [38, s. 28].

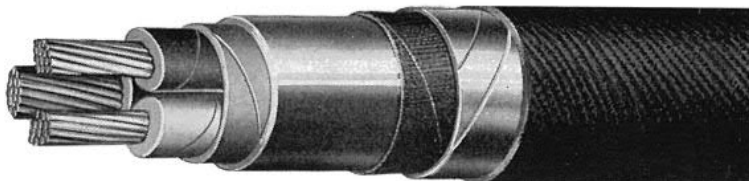
PLKVJ (ks. kuva 16) on kuparijohtiminen 10 kV:n maakaapeli, joka on vannerauta-armeerattu ja päällystetty bitumoidulla juuttiköydellä. Johdineristeenä kaapelissa toimii öljyllä kyllästetty paperi ja vaippamateriaalina lyijykerros. [39, s. 14.] Helsingissä kaapelia on käytössä vielä noin 32 kilometriä ja sitä löytyy ainoastaan kantakaupungin alueelta. Käytössä olevien kaapeleiden asennusajankohdat vaihtelevat 1940–1970-lukujen välillä.

**MAAKAAPELIT**

PAPERIERISTEISET, ARMEERATUT

Tyyppimerkintä **PLKVJ**Nimellisjännite, U = **10 kV****3-JOHDIN-  
KAAPELIT**

VDE 0255/4. 60.



Kuva 16. PLKVJ keskijännitekaapeli [39, s. 14].

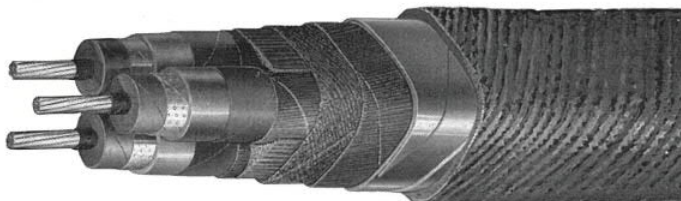
PYLKVJ (ks. kuva 17) on kuparijohtiminen 20 kV:n maakaapeli, joka on rakenteeltaan samankaltainen kuin PLKVJ, mutta siinä on erilliset vaihejohtimet, jotka on suojattu myös metalloidulla pintakerroksella (korroosiosuojalla). [39, s. 17.] Helsingissä kaapelia on enää käytössä noin neljä kilometriä, lähinnä esikaupungin jakelualueella. Käytössä olevien kaapeleiden asennusajankohdat vaihtelevat 1950–1970-lukujen välillä.

**MAAKAAPELIT**

PAPERIERISTEISET, ARMEERATUT

Tyyppimerkintä **PYLKVJ**Nimellisjännite, U = **20 kV****3-JOHDIN-  
KAAPELIT**

VDE 0255/4. 60.



Kuva 17. PYLKVJ keskijännitekaapeli [39, s. 17].

Lisäksi HSV:n verkkoalueella on käytössä noin 19 kilometriä erilaisia vesistökaapeleita, joiden rakenteet poikkeavat maakaapeleista johtuen niiden erilaisen käyttöympäristön niihin kohdistamasta rasituksesta. Yleisimpiä vesistökaapeleista ovat AHXAMK-tyyppiset kaapelit (65 % vesistökaapeleista), joiden lisäksi käytössä on mm. PLKPJJ- ja AHPLKPJJ-tyyppisiä kaapeleita.



### 3.2.2 Muuntamot ja kytkemöt

Muuntamalla tarkoitetaan keskijänniteverkkoon liitettyä verkostokomponenttia, jossa suurempi jakelujännite muunnetaan tavallisia sähkönkäyttäjiä palvelemaan 0,4 kV:n pienjännitteeseen. Jakelumuuntamon pääkomponentteja ovat keskijännitekojeisto, muuntaja, pienjännitekeskus, pienjännitejohtolähdöt sekä mahdolliset apujännitejärjestelmät. [28, s. 157.]

HSV:n keskijänniteverkkoon liittyy sen omia jakelumuuntamoita ja keskijänniteliittyjen omistamia asiakasmuuntamoita. Muuntamon eri komponentteja on havainnollistettu kuvassa 18.



Kuva 18. Jakelumuuntamon pääkomponentit.

Kytkemö on keskijänniteverkon kytkentämuutoksiin tarkoitettu verkostokomponentti. Kytkemön pääkomponentit ovat keskijännitekojeisto sekä sen mahdolliset apujännitejärjestelmät, jotka sen rakenteessa on yleensä pyritty sovittamaan mahdollisimman pieneen tilaan. Kytke-möitä HSV:n verkkoalueella on noin 20 kappaletta.

#### Muuntamoiden kokoonpanot

Maakaapeloidussa keskijänniteverkossa käytetään jakelumuuntamoiden toteutuksessa kahta eri muuntamotyyppiä, jotka ovat puisto- tai kiinteistömuuntamo. Muuntamotyyppin valintaan vaikuttaa lähinnä sen sijoituspaikan ympäristöolosuhteet. Tiheään rakennetussa taajamassa on harvemmin tilaa maanpäällisille jakelumuuntamoille, joten muuntamoita joudutaan sijoittamaan muuta tarkoitusta palveleviin rakennuksiin tai tiloihin. [40, s. 6.]

HSV:n omistamista muuntamoista noin 65 % on kiinteistömuuntamoita ja 30 % puistomuuntamoita. Puistomuuntamoista käytetään HSV:ssa yleensä termiä erillismuuntamo. Erillismuuntamot ovat sähköverkon käyttöön tarkoitettuihin erillisiin kiinteisiin rakenteisiin tai puistomuuntamokoppeihin toteutettuja muuntamoita. Kiinteistö- ja erillismuuntamoiden lisäksi verkkoalueelta löytyy useita tilapäismuuntamoita, jotka rakenteeltaan ovat kuitenkin puistomuuntamotyyppisiä (5 % HSV:n muuntamoista). Kuvassa 19 on esitetty havainnollistukset näistä muuntamotyypeistä.



Kuva 19. Esimerkkikuvat erillismuuntamosta (vas.) ja kiinteistömuuntamosta (oik.).

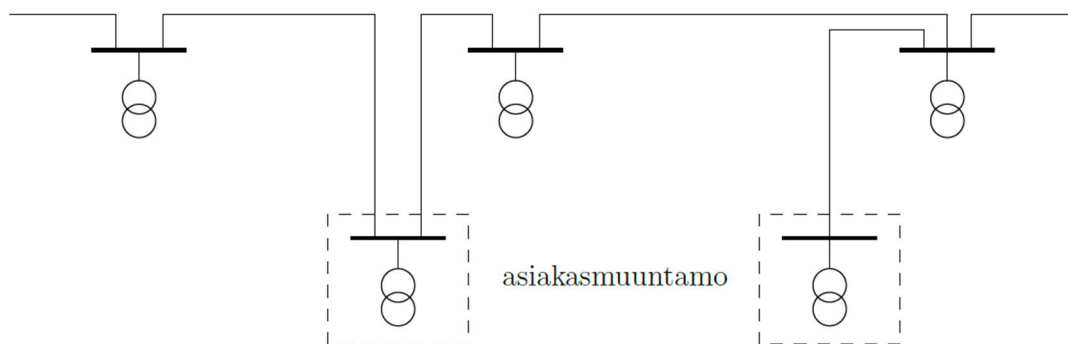
Tilapäismuuntamo on yleensä lyhytaikaista tai lyhytaikaisesti sähköntarvetta palveleva erillismuuntamo. Tilapäismuuntamoita käytetään yleensä tilanteissa, joissa alueella ei vielä ole pysyviä muuntamoita tai niiden muuntokapasiteetti ei ole riittävä sen hetkiseen tarpeeseen. Tilapäismuuntamoita käytetään suurten yksittäisten työmaiden tai uudisrakennuskohteiden yhteydessä, mutta niitä voidaan käyttää myös verkon pysyvien muuntamoiden vikaantumisten tai uudistusten yhteydessä minimoimaan asiakaskeskeytykset. Rakennuskohteissa tilapäismuuntamoita käytetään yleensä siksi, että alueellisia kiinteistömuuntamoita ei ole vielä rakennettu tai työmaan sähkötehon tarve ylittää olemassa olevan verkon muuntokapasiteetin.

Osa HSV:n kiinteistö- ja erillismuuntamoista on rakenteeltaan kaksoismuuntamotyyppisiä. Kaksoismuuntamossa sen komponentteja on kahdennettu joko muuntokapasiteetin tai verkon kytkentämuutosmahdollisuuksien kasvattamiseksi. Tyypillisesti kahdennettuja komponentteja ovat muuntaja, kojeisto ja muuntamovalvontalaitteet. Pienjännitekeskukset voivat joissain tapauksissa olla erikseen kaksoismuuntamolle tarkoitettuja kiskoerottimella varustettuja malleja.

## Liitäntä keskijänniteverkkoon

HSV:n keskijänniteverkossa muuntamoiden syöttö toteutetaan yleensä aina kahdesta eri syöttösuunnasta, jolloin muuntamo on osa silmukkaverkkoa ja sitä voidaan tarvittaessa syöttää toiselta johtolähdöltä tai jopa toiselta sähköasemalta. Asiaksmuuntamot liittyvät yleensä sähköverkkoon osana silmukkaverkkoa, mutta joissain tapauksissa ne voivat liittyä myös säteittäisesti.

Lähes kaikilla HSV:n verkkoalueen muuntamoilla on vähintään kaksi mahdollista syöttösuuntaa. Liityntöjä on havainnollistettu kuvassa 20.



Kuva 20. Jakelu- ja asiaksmuuntamoiden liityntätavat keskijänniteverkkoon, muokattu [31, s. 45].

## Keskijännitekojeistot

Keskijännitekojeisto on KJ-verkon kytkentään, suojaukseen, ohjaukseen sekä valvontaan käytettävä verkostokomponentti. KJ-kojeistot voidaan jakaa käyttöolosuhteiden (sisä- tai ulkokojeisto), rakenteen (avorakenne tai koteloitu) ja siinä käytettävän eristeaineen mukaan (Ilma tai SF<sub>6</sub>-kaasu). [27, s. 117.]

Ennen avorakenteiset sisäkojeistot ovat olleet yleisiä, mutta nykyään suositaan enemmän suljettuja kojeistoja, jotka on kosketussuojattu koteloimalla jännitteiset osat kokonaan (ks. kuva 21). Vanhat avokojeistot on yleensä rakennettu paikan päällä muuntamoissa, mutta uudet kojeistot ovat usein tehdasvalmisteisia. Suomessa käytössä olevat avorakenteiset kojeistot ovat yleisesti yli 30 vuotta vanhoja ja niiden kuormanerottimien käyttö on riskialtista. Avorakenteisten kojeistojen käytössä esiintyykin suuri valokaarivahingon vaara. [27, s. 120; 40, s. 21.]



Kuva 21. Esimerkkikuvat avorakenteisesta (vas.) ja koteloidusta (oik.) keskijännitekojeistoista.

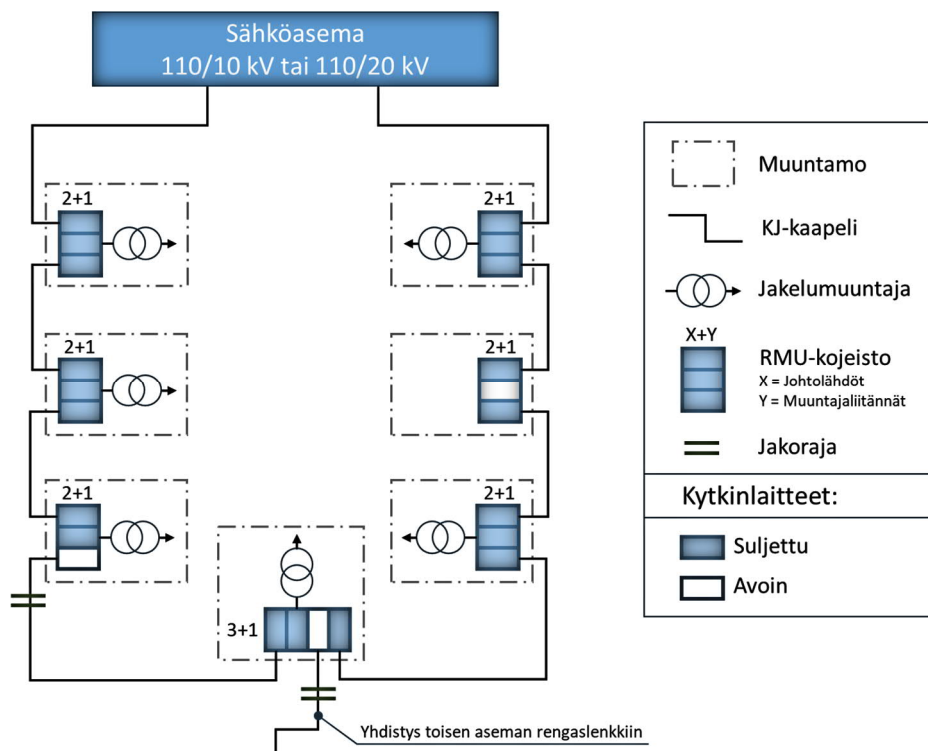
Energiatallisuuden verkostosuosituksissa avorakenteisten kojeistojen riskeistä johtuen suositellaan niiden korvausta koteloiduilla SF<sub>6</sub>- tai ilmaeristeisillä kojeistoilla aina, kun siihen tulee sopiva tilaisuus. Kuvassa 22 on vikatilanne kesältä 2018, jolloin kuorma-auton kuljettaja ajoi liian lähellä HSV:n vanhaa erillismuuntamoaa ja osuessaan siihen aiheutti avorakenteisen keskijännitekojeiston kiskostoihin ensin maasulun, joka sitten levisi kolmivaiheiseksi oikosuluksi aiheuttaen jakelukeskeytyksen ko. muuntamon asiakkaille. [40, s.21; 41.]



Kuva 22. Avorakenteisen keskijännitekojeiston vikatilanne kesältä 2018.



HSV:n muuntamoiden keskijännitekojeistoina on käytetty vuodesta 1986 lähtien miltei yksinomaan SF<sub>6</sub>-eristeisiä RMU-kojeistoja (87 % kojeistoista). RMU-kojeisto (Ring Main Unit) on silmukoituun KJ-kaapeliverkkoon tarkoitettu SF<sub>6</sub>-eristeinen kuormanerotinkojeisto, joka mahdollistaa muuntajan liittämisen verkkoon ja sen erottamisen molemmista syöttösuunnista [27, s. 138]. RMU-kojeistoilla toteutettua KJ-verkkoa on havainnollistettu kuvassa 23. Johtolähtöjen kennot kojeistoissa ovat kuormanerotintyyppisiä. Muuntajalähtöjen kennot ovat tyypiltään varokekuormanerotimia, jotka on varustettu muuntajien suojalaitteena toimivilla SJ-sulakkeilla.



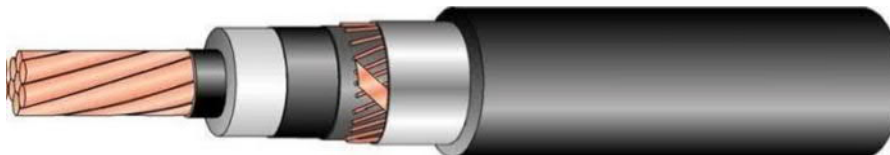
Kuva 23. RMU-kojeistoilla toteutetun keskijänniteverkon periaaterakenne.

HSV:n jakeluverkossa on SF<sub>6</sub>-eristettyjen kojeistojen lisäksi käytössä vielä myös huomattava määrä vanhoja ilmaeristeisiä kojeistoja. Pääosa kojeistoista on koteloituja, mutta verkkoaluelta löytyy myös verkko- tai peltirakenteisia keskijännitekojeistoja, joista ollaan luopumassa muuntamouudistusten yhteydessä.

Kojeistoista käytetään suunnittelussa yleensä nimityksiä kuten: 2+1, 3+1 ja 4+0 -kojeisto, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa kojeiston johtolähtöjen ja jälkimmäinen sen muuntajaliitännöiden määrää. Esimerkiksi 3+1 -kojeiston tapauksessa se on verkon solmupisteeseen tarkoitettu kojeisto ja siihen voidaan liittää KJ-verkon kolme eri johtolähtöä sekä yksi muuntaja.

### Muuntajaliitäntä

Keskijännitekojeiston ja muuntajan välisenä syöttökaapelina käytetään HSV:ssä pääsääntöisesti HXCMK 1x35/16 -keskijännitekaapelia (ks. kuva 24). HXCMK on PEX-eristeinen yksijohdinkaapeli, jonka johdinmateriaali on kupari ja siinä on konsentrinen kuparijohdin. Kaapelin rakenne vähentää muuntajaliitännän ympäristöön aiheuttamia häiriöitä. Vanhempia muuntajaliitännätkäapeleita ovat HMCMK- tai AHMCMK-tyyppiset kaapelit.



Kuva 24. Muuntajaliitäntään käytetty HXCMK keskijännitekaapeli [36].

Vanhempien avorakenteisten muuntamoiden muuntajaliitännöissä on HSV:ssä käytetty myös keskijännitekojeiston ja muuntajan välissä paljaita kuparijohtimia. Eri muuntajaliitännöitä on havainnollistettu kuvassa 25.



Kuva 25. Esimerkkikuvat kuparijohtimilla (vas.) ja kaapeilla (oik) tehdyistä muuntajaliitännöistä.



## Muuntajat

HSV:n jakelumuuntajat ovat rakenteeltaan joko paisuntasäiliöllisiä tai hermeettisesti suljettuja. Muuntajien keskijänniteliitynnät on toteutettu joko kosketussuojaamattomilla avopäätteillä tai kosketussuojatuilla pistokepäätteillä. 1980-luvun puolivälistä lähtien käytössä on ollut ainoastaan hermeettisesti suljettuja muuntajatyyppejä. 1990-luvulla muuntajiin on otettu käyttöön myös kosketussuojatut pistokeliitännät ja 10/20 kV:n vaihtokytkin. [42.] Muuntaja-asennuksien eri toteutustapoja on havainnollistettu kuvassa 26.

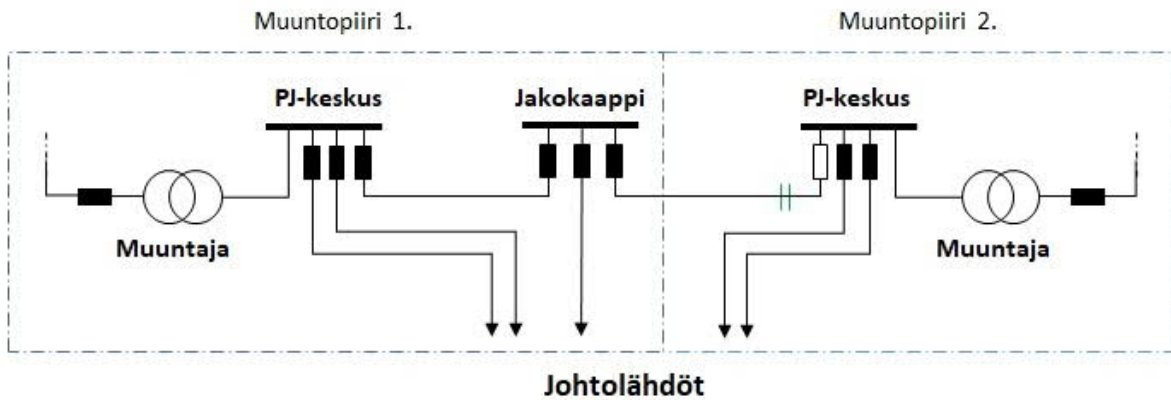


Kuva 26. Esimerkkikuvat vuosina 1983 (vas.) ja 2013 (oik.) tehdyistä muuntaja-asennuksista.

HSV:n jakelumuuntamoissa yleisimmät muuntajakoot ovat 630, 800 tai 1 000 kVA (89 % muuntajista), joiden lisäksi käytössä on myös huomattava määrä 500 kVA:n muuntajia. Uudet muuntajat ovat yleensä nimellisjännitteeltään 20 kV:n muuntajia, jotka on varustettu 10 kV:n väliottokytkimellä.

## Pienjännitekeskukset

Muuntamoiden yhteydessä pienjännitekeskuksella tarkoitetaan muuntamossa sijaitsevaa jakeluverkkokeskusta, joka on liitetty muuntajan alajännitepuolelle ja yhdistää muuntajan yhteen tai useampaan pienjännitejohtolähtöön. Pienjännitekeskuksessa toteutetaan muuntopiirin johtolähtöjen oikosulkusuojaus sulakkeilla, jotka on asennettu jonovarokeytkimiin. Keskuksella voi olla liitännämahdollisuus yhteen tai useampaan pienjännitesyöttöön. Keskuksen syöttö voi tulla muuntamon omalta muuntajalta (tai muuntajilta), mutta tarvittaessa se voi tulla myös vierisistä muuntopiireistä (ks. kuva 27). Pienjännitekeskuksesta käytetään usein myös termiä pienjännitekojeisto.



Kuva 27. Muuntopiirien yksinkertaistettu periaaterakenne.

HSV:n muuntamoiden pienjännitekeskuksissa käytetään pääsääntöisesti 400 A:n jonovarokeytkimiä, joiden määrä vaihtelee keskus- ja muuntamotyypistä riippuen. Uudismuuntamoiden keskuksissa lähtöjä on yleensä 14 ja uudistuskohteissa puolestaan 12. Vanhojen muuntamoiden keskuksia ovat tyypillisesti 10- tai 12-paikkaisia, mutta käytöstä löytyy myös muun kokoisia keskusmalleja. Kaksoismuuntamoiden keskuksissa lähtöjä on yleensä 20. Pienjännitekeskusten ja muuntajien väliset liitännät on yleensä toteutettu kiskosiltojen tai ns. suurvirtaaapeloinnin avulla. Erilaisia pienjännitekeskuksia on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Esimerkkikuvat muuntamon (vas.) ja kaksoismuuntamon (oik.) pienjännitekeskuksista.

Kiskosiltojen materiaalina on käytetty alumiinia sekä kuparia. Rakenteeltaan kiskosillat voivat olla joko kiinteitä tai taipuisia. Kiinteärakenteiset kiskosillat ovat yleisiä vanhemmissa muuntamoissa, mutta uusien tai uusittavien muuntamoiden yhteydessä niitä ei enää käytetä, vaan

niiden sijasta usein hyödynnetään taipuisaa kiskosiltaliitintää. Taipuisa kiskoliitintä mahdollistaa muuntajan ja pienjännitekeskuksen asentamisen seläkkäin, joka puolestaan mahdollistaa pienemmät muuntamotilat. Eri kiskosiltaliitintöjä on havainnollistettu kuvassa 29.



Kuva 29. Esimerkkikuvat kiinteällä (vas.) ja taipuisalla kiskosillalla (oik.) tehdyistä keskusliitännöistä.

Suurvirtakaapeloinnissa on käytetty yksijohdinkaapeleita, joita on asennettu vaihetta kohti 1–4 kappaletta. Yksijohdinkaapeleiden käyttö pienjännitekeskuksen ja muuntajan välisessä liitännässä on yleistä, mikäli ne on sijoitettava etäämmälle toisistaan. Uusissa muuntamoissa liitännässä käytetään PEX-eristeistä XMK-kuparikaapelia (ks. kuva 30). Vanhemmissa muuntamoissa on puolestaan voitu käyttää PVC-eristeisiä johtimia ja kaapeleita, kuten MK-, MKEM- tai AMMK-tyyppisiä liitintäjohtoja.



Kuva 30. Muuntajaliitintään käytetty XMK pienjännitekaapeli [43].

Käytännön toteutuksia suurvirtakaapeloinnilla tehdyistä pienjännitekeskusliitännöistä on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. Esimerkkikuvia suurvirtakaapeloinnilla toteutetuista keskusliitännöistä.

### Verkostoautomaatio ja valvonta

Verkkoyhtiön sekä sen asiakkaan kannalta on tärkeää, että sähköä toimitetaan riittävän laadukkaasti. Sähkön laatu muodostuu monesta eri osatekijästä, joissa sen toteutuneita ominaisuuksia verrataan laatustandardeihin sekä verkkoyhtiöiden omiin suunnittelutavoitteisiin. Vaatimuksiin verrattavia ominaisuuksia ovat mm. verkon taajuus, jakelujännite ja sen vaihtelu, nopeat jännitemuutokset, yliaallot, epäsymmetria sekä verkon ohjauksessa käytettyjen signaalijännitteiden määrä. [28, s. 247–256.]

Perinteisesti sähköverkon mittaukset ovat olleet ainoastaan asiakkaiden energiamittauksia ja sähköasemalähtöjen jännite- ja virtamittauksia, joiden lisäksi on tehty pistokokein tai verkon laatuongelmien ilmetessä sähkön laatumittauksia siirrettävillä laitteistoilla. Nykyään kuitenkin etäluettavat energiamittarit ja joissain tapauksissa jopa muuntamoille viedyt mittauslaitteistot mahdollistavat jatkuvan sähkön laadun seurannan sekä raportoinnin kaikilla jänniteportilla. [28, s. 257.]

Ennen HSV:n jakelumuuntamoissa on käytetty ainoastaan huippuvirta- ja jännitemittauksiin kykeneviä taulumittareita ja keskijännitekaapeleiden päätteisiin asennettuja paikallisesti luettavia oikosulkuindikaattoreita. Nykyään muuntamoiden ja kytkemöiden yhteyteen asennetaan verkon kaukovalvontaan ja -ohjauksiin kykeneviä mittalaitteita. Verkostoautomaatioon liitettyiltä mittalaitteistoilta saadaan valvomoon reaaliaikaisia mittaus- ja tilatietoja sekä voidaan tehdä keskijänniteverkon kytkentämuutoksia kauko-ohjattuna. Osa uudemmissa mittalaitteista



ei ole kuitenkaan liitetty verkostoautomaatioon ja ne kykenevät ainoastaan paikallisesti kirjatuihin mittauksiin. Verkostoautomaatiolla on HSV:n verkkoalueen muuntamoista varustettu noin 600 kappaletta (25 % muuntamoista).

Muuntamoiden mittalaitteina on käytössä pääasiassa kolme eri mittarityyppiä, jotka ovat WIMO-, PIHI- ja vanhat taulumittarit (ks. kuva 32).



Kuva 32. Esimerkkikuvat WIMO- ja PIHI-mittausyksiköistä (vas.) sekä kaapelipäätteiden vanhoista oikosulkuindikaattoreista ja pienjännitekeskuksen taulumittareista (oik.).

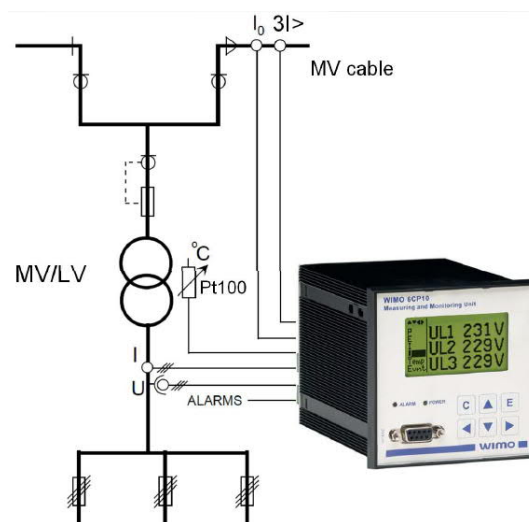
Uudempia, digitaalisia mittalaitteita on asennettu HSV:n muuntamoihin 1990-luvulta asti. Vuonna 1991 aloitettiin ensimmäisten mittaustiedot tallentavien PIHI-mittareiden asennus uusiin sekä uudistettaviin muuntamoihin. Elkamon valmistamien PIHI-mittareiden avulla oli mahdollista seurata muuntamoiden pienjännitepuolen pää- ja vaihejännitteitä, vaihe- ja nollajohtimien virtoja, taajuutta, tehokertoimia, näennäis-, pätö- ja loistehoja sekä energian kulutusta. Kyseisten mittalaitteiden mittausdatan hyödyntäminen jäi kuitenkin vajavaiseksi lähinnä siksi,

että sen tallentamien tietojen käsittely koettiin hankalaksi. Mittaustiedot oli aina haettava paikalliselta muuntamolaitteelta ja sitten tuotava manuaalisesti analysoitavaksi. HSV:lla on ollut vuoden 2006 tienoilla käytössä myös PIHI-mittarin uudempaa kaukoluentomahdollisuudella varustettua mallia (PIHI 1002), mutta mittalaitteiden kehittyessä nekin ovat korvaantuneet monipuolisemmilla toiminnoilla ja mittausmahdollisuuksilla varustetuilla mittalaitteilla. [44, s. 47; 45, s. 41.]

Johtuen PIHI-mittareiden kanssa koetuista haasteista otettiin vuonna 2004 testikäyttöön ensimmäiset WIMO-mittalaitteet, jotka mahdollistivat perusmittasuureiden (jännitteet, virrat, tehot ja ym.) lisäksi maasulkuvirtojen, asetteluarvojen ylitysten ja hälytystapahtumien kirjauksen sekä kaukoluennan. [45, s. 41.]

Muuntamovalvonnan sovellukset (kuva 33) HSV:n jakeluverkossa ovat

- keskijänniteverkon kuormanerottimien kauko-ohjaus
- keskijänniteverkon vikaindikoinnit (oiko- ja maasulut)
- muuntamohälytystiedot
- jakelumuuntajan kuormitusaste
- pienjänniteverkon laatumittaus (virta ja jännite).



Kuva 33. WIMO mittaus- ja valvontayksikön liitännät [46].

Nykyään WIMO-mittalaitteet asennetaan kaikkiin uusiin sekä uudistettaviin muuntamoihin, mutta kaikkia niitä ei kuitenkaan liitetä muuntamovalvonnan piiriin vaan osaa käytetään ns.

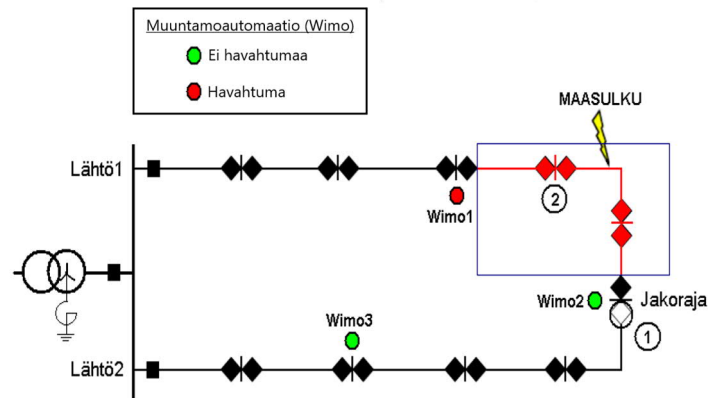


passiivilaitteina. WIMO-mittalaitteita asennetaan yksi muuntamon kullekin muuntajalle. Muuntamovalvontaan liitetyissä kohteissa ne asennetaan erilliseen muuntamovalvontakaappiin (eli ns. MUVA-kaappiin), kun taas passiivisessa käytössä olevat laitteet asennetaan pääsääntöisesti muuntamon pienjännitekeskuksen yhteyteen (ks. kuva 34). MUVA-kaappi sisältää laitteiston kaukokäytön vaatimat tiedonsiirtolaitteistot ja sen apujännitejärjestelmän eli akuston. Akkuvarmennus mahdollistaa moottoroitujen kuormanerottimien kaukokäytöt ja mittauksen luvun myös vikatilanteiden aikana. Tiedonsiirto MUVA-kaapin ja käytönvalvontajärjestelmän välillä on toteutettu kaupallisen tiedonsiirtoverkon avulla.



Kuva 34. Esimerkki MUVA-kaappiin (vas.) ja PJ-keskukseen (oik.) sijoitetuista WIMO-laitteista.

Muuntamoautomaation käyttö mahdollistaa keskijänniteverkon nopeat kytkentämuutokset vikatilanteissa ja hälytys- ja tilatietojen saamisen käyttökeskukseen. KJ-verkolle sijoitettu muuntamoautomaatio helpottaa mm. vikaantuneen muuntamovälin paikantamisessa. Muuntamoihin on asennettu oikosulku- sekä maasulkuindikaattorit, joiden avulla saadaan vikaindikoinnit käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmään. Muuntamoautomaatio mahdollistaa näin ollen johtolähdön vikakohdan paikantamisen noin puolen johtovälin tarkkuudella, jolloin tietoa vikakohdasta saadaan heti vianselvityksen alkuvaiheessa. [33.] Esimerkkitalanne muuntamoautomaation hyödyntämisestä sähköaseman rengaslenkin vikatilanteessa on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Esimerkki muuntamoautomaation hyödyntämisestä KJ-verkon vikapaikan haussa [33].

### 3.2.3 Pienjänniteverkko

Muuntamossa keskijännitteestä pienjännitteeksi (jäljempänä PJ) muunnettu sähkö siirretään pienjänniteverkon avulla tavallisille kuluttajille. Suomessa pienjänniteverkon jakelujännite on pääsääntöisesti 230/400 V. PJ-verkon siirtokyky on tyypillisesti muutamia kymmeniä tai satoja kilowatteja sadalla metrillä, kun puolestaan KJ-verkossa voidaan siirtää muutamia megawatteja. PJ-verkossa siirtoetäisyydet ovatkin usein lyhyitä, ja muuntamot pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle sähkönkulutusta. [28, s. 12, 157.] Suomessa pienjännitteisessä jakeluverkossa käytetään pääsääntöisesti nelijohtimista TN-C -järjestelmää, joka muuttuu liittyjän pääkeskuksessa viisijohtimiseksi TN-S -järjestelmäksi.

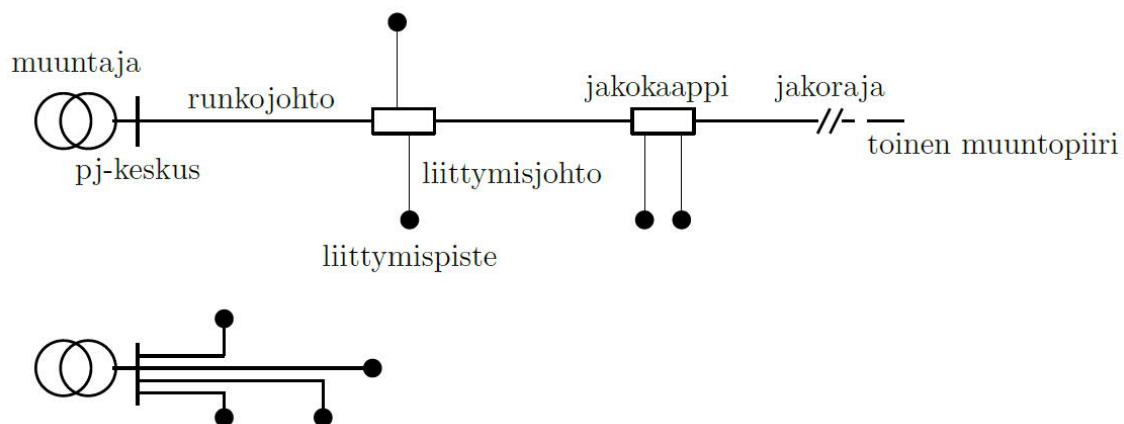
Helsingissä pienjänniteverkon kaapelointiaste on 98,7 %.

#### Topologia

Pienjänniteverkon rakenne on yleensä säteittäinen, mutta tiheästi rakennetulla taajama-alueella on usein taloudellisesti kannattavaa liittää vierekkäiset muuntopiirit toisiinsa. Usein tällaisten muuntopiirien raja-alueilla sijaitsee kiinteistöjä, jotka voidaan liittää kumpaan tahansa muuntopiiriin samoilla kustannuksilla, koska alueen PJ-verkon kaapelit sijaitsevat lähellä tai jopa limittäin. Yhdistettyjen muuntopiirien etuna on, että verkon ylikuormitus tai muuntamovauriotilanteissa voidaan turvautua naapurimuuntopiiriin kapasiteettiin asiakaskeskeytyksien minimoimiseksi. [28, s. 161.]

HSV:ssa pienjänniteverkolle ei ole asetettu yhtä tarkkaa tavoitteellista rakennetta kuten keskijänniteverkolle, sillä pienjänniteverkolle sallitaan sen korjausajan mittaiset käyttökeskeytykset. PJ-verkko on yhdistelmä säteittäistä ja silmukoitua rakennetta, jonka suunnittelussa pyritään silmukointiin, kun se on mahdollista toteuttaa kustannustehokkaasti. Silmukoitu rakenne toteutetaan yleensä ketjuttamalla verkon jakokaappeja muuntamoiden välillä (ks. kuva 36). [46.] Pienjännitteistä jakeluverkkoa käytetään ainoastaan säteittäisenä eli muuntopiirien väliset jakorajat avonaisina, mutta verkkotöiden yhteydessä voidaan tehdä jakorajanmuutoksia, joissa muuntopiirit yhdistetään hetkellisesti toisiinsa verkon käyttökatkojen välttämiseksi.

Pienjänniteverkko koostuu runko- ja liittymisjohtoista. Runkojohto on muuntamoiden ja jakokaappien välinen johto, joka toimii verkon runkolinjana sähkönjakelulle. Liittymisjohto on jakeluverkon ja liittymän pääkeskuksen välinen johto, joka yhdistää liittymän sähköverkkoon. Molempia johtotyyppäjä voidaan asentaa useampia rinnakkain niiden siirtokapasiteetin kasvattamiseksi.



Kuva 36. PJ-verkon periaaterakenteet, kuvassa runkojohto- (yl.) ja liittymisjohtoverkko (al.) [48, s. 9].

Liittymisjohtojen liittämiskohta on jakeluverkon ja liittymän sähkölaitteiston välinen kohta, jossa liittymisjohto yhdistetään jakeluverkkoon. Liittämiskohta määritellään liittymissopimuksessa ja se määrittää liittymisjohdon omistusrajan eli kohdan, johon asti sopimuksen molemmilla osapuolilla on sähköverkon rakentamis- ja huoltovastuu. [34, s. 121.] Liittämiskohdasta käytetään HSV:ssa termiä liittymispiste.

Kaikki Helsingissä ennen vuotta 1996 asennetut liittymisjohdot kuuluvat HSV:n omistukseen ja niiden liittymispiste on tällöin ollut asiakkaan pääkeskuksessa. Vuonna 1995 uudistetun

sähkömarkkinalain (17.3.1995/386) säätämisen yhteydessä liittymisjohtojen rakentaminen päätettiin kuitenkin avata kilpailulle, jolloin niiden rakentaminen sallittiin verkkoyhtiöiden vastualueella myös ulkopuolisten toimijoiden toteuttamana [34, s. 121]. Tätä uudemmat liittymisjohdot onkin toteutettu siten, että liittymisjohdon omistusraja on liittymissopimuksessa määritetyssä liittymispisteessä, josta eteenpäin johdon rakennus- ja kunnossapitovastuu kuuluvat liittyjälle. Tyypillisiä liittymispisteitä ovat tontin ja katualueen raja, asiakkaan pääkeskus, HSV:n muuntamon PJ-keskus tai jakokaappi.

## Suojaus

Pienjännitteisessä jakeluverkossa käytetään yleensä suojalaitteena sulakkeita. Sulakkeita asennetaan yleensä muuntamoiden PJ-keskuksiin ja verkolle sijoitettuihin jakokaappeihin, joissa jokainen vaihejohdin suojataan tarpeen mukaan omalla sulakkeellaan. Muuntamon PJ-keskukseen asennettavat sulakkeet suojaavat yleensä runkojohtoa ja jakokaapeille asennettavat välisulakkeet niihin asennettuja haara- tai liittymisjohtoja. Sulakkeiden mitoitus tehdään siten, että se kestää normaalin käyttötilanteen kuormitusvirran ja toimii riittävän nopeasti suojattavan osan loppupäässä tapahtuvan yksivaiheisen oikosulun tapahtuessa. [51, s. 65.]

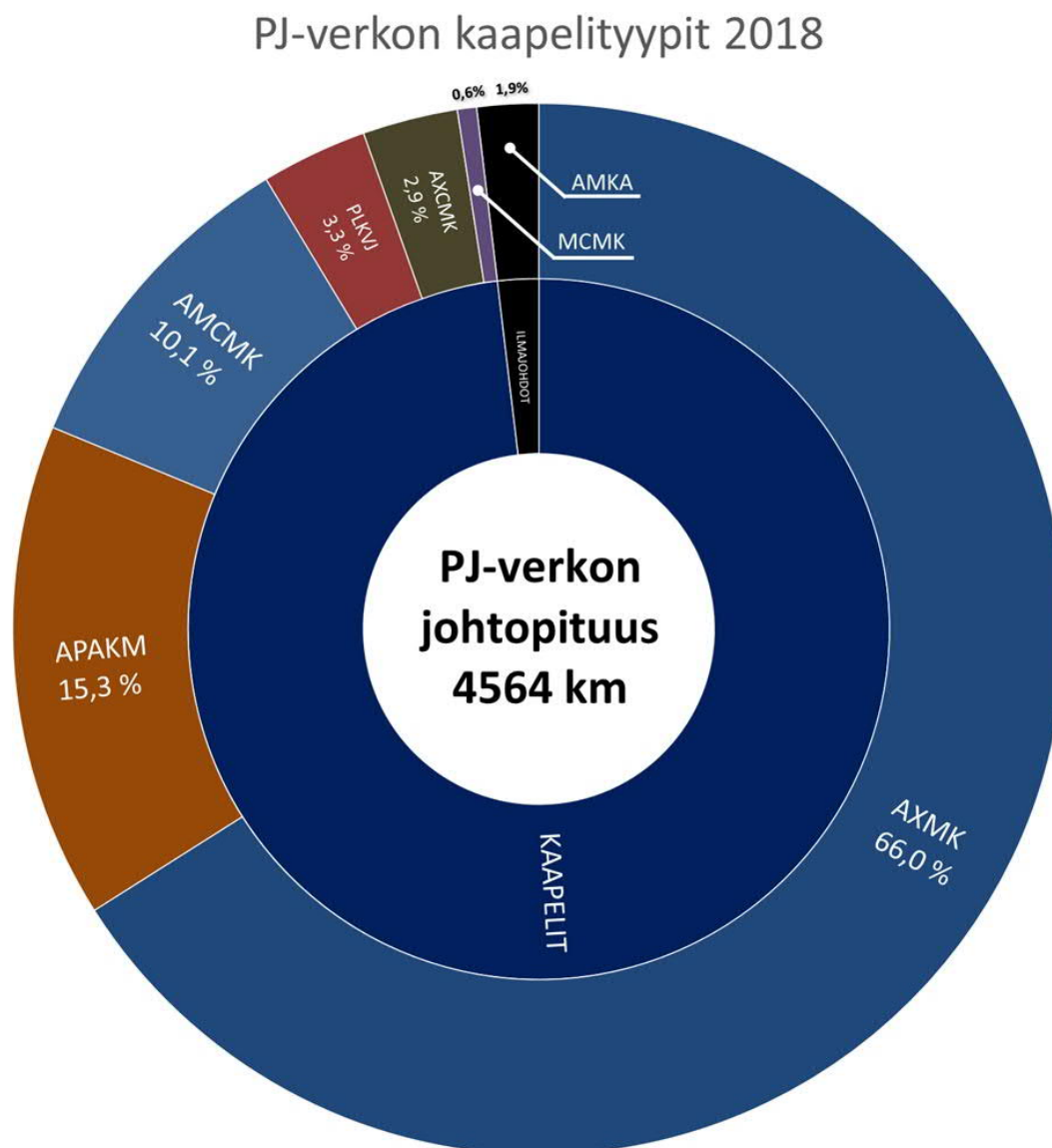
HSV:n pienjänniteverkossa varokealustana käytetään ainoastaan jonovarokeytkimiä, joihin asennettavat sulakkeet suojaavat runko- ja liittymisjohtoja.

## Johtorakenne

HSV:n pienjänniteverkossa on pääsääntöisesti käytössä poikkipinnaltaan 16, 35, 70, 120 ja 185 mm<sup>2</sup>:n maakaapeleita (98 % maakaapeleista). Keskijänniteverkon tapaan myös PJ-verkossa vanhimmat käytössä olevat kaapelit ovat 1950-luvulta peräisin olevia öljypaperieristeisiä kaapeleita. Yleisin PJ-verkossa käytössä oleva kaapelityyppi on muovieristeinen AXMK, joka on ollut käytössä vuodesta 1989 eteenpäin.

HSV:n pienjänniteverkossa runkojohtoina on pääsääntöisesti käytössä poikkipinnaltaan 185 mm<sup>2</sup>:n kaapeleita (98 % runkojohdoista). Tämän lisäksi on käytössä myös jonkin verran 120 mm<sup>2</sup>:n PLKVJ-kaapelia, jota on ennen käytetty runkojohtona. Liittymisjohtojen poikkipintanaalana on käytetty pääsääntöisesti 16, 35, 70, 120 ja 185 mm<sup>2</sup>:n kaapeleita (98 % liittymisjohdoista).

HSV:n pienjänniteverkon kaapelointiaste on korkea, mutta ilmajohtoja on edelleen käytössä noin 86 kilometriä (1,9 % johtopituudesta). PJ-ilmajohtoja on KJ-ilmajohtojen tapaan nykyään käytössä lähinnä saaristoissa, mutta niitä löytyy paljon myös omakotitaloalueilta, joihin niitä on ennen rakennettu asuntojen liittymisjohdoiksi. Ilmajohtoja käytetään usein myös väliaikaisen työmaiden liittymisjohtojen toteutuksessa, mutta kyseiset liittymisjohdot eivät ole HSV:n omistuksessa, vaan kuuluvat niillä liittyvän työmaan omistukseen ja kunnossapitovastuulle. PJ-verkon johtotyyppien jakauma vuonna 2018 on esitetty kuvaajassa 3.



Kuvaaja 3. HSV:n pienjänniteverkon kaapelityypit vuonna 2018 [22].

AXMK (ks. kuva 37) on nelijohtiminen 1 kV:n maakaapeli, jonka johdinmateriaalia on alumiinia. Kaapelin johtimien eristeenä on käytetty PEX-muovia ja sen ulkovaippana PVC:tä. [34, s. 18.]



Kuva 37. AXMK pienjännitekaapeli [43].

APAKM (ks. kuva 38) on alumiinijohtiminen 1 kV:n maakaapeli, jonka nollajohtimena (nykyään käytetään termiä PEN-johdin) toimii alumiininen vaippakerros. Johdineristeenä kaapelissa toimii valumattomalla massalla (öljy) kyllästetty paperi ja sen ulkokuorena muovikerros. [37, s. 9.] Helsingissä kaapelia on käytössä vielä noin 696 kilometriä ja sitä on laajasti koko verkkoalueella. Käytössä olevien kaapeleiden asennusajankohdat vaihtelevat 1960–1990-lukujen välillä.



Kuva 38. APAKM pienjännitekaapeli [37, s. 9].

AMCMK (ks. kuva 39) ja AXCMK ovat alumiinijohtimisiä 1 kV:n maakaapeleita, joissa on koncentrisen kuparijohdin. Helsingissä AMCMK-kaapelia on käytössä vielä noin 460 kilometriä ja AXCMK-kaapelia noin 133 kilometriä. Molempia kaapeleita löytyy koko verkkoalueelta. Vanhimmat AMCMK-kaapelit on asennettu 1960-luvulla ja AXCMK-kaapelit 1980-luvulla.





Kuva 39. AMCMK pienjännitekaapeli [43].

PLKVJ (ks. kuva 40) on kuparijohtiminen 1 kV:n maakaapeli, joka on vannerauta-armeerattu ja päällystetty bitumoidulla juuttiköydellä. Johdineristeenä kaapelissa toimii öljyllä kyllästetty paperi ja vaippana lyijykerros. Kaapelia on valmistettu nelijohtimisella, mutta myös kolme ja puolijohtimisella rakenteella. [39, s. 10.] Helsingissä kaapelia on käytössä vielä noin 15 kilometriä ja sitä löytyy koko verkkoalueelta. Käytössä olevien kaapeleiden asennusvuodet vaihtelevat vuosien 1950–1960-lukujen välillä.

### MAAKAAPELIT

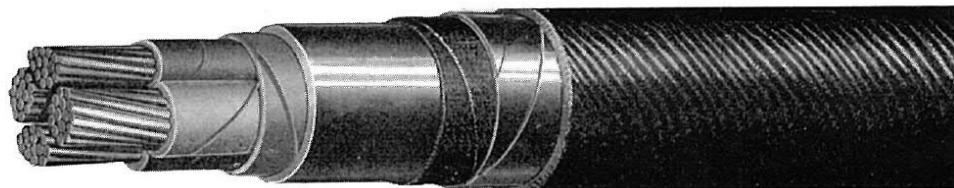
PAPERIERISTEISET, ARMEERATUT

Tyyppimerkintä **PLKVJ**

Nimellisjännite, U = **1 kV**

4 - JOHDIN-  
KAAPELIT

VDE 0255/4. 60.

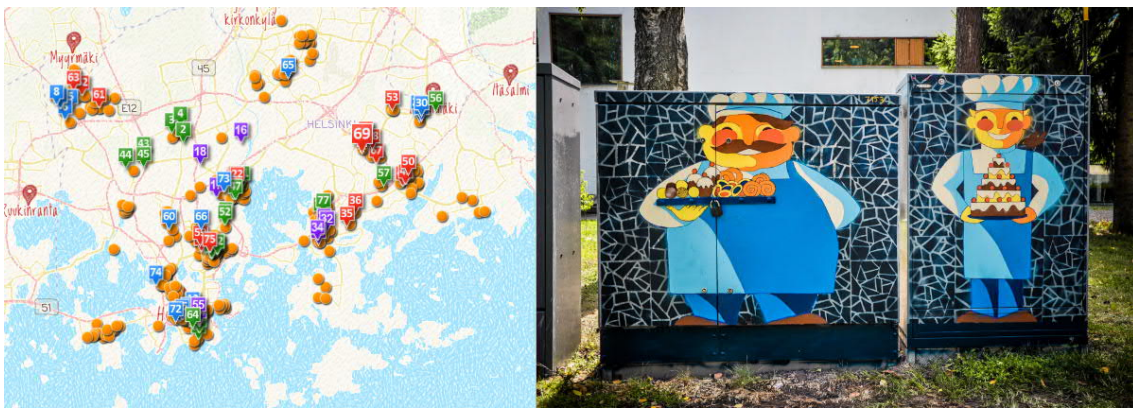


Kuva 40. PLKVJ pienjännitekaapeli [39, s. 10].

### Jakokaapit

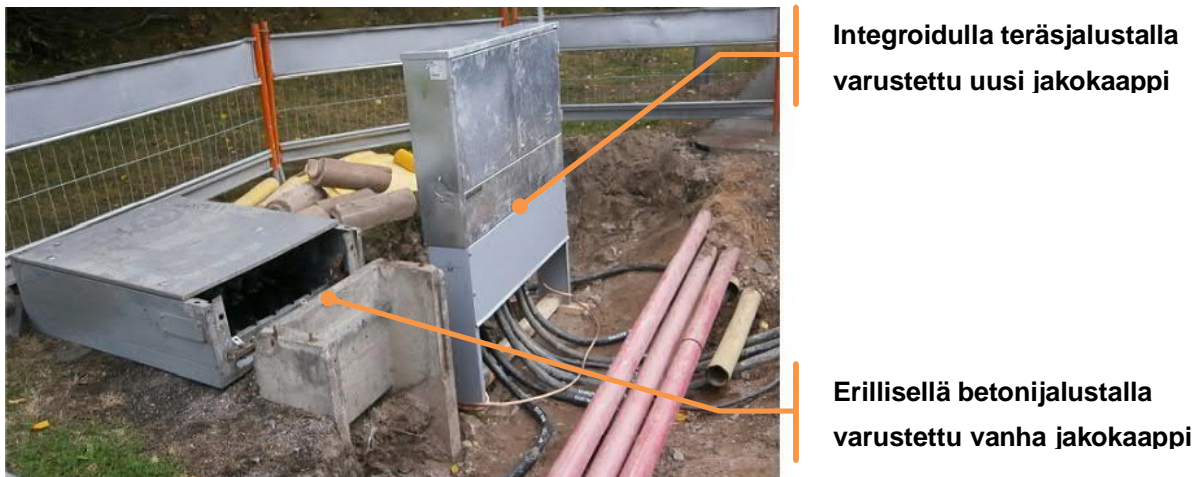
Jakokaapit ovat yleensä ulkotiloissa sijaitsevia jakeluverkkokeskuksia, jotka toimivat pienjänniteverkon solmupisteenä muuntamoiden PJ-keskuksen ja asiakasliittymien välissä. Jakokaappeja käytetään paljon, sillä usein on kustannustehokkaampaa rakentaa katualueelle jakokaappi, johon asiakkaiden liittymisjohdot voidaan liittää kuin tuoda jokainen liittymisjohto muuntamolta asti. Jakokaappi liitetään verkkoon runkojohdoilla, jotka voidaan tuoda siihen suoraan muuntamolta tai muiden jakokaappien kautta ketjuttamalla. Jakokaappi muodostaa siis pienjänniteverkon solmupisteen, jossa verkkoon voidaan liittää poikkipinta-alaltaan erikoisia kaapeleita sekä toteuttaa niiden selektiivinen suojaus. [48.]

Jakokaapit ovat näkyvä osa Helsingin katukuvaa, sillä niitä on noin 7 700 kappaletta sijoitettuna ympäri kaupunkia. Kaupunkikuvauksellisista syistä niiden sijoitukseen ja ulkonäköön kiinnitetään ajoittain paljon huomiota, mistä johtuen joissain aluerakennuskohteissa (esim. Jätkäsaari) niiden sijoituspaikoiksi on määritetty kaavoituksessa kiinteistöjen julkisivuihin rakennettuja laitetoiloja eli ns. jakokaappitiloja. HSV on myös aktiivisesti vienyt eteenpäin maisemointiprojekteja, joissa eri sidosryhmien kanssa olemassa olevia jakokaappeja ja erillismuuntamoita maisemoidaan eri tavoin niiden ympäristöön (esim. maalaamalla tai teippauksilla). Maisemoinnin tarkoituksena on vähentää kaappeihin kohdistuvaa ilkivaltaa, kuten töhrintää, ja lisätä kaupunkilaisten hyväksyntää niitä kohtaan osana katukuvaa. [42.] Kuvassa on esitetty 41 Helsingissä maisemoitua jakokaappeja karttapohjalla sekä maastossa.



Kuva 41. Helsingissä maisemoitua kaappeja [49].

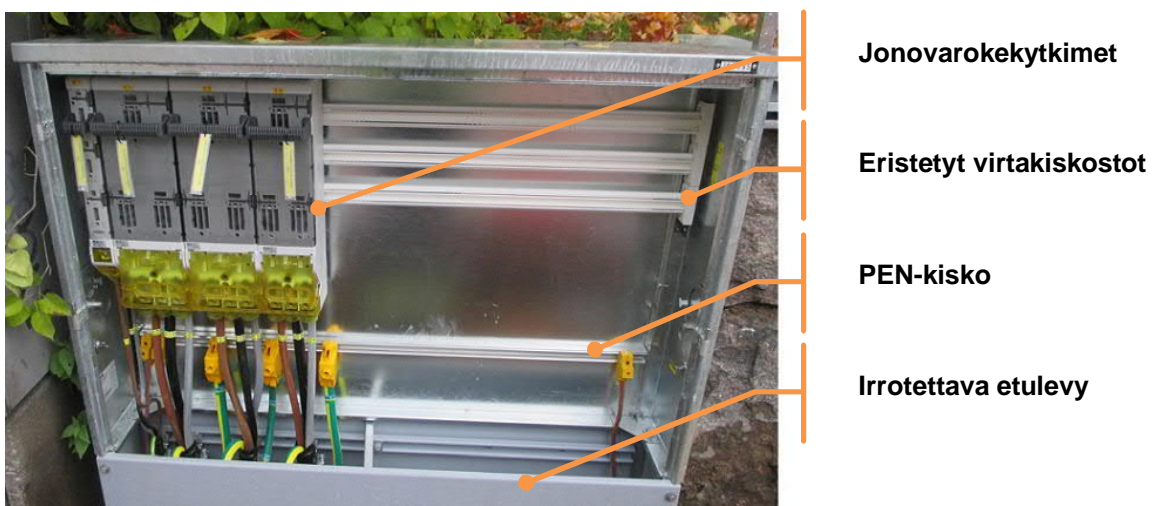
Jakokaapin pääosat ovat sen virtakiskosto ja siihen liitetyt erilaiset varokealustat, jotka on yleensä koteloitu metallirungon sisälle. Runko on tyypillisesti valmistettu teräs- tai seosalumiinilevyistä, mutta joissain vanhemmissa jakokaapeissa on käytetty myös lasikuituvahvisteista lujitemuovia. Varokealustojen käyttötoimenpiteitä varten jakokaapit on varustettu ovilla, jotka on yleensä saranoitu ns. piilosaranoilla, jotta niitä ei voida poistaa jakokaapin ollessa lukittuna. Jakokaapit asennetaan mallista riippuen niiden alaosat maahan upotettuina tai kiinnittämällä kaappi erilliselle jalustalle (ks. kuva 42). Jalusta voi olla materiaaliltaan betonia tai teräslevyä, johon on kiinnitetty irrotettavissa oleva etulevy. Tämä voidaan poistaa jakokaapilla tehtävien asennustöiden yhteydessä helpottamaan uusien kaapeleiden asennusta. [34, s. 114.]



Kuva 42. Esimerkkikuva betonijalustaisesta (vas.) ja teräsjalustaisesta (oik.) jakokaapeista.

Uudemmat jakokaapit on toteutettu pääosin moduulijärjestelmällä (ks. kuva 43), jossa eristettyyn virtakiskoon voidaan liittää erikokoisia varokealustoja. Moduulijärjestelmällä toteutettuun jakokaappiin ei tarvitse hankkia kaikkia varusteita heti, vaan ne voidaan asentaa helposti jälkikäteen. Tyypillisesti kytkinlaitteiden lisääminen jakokaappeihin on toteutettu siten, että se voidaan suorittaa yhden asentajan toimesta jännitetyönä. [34, s. 114.]

Vanhemmissa jakokaapeissa virtakiskosto on tyypillisesti paljasrakenteinen, josta johtuen niihin on jo valmistus- tai käyttööntovaiheessa asennettu suurin osa kytkinlaitteista valmiiksi paikoilleen. Tällöin paljas virtakisko ei aiheuta käytönaikana vaaraa jakokaapin oven ollessa avoinna.



Kuva 43. Esimerkkikuva moduulijärjestelmällä toteutetusta jakokaapista ja sen pääosista.

HSV:n jakeluverkon jakokaapeissa kytkinlaitteina käytetään ainoastaan jonovarokeytkimiä, joihin asennetaan suojaustarpeesta riippuen sulakkeita tai oikosulkuveitsiä. Suoraan kiskoyhdistyksen mahdollistavia liitälaitteita ei käytetä, sillä pienjänniteverkon osittain silmukka- ja maasta rakenteesta johtuen ne eivät mahdollistaisi muuntopiirien välisten kaapeleiden jännitteettömäksi tekemistä verkon huoltotöiden tai jakorajamuutosten yhteydessä.

Yleisimpiä jakeluverkolta löytyviä jakokaappimalleja ovat

- Kabeldon
- Triax
- SST
- yhdistelmäkaapit.

Lisäksi käytössä on jonkin verran muiden valmistajien jakokaappeja, jotka ovat joko käytöstä poistumassa olevia tai jossain vaiheessa verkon rakennuksessa kokeiltuja malleja.

Kabeldon jakokaapit ovat ABB:n valmistamia kaapelijakokaappeja, joita HSV:ssä on käytetty 1990-luvulta asti. Nykyään käytössä on Kabeldonin SDC- ja CDC-sarjaa olevia jakokaappeja (ks. kuva 44), joita vanhemmat kaapit ovat olleet KSIP-sarjaa. Verkolla käytetyt mallit on tyyppillisesti varustettu eristetyllä 630 A:n virtakiskostolla ja modulaarisella kytkinrakenteella. Kabeldon jakokaappeja on käytössä arviolta noin 3 500 kappaletta.



Kuva 44. Esimerkkikuvat Kabeldon SDC (vas.) ja CDC (oik.) jakokaapeista [50].



Triax (ks. kuva 45) kaapelijakokaappeja on käytetty HSV:n jakeluverkossa vielä 2000-luvun vaihteessa. Jakokaapit ovat 630 A:n eristetyllä virtakiskolla ja modulaarisella jonovarokeyjärjestelmällä varustettuja. Kaappeja on edelleen käytössä arviolta noin 80 kappaletta.



Kuva 45. Esimerkkikuvat Triax-jakokaapista.

SST (ks. kuva 46) kaapit ovat vanhoja Strömbergin (nykyinen ABB) valmistamia kaapelijakokaappeja, joita on käytetty HSV:n jakeluverkossa 1960–2000-luvuilla. Kaappi on varustettu 630 A:n paljasrakenteisella virtakiskostolla, johon on tyypillisesti asennettu kaikki modulaariset jonovarokeytkimet valmiiksi. Joissain kaapeissa voi kuitenkin olla varaus lisäkytkimelle, joka on suojattu muovikourulla. Kaappi pystytetty erilliselle betonijalustalle. Jakokaappeja on edelleen käytössä arviolta noin 3 800 kappaletta, joita uusitaan niiden kuntoon ja ikään perustuen.



Kuva 46. Esimerkkikuvat SST-jakokaapista.

Yhdistelmäkaapit (ks. kuva 47) ovat HSV:n ja Helsingin kaupungin ulkovalaistuksen yhteisiä kaapelijakokaappeja, jotka ovat jääne ajalta, jolloin yritys operoi sähkö- sekä ulkovalaistusverkkoa. Yhdistelmäkaapit ovat pääsääntöisesti Strömbergin valmistamia SST-kaappeja. Rakenteeltaan jakokaapit jaettu kahteen eri osaan, joista ensimmäisessä on HSV:n pienjänniteverkon jonovarokeytkimet ja toisessa ulkovalaistusverkon sähköliittymän mittarointi sekä sen johtolähtöjen suojalaitteet. Yhdistelmäkaapit on varustettu 630 A:n paljailla virtakiskoilla ja modulaarisella jonovarokeyjärjestelmällä. Kaappeja on edelleen käytössä arviolta noin 320 kappaletta. Niiden käytöstä ollaan kuitenkin luopumassa jakokappien uudistusten yhteydessä, jolloin ne korvataan erillisillä ulkovalaistuksen ja HSV:n jakokaapeilla.



Kuva 47. Esimerkkikuvat yhdistelmäkaapista.

#### 4 Jakeluverkon suunnitteluperiaatteet

Keski- ja pienjännitteisen jakeluverkon suunnittelun lähtökohtana on verkon taloudellinen mitoittaminen vaaditun siirtotarpeen, halutun käyttövarmuuden ja veloitettujen käyttöturvallisuuden asettamien vaatimuksien ympärille. Suunnittelussa huomioidaan myös verkon mahdolliset vikatapaukset, joissa asiakkaiden kokemien jakelukeskeytysten kesto pyritään minimoimaan.

Jakeluverkon suunnittelun kannalta on tärkeää, että verkkoyhtiössä on määriteltynä suunnittelua ohjaavat periaatteet sekä parametrit, joiden avulla suunnittelu pyritään toteuttamaan.



Tästä suunnitteluvaiheesta puhutaan usein verkon kehittämissuunnitteluna. Kehittämissuunnittelun tarkoitukseen palataan tarkemmin luvussa 5 (Jakeluverkon suunnitteluprosessi). Olennaisimmat tarkasteltavat asiat verkon kehittämissuunnittelussa ovat

- Mitä jännitetasoja jakelujärjestelmässä käytetään?
- Mikä on tavoite verkkorakenne?
- Mitkä ovat verkon rakennuksessa käytettävät komponentit?
- Mikä jakelujännitteen tavoiteväli on pien- ja keskijänniteverkossa?
- Mikä on komponenttien virtakestoisuus?
- Mikä on häviösähkön hinta?
- Mitä korkokantaa talouslaskennassa käytetään?
- Mitkä ovat komponenttien pitoajat?
- Mitä ovat keskeytyksen aiheuttaman haitan kustannukset?
- Mitä mitoituspehoja käytetään normaalissa käyttötilanteessa? häiriötilanteessa?
- Millainen käytettävyys verkolta vaaditaan?
- Mikä on suunnittelujakson pituus?
- Millaiset ovat tulevaisuuden kuormitusennusteet? [28, s. 68–69.]

Edellä listattujen kysymysten selvittämiseksi on HSV:n historiassa teetetty useampia insinööri- ja diplomitoita, väitöskirjoja sekä muita sisäisiä selvitystoita. Tehtyjen selvitysten perusteella on jakeluverkkoon valikoitunut kunakin aikakautena sopivimmat suunnitteluperiaatteet. Tämän opinnäytetyön kannalta ei ole olennaista keskittyä tämänhetkisten valintojen taustoihin, vaan työssä pyritään kokoamaan tehtyjen päätösten valinnat, jotka ovat HSV:n jakeluverkon suunnittelijan työn kannalta oleellisimpia.

Kysymyksistä useampaan on jo annettu HSV:n vastine luvussa 3.3 (Jakeluverkko). Luvussa käsiteltiin esimerkiksi HSV:n jakeluverkon jännitetasoja, verkon suojausperiaatteita, sen yleisiä rakenteita sekä millainen käytettävyys miltäkin verkonosalta vaaditaan. Tässä luvussa käydään läpi jakeluverkon uudistamisperiaatteet, mitoitusperiaatteet ja sen rakennuksessa käytettävät tärkeimmät vakiokomponentit.

#### 4.1 Uudistamisperiaatteet

Verkostokomponenttien teknis-taloudellinen pitoaika on tyypillisesti useita kymmeniä vuosia. Teknistaloudellisella pitoajalla tarkoitetaan yleensä sitä aikajännettä, jonka ajan yksittäinen verkostokomponentin pitäisi olla käytössä, jotta sille talouslaskemissa huomioitu investointien kuoletus olisi toteutunut. Teknistaloudellinen pitoaika on tyypillisesti lyhyempi kuin komponentin tekninen kestoikä, koska kaikkia komponentteja ei yleensä voida hyödyntää koko niiden teknistä kestoikää. [28, s. 87.]

Tyypillisiä syitä ennenaikaiseen käytöstä poistoon ovat komponentin ympäristöolosuhteiden muutokset tai sen käyttöturvallisuudessa havaitut riskit. Ympäristöolosuhteiden muutoksia ovat mm. kaupunkirakenteen tiivistyminen tai kaavoitukseen liittyvät muutokset, joiden takia verkon johtoja tai muita komponentteja joudutaan siirtämään pois tieltä. Käyttöturvallisuussyistä tehtävän ennenaikaisen poiston syynä voi olla esimerkiksi verkostokomponentissa havaittu rakenteellinen vika, joka voi johtaa sen käytön tai operoinnin aikana vaaratilanteeseen. [28, s. 87; 52.]

Teknistaloudellisesti optimoidut uudistamisperiaatteet mahdollistavat verkolle tasaisen uudistuksien investointitahdin, joka asiakkaille näkyy tasaisina sähkönsiirron hintoina.

##### Ilmajohdot sekä maakaapelit

HSV:n keski- ja pienjänniteverkon johto-osia uudistetaan pääasiassa niiden käyttövarmuuden parantamiseksi, siirtokapasiteetin kasvattamiseksi tai kaupungin kaavoituksellisista vaatimuksista johtuen. Uutta ilmajohtoverkkoa ei pääsääntöisesti rakenneta, eikä vanhaa uudisteta, vaan ilmajohtoja pyritään mahdollisuuksien mukaan korvaamaan maakaapeloinnilla. [52.] Ilmajohdojen korvauksia tehtäessä poistetaan samassa yhteydessä vanhat pylväsrakenteet sekä ilmajohdot.

Jakeluverkon kaapeleille on määritetty omat pitoaikansa keski- ja pienjänniteverkon osalta. Suunnitteluperiaatteena on, että yli 40 vuoden ikäisten kaapeleiden uudistamistarvetta tarkastellaan aina tehtäessä verkon rakennustöitä kyseisten kaapeleiden läheisyydessä. Enimmäispitoajaksi keskijännitekaapeleille on määritetty 60 vuotta ja pienjännitekaapeleille 70 vuotta. Enimmäispitoajan ylittyttyä kaapeleiden vikaantumisriski kasvaa merkittävästi, mistä johtuen pyritään kaikki kaapelit uusimaan tähän ikään mennessä. [10; 52.]

Luvussa 3.3.3 (Pienjänniteverkko) mainitusti kaikki ennen vuotta 1996 asennetut liittymisjohdot kuuluvat kokonaan HSV:n omistukseen. Vanhoja kaapeloituja liittymisjohtoja uudistetaan normaalien uudistamisperiaatteiden mukaisesti jakeluverkon hankkeiden yhteydessä, mutta uudistamisen yhteydessä toimitaan uuden liittymisjohtokäytännön mukaan eli uudistuksessa huomioidaan uuden sopimusperiaatteen mukainen omistusraja. Tästä johtuen jakeluverkon hankkeiden yhteydessä uudistetaan tarvittaessa ainoastaan se osa liittymisjohtoa, jonka rakentaminen kuuluisi liittymissopimusta uudistettaessa HSV:lle eli liittymän tonttiosuus säilytetään vanhalla kaapelityypillä.

HSV:n omistamia vanhoja ilmaliittymisjohtoja pyritään muun verkon uudistuksen yhteydessä korvaamaan asteittain maakaapeloinnilla. Ilmaliittymisjohtojen uudistuksessa on kuitenkin huomioitava, että liittymisjohdon uudistamiseen on saatava myös sillä liittyvän asiakkaan suostumus ja verkon turvallisuusvaatimusten tulee täytyä myös kiinteistön sisäverkossa liittymisjohdon uudistamisen jälkeen. [52.]

#### Muuntamot

Muuntamoiden enimmäispitoajaksi on HSV:ssa määritetty 50 vuotta. Muuntamon uudistamistarve arvioidaan niiden kriittisyysluokittelulla. Uudistustarpeen arvioinnissa huomioidaan mm. muuntamon ikä, ympäristö ja sen rakenteellinen kunto, muuntajan kuormitusaste, komponenttien kunto sekä käytettävyys, käyttötoimenpiteiden aiheuttamat mahdolliset turvallisuusriskit ja muuntamon hyödyllisyys verkostoautomaation näkökulmasta. [42.]

Muuntamouudistuksen suunnittelun yhteydessä on myös hyvä tarkastella sen eri komponenttien yleistä kuntoa ja uudistustarvetta yksilöllisesti, sillä joissain tapauksissa voi olla tarpeellista vaihtaa esimerkiksi pelkkä muuntaja tai keskijännitekojeisto. Muuntamon uudistustarpeen arvioinnissa tarkastellaan myös muuntopiiriin liittyvien kaapeleiden teknistaloudellista uudistustarvetta. [52.]

Kiinteistömuuntamoiden uudistusten yhteydessä on huomioitava myös niiden vuokrasopimuksen voimassaoloaika ja sen mahdollinen uusiminen, mikäli se on tarpeellista.

## Jakokaapit

Jakokaapeille ei HSV:ssa ole asetettu tavoitteellista teknistä pitoaikaa tai ehdotonta enimmäispitoaikaa vaan niiden uudistustarvetta arvioidaan jakeluverkon suunnittelun yhteydessä aina yksilöllisesti. Jakokaapin iällisessä arvioinnissa voidaan kuitenkin hyödyntää niille EV:n valvontamallin raameissa määritettyä pitoaikaa joka HSV:ssa on 40 vuotta. Uudistustarvetta voidaan usein arvioida mm. jakokaapin ikääntymisen, yleisen kunnan, lähtöjen riittävyden, käyttöturvallisuuden ja sen sijoituspaikan ympäristöolosuhteiden perusteella. [42.]

Usein jakokaapin uudistamistarve voi siis tulla, vaikka sen kaapelilähtöjen kesken loppumisesta. Modulaarisissa kaappimalleissa kaapin vaihdolta voidaan kuitenkin tapauksissa myös välttyä vaihtamalla sen jonovarokeytkimiä vähemmän tilaa vieviin kytkinlaitteisiin. Jakokaapien poistoissa tai ennenaikaisissa korvauksissa suunnittelijan pitää myös tapauskohtaisesti arvioida, että kannattaako vanha jakokaappi romuttaa vai säilyttää vielä jatkokäyttöä varten. Hyvässä kunnossa olevia jakokaappeja voidaan uusiokäyttää muissa verkostohankkeissa.

### 4.2 Mitoitusperiaatteet

Jakeluverkon mitoitusperiaatteet ovat sen suunnitteluun keskeisesti vaikuttavia ohjeistuksia, joiden avulla pyritään ohjaamaan verkon rakennetta pitkällä aikavälillä taloudellisesti ja teknisesti toivottuun tilaan. Nämä periaatteet ovat usein verkolle asetettuja teknisiä reunaehtoja, jotka ovat joko ohjeellisia rajoituksia tai ehdottomia vaatimuksia. Tyypillisiä suunnittelun reunaehtoja ovat mm. komponenttien terminen ja dynaaminen oikosulkukestoisuus, verkossa sallitut jännitteenalenemat, käyttövarmuusvaatimukset, suojauksen toimintavaatimukset ja sähköturvallisuussäännösten täytyminen. [28, s. 74.]

Sähkönjakeluverkon suunnittelu sisältää useampia suunnittelussa huomioitavia kohtia, joista tyypillisimpiä verkolle asetettuja teknisiä reunaehtoja ovat, että verkossa

- sähköturvallisuuteen liittyviä määräyksiä on noudatettu
- jakelujännite ei saa ylittää tai alittaa sille asetettuja rajaehdoja
- käytetyt komponentit kestävät niihin kohdistuvat kuormitus- sekä vikavirrat
- suojauksen on toimittava siltä vaaditussa ajassa. [28, s. 64.]

## Turvallisuusmääräykset

Jakeluverkon on täytettävä viranomaisten sille asettamat sähkönjakelun turvallisuusmääräykset. Suunnittelua ohjaavia viranomaisvaatimuksia ovat esimerkiksi turvallisuuteen liittyvät kosketusjännitesuojauksen, komponenttien oikosulkukestoisuuden ja maasulkusuojauksen reunaehdot. Verkon suojauksen tarkoituksena on lieventää vikavirtojen ja ylikuormituksen verkostokomponentteihin aiheuttamia rasituksia, mutta myös estää niiden aiheuttamat vaaratilanteet muille rakenteille, ihmisille ja eläimille. Puutteellisesti toteutettu suojaus voi aiheuttaa verkostokomponenttien läheisyydessä palo- tai jopa hengenvaaran. [28, s. 76, 176.]

Sähkölaitteistoille on säädetty sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) rakenteellisen turvallisuuden ja sähkötyöturvallisuuden kannalta olennaisia turvallisuusvaatimuksia, joiden katsotaan täyttyvän, mikäli noudatetaan tiettyjä turvallisuusstandardeja tai vastaavia julkaisuja. Laissa määritetään myös, että kyseisiksi ohjeiksi hyväksyttävien standardien ja julkaisujen listauksen julkaisu kuuluu Sähköturvallisuusviranomaisen eli Turvallisuus ja kemikaalivirasto Tukesin tehtäviin. [53, s. 1.]

Jakeluverkkotoimintaa koskevat keskeisimmät lait ja asetukset ovat

- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016
- Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016
- Valtioneuvoston asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä 1435/2016
- Sähkömarkkinalaki 588/2013.

Tukesin julkaiseman listauksen [53, s. 1–3.] mukaan seuraavat jakeluverkon rakennuksessa noudatetut SFS-standardit vastaavat valtioneuvoston asetuksissa 1434/2016 ja 1435/2016 esitettyjä turvallisuusvaatimuksia:

- SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset (2017)
- SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset (2015)
- SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus (2015)
- SFS-EN 50124-1 (2014) ja SFS-EN 50341-2-7 (2015) Vaihtosähköilmajohtot yli 1 kV.



Sähköverkon suunnittelussa käytetään myös seuraavia alan laatimia verkostosuosituksia:

- RK 1:16 Maakaapeliverkon rakentaminen vaatimukset (2016)
- RM 3:16 Kaapeliliitännäinen verkonhaltijan muuntamo (2016)
- SA 2:08 Pienjänniteverkon jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen (2008)
- SA 5:94 Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen (1994).

Verkostosuositukset ovat hyviä ohjeistuksia, sillä ne usein käsittelevät suunnittelussa huomioitavia asioita lähemmin käytännön toteutuksen kuin edellä mainittujen standardien tai lakien vaatimusten kannalta. Verkostosuositusten tulkitsemisessa on kuitenkin aina huomioitava niiden julkaisuvuosi ja sen jälkeen päivittyneiden standardien, lakien ja asetusten mahdolliset vaikutukset suosituksen sisällön paikkansapitävyyteen.

#### Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalle on tyypillisesti verkkoyhtiössä asetettu omat rajansa keski- ja pienjänniteverkolle ja jakelumuuntamoille. Keskijänniteverkossa sallittu jännitteenalenema riippuu verkkoyhtiöstä ja sen verkon sijaintiolosuhteista. Kaupunkiverkoissa sallittu alenema voi olla esimerkiksi 2 tai 3 %, mutta sen sijaan maaseutuverkossa voidaan usein käyttää 5 %:a. Pienjännitteisessä jakeluverkossa Suomessa noudatetaan yleisesti laatustandardia SFS-EN 50160 ja alan omia, yleisesti hyväksytyjä ohjeistuksia. Standardin SFS-EN 50160 noudattaminen on kirjattu velvoittavasti myös standardiin SFS 6000-801. Standardin vaatimus jakelujännitteelle on, että vaihejännitteen vaihtelu asiakkaan ja sähköverkon liittymiskohdassa (yleensä päävarokkeilla) ei saisi normaalissa käyttötilanteessa vaihdella enempää kuin 230 V  $\pm 6/-10$  %. [28, s. 74–76; 54, s. 242.]

Keskijänniteverkko on välijänniteporras suur- ja pienjännitteisen jakeluverkon välillä, joka tarkoittaa, että sallitun jännitteenaleneman ylittyminen siinä ei välttämättä johda huonoihin asiakasjännitetasoihin pienjänniteverkossa. Jakeluverkon kokonaisjännitteenalenema määräytyy lähimmän KJ-verkon säädetyn pisteen ja pienjännitekuluttajan välisen verkon impedansseista sekä kuormituksista. Lähimmäinen säädetty piste on yleensä sähköasemalla sijaitseva päämuuntaja, jonka yläjännitepuolelle on asennettu alajännitepuolen jännitettä säätelevä käämikytkin. KJ-verkon jännitteenaleneman huomiointi yhden sen osan mitoittamisessa onkin tästä

syystä suunnittelussa hieman epämääräistä. Usein onkin kannattavampaa tehdä ajoittain yksityiskohtaiset verkostolaskennat koko keskijänniteverkon osalta, joissa sitten nähdään, että onko todellista laatuongelmaa pienjännitteisen jakeluverkon puolella. [28, s. 74–76; 51, s. 39.]

Keskijänniteverkolle on HSV:ssa asetettu tavoitejännitteet jakeluverkolla sekä ylä- ja alajänniterajat sähköasemien kiskostoilla. Keskijänniteverkon suunnittelussa pyritään siihen, että keskijännitejohdon jännitteenalenema ei saa normaalissa käyttötilanteessa ylittää 3 %:a. Jännitteen säätely tapahtuu automaattisesti päämuuntajien yläjännitepuolen käämikytkimillä. [46.]

Muuntamoiden pienjännitepuolen jännitettä pyritään hallinnoimaan keskijänniteverkon jännitettä säätelemällä. Tavoitteena on, että keskijännitejohtolähdön keskivaiheilla sijaitsevissa jakelumuuntamoissa päästäisiin tilanteeseen, jossa pienjännitekeskuksen jännitteen vaihtelun vuorokausikäyrän keskipiste olisi noin 231 V:ssa ja vuorokauden aikainen vaihtelu tästä arvosta olisi enintään  $\pm 5$  V. [46; 55.]

Pienjännitejakeluverkon osalta HSV:ssa on jännitteenalenemalle asetettu tiukempi tavoiteväli, kuin aiemmin mainitussa laatustandardi SFS-EN 50160:ssä. PJ-verkon suunnittelun ohjeavoksi on määritetty, että asiakkaan pääkeskuksella pyritään pitämään jakelujännite arvossa 230 V  $\pm 5$  %. [46.]

### Terminen kuormitettavuus

Jakeluverkon komponenttien kuormittumisen tarkastelu on tärkeä vaihe sen suunnittelussa. Verkostokomponenttien kuormittumista tarkastellaan muuntopiireittäin tai johtolähdöttäin esimerkiksi verkostolaskennan avulla, joka suoritetaan jakeluverkon suunnitelmien laatimisen yhteydessä. Kaikille verkostokomponenteille on määritetty omat kuormitettavuutensa, joita arvioidaan suojausalueittain eli yksittäisen suojalaitteen ja sen suojaaman osuuden osalta. Suojausalueen suurimman sallitun kuormitettavuuden määrittää sen heikoimmin kuormitettava komponentti.

Standardeissa on kaapeleiden kuormitettavuudelle annettu ohjearvot erilaisissa asennusolosuhteissa. Kaapelien kuormitettavuus määrittyy suurimman lämpötilan perusteella, joka sille johtimen materiaalin, eristyksen ja kaapelin asennusolosuhteiden perusteella sallitaan. Kaapeleiden kuormitettavuusrajoja on noudatettava, sillä liian suuri lämpenemä lyhentää kaapelin elinikää nopeasti ja voi sisäasennuksissa aiheuttaa palovaaran. [28, s. 77; 51, s. 39.]

Taulukossa 1 on esitetty standardin SFS 6000-5-52 antamat johtimien suurimmat sallitut termiset kuormitettavuudet eli lämpötilan raja-arvo, jota johdin ei normaalissa käyttötilanteessa saa ylittää.

Taulukko 1. Eristetyyppien suurimmat sallitut käyttölämpötilat [56, s. 229].

<b>Eristemateriaali</b>	<b>Johtimelle sallitun lämpötilan raja-arvo</b>
<i>Termoplastinen (Polyvinyylidikloridi PVC)</i>	70°C
<i>Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR)</i>	90°C
<i>Mineraali (PVC: llä päällystetty tai paljas kosketeltavissa)</i>	70°C
<i>Mineraali (Paljas, ei kosketeltavissa, ei koske palav. mat.)</i>	105°C

PEX-eristeisten maakaapeleiden käytön yhteydessä rajoitetaan kuitenkin tyypillisesti kaapelin ulkovaipan lämpötila 70°C:seen, vaikka sen suurin sallittu käyttölämpötila olisi 90°C. Tämä johtuu siitä, että korkea ulkovaipan lämpötila kuivattaa kaapelia ympäröivää maa-ainesta. Kuivuminen voi nostaa maaperän lämpöresistiivisyyttä, ja voi siten johtaa asennusolosuhteiden muutokseen ja kaapelin ylikuormittumiseen. [56, s. 249.]

Poikkeavia käyttötilanteita varten PEX- ja paperieristeisille pien- ja keskijänniteverkon runkojohdoille on Energiateollisuuden SA 2:08 ja Senerin SA 5:94 verkostosuosituksissa annettu myös hätäkuormitettavuudet, jotka mahdollistavat taulukon 1 suurimpien käyttölämpötilojen ylittymisen. Hätäkuormitus johtaa kuitenkin kaapelin normaalia nopeampaan ikääntymiseen, mutta voi verkon häiriötilanteessa olla silti tarpeellinen toimenpide sähkönjakelun turvaamiseksi [57, s. 7; 58, s. 11.] Hätäkuormitettavuuksia ei yleensä huomioida HSV:n jakeluverkon normaalissa suunnittelussa, vaan niiden huomiointi kuuluu verkon käytönaikaiseen suunnitteluun.

Taulukkoon 2 on koottu standardin SFS 6000-5-52 mukaisia pienjännitekaapeleiden kuormitettavuuksia johdinmateriaalin sekä poikkipinta-alojen mukaan, kun kaapeli on asennettu maahan suojaputkessa. Kaapeleiden asennusolosuhteet perustuvat standardin SFS 6000-8-801 liitteessä 801B jakeluverkolle annettuihin ympäristöolosuhteisiin.

Taulukko 2. SFS 6000-8-801 mukaiset kuormitettavuudet pienjännitekaapeleille [46; 56, s. 246–266].

Johtimen materiaali	Johtimen poikkipinta-ala											
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>	185 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>	300 mm <sup>2</sup>
Alumiini	-	61 A	79 A	94 A	112 A	137 A	162 A	184 A	207 A	233 A	268 A	303 A
Kupari	61 A	79 A	101 A	120 A	142 A	175 A	207 A	236 A	266 A	298 A	344 A	448 A

Referenssiasennustapa D1, johtimen lämpötila PVC +70°C ja PEX +65°C, maan lämpötila +15°C, maanlämpöresistiivisyys 1,0 Km/W

Taulukon kuormitettavuuksia voidaan käyttää pienjänniteverkon suunnittelun yhteydessä alumiinijohtimisten AXMK-, AXCMK-, AMCMK- ja APAKM-kaapeleiden sekä kuparijohtimisten MCMK- ja PLKVJ-kaapeleiden kuormittumisen arviointiin. Taulukon hyödyntämisessä on kuitenkin huomioitava myös kaapeleiden muiden asennusolosuhteiden vaikutukset niiden kuormitettavuuteen, kuten toisten rinnakkain asennettujen kaapeleiden tai läpivientien vaikutukset. Kaapelin kuormitettavuuslaskentaa varten on standardissa SFS 6000-5-52 annettu korjauskertoimia erilaisia asennusolosuhteita varten.

Edellä mainittuja kuormitettavuuksia on kuitenkin sovellettava sillä varauksella, että kyseisten arvojen voidaan katsoa olevan sitovia ainoastaan standardin kannalta uudisverkoiksi (rakennettu 31.1.2018 jälkeen) luettavissa jakeluverkon osissa. Tätä ennen asennetut kaapelit on mitoitettu silloisen standardin mukaisesti. Uudistettu standardi ei koske taannehtivasti vanhoja asennuksia. Mikäli näiden vanhempien kaapeleiden tilalle asennetaan uusia kaapeleita, niin niiden kuormitettavuus mitoitetaan uuden standardin mukaisesti. Suunnittelun kannalta ei ole kuitenkaan käytännönläheistä määrittää useisiin eri standardeihin ja aikakausiin soveltuvia kaapeleiden kuormitettavuuksia, joita käytettäessä olisi aina myös tarkasteltava kunkin verkon osan kaapeleiden ikätietoja. Tästä syystä voi olla yksinkertaisinta tehdä myös vanhan verkon tarkastelua uuden standardin kuormitettavuuksilla, joita on vanhaan standardiin verrattuna pienennetty.

Standardi SFS 6000-5-52 sallii kuitenkin myös suurempien korjauskertoimien käytön, jos kaapeleiden kuormitus on asennuksen käyttötavasta johtuen pienempi kuin 100 %. Esimerkiksi pienjänniteverkon runkojohdoille on Energiategollisuuden vuonna 2008 laatimassa verkosto-suosituksessa SA 2:08 määritetty oma kuormitettavuuskerroin, joka huomioi maahan asennettujen runkojohtojen kuormituksen ajallisen risteilyn. Tämän kuormituskertoimen huomioi-

minen kasvattaa runkojohtojen kuormitettavuutta keskimäärin 20 %. [56, s. 247; 58, s. 9.] Taulukkoon 3 on listattu pienjännitteisten runkojohtojen kuormitettavuudet, kun käytetään myös suosituksen kuormitettavuuskerrointa 1,2.

Taulukko 3. Pienjännitteisten runkojohtojen kuormitettavuudet, kun huomioidaan myös kuormituskäyrien ajallinen vaihtelu [56, s. 246–269; 58, s. 9].

Johtimen materiaali	Johtimen poikkipinta-ala				
	120 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>	185 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>	300 mm <sup>2</sup>
Alumiini	221 A	249 A	280 A	321 A	364 A
Kupari	283 A	320 A	358 A	412 A	538 A

Referenssiasennustapa D1, johtimen lämpötila PVC +70°C ja PEX +65°C, maan lämpötila +15°C, maan lämpöresistiivisyys 1,0 Km/W, kuormituskäyrien ajallinen vaihtelu +20 %

Keskijänniteverkossa kaapeleiden kuormittumisen tarkastelu on pienjänniteverkkoa työläämpää, sillä sähköaseman yksi KJ-johtolähtö levittäytyy maantieteellisesti laajalle alueelle ja voi sisältää useampia erityyppisiä sekä poikkipinta-alaisia kaapeleita. KJ-johtolähdön kuormitettavuustarkastelu on luonnollisesti tehtävä sen huonoimmin kuormittuvan osan mukaan, mutta siinä on huomioitava myös kuormituksen jakautuminen eri jakelumuuntamoiden välillä.

Keskijänniteverkossa myös kaapeleiden kuormitettavuuden korjauskertoimien käyttö on pienjänniteverkkoa haasteellisempää, sillä vierekkäiset kaapelit ovat harvoin täysin kuormitettuja ja niiden kuormitushuiput sattuvat harvemmin samaan aikaan. [57, s. 6.]

Taulukossa 4 on listattu maahan asennettujen keskijännitekaapeleiden kuormitettavuuksia, jotka perustuvat vuodelta 1994 olevaan Senerin verkostosuositukseen SA 5:94. Kyseisiä arvoja ei kuitenkaan suoraan voida käyttää sähköverkon suunnittelussa, sillä niissä ei huomioida kaapeleiden muita asennusolosuhteita tai uusimpien standardien niihin tuomia muutoksia. Taulukon arvot ovat kuitenkin suuntaa-antavia varsinkin vanhempien paperieristeisten keskijännitekaapeleiden osalta, joita ei enää valmisteta.



Taulukko 4. Keskijännitekaapeleiden kuormitettavuudet [57, s. 38–40].

Johtimen poikkipinta-ala	AHXAMK-W	APYAKMM	PLKVJ tai PYLKVJ
120 mm <sup>2</sup>	265 A	225 A	300 A
150 mm <sup>2</sup>	300 A	255 A	335 A
185 mm <sup>2</sup>	330 A	290 A	380 A
240 mm <sup>2</sup>	375 A	335 A	440 A
300 mm <sup>2</sup>	435 A	375 A	495 A

Kaapeli asennettu maahan, johtimen lämpötila +65°C, maan lämpötila +15°C

HSV:ssa on keskijänniteverkon kaapeleiden kuormitettavuusrajoja tarkasteltu vuonna 2016 Pekka Holopaisen tekemän insinööriyön yhteydessä, jolloin päädyttiin ehdottamaan taulukossa 5 esitettyjä kuormitettavuuksia AHXAMK-W-kaapeleille. Holopaisen tekemä tarkastelu perustui edellä mainittuun Senerin verkostosuositukseen sekä vuonna 2014 laadittuun SFS 5636 -standardiin. [59, s. 36–38.] Keskijännitekaapeleiden kuormitettavuuksia olisi kuitenkin nyt uudelleen tarkasteltava, sillä kyseistä SFS-standardia on päivitetty viimeksi vuonna 2017. Tarkastelun yhteydessä olisi hyvä määrittää myös selkeät kuormitettavuudet APYAKMM-, PLKVJ- ja PYLKVJ-keskijännitekaapeleille.

Taulukko 5. Holopaisen työssään esittämät kuormitettavuudet AHXAMK-W-kaapeleille [59, s. 38].

Kaapeli	Kuormitettavuus	
	Kesällä	Talvella
AHXAMK-W 3x240	290 A	305 A
AHXAMK-W 3x300	328 A	344 A

Kaksi vierekkäistä kaapelia putkissa, asennussyvyys 1,5 m, johtimen lämpötila +65°C, maan lämpötila kesällä +15°C ja talvella +10°C, maanlämpöresistiivisyys 1,2 Km/W, kuormituskäyrien ajallinen vaihtelu +15 %

Muuntajien osalta kuormitettavuudet määräytyvät niiden ympäristöolosuhteiden mukaan. Kiinteistömuuntamoissa sisäilman lämpötila on yleensä korkeampi, joka johtaa muuntajan pienempään kuormitettavuuteen. Ulkotiloissa muuntajaa voidaan yleensä kuormittaa jonkin verran yli nimellistehonsa, mikäli ympäristöolosuhteet, edeltävä kuormitustilanne ja jäähditys sen sallivat. Muuntajan kuormitettavuutta määritettäessä on huomioitava, että sen eristysrakenteen vanhenee nopeasti tai muuntaja voi tuhoutua, mikäli sen käämityksen lämpötila nousee liian korkeaksi. [28, s. 77.]

Muuntajaa voidaan tarvittaessa kuormittaa lyhytaikaisesti yli sen nimellistehon ilman, että sen eristyksen keskimääräinen vanhenemisnopeus kiihtyy. [46.] Normaalikäyttötilanteissa voidaan noudattaa taulukon 6 kuormitettavuuksia, jotka pohjautuvat Energiateollisuuden verkostosuosituksiin.

Taulukko 6. Muuntamoiden kuormitettavuus normaalissa käyttötilanteessa [46].

Muuntamotyyppi	Kuormitettavuus
Kiinteistömuuntamo (teollisuus, liike-elämä, VSL)	1,0
Kiinteistömuuntamo (Asuminen, SSL)	1,2
Erillismuuntamo	1,3
Pylväsmuuntamo	1,4

SSL = Suora sähkölämmitys, VSL = Varaava sähkölämmitys

Muuntamon sisälämpötilan vaikutus muuntajan kuormitettavuuteen on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Muuntamon lämpötilan vaikutus muuntajan kuormitettavuuteen [46].

Liitetyn kulutuksen tyyppi	Muuntamon lämpötila ja sen mukainen kuormitettavuus			
	+40°C	+20°C	0°C	-20°C
Asuminen	1,05	1,20	1,40	1,50
Suora sähkölämmitys	1,00	1,20	1,35	1,50
Varaava sähkölämmitys	0,90	1,10	1,25	1,40
Teollisuus	0,95	1,15	1,30	1,45
Liike-elämä	0,90	1,10	1,25	1,40
Julkinen kulutus (Sairaalat ja koulut)	1,05	1,20	1,40	1,50

Kaapeleiden tapaan myös muuntajille on Energiateollisuuden verkostosuosituksessa SA 2:08 määritetty hätäkuormitettavuusarvot, jotka sallivat muuntajan suuremman kuormitettavuuden jakeluverkon asennus-, huolto- ja korjaustöiden sekä sen vikatilanteiden aikana. Missään tilanteessa muuntajan käämin lämpötila ei saa kuitenkaan ylittää +140°C:sta, eikä sen öljyn yläpinnan lämpötila saa ylittää +115°C:sta. [46.]

## Suojausperiaate

HSV:n jakeluverkon suojausperiaate muuntopiiritasolla käsittää pääpiirteittäin neljä eri suojaustoimenpidettä: muuntajan oikosulkusuojaus, runkojohtojen oikosulkusuojaus sekä liittymisjohtojen oikosulku- ja ylikuormitussuojaus.

Jakeluverkon ylivirtasuojauksen tarkoituksena on varmistaa verkolta vaadittujen sähköturvallisuuksien täyttyminen ja suojata verkostokomponentteja ylivirtojen aiheuttamilta rasitteilta. HSV:ssa muuntajien oikosulkusuojauksessa käytetään suurjänniteverkkoihin tarkoitettuja putkivarokkeita, jotka asennetaan keskijännitekojeiston varokekuormanerotinkennoon. Muuntajan oikosulkusuoja toimii myös muuntamon pienjännitekeskuksen oikosulkusuojana. HSV:n pienjännitteisessä jakeluverkossa ylivirtasuojauksia toteutetaan jonovarokeytkimiin asennettavilla kahvavarokkeilla, joiden tehtävänä on toimia ylikuormitus-, oikosulku- ja kosketusjännitesuojauksena sekä joissain tapauksissa myös vikapaikan selektiivisenä erottajana. Rinnakkain kytketyillä runko- tai liittymisjohdoilla käytetään jonovarokeytkimissä samoja kytkinlaitteita, joita voivat olla sulakkeet tai oikosulkuveitset. Pienjänniteverkon suojauksessa käytetään gG-tyyppin sulakkeita, jotka ominaisuuksiltaan voivat toimia oikosulku- ja ylikuormitussuojina. [27, s. 245–246; 46; 58, s. 16.]

Ylikuormitussuojaus mitoitetaan verkostokomponenttien suurimman sallitun termisen kuormitettavuuden perusteella ja oikosulkusuojaus verkon suurimpien ja pienimpien oikosulkuvirtojen mukaan. Jakeluverkon suojausten määrittämisen osalta tärkeimmät oikosulkuvirran arvot ovat suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta KJ- ja PJ-verkossa, pienin kaksivaiheinen oikosulkuvirta KJ-verkossa sekä pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta PJ-verkossa. [46.]

Pienjännitteisen jakeluverkon maakaapeleilta ei standardin SFS 6000-8-801 mukaisesti vaadita ylikuormitussuojausta, kun ne on asennettu palonkestävästi tai etäälle palavista aineista. Sen sijaan standardi vaatii ylikuormitussuojauksen kaikilta AMKA-ilmajohdoilta ja niiltä maakaapeleilta, jotka eivät täytä edellä mainittuja ehtoja niiden palosuojauksesta. Standardin mukaan ylikuormitussuoja voi sijaita myös johtolähdön loppupäässä. [28, s. 198–200.]

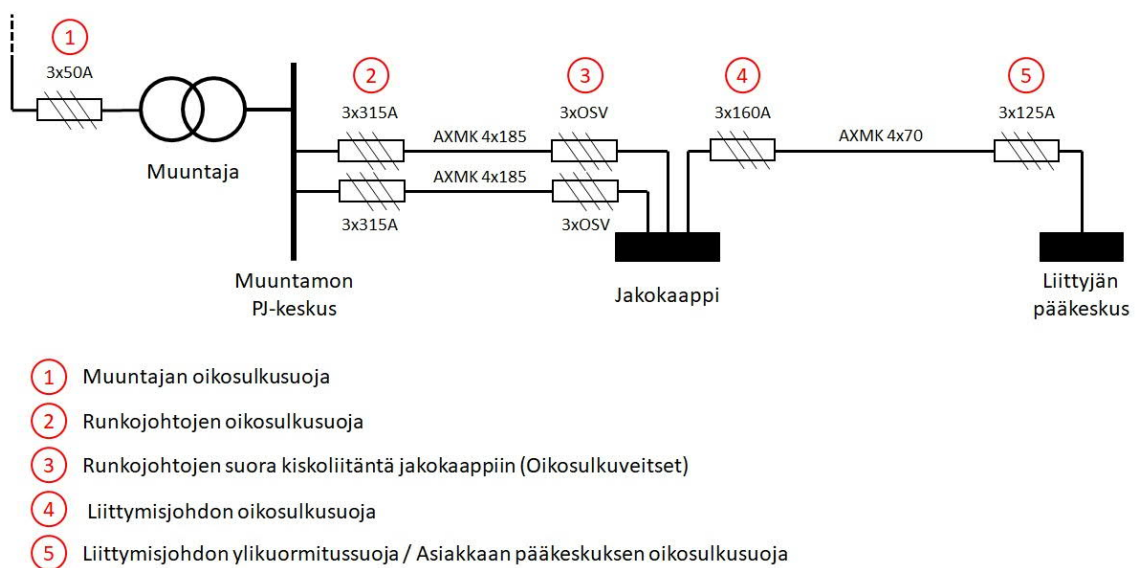
HSV:n jakeluverkon runkojohdoille ei asenneta ylikuormitussuojia, sillä niiden asennusolosuhteet täyttävät standardin vaatimukset palosuojaukselle. Liittymisjohdoille sen sijaan asennetaan käytännössä aina ylikuormitussuojaus. Liittymisjohdot kulkevat normaalisti katualueella palosuojatusti maassa, mutta liittymän osuudella palosuojauksen ehtojen toteutumisesta ei

voida aina olla varmoja esimerkiksi kiinteistön sisällä. Vastuu liittymisjohtojen standardien mukaisesta mitoituksesta ja reittisuunnittelusta kiinteistön alueella kuuluu liittyjälle.

Muuntopiirin runkojohtojen eli pienjännitteisen runkoverkon oikosulkusuojaus toteutetaan usein pelkästään johtolähdön alkupäässä muuntamon pienjännitekeskukseen asennettavilla kahvavarokkeilla. Runkojohdot ja niiden ketjuuntumiset liitetään jakokaappeihin yleensä oikosulkuveitsin ellei kyseessä ole jakokaapista lähtevä runkoverkon haarajohto, joka vaatii suojausheitojen toteutumiseksi välisulakkeet. Välisulakkeita käytetään pääasiassa, mikäli rinnakkain asennettujen runkojohtojen määrä vaihtuu jakokaapilla tai muuntamon PJ-keskuksella olevat sulakkeet eivät kykene suojaamaan runkoverkon kaukaisinta johtolähtöä.

Liittymisjohtoilla oikosulkusuojaus toteutetaan johdon alkupäässä ja ylikuormitussuojaus sen loppupäässä. Liittymisjohtojen oikosulkusuojaus toteutetaan siis HSV:n jakeluverkossa muuntamon PJ-keskukseen tai jakokaappiin asennetuilla sulakkeilla ja sen ylikuormitussuojaus jakeluverkkoon liittyvän asiakkaan pääsulakkeilla.

Edellä kuvattua HSV:n muuntopiiritason suojausperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 48.



Kuva 48. Muuntopiirin suojausperiaate.

## Suojausehdot

Verkostosuunnittelun yhteydessä tarkastellaan suojauksen toimintaa pienjänniteverkossa. Standardeissa sulakkeiden toiminnalle on asetettu vaatimuksia, joiden tarkoituksena on varmistaa henkilöturvallisuus ja verkostokomponenttien termisen kuormitettavuuden sekä oikosulkukestoisuuden vaatimusten toteutuminen [27, s. 247]. Suunnittelussa olennaisimmat tarkasteltavat ominaisuudet ovat verkon pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta, suojauksen toiminta-aika ja peräkkäisten suojalaitteiden välisen selektiivisyyden toteutuminen.

Kosketusjännitesuojausvaatimusten täyttämiseksi on pienjänniteverkon sulakkeiden täytettävä taulukossa 8 listatut standardin SFS 6000-8-801 asettamat vaatimukset pienimmälle yksivaiheiselle oikosulkuvirralla ja ylivirtasuojien toiminta-ajoille. Pienimmän oikosulkuvirran osalta standardissa määritetään kuitenkin, että myös kaikista pienimmissä sähköliittymissä olisi asiakkaan pääkeskuksella oltava vähintään 250 A:n yksivaiheinen oikosulkuvirta.

Taulukko 8. Vaatimukset jakeluverkon syötön automaattiselle poiskytkennälle [46; 54, s. 242].

Ylivirtasuojaja gG-tyyppin sulake	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta	Ylivirtasuojan toiminta-aika	
		Runkojohdoilla	Liittymisjohdoilla
$I_N \leq 63 A$	$2,5 \times I_N$	15 s	5 s
$I_N > 63 A$	$3,0 \times I_N$	15 s	5 s

Taulukon vaatimuksista voidaan standardin mukaan myös tietyin ehdoin poiketa. HSV:n verkostosuunnittelun lähtökohtana pidetään kuitenkin sitä, että sarakkeen 2 vaatimukset pienimmälle yksivaiheiselle oikosulkuvirralla ja sarakkeen 4 vaatimus liittymisjohtojen ylivirtasuojan 5 sekunnin toiminta-ajalle täytyisivät kaikkialla jakeluverkossa. Runkojohdojen osalta 15 sekunnin toiminta-aika voidaan ylittää, mikäli sarakkeen 2 vaatimus on edelleen voimassa. Runkojohdojen suojauksen 15 sekunnin toiminta-aikaa pidetään silti suunnittelun tavoitteellisena enimmäisarvona.

Edellä mainittujen turvallisuusvaatimusten lisäksi sähköverkon suojauksen tulisi aina toimia selektiivisesti. Selektiivinen suojaustoimenpide varmistaa, että verkossa tapahtunut vikailanne rajoittuisi mahdollisimman pieneen osaan jakeluverkkoa. Vian seurauksena toimiva suo-



jalaite siis irrottaa verkosta vain sen osan, jossa vioittunut komponentti sijaitsee. Yleensä sähköverkon suojausten selektiivinen toiminta saavutetaan porrastamalla sulakkeet vähintään kahden peräkkäisen sulakeportaan avulla. [27, s. 247; 60, s. 167.]

Suojausten toiminnan selektiivisyysvaatimukset eivät kuitenkaan ole jakeluverkon suunnittelun ja käytön kannalta ehdottomia vaatimuksia, vaan niiden noudattamisen tarkoituksena on minimoida yksittäisten suojaustapahtumien vaikutukset muissa jakeluverkon suojauspiireissä. Käytännössä verkostosuunnittelussa eniten merkitystä on muuntamon suur- ja pienjännitesulakkeiden välisellä selektiivisyydellä, sillä niiden toiminnan välinen epäselektiivisyys voi aiheuttaa yksittäisen asiakkaan vikatilanteessa koko muuntopiirin laajuisen jakelukeskeytyksen.

Liittymisjohtojen alkupään oikosulkusuojan ja loppupään ylikuormitussuojan välinen selektiivisyys on myös toivottavaa, mutta se ei kaikissa tilanteissa ole tarpeellista tai edes kannattavaa. Liittymisjohdon oikosulkusuojan sulakekoon kasvattaminen suojausten selektiivisyyden varmistamiseksi vaikuttaa merkittävästi liittymisjohdolle sallittuun suurimpaan mahdolliseen pituuteen, jolla taulukon 8 ehdot täyttyvät. Tästä pituudesta käytetään termiä suojauspituus. Oikosulku- ja ylikuormitussuojan välisellä selektiivisyydellä ei välttämättä muutoinkaan ole merkitystä, sillä oikosulku asiakkaan pääkeskuksessa aiheuttaa asiakkaalle käyttökeskeytyksen joka tapauksessa. Suuremmat liittymisjohdon oikosulkusuojat voivat myös vaikeuttaa niiden ja muuntamon suurjännitesulakkeiden välisen selektiivisyyden varmistamista.

Verkostokomponenttien termisen kuormitettavuuden varmistamisen osalta suojataan HSV:n pienjänniteverkkoon kytkeytyviä liittymisjohtoja, jotka on varustettu liittymän pääkeskukseen sijoitetuilla ylikuormitussuojilla. HSV:n hallinnoimien verkostokomponenttien kuormitustilannetta seurataan yleensä verkon suunnittelun ja käytön yhteydessä. Runkojohtojen kuormitustilanne nähdään suunnittelun yhteydessä tehtävästä verkostolaskennasta ja muuntajien kuormitusta seurataan verkostoautomaatiolla sekä paikallismittauksin.

#### 4.3 Vakiokomponentit

Jakeluverkossa käytettävät komponenttityypit ja niiden koot on tyypillisesti verkon suunnitteluperiaatteiden määrittämisen yhteydessä valittu tarkkaan. Vakiokomponenttien käytöllä tavoitellaan säästöä suunnittelu- ja varastointikustannuksissa. Tarkasti määritettyjen komponenttien käytön yhteydessä suunnittelijan ei tarvitse aina optimoida käytettävien komponenttien

ominaisuuksia erikseen vaan komponenttien määrittelyt on asetettu ennakkoon. Eri avojohtotai kaapelityyppejä on markkinoilla monella eri poikkipintasarjalla. Kaikkien näiden käyttö hankaloittaisi jakeluverkon suunnittelua, mutta myös nostaisi varastointi- ja työkustannuksia, koska kaikille johtotyypeille olisi pidettävä varusteita saatavilla. Tyypillisesti verkkoyhtiöissä onkin määritetty tarkat vakio-komponentit. [28, s. 73.]

## Kaapelit

HSV:n keskijänniteverkossa käytetään 240 ja 300 mm<sup>2</sup>:n PEX-eristeisiä AHXAMK-W kaapeleita ja pienjänniteverkossa liittymisjohtojen yhteydessä 35, 70 ja 185 mm<sup>2</sup>:n sekä verkon runkojohdoissa 185 mm<sup>2</sup>:n PEX-eristeisiä AXMK-kaapeleita. Poikkeustapauksissa liittymisjohtoina voidaan käyttää myös 16 mm<sup>2</sup>:n kaapeleita. Vuoden 2019 alussa on verkon runkojohdoille otettu koekäyttöön myös 300 mm<sup>2</sup>:n poikkipinta-alainen AXMK-kaapeli.

Pien- ja keskijännitekaapeleilla käytetään kaapelinsuojajärjestelmänä suojaputkitusta. HSV:n maakaapelit asennetaan pääsääntöisesti maahan putkituksissa, mutta joitain osuuksia voidaan asentaa myös suoraan maahan. Käytetyt putkitukset ovat standardin SFS 6000-8-814 mukaisesti väriltään keltaisia. Keskijännitekaapeleilla käytetään halkaisijaltaan pääsääntöisesti 140 millimetrin ja pienjännitekaapeleilla 110 millimetrin suojaputkia. Tarvittaessa pienjännitekaapeleita (esim. AXMK 4x300) voidaan asentaa kuitenkin myös 140 millimetrin suojaputkituksiin. Verkostosuosituksen RK 1:16 suositusten mukaisesti myös 300 mm<sup>2</sup>:n AXMK-kaapeleita voitaisiin asentaa 110 millimetrin suojaputkissa, mutta niiden asennettavuuden helpottamiseksi HSV:ssa niillä käytetään pääasiassa 140 millimetrin suojaputkia.

HSV:n pienjänniteverkossa käytetään kaapelien suojaukseen pääasiassa taulukossa 9 listattuja vakiosulakekokoja, joiden määrityksessä on huomioitu liittymisjohdoille asetetut kuormitettavuusvaatimukset. Taulukon arvoista poiketaan tarvittaessa pienempään sulakeportaukseen, mikäli suojaus-ehdojen toteutuminen näin vaatii.

Taulukko 9. Pienjännitekaapeleiden vakiosulakekoot [46].

Kaapelin mm <sup>2</sup>		Runkojohdot	Liittymisjohdot	
Al	Cu		Alkupään sulake	Kuluttajan max.pääsulake
300	–	400 A	–	–
185	120	315 A	200 A	200 A
120	95	200 A	200 A	160 A
70	50	–	160 A	125 A
35	25	–	100 A	63 A
16	10	–	63 A	50 A

Taulukosta nähdään kuitenkin, että vaatimukset liittymisjohtojen oikosulku- ja ylikuormitussuojien suojausten selektiiviselle toiminnalle eivät täyty 185 mm<sup>2</sup>:n alumiini- tai 120 mm<sup>2</sup>:n kuparikaapeleilla. Kyseisten vakiosulakekokojen epäselektiivisyys johtuu lähinnä siitä, että liittymisjohtojen suojauspituutta on haluttu tietoisesti kasvattaa.

#### Muuntamot

Muuntajien vakiokokoina käytetään 630, 800 ja 1 000 kVA:n muuntajia. Muuntaja pyritään suunnittelun yhteydessä mitoittamaan siten, että normaalissa käyttötilanteessa se olisi noin 70–80 %:n kuormitusasteessa. Muuntamoiden pienjännitekomponenttien oikosulkukestoisuus mitoitetaan normaalitilanteessa käyttämällä 1 000 kVA:n jakelumuuntajan syöttämää suurinta mahdollista oikosulkuvirtaa, joka tarvittaessa mahdollistaa muuntajakoon suurentamisen ilman muiden komponenttien vaihtoa. Tilanteisiin, joissa muuntamossa käytetään suurempia muuntajia (yli 1 000 kVA) on laadittu erilliset ohjeavot.

Keskijänniteverkossa käytetään kahta eri jännitetasoa, mikä tarkoittaa, että KJ-jakelualueiden oikosulkuvirroissa on huomattavia eroja. Suunnittelun helpottamiseksi ja varastoitavien verkostokomponenttien vähentämiseksi on kuitenkin päädytty ratkaisuun, jossa muuntamoiden KJ-komponentit on mitoitettu siten, että ne kaikki täyttävät molempien jakelualueiden niille asettamat vaatimukset. [46.]

Muuntajien oikosulkusuojauksessa käytettyjen suurjännitesulakkeiden vakiokoot keskijänniteverkon jännitealueittain on listattu taulukossa 10.

Taulukko 10. Suurjännitesulakkeiden vakiokoot [46].

Muuntaja kVA	Sulakekoko jakelualueella	
	20 kV	10 kV
300 / 315	25 A	40 A
500	25 A	63 A
630	40 A	63 A
800	40 A	80 A
1 000	50 A	100 A
1 250	63 A	100 A
1 600	63 A	125 A

### Jakokaapit

Jakokaappeina käytetään verkon rakennuksessa pääasiassa nimellisvirraltaan 630 A:n virtakiskolla varustettuja kaapelijakokaappeja, joiden tyypillisimpiä malleja ovat olleet ABB Kabeldon -tuotesarjan SDC- ja CDC-mallit. Näiden jakokaappien rinnalle ollaan vuoden 2019 alussa otettu koekäyttöön myös nimellisvirraltaan 1 000 A:n jakokaappeja, jotka ovat osa 300mm<sup>2</sup>:n AXMK-kaapeleiden kokeilua. Jakokaappien kytkinlaitteina käytetään jonovarokeytkimiä, joiden vakiokokoja ovat 160, 250 ja 400 A:n mallit.

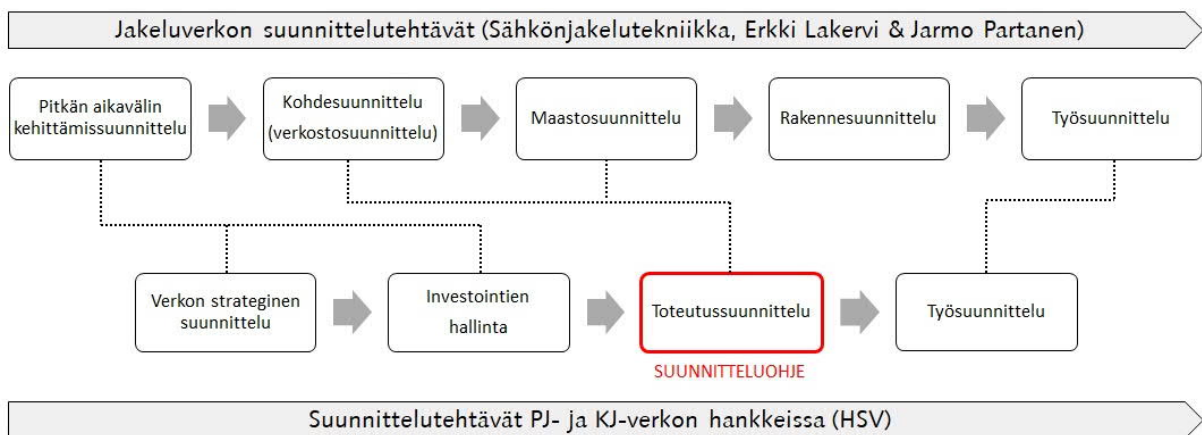
## 5 Jakeluverkon suunnitteluprosessi

### 5.1 Suunnitteluvaiheet

Lakervi & Partanen [28, s. 63–64.] kuvaavat jakeluverkon suunnitteluprosessin koostuvan pääasiassa viidestä erillisestä suunnitteluvaiheesta. Näitä vaihteita ovat verkon pitkän aikavälin kehittämissuunnittelu, kohdesuunnittelu (ts. verkostosuunnittelu), maastosuunnittelu, rakennesuunnittelu ja työsuunnittelu. Kullakin suunnittelutehtävällä on oma vaiheensa suunnitteluprosessissa, jonka tarkoituksena on löytää lopulliselle verkolle sellainen tekniset vaatimukset täyttävä ratkaisu, jonka taloudelliset kustannukset olisivat mahdollisimman pienet sen toteutuksen kuin myös pitkäaikaisen käytön aikana.

Pitkän aikavälin kehittämissuunnittelun tarkoituksena on toimia pohjana kaikelle verkosto-suunnittelulle ja määrittää millaisia investointeja verkkoon on tehtävä, jotta lopullinen verkko täyttäisi sille asetetut vaatimukset. Kohdesuunnittelussa määritetään verkossa käytettävät verkostokomponentit ja tehdään työn toteutuksesta tarkka suunnitelma. Maastosuunnittelun tarkoituksena on varmistaa kohdesuunnittelun verkostokomponenttien sijoituksen toimivuus maastossa. Rakennesuunnittelussa määritetään verkostokomponenttien, kuten pylväiden rakenne sellaiseksi, että ne täyttävät maastosuunnittelussa määrätyn paikan vaatimukset. Työsuunnittelussa aikataulutetaan tehdyn suunnitelman toteutus ja varataan siihen vaaditut resurssit. [28, s. 64.]

Lakervi & Partasen -mallin suunnittelutehtäviä voidaan verrata HSV:n malliin kuvan 49 mukaisesti. HSV:n jakeluverkon suunnittelutehtävien voidaan katsoa jakautuvan neljään eri pääosaan, jotka sisältävät Lakervi & Partasen -mallin osia, mutta ei kuitenkaan myöskään sitä täysin. Suunnittelutehtäviä ovat verkon strateginen suunnittelu, investointien hallinta, toteutussuunnittelu ja työsuunnittelu. Rakennesuunnittelun rooli HSV:n jakeluverkossa on vähäinen, sillä pien- ja keskijänniteverkkoa pyritään rakentamaan hyödyntäen maakaapelointia aina, kun se on mahdollista. Opinnäytetyön yhteydessä laadittu suunnitteluohjeistus on kohdennettu näistä eri suunnitteluvaiheista toteutussuunnittelun eli kohde- ja maastosuunnittelun vaiheeseen.



Kuva 49. Jakeluverkon suunnitteluprosessi.

## Verkon strateginen suunnittelu

Verkon strateginen suunnittelu on osiltaan verrattavissa Lakervi & Partasen -mallin verkon pitkän aikavälin kehittämissuunnitteluun. Strategisen suunnittelun tarkoituksena on määrittää verkon kehityksen pidemmän aikavälin periaatepäätökset ja seurata aktiivisesti verkon nykykäyttötilaa ja sen kehittymistä. Suunnittelun tarkastelujakso ylittää tyypillisesti kymmenen vuoden aikajänteen, jonka perusteella seurataan mm. verkostoteknologian kehitystä, verkkoalueen sähkönkäytön muuttumista ja kaupungin kaavoituksellisia muutoksia. Tehtyjen tarkastelujen pohjalta laaditaan suuntaviivat suur-, keski- ja pienjännitteisten jakeluverkkojen suunnitteluun. Suunnitteluryhmän vastuulle kuuluu myös keski- ja pienjänniteverkon elinkaarisuunnittelu eli jokaisen verkostokomponentin suunnitellun elinkaaren ja käytön aikaisten kustannusten mallintaminen.

## Investointien hallinnan suunnittelu

Investointien hallinnan suunnittelu on strategista suunnittelua lyhyemmälle aikajänteelle keskittyvä suunnitteluporras, jota voidaan osiltaan verrata myös pitkän aikavälin kehittämissuunnitteluun. Investointien hallinnan keskeinen tehtävä on määrittää jakeluverkon pitkän tähtäimen suunnittelun tavoitteet eli laatia vuosittaiset investointiohjelmat noin kymmenen vuoden aikajänteellä. Investointien hallinnassa tehdään verkon teknistaloudellista suunnittelutyötä, josta puhutaan usein yleis- ja aluesuunnitteluna. Suunnittelusta vastaavan ryhmän vastuulla on myös kaupungin kaavoituksen liittyvien lausuntojen laatiminen.

Yleissuunnittelun tarkoituksena on tavoiteverkon hallinta ja keskijänniteverkkoa koskevien investointikohteiden määrittäminen. Suunnittelua tehdään verkkoalueen uudisrakennuskohdeissa ja jakeluverkon korvausinvestointien yhteydessä. Suunnitteluvaihe on keskijänniteverkon hallinnan kannalta erittäin keskeinen, sillä sen yhteydessä suunnitellaan yleensä maantieteellisesti laajalle verkkoalueen osalle mahdollisimman teknistaloudellisesti optimoitu verkkomalli. Yleissuunnitelman mukaisen keskijänniteverkon toteutus ei yleensä sen laajuuden takia ole mahdollista yksittäisessä verkkohankkeessa, vaan vaatii toteutuksessaan useampia investointihankkeita. Yleissuunnitelma toimii siis keskijänniteverkon kohdesuunnittelun mallipohjana ja alustavana arviona verkostotöiden aiheuttamista kustannuksista.

Yleissuunnittelussa tavoitteena on muodostaa suunnitelma-alueelle tavoiteverkkomallin mukainen verkkotopologia ja kytkentätilanne. Suunnitelman yhteydessä määritetään alustavat



kaapelireitit ja muuntamoiden sijainnit, joiden perusteella voidaan määrittää myös kuhunkin muuntamoon lopullisen verkkomallin kannalta vaaditut kojeistomallit sekä mahdollinen verkostoautomaation tarve. Yleissuunnittelun yhteydessä ei yleensä laadita yksityiskohtaisia verkostolaskentoja, joissa huomioitaisiin myös pienjännitteisen jakeluverkon kuormitukset, vaan laskennassa käytetään suuntaa-antavia kulutusennusteita, jotka perustuvat kaupungin kaavoitukseen. Tiedot muuntamoille yleissuunnitelmassa kaavailluista alustavista sijainneista välitetään myös kaupungille, jotta ne voidaan huomioida alueellisten kaavoitusten valmistelussa.

Aluesuunnitelma laaditaan valmistuneen asemakaavan pohjalta eli aiemmassa vaiheessa laaditun yleissuunnitelman huomioivan kaupungin kaavoituksen valmistuttua. Aluesuunnittelussa tarkoituksena on laatia kaavatietojen perusteella alustavat pienjänniteverkon rakennesuunnitelmat, jossa jatketaan suunnittelua yleissuunnitelman pohjalta ja pyritään sijoittamaan alueen muuntamot tehojaon sekä verkon rakennuksen kannalta optimaalisiin paikkoihin. Aluesuunnittelulla ohjataan yleissuunnittelun tavoin jakeluverkon yksityiskohtaista toteutussuunnittelua. Aluesuunnittelussa tehdään alustavat kuormituslaskennat yleensä laskemalla tonttien keskiarvohuipputehot, jotka perustuvat kaavoituksessa ilmoitettuihin tonttien kerrosalatietoihin sekä kaavamerkintöihin. [46.]

#### Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelussa tehdään edellisten suunnitteluvaiheiden tai verkon äkillisemmän muutostarpeen pohjalta yksityiskohtaiset suunnitelmat, joiden toteutusajankohdan katsotaan pääsääntöisesti olevan enimmillään noin vuoden päässä niiden laatimisesta. Toteutussuunnittelu yhdistää Lakervi & Partasen -mallin näkökulmasta kohde- ja maastosuunnittelun yhteen suunnitteluvaiheeseen. Suunnittelun tavoitteena on tuottaa tavoiteverkon mukainen, teknistaloudellisesti optimoitu ja käytännössä toteutettavissa oleva jakeluverkon hankesuunnitelma. Toteutussuunnittelussa pyritään hakemaan yleis- ja aluesuunnitelmien verkostokomponenteille niiden todelliset sijoituspaikat.

Toteutussuunnittelussa tehdään verkon investointien eli hankkeiden toteutusta varten tarvittavat työkuvat, töiden alustava aikataulutus ja tarkemmat arviot niiden aiheuttamista kustannuksista. Suunnitteluvaiheesta puhutaan usein myös termillä hankesuunnittelu.

## Työsuunnittelu

Työsuunnittelussa tehdään hankesuunnitelmien pohjalta toteutuksen tarkempi aikataulutus ja työvaiheiden suunnittelu. Suunnitteluvaihe vastaa pääosin Lakervi & Partasen -mallin työsuunnitteluvaihetta, mutta sen voidaan katsoa koostuvan kahden erillisen toimijan osuuksista, joita ovat rakennuttaminen ja urakointi. Rakennuttaminen ja urakointi sisältävät kaikki toteutussuunnittelussa laaditun suunnitelman toteutukseen liittyvät vaiheet. Rakennuttamisessa tilataan toteutussuunnittelussa laaditun hankesuunnitelman toimeenpano ulkoiselta urakoitsijalta ja koordinoidaan toteutus. Urakoitsija tekee työvaiheiden tarkemman toteutussuunnitelun tilaajan (HSV:n) työkuviin perusteella ja töiden tarkemman aikataulutuksen tilaajan antaman aikaikkunan puitteissa.

HSV käyttää erilliskilpailutettavia hankkeita lukuun ottamatta verkonrakennuksessa sopimusurakoitsijoita, jotka vastaavat jakeluverkon rakentamisesta ja sen viankorjauksesta toteutussuunnittelun hankkeissa. Verkkoalueella toimii työn laatimishetkellä kaksi sopimusurakoitsijaa, joiden sopimukset on kilpailutettu yksikköhinnoin. Päävastuu työsuunnitteluvaiheesta kuuluu sopimusurakoitsijoille.

### 5.2 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelun hankkeiden projektioinnista vastaavat HSV:ssä hankepäälliköt, suunnittelusta sähköverkon suunnittelijat ja toteutuksesta rakennuttajat. Jakeluverkon toteutussuunnitteluprosessi lähtee liikkeelle tarpeesta tehdä keski- tai pienjänniteverkkoon rakenteellisia muutoksia. Jakeluverkon investointiprosessi etenee kuvan 50 mukaisesti.



Kuva 50. Toteutussuunnittelun suunnitteluprosessi.

## Toteutussuunnitteluprosessin lähtökohdat

Toteutussuunnitteluprosessin voidaan yleisesti katsoa lähtevän liikkeelle joko verkonhaltijan omasta tarpeesta, eri organisaatioiden välisenä yhteistyöhankkeena tai muiden ulkoisten toimijoiden tarpeesta. [10.]

Tekijöiden osalta investointihankkeet voidaan siis jakaa kolmeen eri ryhmään:

- omat verkkohankkeet
- yhteistyöhankkeet
- ulkoiset hankkeet.

Omasta tarpeesta tehdyillä verkostotöillä tarkoitetaan jakeluverkon hankkeita, joiden kustannukset kohdistuvat HSV:lle. Tarve omiin verkostotöihin syntyy HSV:n omasta aloitteesta tai sen verkolle asetetuista vaatimuksista kuten esimerkiksi sähköturvallisuusmääräyksin kiristymisestä.

Yhteiset hankkeet ovat yhteistyökumppaneiden kanssa toteutettuja hankkeita, joiden kustannukset jakautuvat osallistujien kesken. Yhteisissä hankkeissa työn alullepanijana voi olla Helsingin kaupunki tai joku muu alueella toimiva yhteistyökumppani. HSV ei automaattisesti lähde mukaan jokaiseen yhteishankkeeseen vaan päätöstä tehtäessä tarkastellaan työalueen jakeluverkon sen hetkistä kuntoa ja lähitulevaisuudessa tiedossa olevia muutostarpeita.

Omat verkkotyöt voidaan toteuttaa yksin, mutta myös niihin pyritään liittämään muita verkkoalueella toimivia yhteistyökumppaneita, jolloin niistäkin tulee yhteisiä hankkeita. Yleisimpiä yhteistyökumppaneita HSV:n hankkeissa ovat Helsingin kaupungin ulkovalaistus ja eri teleoperaattorit, joille tieto työn toteutuksesta ja yhteiskaivun mahdollisuudesta lähetetään suunnitelmien valmistuttua sähköisellä jakelulla.

Yhteisten hankkeiden rinnalla käytetään Helsingissä myös toimintatapaa, jota kutsutaan nimellä yhteinen kunnallistekninen työmaa (YKT). Toimintatavassa kaikkien hankkeeseen osallistuvien osapuolien työt pyritään toteuttamaan samanaikaisesti yhteisen aikataulun mukaan. YKT-hankkeilla vähennetään kaupunkialueella tehtäviä eriaikaisia maanrakennustöitä ja lyhennetään niiden toteutuksen ajallista kestoa. [10, s. 3.] YKT-hankkeet ovat tyypillisesti aluerakennus- tai katujen peruskorjaushankkeita.

Ulkopuoliskustanteiset hankkeet ovat yleensä jakeluverkon muutostöitä, joiden tarve on lähtöisin ulkopuolisen tahon tarpeesta tai halusta. Ulkopuolisten hankkeiden suunnittelutarve tulee yleensä halusta siirtää sähköverkon komponentteja. Verkkoyhtiön siirtovelvollisuus pyydetessä pohjautuu sähköturvallisuuslain (STL 16.12.2016/1135) pykälään 113. Tyypillisiä siirtohankkeita ovat kaapeleiden, jakokaappien tai jopa erillismuuntamoiden siirrot, jotka aiheutuvat tielinjauksen muutoksesta tai uudisrakentamisen vaatimuksista. Hankkeissa ei yleensä ole yhteistyökumppaneita ja niiden aiheuttamia kustannuksia kohdistetaan tyypillisesti työn tilanneelle ulkopuoliselle taholle eli asiakas maksaa hankkeen aiheuttamat kustannukset osittain tai kokonaisuudessaan.

### Toteutussuunnitteluprosessi

Toteutussuunnitteluprosessissa hankepääälliköt käsittelevät suunniteltavaksi saapuvat ja investiohjelmaan kuuluvat hankkeet ennen niiden suunnittelua. Hankepääälliköt selvittävät kohteen suunnittelutarpeen laajuuden, tekevät suunnitelmalle alustavan aluerajauksen ja laativat työlle sen suunnittelu- ja toteutusaikataulun.

Suunnittelija laatii hankepääällikön toimittamien perustietojen pohjalta sähköteknisen suunnitelman, hankekohtaisen kustannusarvion ja hakee sen toteutukseen tarvittavat luvat ja lausunnot Helsingin kaupungilta tai muilta tahoilta. Hankesuunnitelman valmistuttua suunnittelija tekee suunnitelma- ja rakennuttamiskierron, jossa hanke lähetetään tarkisteltavaksi investoinnin hyväksyjille.

Investoinnin hyväksynnässä tarkastellaan hankkeen kannattavuutta teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta, mikäli hanke täyttää vaatimukset, hankepääällikkö tekee investoinnista hankintapäätöksen tai -ehdotuksen ylemmälle hyväksymisportaalle. Investointien hyväksyntäraajat määräytyvät kustannusmäärien mukaisesti; pienet hankkeet hyväksyvät hankepääälliköt, keskisuuret investointipääällikkö tai yksikön johtaja, suuret yrityksen toimitusjohtaja tai hallitus. Investoinnin hyväksynnän jälkeen suunnittelija tekee yhteisrakentamisperiaatteen mukaisesti hankkeesta sähköisellä jakelulla jakelukierron, jossa työn alustavasta toteutuksesta tiedotetaan alueen muille toimijoille. Lopuksi jakeluverkon rakennuttaja tilaa työn toteutuksen sopimusurakoitsijalta ja toteuttaa työsuunnitteluvaiheen yhteistyössä tämän kanssa.

### 5.3 Investointihanketyypit

Toteutussuunnittelussa käsitellään useita eri tyyppisiä jakeluverkon rakennushankkeita, jotka eroavat toisistaan lähinnä investoinnin tarpeen, laajuuden ja kustannusten jakautumisen osalta.

Investointihankkeita on viittä eri päätyyppiä:

- liittymätyö
- vuosi-investointihanke
- yhteinen kunnallistekninen työmaa (YKT)
- ennakoiva kunnossapito
- muutostyötilaus.

Yksittäisessä hankkeessa voi esiintyä myös useamman eri hanketyypin osia eli esimerkiksi investointihankkeessa voidaan tehdä samanaikaisesti myös liittymätöitä.

#### Liittymätyöt

Liittymätyöt ovat ulkopuolisen (liittyjän) tarpeesta liikkeelle lähteviä hankkeita, joiden toteutus-aikataulu riippuu niiden tilaajasta. Liittymätyötyypejä ovat pienjänniteliittymät, keskijänniteliittymät, tilapäisliittymät ja erikoisliittymät. Edellä mainituista muiden paitsi erikoisliittymien voidaan katsoa olevan sisällöltään itseselitteisiä. Erikoisliittymät ovat tyypillisesti tapauskohtaisesti tai projektiluontoisesti toteutettavia sähköliittymiä, joiden suunnittelu vaatii enemmän selvitystyötä. Tällaisia liittymiä ovat mm. yleisten-, puisto- ja saaristoalueiden sähköliittymät.

Liittymätöiden katsotaan olevan HSV:n omia verkostohankkeita, vaikka niiden tarve ja alustava aikataulutus tulevatkin liittyjältä. Syynä tähän on se, että katualueelle rakennettavat liittymisjohdot kuuluvat HSV:n rakentamis- ja kunnossapitovastuulle. Liittymisjohtohankkeiden kustannukset katetaan normaalitilanteessa osittain tai kokonaan liittyviltä asiakkailta perittävillä liittymismaksuilla.

Liittymätyöt sisältävät lähinnä kiinteistöjen liittymisjohtojen rakentamiseen liittyviä kustannuksia. Työn kustannukset aiheutuvat lähinnä liittymisjohdon kaapelimateriaaleista, maanrakennuksesta ja mahdollisista muutoksista jakokaappeihin. Joissain tapauksissa liittymätyön yhteydessä voi olla tarvetta rakentaa pieniä osuuksia PJ-jakeluverkkoa, jotta kohde saadaan liitettyä sähköverkkoon. Liittymisjohtotyön yhteydessä voidaan tehdä myös ennakkoputkituksia kaivettaville osuuksille, joilla varaudutaan myöhemmin toteutettaviin investointihankkeisiin.

#### Vuosi-investointihankkeet

Vuosi-investointihankkeet ovat yleensä HSV:n omasta tarpeesta toteutettavia verkstohankkeita, mutta joissain tapauksissa ne voivat myös olla hankkeita, joihin HSV on itse lähtenyt yhteistyökumppaniksi. Riippuen hankkeen lähtökohdista kustannukset jakautuvat siis joko osittain tai kokonaan HSV:lle, eikä investointihankkeiden kustannuksia pääsääntöisesti erikseen laskuteta ulkoiselta toimijalta.

Investointihankkeita ovat yleensä hankkeet, joissa tehdään jakeluverkon laajamittaisia laajennus-, uudistus- tai muutostöitä. Investointihanke voi olla myös YKT-hankkeeseen liittyvä verkonrakennushanke.

#### Yhteinen kunnallistekninen työmaa (YKT)

Yhteiset kunnallistekniset työmaat ovat yleensä kaupungin johtamia katujen saneeraus- tai uudisrakennushankkeita. HSV:n osalta YKT-hanke käsittää yleisesti ennakkoputkitusten, johtosiirtojen ja uuden verkon suunnittelua. Hanketyyppi on edellä mainitusti yleensä vuosi-investointihankkeen valmistelemaa suunnittelua, missä katurakenteeseen toteutetaan myöhemmässä vaiheessa tarvittavat ennakkoputkitukset.

YKT-hankkeiden yhteydessä työstä laaditaan yhteinen johtosiirtokuva, jossa näkyvät kaikki hankkeeseen liittyvät kaapeli- ja putkirakenteet. Yhteisen johtosiirtokuvan laatimisesta vastaa yleensä koko YKT-hankkeesta vastaava konsulttiyritys, jolle hankkeeseen osallistujat toimittavat omat ennakkoputkisuunnitelmansa. Konsulttiyrityksen vastuulla on yhteensovittaa kaikkien hankkeeseen osallistujien suunnitelmat katurakenteeseen.



## Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivan kunnossapidon hankkeet ovat yleensä verkostokomponenttien vaihtoihin liittyviä hankkeita, joissa uusitaan jakeluverkkoa kunnossapidollisista tai käyttöturvallisuuteen liittyvistä syistä. Ennakoivan kunnossapidon hankkeita voivat olla esimerkiksi jakokaappien tai avorakenteisten muuntamokojestojen vaihtotyöt.

## Muutostyötilaukset

Muutostyötilaukset ovat edellä mainittuja ulkopuolisen tarpeesta tehtäviä hankkeita, joita ovat yleensä verkostokomponenttien siirrot tai verkon rakenteelliset muutokset.

### 5.4 Hankkeen suunnittelu

Yksittäisen hankkeen suunnitteluprosessi koostuu viidestä päävaiheesta, joita ovat esi- ja maastosuunnittelu, sähkötekniinen suunnittelu, kustannusarvion laatiminen, luvanhaku ja suunnitelman asiakirjojen kokoaminen. Yksittäisen hankkeen suunnitteluprosessia on havainnollistettu kuvassa 51.



Kuva 51. Hankkeen suunnitteluvaiheet.

### Esi- ja maastosuunnittelu

Esi- ja maastosuunnittelu on suunnittelun vastuuttamisen jälkeen ensimmäinen työvaihe sähköverkonsuunnittelijalle. Esisuunnittelun yhteydessä suunnittelija perehtyy hankepäällikön tälle vastuuttamaan hankkeeseen ja sen tarkoitukseen ja toteutusalueeseen. Esisuunnitteluvaiheessa suunnittelijan käytettävissä on alueen sen hetkinen verkkokartta, sijaintikartta-aineistot, yleis- ja aluesuunnitelmat ja muut mahdolliset ulkoiset aineistot, kuten alueesta otetut ortokuvat ja Google Maps -karttapalvelu. Esisuunnitteluvaiheessa suunnittelijan kannattaa olla

yhteydessä hankkeen mahdollisiin toisiin osapuoliin kuten työn tilaajaan tai yhteistyökumppaneihin heidän tarpeidensa selvittämiseksi.

Maastosuunnittelussa suunnittelija perehtyy suunnittelualueeseen ja sen nykyisiin verkkorakenteisiin paikan päällä. Työvaihe ei kaikissa hankkeissa ole välttämätön, vaan sen suorittaminen perustuu suunnittelijan omaan harkintaan. Maastosuunnittelun tarkoituksena on kartoittaa alueen nykytila ja sen vaikutus hankkeen toteutukseen. Maastosuunnitteluun voi kutsua myös hankkeen muita osapuolia, mikäli suunnittelija arvioi tämän olevan tarpeellista.

Hankkeesta kannattaa pyrkiä hahmottamaan alustava toteutusmalli jo esisuunnitteluvaiheessa, jotta sen toimivuutta käytännössä voidaan tarkastella heti maastosuunnittelun yhteydessä. Maastosuunnittelun yhteydessä kannattaa pyrkiä valokuvaamaan suunnittelualue mahdollisimman tarkasti myöhempää tarkastelua varten, sillä usein suunnittelun yhteydessä tulee vasta myöhemmin esiin kysymyksiä, joita maastosuunnittelun yhteydessä ei välttämättä olla vielä mietitty.

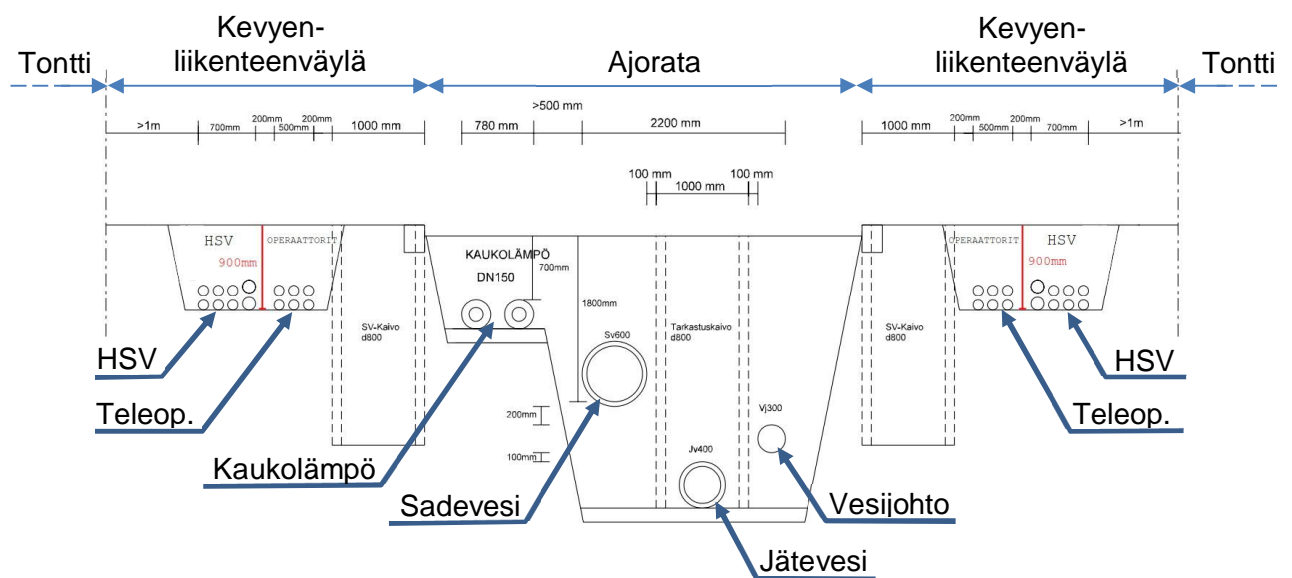
Maastosuunnittelun yhteydessä kartoitetaan myös muita mahdollisia yhteistyökumppaneita hankkeen toteutukseen. Yleisin maastosuunnittelussa havaittava yhteistyökumppani, jolle hankkeen toteutuksesta kannattaa tiedottaa, on Helsingin kaupungin ulkovalaistus, jonka käytössä olevan valaistusverkon uudistustarvetta voidaan maastosuunnittelun yhteydessä arvioida silmämääräisesti. Ulkovalaistusverkon uudistamistarvetta suunnitelma-alueella voi karkeasti arvioida esimerkiksi sen pylväsrakenteesta (puu- vai metallipylväs), valaisimista (purkaus- vai ledivalaisin) ja niiden sähkönsyötön toteutustavasta (ilmajohto vai maakaapeli).

Esi- ja maastosuunnittelussa huomioitava kohtia ovat pääpiirteittäin siis:

- työn toteuttamiskelpoisuus
- olemassa olevien rakenteiden ja reittien hyödyntäminen
- muu maanpäällinen sekä -alainen infrarakenne
- maaston muodot ja kulkureitit
- alitusten määrän ja kohtien optimointi
- yhteiskaivut ja projektiyhteistyö
- mahdolliset saastuneet maa-ainekset. [61, s. 12.]

Sähköverkon suunnittelun yhteydessä eri johtoverkkojen omistajien välinen yhteistyö on välttämätöntä, jotta johtorakenteiden ja putkistojen sijoittelu saadaan toteutettua kaikkien osapuolien kannalta järkevästi. [34, s. 56.]

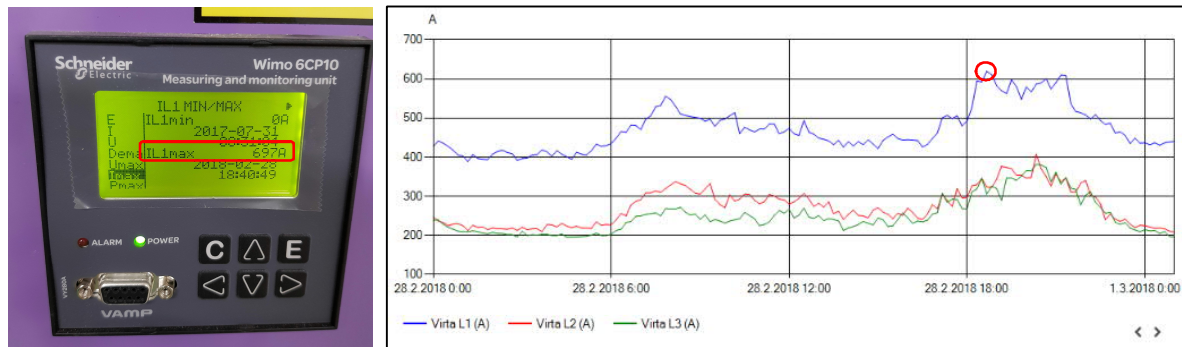
Kuvassa 52 on esitetty Helsingin kaupungin esimerkkiohjeistus eri rakenteiden sijoittumisesta katurakenteeseen kerrostaloalueen kokoojakadulla. Yleinen käytäntö Helsingissä on, että HSV:n ja kaupungin ulkovalaistuksen johtorakenteet pyritään kuvan mukaisesti sijoittamaan kevyenliikenteenväylällä tontin puoleiselle osuudelle. Sähköverkon rakentaminen kevyenliikenteen väylälle ei ole kuitenkaan ehdoton vaatimus, vaan siitä poiketaan tarvittaessa. Rakenteellisesti pienjännitekaapeleilla käytettävät 110 millimetrin putkitukset asennetaan pääsääntöisesti tontin puolelle ja keskijännitekaapeleiden 140 millimetrin putket kadun puolelle. Yhdessä kerroksessa olevan putkituksen ohjeellinen asennussyvyys on 0,7 metriä ja kahdessa kerroksessa olevan putkituksen 0,9 metriä. Mikäli ohjeelliseen asennussyvyyteen ei päästä, on putkitukselle rakennettava mekaaninen suojaus esimerkiksi betonivalulla tai teräslevyin.



Kuva 52. Helsingin kaupungin ohjeistus maanalaisten rakenteiden sijoittelusta kerrostaloalueen kokoojakadulla, muokattu [62, s. 74].

Esi- ja maastosuunnittelun yhteydessä on hyvä tarkastella myös verkkotietojärjestelmän verkostolaskennan tuloksia ja muuntamoiden sähkönlaatumittauksia. Suunnittelun laajuuteen voivat vaikuttaa laskennassa ja mittauksissa havaitut poikkeamat ohjeistoista. Muuntamoista kannattaa maastosuunnittelun yhteydessä tarkistaa mm. muuntamon huippuvirtamittaukset

muuntajan mahdollisen ylikuormittumisen selvittämiseksi. Muuntamovalvonnan piiriin kuuluvissa muuntamoissa mittaustietoja voidaan tarkastella myös etänä, mutta muissa kohteissa se vaatii käynnin paikan päällä. Kuvassa 53 on esitetty esimerkit paikallisesta ja etänä tehdystä huippuvirranluennasta.



Kuva 53. Huippuvirtamittausten tarkastelu paikallisesti (vas.) ja etänä selainäkymässä (oik.) [63].

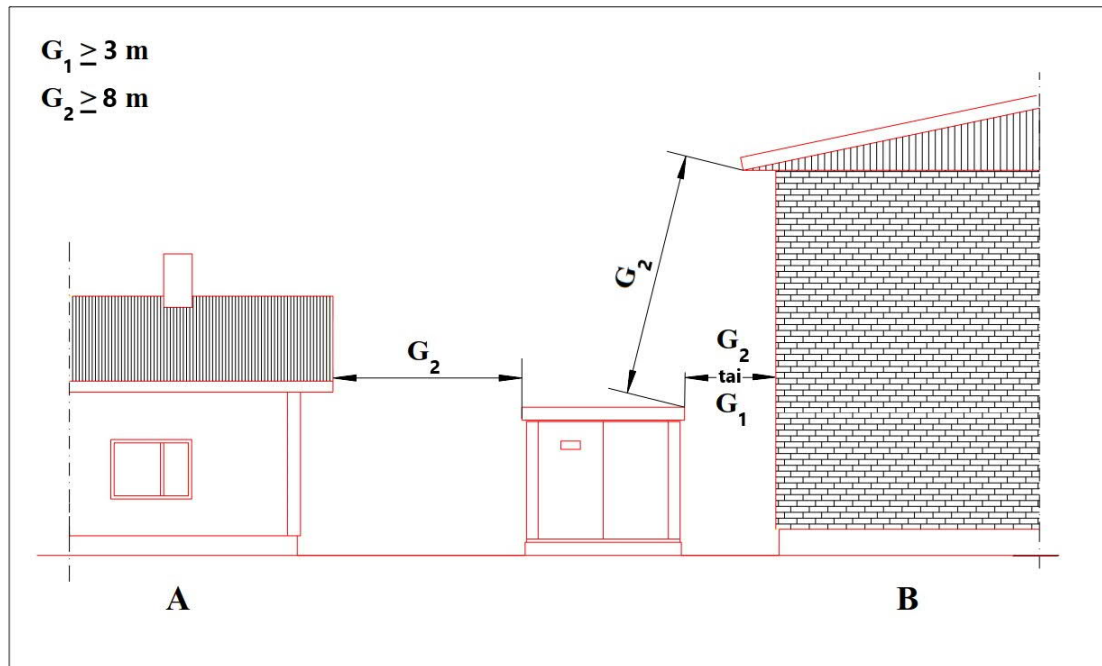
Maastosuunnittelun yhteydessä on huomioitava kaapelireittien erilaiset pinnoitteet, sillä niiden avaaminen ja töiden jälkeinen ennallistaminen vaikuttavat oleellisesti suunnittelun yhteydessä laadittavien kaapelireittien maanrakennuskustannuksiin. Helpoin tapa huomioida maaperän erilaiset pinnoitteet myöhemmin tehtävässä kustannuslaskennassa on edellä mainitusti valokuvata alustavat kaapelireitit heti maastosuunnittelun yhteydessä.

Kaapelireittien suunnittelussa on kannattaa tarkastella eri reittivaihtoehtojen vaikutuksia hankkeen kustannuksiin ja pyrkiä kustannustehokkaimpaan ratkaisuun. Reittisuunnittelussa pyritään hyödyntämään jakeluverkon vanhoja kaapelirakenteita ja valmiiksi asennettuja ennakkoputkituksia kuitenkin huomioiden niiden elinkaaret. Liiallista kaapelijatkoksien määrää kannattaa myös rajoittaa, sillä niiden ylenmääräinen käyttö voi johtaa suurempaan vikaherkkyyteen sähköverkossa. Sijoittelussa kannattaa myös huomioida, että tien pientareelle tai tontin rajalle sijoitettu kaapeli voi olla myös riskitekijä sen käyttöiän tai -varmuuden maksimoinnille. Komponenttisiirtoja tehdään usein esimerkiksi liian lähelle tontteja sijoitetuille kaapeleille tai jakokaapeille, joita siirretään mm. kaavamuutoksien tai tontilla tehtävien rakennustöiden tieltä.

Jakokaappien ja puistomuuntamoiden paikkojen valinnassa on mietittävä niille sopivinta paikkaa jakeluverkon ja ympäristön kannalta. Sijoituspaikan valinta on yleensä kompromissi useamman eri tekijän välillä, missä ehdottomina vaatimuksina voidaan pitää sähköturvallisuus-

määräyksiä. Jakeluverkon teknistaloudellisen käytön kannalta muuntamot haluttaisiin mahdollisimman lähelle kulutuksen painopisteitä ja jakokaapit verkon solmupisteisiin. Tyypillisesti yleisenä toiveena on kuitenkin, että jakeluverkon komponentit sijoitettaisiin mahdollisimman huomaamattomasti. Varsinkin jakokaappien sijoittelussa kannattaa huomioida myös talvisaikaan tehtävien lumitöiden aiheuttamat riskit niiden käytölle. Vaikkakin uudet jakokaapit varustetaan pääsääntöisesti auraskepein, niin kaapin sijoittaminen esimerkiksi katuvalaistuspylvään viereen, voi merkittävästi pienentää sen vaurioitumisen riskiä talvisaikaan. Paikkoja mietittäessä on huomioitava myös muiden maanalaisten rakenteiden sijainnit, jotta vältetään päällekkäisyyksiltä.

Erillismuuntamoiden sijoituksessa on huomioitava rakentamismääräyksissä ja standardissa SFS 6001/2018 niille asetetut vähimmäisetäisyydet lähirakennuksiin. Mikäli muuntamossa sijaitseva muuntaja sisältää 200–2000 litraa nestettä (muuntajaöljyä) on noudatettava kuvan 54 vähimmäisetäisyyksiä. Suuremmilla muuntajaöljymäärillä tai palo-ominaisuuksiltaan erilaisilla muuntajilla (esim. kuivamuuntajilla) noudatetaan muita etäisyyksiä, jotka voidaan tarkistaa standardista. Kuvassa rakennus A on palonkestävyydeltään heikko ja rakennus B hyvän EI120 palonkestävyyden omaava rakennus. Pääsääntöisesti pyritään siihen, että erillismuuntamon etäisyys kaikkiin lähirakennuksiin olisi aina vähintään kuvan etäisyyden  $G_2$  verran eli 8 metriä. Mikäli etäisyyttä  $G_2$  ei kuitenkaan voida noudattaa, niin asianomaisen viranomaisen (esim. rakennusvalvonta- tai paloturvallisuusviranomaisen) luvalla voidaan käyttää myös etäisyyttä  $G_1$ . Etäisyyden  $G_1$  käytön ehtona on kuitenkin, että muuntamossa tai rakennuksessa on käytetty standardin vaatimusten mukaista osastoivaa paloluokiteltua ulkoseinää. [40, s. 15; 64, s. 73–74.]



Kuva 54. Erillismuuntamon sijoitus paloturvallisuuden kannalta, muokattu [40, s. 16].

### Sähkötekniinen suunnittelu

Varsinainen suunnitteluvaihe aloitetaan, kun esi- ja maastosuunnittelu on suoritettu. Suunnittelussa hyödynnetään edeltävässä vaiheessa hankittuja tietoja suunnittelualueesta ja tehdään HSV:n suunnitteluperiaatteiden mukaiset työkuvat, joiden perusteella verkostourakoitsijat asentajat voivat suorittaa verkonrakennuksen.

Yleisimpiä jakeluverkon suunnittelussa laadittavia dokumentteja ovat

- pienjännitesuunnitelmat eli pienjännitteisten töiden työkartat
- keskijännitesuunnitelmat eli keskijännitteisten töiden työkartat
- keskuskortit jakokaapeista ja muuntamoiden pienjännitekeskuksista
- pääkaaviot ja laitteistojen kokoonpanokuvat muuntamoista
- putkitussuunnitelmat ennakkoputkitusten sijoittumisesta katurakenteeseen
- sijoitus- tai asettelukuvat jakokaapeista ja erillismuuntamoista
- keskijänniteverkon käyttökaaviot
- pien- ja keskijänniteverkon verkkokartat ennen työn toteutusta.



Nyrkkisääntönä eri suunnitelmadokumenttien tarpeellisuudesta eri hankkeissa voidaan pitää sitä, että mikäli suunnitelmassa tehdään verkonosaan tai sen toimintaan keskeisesti liittyvään toiseen osaan muutoksia, niin sen toteutuksesta on oltava myös kirjallinen suunnitelma. Edellä listatuista suunnitelmatiedoista on esitetty esimerkisuunnitelmia tämän dokumentin liitteessä 2.

HSV:n jakeluverkon suunnittelussa käytetään pääasiassa kahta eri suunnitteluohjelmistoa, jotka ovat verkkotietojärjestelmä Trimble NIS (Network Information System) ja CAD-suunnitteluohjelmisto (Computer-Aided Design) Bentley Microstation. Verkkotietojärjestelmän avulla laaditaan pien- ja keskijännitesuunnitelmat ja Microstationia käytetään puolestaan muuntamoiden pääkaavioiden ja kokoonpanokuvien sekä putkitussuunnitelmien laatimisessa. Sijoitus- ja asettelukuvien tekemiseen voidaan käyttää esimerkiksi pdf-tiedostojen käsittelyohjelmia.

Pien- ja keskijänniteverkon suunnitelmien eli varsinaisten jakeluverkon sähkötekniisten suunnitelmien vaiheistus riippuu suunnittelijan parhaaksi näkemästä toimintatavasta. Yleisesti voidaan kuitenkin katsoa, että prosessi kannattaa aloittaa suunnittelemalla ensin haluttu pien- tai keskijänniteverkkomalli verkkotietojärjestelmään. Tämän jälkeen suunnitelmalle tehdään verkostolaskennat, joilla varmistetaan suunnitellun mallin sähkötekniinen toimivuus. Mikäli verkostolaskennassa havaitaan puutteita, tehdään verkkoon tarvittavat muutokset tai vahvistukset niiden korjaamiseksi. Toimivan verkkomallin löydyttyä laaditaan suunnitelman toteutuksessa tarvittavat työkuvat ja keskuskortit.

Verkkotietojärjestelmän osalta suunnittelu on pyrittävä toteuttamaan siten, että kartan luku myös tulosteena olisi mahdollisimman helppoa. Verkkokartta on luonteeltaan skemaattinen esitys jakeluverkosta, eli kaaviomainen kuvaus sen verkkorakenteesta. Tiiviissä kaupunkiverkossa verkkokartalta on vaikeaa havaita edes millä puolen katua kaapelit kulkevat tai missä kohdin jakokaappi oikeasti sijaitsee. Tästä johtuen verkkokartan rinnalla kannattaa tarkastella sijaintitietoja niitä tarkemmin kuvaavalta sijaintikartalta, joka sisältää jo kartoitetut sijainnit verkostokomponenteille. Näiden karttojen eroa on havainnollistettu kuvassa 55.



Kuva 55. Otteet saman alueen verkko- (vas.) ja sijaintikartasta (oik.) [11; 22].

Valmiin verkkosuunnitelman eli työkartan tulee olla mahdollisimman helposti luettavissa. Työkarttojen luomisessa on kiinnitettävä huomiota niiden selkeyteen urakoitsijoiden näkökulmasta. Työkarttojen luettavuutta voidaan parantaa hyödyntämällä niiden laadinnassa havainnevärejä sekä tekstikenttiä. Havainneväreillä merkitään HSV:n suunnitelmien toteutuksen yhteydessä hylättävät ja muokattavat sekä asennettavat uudet komponentit. Tekstikenttien avulla voidaan korostaa urakoitsijalle esimerkiksi työn vaiheistusta tai antaa muita lisätietoja sen toteutuksesta. Työkarttoihin tehtävät merkinnät eivät kuitenkaan saa heikentää sen yleistä luettavuutta verkkokarttana. Työkartasta on voitava hahmottaa vähintään työskenneltävän alueen verkkorakenne ja sen yhteydet muihin verkonosiin.

Muuntamoiden pääkaaviot ja kokoonpanokuvat laaditaan jakeluverkon suunnitteluvaiheessa. Suunnitelmia tehtäessä suunnittelijan on oltava niiden tekovaiheessa tietoinen muuntamon sijoittumisesta olemassa olevaan keskijänniteverkkoon. Pääkaavioissa kuvataan muuntamon liittyminen keskijänniteverkkoon ja sen sisäisen johdotuksen toteutusperiaate kaaviomaisesti. Kokoonpanokuvassa muuntamon komponentit sijoitetaan suurinpiirteisille paikoilleen ja kuvataan tilassa tehtävien töiden toteutusperiaatteet.

Putkitussuunnitelmat ovat yleensä YKT-hankkeissa käytettäviä suunnitelmadokumentteja. Putkitussuunnitelmissa kuvataan yleensä HSV:n putkien määrällinen tarve kullakin katuosueella ja niiden yleinen asennusperiaate maanrakennusurakoitsijalle tai YKT-hankkeiden yhteensovittamisesta vastaavalle konsultille. Pienempiä putkitussuunnitelmia tai yksittäisten putkien lisäyksiä katurakenteeseen investointihankkeiden yhteydessä voidaan tehdä myös pien- ja keskijännitesuunnitelmissa.

Sijoitus- ja asetelukuissa havainnollistetaan suunnittelijan näkemystä muuntamoiden tai jakokaappien sijoituksesta. Jossain tapauksissa sijoituskuissa voidaan kommentoida myös toteutuksen yhteydessä käytettäviä kaapelireittejä. Sijoituskuvat laaditaan pääsääntöisesti maastosuunnittelun yhteydessä otettuihin valokuviin tai erilaisiin karttaotteisiin. Sijoituskuva on suunnittelijan tekemä ehdotus komponentin paikasta. Lopullinen paikka määräytyy yleensä työsuunnitteluvaiheessa HSV:n rakennuttajan ja urakoitsijan edustajan tekemän aloituskatselmuksen yhteydessä.

Pienjännitteisen jakeluverkon poikkeuskytkennät on tarvittaessa määritettävä työn suunnittelun yhteydessä. Poikkeuskytkennöistä tehdään yleensä erillinen suunnitelmatiedosto, johon merkitään kaikki työn toteutusta edeltävät tai sen aikaiset pienjänniteverkon kytkentämuutokset ja niissä käytettävät sulakekoot. Tyypillisiä suunnitelmatilanteita, joissa on mietittävä verkon korvattavuutta työn toteutuksen ajan ovat muuntamouudistukset ja jakokaappien asennus- tai vaihtotyöt. Suunnitelluista poikkeuskytkennöistä tehdään verkostolaskennat, joissa varmistetaan työnaikaisten sähköturvallisuusmääräyksiä täyttyminen. Keskijänniteverkon poikkeuskytkentöjä ei määritetä hankkeiden toteutussuunnittelun yhteydessä, vaan ne ohjeistetaan urakoitsijan työryhmälle HSV:n käyttökeskuksen ja -ryhmän toimesta työn toteutusvaiheessa.

Muita tiedostoja, joita suunnitelmiin liitetään, ovat mm. erilaiset mittakuvat ja keskijänniteverkon käyttökaaviot. Mittakuvia liitetään suunnitelmaan yleensä, jos sen toteutukseen tarvitaan jakeluverkon vanhojen kaapelijatkosten tarkka sijaintikuva. Käyttökaavio on HSV:n käytöntuki-järjestelmästä haettu ote keskijänniteverkon topologiasta ja kytkentätilanteesta. Käyttökaavio liitetään yleensä kaikkien keskijänniteverkossa tehtävien töiden liitteeksi, jossa korostetaan hankkeen toteutusalue asentajille.

Suunnittelun yhteydessä tehdään myös hankkeelle riskikartoitus, jossa arvioidaan työn toteutukseen liittyvät riskit mm. asentajien työturvallisuudelle tai ympäristölle. Riskikartoituksen täyttämiseksi suunnittelijan on perehdyttävä suunnitelma-alueen rakenteisiin, työn toteutuksen työvaiheisiin, alueen muihin verkostoihin ja lähialueen liikenteeseen ja rakennuksiin.

Suunnittelun yhteydessä on myös kartoitettava mahdollinen tarve tilata kohteesta haitta-ainetutkimus. Haitta-ainetutkimus toteutetaan ennen töiden aloitusta kaikista kiinteistömuuntamoista ja kiinteisiin rakenteisiin toteutetuista erillismuuntamoista, jotka on rakennettu ennen vuotta 1994. Ennen kyseistä vuotta rakennetut muuntamot voivat sisältää asbestimateriaaleja

tai muita vaarallisia aineita. Sähkötiloissa on ennen käytetty erityisesti asbestipitoisia suojalevyjä, mutta myös rakenteiden rappauksista, pinnoitteista, laatoista tai niiden saumoista voi löytyä asbestia. Haitta-ainetutkimuksien teettämisen vaatimukseen on myös joitain poikkeuksia, joissa rajataan pois pientöitä, kuten yksittäisen läpiviennin poraaminen tai enintään kymmenen kaapelikiinnikkeen reikien poraaminen. [65, s. 1.]

## Kustannusarvio

Kustannusarvio laaditaan varsinaisen suunnitelman pohjalta vastaamaan sen toteutuksen kustannuksia. Kustannusarviota käytetään hankkeen investoinnin hyväksynnässä sen taloudellisen kannattavuuden arvioinnissa. Arvion laadinnassa tärkeimpiä työkaluja ovat toiminnanohjausjärjestelmä Loiston RKJ (rakennuttamisjärjestelmä) ja verkkotietojärjestelmä.

Verkkotietojärjestelmän CCP-toimialasovellus (Constructon Cost Planner) on rakennuskustannusten arvioinnissa käytetty suunnittelusovellus. Sovellus hyödyntää laskennassa sille määritettyä verkostokomponenttien yksikköhintalistaa, jonka perusteella sen avulla voidaan arvioida hankkeen kustannukset suoraan suunnitelmatiedostosta. HSV:n toteutussuunnittelussa kyseistä sovellusta käytetään tällä hetkellä lähinnä maanrakennuskustannusten arviointiin, mutta periaatteessa sitä voitaisiin hyödyntää myös kaikkien muidenkin kustannusten arvioinnissa.

Komponenttien kustannusarvion kokoamisessa hyödynnetään toiminnanohjausjärjestelmä RKJ:tä. Sovelluksen avulla suunnittelija määrittelee kaikki työn suorituksessa tarvittavat yksikköhinnoitellut komponentit ja määrät, joiden perusteella saadaan muodostettua hankkeelle arvioitu kokonaisbudjetti. Suunnitellut komponentit välitetään työn tilauksen yhteydessä RKJ:stä suoraan urakoitsijalle, jolla on käytössä sovelluksen urakoitsijaversio. Työn valmistuttua urakoitsija välittää toteutuneet yksiköt ja kustannukset HSV:n rakennuttajan tarkistettavaksi.

Ulkopuoliskustanteisissa hankkeissa asiakkaalle laaditaan pääsääntöisesti myös erillinen kustannusarvio, joka toimii alustavana arviona HSV:lta tilatun työn kustannuksista. Ulkoisten töiden laskutus tapahtuu kuitenkin toteutuneiden kustannusten mukaan.

## Luvanhaku

Luvanhaku on varsinaisen toteutussuunnitelman laatimisen jälkeinen suunnitteluvaihe. Lupasioita on hyvä miettiä mahdollisesti jo esi- ja maastosuunnitteluvaiheessa, jolloin on arvioitava suunnitelman lupamenettelyn mahdolliset riskit eli tilanteen todennäköisyys, jossa työn toteutukselle ei myönnettäisi sen tarvitsemia sijoituslupia.

Jakeluverkon sijoituksessa lupia on haettava mm. seuraavilta tahoilta:

- maanomistajalta, kun kyseessä on esimerkiksi yksityisen, kunnan tai kaupungin alue
- yksityisteillä tienhoitokunnalta tai maanomistajalta
- vesialueilla niiden omistajalta, osakaskunnalta tai Aluehallintovirastolta
- museovirastolta, mikäli työskennellään muinaismuistoalueella
- ELY-keskukselta, mikäli työskennellään esimerkiksi ELY:n hallinnoimien maanteiden varsilla, perinnemaisemissa tai suojelualueilla. [61, s. 14.]

Lisäksi kaapeleiden risteämis- sekä pitkittäisasennuksille on haettava luvat

- laivaväylien alituksille Aluehallintovirastolta
- rautateiden risteämille tai niiden alueella tehtäville töille liikennevirastolta
- kaasuputkien risteämille tai lähelle tehtäville asennuksille kaasuyhtiöiltä
- suurjänniteverkon risteämille Fingridiltä tai paikalliselta verkonhaltijalta
- vesiosuuskunnilta putkien ylitysluvat. [61, s. 14–15.]

## Asiakirjojen kokoaminen

Muiden suunnitelmavaiheiden jälkeen kaikki tehdyt dokumentit kootaan HSV:n dokumenttienhallintajärjestelmään. Hankedokumenttien hallintaa ja varastointia tehdään useammasta syystä. Päällimmäinen syy on järjestelmän rajapinta toiminnanohjausjärjestelmä RKJ:n urakoitsijaversioon, joka mahdollistaa hanketta tilattaessa dokumenttien välityksen suoraan urakotisijalle. Muita syitä ovat mm. mahdollinen tarve suunnitelmien jälkikäteen tehtävään tarkasteluun esimerkiksi jakeluverkon varmennustarkastuksien tai verkkotietojärjestelmän ongelmien yhteydessä.

Osa suunnitelmaan liittyvistä asiakirjoista voidaan liittää suunnitelmatiedostoihin vasta myöhemmässä vaiheessa. Nämä asiakirjat eivät pääsääntöisesti ole vielä heti työn tilausvaiheessa välttämättömiä, mutta ennen työn toteutuksen aloitusta ne on kuitenkin oltava käsiteltyinä ja mahdollisesti välitettyinä myös urakoitsijan tietoon. Yleisimpiä suunnitelmadokumentteja, joiden käsittely kestää kauemmin, ovat sijoitusluvut ja haitta-ainetutkimukset.

## 6 Suunnitteluohjeen laatiminen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia HSV:lle keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeistus. Työ aloitettiin tarkastelemalla sen aikataulutusta, toteutusperiaatetta ja siihen tarvittua laajuutta. Ohjeistuksen laatimiseen oltiin yrityksen puolesta varattu aikaa noin viisi kuukautta.

Parhaaksi työn toteutusperiaatteeksi nähtiin, että opinnäytetyön yhteydessä laadittaisiin kaksi erillistä dokumenttia. Ensimmäinen dokumentti on varsinainen opinnäytetyö, jonka aikataullinen valmistuminen on kiinni oppilaitoksen eli Metropolia Ammattikorkeakoulun tarpeesta. Toinen dokumentti on varsinainen suunnitteluohje, jota voidaan jatkojalostaa tulevaisuudessa yrityksen sisällä.

Laajuudeltaan suunnitteluohjeistuksen oli tarve kattaa koko toteutussuunnitteluprosessi. Työn alkuvaiheessa tunnistettiin opinnäytetyön riskeiksi, että työn laajuus ja toteutukseen varattu rajallinen aika tarkoittaisivat, että yhden opinnäytetyön yhteydessä ei tultaisi kirjoittamaan koko ohjeistusta valmiiksi. Itse opinnäytetyön laatimisen pääasiallisena tarkoituksena oli saada ohjeistustyö alkuun, jotta sen laatimista voidaan opinnäytetyön jälkeen jatkaa ja tarkentaa joko muissa opinnäytetöissä tai yrityksen sisäisenä työnä.

Suunnitteluohjeistuksen laatiminen aloitettiin kartoittamalla vastaukset kolmeen tärkeään kysymykseen sen toteutuksesta:

- Ketkä ohjeen loppukäyttäjät ovat?
- Mitä ohjeita nämä työssään tarvitsevat?
- Mistä lähteistä työhön voidaan hankkia tietoa?



## Loppukäyttäjä

Loppukäyttäjäksi tunnistettiin kaksi tarpeiltaan toisistaan poikkeavaa käyttäjäryhmää, joita ovat uudet sekä kokeneet jakeluverkon suunnittelijat. Molempien voidaan katsoa omaavan alan koulutustaustan ja toimivan työssään pääasiassa toteutussuunnittelun parissa. Molemmilla näistä käyttäjäryhmistä voidaan katsoa olevan alan perustietämys eli ohjeistuksen ei tarvitse sisältää kaikkia sähkötekniikan perusteita. Uuden suunnittelijan tai työntekijän tapauksessa voidaan kuitenkin olettaa tämän tarvitsevan erityistä tukea myös verkon nykyrakenteen ja yrityksen toimintahistorian ymmärtämisessä. Vanhempi suunnittelija sen sijaan tuskin tarvitsee tietoa yrityksen historiasta tai muista vastaavista seikoista, joiden parissa tämä on jo työskennellyt pidempään.

## Käyttäjien tarpeet

Käyttäjien tarpeita erilaisille ohjeistuksille suunnittelutyössä kartoitettiin pääasiassa suunnittelijoiden haastatteluilla ja tutkimalla näiden päivittäisissä työtehtävissään käyttämiä nykyisiä ohjeistuksia.

Tietoa erilaisten suunnitteluohjeistuksien tarpeesta saatiin myös Petteri Niemisen vuonna 2012 yritykselle tekemästä insinööryöstä. Työssään Nieminen tarkasteli yrityksen senhetkisiä ohjeistuksia, millaisia ohjeistuksia eri suunnittelijat työssään tarvitsisivat ja niiden suhdetta yrityksen tavoittelemiin laatusertifiointeihin kuten ISO 9001 -laatusertifikaattiin, joka on tämänkin opinnäytetyön tarpeen taustalla. Kyseinen insinööryö oli tämän opinnäytetyön kannalta hyvä pohja tarkastella erilaisten ohjeistuksien tarvetta, vaikkakin yrityksen suunnitteluprosessi onkin muuttunut seitsemässä vuodessa huomattavissa määrin.

Suunnittelijoiden haastatteluissa toiveiksi kartoitettiin pääsääntöisesti, että ohjeistus:

- olisi luettavuudeltaan helppo ja ymmärrettävä, eikä sisältäisi liikaa teoreettista tarkastelua asioista
- päivittyisi aina toimintatapojen tai -käytäntöjen muuttuessa
- kokoaisi vuosien mittaan tehdyt päätökset ja suunnitteluperiaatteet yhteen dokumenttiin
- ottaisi kantaa suunnittelukäytäntöihin kuten verkkokartan digitointitapoihin, mutta ei kuitenkaan sitoisi suunnittelijaa tiettyihin toimintatapoihin liian tiukasti

- sisältäisi päivitettyjä sähkötekniisiä ohjetaulukoita, joita voitaisiin hyödyntää sähköverkon suunnittelussa
- toimisi uuden työntekijän ohjaavana dokumenttina yksinkertaisimmissa suunnittelu- töissä
- keräisi kokemuseräistä tietoa, jotta sitä ei aina erikseen tarvitsisi uudelleen etsiä tai selvittää”. [66.]

Ohjeen haluttiin siis olevan helposti päivitettävissä ja luettavissa sekä mahdollisimman pelkistetysti kirjoitettu. Tämän perusteella ohjeistuksen nähtiin olevanärkevin sijoittaa HSV:n dokumenttienhallintajärjestelmään aktiivisesti päivittyväksi dokumentiksi, jotta sen päivittäminen ja ylläpito olisivat näin ollen mahdollisimman helppoa.

Yrityksellä on jo ennestään olemassa useampia ns. ”korkeamman” tason ohjeistuksia, joissa perehdytään siihen, mistä päätetyt asiat on johdettu. Loppukäyttäjä eli tässä tapauksessa jakeluverkon suunnittelija ei välttämättä tarvitse tietää kaikkien tehtyjen päätöksiä taustoja. Mikäli ohjeistukseen sisällytettäisiin jokainen päätöksiin vaikuttanut asia, ohjeen luettavuus ja sitä kautta käytettävyyks kärsisivät paljon. Edellä mainituista syistä johtuen ohjeesta päätettiin tehdä kaksi erillistä versiota: laaja ja suppea. Laajaan versioon pyritään hakemaan kaikki suunnittelun kannalta oleellinen tieto ja niiden lähdetiedot, kun taas suppeassa versiossa pyritään tiivistämään laajempi versio mahdollisimman kompaktiin pakettiin.

Käyttäjien toivomuksena oli myös, että eri suunnitteluohjelmistoihin otettaisiin ohjeistuksissa kantaa. Varsinaiseen suunnitteluohjeistukseen ei kuitenkaan myöhemmässä tarkastelussa nähty kannattavaksi liittää eri ohjelmien käyttöohjeita. Taustalla päätöksessä oli se, että ohjeistuksen ei haluttu toimivan ohjelmistojen käyttöohjeena, vaan siinä haluttiin koota yrityksen suunnittelukäytännöt yksiin kansiin. Ohjelmistojen käyttöohjeiden sisällytys ohjedokumenttiin olisi myös lisännyt sen päivitystarvetta merkittävästi ja johtanut ohjeen sisällön nopeampaan vanhentumiseen. Tästä syystä ohjelmistojen käyttöohjeet nähtiinärkevimmäksi tehdä erillisiin ohjetiedostoihin, jotka sitten linkitettäisiin suunnitteluohjeistukseen ja ylläpidettäisiin itsenäisesti.

Suuri osa jakeluverkon suunnittelutehtävistä on luonteeltaan toistuvia, joka tarkoittaa, että niiden suorittamista varten on mahdollista kirjoittaa ohjeistuksia tai ainakin runko suunnittelutyön suorittamisvaiheistukselle. Usein toistuvia suunnitelmatyyppejä ovat esimerkiksi jakeluverkon

pien- ja keskijänniteliittymätyöt, muuntamosaneeraukset sekä pien- ja keskijänniteverkon vuosi-investointihankkeet. Projektiluontoisempia töitä, jotka eivät toistu niin usein, ovat esimerkiksi sähköliittymät saaristoihin. Näiden töiden toteutusaikaväli on tyypillisesti tavallisiin liittymätöihin verrattaessa huomattavasti pidempi, joten tällaisille suunnittelutöille ei välttämättä ole kannattavaa tehdä erillisiä ohjeistuksia. Projekteina toteutettaviin hankkeisiin on järkevintä selvittää tiedot ja standardien vaatimukset aina tapauskohtaisesti.

Käyttäjät tarvitsevat suunnittelutyössään mahdollisimman pelkistettyyn eli yksinkertaiseen ja helposti luettavaan muotoon tehtyjä sähkötekniisiä ohjetaulukoita. Tällaisia ohjetaulukoita ovat esimerkiksi vakiosulakekokotaulukko ja kaapeleiden suojauspituus- tai terminen kuormitettavuustaulukko. Vanhemmat, osittain edelleen käytössä olleet taulukot, perustuvat vanhentuneisiin standardeihin ja suunnittelukäytäntöihin, joten työn ohessa tarkasteltiin niidenkin päivitystä. Kaikkia taulukoiden päivitystä ei kuitenkaan sovitettu tähän työhön, vaan niiden päivitystä jatketaan myöhemmin. Valmiiden ohjetaulukoiden käyttö helpottaa suunnittelutyötä, koska suunnittelijan ei tarvitse avata varsinaista ohjetta tai alan kirjallisuutta aina tarkastaakseen esimerkiksi verkostolaskennan vaatimusten täyttymistä.

#### Lähdeaineisto

Lähdeaineistona suunnitteluohjeistuksen laadinnassa käytettiin yrityksen nykyisiä sisäisiä ohjeistuksia, yrityksen jakeluverkon suunnitteluun liittyviä opinnäytetöitä ja alan kirjallisuutta, kuten SFS-standardeja ja verkostosuosituksia. Lähdeaineiston käytössä oli aina varmistuttava tiedon oikeellisuudesta ohjeistuksen kirjoitushetkellä, sillä osa aineistosta ulottui 1990-luvun alkupuolelle. Nyrkkisääntönä tietoa tarkastellessa pidettiin sitä, että mitä vanhempi dokumentti, niin sitä todennäköisemmin standardien, lakien tai yrityksen suunnittelukäytäntöjen päivittyminen on vaikuttanut sen sisällön ajantasaisuuteen.

HSV:n nykyiset suunnitteluohjeistukset löytyvät pääosin yrityksen dokumenttienhallintajärjestelmästä, joka tarkoittaa, että ne ovat koko henkilöstön käytettävissä tarpeiden mukaan. Näitä ohjeistuksia on kuitenkin laadittu pitkällä aikavälillä eli ohjeita on kymmeniä ja kaikki niiden sisältämä tieto ei välttämättä enää vastaa tämän päivän vaatimuksia, standardeja tai käytäntöjä.

Suunnitteluohjeistuksen päälähdeaineistoksi kartoitettiin yrityksen dokumenteista:

- Verkkomuistio, sisäinen dokumentti (2018)

- Pienjänniteverkon tarkastelu, sisäinen dokumentti (2017)
- Kaupunkikeskijänniteverkon optimointi, Diplomityö, Juhani Lepistö (2017)
- Hankesuunnitteluprosessin kuvaus, sisäinen dokumentti (2015)
- Pienjänniteverkon suunnitteluperiaatteet, sisäinen dokumentti (2014)
- Sähköverkon suunnitteluperiaatteet, sisäinen dokumentti (2013)
- Jakeluverkon uudistamisperiaatteet, sisäinen dokumentti (2012).

Edellä listatuista dokumenteista verkkomuistio on tuorein ja tämän ohjeen kannalta merkityksellisin. Verkkomuistio on HSV:n jakeluverkon suunnittelua varten laadittu käsikirja, jonka juuret ulottuvat 1950-luvulle, jolloin se ensimmäisen kerran laadittiin. Dokumenttia on tämän jälkeen päivitetty aina tarvittaessa, eli silloin kun toimintatapoja on muutettu tai kehitetty. Vaikka verkkomuistio onkin alun perin jakeluverkon suunnittelua varten laadittu dokumentti, se ei kuitenkaan kata toteutussuunnittelussa toimivien hankesuunnittelijoiden vaatimia tarpeita. Verkkomuistio on sisällöltään sähkötekniisesti erittäin yksityiskohtainen ja sisältää enemmänkin tietoa sähköturvallisuusstandardien ja alan perusteorien perusteella tehdyistä periaatepäätöksistä. Tästä johtuen suunnittelussa dokumentin hyödyntäminen ei ole käytännönläheistä, vaan verkkomuistio toimii sen sijaan nyt laadittavan ohjeistuksen lähdetiedostona.

Muita merkittäviä lähteitä esimerkiksi jakeluverkon rakenteista ovat vanhemmat kaapeli- sekä komponenttivalmistajien tuoteluettelot, verkostosuositukset ja asennusohjeet.

Suunnitteluryhmän käytössä on ollut myös paljon ainoastaan paperisina versioina olleita dokumentteja, joita ei olla viety dokumenttienhallintajärjestelmään tai ne ovat sieltä ajan myötä poistuneet. Paperiset ohjeistukset ovat siinä mielessä riskialttiita, että suunnittelua ohjaavalla organisaatiotasolla ei välttämättä ole tietoa, mitä ohjeistuksia suunnittelijat käyttävät ja pitääkö niissä lukeva tieto millään tavalla paikkaansa. Suunnittelija voi työssään helposti tuudittautua siihen ajatusmalliin, että näin on aina tehty ja näin tullaan myös aina tekemään. Yhteen dokumenttiin koottu suunnitteluohjeistus on tässä mielessä parempi malli, sillä se mahdollistaa suunnitteluperiaatteiden aktiivisen ylläpitämiseen ja seurannan.

Opinnäytetyön yhteydessä tietolähteinä käytettiin myös yrityksen henkilöstöä. Henkilöstöstä tämän ohjeistuksen kannalta merkittävimpiä tietolähteitä ovat itse suunnittelijat ja suunnitteluasiantuntijat. Etenkin kokemuseräistä tietoa saadaan ainoastaan henkilöstöltä, jotka ovat

työskennelleet jakeluverkon suunnittelun parissa pidempään. Ongelmana tämän tiedon keräilyssä on kuitenkin se, että sen kerääminen haastattelutilanteessa on haastavaa, sillä kokemuksien kautta haettua tietoa on paljon ja sitä ei välttämättä koskaan ole kirjoitettu mihinkään. Tietoa voi joissain tapauksissa tulla ainoastaan spontaanisti, kun suunnittelun yhteydessä törmätään työn toteutuksesta kokemuseräisesti tiedettäviin asioihin tai havaitaan uusia tällaisia seikkoja. Paras tapa kartoittaa tätä tietoa on aktiivisesti päivittää suunnitteluohjetta aina, kun tällaista tietoa esiintyy.

### Suunnittelun kehitystyö

Opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa jakeluverkon suunnitelmien laatua, joten suunnittelun kehitystyö oli luonnollisesti osa suunnitteluohjeistuksen laadintaa. Samalla, kun suunnitteluperiaatteita tarkasteltiin ja kirjattiin ohjeistuksiin, oli siis myös tarkasteltava mahdollisuutta kehittää niitä. Tätä pyrittiin toteuttamaan mm. tarkastelemalla tämänhetkisiä suunnittelukäytäntöjä ja keräämällä niistä yhteen parhaimmiksi havaitut käytännöt.

Suunnitteluryhmän osalta eri käytäntöjä kartoitettiin haastatteleamalla suunnittelijoita näiden tarpeista ja näkemyksistä eri asioiden toteutuksesta. Haastatteluiden perusteella koottuja suunnittelukäytäntöjä tarkasteltiin suunnitteluryhmän kesken opinnäytetyön yhteydessä järjestetyn kehityspäivän aikana. Kehityspäivän aikana keskusteltiin ennakkoon koottuista suunnittelu- ja digitointikäytännöistä. Kehityspäivän pääasiallisena tarkoituksena oli yhtenäistää näitä käytäntöjä, mutta sen aikana kerättiin myös muuta palautetta yrityksen yleisten suunnitteluperiaatteiden kehittämiseksi.

Suunnitteluryhmän kehityspäivänä käytyjen keskustelujen pohjalta koottiin

- yhteiset periaatepäätökset ryhmän suunnittelu- ja digitointikäytännöistä
- ehdotuksia ja kehitysideoita jakeluverkon nykyisiin suunnitteluperiaatteisiin
- urakoitsijoilta selvitettäviä asioita, joiden paikkansapitävyydestä ei oltu varmoja tai niiden toteutustavasta haluttiin urakoitsijan mielipide. [67.]

Kehityspäivän pohjalta päätettiin haastatella myös suunnitelmien loppukäyttäjää eli sopimusurakoitsijoiden edustajia. Haastattelun tarkoituksena oli selvittää kehityspäivänä esiin nousseita kysymyksiä, mutta myös informoida urakoitsijoita kehityspäivänä tehdyistä periaa-

tepäätöksistä, jotka olennaisesti koskivat heidän työssään käyttämiä suunnitelmadokumentteja. Tapaamisen tarkoituksena oli myös saada laadullista palautetta suunnitteluryhmän tuottamien suunnitelmadokumenttien laadusta, jotta niitä voitaisiin kehittää nykyisiä suunnitteluohjeistuksia muokkaamalla. Pääpainona urakoitsijoiden kanssa käydyissä keskustelussa oli työkuvien luettavuus ja ymmärrettävyys heidän näkökulmastaan. Lisäksi keskustelussa kartoitettiin urakoitsijan yleisiä tarpeita suunnitelmille, jotta suunnitteluprosessista saataisiin karsittua turhat osuudet pois.

Urakoitsijoilta saatiin seuraavanlaista palautetta:

- urakoitsijoiden näkemykset seikoista, jotka heidän mielestään olisi hyvä huomioida paremmin suunnittelussa.
- urakoitsijan näkemys eri suunnitelmadokumenteista ja niiden tarpeellisuudesta hankkeiden toteutuksessa
- vastauksia kehityspäivänä auki jääneisiin kysymyksiin
- urakoitsijoiden näkemys suunnitelmien yleisestä laadusta ja ymmärrettävyydestä. [68.]

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön yhteydessä saatettiin tavoitteen mukaisesti alkuun HSV:n keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeistus. Ohjeistuksen tarkoituksena oli parantaa yrityksen hankesuunnitelmien laatua, yhdenmukaisuutta sekä niiden kustannustehokkuutta. Opinnäytetyön yhteydessä näihin tavoitteisiin pyrittiin mm. tekemällä selvitystyötä ohjeen käyttäjien tarpeista, koaamalla yhteen yrityksen tämän hetkiset suunnittelukäytännöt, yhtenäistämällä näitä käytäntöjä suunnittelijoiden kesken ja kehittämällä suunnitteluprosessia. Lisäksi työn yhteydessä perehdyttiin lyhyesti suunnitelmien kannattavuuksien nykyisiin arviointimenetelmiin ja siihen, miten myös tätä osuutta voitaisiin kehittää jatkossa.

Työn yhteydessä laatimani Suunnitteluohje-dokumentti perustuu tämän opinnäytetyön sisältöön. Opinnäytetyön yhteydessä laadittua ohjeen pohjatyötä kehitetään ja ylläpidetään jatkossa yrityksen sisäisenä työnä. Ohjeen laadinnassa pyrittiin huomioimaan suunnitteluryhmän tämän hetkiset työskentelytavat ja se, miten suunnittelijat saisivat sen sisällöstä eniten hyötyä päivittäisessä työssään. Ohjeen kohderyhmänä olivat uudet sekä kokeneemmat sähköverkon suunnittelijat, joka monimutkaisti ohjeen laadintaa, koska molemmilla käyttäjäryhmillä oli omat



tarpeensa. Lopullisesta suunnitteluohjeesta tuli kokoelma suunnittelun kannalta tarpeellisesta tiedosta. Pohjatyönä luotu dokumentti on mielestäni liian laaja päivittäisen suunnittelun aputyövälineeksi. Tämän hetkinen dokumentti sisältää paljon oleellista tietoa HSV:n sähköverkosta, jota uusi suunnittelija voi yritykseen tullessaan tarvita. Laadittu ohje sopiikin tällä hetkellä paremmin juuri uuden suunnittelijan perehdyttämiseen. Kokeneemman suunnittelijan aputyövälineeksi se sopii paremmin, jos siitä laaditaan myös tiivistetympi versio. Laadittua ohjetta onkin tarkoitus jatkojalostaa tulevaisuudessa ja tiivistää sen sisältöä sellaiseksi, että sen käyttö myös päivittäisessä suunnittelutyössä olisi mahdollisimman vaivatonta.

Ohjeistuksen laadinnan yhteydessä tarkastelin myös suunnitelmien kustannustehokkuuden arvioinnissa käytettävää mittaria eli CAPEX-suhdetta. Suunnitelmien kustannustehokkuuden parantamiseksi työssä luonnehdittiin alustavaa mallia investointitehokkuuden mittareiden manipuloitavaksi. Työn yhteydessä esitettyä nykykäyttöarvon poistuman huomioivaa investointitehokkuuden lisämittaria voidaan tulevaisuudessa kehittää ja tutkia tarkemmin yrityksen sisäisesti tai muissa opinnäytetyöissä.

Suunnitteluohjeistuksen laadinnan yhteydessä havaittiin myös useampia eri suunnitteluperiaatteita, joita on tarkasteltava vielä jatkossa niiden kehittämisen osalta. Tarve näille kehitettävillä käytännöillä tuli esiin mm. suunnitteluryhmän haastatteluista, työn yhteydessä järjestetystä kehityspäivästä ja yrityksen sopimusurakoitsijoiden tapaamisista. Havaittuja kehityskohdista olivat esimerkiksi vanhempien maakaapelityyppien uusien kuormitettavuuksien määrittely, joiden osalta on tehtävä periaatepäätös siitä, että tarkastellaanko niitä suunnittelussa vanhemman vai uudemman standardin ehdoilla. Tämä päätös olisi tehtävä etenkin öljypaperieristeisten kaapelityyppien osalta.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö onnistui sen tavoitteiden mukaisesti ja yritys sai sen yhteydessä tarkasteltua kokonaisvaltaisen suunnitteluohjeistuksen vaatimuksia. Opinnäytetyön yhteydessä tehtiin suunnitteluohjeistuksen pohjatyö, jonka jatkaminen vaatii yrityksen henkilöstöltä paljon työtä myös jatkossakin. Toivon, että työn toteutuksessa minua avustaneet suunnitteluryhmän jäsenet saavat työstäni jo nyt apua päivittäiseen työhönsä. Lisäksi toivon, että laatimaani pohjatyötä lähdetään määrätietoisesti kehittämään kohti siltä toivottua lopullista kokonaisuutta, joka kattaisi koko keski- ja pienjännitteisen jakeluverkon toteutussuunnitteluprosessin.

## Lähteet

- 1 Helen Sähköverkko Oy:n yritysesitys. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 2 Helsingin kaupungin karttapalvelu. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://kartta.hel.fi/>>. Luettu 1.2.2019.
- 3 Helen Sähköverkko Oy:n yhteiset kannat. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 4 Helsingin kaupungin sijoituslupapalvelu Winkki. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<http://hkr002002.hel.fi/winkki/content/searchevent.do>>. Luettu 18.1.2019.
- 5 Korhonen Pekka ym. 2000. Sähköjakeluverkkoliiketoiminnan kustannustehokkuuden mittaaminen DEA-menetelmällä. Helsingin kauppakorkeakoulu.
- 6 Pilli-Sihvola Karoliina ym. 2018. Sään ja ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit Helsingissä. Kaupunkiympäristön julkaisuja 2018:6. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunkiympäristö. <<https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisu-06-18.pdf>>. Luettu 14.1.2019.
- 7 Helen Sähköverkko Oy:n varautumissuunnitelma. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 8 HSV:n toimitusvarmuus ja miten siihen on päästy. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 9 Siirto Osmo. Energiaviraston vierailu Helen Sähköverkko Oy:ssä 26.1.2017. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 10 Hankesuunnitteluprosessin kuvaus. 2015. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 11 Helen Sähköverkko Oy:n sijaintikarttajärjestelmä KeyPro KeyMap. 2019. Helen Sähköverkko Oy.
- 12 Sähkömarkkinalaki. 2013. 588/2013.
- 13 Suomen pinta-ala kunnittain 1.1.2018. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <[https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/01/Suomen\\_pa\\_2018\\_kunta\\_maakunta\\_0.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/01/Suomen_pa_2018_kunta_maakunta_0.pdf)>. Luettu 14.1.2019.

- 14 Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/>>. Luettu 14.1.2019.
- 15 Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2017. Verkkoaineisto. Energiavirasto <<https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-2017>>. Luettu 16.1.2019.
- 16 Hyvärinen Markku. 2008. Electrical networks and economies of load density. Väitöskirja.
- 17 Vainio Terttu. 2016. Asuntotarve 2015–2040. Verkkoaineisto. VTT Oy. <[https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/asuntotuotanto\\_2040/asuntotuotantotarve-2040-raportti.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/asuntotuotanto_2040/asuntotuotantotarve-2040-raportti.pdf)>. Luettu 12.1.2019.
- 18 Helsingin alueen sähkönsiirtoverkkoratkaisua koskeva selvitys, projektitapaaminen 18.10.2018. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 19 Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2017–2027. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittamisen/kantaverkon-kehittamissuunnitelma-2017-2027.pdf>>. Luettu 15.1.2019.
- 20 Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016–31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020–31.12.2023 valvontajaksolla. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Valvontamenetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6nkantaverkko-2016-2023.pdf/0501bf91-af82-3067-a9a9-83a60a210b0b>>. Luettu 11.4.2019.
- 21 Investointitehokkuus. 2015. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 22 Helen Sähköverkko Oy:n verkkotietojärjestelmä Trimble NIS. 2019. Helen Sähköverkko Oy.
- 23 EV-verkonrakennetiedot 31.12.2017. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 24 Sähköverkon perusrakenne ja toimitusvarmuus. 2006. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 25 Fingrid karttapalvelu. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://fingrid.navici.com/platform/?tab=feedback>>. Luettu 15.2.2019.
- 26 Helteet nostivat sähkönkulutusta Helsingissä. 2018. Verkkouutinen. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2018/sahkonkulutus/>>. Luettu 22.1.2019.

- 27 Elovaara Jarmo & Haarla Liisa. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto Oy.
- 28 Lakervi Erkki & Partanen Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3.painos. Helsinki: Otatieto Oy.
- 29 Kalenius Pentti. 1993. Sähköä helsinkiläisille, 75 vuotta sähköverkon rakentamista Helsingissä 1909–1984. Helsingin kaupungin energialaitos.
- 30 Keskijänniteverkon maasulkuvirran kompensoinnin yleissuunnitelma. 2011. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 31 Lepistö Juhani. 2017. Kaupunkikeskijänniteverkon optimointi. Diplomityö.
- 32 Loppuraportti Kalasataman 10 kV rengasverkko. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 33 Sähköverkon paikalliskäyttö ja häiriöselvitys. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 34 Monni Markku. 2002. Sähkölaitosasentajan ammattioppi 2. Maakaapeliverkostotyöt, katu- ja tievalaistustyöt. 4.uudistettu painos. Helsinki: Adato Energia Oy.
- 35 Pakonen Pertti ym. 2018. Loppuraportti, Keskijännitekaapeleiden kunnan arviointi häviökerroin- ja osittaispurkausmittauksilla.
- 36 Medium-voltage cables. Verkkoaineisto. Reka Kaapeli Oy. <<https://www.reka-cables.com/medium-and-high-voltage-cable/medium-voltage-cables>>. Luettu 4.2.2019.
- 37 Alumiinivoimakaapelit. Tuoteluettelo n:o 38. N.d. Suomen Kaapelitehdas Osakeyhtiö.
- 38 Alatalo Pentti. 1975. Voimakaapelit ja asennusjohdot, Käsikirja. Espoo: Oy Nokia Ab
- 39 Paperi- ja muovieristeiset voimakaapelit. Tuoteluettelo n:o 35. N.d. Suomen Kaapelitehdas Osakeyhtiö.
- 40 Kaapeliliitännäinen verkonhaltijan muuntamo. Verkostosuositus RM 3:16. 2016. Energateollisuus ry.
- 41 Keskijänniteverkon häiriöraportti 17.8.2018. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 42 Verkko-omaisuus ja elinkaarisuunnitelma. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.

- 43 Voimakaapelit tuoteluettelo. Verkkoaineisto. Reka Kaapeli Oy. <<https://www.reka.fi/voimakaapelit>>. Luettu 4.2.2019.
- 44 Hakala Sanna. 2010. Kaukokäytettävien kohteiden valinta Helsingin keskijänniteverkossa. Diplomityö.
- 45 Kiiski Juha. 2006. Jakeluverkon laitevauriot. Insinööriyö.
- 46 Verkkomuistio. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 47 Sähköverkon suunnitteluperiaatteet. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 48 Pienjänniteverkon tarkastelu. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 49 Taidetta jakokaapeissa. Verkkoaineisto. Helen Sähköverkko Oy. <<http://hsvanalytiikka.maps.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=2041d560b1364f54b54e27a1665e6d78>>. Luettu 1.3.2019.
- 50 Kaapelijakokaapit tuoteluettelo. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kaapelijakokaapit>>. Luettu 4.2.2019.
- 51 Lakervi Erkki. 1996. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Helsinki: Otatieto Oy.
- 52 Jakeluverkon uudistamisperiaatteet. 2012. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 53 Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. <[https://tukes.fi/documents/5470659/8237195/Tukes-ohje%2020-2018%20S%C3%A4hk%C3%B6laitteistojen%20turvallisuutta%20ja%20s%C3%A4hk%C3%B6turvallisuutta%20koskevat%20standardit%20\(S10-2018\)/0344900c-3443-4404-b4d8-3d3869b5fb64](https://tukes.fi/documents/5470659/8237195/Tukes-ohje%2020-2018%20S%C3%A4hk%C3%B6laitteistojen%20turvallisuutta%20ja%20s%C3%A4hk%C3%B6turvallisuutta%20koskevat%20standardit%20(S10-2018)/0344900c-3443-4404-b4d8-3d3869b5fb64)>. Luettu 28.3.2019.
- 54 SFS-käsikirja 600-1-2. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1–2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset (SFS 6000 osat 7–8). 2017. 1.painos. Helsinki: SFS ry.
- 55 Pienjänniteverkon suunnitteluperiaatteet. 2014. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 56 SFS-käsikirja 600-1-1. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1–1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1–6). 2017. 1.painos. Helsinki: SFS ry.

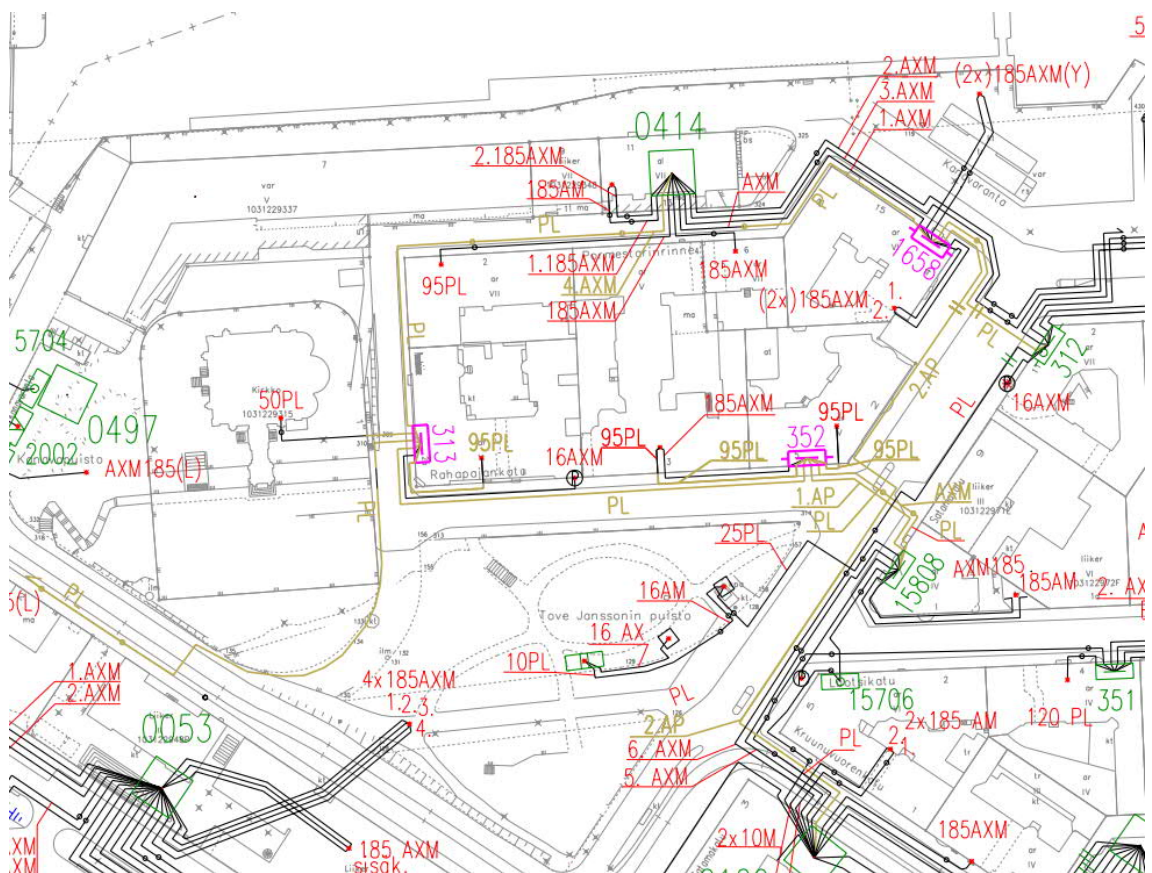
- 57 Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen. Verkostosuositus SA 5:94. 1994. Sener ry.
- 58 Pienjänniteverkon jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Verkostosuositus SA 2:08. 2008. Energiateollisuus ry.
- 59 Holopainen Pekka. 2016. Kaupunkiverkon keskijännitekaapeleiden kuormitettavuus. Insinööriyö.
- 60 Aura Lauri & Tonteri Antti J. 1993. Sähkölaitostekniikka. Helsinki: WSOY.
- 61 Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4–45 kV. Verkostosuositus RK 1:16. 2016. Energiateollisuus ry.
- 62 Katutilan mitoitus. Suunnitteluohjeet Helsingin kaupungille 05/2014. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <[https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/katutila\\_mitoitus.pdf](https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/katutila_mitoitus.pdf)>. Luettu 15.3.2019.
- 63 Helen Sähköverkko Oy:n sähkönlaadun analysointijärjestelmä PowerQ PQNet. 2019. Helen Sähköverkko Oy.
- 64 SFS-käsikirja 601:2018. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. 2018. 1.painos. Helsinki: SFS ry.
- 65 T7-130-1 Asbestityöt, ohje. 2016. Headpower Oy.
- 66 Omaisuudenhallinnan suunnittelijahaastattelut aikavälillä 7.1.–20.4.2019.
- 67 Suunnitteluryhmän kehityspäivä 28.2.2019. Kokousmuistio. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
- 68 Urakoitsijatapaamiset 9.4.2019 & 25.4.2019. Kokousmuistiot. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Sähköverkko Oy.





Alueen jakeluverkon korvausinvestointi suunnitellaan ainoastaan pienjänniteverkon osalta. Kaivureiteillä kulkeville keskijännitekaapeleille asennetaan tarpeen mukaan ennakkoputkitukset, jotka mahdollistavat niiden korvauksen myöhemmässä vaiheessa. Teknistaloudellinen keskijänniteverkon korvausinvestoinnin toteutusaika on yli kymmenen vuoden päässä kyseisellä alueella.

Kuvassa 2 on alueen korvausinvestoinnin esi- ja maastosuunnitteluvaiheessa kartoitetut verkostokomponentit, jotka ovat HSV:n suunnitteluperiaatteiden mukaisessa uudistamisissä tai -tarpeessa. Korvausinvestoinnin yhteydessä uudistettavat komponentit on kuvassa merkitty violetilla havainnevärillä ja käytöstä poistettavat ruskealla. Käytöstä poistettavien komponenttien tilalle asennetaan hankkeen toteutuksen yhteydessä nykyisten suunnitteluperiaatteiden mukaisesti korvaavat verkkorakenteet (kaapelit), jotka toteuttavat toivotun pienjänniteverkkomallin eli silmukoidun pienjänniteverkon.



Kuva 2. Korvausinvestoinnin esisuunnittelussa kartoitetut verkkorakenteet, jotka ovat uudistamisen tarpeessa.

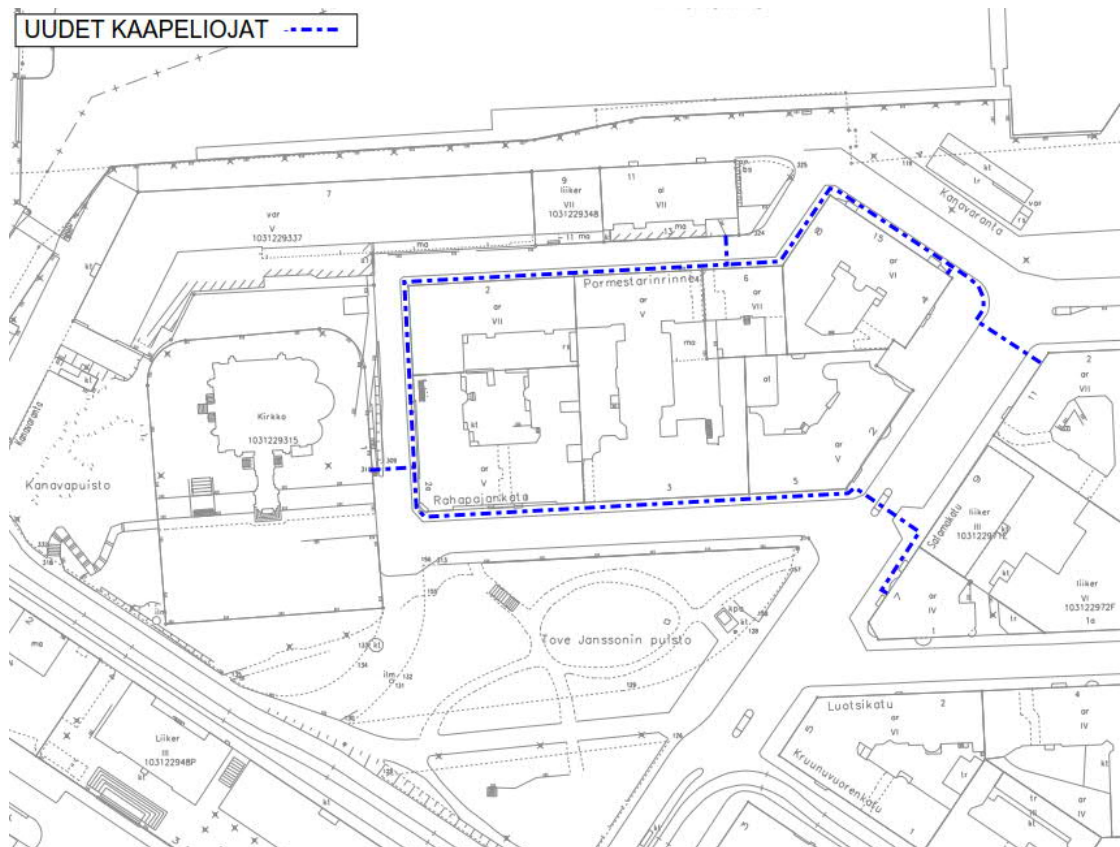






Kuva 4. Maastosuunnittelussa kartoitetut vanhat jakokaapit. Kaksi vasemmanpuoleisinta voidaan korvata eri kohtaan asennettavilla kaapeilla, mutta oikeinpuoleisin todettiin maastosuunnittelun yhteydessä korvattavan samoille kohdin.

Maastosuunnittelun yhteydessä kartoitettiin myös investoinnin toteuttamisen vaatimat kaivureitit. Alueen sijaintikartoista selvitettiin, että kyseiselle alueelle ei ole rakennettu minkäänlaisia ennakkoputkituksia, joita olisi tässä hankkeessa voitu hyödyntää. Hanke-suunnitelman toteutuksen kannalta päädyttiin kuvan 5 mukaisiin kaivureitteihin.



Kuva 5. Korvausinvestoinnin toteutuksen yhteydessä tehtävät uudet kaapeliojat.

## Korvausinvestoinnin kustannuslaskenta

Korvausinvestoinnin kustannuslaskennassa hyödynnetään jo edellä mainitusti verkko-tietojärjestelmän CCP-työkäluä, mutta NKA korjatun CAPEX-suhteen mallintamisessa siinä joudutaan hyödyntämään myös käsin tehtävää Excel-taulukkolaskentaa.

Suunnitelma-alueen ja itse suunnitelman jakeluverkon jälleenhankinta- ja nykykäyttöarvon laskennassa hyödynnetään Energiaviraston valvontamallin mukaisia yksikköhintoja. Nykykäyttöarvon laskennassa käytettävät verkostokomponenttien pitoaikavälit on määritetty valvontamallin puitteissa HSV:n verkolle sopiviksi. Hankkeen todellisten kustannusten arvioinnissa käytetään HSV:n todellisia yksikköhintoja, jotka on kilpailutettu HSV:n sopimusurakoitsijoilla käyttäen valvontamallin kaltaisia komponentteja.

Molemmat yksikköhintalistaukset sekä komponenteille määritetyt pitoajat on viety verkotietojärjestelmän CCP-työkäluen hintalistaukseen, joka käyttää näitä valvontamallin mukaisen jälleenhankinta- ja nykykäyttöarvon sekä HSV:n todellisten investointikustannusten laskennassa. Näitä CCP:n tekemästä analyysistä saatuja tietoja hyödynnetään esimerkiksi tässä yhteydessä hankkeen CAPEX-suhteen laskennassa.

Esimerkkejä hankkeen yhteydessä käsiteltävistä verkostokomponenteista, joille on Energiaviraston valvontamallissa määritetty yksikköhinta sekä tavoiteltu pitoaikaväli:

- Maakaapelit 25–300 mm <sup>2</sup>	8 500–25 500 €/km	35–50 vuotta
- Kaapelijakokaappi ≥ 630 A	1 800 €/kpl	30–45 vuotta
- Jonovarokeytkin 160 A	300 €/kpl	30–45 vuotta
- Jonovarokeytkin 250–400 A	450 €/kpl	30–45 vuotta
- Maakaapelioja – erittäin vaikea olosuhde		151 200 €/km [1.]

Kaapeliojille valvontamallissa ei ole määritetty erillistä pitoaikaa. Nykykäyttöarvon laskennassa hyödynnetään sen sijaan oletusta, että kaapeliojan pitoaika on sama, kuin siinä kulkevan maakaapelin.

### Hankkeen taloudellinen kannattavuuslaskenta, CAPEX-suhteella

Hankkeen taloudellinen kannattavuuslaskenta tehdään kuvan 3 pienjänniteverkon hankesuunnitelman ja kuvan 5 kaapelioiden maanrakennuskustannusten kustannuslaskennan perusteella. Kustannuslaskenta toteutettiin verkkotietojärjestelmän CCP-työkalulla.

Kustannuslaskennan mukaan suunnitelman hankkeessa päästään **0,86 CAPEX-suhteeseen**. Tämä kertoo suunnitellun investoinnin olevan ainakin Energiaviraston valvontamallin mukaan lähellä taloudellista kannattavuutta.

Investoinnin kannattavuutta arvioidessa on kuitenkin hyvä huomioida, että hanke on toteutettu Helsingin kantakaupungissa, jossa maanrakennuskustannukset ovat valvontamallin mukaisia maanrakennuskustannuksia huomattavasti korkeammat. Kantakaupungissa yli yhden CAPEX-suhteen saavuttaminen on yleensä haasteellista. Tässä hankkeessa maanrakennuskustannukset kattavat sen kokonaiskustannuksista noin 75 %.

Pelkästään CAPEX-suhteen perusteella hankkeen voitaisiin investoinnin hyväksynnässä katsoa olevan taloudellisesti kannattavaa toteuttaa.

### Hankkeen taloudellinen kannattavuuslaskenta NKA-korjatulla CAPEX-suhteella

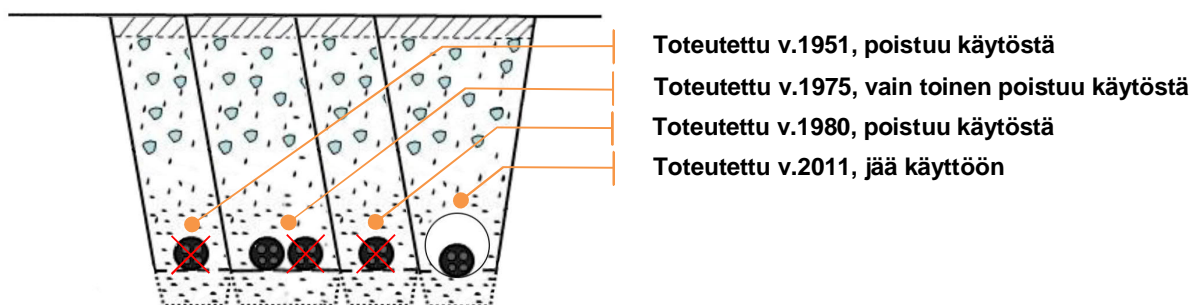
Hankkeen taloudellinen kannattavuuslaskenta tehdään samoilla menetelmillä kuin edellisessä kohdassa, mutta nyt huomioidaan myös toteutuksen yhteydessä käytöstä hylätävän jakeluverkon nykykäyttöarvon poistuma HSV:n verkon arvosta.

Kustannuslaskennassa huomioidaan nyt siis myös kaikkien suunniteltujen investointien ajankohtaisuus, eli se miten niiden suunnittelussa ollaan huomioitu yrityksen käytössä olevat uudistamisperiaatteet, jotka osiltaan pohjautuvat Energiaviraston valvontamalliin.

Käytöstä poistuvien runko- ja liittymisjohtojen nykykäyttöarvon määrittämisessä huomioidaan myös niiden käyttöönottoajankohdan rakentamisen maanrakennuskustannukset, eli valvontamallin mukaisten maanrakennustöiden jälleenhankinta-arvoon ja pitoaikaan perustuva nykykäyttöarvo. Tarkastelussa kaapelioiden arvo katsotaan tässä tapauksessa poistumaksi ainoastaan, mikäli kaikki samassa kaapelioidessa olevat kaapelit poistuvat

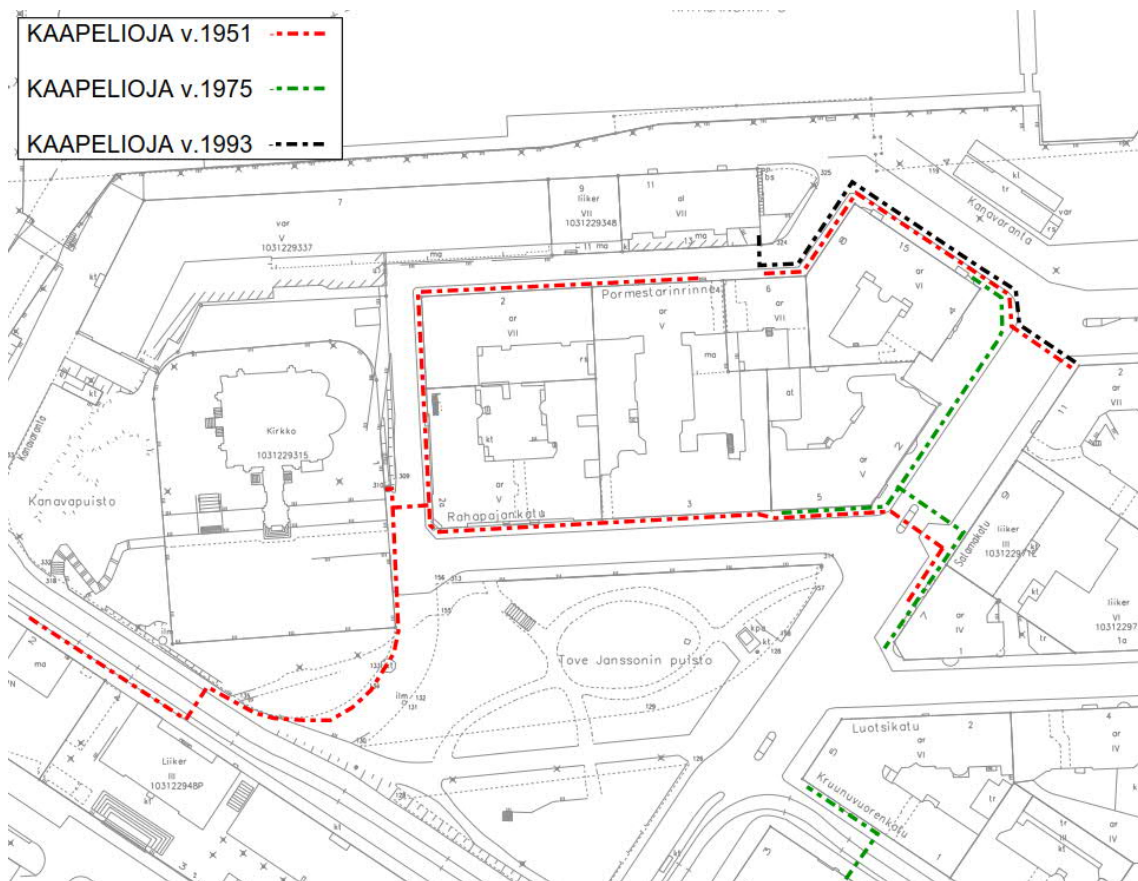


hankkeen yhteydessä käytöstä. Eri vuosina samalle katualueelle toteutettujen kaapelioiden erittelyä on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Esimerkki eri vuosina samalle katualueelle toteutettujen kaapelioiden huomioinnista NKA korjatun CAPEX-suhteen laskennassa, kuva muokattu lähteestä [2].

Kun suunnitelman yhteydessä käytöstä poistuville verkon osille tehdään kuvan 6 mukainen tarkastelu perustuen verkkokartan ikätietoihin ja sijaintikartalta löytyviin kaapelioiden todellisiin sijainteihin, niin saadaan muodostettua kuvan 7 koonnos kokonaan käytöstä poistuvista kaapelojista. Kuvasta nähdään, että reitillä on myös katkonaisia osuuksia. Nämä kohdat ovat sellaisia, joista kaikki vanhemmat kaapelit eivät tämän korvausinvestoinnin yhteydessä poistu käytöstä, vaan kaapeloja jää edelleen käyttöön ja verkon nykykäyttöarvoon, vaikkakin pienemmällä kaapelimäärällä.



Kuva 7. Korvausinvestoinnin toteutuksen yhteydessä käytöstä poistuvat kaapeliojat niiden toteutusvuosittain jaoteltuna.

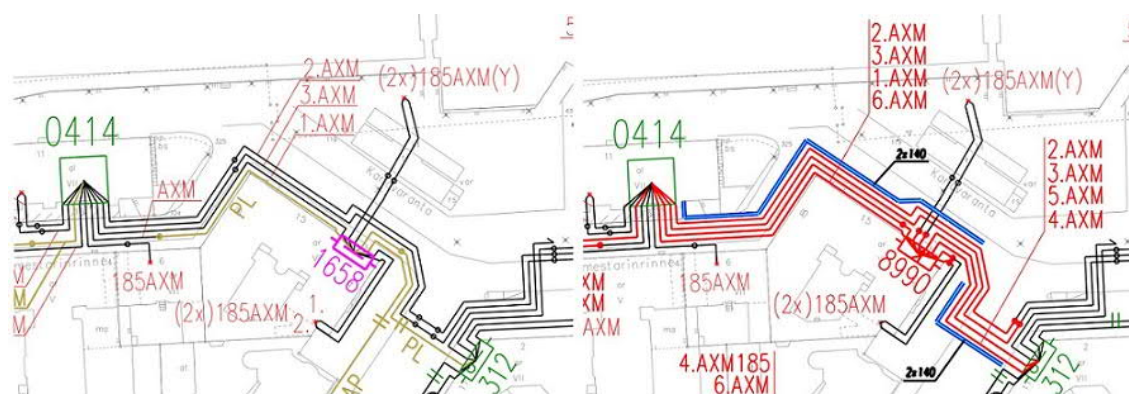
Hankkeen taloudellinen kannattavuuslaskenta tehdään tässäkin tapauksessa pääosin verkkotietojärjestelmän CCP-työkalulla, mutta siitä on mallinnettava myös käytöstä poistuvien kaapeliojien nykykäyttöarvo. Tätä mallintamista ei kuitenkaan ole mahdollista suorittaa tällä hetkellä CCP:llä, vaan siinä on hyödynnettävä Excel-laskentataulukkoa. Mikäli mallin käyttöön siirryttäisiin, olisi CCP:n ominaisuuksia näiltä osin siis kehitettävä.

Kannattavuuslaskenta perustuu:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| - kuvan 3 pienjänniteverkon hankesuunnitelmaan,        | (Laskettava suure) |
| - kuvan 5 kaapeliojien maanrakennuskustannuksiin,      | (JHA ja CAPEX)     |
| - kuvan 2 käytöstä poistuvien verkostokomponentteihin, | (JHA ja CAPEX)     |
| - sekä kuvan 7 käytöstä poistuviin kaapeliojiin.       | (NKA poistuma)     |
|  | (NKA poistuma)     |

Kustannuslaskennan mukaan suunnitelman hankkeessa päästään **0,69 NKA korjattuun CAPEX-suhteeseen**. Tämä kertoo suunnitellun investoinnin olevan ajankohdaltaan suunnitteluperiaatteiden vastaisesti toteutettu, kun sitä verrataan aiemmassa kohdassa tehdyn CAPEX-suhteen laskennan tuloksiin (0,86 CAPEX-suhde).

Hankkeen lähemmässä tarkastelussa voidaan todeta, että HSV:n uudistamisperiaatteista ollaan tässä tapauksessa jostain syystä poikettu kuvassa 8 havainnollistetussa kohdassa. Kuvan vasemman puolimmainen osuus on ote kuvasta 2, jossa ovat näkyvissä aiemmin esisuunnitteluvaiheessa tunnistetut uudistamisiässä tai tarpeessa olevat verkostokomponentit. Kuvan oikean puolimmaisessa osassa on esitetty puolestaan esitetty varsinainen hankesuunnitelma korvausinvestoinnista samoissa kohdin.



Kuva 8. Korvausinvestoinnin poikkeama HSV:n uudistamisperiaatteista.

Kuvasta nähdään siis, että jostain syystä hankkeen suunnittelussa on uudistettu myös käyttöikäisiä AXMK-maakaapeleita (kuvissa käytetään lyhennettä: AXM), joka tuli ilmi myös NKA korjatun CAPEX-suhteen ja tavallisen CAPEX-suhteen välisessä tarkastelussa.

#### Yhteenveto kustannusvertailuista

Kahdessa edellisessä kohdassa saatiin hankkeelle määriteltyä siis seuraavat investoinnin kustannustehokkuutta kuvaavat suhdeluvut:

- CAPEX-suhde: **0,86**
- NKA korjattu CAPEX-suhde: **0,69**

Yksistään CAPEX-suhteella tehty investoinnin kannattavuus antaisi siis tässä tapauksessa investoinnin hyväksyjälle kuvan, että investointi olisi taloudellisessa mielessä ainakin lähellä kannattavaa. Kuitenkin kun tarkastelussa otettiin huomioon myös hankkeen yhteydessä poistunut verkon nykykäyttöarvo, niin saatiin todellinen kuva hankkeen oikea-aikaisuudesta.

Investoinnin ajankohtaisuuden huomiointi vaikuttaisi siis ainakin tässä hankkeessa huomattavasti sen taloudellisen tarkastelun lopputulokseen. Perinteisesti investoinnin hyväksyjän pitäisi perehtyä hyväksymäänsä suunnitelmaan ja sen sähkötekniisiin taustoihin. Investointipäätöksen tukena voitaisiin kuitenkin hyödyntää esimerkiksi tässä yhteydessä esitettyä ”NKA korjattua CAPEX-suhdetta”, jossa investointitehokkuuden laskennassa huomioitaisiin myös hankkeen yhteydessä poistuvien verkostokomponenttien nykykäyttöarvon poistuma verkon arvosta.

NKA korjattu CAPEX-suhde olisi siis siinä mielessä hyvä työkalu, että investoinnin hyväksyjä saisi sen avulla suoraan tiedon siitä, että suunnitelmassa tehdään jostain syystä uudemman verkon korvausinvestointeja. Tällöin hyväksyjä voi suoraan olla yhteydessä suunnittelijaan selvittääkseen näiden suunnittelupäätösten taustoja, jolloin tämän ei tarvitse käyttää aikaansa suunnitelmaan perehtymiseen. Mikäli tämän esimerkin hanketta oltaisiin ainoastaan arvioitu perinteisellä CAPEX-suhteella, olisi voinut olla mahdollista, että tässä tapauksessa liian aikaisin tehtäväksi merkityt investoinnit olisivat jääneet huomaamatta.

## Lähteet

- 1 Verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016–2023. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Verkkokomponentit-ja-yksikk%C3%B6hinnat-2016-2023.xlsx/7bd40be6-7486-fa81-fbef-3363c71d008e>> luettu 10.4.2019.
- 2 Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4 kV–45 kV. Verkostosuositus RK 1:16. 2016. Energiateollisuus ry.

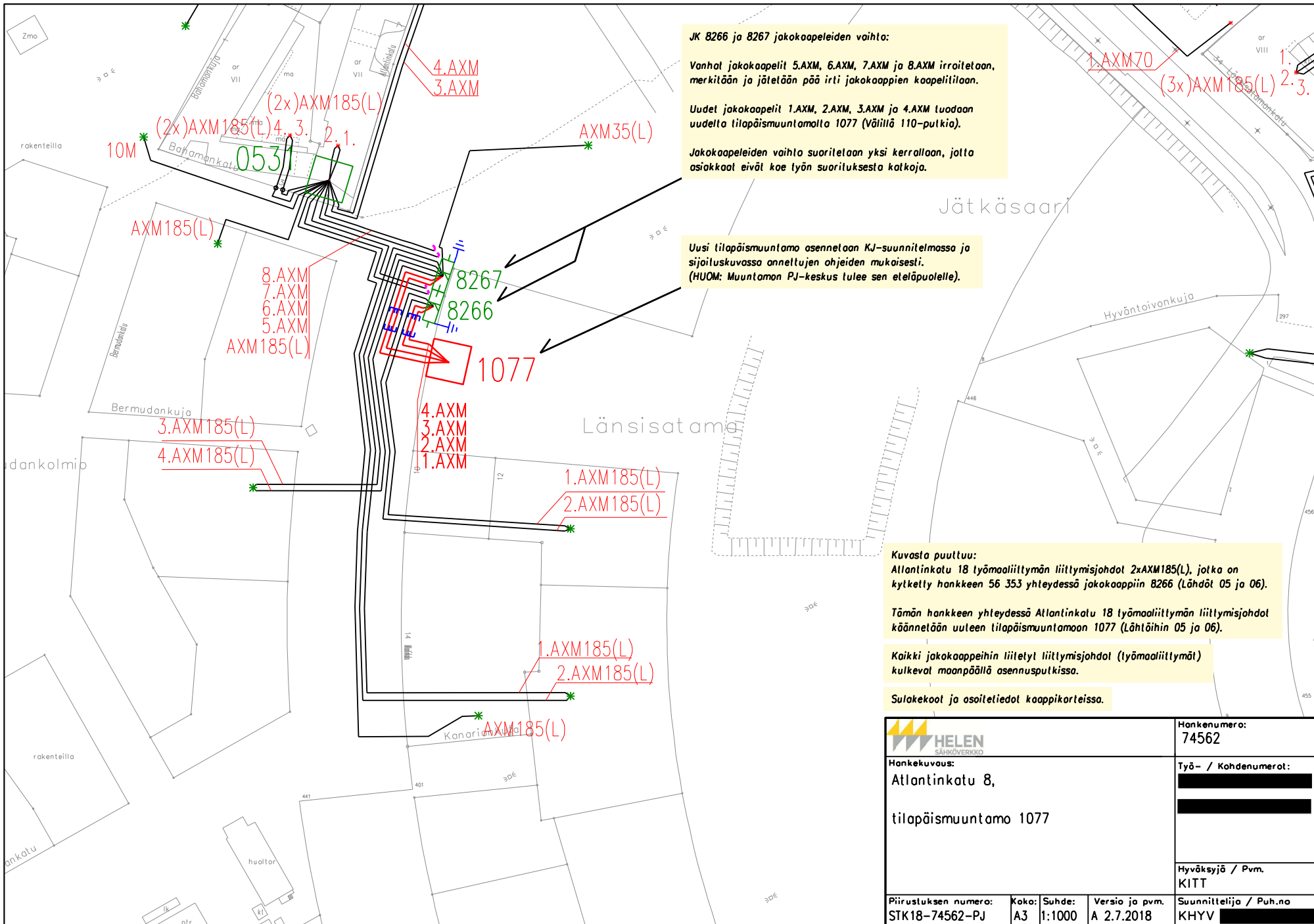
## Liite 2. Esimerkkisuunnitelmia hankesuunnittelusta

Liite sisältää seuraavat esimerkkisuunnitelmat:

1. PJ-suunnitelma
2. KJ-suunnitelma
3. Jakokaapin keskuskortti
4. Jakokaapin sijoituskuva
5. Muuntamon kokoonpanopiirustus
6. Muuntamon pääkaavio
7. Putkitussuunnitelma

Kyseiset suunnitelmat on esitetty liitteen seuraavilla sivuilla. Esimerkkisuunnitelmat eivät kaikki ole samasta toteutussuunnittelun hankkeesta, vaan niitä on poimittu eri hankkeista, joiden suunnitelmien on koettu olevan parhaimmin niiden luonnetta kuvaavia (yksinkertaisia ja todelliselta kooltaan enimmillään A3-paperin kokoisia suunnitelmia).





**JK 8266 ja 8267 jakokaapeleiden vaihto:**

Vanhat jakokaapelit 5.AXM, 6.AXM, 7.AXM ja 8.AXM irrotetaan, merkitään ja jätetään pää irti jakokaappien kaapelitilaan.

Uudet jakokaapelit 1.AXM, 2.AXM, 3.AXM ja 4.AXM tuodaan uudelta tilapäismuuntamalta 1077 (Väillä 110-putkia).

Jakokaapeleiden vaihto suoritetaan yksi kerrallaan, jotta asiakkaat eivät koe työn suorituksen katkoja.

Uusi tilapäismuuntamo asennetaan KJ-suunnitelmassa ja sijoituskuvasse annettujen ohjeiden mukaisesti. (HUOM: Muuntamon PJ-keskus tulee sen eteläpuolelle).

Kuvasta puuttuu:  
 Atlantinkatu 18 työmaaliittymän liittymisjohdot 2xAXM185(L), jotka on kytketty hankkeen 56 353 yhteydessä jakokaappiin 8266 (Lähdöt 05 ja 06).

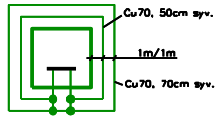
Tämän hankkeen yhteydessä Atlantinkatu 18 työmaaliittymän liittymisjohdot käännetään uuteen tilapäismuuntamoon 1077 (Lähtöihin 05 ja 06).

Kaikki jakokaappeihin liitetyt liittymisjohdot (työmaaliittymät) kulkevat maanpäällä asennusputkissa.

Sulakekoot ja osoiteliedot kaappikorteissa.

				Hankenumbero: 74562
Hankekuvaus: Atlantinkatu 8,  tilapäismuuntamo 1077				Työ- / Kohdenumerot: [REDACTED] [REDACTED]
				Hyväksyjä / Pvm. KITT
Piirustuksen numero: STK18-74562-PJ	Koko: A3	Suhde: 1:1000	Versio ja pvm. A 2.7.2018	Suunnittelija / Puh.no KHYV [REDACTED]

Muuntamon määrittely, periaatekuva



**TILAPÄISMUUNTAMO ASENNETAAN ERILLISEN SJOITUSKUVAN MUKAAN.**

**MUUNTAMO JA MUUNTAJA NOUDETAAN HANASAAREN VARASTOLTA  
(MERKITY: ATLANTINKATU 8).**

**MUUNTAMO (SLO) SARJANRO: [REDACTED]**

**MUUNTAJA SCHNEIDER 1000 kVA (KÄYTETTY) SARJANRO. [REDACTED]**

**KAAPELIT ASENNETAAN REITILLÄ KULKEVIIN Ø140 PUTKIIN**

SIS AXW240 (90)

ULOS AXW240 (90)

1070

29.AXW240 MMO 1077 ATLANTINKATU 8

1.AXW240 (13)

2.AXW240 (1)

LÄNSISATAMA 20

29.AXW240 (17)

3.AXW240 (17)

29.AXW240 MMO 1077 ATLANTINKATU 8

29.AXW240 (17)

1.AXW240 (18)

29.AXW240 (18)

29.AXW240 Salmisaari SA E29

1.AXW240 MMO 0531 ATLANTINKATU 7

1077



Hankekuvas:  
Atlantinkatu 8,  
tilapäismuuntamo 1077

Hankennumero:  
74562

Työ- / Kohdenumerot:

Hyväksyjä / Pvm.  
KITT

Piirustuksen numero: STK18-74562-KJ  
Koko: A3  
Suhde: 1:1000  
Versio ja pvm. A 2.7.2018

Suunnittelija / Puh.no  
KHYV [REDACTED]

## Jakokeskuksen kytkimet

HSV / KHYV

1(1)

Tunnisteen tulostuspäivä: 01.08.2018 13:08:21

**Jakokeskus: 8345**
**Osoite: TORPPARINMÄENTIE 34**

Valmistaja	KAB
Tyyppi	SDC 698 LD
Alue	Torpparinmäki 352
Omistaja	Ei määritetty
Valmistusvuosi	2018
Käyttöönottopäivä	
Kiskon nimellisteho	630
Kytinten max.määrä	8
Suojaustaso	IP34
Rakenne	KOTELOITU

SUUNNITELMA (UUSI JK KAB SDC 698 LD):

Jonovarokeytkimen tieto					
Lähtö	Kiskoliitäntä	Lähdön suunta	Sulake (A)	Sulakealusta	Tila
1	Sulakkeet	LJ TASAISENPELLONTIE 1, 16AXM	63 A	160	kiinni
2	Sulakkeet	JK 7029 TASAISENPELLONTIE 7, 3.AXM	JR	400	auki
3	Oikosulkuveitset	JK 3285 TORPPARINMÄENTIE 32, 1.AXM	OSV	400	kiinni
4	Oikosulkuveitset	JK 3285 TORPPARINMÄENTIE 32, 2.AXM	OSV	400	kiinni
5	Sulakkeet	PÄÄ MAASSA TORPPARINMÄENTIE 39 B, 1.AXM35/AXM35	100 A	160	kiinni
6	Sulakkeet	JK 7405 NOTAARINTIE 6, AXM/1.AXM	JR	400	auki
7	Sulakkeet	LJ TORPPARINMÄENTIE 36, 1.AXM185	200 A	250	kiinni
8	Sulakkeet	LJ TORPPARINMÄENTIE 36, 2.AXM185	200 A	250	kiinni
9	Sulakkeet	LJ URH.KENTTÄ KOPPI, 2.AXM35/16AXM	50 A	160	kiinni
10	Sulakkeet	JK 7027 VIERESSÄ (UV-KAAPPI), 3.AXM35	100 A	160	kiinni

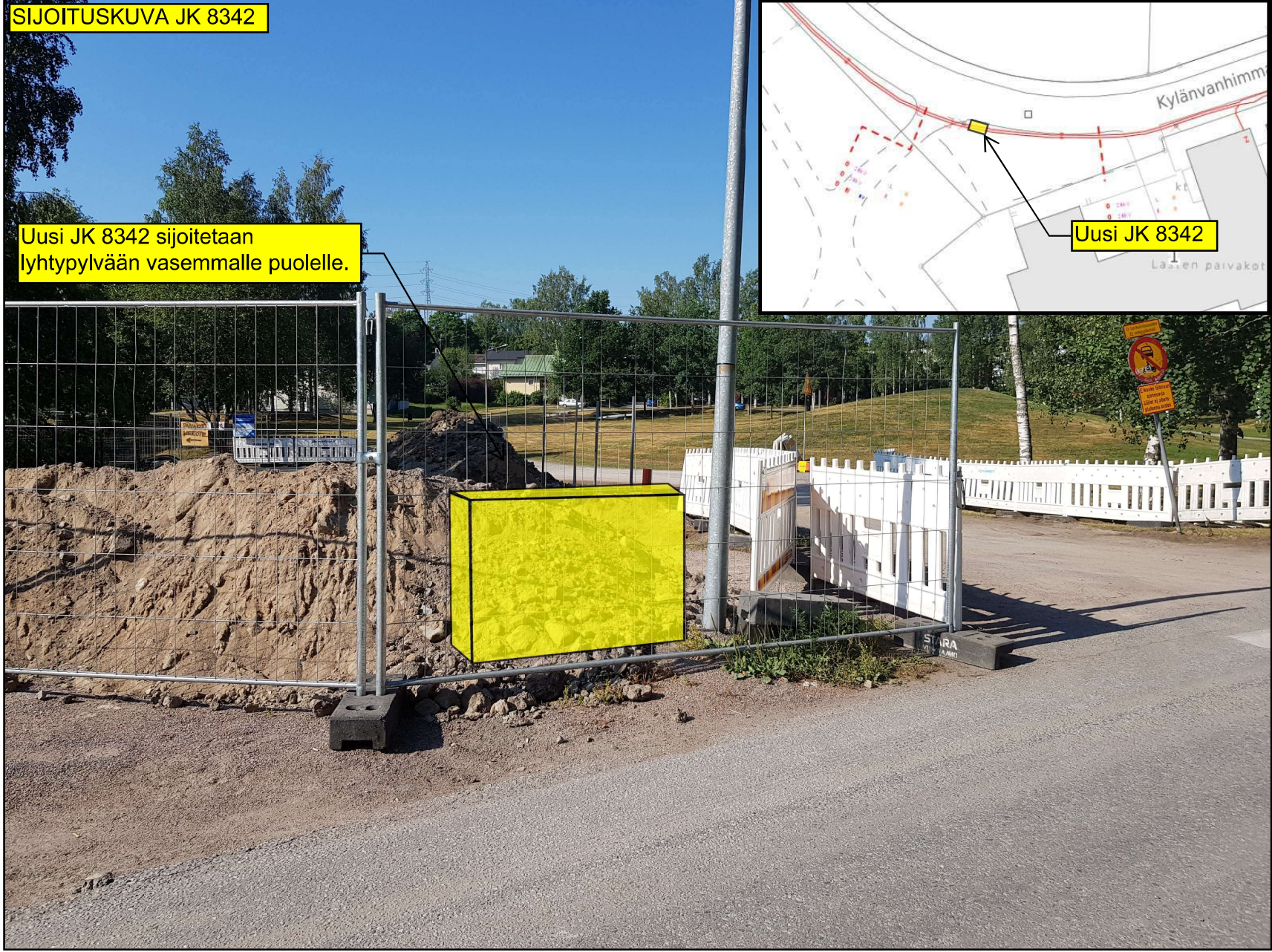
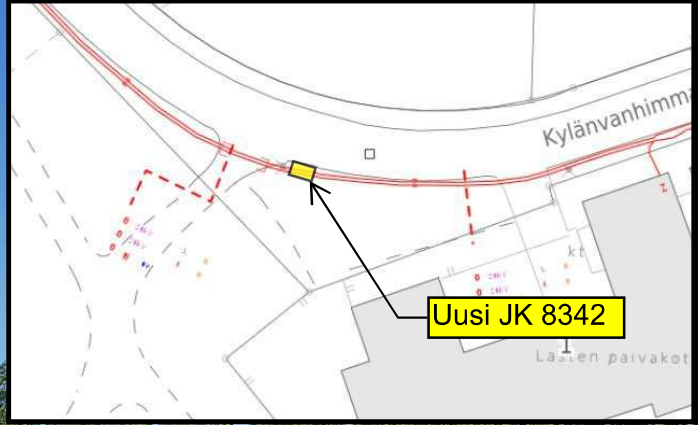
Huomautus:

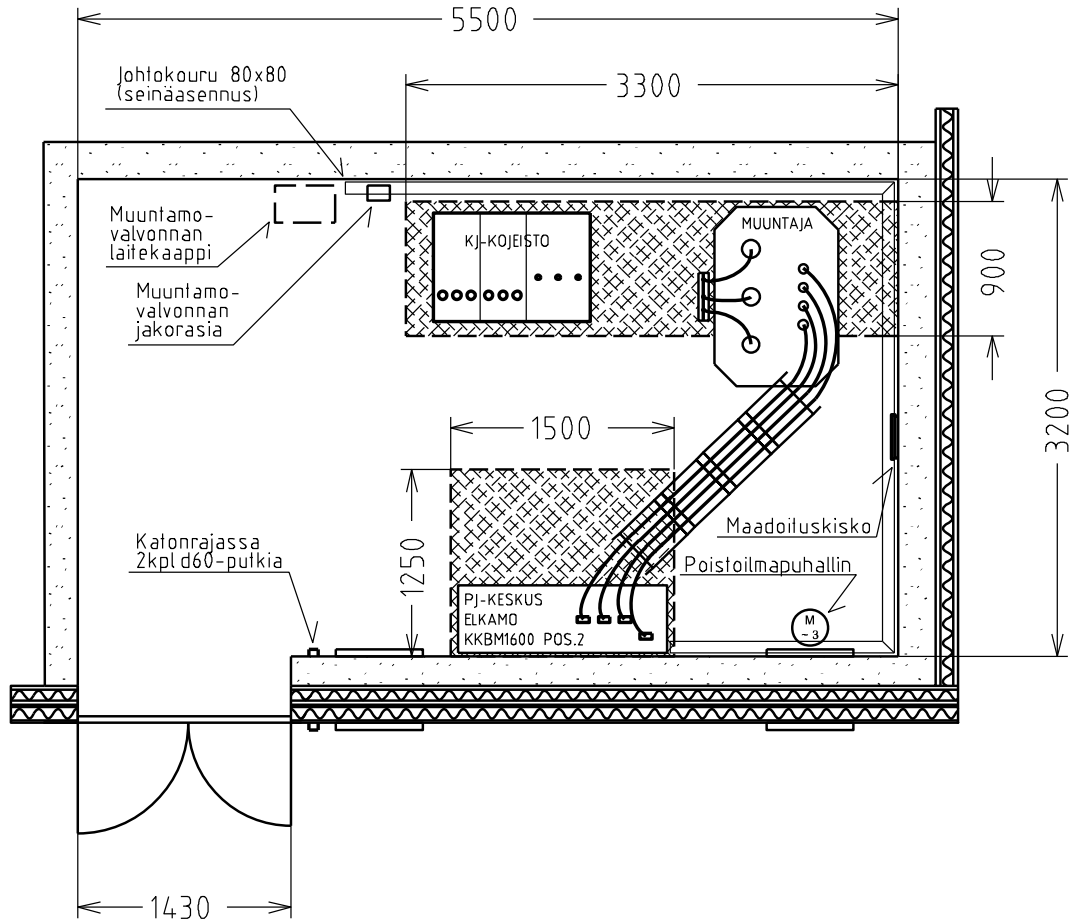
Kuittaus: \_\_\_\_\_ pvm: \_\_\_\_\_



**SIJOITUSKUVA JK 8342**

Uusi JK 8342 sijoitetaan lyhtypylvään vasemmalle puolelle.





-Muuntamon vanha KJ-kojeisto romutetaan ja tilalle asennetaan uusi 2+1 -tyyppin kojeisto

-Vanha PJ-keskus romutetaan ja tilalle asennetaan Elkamo KKBM1600 Pos 2.

-Vanha 500kVA muuntaja romutetaan ja tilalle asennetaan uusi 630kVA muuntaja

-Muuntajan KJ-kaapelit tuodaan alakautta. Nousu arinalla muuntajan vieressä

-Muuntajan PJ-kaapelit tuodaan yläkautta arinalla PJ-keskukselle

-Kaikki avonaiset kaapelikanavat peitetään turkkilevyillä

Helsingin Energia

Suunn. 15.08.2018 KHYY

Suunn.

Piirt. Mstn

Tark.

Tark.

Hyv.

Nähn.

Nähn.

Nähn.

MMO 2081

KOJEISTUS

Suhde:

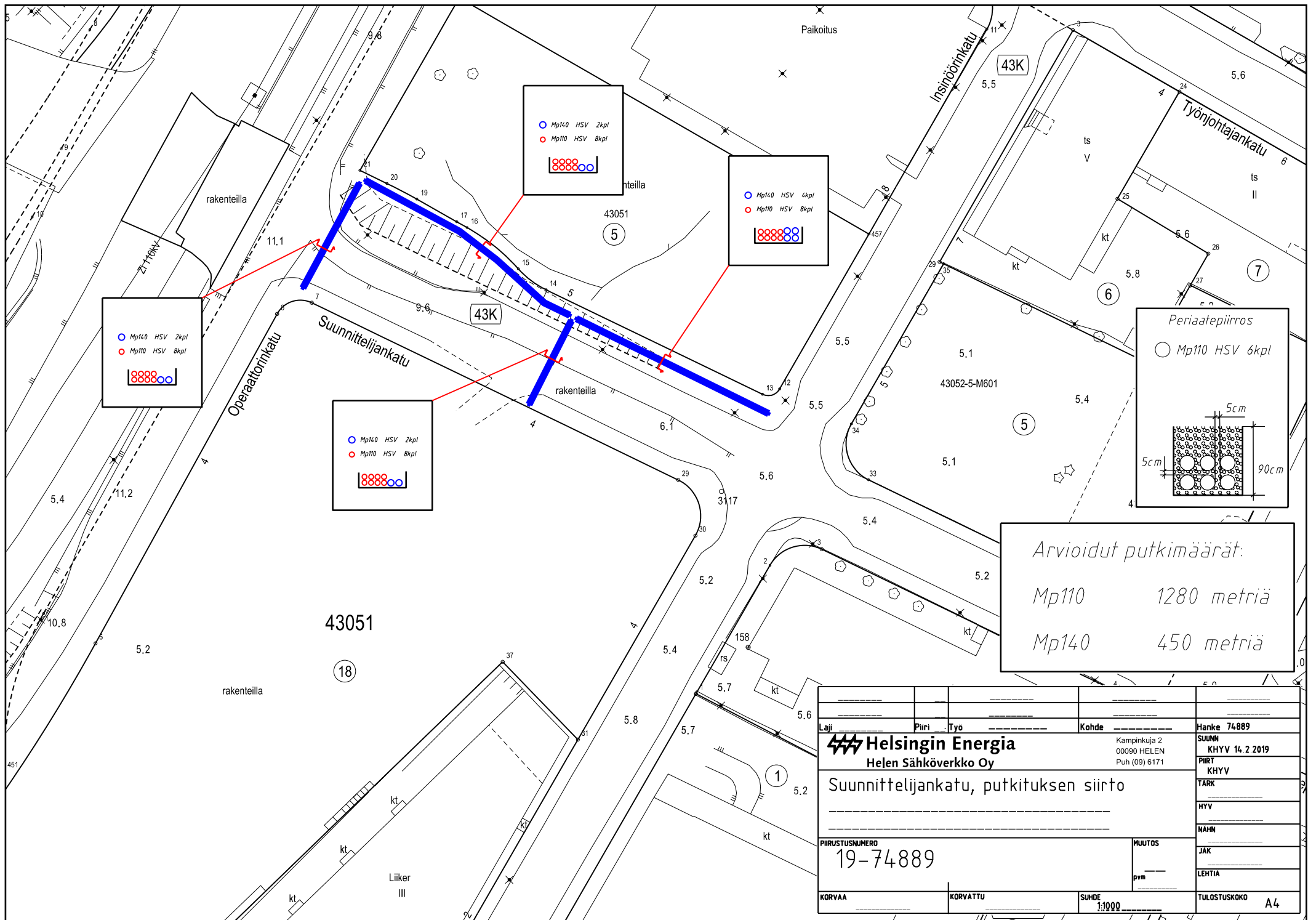
1:50

Piirustusnumero:

4SM 2081 - 7B







○ Mp140 HSV 2kpl  
 ○ Mp110 HSV 8kpl

○ Mp140 HSV 2kpl  
 ○ Mp110 HSV 8kpl

○ Mp140 HSV 4kpl  
 ○ Mp110 HSV 8kpl

○ Mp140 HSV 2kpl  
 ○ Mp110 HSV 8kpl

Periaatepiirros  
 ○ Mp110 HSV 6kpl

Arvioidut putkimäärät:  
 Mp110 1280 metriä  
 Mp140 450 metriä

Laji		Piiri		Työ		Kohde		Hanke 74889	
<b>Helsingin Energia</b> Helen Sähköverkko Oy						Kampinkuja 2 00090 HELEN Puh (09) 6171		SUUNN KHYV 14.2.2019 PIIRT KHYV TARK HYV NAHN JAK LEHTIA TULOSTUSKOKO A4	
Suunnittelijankatu, putkituksen siirto									
PIIRUSTUSNUMERO						MUUTOS			
19-74889						pvm			
KORVAA			KORVATTU			SUUNDE		1:1000	