

Roope Apponen

Kustannustiedon käsittely sähköverkon suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

31.5.2013

Alkulause

Tämä insinöörityö on tehty Helen Sähköverkko Oy:n Jakeluverkko-yksikölle. Haluan kiittää työni ohjaajaa, hankesuunnittelupäällikkö dipl.ins. Kati Kettusta sekä valvojaani, tekn. lis. Jarno Vartevaa hyvistä neuvoista ja rakentavasta palautteesta työni edetessä.

Lisäksi haluan kiittää Helen Sähköverkko Oy:n työntekijöitä mukavasta työilmapiiristä sekä erityisesti työni etenemisessä auttaneita, järjestelmäasiantuntija Milla Huuskoa ja suunnitteluinsinööri Jani Niinisaloa.

Helsingissä 31.5.2013

Roope Apponen

| | |
|---|---|
| Tekijä Otsikko | Roope Apponen Kustannustiedon käsittely sähköverkon suunnittelussa |
| Sivumäärä Aika | 55 sivua + 3 liitettä 31.5.2013 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | sähkötekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | sähkövoimatekniikka |
| Ohjaajat | dipl.ins. Kati Kettunen, Helen Sähköverkko Oy tekn.lis. Jarno Varteva, Metropolia Ammattikorkeakoulu |
| <p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin kaapeloidun jakeluverkon suunnittelemiseen sekä selvitetiin Tekla NIS -verkkotietojärjestelmän Rakennusprojektien suunnitteluovelluksen (CPP) kustannusten arviointi -toiminnon käyttöönoton mahdollisuutta Helen Sähköverkko Oy:n (HSV) jakeluverkon suunnittelussa.</p> <p>Kaapeloidun jakeluverkon suunnittelemiseen tutustuttiin läpi käymällä yleisiä suunnitteluohjeistuksia sekä HSV:n olemassa olevia verkon suunnittelu- ja rakentamisohjeita.</p> <p>Selvitys CPP:n kustannusten arviointi -toiminnon käyttöönottamiseksi aloitettiin tutustumalla ohjelman toimintaan yleisesti. Toimintaan tutustumisen aikana ohjelmasta löydetty virheet toiminnot korjattiin ennen selvityksen työn jatkamista. Virhetoimintojen korjaamisen jälkeen keskityttiin käyttöönottoa varten ratkaistavien ongelmien ja vaatimusten kartoittamiseen. Kartoituksessa havaituista ongelmista ja vaatimuksista osa ratkaistiin työn aikana.</p> <p>Selvityksen lopputuloksena saatiin käsitys siitä, miten CPP:tä tulisi vielä kehittää ja mitä toimintatavan muutoksia CPP:n käyttöönotto edellyttäisi, jotta sitä voitaisiin hyödyntää tehokkaasti Helen Sähköverkko Oy:n jakeluverkon hankesuunnittelussa.</p> | |
| Avainsanat | kaapeloitu, jakeluverkko, suunnittelu, kustannusarvio |

| | |
|--|--|
| Author Title Number of Pages Date | Roope Apponen Cost-Benefit Analysis in the Planning of Electricity Distribution Network 55 pages + 3 appendices 31 May 2013 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Electrical Engineering |
| Specialisation option | Electrical Power Engineering |
| Instructors | Kati Kettunen, M.Sc, Helen Electricity Networks Ltd Jarno Varteva, Lic.Sc. (Tech.), Metropolia UAS |
| <p>The purpose of this thesis was to study the planning of the underground cable distribution network and to investigate the possible implementation of Tekla Network Information System's Construction Planning Program (CPP) in the distribution network planning of Helen Electricity Networks Ltd (HSV).</p> <p>The study concerning the planning of the underground cable distribution network was carried out using literature and the existing design and development instructions of HSV.</p> <p>The study on the possible implementation of CPP's cost-benefit analysis application was carried out by first familiarizing with the program and then with the solving of the malfunctions. The study continued with the recognition of the needs and the possible problems in the implementation of CPP. Some of the needs and the problems in the implementation were solved during the study.</p> <p>As a result, this study produced an idea of how CPP should be developed in the future in order to meet the HSV's requirements and how the implementation of CPP would change HSV's planning processes.</p> | |
| Keywords | underground cabling, distribution network, planning, cost-benefit analysis |

Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Helen Sähköverkko Oy | 2 |
| 3 | Jakeluverkon suunnittelun teknistaloudelliset perusteet | 3 |
| 3.1 | Jakeluverkon suunnittelun tekniset reunaehdot | 4 |
| 3.1.1 | Sähköturvallisuusmääräykset | 4 |
| 3.1.2 | Jännitteenalenema | 5 |
| 3.1.3 | Terminen kuormitettavuus | 6 |
| 3.2 | Jakeluverkon suunnittelun taloudelliset reunaehdot | 8 |
| 3.2.1 | Jakeluverkon rakenteet ja koot | 9 |
| 3.2.2 | Jakeluverkon käyttöajan aikana syntyvät kustannukset | 9 |
| 3.3 | Kaapelin sijoittaminen maahan | 11 |
| 3.4 | Jakeluverkon suunnitteluvaiheet | 12 |
| 3.4.1 | Yleis- ja elinkaarisuunnittelu | 12 |
| 3.4.2 | Hankesuunnittelu | 13 |
| 4 | Jakeluverkon suunnittelu HSV:ssä | 14 |
| 4.1 | Yleis- ja elinkaarisuunnittelu HSV:ssä | 14 |
| 4.2 | Hankesuunnittelu HSV:ssä | 15 |
| 4.2.1 | Suunnitteluprosessit | 15 |
| 4.2.2 | Esi- ja maastosuunnittelu | 16 |
| 4.2.3 | Suunnitelman tekeminen | 18 |
| 4.2.4 | Keskijänniteverkon suunnittelu | 18 |
| 4.2.5 | Jakelumuuntamon suunnittelu | 20 |
| 4.2.6 | Pienjänniteverkon suunnittelu | 23 |
| 5 | Tietojärjestelmät | 27 |
| 5.1 | Verkkotietojärjestelmä (Tekla NIS) | 27 |
| 5.1.1 | Käytöntukijärjestelmä (DMS) | 28 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1.2 | Teknis-taloudellinen suunnitteluovellus (TEP) | 29 |
| 5.1.3 | Rakennusprojektien suunnitteluovellus (CPP) | 29 |
| 5.2 | Rakennuttamisjärjestelmä (RKJ) | 30 |
| 5.3 | ProjectWise-dokumenttien hallintajärjestelmä | 30 |
| 6 | Kustannustiedon käsittely sähköverkon suunnittelussa | 30 |
| 6.1 | Verkkotietojärjestelmään tehdyn suunnitelman kustannusarvio | 30 |
| 6.2 | CPP:n käyttöönottoaminen | 31 |
| 6.2.1 | Yksikköhintaluettelon toimenpiteiden sijoittaminen VTJ:n lajeille | 32 |
| 6.2.2 | CPP:n hinnaston luominen | 35 |
| 6.2.3 | Johtoreitin pituus | 36 |
| 6.2.4 | Tiedonsiirto CPP:n ja RKJ:n välillä | 37 |
| 6.3 | Kustannusarvion tekeminen CPP:llä | 38 |
| 6.3.1 | Kustannusarvio suunnitelman teon yhteydessä | 40 |
| 6.3.2 | Kustannusarvio tietokantaan ajamattomasta suunnitelmasta | 43 |
| 6.3.3 | Kustannusarvio tietokantaan ajetusta suunnitelmasta | 44 |
| 6.4 | Hankkeiden arvioitujen ja toteutuneiden kustannusten vertailu | 45 |
| 6.4.1 | Pienjännitesuunnitelman kustannusarvio | 45 |
| 6.4.2 | Keskijännitesuunnitelman kustannusarvio | 47 |
| 6.5 | CPP:n käyttöönoton tuomat muutokset suunnitteluprosessiin | 48 |
| 7 | Yhteenveto | 49 |
| | Lähteet | 53 |
| | Liitteet | |

Liite 1. Esimerkki lajeittain jaotellusta yksikköhintaluettelosta

Liite 2. Pienjännitesuunnitelman kustannusten vertailu

Liite 3. Keskijännitesuunnitelman kustannusten vertailu

Lyhenteet

| | |
|-----------------|--|
| CPP | Construction Planning Program; rakennusprojektien suunnittelu-sovellus |
| DMS | Distribution Management System; käyttötukijärjestelmä |
| EPR | eteenipropeenikumi |
| HSV | Helen Sähköverkko Oy |
| Kj | keskijännite |
| Jk | jakokaappi |
| NIS | Network Information System; verkkotietojärjestelmä |
| PEX | polyeteenikumi |
| Pj | pienjännite |
| PTS | pitkän tähtäimen suunnitelma |
| PVC | polyvinyylikloridikumi |
| RKJ | rakennuttamisjärjestelmä |
| SF ₆ | rikkiheksafluoridi |
| STL | sähköturvallisuuslaki |
| TEP | teknis-taloudellinen suunnittelu-sovellus |
| VTJ | verkkotietojärjestelmä |
| XML | Extensible Markup Language; dokumenttien tallennusmuoto |

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutustutaan kaapeloidun jakeluverkon suunnittelemiseen sekä yleisesti että Helen Sähköverkko Oy:ssä (HSV). Lisäksi selvitetään Tekla NIS-verkkotietojärjestelmän Rakennusprojektien suunnittelusovelluksen kustannusten arviointi-toiminnon käyttöönoton mahdollisuutta HSV:n hankesuunnittelussa.

Nyky-yhteiskuntamme on yhä riippuvaisempi keskeytyksettömästä sähkönjakelusta. Viimeaikaiset myrskyt ja niistä seuranneet laajat sähkönjakelun keskeytykset ovat lisänneet koko maassa paineita sähköntoimitusvarmuuden parantamiselle. Sähköntoimitusvarmuuden parantamiseksi on laajalti ehdotettu jakeluverkon kaapelointia nopealla aikataululla. Jakeluverkkoon tehtävät investoinnit ovat kuitenkin pitkäikäisiä, joten monet jakeluverkkoyhtiöt ovat hankalassa tilanteessa pohtiessaan käyttöikäisen ilmajohdoverkon uudistamista kaapeliverkoksi.

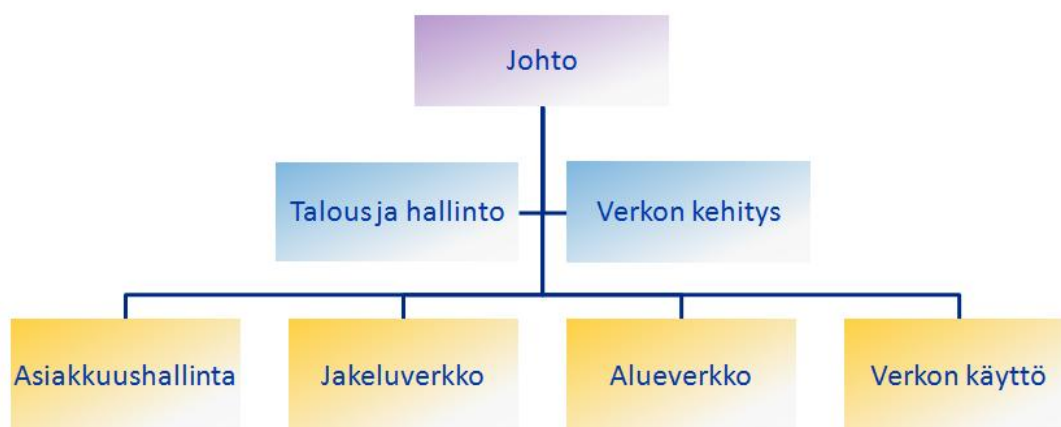
Jakeluverkon kehittymistä ohjataan teknisillä ja taloudellisilla reunaehdoilla sekä viranomaisten että jakeluverkkoyhtiön toimesta. Suunnittelulle asetettavien reunaehtojen tavoitteena on verkon teknistaloudellinen optimointi eli sähkönsiirron ja -jakelun tulisi olla sekä taloudellista että laadukasta. Monet teknisistä reunaehdoista perustuvat viranomaismääräyksiin, kuten vaatimukset sähkön laadusta ja sähköturvallisuudesta. Taloudelliset reunaehdot ovat pitkälti jakeluverkkoyhtiön itselleen määrittelemiä, joskin viranomaiset valvovat sähkönsiirtohinnoittelun kohtuullisuutta. Usein uutta verkkoa suunniteltaessa tekniset reunaehdot täyttäviä ratkaisuja on useita, joten ero eri ratkaisujen välille tehdään taloudellisen optimoinnin perusteella.

Nykyään HSV:ssä hankkeen kustannusarvio tehdään kirjaamalla hankkeen toimenpiteet rakennuttamisjärjestelmään manuaalisesti ja arvioimalla maanrakennuskustannuksia Excel-laskentasovelluksen avulla. Kustannusarviot voitaisiin toteuttaa myös käytössä olevan verkkotietojärjestelmän Rakennusprojektien suunnittelusovelluksella (CPP), jolla verkkotietojärjestelmään tehdystä suunnitelmasta voidaan laskea kustannusarvio. Lisäksi CPP:n avulla voitaisiin sekä vähentää suunnittelijan tekemää manuaalista järjestelmien välistä tiedonsiirtotyötä että mahdollistaa suunnittelijalle eri suunnitelmavaihtoehtojen kustannusten vertailu.

2 Helen Sähköverkko Oy

HSV kuuluu Helsingin kaupungin omistamaan Helen-konserniin. HSV:n lisäksi Helen-konserniin kuuluvat Helsingin Energia sekä tytä- ja osakkuusyhtiöt Mitox Oy, Suomen Energia-Urakointi Oy, Vantaan Energia Oy, Finestlink Oy ja Oy Mankala Ab. Vuonna 2007 voimaan tulleen sähkömarkkinalain mukaan suuret verkonhaltijat tuli eriyttää sähkönmyynnistä ja -tuotannosta. Helen-konserni perusti HSV:n uudistuvan sähkömarkkinalain takia vuonna 2006, jolloin HSV osti silloisen HelenVerkon toiminnot itselleen. HSV:n liikevaihto vuonna 2012 oli 120,7 miljoonaa euroa eli hieman yli kahdeksasosa Helen-konsernin liikevaihdosta (897 miljoonaa euroa).

HSV:llä on kaksi toimipaikkaa: Sörnäinen (päätoimipiste) ja Viikinmäki (käyttökeskus), joissa työskentelee yhteensä noin 100 henkilöä. Yhtiön organisaatio rakentuu kuudesta johdon alapuolisesta yksiköstä (kuva 1), joilla jokaisella on omat organisaatorakenteensa. HSV on käytännössä asiantuntijaorganisaatio, sillä yrityksellä ei ole omia asentajia. Tarvittavat rakentamis- tai ylläpitotoimenpiteet tilataan urakoitsijoilta. [1; 2, s. 18; 3, s. 44, 56.]



Kuva 1. HSV:n organisaatiorakenne [4]

Jakeluverkkoyksikkö koostuu kolmesta ryhmästä: Yleis- ja elinkaarisuunnittelu, Hanke-suunnittelu ja Rakennuttaminen. Jakeluverkkoyksikön vastuualue alkaa sähköaseman keskijännitelähdön kennosta, josta sähkö jaetaan keski- ja pienjänniteverkon kautta omille ja asiakasmuuntamoille (kuva 2, ks. seur. s.).



Kuva 2. Sähkövoimajärjestelmän osapuolet ja rajapinnat [4]

HSV vastaa Energiamarkkinaviraston verkkoluvan mukaisesti sähkönsiirrosta ja -jakelusta sekä sähköverkkopalveluista Helsingin kaupungin alueella lukuun ottamatta Östersundomin liitosaluetta. Jakelualue on suuruudeltaan 187 km² ja se käsittää 6 314 km sähköverkkoa. Asiakkaita jakelualueella on noin 360 000 ja asiakkaiden yhteenlaskettu sähkönkulutus vuonna 2012 oli 4 649 GWh.

HSV:llä on 21 sähköasemaa ja 110 kV:n alueverkkoa 206 km, josta 33 % on kaapeloitu. Keskijänniteverkkoa on 1 584 km, josta yli 99 % on kaapeloitu. Jakelujännitteenä keskijänniteverkossa käytetään kahta eri jännitettä, kantakaupungin alueella 10 kV:n ja esikaupunkialueilla 20 kV:n jakelujännitettä. Pienemmille kuluttajille sähkönjakelu tapahtuu yhtiön pienjänniteverkon kautta 230/400 V:n jakelujännitteellä. Pienjänniteverkkoa on 4 540 km, josta 97 % on kaapeloitu. [3; 4.]

3 Jakeluverkon suunnittelun teknistaloudelliset perusteet

Suomessa paineet sähkönjakeluverkon kaapelointiasteen kohottamiseen ovat suurentuneet nopeasti viimeaikaisten kovien myrskyjen ja niitä seuranneiden lukuisten pitkäaikaisten sähkönjakelukeskeytysten seurauksena. Yhteiskuntamme kasvanut riippuvuus keskeytymättömästä sähkönjakelusta on kasvattanut sähkönjakelun keskeytyskustannuksia, jonka takia käsite kokonaistaloudellisimmasta verkkoratkaisusta on muuttumassa.

Tähän asti jakeluverkon kaapelointia on käytännössä tehty vain alueilla, joissa kuormitusiheys on ollut riittävän suuri, esimerkiksi kaupungeissa ja tiiviisti asutetuissa taajamissa. Tiiviisti asutetut ja rakennetut taajamat tuovat esiin myös tilankäytölliset ongelmat jakeluverkkoa suunniteltaessa, sillä ilmajohtoverkoille ei välttämättä ole tilaa tai niiden rakentaminen voi olla esteettisistä syistä kiellettyä. [5, s. 36.]

Sähkönjakeluverkon suunnittelu koostuu monista erilaisista tehtävistä ja niiden aikajänne voi vaihdella muutamasta kuukaudesta kymmeneen vuosiin. Jokaisessa tehtävässä pyritään pitkällä tähtäimellä taloudellisimpaan teknisesti toimivaan ratkaisuun. Taloudellisin ratkaisu perustuu yleisesti suunnittelujakson aikana syntyvien investointi-, häviö-, keskeytys- ja ylläpitokustannuksien nykyarvojen minimointitehtävän tuloksiin. Minimoinnin reunaehdot saadaan yleensä jakeluverkkoyhtiön verkolle asettamista tavoitteista, kuten

- jännitteenalenema on tavoitteen mukainen
- kaapeleiden termistä kuormituskykyä ei ylitetä
- kaapeleiden oikosulkukestoisuus on riittävä
- suojaukseen liittyvät määräykset toteutuvat
- sähköturvallisuusmääräykset toteutuvat. [6, s. 63.]

3.1 Jakeluverkon suunnittelun tekniset reunaehdot

Teknisten reunaehtojen tunteminen ja niiden noudattaminen verkon suunnittelussa parantaa verkon taloudellista, laadullista ja turvallista toimintaa. Osa reunaehdoista on luonteeltaan tarkasti noudatettavia, ja osa on määritelty enemmänkin ohjaamaan verkon suunnittelua ja sen kehittämistä jakeluverkkoyhtiön sekä viranomaisten haluamaan suuntaan.

3.1.1 Sähköturvallisuusmääräykset

Sähköturvallisuusmääräysten noudattaminen on tärkein suunnittelun reunaehdoista. Verkon eri jännitetasojen huomiointi suojausta toteutettaessa on tärkeätä, jotta suojausta ei ylimitoitettaisi, vaan se olisi sekä teknisesti toimiva että taloudellinen.

Pienjänniteverkon tärkeimmät sähköturvallisuusmääräykset liittyvät verkon jännitteisten komponenttien kosketussuojaukseen, sillä pienjänniteverkkoon kytketään valtaosa kuluttajien sähkölaitteista. Pj-verkon vikavirtasuojalaitteena käytetään sulakkeita, jotka sijoitetaan muuntamon pj-keskukseen ja mahdollisiin jakokaappeihin. Sulakkeiden tulee toimia riittävän nopeasti johdon loppupäässä tapahtuvassa yksivaiheisessa oikosulussa. [5, s. 65.]

Keskijänniteverkon tärkeimmät sähköturvallisuusmääräykset liittyvät verkon oiko- ja maasulkusuojausvaatimuksiin. Oikosulku syntyy eristysvian tai ulkoisen kosketuksen aiheuttaman jakeluverkon virtapiirin sulkeutumisen valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Tyypillistä oikosululle on normaalia kuormitusvirtaa suurempi oikosulkuvirta, joka voi aiheuttaa sähkönjakelun keskeytymisen lisäksi sekä henkilövahinkoja että johtojen ja laitteiden termisen kuormituskyvyn ylittymisiä. Oikosulku voi syntyä kahden tai kolmen vaiheen välille. Jos oikosulku syntyy vaihejohtimen ja maan välille, puhutaan yleensä maasulusta sekä maasulkuvirrasta, jonka suuruus riippuu verkon tähtipisteen maadoitustavasta. Oiko- ja maasululta suojaudutaan kj-verkossa releillä. [6, s. 28.]

3.1.2 Jännitteenalenema

Suurin sallittu jännitteenalenema on määritelty SFS-EN 50160 -standardissa. Standardin mukaan jännitetason vaihtelut asiakkaan liittymispisteessä ei saisi ylittää normaleissa käyttöolosuhteissa ± 10 % nimellisjännitteestä. Normaalilla 230 V:n vaihejännitteellä jännite saa siis vaihdella 207 - 253 V.

Yleensä jännitteenalenema jaetaan keskijännite-, jakelumuuntamo- ja pienjänniteosuuksien kesken, koska näiden suunnittelu tehdään usein erillisinä toimintoina. Kaupunkiympäristössä sijaitsevan keskijänniteverkon jännitteenaleneman suuruus on 2 - 3 %, jakelumuuntamoiden 1 - 2 % ja pienjänniteverkkojen 5 - 7 %. Jännitteenaleneman tavoitearvot määritellään yleensä yhtiökohtaisissa suunnitteluohjeistuksissa, joissa tavoitearvot perustuvat yhtiön toimintaympäristöön sekä standardin asettamaan raja-arvoon. Jännitteenalenema koostuu johtoreitin pituudesta, johdinten mitoituksesta ja kuormituksesta. Näin ollen joissain tapauksissa jännitteenaleneman parantamiskustannukset voivat kasvaa suuriksi. [6, s. 76; 7, s. 20.]

3.1.3 Terminen kuormitettavuus

Standardi SFS 6000-5-52 määrittää kaapeleiden eristeiden suurimmat sallitut termiset kuormitettavuudet (taulukko 1) ja korjauskertoimet, joiden avulla huomioidaan erilaiset asennusolosuhteet sekä rinnakkaiset kaapelit.

Taulukko 1. Eristeiden terminen kuormitettavuus [8, s. 20]

| Eristeenlaji | Lämpötilan raja-arvo °C |
|--|-------------------------|
| Termoplastinen (Polyvinyylikloridi PVC) | 70 johtimessa |
| Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR) | 90 johtimessa |
| Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa) | 70 vaipassa |
| Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa) | 105 vaipassa |

Kj-verkon kaapeleita mitoitettaessa korjauskertoimia on käytettävä maltilla, sillä rinnakkaiset kaapelit ovat harvoin täysin kuormitettuja, ja niiden kuormitushuiput osuvat yleensä eri aikoihin. Yleensä oletetaan, että rinnakkaisista kaapeleista korkeintaan kaksi ovat samanaikaisesti täyteen kuormitettuja.

Normaalissa käyttötilanteessa kaapelin termistä kuormituskykyä ei tule ylittää. Poikkeustilanteissa, kuten esimerkiksi vikatilanteissa, kaapelin terminen kuormituskyky voidaan ylittää. Poikkeustilanteita varten kaapelin eristeelle on määritetty hätäkuormitettavuusarvo (taulukko 2, ks. seur. s.). Kaapelin ylikuormituksen ehtona on, että kaapeli on asennettu paloturvallisesti. Kaapelin termisen kuormituskyvyn ylittämisen seurauksena on eristeiden ennen aikainen vanheneminen ja pahimmassa tapauksessa palovaaran syntyminen sisäasennuksissa, minkä vuoksi hätäkuormitustilanteiden tulisi olla lyhytkestoisia. [6, s. 6; 8, s. 20; 9, s.11.]

Taulukko 2. Kaapeleiden hätäkuormitettavuudet [9, s.11]

| <u>Keskijännitekaapelit</u> | | | |
|------------------------------------|---|----------------------------|--------------------------|
| Kaapelityyppi | Johtimien maksimilämpötila hätäkuormituksella (°C) | Hätäkuormitettavuuskerroin | |
| | | Kaapeli ilmassa +25 C | Kaapeli maassa + 15 C |
| 12-24 kV paperieristeinen | 95 | 1,26 | 1,20 |
| 1-24 kV PEX-eristeinen | 130 | 1,20 | 1,30 |
| <u>Pienjännitekaapelit</u> | | | |
| Kaapelityyppi | Johtimien maksimilämpötila hätäkuormituksella (°C) | Hätäkuormitettavuuskerroin | |
| | | Muuntamo- asennuksissa | Maa- asennuksissa |
| Paperieristeinen | 105 | 1,15 | 1,12 |
| PEX-eristeinen | 130 | 1,19 | 1,15 |

Muuntajan nimelliskuormitettavuuden ylittäminen kasvattaa muuntajan lämpenemistä, joka nopeuttaa muuntajan eristeiden vanhenemista. Muuntajaa voidaan hätäkuormittaa vika-, asennus-, korjaus- ja huoltotilanteiden aikana (taulukko 3). Tällöin on varmistuttava, ettei muuntajan käämien lämpötila nouse yli 140 °C, ja ettei öljyn yläpinnan lämpötila ylitä 115 °C. Käämien lämpötilan noustessa liian korkeaksi muuntaja voi tuhoutua. [6, s. 77; 10, s. 27.]

Taulukko 3. Muuntajan hätäkuormitettavuus (kuormitustehon suhde nimellistehoon) [10, s. 27]

| | Muuntamon lämpötila | | | |
|-----------------------|---------------------|---------|------|---------|
| Kulutustyyppi | + 40 °C | + 20 °C | 0 °C | - 20 °C |
| Asuminen | 1,25 | 1,40 | 1,55 | 1,70 |
| Suora sähkölämmitys | 1,40 | 1,55 | 1,70 | 1,85 |
| Varaava sähkölämmitys | 1,15 | 1,30 | 1,40 | 1,55 |
| Teollisuus | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,60 |
| Liike-elämä | 1,15 | 1,30 | 1,45 | 1,55 |
| Julkinen kulutus 1) | 1,25 | 1,45 | 1,55 | 1,70 |

1) Sairaalat ja koulut

Muuntajan terminen kuormitettavuus on huomioitava varsinkin kiinteistömuuntamoita suunniteltaessa, minkä vuoksi kiinteistömuuntamon ilmanvaihto toteutetaan usein koneellisesti. Ilmanvaihtokoneen tuloilma tulee ottaa mahdollisimman pölyttömästä paikasta ja ilma on suunnattava muuntajaa kohti. Suunniteltaessa muuntamon ilmanvaihtoa on huomioitava, että yhdessä 1 000 kVA:n muuntajassa syntyy häviölämpöä 10 kW:a. Muuntamotilan maksimilämpötila saa olla enintään +35 °C. [10, s. 8.]

3.2 Jakeluverkon suunnittelun taloudelliset reunaehdot

Jakeluverkkoon ei tulisi investoida enempään kuin on tarpeellista, vaan sähkönsiirron ja jakelun on oltava taloudellista sekä verkossa syntyvien häviöiden tulisi olla mahdollisimman pienet. Energiamarkkinavirasto valvoo sähkön siirtohinnoittelun kohtuullisuutta määrittelemällä jakeluverkkoyhtiön verkkoliiketoimintaan sitoutuneelle pääomalle suurimman sallitun tuoton, jota verrataan yhtiön toteutuneeseen tuottoon. Valvontamallin avulla sekä kannustetaan jakeluverkkoyhtiötä investoimaan verkkoonsa että simuloidaan jakeluverkkotoiminnasta puuttuvaa kilpailutilannetta. [11, s. 33 - 41.]

Jakeluverkon suunnittelussa kiinnitetään huomiota yhä enemmän suunnitellun ratkaisun kokonaistaloudellisuuteen, sillä monesti tekniset reunaehdot täyttäviä vaihtoehtoja on useita. Ratkaisun kokonaistaloudellisuutta selvittäessä huomioidaan johdon, muuntajan tai verkon muun uudisrakennusosan hankintakulut sekä käyttöajan aikana syntyvät häviö-, kunnossapito- ja keskeytyskustannukset. Verkon suunnittelussa voidaan vielä huomioida komponentin valmistuksessa käytettävien materiaalien hankinta- ja jalostuskulut sekä kierrätyskulut, jotka realisoituvat, kun komponentti poistetaan käytöstä. [12, s. 405.]

Suunnitelman kustannuksista ainoastaan investoinnit ovat luonteeltaan kertaluontoisia. Tämän takia eri kustannuslajit tehdään vertailukelpoisiksi keskenään suunnitelman kokonaistaloudellisuuden määrittämisen helpottamiseksi. Vertailukeinoina käytetään pääsääntöisesti nykyarvo- ja annuiteettimenetelmiä. Nykyarvomenetelmän avulla jaksolliset kustannukset muutetaan koko käyttöjakson aikaisiksi nykyarvoiksi. Annuiteettimenetelmällä muutetaan kertaluontoinen investointikustannus komponentin käyttöjaksolle vuotuisesti jaksotetuksi kustannukseksi. [6, s. 40.]

3.2.1 Jakeluverkon rakenteet ja koot

Yritykset pyrkivät suunnitteluohjeissaan määrittämään käytettävät verkon komponentit ja koot, koska laaja komponenttivalikoima kasvattaa yrityksen varastointi- ja työkustannuksia. Esimerkiksi Sähköenergialiitto ry julkaisi vuonna 1999 verkostosuosituksen pienjänniteverkon kaapeleissa ja riippujohdoissa käytettävistä euro-poikkipinnoista, joita alumiinijohtimiselle kaapelille ovat 25, 50, 95 ja 150 mm². Näiden lisäksi suosituksessa mainitaan 16 ja 185 mm²: n alumiinijohtimiset kaapelit niiden laajan käytön takia. [13.]

Yleensä verkkoyhtiöt valitsevat omaan käyttöönsä parhaiten sopivat eri kokoluokan kaapelit rakentamis- ja häviökustannusten perusteella. Tästä huolimatta tiheään asutuksessa taajamassa toimiva verkkoyhtiö käyttää usein vain yhtä poikkipintaa pienjänniteverkon runkojohtona, mikä johtaa helposti verkon tarpeettomaan ylimitoitamiseen varsinkin pienellä kuormalla. Yhden runkojohdinkoon käytön avulla säästetään kuitenkin varastointi-, suunnittelu- ja häviökustannuksissa. Lisäksi johtimen suurempaa poikkipintaa voidaan hyödyntää silmukoidussa pienjänniteverkossa mahdollisen vian aikana, kun jakorajoja muuttamalla sähköt voidaan palauttaa kuluttajille toisesta muuntopiiristä. Tällöin säästetään myös keskeytyskustannuksissa.

Kaapeloidussa jakeluverkossa käytetään tyypillisesti kiinteistö- ja puistomuuntamoita. Niissä käytettyjen muuntajien tyypilliset koot ovat 200, 315, 500, 630, 800 ja 1 000 kVA. Käytettävä muuntaja pyritään valitsemaan siten, että sen häviökustannukset olisivat mahdollisimman pienet. [6: 4.3.3, s.73.]

3.2.2 Jakeluverkon käyttöajan aikana syntyvät kustannukset

Verkon suunnitellun käyttöajan aikana verkolle syntyy jaksollisia kustannuksia, joita ovat häviö-, keskeytys- ja kunnossapitokustannukset. Käyttöajan aikana syntyvät kustannukset huomioidaan eri suunnitelmien kokonaiskustannuksia tutkittaessa.

Verkossa syntyvät energiahäviöt ovat pääsääntöisesti muuntajien tyhjäkäyntihäviöitä ja johtimissa syntyviä kuormitushäviöitä. Johtimien häviöiden kasvaessa neliöllisesti kuormitukseen nähden muuntajien tyhjäkäyntihäviöt pysyvät lähes vakioina niiden pitoajan aikana. Kuormituksen kasvaminen kasvattaa nopeasti johtimien häviöitä ja samalla sähkön hankintakustannuksia. Yleissuunnittelun laskennoissa on kuormituksen

kasvulle määritetty vuosittainen kasvunopeus, jota hyödyntämällä laskelmista saadaan häviökustannukset suunnitellulle verkolle. Energiahäviöiden kasvu nopeuttaa huomattavasti verkon tarvitsemia uudistamistoimenpiteitä häviösähkön hankinnan kasvamisen vuoksi. Nykyään jakeluverkkoyhtiöt ovat sitoutuneet energiatehokkuussopimuksiin, joiden tavoitteena on energiahäviöiden kasvun taittaminen energian säästämiseksi. Energiatehokkuussopimuksilla ohjataan uusien komponenttien hankintaa pienihäviöisempiin komponentteihin. Hankintavaiheessa komponentin häviöt arvostetaan euroiksi, minkä jälkeen ne lisätään komponentin kokonaishankintahintaan. Monesti hankintavaiheessa hieman kalliimpi pienihäviöinen komponentti maksaa itsensä takaisin nopeasti pienempien häviökustannusten ansiosta.

Yhteiskunta on asettanut tiukat vaatimukset sähkönjakelun luotettavuudelle, ja vaatimukset tiukentuvat yhä tulevaisuudessa. Sähkönjakelun keskeytymisen haittavaikutukset riippuvat yleensä keskeytyksen pituudesta ja siitä, kenen näkökulmasta asiaa katsotaan. Esimerkiksi laajamittaisesta sähkönjakelun keskeytymisestä aiheutuu jakeluverkkoyhtiölle toimittamatta jääneen sähköenergian lisäksi myös imagotappioita. Vastaavasti keskeytyksen aiheuttama haitta kuluttajalle voi olla rahallisesti suurempi kuin kuluttajan ostaman sähkön hinta. Esimerkiksi tuotantolaitoksessa voi aiheutua tuotantohäiriöitä tai yksittäiseltä kuluttajalta sulavat pakasteet. [5, s. 69 - 71; 6, s. 44.]

Edellä mainittujen seikkojen takia jakeluverkkoyhtiöt ovat kiinnittäneet yhä enemmän huomiota keskeytyskustannusten minimointiin verkkoa suunniteltaessa. Keskeytyskustannusten odotusarvojen avulla voidaan tarkastella eri investointien kannattavuuksia ja vaikutuksia verkon keskeytyskustannuksiin. Keskeytyskustannuksiin vaikuttavia investointeja ovat

- verkon muoto – silmukoitu vai säteittäinen
- verkon kaapelointiaste
- verkon varayhteydet
- käytettävät suojaukset
- verkostoautomaatio ja kauko-ohjattavat kytkinlaitteet. [6, s. 44, 52.]

Lisäksi Energiateollisuus ry julkaisi vuonna 2010 alueittaisen suosituksen sähkön toimitusvarmuudelle (taulukko 4, ks. seur. s.), joka ensisijaisesti pyrkii ohjaamaan verkkoyhtiön jakeluverkon tulevaisuuden suunnittelua toimitusvarmempaan suuntaan.

Taulukko 4. Energiateollisuuden toimitusvarmuuden tavoitetasot 2030 [14]

| Alue | Kokonaiskeskeytysaika | Lyhyiden keskeytysten (< 3 min) määrä |
|----------|-----------------------|---------------------------------------|
| City | Enintään 1 h vuodessa | Ei lyhyitä katkoja |
| Taajama | Enintään 3 h vuodessa | Enintään 10 kpl vuodessa |
| Maaseutu | Enintään 6 h vuodessa | Enintään 60 kpl vuodessa |

3.3 Kaapelin sijoittaminen maahan

Kaapeliverkon rakentaminen on kallista maanrakennustöiden vuoksi, erityisesti kaupunkien keskustoissa. Maankaivutyön kustannuksia pyritään pienentämään sijoittamalla kerran avattuun kaapeliojaan tyhjiä kaapeliputkia tulevaisuuden tarpeen mukaan. Täten verkonlaajentamisen yhteydessä päästään merkittäviin kustannussäästöihin, kun kaapeliojaa ei tarvitse avata uudestaan koko matkalta. Kustannuksia pyritään pienentämään myös yhteiskaivuilla, jossa esimerkiksi sähköyhtiö jakaa kaivukustannukset ja kaapeliojan teleyrityksen kanssa. Yhteiskaivuoissa sähkökaapelit suositellaan sijoitettavaksi siten, että ne ovat lähempänä tien reunaa.

Kaapelit pyritään sijoittamaan kaupungeissa jalkakäytäviin, pyöräteihin ja viherkaistoihin. Kaapeliojan kaivukustannukset riippuvat tarvittavista maanrakennustöistä sekä kaivun syvyydestä. Yleensä kaapelit kaivetaan 70 cm:n syvyyteen (taulukko 5), mutta kaupunkialueella siitä on välillä poikettava, esimerkiksi kun kaapeli risteää toisten johtojen kanssa. Mikäli tästä poiketaan, kaapeli suojataan aina putkella.

Taulukko 5. Verkostosuositus kaapelin asennussyvyydelle eri ympäristöissä [15, s. 21]

| Paikka | Pienin asennussyvyys (cm) | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | Kj-kaapelit, tärkeät ohjauskaapelit | Pj-verkon runkokaapelit, muut ohjauskaapelit | Liittymisjohdot, ulkovalaistuskaapelit |
| Ajorata, piennar | 70 | 70 | 50 |
| Kadun jalkakäytävä, piha | 50 | 50 | 30 - 50 |
| Puistokäytävä | 50 | 50 | 30 |
| Maasto, pelto | 70 - 90 | 50 - 70 | 50 - 70 |

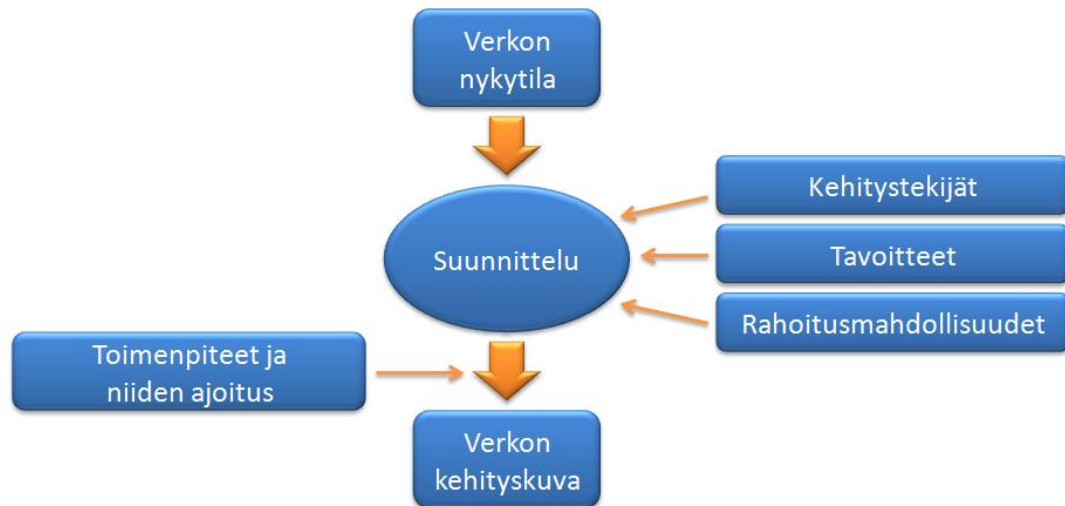
Tilanpuutteen takia kaapelit voidaan sijoittaa myös ajoradan reunaan tai tien pientareeseen. Kaapelin sijoittamiseen tarvitaan kaupungin, maan- tai tienomistajan sijoitus- ja kaivulupa, joka saattaa sisältää määräyksiä kaapeliojan täytöstä ja työnaikaisista liikennejärjestelyistä. Kaapeliojaa peitettäessä tehdään ensin hienotäyttö, jossa kaapeli peitetään hienolla hiekalla. Hienotäytön jälkeen ojaan voidaan asettaa maakaapelista varoittava varoitusnauha. Lopputäyttö tehdään käyttäen täyttömaana kaivumaata, jollei kaivuluvassa ole toisin määritelty eikä ylös kaivettu maa ole liian kivistä.

Rinnakkaisten kaapeleiden suojaputkia sijoitettaessa on huomioitava, että niiden väliin jäävä maa-alue on käytettävän putkityypin ulkohalkaisijan suuruinen. Lisäksi yhteen kaapeliputkeen asennetaan vain yksi kaapeli, jottei kaapelin kuormitettavuus pienenesi. Kaupunkien keskustoissa käytetään yleensä kaapeleiden suojina niin sanottuja raskaita suojuksia, kuten betonikouruja ja -laattoja, teräsputkia sekä A-lujuusluokan muoviputkia ja -kouruja. Raskaita suojia tarvitaan, koska kaapeleita kaivetaan usein esille verkon saneerauksen, ulkopuolisen kaivutyön tai johtosiirron vuoksi. [15.]

3.4 Jakeluverkon suunnitteluvaiheet

3.4.1 Yleis- ja elinkaarisuunnittelu

Keskeisin osa yleissuunnittelua on pitkän tähtäimen suunnittelu (PTS), jossa tarkasteluajanjaksona on 5 - 15 vuotta, joskus jopa 30 vuotta. PTS:ssa määritellään verkon pääsuuntaviivat, eli miten verkkoa tulisi kehittää ja mitä investointeja siihen tulisi tehdä tulevien vuosien aikana, jotta se täyttäisi koko tarkastelujakson ajan sille asetetut tavoitteet ja tekniset vaatimukset. PTS:ssa painopiste on siirtoverkkojen ja keskijännitejakeluverkkojen suunnittelussa. Suunnittelu etenee verkon nykytilan selvittämisestä tulevaisuuden suunnitteluun. Suunnitelmien pohjalta luodaan verkon kehityskuva (kuva 3, ks. seur. s.). [5, s. 9; 6, s. 64.]



Kuva 3. Yleinen PTS prosessikaavio [5, s.9]

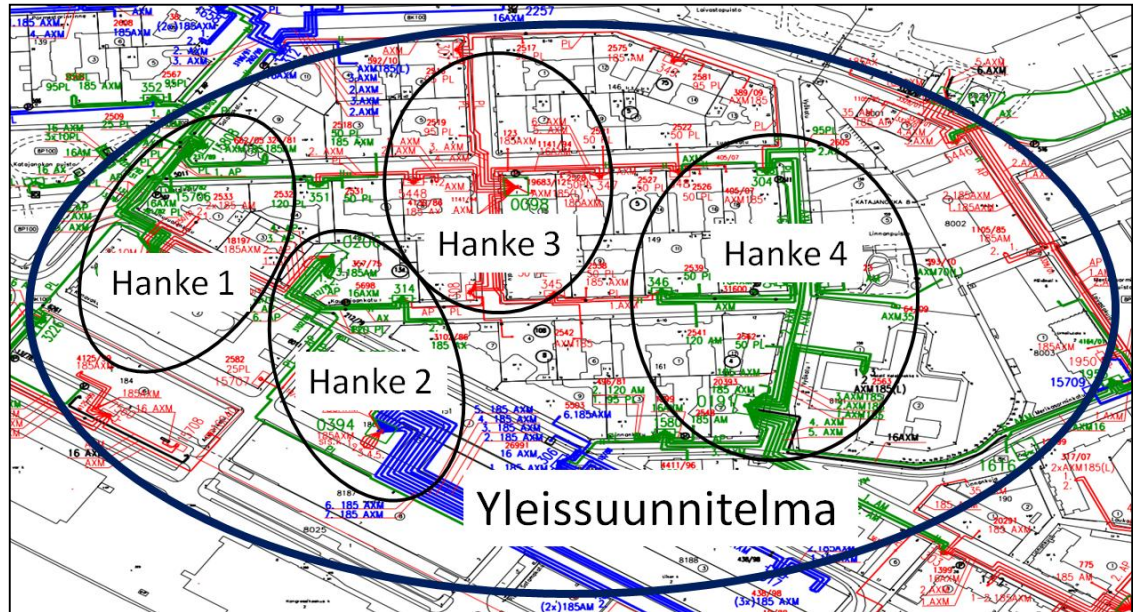
Elinkaarisuunnittelussa pyritään määrittämään jokaiselle verkon komponentille oma elinkaarimalli, joka sisältää kyseisen komponentin kustannukset alkuinvestoinnista aina käytöstä poiston aiheuttamiin kustannuksiin. Elinkaarisuunnittelussa luodut elinkaarimallit voidaan syöttää yhtiön verkkotietojärjestelmään, jonka avulla tarvittavat kunnossapito- tai uusimistoimenpiteet voidaan kohdistaa oikealle komponentille oikea-aikaisesti. [6, s. 230; 12, s. 405.]

3.4.2 Hankesuunnittelu

Hankkeella tarkoitetaan toimintoa, joka on selkeä tavoitteisiin pyrkivä ja ajallisesti rajattu kertaluonteinen tehtäväkokonaisuus. Jakeluverkon suunnittelun suuntaviivat on asetettu aiemmin teetetyssä PTS:ssa, jonka pohjalta yhtiön hankesuunnittelussa tehdään yksityiskohtaisempia suunnitelmia uudis- ja uudistamiskohteista. Hankesuunnittelu sisältää monia vaiheita, kuten esimerkiksi

- tavoitteiden ja aikataulun asettamisen
- keski- ja pienjänniteverkkojen suunnitelmien teon
- eri vaihtoehtojen sähkötekniset laskennat
- hankeraportin ja kustannusennusteen tekemisen
- lupien hakemisen. [17, s. 3, 17; 18, s. 4.]

Yleissuunnitelman ja hankesuunnitelman keskinäistä suhdetta voisi kuvata siten, että hankesuunnitelma on yksittäinen tehtävä, jonka avulla pyritään yleissuunnitelmassa suunniteltuun kokonaisuuteen (kuva 4).



Kuva 4. Yleissuunnitelman ja hankesuunnitelmien keskinäinen suhde

4 Jakeluverkon suunnittelu HSV:ssä

4.1 Yleis- ja elinkaarisuunnittelu HSV:ssä

Yleissuunnittelussa pääpaino on keskijänniteverkon kehittämisessä. Verkon kehitystä ohjataan HSV:n suunnittelu- ja käyttövarmuusperiaatteiden avulla. Jakeluverkon keskeisiä kehitystekijöitä ovat kaupunkirakenteen kehittyminen, tekniikan kehittyminen, verkon nykytila ja muiden infrarakentajien hankkeet.

Uusilla alueilla keskijänniteverkon yleissuunnitelma laaditaan Helsingin kaavoitusviranomaisilta saatavan osayleiskaavan pohjalta. Osayleiskaavasta saadaan tieto eri toimintojen, kuten asumisen, teollisuuden ja liike-elämän sijoittumisesta alueelle. Verkkotietojärjestelmän (VTJ) avulla tehdään suunnitelmavaihtoehtot, joiden keskinäinen paremmuus ratkaistaan VTJ:n tehonjakolaskemien ja kustannusvertailujen pohjalta. Uusien alueiden suunnittelemisen lisäksi yleissuunnittelussa kehitetään olemassa olevaa keskijänniteverkkoa vastaamaan lähitulevaisuuden kuormitusennusteita ja verkolle

asetettuja luotettavuusvaatimuksia. Verkolle asetettujen sähköisten ja taloudellisten vaatimuksien avulla ohjataan verkon mitoitusta ja kehitystä, esimerkiksi sähkönsiirron luotettavuutta voidaan parantaa verkon silmukointia lisäämällä ja verkon kasvavaa kuormitusta varten voidaan tarkastella uuden sähköaseman rakentamistarvetta. [20.]

Elinkaarisuunnittelua ohjataan HSV:n pitkän tähtäimen suunnitelman (PTS) ja verkon tilaraporttien perusteella. Elinkaarisuunnittelussa tehdään laitekohtaisia elinkaarimalleja, jotka laaditaan yhteistyössä valmistajien, komponenttien käyttö- ja huolto-ohjeiden sekä vikatietojen perusteella. Luotujen elinkaarimallien avulla voidaan määritellä laitteiden huolto-, tarkastus- ja uudistamistarpeet. [20.]

4.2 Hankesuunnittelu HSV:ssä

HSV:n hankesuunnitteluryhmä sijoittuu jakeluverkkoyksikössä yleis- ja elinkaarisuunnittelu- ja rakennuttamisprosessin välille. Hankesuunnitteluryhmällä on yhteyksiä myös muihin talon sisäisiin prosesseihin kuten liittymis-, alueverkon hallinta-, kunnossapito- sekä verkkotiedon hallintaprosessiin. Kaikkien eri prosessien välillä tehdään tiivistä yhteistyötä riippuen käynnissä olevasta hankkeesta. Hankesuunnittelun teknistä toteutumista ohjataan HSV:n omien sähköverkon suunnitteluohjeiden, kuten suunnittelu- ja käyttövarmuusperiaatteiden sekä verkkomuiston avulla, joka sisältää tietoa jakeluverkon ja sen rakenteiden suunnittelemisesta. [21, s. 2.]

4.2.1 Suunnitteluprosessit

Hankesuunnitteluryhmä vastaa jakeluverkon yksityiskohtaisemmasta suunnittelusta. Suunnittelutarve syntyy, kun verkkoon halutaan tehdä rakenteellisia muutoksia. Hankesuunnitteluryhmällä on kolme toisistaan poikkeavaa suunnitteluprosessia: omat, yhteiset ja ulkopuoliskustanteiset hankkeet.

Omien hankkeiden suunnittelutarve syntyy verkon komponenttien vaatiessa uudistamista iän tai vikaantumisen takia, halusta liittää jakeluverkkoon uusi liittymä tai halusta kasvattaa verkon siirtokapasiteettia. Yhteisten hankkeiden suunnittelutarve syntyy, kun saadaan tieto kaavoitetusta uudis- tai täydennysrakennusalueesta, katujen peruskorjausprojekteista sekä yhteistyökumppaneiden suunnittelemista hankkeista. Yhteisiä hankkeita toteutetaan esimerkiksi Helsingin kaupungin rakennusviraston, Helsingin

seudun ympäristöpalveluiden, Helsingin kaupungin liikennelaitoksen, Helsingin Ulkovalaistuksen, Helsingin Lämmitysmarkkinoiden ja teleoperaattoreiden kanssa.

Yhteistyökumppaneiden projekteissa ja katujen peruskorjausprojekteissa tarkastellaan tapauskohtaisesti hankkeeseen mukaanlähtö. Tarkastelua tehtäessä selvitetään, onko jakeluverkon rakentaminen tarpeellista jo hankkeen yhteydessä vai vasta myöhemmin tulevaisuudessa. Mikäli verkon rakentamistarve on vasta tulevaisuudessa, voidaan hankkeeseen osallistua tulevaisuuteen varautuvien putkituksien. Hankkeeseen ei lähdetä mukaan, jos katsotaan, ettei verkolla ole välitöntä tai lähitulevaisuudessa esiintyvää rakentamis- tai uudistamistarvetta.

Ulkopuoliskustanteisten hankkeiden suunnittelutarve syntyy ulkopuolisen tahon tarpeesta siirtää sähköturvallisuuslain (STL 410/1996 52 §) mukaisesti kaapeleita, jakokaappeja tai muita verkon rakenteita. Esimerkiksi jakokaappeja sekä kaapeleita voidaan joutua siirtämään tien linjauksen muuttumisen vuoksi. Myös tonttien muodostaminen voi aiheuttaa siirtotarpeita kaapelille ja jakokaapeille.

Ulkopuoliskustanteisen hankkeen suunnittelutarve voi syntyä myös kuluttajan tarvitseman erikoisliittymän vuoksi. Erikoisliittymiä on kahdenlaisia: pj- ja kj-liittymiä. Pj-erikoisliittymät sijaitsevat usein puistoissa tai katualueilla, kuten esimerkiksi porraskäytävissä. Kj-erikoisliittymät ovat pääsääntöisesti suuritehoisten rakennustyömaiden tarvitsemia tilapäisliittymiä. Suunnittelu aloitetaan tekemällä hankkeesta kustannusarvio, minkä jälkeen suunnitelma etenee, mikäli ulkopuolinen taho tekee liittymissopimuksen ja työtilauksen. [21, s. 3 - 7.]

4.2.2 Esi- ja maastosuunnittelu

Suunnittelutarpeen syntymisen jälkeen sähköverkon suunnittelija perustaa jakeluverkon uudis- tai uudistamisrakentamista varten hankkeen rakennuttamisjärjestelmään (RKJ). Hankkeen perustamisen jälkeen aloitetaan hankkeen esi- ja maastosuunnittelu, joissa tutustaan verkon nykytilaan ja tehdään verkkotietojärjestelmällä alustavaa tarkastelua. Ennen varsinaista maastosuunnittelua tutustutaan suunniteltavan alueen maastoon kaupungin karttojen ja ilmapalokuvien tai Google Maps -karttapalvelun avulla. Maastosuunnitteluun lähdettäessä tulostetaan tarvittavat tulosteet mukaan, kuten esimerkiksi suunniteltavan alueen verkko- ja sijaintikartat.

Maastosuunnittelun tarkoituksena on löytää toteuttamiskelpoiset kaapelireitit sekä sijoituspaikat jakokaapeille ja muuntamoille. Jakokaappien ja muuntamoiden paikkoja määrittäessä on huomioitava sijaintikartan tarjoamat tiedot maassa jo olevasta infrasta, jotta valitut komponenttien sijoituspaikat eivät osuisi päällekkäin. Komponenttien sijaintien määrittämisen lisäksi maastosuunnittelussa tarkistetaan suunniteltavalle alueelle jäävien nykyisten komponenttien tiedot, kuten esimerkiksi jakokaappien kaapelilähtöjen tietojen oikeellisuus. Maastosuunnittelua tehtäessä on hyvä ottaa valokuvia tukemaan myöhemmin työpöydän ääressä tehtävää suunnittelutyötä (kuva 5).



Kuva 5. Maastosuunnittelussa muistin tukemista varten otettu valokuva

Maastosuunnittelun jälkeen korjataan maastokäynnin yhteydessä mahdollisesti havaitut virheet verkkotietojärjestelmässä, tarkastellaan uuden verkon liittämistapaa olemassa olevaan verkkoon ja tarvittaessa pohditaan verkon jakorajojen asettelua. HSV:n keski- ja pienjänniteverkot rakennetaan pääsääntöisesti rengasverkoiksi (esimerkiksi yhtä jakelumuuntamoaa syötetään vähintään kahdesta eri suunnasta) verkon käyttövarmuuden parantamiseksi. Esisuunnittelun lopuksi tarkistetaan, onko alueella vapaita putkituksia, joiden avulla voitaisiin säästää kaivukustannuksissa ja minimoida kaivutöistä muille aiheutuvaa haittaa. [21, s. 9 - 12.]

4.2.3 Suunnitelman tekeminen

Kun verkolle tehtävien toimenpiteiden taustatiedot on selvitetty esi- ja maastosuunnittelun avulla, tehdään varsinainen suunnitelma verkkotietojärjestelmällä (Tekla NIS). Verkkotietojärjestelmän verkkokartalle tehtävään suunnitelmaan piirretään kaikki uudet verkon komponentit, päivitetään vanhalle verkolle tehtävät muutokset ja poistetaan hylättävät sekä purettavat kohteet verkkokartalta. Kun kaikki suunnitellut muutokset on piirretty verkkokartalle, verkkotietojärjestelmällä voidaan suorittaa verkostolaskennat. Tuloksista tarkistetaan muuntopiirien oikosulkuvirtojen riittävyys sekä jännitteenalensemien että kuormitusten pysyminen sallituissa rajoissa. Tarvittaessa suunnitelmaan voidaan tehdä vielä muutoksia ja suorittaa laskennat uudelleen.

Kun suunnitelma on valmis, siitä tehdään suunnitelmakohtainen työkuva. Työkuva sisältää suunnitelman toteuttamisen kannalta oleellista tietoa. Työkuvaan merkitään kaapeleiden osoitetiedot sekä korostetaan uudet ja poistuvat komponentit.

Lopuksi suunnitelmasta tehdään kustannusarvio rakennuttamistietojärjestelmään syötettyjen komponenttitietojen ja Excel-laskentasovelluksella laskettujen maanrakennuskustannusten avulla. Tämän jälkeen suunnitelma käy läpi HSV:n hankkeiden hyväksyttämismenettelyt. [21, s. 12 - 14.]

4.2.4 Keskijänniteverkon suunnittelu

Hankesuunnittelussa ei varsinaisesti mitoiteta keskijänniteverkkoa, vaan keskijänniteverkonmitoitus tehdään verkon yleissuunnitteluvaiheessa. Sähköverkon suunnittelija käytännössä huolehtii keskijänniteverkon rakentamiskohteissa yleissuunnitelman toteuttamisesta yhteistyössä muuntamosuunnittelijan kanssa. Sähköverkon suunnittelijan työ etenee usein kahdessa edellisessä kappaleessa esitetyin tavoin, eli suunnittelu aloitetaan esi- ja maastosuunnittelulla, jonka jälkeen tehdään kohteen varsinainen suunnitelma. Uudisrakennusalueen kohdalla sähköverkon suunnittelija saattaa tutustua suunniteltavaan alueeseen ainoastaan yleissuunnittelijan tekemän yleissuunnitelman pohjalta. [23.]

Keskijänniteverkon yleissuunnittelussa määritetään verkon topologia, jonka suunnittelua ohjataan HSV:n suunnittelu- ja käyttövarmuusperiaatteiden avulla. Keskijänniteverkko rakennetaan pääsääntöisesti rengasverkoksi, jolloin jokaisella johdolla tulee olla

normaalitilanteessa vaihtoehtoinen syöttösuunta. Keskijänniteverkon mitoitusta ohjaavista tekijöistä kuormitusennusteet vaikuttavat eniten verkon rakenteeseen. Kuormitusten perusteella optimoidaan jakorajat häviöasioiden, käytöllisten asioiden ja keskeytyksellisten asioiden pohjalta.

Keskijänniteverkossa käytettävä kaapeli mitoitetaan pääasiassa sen oikosulkukestoisuuden mukaan, eli kaapelin yhden sekunnin termisen oikosulkukestoisuuden tulee olla kaapelin suurinta laskettua oikosulkuvirtaa suurempi. Nykyään HSV käyttää pääosin vain yhtä kaapelikokoa, joka täyttää oikosulkukestoisuuden ehdon kaikkialla yhtiön jakeluverkossa. Kaapeleita uudistettaessa on huomioitava uuden kaapelin vaikutukset olemassa olevan verkon oikosulkukestoisuuteen, jottei verkkoon jäisi vanhoja kaapeleita, joiden oikosulkukestoisuus ylittyy verkon uudistumisen myötä. Tiiviin sähköasemaverkoston ja lyhyiden siirtoetäisyyksien ansiosta kaapeleiden jännitteenalenemat jäävät pieniksi. [23.]

Keskijänniteverkon suojaus

HSV:n keskijänniteverkon oikosulkusuojaus on toteutettu vakioaikaylivirtareleillä. Releet on aseteltu toimimaan 0,8 sekunnissa 1 500 tai 1 800 A (10 kV) ja 1 000 tai 1 200 A (20 kV) vikavirralla. Kun ohut kaapeli tai ilmajohto ei kestä termistä oikosulkuvirtaa 0,8 s:n ajan, varmistetaan sen oikosulkukestoisuus käyttämällä momenttilaukaisua. Kaapeliverkossa ei käytetä jälleenkytkentöjä, sillä suojalaitteen havahtuminen on merkki pysyvästä viasta. Oikosulkusuojauksen tavoitteena on sekä ehkäistä kaapeleiden ja laitteiden lämpenemisvauriot että taata verkon turvallisuus vikatilanteiden aikana sen käyttäjille ja ulkopuolisille.

HSV:n keskijänniteverkon maasulkusuojauksessa käytetään suunnattuja maasulkureleitä. Maasululla tarkoitetaan oikosulkua vaihejohtimen ja maan välillä, joka usein syntyy kaivuaurion seurauksena. Maasulkusuojausta tarvitaan estämään ihmiselle vaarallisen kosketusjännitteen syntyminen. Maasulkusuojauksen toimintaa ei voida perustaa vikavirran suuruuteen kuten oikosulkusuojausta, sillä maasulkuvirta on monesti kuormitusvirtaa pienempi. Suunnattujen maasulkureleiden toiminta perustuu maasulun aiheuttamien vaihevirtojen epäsymmetrisyyksien sekä tähtipistejännitteen kohoamisen havainnointiin.

20 kV:n verkossa maasulkureleet on aseteltu laukeamaan 0,3 - 0,5 s:n viiveellä, jolloin vikaantunut lähtö avautuu ja keskeyttää sähkönjakelun kuluttajille. 10 kV:n verkkoa käytetään maasulussa, joten maasulun sattuessa kuluttajille ei aiheudu keskeytyksiä sähkönjakeluun. Tulevaisuudessa 20 kV:n verkossa pyritään kompensoimaan maasulkuvirrat kompensointilaitteistojen avulla, jotta myös 20 kV:n verkkoa voitaisiin käyttää maasulussa ja vähentää kuluttajien kokemia keskeytyksiä. 20 kV:n verkossa ainoastaan Pukinmäen sähköasemalla on käytössä kompensointilaitteistot. [24; 25.]

Keskijännitejohtojen rakenteet ja uudistamisperiaatteet

HSV:n keskijänniteverkko on lähes kokonaan (99,7 %) kaapeloitu. Jäljellä olevaa avojohtoverkkoa ei enää uudisteta vaan siitä pyritään pääsemään nopeutetusti eroon. Ilmajohdojen poistamista puoltavat kaupunkirakenteen muuttumisen lisäksi niiden alttius erilaisille ilmastollisille sekä linnuista ja eläimistä aiheutuville häiriöille, huoltojen ja johdotkatujen raivaamisesta aiheutuville taloudellisille kustannuksille sekä rakenteiden iästä aiheutuville turvallisuusriskeille (lahopylväät).

HSV:ssä keskijännitekaapeleiden enimmäispitoajaksi on määritetty 60 vuotta. Kaapeleiden keski-ikä nostessa verkkoa on päädytty uudistamaan nopeutetusti muun muassa poistamalla vanhoja ja vikaherkkiä öljypaperi-kaapeleita sekä tarkastelemalla yli 40 vuoden ikäisten kaapeleiden uusimistarpeita työskenneltäessä kyseessä olevien kaapeleiden läheisyydessä.

HSV käyttää keskijänniteverkossa lähes ainoastaan AHXAMK-W 240 mm²:n kaapelia, joka omaa koko keskijänniteverkon alueella riittävän hyvän oikosulkukestoisuuden. Lisäksi uusien sähköasemien lähdoissa on käytetty myös AHXAMK-W 300 mm²:n kaapelia sähköaseman ja ensimmäisen muuntamon välillä kasvattamaan verkon siirtokapasiteettia. [26, s. 4 - 6.]

4.2.5 Jakelumuuntamon suunnittelu

Muuntamosuunnittelijan suunnittelutyö alkaa, kun suunnittelutyölle annetaan toimeksianto sähköverkon suunnittelijalta, rakennuttajalta tai yleissuunnittelijalta. Toimeksiantojen taustalla on tarve saada uusi kiinteistö- tai erillismuuntamo tai uudistaa vanhoja muuntamoita. Lisäksi suunniteltavien uusien kiinteistö- tai erillismuuntamoiden tai uudistettavien kiinteistömuuntamoiden joukosta valitaan sopivat kohteet

verkostoautomaation sijoittamista varten. Verkostoautomaatiolla tarkoitetaan HSV:ssä muuntamon kaukovalvontaa (mahdollisuus muuntajan jännitteen, virran, tehon, lämpötilan ja keskeytystietojen tarkastelemiseen etäluentana) ja muuntamoiden erottimien kaukokäyttöä. Verkostoautomaation lisäämisen tavoitteena on lyhentää vianselvitystä sekä keskeytysaikoja, automatisoida k-jkytkentöjä ja parantaa sähköasemareservien käyttöä.

Muuntamon suunnittelutyö aloitetaan sen sijoituspaikan valitsemisella. Uudisalueilla uusien muuntamoiden paikat löytyvät suoraan asemakaavasta, johon niiden sijainnit on lausuttu HSV:n yleissuunnittelijan toimesta asemakaavaa laadittaessa.

Uudisalueelle asemakaavassa merkitylle paikalle sijoitettavaa kiinteistömuuntamoa varten ei tarvitse hakea erityisiä lupia, vaan sijoituksesta sovitaan rakennettavan kiinteistön omistajan kanssa. Muuntamosuunnittelija huolehtii, että kiinteistömuuntamolle varattu tila on riittävän suuri, tilan jäähdyttäminen on mahdollista, ja että muuntamotila voidaan tuulettaa keskijännitekojeiston mahdollisen SF₆-suojakaasuvuodon takia.

Uudisalueelle asemakaavassa merkitylle paikalle sijoitettavalle erillismuuntamolle on haettava rakennuslupa. Sijoitettaessa uutta erillismuuntamoa aiemmin kaavoitetulle alueelle muuntamosuunnittelija käy ensiksi katsomassa sähköverkon suunnittelijan ehdottamaa muuntamon sijoituspaikkaa maastossa. Mikäli sijoituspaikka on hyvä, muuntamosuunnittelija ehdottaa sitä Helsingin kaavoitusviranomaisille. Mikäli sijoituspaikka on kaavoittajan mielestä hyvä, muuntamosuunnittelija hakee muuntamon sijoittamiselle rakennusluvan.

Rakennuslupaa haettaessa muuntamosuunnittelija käyttää sopimusarkkitehtia tekemään muuntamon asemapiirustuksen ja sijoituskuva. Sopimusarkkitehti käytännössä maisemoi muuntajan ympäristöönsä valitsemalle sille sopivan pintaverhoilun ja mahdolliset istutukset. Muuntamosta tehdään sijoituskuva, jossa erillismuuntamo on sijoitettuna tulevaan ympäristöönsä (kuva 6, ks. seur. s.). Kun rakennuslupa on hyväksytty, tehdään kiinteistöviraston kanssa muuntamoalasta maanvuokrasopimus.



Kuva 6. Puuverhoillun muuntamon sijoitusta havainnollistava kuvaistus

Varsinaisen suunnitelman tekeminen aloitetaan tarkistamalla rakennustietojärjestelmästä sähköverkon suunnittelijan aiemmin hankkeen toteuttamiselle määrittelemä aikataulu. Kiinteistömuuntamon kohdalla tarkistetaan aikataulu myös kohteen rakennusurakoitsijalta.

Kun hankkeen aikataulu on selvillä, piirretään kiinteistömuuntamolle kokoonpanokuva ja pääkaavio. Kokoonpanokuvassa esitetään muuntamon pohjapiirustus sekä komponenttien sijoittuminen muuntamotilaan. Muuntamotilaan sijoitettavia komponentteja ovat muuntajat, kj-kojeistot ja pj-keskukset. Lisäksi pohjapiirustuksesta selviää sekä komponenttien tyypit ja merkit että kaapelireittien, läpivientien ja mahdollisen ilmanvaihtokoneen sijainti.

Pääkaavio esittää muuntamotilan sähköiset kytkennät ja siihen voidaan sijoittaa komponenttien sähköiset arvot. Sähköverkon suunnittelija valitsee muuntamossa käytettävän muuntajakoneen suuruuden muuntopiirin kuormituksen perusteella. Kojeiston valinta perustuu kaapelilähtöjen lukumäärään. Muuntamon kokoonpanokuvan ja pääkaavion valmistuttua muuntamosuunnittelija lähettää ne sähköisesti sähköverkon suunnittelijalle. [21, s. 18 - 21.]

Jakelumuuntamoiden rakenteet ja uudistamisperiaatteet

HSV:llä on omia jakelumuuntamoita noin 1 800 kappaletta ja asiakasmuuntamoita noin 700 kappaletta. Nykyisin hankittavat öljymuuntajat ovat 630, 800 ja 1 000 kVA.

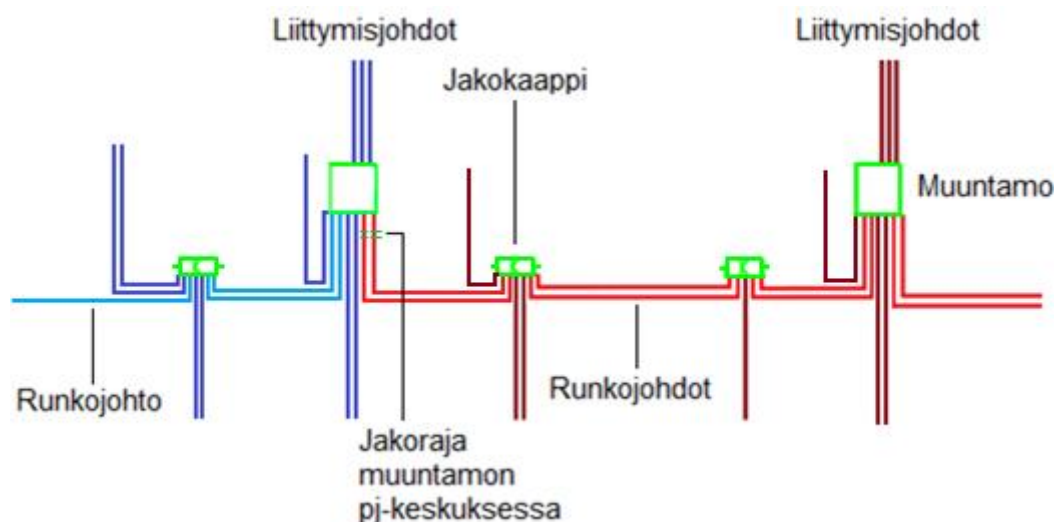
Muuntamoiden uudistamistarpeiden arviointi tapahtuu luokittelemalla ne kriittisyysluokkiin. Muuntamon uudistamiseen johtavia tekijöitä ovat muun muassa turvallisuusriskit, ikä, käytettävyyden, muuntajakoneen vaihtaminen, verkostoautomaation tarve, ympäristölliset syyt, muuntamokojeiden ja/tai -rakennuksen huono kunto.

Muuntamoa uudistettaessa on aina selvitettävä kuinka monta vuotta muuntamon vuokrasopimusta on jäljellä ja missä kunnossa ovat muuntamoa syöttävät sekä muuntamon syöttämät kaapelit. Lisäksi on arvioitava, uusitaanko kaikki muuntamon komponentit kerralla vai vaihdetaanko esimerkiksi vain pelkkä muuntaja tai kj-kojeisto. [25; 26.]

4.2.6 Pienjänniteverkon suunnittelu

Pienjänniteverkon suunnittelutarve syntyy usein olemassa olevan verkon uudistamistarpeista tai verkkoon liitettävistä uusista liittymistä. Sähköverkon suunnittelijan toimenpiteet vastaavat pitkälti keskijänniteverkon suunnittelun toimenpiteitä eli suunnittelu aloitetaan esi- ja maastosuunnittelulla, jonka jälkeen tehdään kohteen varsinainen suunnitelma. Keskijännite- ja pienjänniteverkon suunnittelutehtävät eroavat toisistaan kuitenkin käytettävän jännitetason lisäksi siinä, että pienjänniteverkon suunnittelussa sähköverkon suunnittelija mitoittaa jakeluverkon suojausvaatimusten sekä teknisten reunaehtojen mukaan.

Pienjänniteverkon muotoa ei ohjata yhtä vahvasti kuin keskijänniteverkon muotoa, koska pienjänniteverkossa sallitaan korjausajan mittaiset keskeytykset. Kuitenkin HSV:n pienjänniteverkko silmukoidaan aina, kun se on luonnollisesti mahdollista eli jakokaapit ketjutetaan muuntamolta toiselle (kuva 7, ks. seur. s.). Runkojohtona käytetään ainoastaan AXMK 185 mm² -kaapelia ja sitä suurempaa siirtokapasiteettia varten käytetään kahta samanlaista kaapelia rinnakkain. Yhden kaapelikoon käyttö ei joka tilanteessa johda verkon taloudellisimpaan mitoitukseen, sillä kuormitusvirran ollessa pieni, verkon rakentamiskustannukset kasvavat suuriksi verrattuna siirrettyyn tehoon. [27.]



Kuva 7. Silmukoitu pienjänniteverkko

Pienjänniteverkon mitoittaminen on teknisten reunaehtojen, suojausvaatimusten ja verkon todellisen sekä suunnitellun kuormituksen summa. Tekniset reunaehdot ovat luonteeltaan suunnittelua ohjaavia tekijöitä, joilla parannetaan sähkön laatua. Suojausvaatimukset sen sijaan ovat ehdottomia ja niitä on noudatettava aina.

Sähköverkon suunnittelija valitsee suunniteltavan alueen lähtötietojen perusteella alustavasti muuntajakoneen sekä runkojohtimien ja jakokaappien lukumäärän. Alustavat valinnat piirretään verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan, jonka laskennoista saadaan suunnittelun jatkon kannalta tärkeitä tietoja kuormitus- ja oikosulkuvirtojen sekä verkon jännitteenaleneman suuruusluokista.

Pienjänniteverkon suojaus

Pienjänniteverkossa suojaus toteutetaan yleensä sulakkeilla. Sulakkeet toimivat jakeluverkossa ylikuormitus-, oikosulku- sekä kosketusjännitesuojauksina ja joissain tapauksissa selektiivisinä vikapaikan erottajina. Runkokaapeleita suojataan usein pelkästään muuntamon pj-keskuksen lähtöihin sijoitettavilla 315 A:n sulakkeilla, jolloin runkokaapelit kytketään jakokaappeihin oikosulkuveitsin. Kun kyseessä on pitkä ja huomattavan kuormituksen omaava runkokaapeliyhteys, lisätään runkokaapeleille jakokaappeihin sijoitettavia välisulakkeita toteuttamaan vikasuojauksen vaatimukset. Mikäli vikasuojaus ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, joudutaan pienentämään käytettäviä sulakkeita suojausetaisyyden kasvattamiseksi (taulukko 6, ks. seur. s.). [27.]

Taulukko 6. AXMK - runkokaapelin suojauspituus eri sulakekoolla [27]

| Sulake | Sallittu enimmäispituus | |
|--------|-------------------------|--------------|
| | 1 x AXMK 185 | 2 x AXMK 185 |
| 315 A | 525 m | 315 m |
| 250 A | 670 m | 400 m |
| 200 A | 840 m | 500 m |
| 160 A | 1060 m | 635 m |

Liittymisjohto kytkee kuluttajan HSV:n pienjänniteverkkoon. Jakokaapin tai muuntamon pj-keskuksen kaapelilähtöön asennetut sulakkeet toimivat liittymisjohdon oikosulkusuojina ja kuluttajan päävarokkeet toimivat liittymisjohdon ylivirtasuojina. Liittymisjohtoina HSV:ssä käytetään AXMK 35, 70 ja 185 mm²:n kaapeleita sekä 185 mm²:n kaapelin kerrannaisia aina neljään rinnakkaiseen kaapeliin asti. Liittymisjohto valitaan kuluttajan pääsulakkeiden mukaan. Jokaiselle käytettävälle kaapelille on määritelty suurin sulakekoko (taulukko 7), jota käytetään, ellei kosketusjännite- tai ylivirtasuojausvaatimukset edellytä pienempää sulakekoko (taulukko 8, ks. seur. s.). [27.]

Taulukko 7. Käytetyt sulake- ja kaapelikoot [27]

| AXMK | Runkojohto | Liittymisjohto | |
|-----------------|------------|-----------------|----------------------|
| | | Alkupään sulake | Kuluttajan pääsulake |
| mm ² | | | |
| 185 | 315 A | 200 A | 200 A |
| 70 | | 160 A | 125 A |
| 35 | | 100 A | 80 A |

Mikäli liittymisjohtona käytetään AXMK 185 mm²:n kaapelia, sen alkupään sulakkeena ei käytetä uusissa asennuksissa 200 A sulaketta suurempaa, vaikka kaapeli lähtisi suoraan muuntamolta. Vanhoissa asennuksissa alkupään sulakkeina on vielä käytössä 250 A sulakkeita. [22.]

Kosketusjännitesuojausvaatimuksen toteutumiseksi sulakkeen suojaus alueen yksivaiheisen oikosulkuvirran pitää olla suurempi kuin taulukon 8 (ks. seur. s.) sarakkeissa esitetyt tapauskohtaiset virta-arvot. Mikäli kosketusjännitesuojaus ei toteudu, verkolle on asennettava uusi jakokaappi tai muuntamo lähemmäksi liittijää tai jakokaapeilla on käytettävä välisulakkeita.

Taulukko 8. Pienin oikosulkuvirta, jolla jakeluverkon ylivirtasuojan ja liittymän päävarokkeen katsotaan toimivan riittävän nopeasti [27]

| Ylivirtasuoja | Yksivaiheinen oikosulkuvirta | | Ylivirtasuojan toiminta-aika pj-pääkeskuksen jälkeisissä vioissa |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------|--|
| | HSV:n jakeluverkon sulakkeet | Liittymän päävaroke | sekuntia |
| Sulake $I_N \leq 63 \text{ A}$ | $2,5 \times I_N$ | $3,5 \times I_N$ | 5 |
| Sulake $I_N > 63 \text{ A}$ | $3,0 \times I_N$ | $4,5 \times I_N$ | 5 |
| Johdonsuojakatkaisija | $2,5 \times I_N$ | $3,5 \times I_N$ | 5 |

Verkon muun mitoittamisen lomassa sähköverkon suunnittelija tarkistaa verkkotietojärjestelmän laskennan avulla, onko verkon jännitteenalenema sallituissa rajoissa. HSV:ssä pyritään kuluttajan jännitteenvaihtelut pitämään $230 \text{ V} \pm 5 \%$:ssa eli 218,5 - 241,5 V. Suunnittelutyö etenee verkon mitoituksen valmistuttua (ks. 4.2.3 Suunnitelman tekeminen, s. 18). [27.]

Pienjänniteverkon rakenteet ja uudistamisperiaatteet

HSV:n pienjänniteverkkoa on 4 540 km, josta 97 % on kaapeloitu. Jäljellä olevia ilma-johtoja ei pääsääntöisesti uudisteta niiden häiriöalttiuden, maisemallisten syiden ja ikääntymisen aiheuttamien turvallisuusriskien takia. Ilmalinjoja kaapeloitaessa kaapeloidaan myös reitillä olevat ilmaliittymisjohdot HSV:n kustannuksella, mikäli ne ovat HSV:n omistamia (ennen 1996 asennetut). Ilmalinjojen kaapelointihankkeet toteutetaan usein yhteistyössä HelenUlkovalaistuksen sekä teleoperaattoreiden kanssa, koska pienjännitejohdon kanssa samoihin pylväisiin on usein sijoitettu myös ulkovalaistus- ja telejohdot.

Pienjännitekaapeleiden enimmäispitoajaksi on määritelty 70 vuotta. Yli 40 vuoden ikäisten kaapeleiden uudistamistarpeita tarkastellaan aina työskenneltäessä niiden läheisyydessä. Kaapeliverkkoa uudistetaan pääasiassa ikääntymisen tai siirtokapasiteetin loppumisen vuoksi. Uudistettaessa verkkoa, uudistetaan tarpeen mukaan myös HSV:n omistamat liittymisjohdot yhtiön kustannuksella. HSV käyttää runkokaapelina AXMK 185 mm²:n kaapelia ja liittymiskaapeleina käytetään AXMK 16 (vain poikkeustapauksissa), 35, 70 ja 185 mm²:n kaapeleita.

Jakokaapin uudistamistarpeet aiheutuvat usein ikääntymisen, huonon kunnon tai huonon sijoituspaikan takia. Myös kaapelilähtöjen loppuminen voi johtaa vanhan jakokaapin uudistamiseen. [26.]

5 Tietojärjestelmät

Verkkotietojärjestelmiä (VTJ) on hyödynnetty jo 1960-luvulta alkaen sähköverkon suunnittelussa. Järjestelmät eivät sisältäneet vielä silloin karttatieto-ominaisuuksia ja varsinaiset laskennat suoritettiin vain pari kertaa vuodessa. Nykyään käytössä olevat VTJ:t ovat graafisia verkkokarttapohjaisia tietojärjestelmiä, jotka pyrkivät muodostamaan eheän kokonaisuuden verkonhallintaan, -suunnitteluun, -ylläpitoon ja -rakennuttamiseen. VTJ kasaa itselleen suuren tietokannan hyödyntäen tiedonsiirto-ominaisuuksia toisten järjestelmien välillä, esimerkiksi asiakastietojärjestelmästä voidaan hakea sähkönkulutustiedot VTJ:ssä olevalle liittymäpisteelle.

Verkkotietojärjestelmä on kehitetty helpottamaan työntekijöiden työntekoa ja kohdistamaan ihmisälyn käyttöä enemmän verkon eri ratkaisujen suunnitteluun työläiden ja hitaiden laskentojen työstämisen sijasta. Esimerkiksi eri suunnitelmavaihtoehtojen simulointi, laskenta ja vertailu on vaivatonta ja nopeaa. Laskennan nopeuden lisäksi VTJ tarkistaa laskennan tulosten perusteella täyttääkö suunniteltu verkko sille asetetut tekniset reunaehdot. VTJ:llä voidaan myös laskea suunnitellun verkon kustannukset, jos siihen sopiva lisäsovellus on käytettävissä. [6: 10.2, 10.3.]

5.1 Verkkotietojärjestelmä (Tekla NIS)

HSV käyttää Tekla Network Information System -verkkotietojärjestelmää (NIS) sähköverkon mallintamiseen. Sähköverkkoa mallinnetaan keskijännitekartalla sähköasemalta muuntamolle ja pienjännitekartalla muuntamolta liittymäpisteeseen asti (kuva 8, ks. seur. s.).

5.1.2 Teknis-taloudellinen suunnittelu-sovellus (TEP)

Teknis-taloudellinen suunnittelu-sovellus eli TEP on Tekla NIS:n lisäosa, ja se sisältää samat päätoiminnot kuin Tekla NIS. Sovellusta käytetään pienjännite-, keskijännite- ja ulkovalaistusverkkojen suunnitteluun ja niiden investointikustannuksien määrittämiseen.

TEP on varsinaisesti suunniteltu helpottamaan yleissuunnittelua. Yleissuunnitelmien verkot voidaan rakentaa vasta vuosikymmenien päästä suunnittelusta, joten suunniteltavan verkon komponenttien tarkka sijoittaminen verkkokartalle voi olla vaikeaa. Tätä silmällä pitäen TEP sisältää mahdollisuuden sijoittaa verkon kulutustiedot liittymäpisteiden sijaan jakokaapeille tai muuntamoille. Verkon sähkötekniisiä ja taloudellisia kustannuksia laskettaessa, TEP huomioi suunnitellun verkon tarkasteluajanjaksolle määritetyn kuormituksen kasvukertoimen. Laskennasta saadut tulokset perustuvat tarkasteluajanjakson viimeisen vuoden mukaiseen tilanteeseen. [29, s. 350]

5.1.3 Rakennusprojektien suunnittelu-sovellus (CPP)

Rakennusprojektien suunnittelu-sovellus eli CPP (Construction planning program) on NIS:n lisäosa, ja se sisältää samat päätoiminnot kuin Tekla NIS. Sovellusta käytetään pienjännite-, keskijännite- ja ulkovalaistusverkkojen suunnitteluun, kustannusten määrittämiseen sekä verkon rakennuttamiseen.

Verkkotietojärjestelmään tehdystä suunnitelmasta voidaan CPP:n avulla tehdä kustannusarvio ja laskea suunnitelmassa tarvittavien verkon rakenteiden määrät. Lisäksi CPP:llä voidaan laskea verkon rakentamiseen kuluvat työtunnit ja materiaalikustannukset. CPP:n laskennan tulokset voidaan eritellä kohteittain, toimenpiteittäin ja lajeittain.

CPP:stä voidaan tarvittaessa siirtää tietoja myös toisiin järjestelmiin. Esimerkiksi HSV:ssä voidaan siirtää rakennuttamisjärjestelmään (RKJ) verkkotietojärjestelmän suunnitelmassa käytetyt hinnaston mukaiset toimenpiteet ja niiden lukumäärät. Nykyinen menetelmä on kuitenkin työläs ja hankala, jotta sitä voitaisiin hyödyntää tehokkaasti. [29, s. 377]

5.2 Rakennuttamisjärjestelmä (RKJ)

Exact-rakennuttamisjärjestelmää (RKJ) käytetään sähköverkon rakennuttamisen työn-ohjausjärjestelmänä. RKJ:llä voidaan hallita hankkeen rakennuttamista kokonaisvaltaisesti. Hallintatoimenpiteitä ovat muun muassa hankkeiden tilaus, edistymisen seuranta ja laskutustoiminnot sekä hankkeessa tarvittavien komponenttien ja töiden määrittäminen.

Ohjelmalla voidaan laskea myös hankkeen kustannusarvio. Tätä varten on määriteltävä hankkeessa käytettävät komponentit, työt ja mahdolliset maanrakennuskustannukset. Lisäksi ohjelman avulla saadaan kattavia raportteja verkon rakennuttamishankkeista. [20.]

5.3 ProjectWise-dokumenttien hallintajärjestelmä

ProjectWise on Bentley Systems Inc. luoma dokumenttien hallintajärjestelmä, jota käytetään erimuotoisten dokumenttien hallintaan, ylläpitämiseen ja jakamiseen. ProjectWisen avulla pidetään yrityksen dokumentit järjestyksessä ja mahdollistetaan dokumenttien vaivaton löytyminen. HSV:ssä ProjectWise on linkitetty RKJ:n ja Tekla NIS:n kanssa.

6 Kustannustiedon käsittely sähköverkon suunnittelussa

6.1 Verkkotietojärjestelmään tehdyn suunnitelman kustannusarvio

Kun verkkotietojärjestelmällä tehty suunnitelma on valmis, siitä tehdään kustannusarvio, josta selviää, kuinka paljon verkolle tehtävät toimenpiteet maksaisivat HSV:lle tai hankeselvityksen tilanneelle ulkopuoliselle toimijalle. HSV:n kustannusarviot perustuvat urakoitsijoiden kanssa sovittuihin yksikköhintoihin, joissa kyseiseksi vuodeksi on määriteltä materiaali-, työ- ja maanrakentamiskustannukset. Nykyään kustannusarvio tehdään rakennuttamisjärjestelmään syötettävien komponenttitietojen ja maanrakennuskustannusten avulla. Maanrakennuskustannukset lasketaan Excel-laskenta-sovelluksella. Laskentaa varten sovellukseen syötetään arvioidut kaivupituudet, kaapeliojien leveydet ja pintamateriaalit sekä työhön kuluva aika viikkoina.

Kustannusarviot voitaisiin toteuttaa myös käytössä olevan verkkotietojärjestelmän Rakennusprojektien suunnitteluovelluksella (CPP). CPP:tä hyödyntämällä verkkotietojärjestelmään tehdystä suunnitelmasta voitaisiin laskea hankkeessa käytettävien komponenttien lukumäärien lisäksi hankkeen kustannusarvio. Suunnittelijan manuaalista tiedonsiirtotyötä sekä siinä syntyviä inhimillisiä virheitä voitaisiin vähentää, kun hankkeessa käytettävien komponenttien lukumäärät olisi mahdollista viedä suoraan CPP:stä rakennuttamisjärjestelmään (RKJ). Lisäksi verkon suunnittelussa voitaisiin huomioida erilaisten reittien ja ratkaisujen taloudellisuutta, kun suunnitelman kustannusarvio olisi helposti saatavilla. Tosin HSV toimii kaupunkiympäristössä, jolloin esimerkiksi kaapelireitteihin ei voida aina vaikuttaa kovinkaan paljoa tiiviin kaupunkirakenteen vuoksi.

6.2 CPP:n käyttöönottaminen

HSV:ssä CPP:tä on käytetty viimeksi noin 10 vuotta sitten, jolloin kyseinen sovellus on todettu turhan vaikeakäyttöiseksi. Ohjelmaa on kehitetty käyttäjäystävällisempään suuntaan ja siihen on lähiaikoina tulossa päivitys, jonka tarkoituksena on edelleen kehittää ohjelman käytettävyyttä.

CPP:tä käyttöönotettaessa paljastui muutama virhetoiminto, jotka hankaloittivat ohjelman toimintaan tutustumista ja käyttöä. Ensimmäinen virhetoiminto liittyi ohjelman laskeintaan. Virhetoiminnon takia CPP yritti laskea viivamaiset kohteet, esimerkiksi kaapelit, kappaleissa ja pistemäiset kohteet, esimerkiksi kaapelijatkot, metreissä. Virhetoiminnon syyksi paljastui verkkotietojärjestelmän tietokantaan viimeisen 10 vuoden aikana tehdyt muutokset. Ohjelman toinen virhetoiminto esti ohjelman raportointiominaisuuksien toiminnan. Ohjelmaan tutustumista ja sen käyttöönottamista voitiin jatkaa, kun molemmat ongelmat saatiin ratkaistua Tekla Oy:n konsultin avulla.

CPP:lle on luotava uusi hinnasto, koska nykyinen hinnasto on vanhentunut sekä lajin toimenpidekoodien että hintojen osalta. Uuden hinnaston pohjana käytetään HSV:n yksikköhintaluetteloa, joka sisältää toimenpiteitä erilaisille töille ja verkon komponenteille. CPP:n hinnastoon luotavat toimenpiteet kohdistetaan verkkotietojärjestelmässä oikeille lajeille, jotta ohjelma osaisi automaattisesti lisätä oikean toimenpiteen suunnitelmassa käytettävän rakenteen kohdalle. Hinnaston luonti ja toimenpiteiden kohdistaminen lajeille tapahtuu CPP editor -pääkäyttäjätyökalulla, jolla hallinnoidaan kaikkia CPP:hen liittyviä toimintoja. Uuden hinnaston luominen on välttämätöntä, jotta

suunnitelmassa käytettävien rakenteiden lukumääriä ja kustannusarviota voidaan sekä arvioida että verrata CPP:n ja nyky menetelmien kesken.

CPP:hen tutustumisen yhteydessä tehtiin videoita havainnollistamaan kustannusarvion tekemistä eri tilanteissa. Videoiden tarkoituksena on helpottaa ohjelman käyttöönottamista ja tukea kirjoitettua ohjeistusta. Videoiden etuna kirjoitettuun tekstiin ja kuviin on se, että ohjelmaan tutustuva näkee kaikki välivaiheet omin silmin.

6.2.1 Yksikköhintaluettelon toimenpiteiden sijoittaminen VTJ:n lajeille

Yksikköhintaluettelon toimenpiteiden sijoittaminen verkkotietojärjestelmän lajeille jakautuu helpommin ja vaikeammin sijoitettaviin toimenpiteisiin. Helposti sijoitettaville toimenpiteille verkkotietojärjestelmästä löytyy vain yksi laji hinnaston toimenpidettä kohden. Tällaisen lajin, kuten esimerkiksi tietyn kaapelin, toimenpiteet on helppo automatisoida kirjautumaan hankkeen kustannusarvioon sitä mukaan, kun kyseistä lajia on käytetty suunnitelmassa.

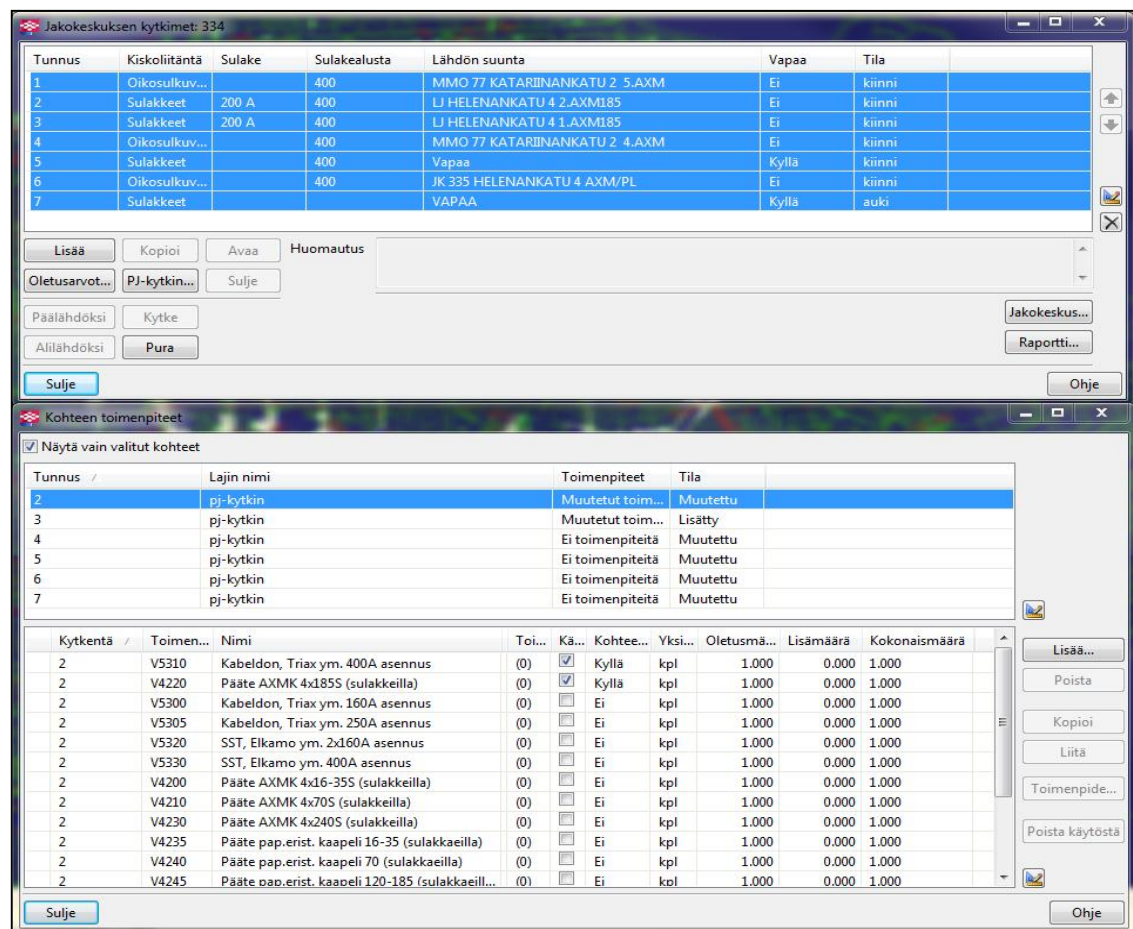
Toimenpiteiden sijoittaminen on vaikeampaa, kun verkkotietojärjestelmän yksittäisellä lajilla on useita toimenpiteitä. Tällainen laji on esimerkiksi pienjännitekaapelijatko, jolle verkkotietojärjestelmässä on vain yksi laji, mutta hinnastossa on useita eri toimenpiteitä riippuen jatkoksen tyypistä. Kun hinnastossa on useita toimenpiteitä tietyllä lajilla, on pohdittava, kuinka oikea toimenpide voidaan huomioida suunnitelman piirtovaiheessa mahdollisimman helposti.

Usean toimenpiteen omaavia lajeja on erilaisia. Osa esiintyy suunnitelmissa vain kerran, osa muutaman kerran ja osa usein. Kun laji esiintyy vain kerran tai muutaman kerran suunnitelmassa, voidaan olettaa, että suunnittelija voi manuaalisesti valita lajille oikeat toimenpiteet *Kohteen toimenpiteet* -valikosta. Useammin esiintyvien lajien kohdalla toimenpiteiden valitsemiseksi on kaksi mahdollisuutta: valita lajin toimenpide *Kohteen toimenpiteet* -valikosta samaan tapaan kuin harvemmin esiintyvien lajien kanssa tai hyödyntää lajin ominaistiedoissa olevia valmiita alavetovalikoita.

Kohteen toimenpiteet -valikossa on olemassa *Näytä vain valitut kohteet* -painike, jonka avulla verkkokartalta voidaan valita lajeja, joiden toimenpiteet näytetään *Kohteen toimenpiteet* -valikossa (kuva 9, ks. seur. s.). Toiminnon hyödyntäminen helpottaa lajin toimenpiteiden sijoittamista olennaisesti. Toimintoa voidaan hyödyntää usealla eri

tavalla, esimerkiksi suunnitelma voidaan piirtää kokonaan kerralla valmiiksi, minkä jälkeen suunniteltu alue ylimaalataan ja täydennetään kaikkien kohteiden tarvitsemat toimenpiteet. *Kohteen toimenpiteet* -valikkoa voidaan myös pitää auki suunnittelun aikana ja täydentää muutettujen rakenteiden toimenpiteet samalla, kun suunnitelmaa piirretään.

Näytä vain valitut kohteet -toimenpiteen hyödyntäminen tekisi myös toimenpiteiden sijoittamisesta helpompaa lajeille, jotka esiintyvät suunnitelmissa useasti eri toimenpitein. Tämän lisäksi oikeiden toimenpiteiden aktivointi olisi suunnittelijalle helpompaa.



Kuva 9. Jakokeskuksen kytkimet valittuna verkkokartalta ja yksittäinen kytkin *Kohteen toimenpiteet* -valikossa

Lisäksi *Kohteen toimenpiteet* -valikon toimintaa on kehitetty CPP:n seuraavassa versiossa. Kehitysversio näyttää valikossa valitun lajin myös verkkokartalla ilman, että tarvitsee käyttää *Näytä vain valitut kohteet* -toimintoa.

Toinen tapa toimenpiteiden valitsemiseksi on käyttää *Lajin ominaistieto* -valikossa olevia alasvetovalikoita, joita esimerkiksi kaapelijatkolla ovat *Alue*, *Omistaja*, *Valmistaja* ja *Valmistajan tyyppi* (kuva 10, ks. seur. s). Koska mikään edellä mainituista ei varsinaisesti sovi olemassa olevan yksikköhintaluettelon toimenpiteiden kanssa yksin, on harkittava, käytetäänkö alasvetovalikoita siitä huolimatta, mitä niiden otsikoissa lukee.

Kuva 10. Lajin ominaistieto -valikko

Yksikköhintaluettelossa on myös toimenpiteitä, joille ei suoraan löydy oikeata sijoituspaikkaa verkkotietojärjestelmästä eli toimenpiteelle ei ole olemassa omaa lajia, joka digitoidaan verkkokartalle, kuten esimerkiksi pienjännitekaapeleiden päätteille. Tällöin on mietittävä, minne toimenpide olisi loogisinta sijoittaa suunnittelijan kannalta, ja kuinka toimenpiteen valinta toteutetaan sijoituskohteessa. Esimerkiksi testihinnastossa pj-kaapelipäätteiden toimenpiteet sijoitettiin *pj-kytkin-lajille* (kuva 9, ks. ed. s.).

Yksikköhintaluettelo sisältää useita toimenpiteitä maanrakentamistöille. Osa toimenpiteistä sisältää vaikeasti etukäteen arvioitavissa olevia töitä sekä kustannuksia, minkä vuoksi maanrakentamiskustannusten arvioimiseksi hinnaston toimenpiteistä tulisi muodostaa laajempia kokonaisuuksia, esimerkiksi rakentamisympäristön mukaan.

Maanrakennustoimenpiteiden sijoittamiselle voidaan ajatella kahta erilaista tapaa: sijoittaa ne niitä varten luotaville uusille lajeille tai sijoittaa ne jo olemassa olevien lajien yhteyteen. Uudet lajit voitaisiin luoda rakentamisympäristön perusteella rajattujen laajempien toimenpiteiden mukaan. Uusia maanrakennuslajeja ei ajettaisi suunnitelman mukana master-tietokantaan, vaan ne olisivat vain suunnitelmakohtaisia työviivoja.

Sijoitettaessa maanrakennustoimenpiteitä jo olemassa oleville lajeille, kuten esimerkiksi kaapeleille, voitaisiin hyödyntää *kaapelilajin ominaistieto* -valikon sijoitusympäristö alasvetovalikkoa maanrakennustoimenpiteiden valitsemiseksi. Molempien sijoituspaikkojen kohdalla toimenpiteiden tarkempi määrittely voitaisiin tehdä *Kohteen toimenpiteet* -valikon kautta.

6.2.2 CPP:n hinnaston luominen

CPP:n uuden hinnaston luominen oli eräs tärkeimmistä käyttöönoton valmistelun edessä esiin nousseista vaatimuksista. Uutta hinnastoa tarvitaan sekä suunnitelmien kustannusarvioita että CPP:n ja RKJ:in välistä tiedonsiirtoa varten, sillä CPP:stä RKJ:hin siirrettävät tiedot perustuvat hinnaston toimenpidekoodeihin ja niiden lukumääriin.

CPP:n uuden hinnaston luominen aloitettiin, kun CPP:n toiminnasta ja lajien toimenpiteiden mahdollisista valitsemistavoista sekä sijoittamispaikoista oli saatu suuntaa antava käsitys. CPP:n hinnasto luotiin HSV:n erään urakoitsijan yksikköhintaluettelon pohjalta. Yksikköhintaluettelossa on määritelty materiaali-, työ- ja maanrakentamiskustannukset tietylle ajanjaksolle.

Uuden hinnaston luomiseksi yksikköhintaluettelo käytiin lävitse rivi riviltä sähköverkon suunnitteluinsinöörin kanssa. Yksikköhintaluettelon läpikäynnin yhteydessä kohdistettiin yksikköhintaluettelon toimenpiteet oikeille verkkotietojärjestelmän lajeille, minkä jälkeen pohdittiin lajien toimenpiteiden valintatapoja.

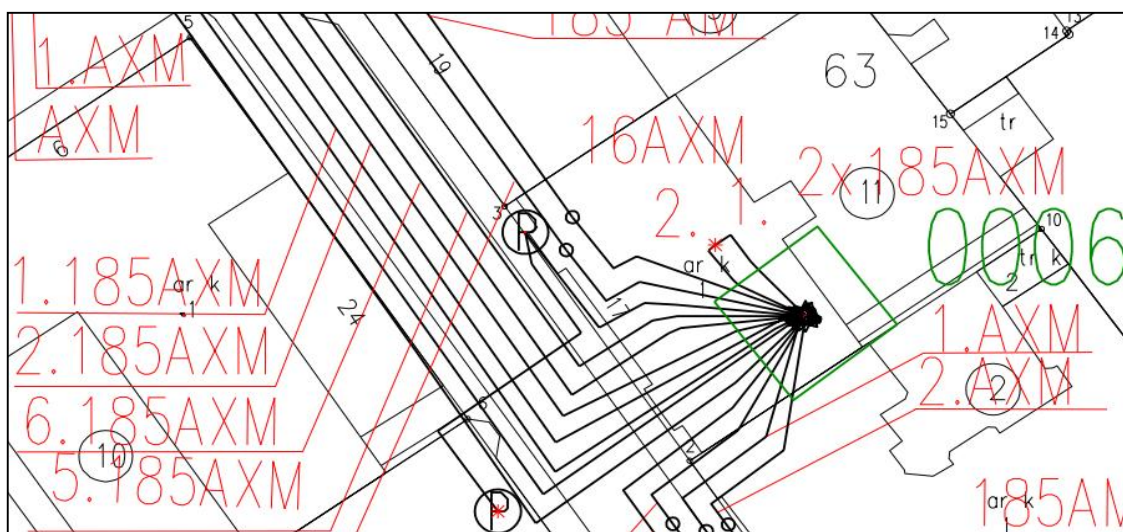
Yksittäisen lajin toimenpiteiden valinta voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla. Lajille voidaan asettaa oletustoimenpiteitä, jotka kirjautuvat aina hankkeen kustannusarvioon automaattisesti. Oletustoimenpiteitä voidaan muuttaa ja poistaa käytöstä sekä lajille voidaan lisätä myös muita toimenpiteitä oletustoimenpiteiden lisäksi *Kohteen toimenpiteet* -valikosta. Lajille, jolla ei ole oletustoimenpiteitä, voitaisiin toimenpiteet valita joko *Lajin ominaistieto* -valikon alasvetovalikkojen (attribuutti) tai CPP:n *Kohteen toimenpiteet* -valikon (dialogi) avulla.

Yksikköhintaluettelon läpikäynnin tuloksena saatiin yksikköhintaluettelon toimenpiteet jaoteltua lajeittain (liite 1). CPP:n uusi hinnasto luodaan lajeittain jaotellun yksikköhintaluettelon pohjalta CPP Editor -pääkäyttäjätyökalun avulla.

6.2.3 Johtoreitin pituus

CPP on riippuvainen suunnittelijan verkkokartalle piirtämistä johtoreiteistä. Suunnittelija ei voi muuttaa reitin pituutta haluamansa pituiseksi muuten, kuin digitoimalla johtoreitin uudelleen tai muuttamalla johtoreitin pituutta myöhemmin rakennuttamisjärjestelmässä. Jotta CPP soveltuisi paremmin HSV:n käyttöön, ohjelmassa olisi suotavaa olla jokin yksinkertainen keino johtoreitin pituuden korjaamiseksi.

Kaapelin johto-osalle sijoitettavaa *Mitattu pituus* -tietokenttää voitaisiin hyödyntää korjaamaan piirtoteknisistä syistä aiheutuvat kaapelireittien virheelliset pituudet. Piirtotekniset ongelmat aiheutuvat HSV:n suuresta verkon kaapelointiasteesta ja verkkotietojärjestelmän kaksikulotteisesta käyttöliittymästä, jonka takia kaapelit joudutaan piirtämään verkkokartalle vierekkäin, vaikka ne todellisuudessa olisivatkin sijoitettu päällekkäin. Lisäksi verkkokartan selkeyden takia kaapeleiden välille jätetään hieman tilaa, esimerkiksi kuvan 11 muuntamolta lähtevät kaapelit eivät ole todellisuudessa asennettuna koko kadun leveydelle. Piirtotekniset syyt aiheuttavat etenkin kantakaupungin alueella kaapelireiteille virhepituuksia, jotka voivat olla tapauskohtaisesti jopa huomattavia.



Kuva 11. Muuntamolta lähteviä kaapeleita verkkotietojärjestelmän kartalla

Myös kaapelin asennuskorkeudet vaikuttavat tarvittavan kaapelin pituuteen. Nykyään verkkotietojärjestelmä ei huomioi asennuskorkeuksia, josta aiheutuu todelliseen pituuteen hieman lisää virhettä. *Mitattu pituus* -kohtaa hyödyntämällä suunnittelija voisi korjata tarvittaessa kaapelin pituuden oikeaan suuruusluokkaan.

Nykytilanteessa *Mitattu pituus* -kohdan hyödyntäminen vaatisi kuitenkin koko ohjelman koodin kehittämisen lisäksi CPP:n hinnaston osittaisen uudistamisen, sillä kaapeleiden toimenpiteet ovat nykyisessä hinnastossa kohdistettu johto-alkioille.

6.2.4 Tiedonsiirto CPP:n ja RKJ:n välillä

Ensisijaisesti CPP:stä halutaan siirtää suunnitelman toteuttamisessa tarvittavien rakenteiden määrät RKJ:hin, sillä RKJ osaa hakea valitusta hinnastosta kustannustiedot siirretyille rakenteille toimenpidekoodien ja määrien perusteella. Ohjelmien välillä on mahdollista siirtää halutut tiedot CPP:stä RKJ:hin nykyäänkin, mutta nykyinen tiedonsiirto-operaatio ei ole kovinkaan yksinkertainen. Nykyisessä tilanteessa halutut tiedot voidaan siirtää seuraavalla tavalla: CPP:n laskennan tulokset ajetaan Access-sovelluksen läpi Excel-tiedostoon. Excel-tiedostossa laskennan tulokset lajitellaan manuaalisesti oikeisiin sarakkeisiin ennen niiden viemistä RKJ:hin (taulukko 9). Kyseinen menetelmä on raskas, vaikea ja lisää inhimillisten näppäilyvirheiden syntymahdollisuuksia.

Taulukko 9. Komponenttien tuonti RKJ:hin leikepöydältä [30]

| | Sarake 1 | Sarake 2 | Sarake 3 | Sarake 4 |
|-----------------------------|---|--|--------------------------------|--|
| Sarakkeen tieto | Komponentin toimenpidekoodi | Komponentin nimi | Tilausmäärä | Kappalehinta |
| Pakollisuus tiedonsiirrossa | Kyllä | Ei | Kyllä* | Ei |
| Lisätieto | Komponentin koodin on löydyttävä RKJ:n hinnaston komponenttitaulusta. | Kommenttietä, voidaan jättää tyhjäksi. | Suunniteltu rakenteiden määrä. | RKJ hakee komponentin yksikköhinnan käytettävästä hinnastosta. |

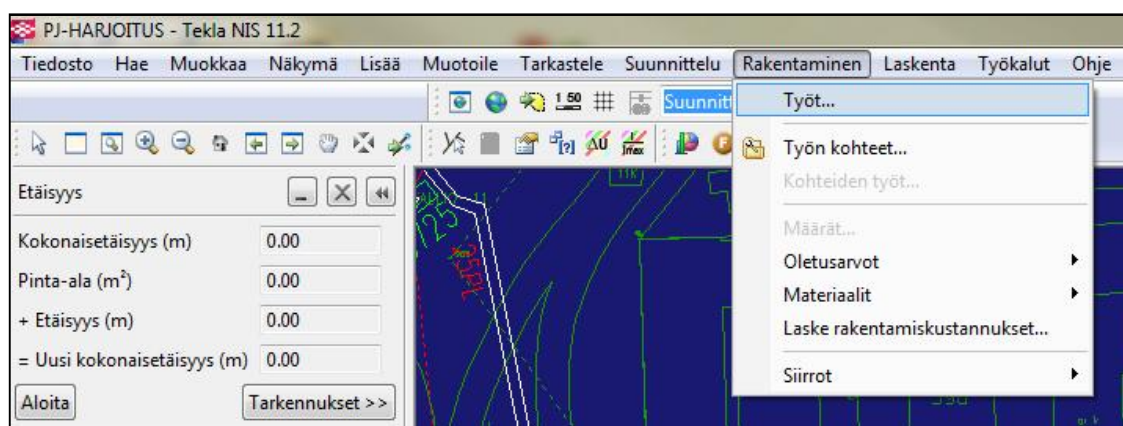
* Ei pakollinen, mutta CPP:n hyöty jää olemattomaksi, jos määriä ei siirretä.

Tulevaisuudessa tiedonsiirto voisi tapahtua seuraavalla periaatteella: CPP:n laskentatietoja siirrettäessä RKJ:hin käytettäisiin taulukkopohjaista siirtotiedostoa, johon siirrettäisiin yhdellä napin painalluksella CPP:n laskennan tulokset RKJ:n haluamalla jaotellulla. Siirtotiedoston valmistumisen jälkeen se siirrettäisiin hankkeen ProjectWise-kansioon, jonka jälkeen RKJ:ssä painettaisiin laskentatietojen tuontipainiketta ja RKJ noutaisi laskentatiedot ProjectWise-kansiossa sijaitsevasta siirtotiedostosta.

CPP:hen on olemassa valmis rajapinta Headpower-rakennuttamisjärjestelmää varten, jonka avulla CPP:ssä käytetyt toimenpidekoodit ja niiden määrät viedään XML-muotoiseen siirtotiedostoon. Rajapinnan toimintaperuste on periaatteessa sama, jota tarvittaisiin tiedonsiirtoon CPP:n ja RKJ:n välille. Siirtotiedoston luomista varten tulisi hankkia lisenssi, sillä rajapinta CPP:n ja Headpowerin välille on lisälisenssin takana. CPP:n ja Headpowerin siirtotiedoston koodia on mahdollisesti hieman muutettava, jotta se vastaisi tietojen jaottelultaan RKJ:n haluamaa jaottelutapaa. Lisäksi RKJ:hin tulisi kehittää painike, jonka avulla siirtotiedoston tiedot saataisiin siirrettyä RKJ:hin. [22.]

6.3 Kustannusarvion tekeminen CPP:llä

Kun tehdään kustannusarviota CPP:llä, on verkkotietojärjestelmän käyttäjäprofiiliksi valittava *Suunnittelu*. Käyttäjäprofiilin valinnan jälkeen VTJ:n yläpalkkiin tulee CPP:lle oma valikko, *Rakentaminen*, jonka kautta ohjataan kustannusarviotyön jokaista toimintoa aina työn avaamisesta lopulliseen kustannusarvioon asti (kuva 12).

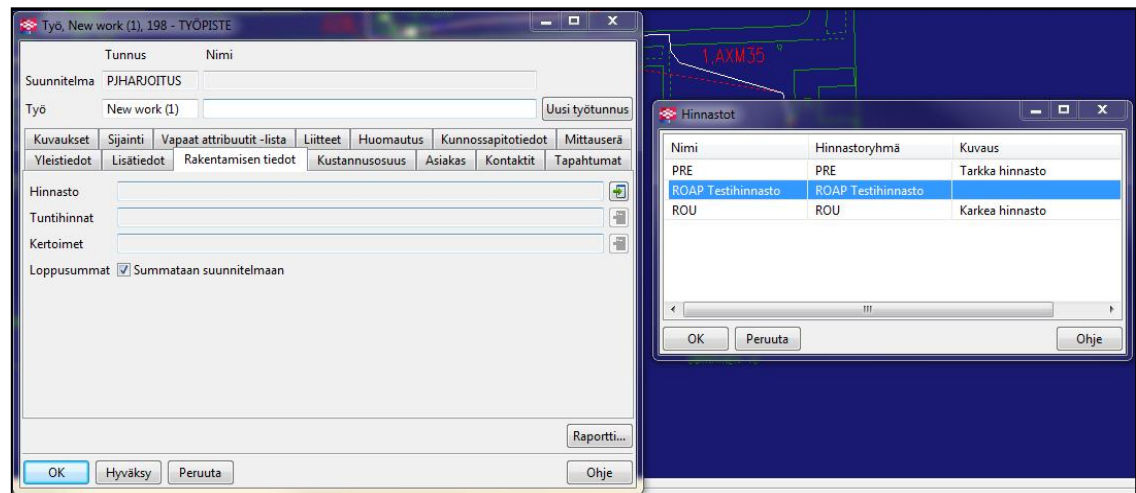


Kuva 12. Rakentaminen-valikon sijainti verkkotietojärjestelmässä

Jokaiselle verkkotietojärjestelmän suunnitelmalle avataan vähintään yksi laskentatyö. Uusi laskentatyö avataan *Työt*-valikossa painamalla *Lisää*-painiketta, joka avaa valikon uuden laskentatyön perustamiseksi. Työlle voitaisiin tässä vaiheessa lisätä yleistietojen lisäksi monia muita tietoja, joiden avulla määriteltäisiin sekä kuvailtaisiin kyseessä olevaa hanketta.

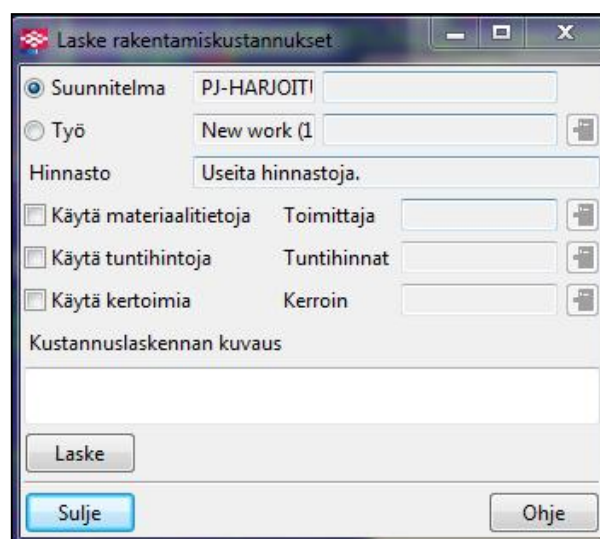
CPP:tä voitaisiin käyttää toiminnanohjausjärjestelmänä samaan tapaan kuin HSV:n käytössä olevaa rakennuttamisjärjestelmää (RKJ). Tulevaisuudessa on pohdittava,

mitkä toimenpiteet kannattaa tehdä CPP:n puolella ja mitkä vastaavasti RKJ:n puolella. HSV:n nykyisen käytön kannalta tärkeintä on laskentatyön avaaminen, ja siinä käytettävän hinnaston valitseminen, jonka valinta tehdään *Rakentamisen tiedot* -välilehdellä (kuva 13, ks. seur. s.).



Kuva 13. Hinnaston valinta

Suunnitelman laskentatyön avaamisen jälkeen aloitetaan suunnitelman piirtäminen ja lajien toimenpiteiden määrittäminen kustannusarviota varten (ks. 6.3.1 - 6.3.3). Suunnitelman kustannusarvio voidaan laskea, kun suunnitelma on kaikilta osin valmistunut. Kustannusarvion laskemista varten avataan *Laske rakentamiskustannukset* -valikko (kuva 14) CPP:n päävalikosta (kuva 12, ks. ed. s.).



Kuva 14. Laske rakentamiskustannukset -valikko

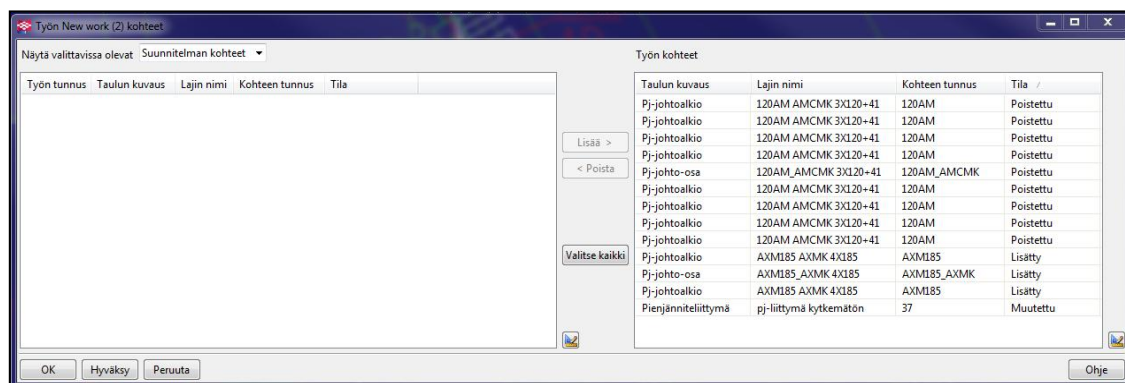
Laske rakentamiskustannukset -valikossa on mahdollista täsmentää laskentaa käyttämällä materiaalitietoja tai painottamalla tiettyjä toimenpiteitä erilaisten kertoimien avulla. Valikosta voidaan myös valita, lasketaanko koko hankkeen (*Suunnitelma*) vai vain osahankkeen (*Työ*) kustannusarvio. Verkkotietojärjestelmän suunnitelma voi siten sisältää useita laskentatöitä, esimerkiksi jos osa hankkeesta toteutetaan laskutyönä. Lisäksi Energiamarkkinavirasto edellyttää vuodesta 2013 alkaen investointitöiden jakoa laajennus- ja korvausinvestointeihin, minkä vuoksi hankkeiden kustannuksia voidaan joutua laskemaan pienemmissä osissa.

Koko hankkeen tai osahankkeen kustannusarvio saadaan esille *Laske*-painiketta painamalla. Painalluksen jälkeen CPP avaa hankkeen kustannusarvion uuteen ikkunaan, jossa hankkeen kustannukset voidaan eritellä toimenpiteittäin, lajeittain, kohteittain tai työkohtaisesti.

6.3.1 Kustannusarvio suunnitelman teon yhteydessä

Uutta hanketta varten HSV:ssä luodaan verkkotietojärjestelmään aina uusi kj- tai pj-suunnitelma sekä useissa hankkeissa molemmat. Uuden suunnitelman avaamisen jälkeen on aiemmin aloitettu tarvittavien muutosten tekeminen verkkokartalle. CPP:tä käytettäessä suunnitelman avaamisen jälkeen ensimmäinen tehtävä on avata uusi kustannusten laskentatyö (ks. 6.3). Jos hanke sisältää kj- ja pj-suunnitelmat, avataan molemmille omat laskentatyöt niiden omiin erillisiin suunnitelmiin.

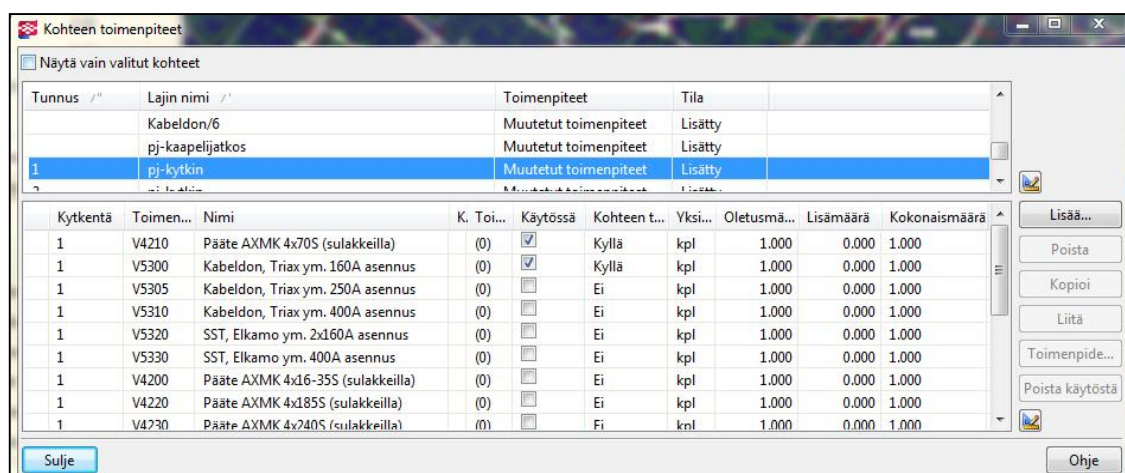
Kun verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan on avattu uusi laskentatyö ja valittu siinä käytettävä hinnasto, voidaan verkkokartalle piirtää hankkeessa tehtävät muutokset normaalisti. CPP osaa automaattisesti kerätä poistetut, muutetut ja lisätyt rakenteet laskentatyön kohteiksi (kuva 15, ks. seur. s.) sekä lisätä niille hinnastoon määritellyt oletustoimenpiteet.



Kuva 15. CPP kerää verkkokartalle lisätyt, muutetut ja poistetut lajit työn kohteiksi

Kaikkia hinnaston toimenpiteitä ei ole voitu kohdistaa verkkotietojärjestelmän lajeille siten, että ne kirjautuisivat automaattisesti hankkeen kustannusarvioon. Näiden toimenpiteiden kohdistaminen lajille tapahtuu *Kohteen toimenpiteet* -valikossa (kuva 16) Valikko löytyy sekä hiiren oikealla näppäimellä avattavan valikon kautta että CPP:n päävalikon *Oletusarvot*-valikon takaa (kuva 12, ks. s. 38).

Kohteen toimenpiteet -valikossa kaikille laskentatyön kohteeksi asetetuille lajeille määrittellään, muutetaan ja lisätään hankkeessa tarvittavat toimenpiteet. Toimenpiteiden sijoittamiseen liittyvien toimintojen takia valikko on keskeisessä roolissa kustannusarvion tarkan onnistumisen kannalta.



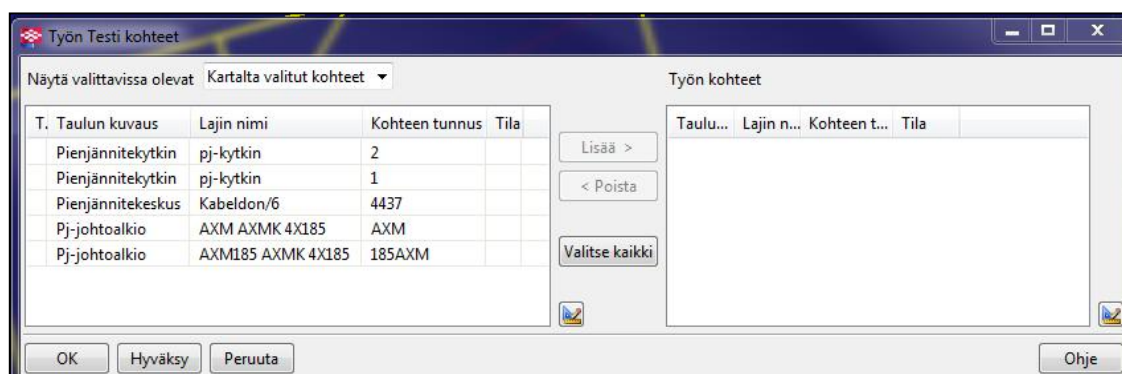
Kuva 16. Kohteen toimenpiteet -valikko

Lajin toimenpiteet aktivoidaan tai deaktivoidaan painamalla *Käytössä*-sarakkeen ruutua. Jos halutaan päivittää tai muuttaa kaikkia tietyn lajin toimenpiteitä, valikossa

ylimaalataan kaikki muutettavat lajit ennen toimenpiteiden valitsemista, jolloin kaikille ylimaalatuille lajeille voidaan määritellä samat toimenpiteet nopeasti. Kaikille yksittäisille ja erilaisille lajeille on tarvittavat toimenpiteet määriteltävä yksitellen manuaalisesti. Toimenpiteiden sijoittamisessa lajeille voidaan hyödyntää myös *Näytä vain valitut kohteet* -toimintoa, jonka avulla *Kohteen toimenpiteet* -valikossa näkyy ainoastaan verkkokartalta valitut laskentatyön kohteet, joille halutaan sijoittaa toimenpiteet.

Lajeille on mahdollista myös lisätä toimenpiteitä *Lisää*-valikon kautta oletustoimenpiteiden ja lajiin kohdistettujen toimenpiteiden lisäksi. Lajille voidaan lisätä olemassa olevan hinnaston mukaisia toimenpiteitä tai vapaasti luotavissa olevia hinnaston ulkopuolisia toimenpiteitä. Toimenpiteitä lisättäessä on kuitenkin huomioitava, että lajille lisätyt toimenpiteet ovat aina laskentatyökohtaisia.

Kun hankkeella on useita eri kohde- ja työnumeroita, verkkokartan kaikki muutokset voidaan tehdä ensin yhden laskentatyön alle, jolloin suunnittelijan ei tarvitse piirtää suunnitelmaa pienissä osissa. Kun hankkeessa tehtävät muutokset ja lisäykset ovat valmiina, suunnitelmaan avataan toinen laskentatyö (ks. 6.3). Uusi laskentatyö aktivoituu automaattisesti, joten avaamisen jälkeen verkkokartalta valitaan kaikki toiselle työnumerolle siirrettävät kohteet. Kun kaikki toiselle työnumerolle kuuluvat lajit on valittu verkkokartalta, voidaan valitut kohteet siirtää uuden laskentatyön kohteiksi *Työn kohteet* -valikossa (kuva 17).



Kuva 17. Valikko työn kohteiden valitsemiseksi

Näytä valittavissa olevat -alasvetovalikosta valitaan näytettäväksi kohteiksi *Kartalta valitut kohteet*, jonka jälkeen jo aiemmin kartalta valitut lajit lisätään uuden laskentatyön kohteiksi painamalla ensin *Valitse kaikki* - ja sitten *Lisää*-painiketta. Vaihtoehtoisesti

siirrettävät lajit voidaan myös ensiksi ylimaalata valikossa, jonka jälkeen painetaan *Lisää*-painiketta.

Siirretyt lajit poistuvat automaattisesti aiemmin luodun laskentatyön kohteista. Lajeja siirrettäessä on huomioitava, että siirretyillä lajeilla säilyvät ainoastaan oletustoimenpiteet eli niille on määriteltävä hankkeessa tarvittavat toimenpiteet erikseen *Kohteen toimenpiteet* -valikossa (kuva 16, ks. s. 41). Useamman työnumeron omaavissa hankkeissa voi siten olla viisaampaa määritellä koko hankkeen toimenpiteet vasta lajien siirtämisen jälkeen. Kun verkkokartalle on tehty tarvittavat muutokset ja lisäykset, suunnitelman kustannusarvio voidaan laskea (ks. 6.3).

6.3.2 Kustannusarvio tietokantaan ajamattomasta suunnitelmasta

Verkkotietojärjestelmän suunnitelmasta voidaan laskea kustannusarvio suhteellisen helposti myös tilanteessa, jossa laskentatyö on avattu vasta suunnitelman piirron jälkeen. Jälkikäteen tietokantaan ajamattomasta suunnitelmasta tehtävä kustannusarvio eroaa vain hieman suunnitelman yhteydessä tehdystä kustannusarviosta (ks. 6.3.1). Suurin eroavaisuus laskentatapojen välillä on se, ettei CPP kerää ennen laskentatyön avaamista poistettuja, muutettuja tai lisättyjä lajeja laskentatyön kohteiksi automaattisesti.

Kun suunnitelmaa ei ole ajettu master-tietokantaan ennen laskentatyön avaamista, CPP tunnistaa lisätyt, poistetut ja muutetut verkon rakenteet suunnitelmaan tehdyiksi muutoksiksi eli *Suunnitelman kohteiksi*. *Suunnitelman kohteet* siirretään laskentatyön kohteiksi *Työn kohteet* -valikossa (kuva 17, ks. ed. s.). Tarvittaessa verkkokartalta voidaan myös valita lajeja laskentatyön kohteeksi *Työn kohteet* -valikossa. Kun suunnitelman lajit on siirretty laskentatyön kohteiksi, CPP ottaa automaattisesti käyttöön lisätyjen rakenteiden hinnaston mukaiset oletustoimenpiteet. Lisätyjen rakenteiden toimenpiteiden oikeellisuuden tarkistaminen ja muutettujen rakenteiden toimenpiteiden aktivointi tehdään *Kohteen toimenpiteet* -valikossa (kuva 16, ks. s. 41; 6.3.1). Kun tarvittavat toimenpiteet on aktivoitu suunnitelmassa muutetuille verkon rakenteille, rakennettavan verkon kustannukset voidaan laskea.

6.3.3 Kustannusarvio tietokantaan ajetusta suunnitelmasta

Kustannusarvio voidaan tarvittaessa laskea myös suunnitelman master-tietokantaan ajon jälkeen, esimerkiksi tilanteessa, jossa halutaan verrata vanhan suunnitelman kustannusarviota hankkeen toteutuneisiin kustannuksiin. Tietokantaan ajettujen suunnitelmien kustannusarvioiden jälkikäteen laskeminen ei kuitenkaan ole kovinkaan yleistä. Lisäksi suurien hankkeiden kustannusarvioiden jälkikäteen laskeminen ei ole kovin mielekästä, koska kaikki laskentatyön kohteet on määriteltävä manuaalisesti. Lisäksi laskentatyön kohteille on määriteltävä manuaalisesti hankkeessa tarvittavat toimenpiteet.

CPP ei osaa automaattisesti päätellä uusia, muutettuja tai poistettuja verkon rakenteita suunnitelman kohteiksi, kun suunnitelma on ajettu *Master*-tietokantaan ennen laskentatyön luomista. Tällöin kustannusarvion tekeminen aloitetaan valitsemalla kaikki suunnittelijan suunnitelman työkuva mukaiset muutetut rakenteet verkkokartalta, minkä jälkeen valitut kohteet siirretään laskentatyön kohteiksi *Työn kohteet* -valikossa (kuva 17, ks. s. 42).

Verkkokartalta valitut lajit voidaan siirtää laskentatyön kohteiksi *Työn kohteet* -valikossa seuraavasti: *Näytä valittavissa olevat* -alasvetovalikosta valitaan kohta *Kartalta valitut kohteet*, jonka jälkeen kartalta valitut lajit näkyvät valikossa. Lajit voidaan lisätä laskentatyön kohteiksi painamalla ensin *Valitse kaikki* - ja sitten *Lisää*-painiketta. Vaihtoehtoisesti siirrettävät lajit voidaan myös ensiksi ylimaalata valikossa, jonka jälkeen painetaan *Lisää*-painiketta lajien siirtämiseksi.

Kun laskentatyössä tarvittavat lajit on valittu ja sijoitettu laskentatyön kohteiksi, niiden toimenpiteet aktivoidaan manuaalisesti *Kohteen toimenpiteet* -valikossa (ks. 6.3.1) (kuva 16, ks. s. 41). Toimenpiteitä sijoitettaessa voidaan hyödyntää *Kohteen toimenpiteet* -valikon *Näytä vain valitut kohteet* -toimintoa helpottamaan lajien toimenpiteiden sijoittamista. Toiminnon avulla *Kohteen toimenpiteet* -valikossa näkyy ainoastaan verkkokartalta valitut laskentatyön kohteet, joille halutaan sijoittaa toimenpiteet. Usein esiintyvien lajien toimenpiteiden sijoittaminen yksinkertaistuu huomattavasti, sillä kyseisen toiminnon avulla on helpompi hahmottaa, missä kyseinen laji sijaitsee verkkokartalla.

Kun tarvittavat toimenpiteet on aktivoitu suunnitelmassa uusille sekä muutettaville verkon rakenteille, voidaan rakennettavan verkon kustannukset laskea ja verrata niitä suunnittelijan arvioimiin kustannuksiin sekä hankkeen toteutuneisiin kustannuksiin.

6.4 Hankkeiden arvioitujen ja toteutuneiden kustannusten vertailu

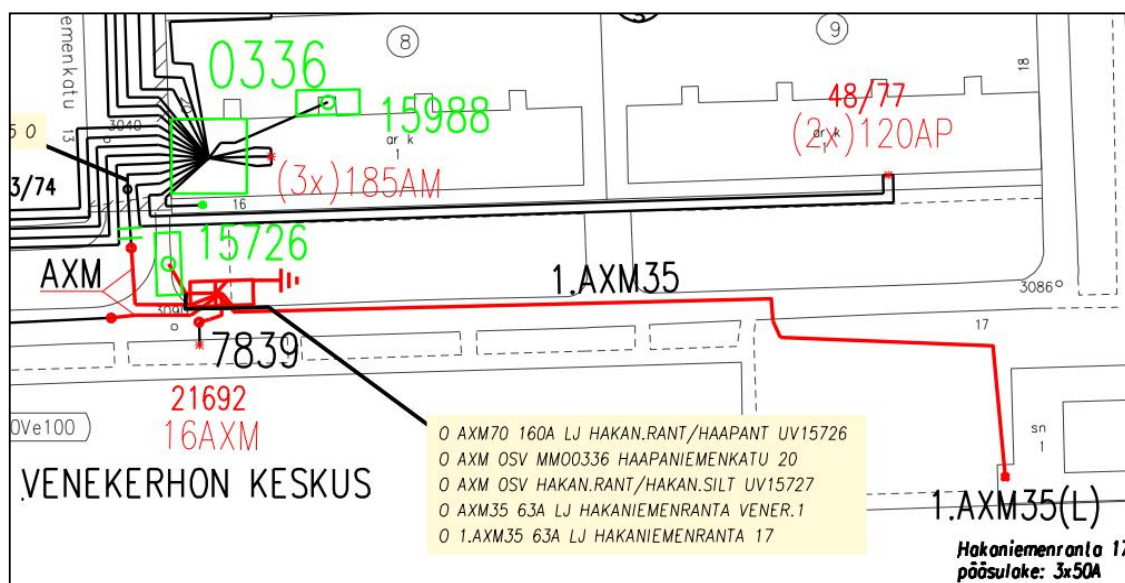
Suunniteltujen ja toteutuneiden hankkeiden kustannusten vertailu toteutettiin

- vertailemalla CPP:llä tehtyä ja suunnittelijan RKJ:hin tekemää kustannusarviota keskenään
- vertailemalla CPP:llä ja RKJ:llä tehtyjä kustannusarvioita hankkeen toteutuneisiin kustannuksiin.

Hankkeiden kustannusarvioiden tuloksia vertailtaessa on huomioitava, että myös CPP:n laskennoissa on käytetty suunnittelijan arvioimia maanrakennuskustannuksia käytössä olleen testihinnaston vajavaisuuden vuoksi. Suurin hyöty CPP:stä saavutettaisiin, mikäli maanrakennuskustannuksia pystyttäisiin arvioimaan edes karkeasti. Maanrakennuskustannusten huomiointi edellyttäisi, että hinnastoon luotaisiin tarvittavat maanrakennustoimenpiteet ja määriteltäisiin, kuinka niiden huomiointi tapahtuisi suunnitelmaa tehtäessä.

6.4.1 Pienjännitesuunnitelman kustannusarvio

Tarkasteltavana suunnitelmana on master-tietokantaan siirretty (ks. 6.3.3) ja jo toteutettu Hakaniemenrantaan sijoittunut liittymisjohtotyömaa. Työssä Hakaniemenrantaan lisättiin uusi jakokaappi syöttämään sen vieressä sijaitsevaa ulkovalaistuskaappia, venekerhon keskusta ja kulttuurisaunaa (kuva 18, ks. seur. s.). Lisäksi uuden jakokaapin kautta on varayhteys viereiseen muuntopiiriin. Kuvassa punaisella merkityt ovat uusia rakennettavia verkon rakenteita ja mustalla sekä vihreällä merkityt nykyisiä jo olemassa olevia rakenteita.



Kuva 18. Hakaniemenrannan työkuva

Verkkotietojärjestelmään tehdystä suunnitelmasta CPP:n avulla lasketut rakenteiden määrät vastasivat hyvin sekä suunnittelijan arvioimia että hankkeessa toteutuneita määriä (liite 2). Kustannusarvioiden lopputuloksen eroihin vaikuttavat eniten metreissä laskettavat rakenteet sekä maanrakennuskustannukset. Suunnittelijan arvioimissa, CPP:n laskemissa ja hankkeessa toteutuneissa rakenteiden metrimäärissä oli eroavaisuuksia toisiinsa nähden. Kaapeleiden pituuksia verrattaessa voidaan huomata, että CPP:n avulla lasketut metrimäärät vastaavat paremmin hankkeessa toteutuneita metrimääriä.

On kuitenkin huomioitava, että kaapeleiden pituuksissa voi tapauskohtaisesti syntyä suuriakin virheitä molempiin suuntiin johtoreittien digitoinnissa. Esimerkiksi tapauksessa, jossa kaapilta tai muuntamolta lähtee useita kaapeleita, voivat johtoreittien virhepituuudet olla huomattavia. Toisaalta kustannusarviot ovat vain suuntaa antavia ja hankkeen urakoitsija laskuttaa toteutuneiden määrien mukaisesti.

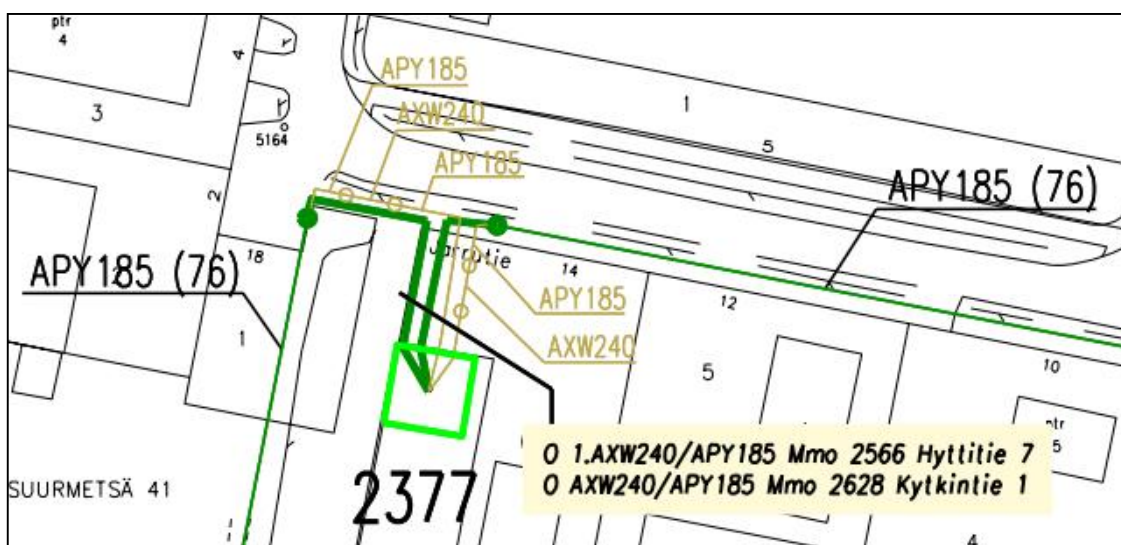
CPP:n avulla saatu kustannusarvio (11 816,38 €) on samaa kokoluokkaa kuin suunnittelijan RKJ:hin syöttämä kustannusarvio (11 518,78 €). Ero CPP:n ja suunnittelijan arvioiman kustannusarvion välillä syntyy suunnittelijan alakanttiin arvioimista kaapeleiden pituuksista. Molemmat kustannusarviot olivat hieman suurempia kuin hankkeen toteutuneet kustannukset (9 569,49 €). Suurimmat erot kustannusarvioiden ja toteutuneiden kustannusten välille aiheutuvat maanrakennuskustannuksista, koska tarvittavien maanrakennustoimenpiteiden etukäteen arvioiminen on vaikeaa.

6.4.2 Keskijännitesuunnitelman kustannusarvio

Tarkasteltavana suunnitelmana on master-tietokantaan ajamaton (ks. 6.3.2) muuntamon 2377 uudistamistyömaa (kuva 19). Uudistamistyö sisältää

- vanhan muuntamon purkamisen
- nykyisen 630 kVA:n jakelumuuntajan vaihtamisen uuteen 800 kVA jakelumuuntajaan
- muuntamon kj-kojeiston vaihtamisen uuteen SF₆ eristettyyn kojeistoon
- muuntamon pj-keskuksen vaihtamisen uuteen
- muuntamoa syöttävien kj-kaapeleiden vaihtamisen uusiin.

Lisäksi hankkeen yhteydessä uusitaan pienjännitekaapeleita, mutta niitä ei ole huomioitu tämän suunnitelman kustannusarvioiden vertailussa. Kuvassa korostetut tumman vihreät ja kirkkaan vihreät ovat uusia rakenteita, keltaisella merkityt ovat poistettavia nykyisiä rakenteita ja ilman korostusta olevat vihreät rakenteet ovat olemassa olevia rakenteita.



Kuva 19. Muuntamon 2377 uudistamistyömaan työkuva

Keskijänniteverkossa johtoreittien pituuksiin harvemmin syntyy suuria virhepituuksia yksittäistä muuntamoa rakennettaessa tai uudistettaessa. Tarkasteltavassa suunnitelmassa CPP:n avulla lasketut rakenteiden määrät vastaavat tarkasti suunnittelijan arvioimia määriä (liite 3). Suunnittelija on arvioinut keskijännitekaapelin tarpeeksi 78 metriä

ja CPP:llä saadaan arvioksi 80,05 metriä. Kaapeleiden lähes identtisistä pituuksista seuraa myös suunnitelman kustannusarvioiden osuminen hyvin lähelle toisiaan. CPP:llä laskettu kustannusarvio hankkeelle on 48 192,54 € ja suunnittelijan tekemä kustannusarvio on 48 118,64 €. Kustannusarvioiden erot syntyvät kaapelireittien pituuksissa käytettäessä suunnittelijan arvioimia maanrakennuskustannuksia. Vertailua toteutuneisiin kustannuksiin ei voitu tehdä, koska hanke ei ole vielä valmis.

6.5 CPP:n käyttöönoton tuomat muutokset suunnitteluprosessiin

CPP tuo muutoksia eri suunnittelun vaiheisiin. Verkkotietojärjestelmän suunnitelman avaamisen jälkeen avataan kustannusten laskentatyö myös CPP:lle. Tämä tehdään heti työn alussa, jotta CPP osaisi kerätä suunnitelmaan tehdyt muutokset automaattisesti työn kohteiksi kustannusarviota varten. Suunnitelmassa tehtävät muutokset verkkokartalle koostuvat lajien lisäämisestä, muuttamisesta ja poistamisesta. Aiemmin, kun CPP:tä ei ole käytetty, on suunnitelman työstäminen aloitettu heti suunnitelman avaamisen jälkeen.

Mikäli hankkeessa käytetään useampia työnumeroita, kaikki muutokset verkkokartalle voidaan tehdä ensin yhden CPP laskentatyön alle, jolloin suunnittelijan ei tarvitse piirtää suunnitelmaa pienissä osissa. Kun kaikki tarvittavat muutokset on tehty, voidaan avata uusi laskentatyö ja siirtää valitut kohteet toisen työnumeron töiksi (ks. 6.3.1). Siirretyille toimenpiteille määritellään käytettävät toimenpiteet *Kohteen toimenpiteet* -valikon kautta.

Kustannusarviota varten osalle komponenteista määritellään käytettävä toimenpide *Lajin ominaisuustietojen* attribuuttien valintojen avulla, ja osalle valinta tehdään *Kohteen toimenpiteet* -valikon kautta. Lajin toimenpiteiden muuttamista ja päivittämistä on helpotettu ohjelman seuraavassa kehitysversiossa, sillä kehitysversio näyttää *Kohteen toimenpiteet* -valikossa valitun lajin myös verkkokartalla ilman, että käytetään *Näytä vain valitut kohteet* -toimintoa.

Kun CPP:ssä käytetään täydellistä hinnastoa, maanrakennuskustannusten arviointi tehdään CPP:llä Excel-laskentasovelluksen sijaan. Yksikköhintaluettelon yksityiskohtaisista ja tarkoista maanrakennustoimenpiteistä on luotava CPP:tä varten laajempia toimenpidekokonaisuuksia esimerkiksi rakentamisympäristön mukaan, jotta

maanrakennuskustannuksia voitaisiin arvioida CPP:llä. Maanrakennustoimenpiteet joko piirretään verkkokartalle tai sijoitetaan olemassa oleville lajeille, jonka jälkeen ne voidaan laskea hankkeen muiden kustannusten yhteydessä. Suunnitelman valmistuttua hankkeessa käytetyt komponentit ja niiden lukumäärät voidaan siirtää CPP:stä RKJ:hin, jolla vähennetään suunnittelijan manuaalista tiedonsiirtotyötä ja siinä mahdollisesti syntyviä inhimillisiä virheitä.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutustua kaapeloidun jakeluverkon suunnittelemiseen yleisesti ja HSV:n tapauksessa. Lisäksi työssä selvitettiin CPP:n käyttöönoton mahdollisuutta HSV:n hankesuunnittelussa.

CPP:n käyttöönoton selvittäminen alkoi tiedosta, että HSV:llä on käytettävissä verkko-tietojärjestelmään integroitu rakennusprojektien suunnittelu-sovellus (CPP), jonka avulla voitaisiin laskea verkkotietojärjestelmään tehtyjen suunnitelmien kustannusarvioita. Käyttöönoton tavoitteena on vähentää suunnittelijan manuaalista järjestelmien välistä tiedonsiirtoa ja tarjota mahdollisuus eri suunnitelmavaihtoehtojen kustannusten vertailuun. CPP:n käyttöönottoa varten täytyy ratkaista, kuinka

- ohjelman hinnasto toteutetaan.
- toimenpiteiden käyttö ja aktivointi tapahtuu suunnitelmaa piirrettäessä
- johtoreittien pituudet korjataan
- maanrakennuskustannukset huomioidaan
- tiedonsiirto rajapinta luodaan CPP:n ja RKJ:n välille
- CPP:n ja RKJ:n päällekkäiset toiminnot huomioidaan.

Alun perin uuden hinnaston toimenpiteiden valintatapaa pohdittaessa nojattiin siihen olettamaan, että lajeille olisi mahdollista määritellä vapaasti attribuutteja, joihin olisi voitu linkittää halutut hinnaston toimenpiteet. Käyttöönoton edetessä ilmeni, ettei vapaiden attribuuttien hyödyntäminen ollut mahdollista. Samalla selvisi, että *Lajin ominaistieto* -valikosta löytyviä valmiita alasvetovalikoita voitaisiin tarvittaessa hyödyntää toimenpiteiden valitsemisessa.

Alasvetovalikoiden ongelmana ovat lähinnä niiden otsikointi, jota ei voida muuttaa ja joka ei osu yksiin yksikköhintaluettelon toimenpiteiden kanssa. Lajien toimenpiteet voitaisiin linkittää alasvetovalikoihin niiden otsikoista välittämättä, mutta tällöin vaarana on tietojen sotkeentuminen tai niiden täydentämisen unohtaminen. Lisäksi ohjelman myöhemmissä käyttötilanteissa voi aiemmin hyvänä koettu tapa aiheuttaa ongelmia.

Toimenpiteiden huomiointi, valitseminen ja sijoittaminen lajeille lienee viisainta tehdä *Kohteen toimenpiteet* -valikon avulla. Aluksi *Kohteen toimenpiteet* -valikkoa pidettiin hankalana lajien toimenpiteiden valitsemispaikkana, etenkin laajojen hankkeiden yhteydessä, joissa *Kohteen toimenpiteet* -valikossa saattoi olla useita samoja lajeja. Tällaisessa tilanteessa ongelmana oli hahmottaa, missä *Kohteen toimenpiteet* -valikossa valittu laji sijaitsi verkkokartalla. Kohteen sijaintia hahmottamatta oli lähes mahdotonta määrittellä valitulle lajille oikea hinnaston toimenpide.

Kohteen toimenpiteet -valikosta löytyi tällaisia tilanteita helpottava *Näytä vain valitut kohteet* -toiminto, jonka avulla *Kohteen toimenpiteet* -valikossa näkyy ainoastaan verkkokartalta valitut laskentatyön kohteet. Toimintoa voidaan käyttää monella eri tavalla suunnitelmaa tehtäessä, esimerkiksi verkkokartalta voidaan ylimaalata haluttu alue, jolloin toiminto näyttää vain alueelle jäävät laskentatyön kohteet. Toimintoa voidaan käyttää myös yhtä aikaa suunnitelmaa piirrettäessä, jolloin aina viimeksi piirretty komponentti on valittuna *Kohteen toimenpiteet* -valikossa. Lisäksi *Kohteen toimenpiteet* -valikkoa on kehitetty edelleen CPP:n seuraavassa versiopäivityksessä, jossa *Kohteen toimenpiteet* -valikossa valittu laji näkyy valittuna myös verkkokartalla ilman, että käytetään *Näytä vain valitut kohteet* -toimintoa.

HSV:n piirtoteknisistä syistä kaapeleiden johtoreitille aiheutuu tapauskohtaisesti jopa huomattavia virhepituuksia. Virheelliset kaapelipituudet aiheuttavat hankkeen kustannusarvion hienoisen vääristymisen. Nykyään ainoa tapa muuttaa johtoreitin pituutta on joko digitoida johtoreitti uudelleen tai muuttaa tarvittavia kaapelipituuksia RKJ:ssä. Kaapeleiden johto-osion *Mitattu pituus* -kohtaa hyödyntämällä voitaisiin kaapeleiden johtoreittien virheellisiä pituuksia korjata.

Mitattu pituus -kohdan hyödyntäminen tosin vaatisi koko ohjelman koodin kehittämisen lisäksi CPP:n hinnaston osittaisen uudistamisen, sillä kaapeleiden toimenpiteet ovat nykyisessä hinnastossa kohdistettu johto-alkioille. Koska kustannusarviot ovat vain suuntaa antavia ja hankkeen urakoitsija laskuttaa toteutuneiden määrien mukaisesti,

johtoreitin pituuden korjaaminen ei välttämättä ole ratkaisevassa asemassa ohjelman käyttöönoton kannalta.

Maanrakennuskustannusten arviointia varten tulisi linjata, kuinka maanrakennustoimenpiteet huomioidaan suunnitelman kustannusarviota tehtäessä. Maanrakennustoimenpiteet voidaan sijoittaa joko jo olemassa olevien lajien yhteyteen tai niitä varten luotaville uusille maanrakennuslajeille.

CPP:n avulla halutaan vähentää suunnittelijan tekemää manuaalista tiedonsiirtotyötä eri järjestelmien välillä. Manuaalista tiedonsiirtoa voitaisiin vähentää, kun hankkeessa tarvittavat toimenpiteet ja niiden määrät voitaisiin siirtää suoraan CPP:stä RKJ:hin yksinkertaisesti, sillä RKJ osaa hakea valitusta hinnastosta kustannustiedot siirretyille rakenteille toimenpidekoodien ja määrien perusteella.

CPP:n ja RKJ:n välistä tiedonsiirto mahdollisuutta tutkittaessa ilmeni, että CPP:n ja Headpowerin välinen tiedonsiirtorajapinta on toimintaperiaatteeltaan lähes vastaava HSV:n tarpeen kanssa. Tiedonsiirtorajapinnan mahdollisen hienosäätämisen lisäksi RKJ:hin tulisi luoda tiedonsiirtopainike, jonka avulla siirtotiedostoon ajettut tiedot saataisiin siirrettyä RKJ:hin.

Nykytilanteessa CPP mahdollistaa kustannusarvion tekemisen suppeassa laajuudessa, sillä ohjelmaan tutustuessa siihen luotiin testihinnasto, joka sisältää suunnittelussa yleisimpien lajien yleisimmät yksikköhintaluettelon toimenpiteet. Lisäksi ohjelmasta saadaan tarvittaessa siirrettyä toimenpidekoodit ja määrät RKJ:hin, mutta kyseinen tiedonsiirto-operaatio on hieman hankala ja työläs.

Tulevaisuudessa CPP:n käyttöönottoa ja kehittämistä tulisi jatkaa, mikäli se halutaan ottaa laajemmassa mittakaavassa tehokkaaseen käyttöön. Ennen CPP:n täysipainoista käyttöönottoa siihen on luotava uusi hinnasto. Uuden hinnaston lisäksi CPP:n ja RKJ:n välillä tulisi olla mahdollisuus yksinkertaiseen tiedonsiirtoon.

Uuden hinnaston olisi hyvä sisältää kaikki verkon suunnittelussa ja rakennuttamisessa käytetyt yksikköhinnaston mukaiset toimenpiteet. Sähköverkon suunnitteluinsinöörin kanssa läpi käytiin HSV:n yksikköhintaluettelo, jonka pohjalta luodaan CPP:n uusi hinnasto CPP Editor -pääkäyttäjätyökalun avulla. Työn yhteydessä määritelty uusi hinnasto ei kuitenkaan sisällä maanrakennustoimenpiteitä, sillä yksikköhintaluettelon

maanrakennustoimenpiteistä osa on erittäin yksityiskohtaisia ja hankalasti määriteltäviä. Maanrakennustoimenpiteistä tulisi muodostaa laajempia toimenpidekokonaisuuksia, jotta niiden huomiointi CPP:n avulla olisi mahdollista. Maanrakennuskustannusten arviointi mahdollisuuden puuttuminen ei ole este ohjelman käyttöönottamiselle, sillä hinnastoa voitaisiin myöhemmin kehittää.

Uuden hinnaston luomisen jälkeen CPP kannattaisi ottaa muutamalle suunnittelijalle testattavaksi. Testaaajilta saadun palautteen, käytössä mahdollisesti havaittujen ongelmien ja kehitysehdotusten perusteella ohjelmaa voitaisiin jatkokehittää HSV:n haluamaan suuntaan.

Lähteet

- 1 Helsingin Energian liiketoimintaorganisaatio. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <<http://www.helen.fi/yritys/organisaatio.htm>> Luettu 16.1.2013
- 2 Helsingin Energian vuosikertomus 2006. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://www.helen.fi/vuosi2006/print/Helsingin_Energia_vuosikertomus_PDF.pdf> Luettu 3.1.2013
- 3 Helsingin Energian vuosikertomus 2012. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://helen.fi/pdf/Vuosikertomus_2012.pdf> Luettu 12.3.2013
- 4 Helen Sähköverkko Oy. 2012. Helen Sähköverkko Oy:n yrityseshittely 31.3.2012. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 5 Lakervi, Erkki. 1996 Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Helsinki: Otatieta Oy.
- 6 Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. 2012. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieta Oy.
- 7 Suomen standardisoimisliitto SFS. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet (SFS-EN50160). Verkkodokumentti. <www.sfs.fi> Luettu 17.1.2013
- 8 Suomen standardisoimisliitto SFS. 2012. Pienjännitesähköasennukset osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen, Johtojärjestelmät (SFS 6000-5-52). Verkkodokumentti. <www.sfs.fi> Luettu 17.1.2013
- 9 Sähköenergialiitto ry. 2008. SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Verkostosuositus. Helsinki: Adato Energia Oy
- 10 Helen Sähköverkko Oy. 2010. Verkkomuistio: Muuntamot. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 11 Energiainkkinavirasto. 2010. Nykyisen valvontamallin toimivuuden ja ohjausvaikutusten arviointi. Tutkimusraportti. <http://www.emvi.fi/files/LUT_EMV_road_mapRaportti_Final.pdf> Luettu 21.2.2013
- 12 Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieta Oy.
- 13 Sähköenergialiitto ry. 1999. RA 1:99 Kaapelien ja riippujohtojen suosituspöikkipinnat. Verkostosuositus. Helsinki: Adato Energia Oy

- 14 Energiateollisuus ry. 2010. Sähkön toimitusvarmuus 2030. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_toimitusvarmuus_2030_suositus_2010_0827_0.pdf> Luettu 4.2.2013
- 15 Sähköenergialiitto ry. 1993. RA 1:93 Kaapelien sijoittaminen maahan. Verkostosuositus. Helsinki: Adato Energia Oy
- 16 Helen Sähköverkko Oy. 2011. PTS tiivistelmä 26.5.2011. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 17 PSK - Aikuisopisto, 2008. Hankesuunnittelun itseopiskelumateriaali. Verkkodokumentti. < http://homer.psk.fi/makevi/Dokumentit/maaske_280808_korj.swf> Luettu 28.1.2013
- 18 Helen Sähköverkko Oy. 2005. Suunnittelu ohje 1350 31.1.2005. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 19 Helen Sähköverkko Oy. 2011. Keskijänniteverkon yleissuunnitteluprosessi. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 20 Helen Sähköverkko Oy. 2011. Jakeluverkon elinkaarisuunnittelu teksti. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 21 Helen Sähköverkko Oy. 2012. Prosessikuvaus hankesuunnittelu teksti v4. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 22 Sähköverkon suunnittelijoiden haastattelut työpaikalla aikavälillä 6.2. - 31.5.2013
- 23 Helen Sähköverkko Oy. 2010. Sähköverkon suunnittelu- ja käyttövarmuusperiaatteet. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu
- 24 Helen Sähköverkko Oy. 2010. Verkkomuistio: Keskijänniteverkko. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 25 Helen Sähköverkko Oy. 2012. Sähkön laatu ja sen hallinta HSV verkossa. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 26 Helen Sähköverkko Oy. 2012. Jakeluverkon uudistamisperiaatteet. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 27 Helen Sähköverkko Oy. 2010. Verkkomuistio: Pienjänniteverkko. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 28 Tekla Oy. 2013. Tekla DMS. Verkkosivu. <<http://www.tekla.com/fi/solutions/infrastructure-energy/energy-distribution/Pages/tekla-dms.aspx>> Luettu 7.1.2013

- 29 Tekla Oy. 2011. Tekla NIS Käyttäjän käsikirja. Ohje.
- 30 Bitmill Oy. Exact - Rakennuttamisjärjestelmän käyttöohje.

Esimerkki lajeittain jaotellusta yksikköhintaluettelosta

Keskijännitemaakaapeleiden yksikköhintaluettelon mukaiset toimenpiteet lajiteltuna verkkotietojärjestelmän lajeille.

| Keskijännitemaakaapelityöt | | | | | | Valintapa sarakkeen selitteet: Dialogi = Kohteen toimenpiteet -valikko; Attribuutti = Alasvetovalikosta valittava. | | |
|----------------------------|------------------------|-------------|---|------|-----------|--|------------------|---|
| Laji | Lajin selite | Komponentti | Selite | Yks. | Yks.hinta | Valintatapa | Oletustoimenpide | Huomautukset |
| 1550 | AXW 240 AHXAMK-W 3x240 | V2000 | Kaapelin asennus, AHXAMK-W | m | * | Dialogi | Kyllä | |
| | | V2010 | Edellinen ilman materiaalia | m | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V2011 | Edellinen ilman kaapelivetoa | m | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V8010 | Kaapelin kartoitus ja dokumentointi | m | * | Dialogi | Kyllä | |
| | | V8020 | Putken kartoitus ja dokumentointi | m | * | Dialogi | Ei | |
| 1579 | AHXAMK-WM 3x120 (K) | V2040 | Kaapelin asennus maahan, AHXAMK-WM | m | * | Dialogi | Kyllä | |
| | | V2050 | Edellinen ilman materiaalia | m | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V2051 | Edellinen ilman kaapelivetoa | m | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V8010 | Kaapelin kartoitus ja dokumentointi | m | * | Dialogi | Kyllä | |
| | | V8020 | Putken kartoitus ja dokumentointi | m | * | Dialogi | Ei | |
| 1580 | AHXAMK-WM 3x120 (J) | V2060 | Kaapelin asennus pylvääseen, AHXAMK-WM | m | * | Dialogi | Kyllä | |
| | | V2070 | Edellinen ilman materiaalia | m | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| 230 | Sj-maadoituselektrodi | V2020 | Erillinen Cu 70 veto, kytkennät ja jatkamiset | m | * | Dialogi | Kyllä | Yksiköksi metrien sijaan kappale (koska kyseessä pistemäinen laji) ja oletusarvoksi 55 m(kpl), mikäli mahdollista. |
| | | V2030 | Erillinen pystymaadoituksen asentaminen | kpl | * | Attribuutti/Dialogi | Ei | Attribuutti (Esimerkiksi rakenne) |
| | | V8060 | Maadoituksen dokumentointi | m | * | Dialogi | Kyllä | Yksiköksi metrien sijaan kappale (koska kyseessä pistemäinen laji) ja oletusarvoksi 55 m (kpl), mikäli mahdollista. |
| 250 | Sj-kaapelijatkos | V2100 | Jatkos muovieristeiset kaapelit | kpl | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V2120 | Muovi-paperi ja paperi-paperi sekajatkos | kpl | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V8030 | Jatkoksen kartoitus ja dokumentointi | kpl | * | Dialogi | Kyllä | |
| 129 | Sj-pääte | V2300 | Kojeistopääte | kpl | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |
| | | V2320 | Kojeistopääte kulmapistokkeilla | kpl | * | Attribuutti?/Dialogi | Ei | |

* = Salassa pidettävä

Pienjännitesuunnitelman kustannusten vertailu

Hakaniemenrannan pj-suunnitelman kustannusarvioiden ja hankkeen toteutuneiden kustannusten vertailu.

| Koodi | Toimenpide | CPP:llä laskettu kustannusarvio | | | Suunnittelijan kustannusarvio rakennuttamisjärjestelmässä | | | Toteutuneet kustannukset | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------|--------------------|---|---------|--------------------|--------------------------|---------|-------------------|
| | | Määrä | Yksikkö | Hinta yhteensä | Määrä | Yksikkö | Hinta yhteensä | Määrä | Yksikkö | Hinta yhteensä |
| V0000 | Perusyksikkö | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V4020 | Pj-kaapelin asennus 4x35S | 148,80 | m | * | 120,00 | m | * | 140,00 | m | * |
| V4030 | Pj-kaapelin asennus 4x70S | 11,20 | m | * | 20,00 | m | * | 20,00 | m | * |
| V4040 | Pj-kaapelin asennus 4x185S | 41,80 | m | * | 20,00 | m | * | 40,00 | m | * |
| V4200 | Pääte AXMK 4x16-35S (sulakkeilla) | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V4210 | Pääte AXMK 4x70S (sulakkeilla) | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V4220 | Pääte AXMK 4x185S (sulakkeilla) | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V4440 | Sekajatkos AXMK 16-35 | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V4460 | Sekajatkos AXMK185 | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V5015 | Jakokaappi 6x400 (ei jonovarokeytkimiä) | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V5300 | Kabeldon, Triax ym. 160A asennus | 3,00 | kpl | * | 3,00 | kpl | * | 3,00 | kpl | * |
| V5310 | Kabeldon, Triax ym. 400A asennus | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V8000 | Perusyksikkö kartoitus | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V8010 | Kaapelin kartoitus ja dokumentointi | 201,80 | m | * | 160,00 | m | * | 200,00 | m | * |
| V8020 | Putken kartoitus ja dokumentointi | 201,80 | m | * | 150,00 | m | * | 144,00 | m | * |
| V8030 | Jatkoksen kartoitus ja dokumentointi | 3,00 | kpl | * | 3,00 | kpl | * | 3,00 | kpl | * |
| V8040 | JK:n tai mmo:n kartoitus ja dokumentointi | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| M9999 | Maanrakennus kustannusarvio | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * | - | - | - |
| Mxxxx | Toteutuneet maanrakennuskustannukset | - | - | - | - | - | - | - | - | * |
| Hankkeen kustannukset yhteensä | | | | 11 816,38 € | | | 11 518,78 € | | | 9 569,49 € |

* = Salassa pidettävä

Keskijännitesuunnitelman kustannusten vertailu

Muuntamon 2377 uudistamistyömaan kustannusarvioiden vertailu.

| Koodi | Toimenpide | CPP:llä laskettu kustannusarvio | | | Suunnittelijan kustannusarvio rakennuttamisjärjestelmässä | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------|--------------------|---|---------|--------------------|
| | | Määrä | Yksikkö | Hinta yhteensä | Määrä | Yksikkö | Hinta yhteensä |
| V0000 | Perusyksikkö | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V2000 | Kaapelin asennus maahan, AHXAMK-W | 80,05 | m | * | 78,00 | m | * |
| V2120 | Muovi-Paperi ja Paperi-Paperi Sekajatkos | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V2320 | Kojeistopääte kulmapistokkeilla | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V3100 | Kiinteistömuuntamo 1000 kVA, uudistaminen | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V3300 | Kiinteistömuuntamon purkaminen | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V8010 | Kaapelin kartoitus ja dokumentointi | 80,05 | m | * | 70,00 | m | * |
| V8020 | Putken kartoitus ja dokumentointi | 80,05 | m | * | 70,00 | m | * |
| V8030 | Jatkoksen kartoitus ja dokumentointi | 2,00 | kpl | * | 2,00 | kpl | * |
| V9993 | Muuntaja 800kVA | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V9995 | Pj-taulu | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| V9996 | KJ-koneisto 2 kennoa | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| M9999 | Maanrakennus kustannusarvio | 1,00 | kpl | * | 1,00 | kpl | * |
| Hankkeen kustannukset yhteensä | | | | 48 192,54 € | | | 48 118,64 € |

* = Salassa pidettävä