



Topias Luukkonen

# Suunnitelman tarkastaminen verk- kotietojärjestelmässä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

8.4.2024

# Tiivistelmä

Tekijä: Topias Luukkonen  
Otsikko: Suunnitelman tarkastaminen verkkotietojärjestelmässä  
Sivumäärä: 61 sivua  
Aika: 8.4.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Jakeluverkkopäällikkö Sauli Nieminen  
Tutkimuspäällikkö Pirjo Heine

Lehtori Tuomo Heikkinen

---

Opinnäytetyössä käsitellään Helen Sähköverkko Oy:n jakeluverkon pien- ja keskijänniteprojektien verkkotietojärjestelmään laaditun suunnitelman tarkastamista. Suunnitelmia tarkastetaan projektin toteutuksen aikaan nykyisessä toimintamallissa tehosteasti verkkotietojärjestelmän avulla.

Työn tavoitteena on laajan työohjeen laatiminen kaupunkisähköverkkoyhtiön projektipäällikölle toimimaan nykyisen toimintamallin ja periaatteiden mukaisesti. Työohjeen on tarkoitus toimia myös perehdyttävänä materiaalina uudelle työntekijälle. Neljään osakokonaisuuteen jaetussa työohjeessa keskitytään ensin yleisellä tasolla teoriapohjaisesti sähköisen mitoituksen riittävyden tarkastamiseen, verkkotiedon oikeellisuuden näkökulmasta suunnitteluperiaatteiden mukaisen rakennustavan noudattamiseen ja talousmielessä projektin investointitehokkuuden tarkasteluun uuden ja vanhan valvontamallin mukaisesti.

Lopuksi käsitellään tarkemmin projektipäällikön käytettävissä olevia verkkotietojärjestelmän sisäisiä työkaluja ja niiden käyttöön liittyviä työtehtäviä. Tarkoitus on rajata myös sähköverkon dokumentointia suorittavien toimihenkilöiden työnkuvaa erilleen projektinhallinnasta, jotta päällekkäiset työvaiheet minimoitaisiin. Yrityksen nykyisen organisaatorakenteen mukaan projektipäälliköt ja verkkoa dokumentoivat projektiasiantuntijat tekevät tiiviimpää yhteistyötä kuin aikaisemmin.

Lopputuloksena työstä saatiin kattava raportti siitä, miten suunnitelman tarkastamista toteutetaan. Opinnäytetyön tuotoksena yritykselle tehtiin sisäinen työohje kertomaan tarkemmin tarkastamisen työvaiheista. Opinnäytetyön tuloksissa perehdytään myös kehitysideoihin sellaisiin tulevaisuuden tarpeisiin, joita nykymenetelmillä ei pystytä toteuttamaan projektinhallinnassa tehokkaasti.

Avainsanat: verkkotietojärjestelmä, projektipäällikkö, suunnitelma

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Topias Luukkonen  
Title: Inspection of a Project Plan in Network Information System  
Number of Pages: 61 pages  
Date: 8 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Power Engineering  
Supervisors: Sauli Nieminen, Local Network Manager  
Pirjo Heine, Research Manager

Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer

---

Composing an inclusive instruction for a project manager working in a metropolitan electricity network company guides to perform in line with the current principles, and to function as an introductory material for possible new employees.

The thesis examines the inspection process of a low and medium voltage distribution network project plan inside a Network Information System (NIS). The thesis work was assigned by the local electricity network company Helen Electricity Network Ltd in Helsinki, Finland. Project plans from now onwards are inspected more intensely during the project implementation.

Thesis presents the key matters and factors to consider, while inspecting the plan in general. The theory section examines electrical measurements to maintain standardized electrical quantities all over the distribution network. Accuracy of the data inside a NIS is examined by observing the structure of already existing network inside the software. Also the investment efficiency of a project is examined.

At the end, thesis considers what the best tools for project management are and how to prevent double checking between a project manager and a project specialist. These two authorized staff members of the company are proposed to cooperate more closely with each other's in the future.

As a result, the inspection instructions were composed along with a separate, classified document, which is to be used only by the local network company. The classified document is designed to be used as a step-by-step guide for the project managers to increase system knowledge.

Keywords: Network Information System, project manager, project plan

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Sähköisen mitoituksen tarkastaminen	4
2.1	Kaapeleiden johtotunnukset ja poikkipinnat	5
2.2	Muuntajien ja kaapeleiden kuormitusasteet	9
2.3	Oikosulkuvirrat	17
2.4	Sulakesuojaus ja selektiivisyys	21
2.5	Jännitteenalenema	24
3	Suunnitteluperiaatteiden mukaisen rakennustavan tarkastaminen	25
3.1	Kaivureitit ja kaapeliojat	26
3.2	Asfaltoinnin katuluokat	29
3.3	Verkkokomponenttien sijoitus kartalle	31
3.4	Suunnitelman revisiointi	32
3.5	Korostukset suunnitelmassa	32
3.6	Verkkotopologia	33
3.7	Päästölaskenta	35
4	Investointitehokkuuden tarkastaminen	36
4.1	Regulaatiomallin investointitehokkuus	36
4.2	Uuden valvontamallin muutokset	41
4.3	Verkonrakennuskumppanin kustannukset	43
4.4	Yhtiön omat laitehankinnat	44
5	Projektipäällikön tehtävät ja työkalut suunnitelman eri vaiheissa	47
5.1	Suunnitelman vastaanottovaihe	48
5.2	Toteutuksen aikainen tarkastaminen	49
5.3	Loppudokumentointi	52
5.4	Projektiasiantuntijoiden vastuualue dokumentoinnissa	53
6	Sisäisen työohjeen tekeminen	54
7	Yhteenveto	55
	Lähteet	58

## Lyhenteet ja käsitteet

- AMR: *Automatic Meter Reading*. Automaattinen mittarinluenta. Etäyhteydellä automatisoitu tiedonsiirtomenetelmä sähkömittareiden kulutus-tiedoista.
- CAPEX: *Capital Expenditure*. Investointikustannukset. Projektin kokonaisvaltainen yritykselle koituva pääomameno investoinnista.
- DMS: *Distribution Management System*. Sähkönjakelun hallintajärjestelmä. Tietojärjestelmä, jota käytetään sähköverkon kytkentätilan aktiiviseen seurantaan ja vianpaikannukseen.
- IEC: *International Electrotechnical Commission*. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
- JHA: *Jälleenhankinta-arvo*. Verkko-omaisuudelle laskettu arvo, jos vastaava omaisuus hankittaisiin uutena arviointihetkellä.
- KJ: *Keskijännite*. Sähkönjakeluverkon keskimäinen jännitetaso, joka käsittää jännitteen tehollisarvoltaan 1–36 kilovoltin sähköverkon.
- NIM: *Network Investment Management*. Verkon investointien hallinta. Suunnitelmalle tehtävä laskenta investointien kannattavuudesta ja vaadittavista resursseista.
- NIS: *Network Information System*. Verkkotietojärjestelmä. Karttapohjainen tietojärjestelmä, jonka tietokantaan on tallennettu verkkoyhtiön sähköverkko ja jota käytetään sähköverkon suunnitteluun sekä projektinhallintaan.
- NKA: *Nykykäyttöarvo*. Vanhan käytössä olevan omaisuuden arviointihetkellä laskelmoitu ikävähennetty arvo.

- PJ: *Pienjännite.* Sähkönjakeluverkon alin jännitetaso, joka käsittää jännitteen tehollisarvoltaan alle yhden kilovoltin sähköverkon.
- PTS: *Pitkän tähtäimen suunnitelma.* Jakeluverkkoon investoitavan omaehtoisen projektin suunnitelmamalli, jolla tavoitellaan investoinnin kannattavuutta, tuottoa ja verkko-omaisuuden kasvua pitkällä aikavälillä.
- SFS: *Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.* Suomalainen standardisointiin ja sertifiointiin liittyvä organisaatio, joka vastaa muun muassa suomalaisista sähkötekniikan standardeista.
- SLY: *Suomen Sähkölaitosyhdistys ry.* Sähköä jakavien ja tuottavien toimijoiden yhteistyö- ja etujärjestö.
- YKT: *Yhteinen kunnallistekninen työmaa.* Työmaamuoto, jossa useat eri kunnallistekniikan tahot rakentavat infrastruktuuria, kuten vesihuoltoa, sähköverkkoa ja liikennejärjestelmiä yhteistyössä.

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käsitellään verkkotietojärjestelmällä luodun sähkönjakeluverkon rakennussuunnitelman tarkastamisen vaiheita ja sitä, mihin kaikkiin tarvittaviin asioihin tulee kiinnittää huomiota. Verkkotiedon oikeellisuus täytyy pystyä varmistamaan verkkotietojärjestelmän avulla, ja sieltä tulee löytyä sähköverkon komponenttien tietyt attribuutit manuaalisesti lisättyinä. Varsinkin sähkötekniisten ja fyysisten ominaisuuksien tulee olla suunnitelmalle täytettynä, koska ne vaikuttavat komponentin yksikön luokitteluun Energiaviraston julkaiseman yksikköhintataulukon mukaisesti.

Sähköjakeluverkon tietojenkäsittelyä ryhdyttiin tekemään 1960-luvulla laiterekisterien muodossa. Kun laiterekisteriä täydennettiin johto-osien toisiinsa kytkytymisen muodossa, yhdistettiin sähkötekniiset tietokannat toisiinsa mahdollistaen muun muassa tehonjako- ja oikosulkuvirtalaskelmia. Nykyiset verkkotietojärjestelmät ovat tietokantaperustaisia karttapohjaisen grafiikan omaavia järjestelmiä. [1, s. 265.] Trimble NIS (Network Information System) -verkkotietojärjestelmää on käytetty yrityksessä 1990-luvun alusta lähtien. Osa tietokantaan tallennetusta vanhasta sähköverkosta on edelleen peräisin liki 30 vuoden takaa. Järjestelmällä suoritettavan sähköverkon dokumentoinnin oikeellisuuden merkitys on kasvanut suuresti vuosien varrella.

Kaikki verkkotietojärjestelmään laaditut suunnitelmat ja niiden mukana kartalle siirtyvät kaapelointimetrit ja laitteistojen lukumäärät raportoidaan vuosittain Energiavirastolle, jonka yksikköhintataulukon mukaan sähköverkolle voidaan laskea arvo. Raportointi Energiavirastolle suoritetaan Trimble NISin massalaskentana, eli järjestelmä laskee kaikki kuluneen vuoden aikana käyttöönotetut sähköverkon osat ja yksilöi ne täytettyjen attribuuttien avulla tiettyyn kategoriaan yksikköhintataulukossa. Massalaskennan avulla suoritetaan myös kuluneen vuoden aikana syntyneitä hiilidioksidipäästöjä kartoittavaa päästölaskentaa.

Verkkojärjestelmän tietokantoja on kaksi. Master-tietokanta sisältää reaaliaikaisen karttanäkymän verkon kytkentätilanteesta. Suunnitelma-tietokanta on

projektikohtainen, väliaikainen tietokanta, johon kirjataan vain suunnitelman sisällä tapahtuvat muutokset. Tietokannat yhdistetään projektiin valmistuessa, jolloin suunnitelmalla tapahtuvat muutokset verkkoon tallentuvat Master-tietokantaan. Tietokantojen sisällä karttanäkymä on jaettu useaan karttatasoon. Karttatasoilla on jaoteltu järjestelmään tallennettu sähköverkko jännitetasoittain. Käytössä olevia karttatasoja on pienjännite (pj), keskijännite (kj), suurjännite (sj) ja erillinen kaapelioiden karttataso. [2.]

Verkkotietojärjestelmään laaditut suunnitelmat on toteutettu Helen Sähköverkon ja verkonrakennuskumppanin sopimien suunnitteluperiaatteiden mukaisesti. Nämä periaatteet koskevat laajuudeltaan kaikkia jakeluverkolla tehtäviä projekteja pienjänniteverkosta 110 kilovoltin suurjänniteverkon johtotöihin ja sähköasemaprojekteihin. Projektit voidaan luokitella neljään eri kategoriaan:

- asiakaslähtöiset projektit
- yhteistyöprojektit
- omaehtoiset projektit
- muuntamoiden uudistamisprojektit.

Asiakaslähtöiset projektit koostuvat asiakkaiden tilaamista töistä, joita ovat muun muassa uudet sähköliittymät ja johtosiirrot. Yhteistyöprojekteja ovat YKT-projektit ja aluesuunnitelman mukainen aluerakentaminen. Omaehtoiset projektit ovat yhtiön omia investointeja sähköverkkoon. Näitä investointeja toteutetaan PTS-projekteina (pitkän tähtäimen suunnitelma) sekä topologiamuutoksina, joissa kj-verkon kytkentätilannetta muutetaan. [3, s. 1.]

Trimblen verkkotietojärjestelmästä (NIS) on luotu sähköverkon suunnitteluohje osana Helen Sähköverkon ja verkonrakennuskumppanin hankintaohjelmaa. Kyseistä dokumentointiohjetta käytetään paljolti tämän opinnäytetyön pohjana, mutta tässä työssä keskitytään suunnittelu- ja dokumentointiohjeen mukaisen suunnittelun tarkastamiseen. Yrityksen sisällä on valmistumassa myös toinen uusi työohje, dokumentoinnin käsikirja. Kyseinen työohje on tulossa käyttöön projektiasiantuntijoille, jotka vastaavat työssään enemmän verkkotiedon dokumentoinnin oikeellisuudesta.



Suunnitelman tarkastaminen voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: sähköisen mitoituksen tarkastaminen, suunnitteluperiaatteiden mukaisen rakennustavan tarkastaminen ja investointitehokkuuden tarkastaminen. Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään vain verkkotietojärjestelmällä tehtävää kj- ja pj-verkon suunnitelmien tarkastamista, joka on yksi projektipäällikön nykyisen toimenkuvan työtoimenpiteistä. Muiden järjestelmien, kuten toiminnanohjausjärjestelmän tai sijaintikarttapalvelun, käyttämistä osana projektipäällikön jokapäiväistä työnkuvaa ei ole tässä opinnäytetyössä noteerattu.

Opinnäytetyö on tehty Helen Sähköverkko Oy:n toimeksiantamana. Opinnäytetyön tuotoksena tehtävän sisäisen työohjeen on tarkoitus toimia tarkastustyökäluna projektipäälliköille. Työohjetta olisi tarkoitus tulevaisuudessa käyttää myös perehdytysmateriaalina uusille toimihenkilöille. Tarve kattavalle tekstimuodossa toteutetulle työohjeelle on ajankohtainen. Yrityksellä ei ole aiheesta olemassa olevaa työohjetta. Lisäksi projektipäälliköiden toimenkuvaan tuli muutos syksyllä 2023. Osana digitaalista edelläkävijyyttä suunnitelmien tarkastaminen verkkotietojärjestelmän avulla priorisoitiin, jotta raportointi Energiaviraston suuntaan rakennetusta verkosta olisi tarkempaa.

Tämä opinnäytetyö tehtiin kahden eri Energiaviraston kohtuullisen hinnoittelun valvontamenetelmiin ja oikeuskäytäntöihin perustuvan valvontamallin aikana. Energiavirasto julkaisi kuudennella ja seitsemännellä valvontajaksolla käytettävät valvontamenetelmät loppuvuodesta 2023, ja uusi nelivuotinen valvontamalli astui voimaan kesken opinnäytetyön kirjoittamisen 1.1.2024. Uuden valvontamallin tuomia muutoksia käsitellään opinnäytetyössä niin kuin ne ovat olleet lukuhetkellä ennen markkinaoikeuden päätöstä lukuisten sähköverkkoyhtiöiden tekemistä valituksista [4].

Yrityksen käyttämä toiminnanohjausjärjestelmä tulee vaihtumaan pian tämän opinnäytetyön valmistumisen jälkeen vuoden 2024 aikana. Uusi toiminnanohjausjärjestelmä tulee integroitumaan paremmin Trimble NISin verkkotietojärjestelmän ominaisuuksien kanssa. Mahdolliset toimenkuvalliset muutokset vaikuttavat lähinnä opinnäytetyön tuotoksena tehtävään sisäiseen työohjeeseen, jota

tullaan uuden järjestelmän käyttöönoton päivittämään yritykselle tarvittaessa opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

## 2 Sähköisen mitoituksen tarkastaminen

Verkkotietojärjestelmään dokumentoidaan sähköverkon tekniset suunnitelmat. Järjestelmän laskentatyökaluilla tarkastetaan suunnittelukriteerien täyttyminen. Toimintaympäristö ja yhtiön omat määrittelyt voivat tuoda suunnittelukriteereihin standardeja ja määräyksiä tiukempia vaatimuksia. Helen Sähköverkon toiminta-alueella Helsingissä on yhteiskunnallisesti isoja, tärkeitä ja kriittisiä palveluita, kuten virastotaloja, erikoissairaaloita, päätoimistoja, suurlähetystöjä ja suuria asuinalueita. Tiiviissä kaupunkiympäristössä käytännössä koko sähkönjakeluverkko on maakaapeloitu muutamia vaikeita ympäristöjä lukuun ottamatta. Suunnitteluperiaatteissa on asetettu esimerkiksi toimitusvarmuudelle ja jännitteenalenemalle tiukempia raja-arvoja. Yhtiöllä on sähkömarkkinalakia tiukemat periaatteet verkon toimintavarmuudesta sen normaalissa käyttötilanteessa. [5; 6, s. 3.]

Parhailaan menossa olevassa energiasiirtymässä jakeluverkkoon tulee uutena muiden muassa pientuotantoa ja sähköistyvää liikennettä. Tämä murros tuo mukanaan kehitystarpeita myös suunnittelun periaatteisiin. [5.] Sähköverkon sähköinen mitoitus riittävän vahvaksi jakeluverkoksi varsinkin projektin toteutuksen aikana tulevista muutoksista tulee varmistaa Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän omalla verkostolaskennan työkalulla. Laskennan tuloksista tulostuu kattava raportti, jonka dataa hyödyntämällä voidaan selvittää, mitkä osat suunnittelusta sähköverkosta tulee tarkastella uudestaan asetettujen vaatimusten täyttämiseksi.

Sähköisen mitoituksen tarkastaminen on ensiarvoisen tärkeä vaihe, jossa tarkistetaan

- kaapeleiden johtotunnukset ja poikkipinnat
- jakelumuuntajien ja kaapeleiden kuormitusasteet

- suhteelliset oikosulkuvirtojen suuruudet jokaiselle sulakesuojatulle runko- ja liittymäjohdolle
- pienjänniteverkon sulakesuojaus ja selektiivisyys
- asiakkaan liittymäpisteen jännitteenalenema.

## 2.1 Kaapeleiden johtotunnukset ja poikkipinnat

Sähköisen mitoituksen tarkastamisessa maakaapelit ovat tärkeä komponenttiryhmä. Verkkotietojärjestelmään dokumentoiduista kaapeleista tarkastetaan johtotunnukset, ja näistä selviävät samalla myös maakaapelien perustiedot. Verkkokartalle dokumentoiduissa johdoissa käytetään johtotunnuksia, jotka koostuvat järjestysnumerosta, johtotyypin lyhenteestä ja poikkipinta-alan suuruudesta. Mahdollinen sulkujen sisään merkitty lisämerkintä johtotunnuksen perässä indikoi esimerkiksi sen asennusvuotta tai johdon olevan asiakkaan omaisuutta. Johtotunnuksilla selkeytetään verkkokartan lukua. Järjestysnumeroita käytetään kaikissa keskijännitekaapeleissa ja pienjänniteverkon runkokaapeleissa.

Järjestysnumero tulee johtotunnuksen alkuun, ja juokseva numerointi rajataan yhteen muunto- tai sähköasemapiiriin kuuluville johtolähdöille. Järjestysnumeroilla selvennetään saman muunto- tai sähköasemapiirin rinnakkaislähtöjä ja erotellaan toisistaan eri muuntopiiriin kuuluvien muuntajalähtöjen johtoja toisistaan verkkokartalla. Myös yksittäisillä johdoilla tulee olla järjestysnumero, koska rinnakkaisten kaapelien määrä voi lisääntyä jälkeinpäin. Verkkotietojärjestelmään luodusta suunnitelmasta tulee tarkastaa, että uusille kaapeleille on otettu käyttöön vapaana oleva järjestysnumero ja olemassa olevia kaapeleita korvattaessa tai niihin liittyessä jatketaan vanhaa järjestysnumerointia. [7, s. 13–14.]

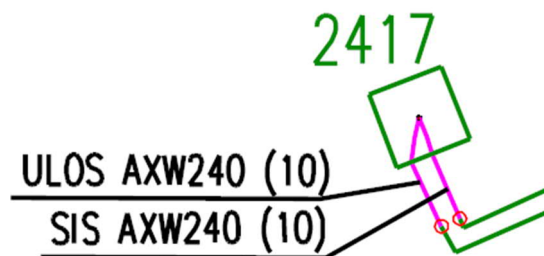
Jokaiseen liittymisjohdon johtotunnukseen tulee merkitä kaapelin poikkipinta-ala, mutta pienjänniteverkon runkojohtojen kohdalla poikkipinta-ala jätetään pois. Tämä selkeyttää verkkokartan lukua, sillä sähköverkon suunnitteluperiaatteiden mukaan runkoverkon kaapelin johdinten poikkipinta-ala on yleensä sama. [7, s. 13–14.] Kj-verkossa verkkokartalle runkojohdolle tulee merkitä

järjestysnumero, johtotyyppin lyhenne, poikkipinta-ala sekä sulkeisiin lisämerkintänä asennusvuosi kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Esimerkki keskijännitteen kj-runkokaapelin johtotunnuksista.

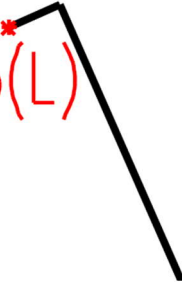
Muuntamoon saapuviin ja lähteviin kj-kaapeleihin merkitään SIS- (sisään) ja ULOS-merkinnät, jotta verkkokartalta pystytään seuraamaan, kumpaan suuntaan sähköasemalta tuleva runkojohto syöttää normaalitilanteessa. Tämä dokumentointitapa on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Muuntamolle menevien keskijännitekaapelien johtotunnukset.

Pienjänniteverkon kaapeleiden dokumentointitapa on hyvin samankaltainen. Kuvassa 3 on esitetty pienjännitteisen liittymisjohdon johtotunnuksien merkinnät. Lisämerkintä (L) kuvastaa kaapelin kuuluvan asiakkaan omistukseen.

1.AXM185(L)



Kuva 3. Pienjänniteverkon liittymiskaapelin johtotunnukset.

Taulukossa 1 on esitetty yleisimmät Helsingin jakeluverkossa käytössä olevat keskijännitetyypit ja niiden ominaisuuksia. Verkkoalueella sijaitsevat kuparijohtimella varustetut johdot ovat hyvin vanhoja ja lähellä pitoajan täyttymistä.

Taulukko 1. Keskijänniteverkossa käytettyjen johtotyyppien ominaisuuksia [7, s. 14; 8, s. 12].

Johtotyyppi	Yleisimmät poikkipinta-alat	Tunnus verkkokartalla	Kaapelin materiaalit
AHXAMK-W	240, 300	AXW	alumiinijohdin, hohtosuojattu, vulkanoitu polyeteeni, alumiinivaippa, muovieriste, kupariköysi
APYAKMM (APY-AKMT)	185, 240	APY, APYAKMM, APYAKMT	alumiinijohdin, paperieriste, yksittäisvaipattu, alumiinivaippa, muovivaippa (juuttinauha)
PLKVJ, PYLKVJ, PNLKVJ, PNYLKLJ, PYLKLJ, PLKPJJ	120, 150, 185	PLKVJ, PYLKVJ, PNLKVJ, PNYLKLJ, PYLKLJ, PLKPJJ	kuparijohdin, (yksittäisvaipattu) lyijyvaippa, vannerauta-armeeraus, (pyörölanka-armeerattu) juuttikerros (tuplajuuttikerros)

Verkkoon investoitavien uusien keskijännitekaapelien tulee olla tyypiltään AHXAMK-W-kaapelia varustettuna keskusköydellä. Kaapelin poikkipinta-alana

käytetään yleisesti 240 mm<sup>2</sup>:ä tai 300 mm<sup>2</sup>:ä riippuen sähköverkon mitoitusesta. Uusissa sähköasemalähdöissä käytetään aina 300 mm<sup>2</sup>:n kokoista keskijännitekaapelia ensimmäiselle muuntamolle asti [9, s. 7]. Keskusköyden poikkipinta-ala on 20 kV:n verkossa 35 mm<sup>2</sup>:ä ja 10 kV:n verkossa 70 mm<sup>2</sup>:ä. Keskusköyttä ei digitoida verkkokartalle. Vuodesta 2024 alkaen maadoituksen vaaka-elektrodi digitoidaan verkkotietojärjestelmään. Tähän muutokseen selityksenä on Energiaviraston uuden valvontajakson tuomat muutokset kj-verkkokomponenttien yksikköhintoihin, jolloin erikseen asennettu kupariköysi luokitellaan omaksi verkkokomponentiksi. [10.]

Keskusköyttä on käytetty yhtiön jakeluverkossa vuodesta 1989 alkaen AX-HAMK-W-kaapelityypin kanssa. Ennen kyseistä vuotta kj-verkkoa kaapeleoidessa johtokanavaan asennettiin 50 mm<sup>2</sup>:n kupariköysi kaapelin viereen maadoituksen vaakaelektrodiksi. Nykyään vaakaelektrodiksi asennetaan ylimääräinen kupariköysi putkitetun johdon ja keskusköyden lisäksi vain sähköasemalta lähtevälle kaapelille ja säteittäiseksi verkoksi haarautuvien muuntamoiden välille. Koska uudet AHXAMK-W-kaapelit asennetaan muoviputkiin, ei keskusköyttä voida käyttää maadoituselektrodina, sillä se ei ole fyysisessä kosketuksessa maaperän kanssa. Oikea nimitys keskusköydelle on tällöin maadoitusjohdin, joka yhdistää sähköasemalähdön, muuntamoiden ja säteittäishaarojen väliset maadoituselektrodit. [9, s. 23–26.]

Uusien pienjännitekaapelien tulee olla tyypiltään AXMK-kaapelia, ja verkon mitoituksen mukaan valittavissa olevia poikkipinta-aloja kaapeleille ovat 300, 240, 185, 70 tai 35 neliömillimetrin kaapelit [11, s. 2, 6]. Kun suunnitellaan uusia sähköjakelulähtöjä, on tärkeää valita sopivin johtojen poikkipinta-ala yhtiön määrittelemistä käytettävistä poikkipinnoista. Tämä valinta vaikuttaa johtojen rakentamiskustannuksiin ja niihin liittyviin häviökustannuksiin. Mitoitustilanteessa haetaan sitä rajatehoa, jonka ylittyessä suuremman ja kalliimman poikkipinta-alan käyttö on häviösäästöjen takia edullisempaa kuin pienemmän poikkipinta-alan. [1, s. 65.]

Tarpeettoman suuret poikkipinta-alat kaapeleilla eivät ole talousteknisesti sopivia ratkaisuja verrattuna tehotarpeeseen. Pienemmällä kaapelin poikkipinta-alalla kaapelin ominaisvastus kasvaa resistanssin ollessa käänteisesti verrannollinen poikkipinta-alaan. Tällöin varsinkin maakaapeliverkon kaapelin kuormituksenlainen johdinlämpötila nousee aiheuttaen häviösähköä. Lisääntynyt häviösähkön määrä aiheuttaa sähköverkkoyhtiölle katetta tuottamatonta kuormitusta verkkoon. On huomioitava, että häviökustannuksia syntyy koko pitoajalta käyttönotosta aina kaapelin käytöstä poistamiseen asti. [1, s. 66–67.]

## 2.2 Muuntajien ja kaapeleiden kuormitusasteet

Verkkotietojärjestelmällä pystytään toteuttamaan suurimman mahdollisen kuormitusasteen laskennat keskijänniteverkolle, muuntajalle sekä sen syöttämälle pienjänniteverkolle. Tehonjaon mitoituksen laskennassa käytetään verkkotietojärjestelmän indeksikirjastoa SLYIND95 [2]. Indeksikirjastoilla laskenta perustuu SLY:n (Suomen Sähkölaitosyhdistys ry) vuonna 1992 julkaiseman sähkön käytön kuormitustutkimuksen vuoden 1995 versioon. SLY:n tekemän tutkimuksen mitaustoiminnasta vastasi 42 sähkölaitosta ympäri Suomea noin 1200:ssa eri mitauskohteessa. Mittauksia tehtiin 1980- ja 1990-lukujen taitteessa. Päällimmäisenä tuloksena saatiin luokiteltua eri käyttäjäryhmät sekä näiden tuntikohtaiset tehonvaihtelut, keskitehojakaumat ja lämpötilariippuvuudet. [1, s. 54.]

Vain indeksisarjoihin perustuvaa tehonjaon mitoitusta käytetään silloin, kun suunnitelmassa on täysin uutta sähköverkkoa, josta ei ole saatavilla aikaisempia kulutustietoja. Tällaisia alueita Helsingissä ovat viime aikoina olleet esimerkiksi Jätkäsaari, Kruunuvuorenranta ja Pohjois-Pasila. Tällöin Trimble NIS yhdistää tietylle käyttäjäryhmälle määritetyt vuosienergian keskiarvot SLY95-indeksisarjoihin.

Käyttäjäryhmille on laskettu vuosienergian keskiarvo hyödyntämällä vuonna 2019 valmistunutta Tampereen yliopiston tekemää tutkimusta vuosienergioiden vertailusta. Vertailussa hyödynnettiin vuoden 2018 tallennettua AMR (Automatic Meter Reading) -sähkönkulutusdataa etäluettavilta sähkömittareilta. Kaikista

tutkimuksessa mukana olleista yli 700 000 käyttöpaikasta saatiin klusteroitua 50 käyttäjäsegmenttiä. Näistä muodostettiin lopullinen 14 tyyppikäyttäjän joukko yhdistämällä samankaltaisia kuormitusprofiileja. Vuosienergian keskiarvot taulukoituvat tutkimuksessa käyttäjäryhmien lisäksi myös pääsulakekoon mukaan. [12, s. 13–15.]

Trimble NIS hyödyntää tehonjaon mitoituksessa AMR-datan avulla laskettua vuosienergian keskiarvoa yhdistettynä SLY:n indeksisarjoihin [9, s. 38]. Vuosienergian keskiarvoilla sekä indeksisarjojen kaksiviikko- ja tunti-indekseillä voidaan laskea tietyn ajankohdan  $t$  tuntikeskitehon absoluuttisen arvon estimaatti  $P_{ti}$  kaavan 1 avulla.

$$P_{ti} = \frac{E_i}{8736} \cdot \left( \frac{Q_{ti}}{100} + \frac{q_{ti}}{100} \right) \quad (1)$$

$E_i$  on tyyppikäyttäjäjoukon  $i$  vuosienergian keskiarvo

$Q_{ti}$  on tyyppikäyttäjäjoukon kaksiviikkoindeksi ajan hetkellä  $t$

$q_{ti}$  on tyyppikäyttäjäjoukon tunti-indeksi ajan hetkellä  $t$  [1, s. 57].

Taulukkoon 2 on poimittu yleisimpiä verkkotietojärjestelmässä käytettyjä lajitunnuksia eri pienjänniteverkon käyttöpaikoille. Yhteensä eri käyttäjäryhmiä ja niiden numeroituja lajitunnuksia järjestelmästä löytyy yli sata, mutta osa niistä on yksilöllisiä ja käytössä vain yhdessä käyttöpaikassa. Kaikki pienjänniteverkon käyttäjäryhmät eivät koske asuinrakennuksia. Esimerkiksi lajitunnusta 1010 käytetään sähköautojen latauspisteille. Tähdellä merkityt lajitunnukset käytetään myös keskijänniteliittymille. [2.]



Taulukko 2. Pienjänniteverkon yleisimpiä käyttäjäryhmiä lajitunnuksineen verkotietojärjestelmässä [2].

Lajitunnus	Käyttäjärhmä
3	Teollisuus yhdistetty*
4	Julkinen palvelu*
5	Yksityinen palvelu*
120	Omakotitalo, suora sähkölämmitys, käyttövesivaraaja 300 l
220	Omakotitalo, sähkölämmitys osittain varaava, pitkät sulkuajat
601	Omakotitalo, ei sähkölämmitystä, ei sähkökiuasta
602	Omakotitalo, ei sähkölämmitystä, sähkökiuas
611	Rivi- ja kerrostalo, ei sähkölämmitystä, ei sähkökiuasta
612	Rivi- ja kerrostalo, ei sähkölämmitystä, sähkökiuas
1010	Kerrostalo, kiinteistömittaus
3030	Vakiokulutus

Taulukossa 3 on viiden yleisimmän asuinkäytössä olevan käyttäjäryhmän lasketut vuosienergian keskiarvot. Vuosienergian suuruus vaihtelee asunnon pääsulakekoon mukaan. Vuosienergian keskiarvoa voidaan hyödyntää tietyn ajan kohdan tuntikeskitehon absoluuttisen arvon arvioimisessa (ks. kaava 1).

Taulukko 3. Pienjänniteverkon yleisimpien käyttäjäryhmien keskimääräinen vuosienenergia [9, s. 38].

<b>Käyttäjäryhmä (NIS)</b>					
	120	601	602	611	612
<b>Sulake</b>	<b>Vuosienenergian keskiarvo (kWh)</b>				
25 A	15 900	6 400	6 900	2 300	2 600
35 A	16 000	8 300	8 800	3 500	4 600
50 A	20 800	9 500	10 000	6 400	7 500
63 A	22 400	13 100	13 600	-	-
80 A	24 800	16 600	17 100	-	-
100 A	-	30 800	31 300	-	-

Yleensä kuitenkin suunnitellulla alueella on jo olemassa olevaa sähköverkkoa, jota uudistetaan, jolloin on hyödyllistä käyttää käyttöpaikoilta sähkömittareiden avulla tallennettua dataa mahdollisimman tarkan sähköisen mitoituksen mahdollistamiseksi. Tällöin suunnitelman sähköistä mitoitusta suoritetaan parametreilla ”ennalta yhdistetty” tai ”ajonaikana yhdistetty”.

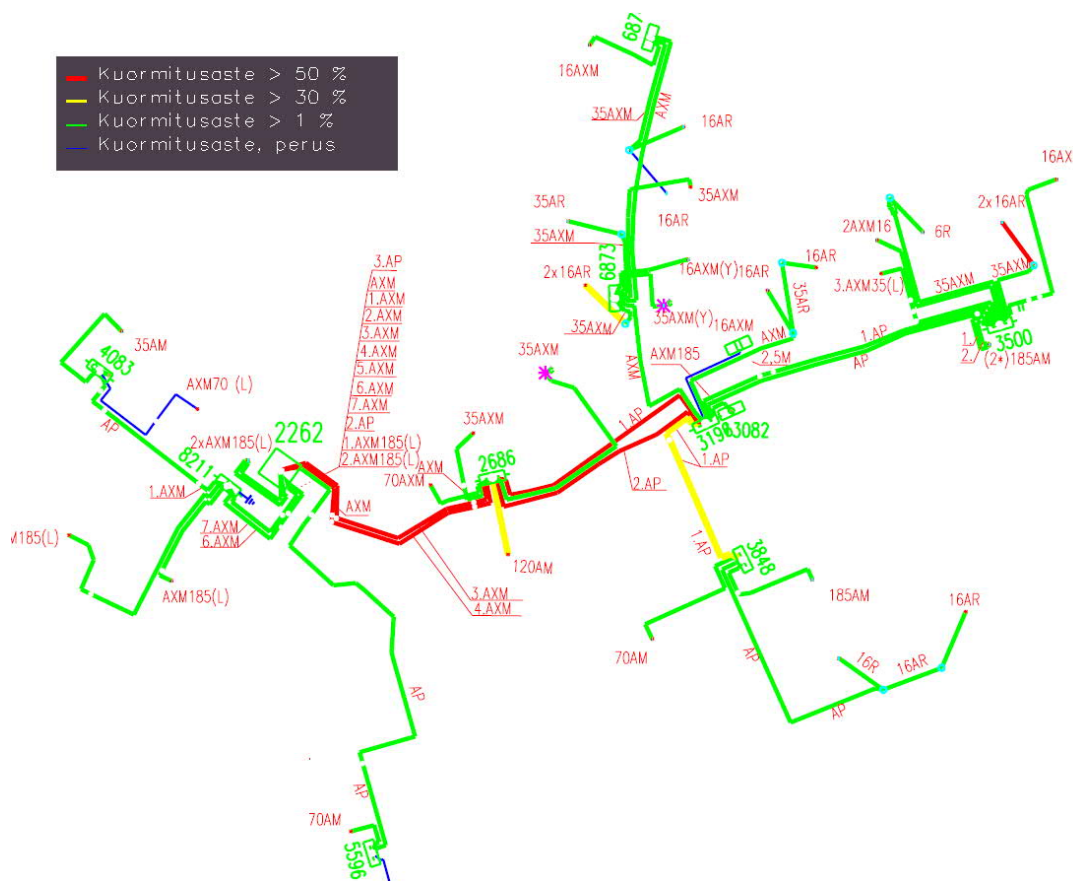
Ajonaikana yhdistetty -parametri luo tarkan kuormituskäyrän laskennan aikana yhdistämällä indeksisarjoja mitattuihin tietoihin niiltä osin, kun todellisissa mitauksissa on mahdollisia aukkoja. Ennalta yhdistetyssä laskennassa tarkat kuormituskäyrät on luotu aiemmin ulkoisella sovelluksella ja tallennettu pj-kulutuspisteelle. Ennalta yhdistetty laskenta vaatii ulkoiset kuormituskäyrät toimiakseen. Muuten verkko ei saa mistään kulutustietoja. Pj-verkon ulkoiset kuormituskäyrät voivat olla puutteelliset, minkä takia parametria käytetään lähinnä kj-verkon mitoitukseen, sillä tarkka kj-kuormituskäyrä luodaan syöttävälle jakelumuuntajalle säteisverkkaisen pj-tehonjaon mitoituksen aikana. [2.]

Suunnitelmasta tulee tarkastaa, että muuntajan kuormitusaste normaalissa kytkentätilanteessa ei ole liian suuri. Vakioituneita muuntajakokoja ovat 630, 800 ja 1000 kVA. Muuntajan kuormitusaste tulisi suunnitteluperiaatteiden mukaan olla

normaalitilanteessa 30–50 %:n välillä suurimman osan ajasta. Sama kuormitusaste pätee myös kaapelien kuormituksille. Jos jakelumuuntaja olisi mitoitettu optimaalisesti, sen kuormitusaste olisi AMR-datan mukaisen huipputehon ajankohdalla tehonjaon mitoituksessa 100 % tai jopa hieman yli. Käytännössä kuitenkin muuntamon kuormitusaste jää paljon alhaisemmaksi jopa huippukulutuksen ajankohtana. [9, s. 10.]

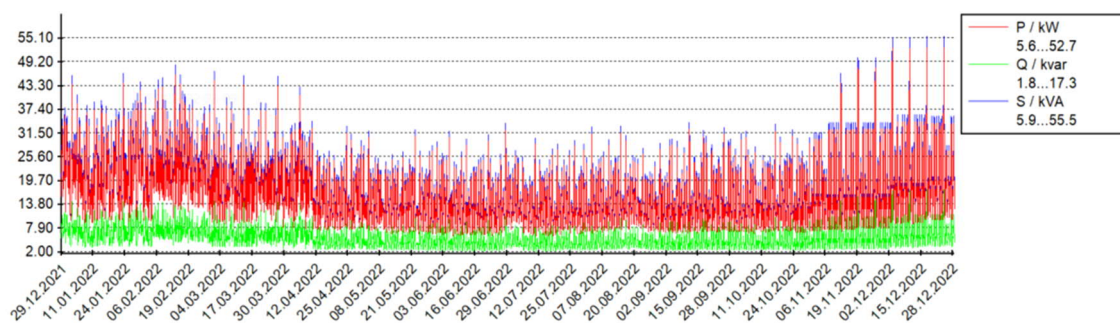
Huippukulutuksen aikaiseen alhaisempaan kuormitusasteeseen vaikuttaa kuormitusten luonnollinen risteily, jolloin kaapelien kuormitusasteet vaihtelevat ajankohdaltaan keskenään. Järjestelmä suorittaa tehonjaon mitoituksen laskennan 230 voltin vakiojännitteellä kaikkina vuorokauden tunteina ilman hajontoja kuormituksen kasvukertoimen ollessa 1,0 (= ei kasvukerrointa). Laskentamoduulina käytetään säteisverkkolaskentaa. [2.]

Kuvassa 4 on esitetty näkymä verkkotietojärjestelmällä tehdystä tehonjaon mitoituksesta, jossa kaapeleiden kuormitusaste on väritetty eri asteittain. Laskennassa käytettiin ajonaikana yhdistettyä tehoprofiilia eli kahden vuoden takaista oikeaa AMR-dataa yhdistettynä indeksisarjoihin. Tällöin tehonjaon mitoitus laskee jokaiselle liittymälle erikseen oman absoluuttisen huippukuorman hetken kuluneelta vuodelta. Punaisella on väritetty ne kaapelit, jotka ovat käyttöasteellaan yli 50 %:n kuormituksessa huippukulutuksen tunteina. Keltaisella on väritetty kaapelit, jotka ovat huippukulutuksen aikaan 30–50 %:n rajoissa ja vihreällä on alle 30 %:n käyttöasteessa olevat kaapelit.



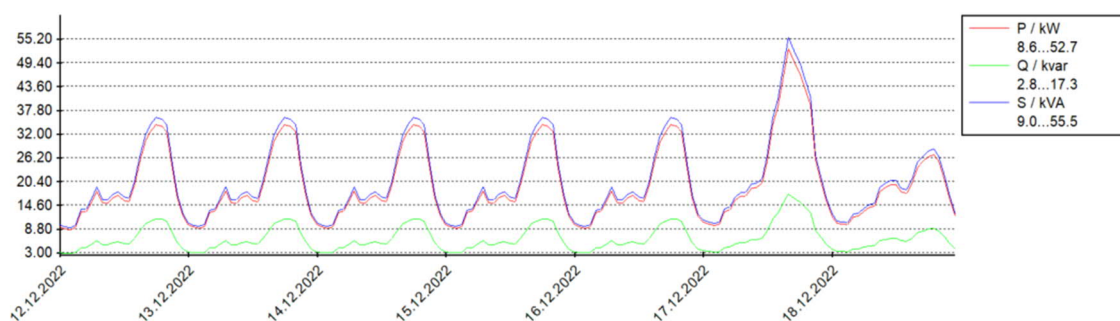
Kuva 4. Muuntopiirin kuormitusaste (muokattu) [2].

Pienjänniteliittymän tai jakelumuuntajan verkkokomponentista pystytään tarkastelemaan liittymäkohtaisia tehotietoja tai vertaamaan useamman liittymän tehotietoja keskenään. Liittymälle kerätty AMR-data on luettavissa luettelomaisesti käyttöpaikat eroteltuna tai viivadiagrammina liittymän kokonaistehona. Jakelumuuntajalle laskettu tuntikohtainen kokonaisteho on sähköliittymien kokonaistehojen summa. Kuvassa 5 on esitetty erään kerrostalokiinteistön vuoden 2022 tuntitehosarjatiedot [2].



Kuva 5. Kerrostalon tehotiedot vuoden tarkastelujaksolta [2].

Kuvassa 6 on esitetty saman kerrostalon vuosikulutuksesta se viikko, jolloin sähkönkulutus oli huipussaan. Huippukulutuksen ajankohta osui joulukuun 17. päivälle kello 16 ja 17 välille. Viivadiagrammiin piirtyy omat käyrät pätö-, näennäis- ja loistehoille. [2.]



Kuva 6. Kerrostalon tehotiedot energiankulutuksen maksimiviikolta [2].

Muuntopiirin kullekin liittymälle määritetään huippukulutus ja sen ajankohta. Edellä esitetylle kerrostaloliittymälle huippukulutus oli 52,7 kW ja ajankohta 17.12.2022 klo 16–17. Viereiselle kerrostaloliittymälle määritetään samoin kyseisen liittymän huipputeho ja ajankohta. Muuntopiirin jakelumuuntajan sähköisessä mitoituksessa kuormitusten risteilyä ei huomioida ja käytetään jokaiselle liittymälle niiden huippukulutuksia. Täten saadaan simuloitua tilanne, jossa muuntajan kuormitusaste on korkein mahdollinen. Muuntopiiriin suunnitellut uudet mahdolliset sähköliittymät lisäävät muuntajan kuormitusastetta, ja tämä on syytä tarkastaa sähköisestä laskennasta.

Vuoden 2019 valtakunnallinen tutkimus vuosienenergioiden keskiarvoista eri käyttäjäprofiilien välillä ei ole kuitenkaan täysin tarkka klusterointi yhtiön oman verkkoalueen käyttäjäprofiileista. Valtakunnallisessa tutkimuksessa on laskettu mukaan sähkönkäyttäjää, joita yhtiön alueella sijaitsee merkityksettömän vähän tai ei ollenkaan. Tällaisia ovat esimerkiksi maatilat ja kesämökit, joissa on suuri kausiluontainen vaihtelu sähkönkulutuksen suhteen. [12, s. 3.]

Vuosi myöhemmin Tampereen yliopiston tekemästä valtakunnallisesta tutkimuksesta valmistui Helen Sähköverkolle räätälöity tutkimus kuormitusprofiileista. Tässä vuonna 2020 julkaistussa tilaustutkimuksessa nykyaikaisen kuormitusmallinnuksen avulla saatiin verkostolaskennassa käytettävien kuormituskäyrien indeksisarjojen päivitys vastaamaan nykyaikaista sähkön käyttöä juuri yhtiön verkkoalueella. [13.]

Tampereen yliopiston tutkimuksessa kaikki Helsingin verkkoalueen käyttöpaikat ja liittymät klusteroitiin ja profiloitiin erikseen kolmessa eri energiankulutustasossa. Energiatasoiksi määriteltiin suuret, keskisuuret ja pienet asiakkaat vuosienenergian kulutuksen perusteella. Käyttöpaikka- ja liittymäklustereiden poikkeavuutta toisistaan tarkkailtiin esimerkiksi sen kannalta, miten tietynlaisten käyttöpaikkojen suuri klusterikohtainen lukumäärä vaikutti profilointiin. Esimerkiksi kerrostaloasunnot eivät välttämättä profiloituneet klusteriin suurimman käyttöpaikkamäärän mukaan, vaan energialtaan suurimman käyttäjäryhmän mukaan. Tällaisia suuren energian käyttäjäryhmiä olivat pääasiassa sähkölämmitteiset erillistalot. [13, s. 14.]

Liittymäkohtaisten kuormitusmallien mahdollisiksi eduiksi tutkimuksessa todettiin, että verkkotietojärjestelmän tarvitsee tehdä vähemmän summauksia, kun tehonjaon mitoitus ei laske ennusteellista kuormitusta esimerkiksi kerrostalon jokaiselle käyttöpaikalle erikseen, vaan vain yhdelle sähköliittymälle [13, s. 4].

Tutkimuksessa uudet indeksisarjat muodostettiin nykyisen käytössä olevan Trimble NISin tietokantataulujen rakenteen mukaisesti. Kerätyn mittausdatan avulla määritettiin 37 käyttöpaikkaklusteria ja 15 liittymäklusteria. Vuosi jaettiin 26 kaksiviikkajaksoon ja jokaiselle klusterille laskettiin 26 ulkoista indeksiä.

Nämä ulkoiset indeksit kuvaavat suhteellista vuodenaikavaihtelua. Jokaiselle kaksiviikkojaksolle laskettiin mallit arki-, aatto- ja pyhäpäiville. Tällöin tuntikoh-  
taisia, sisäisiä indeksejä saatiin  $26 \times 3 \times 24 \text{ h} = 1872$ . Näin koko vuosi saadaan  
mallinnettua 1872:n eri tuntikeskitehon avulla. Jokaisena kaksiviikkoisjaksona  
kaikkien arkipäivien oletetaan käyttäytyvän samanlaisesti sekä lauantait ja sun-  
nuntait mallinnetaan erikseen. Erikoispäivien, kuten aattojen ja arkipyhien, sat-  
tuessa kalenterivuodelle ne mallinnetaan lauantai- ja sunnuntaipäivien indek-  
seillä. [13, s. 15–16, 23–24, 27.]

Nämä räätälöidyt käyttäjäklusterit eivät ole kuitenkaan vielä käytössä verkkotie-  
tojärjestelmän sisäisissä laskennoissa. Syy tälle on se, että verkkotietojärjes-  
telmä käyttää tällä hetkellä samoja käyttäjäprofiileja kuin sähkön vähittäismark-  
kinoiden keskitetty tiedonvaihtojärjestelmä Datahub. Datahubiin on tallennettu  
maanlaajuisesti noin 3,8 miljoonan käyttöpäivien tiedot samaan kantaan [14].  
Datahubin käytössä olevat profiilit ovat yhtiölle räätälöityjä profiileita kevyempiä  
määritelmiltään. Tulevaisuudessa toimintamallin kehittyessä olisi kuitenkin vii-  
sasta siirtyä käyttämään räätälöityjä malleja yrityksen omalla verkkoalueella teh-  
tävään sähköiseen laskentaan verkkotietojärjestelmällä.

### 2.3 Oikosulkuvirrat

Verkkotietojärjestelmän toisena laskentana tehonjaon mitoituksen ohella käyte-  
tään verkon oikosulkulaskentaa. Oikosulkuvirtojen laskenta toteutetaan pien- ja  
keskijänniteverkoille. Standardin SFS 6001 mukaan sähkölaitteistolle on määri-  
tettävä kaikki pahimman tilanteen vikatyypit. Vikatyyppejä ovat yksi-, kaksi-, ja  
kolmevaiheiset oikosulut maakosketuksella ja ilman. [15, s. 29.] Sähkönjakelu-  
verkossa pienjännitepuolella yksittäisen johdon yksivaiheisen oikosulkuvirran tu-  
lee olla tarpeeksi suuri, jotta sulakkeelle määrätty palamisaika yksivaiheisen oi-  
kosulun aikana täyttyy. Oikosulkuvirtaan vaikuttavat kaapelin vaihtosähkötekni-  
set ominaisuudet, ja yksivaiheisen oikosulkuvirran laskenta voidaan esittää kaa-  
van 2 avulla.

$$I_{klv} = \frac{3 \cdot U_V}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3 \cdot l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (2)$$

$U_V$  on vaihejännite

$r_j$  on vaihejohtimen ominaisresistanssi

$R_m$  on muuntajan oikosulkuresistanssi

$x_j$  on vaihejohtimen ominaisreaktanssi

$X_m$  on muuntajan oikosulkureaktanssi

$x_{j0}$  on vaihejohtimen ominaisnollareaktanssi

$R_{m0}$  on muuntajan nollaresistanssi

$r_0$  on nollajohtimen ominaisresistanssi

$X_{m0}$  on muuntajan nollareaktanssi

$x_0$  on nollajohtimen ominaisreaktanssi

$l$  on johdon pituus [1, s. 201–202].

Verkkotietojärjestelmässä jokaiselle kaapelityypille on tallennettu vaihe- ja nollajohtimien ominaisresistanssit sekä -reaktanssit. Jokaiselle muuntajatyypille on määritetty oikosulkuresistanssit ja -reaktanssit. Näiden parametrien avulla Trimble NIS laskee oikosulkuvirrat jokaiselle solmulle eli kohdalle, jossa kaapeli yhdistyy esimerkiksi jakokaapin tai pääkeskuksen kiskostoon. Oikosulkulaskenta voidaan toteuttaa tarkasti myös täysin uudelle osalle sähköverkkoa, sillä oikosulkuvirtojen suuruuteen ei vaikuta verkon kuormitusprofiilien käyttäytyminen. Taulukossa 4 on esitetty yleisimmän käytössä olevan pienjänniteverkon kaapelityypin ominaisresistanssit sekä suurimmat sallitut kuormitus- ja oikosulkuvirrat.



Taulukko 4. AXM185-kaapelin vaihtosähkötekniset tiedot verkkotietojärjestelmässä [2].

<b>Vaihejohtimen ominaisresistanssi <math>r_j</math></b>	0,182 $\Omega$ /km (40 °C)
<b>Vaihejohtimen ominaisnollaresistanssi <math>r_{j0}</math></b>	
<b>Nollajohtimen ominaisresistanssi <math>r_0</math></b>	
<b>Vaihejohtimen ominaisreaktanssi <math>x_j</math></b>	0,082 $\Omega$ /km (40 °C)
<b>Vaihejohtimen ominaisnollareaktanssi <math>x_{j0}</math></b>	
<b>Nollajohtimen ominaisreaktanssi <math>x_0</math></b>	
<b>Suurin sallittu kuormitusvirta <math>I</math></b>	330 A
<b>Sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta <math>I_{k1s}</math></b>	17,5 kA

Jakeluverkon liittymiskaapelin suurin sallittu poiskytkentäaika oikosulussa on viisi sekuntia. Runkokaapeleille on ohjeistuksena tavoiteltava samaa aikaa, mutta maksimissaan poiskytkentäaika saa olla 15 sekuntia. [9, s. 46.] Kun esimerkkinä taulukkoon nostetulle AXM185-kaapelille suurin sallittu kuormitusvirta on 330 A, täytyy ensimmäinen sulake mitoittaa suojaamaan runkojohtoa 315 A:n nimellisvirralla olevalla kahvasulakkeella normaalin käyttötilanteen ylikuormitussuojaksi. Oikosulutilanteessa virta on kuitenkin tyypillisesti hyvin paljon kuormitusvirtaa suurempi. Tällöin oikosulkuvirran täytyy olla esimerkiksi 315 A:n sulakkeelle taulukon 5 mukaisesti vähintään 2200 ampeeria, jotta viiden sekunnin poiskytkentäaika toteutuu.

Taulukko 5. Sulakestandardin vaatimat oikosulkuvirrat viiden sekunnin poiskytken tötetumiselle [9, s. 47].

<b>gG <math>I_N</math></b>	<b><math>I_{max}</math> (5 s)</b>
125 A	715 A
160 A	950 A
200 A	1250 A
250 A	1650 A
315 A	2200 A
400 A	2840 A
500 A	3800 A

Oikosulkulaskennasta tulee tarkastaa suhteellisen oikosulkuvirran suuruus jokaiselle sulakesuojatulle runko- ja liittymäjohdolle, jotta ensimmäinen nollausehto toteutuu. Ensimmäisellä nolausehdolla tarkoitetaan sähköturvallisuusmääräystä, jonka mukaan vaihe- ja nollajohtimen välisen oikosulun aikana missään osassa järjestelmää jännite maahan nähden ei saa olla suurempi kuin 75 voltia [16, s. 15]. Suhteellinen oikosulkuvirta saadaan jakamalla pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta nimellisvirralla. Jos johtolähdön kahvasulake on nimellisvirralta pienempi kuin 63 A, täytyy oikosulkuvirran ja nimellisvirran välinen suhde olla vähintään 2,5. Jos kahvasulakkeen nimellisvirta on suurempi kuin 63 A, täytyy suhteen olla vähintään kolminkertainen. [1, s. 202.]

Oikosulkuvirran suuruus sähköaseman keskijännitekiskostossa on 5–12 kiloampeerin välillä. Sen suuruuteen vaikuttaa ylemmän jännitetason, esimerkiksi 110 kilovoltin, oikosulkuvirta sekä 110/20 kV -päämuuntajan koko. Suurempikokoisella päämuuntajalla saadaan aikaisiksi suuremmat oikosulkuvirrat. Keskijänniteverkossa oikosulkuvirtojen suuruus riippuu siitä, kuinka kaukana mahdollinen vikapaikka sijaitsee sähköasemasta ja kuinka suuri on kaapelin poikkipinta-ala. Johdon impedanssi kasvaa merkittävästi kilometrien matkalla vaikuttaen

oikosulkuvirtojen suuruuteen. Satojen metrien mittaisen ja poikkipinta-alaltaan pienen johdon loppupäässä oikosulkuvirta saattaa pienentyä kiloampeereista alle 200 ampeeriin, jolloin poiskytkentäaika kasvaa liian suureksi tai sitä ei tapahdu ollenkaan. [1, s. 30.]

Yhtiön jakeluverkon suunnitteluperusteissa on määritetty, että maksimipituus pienjänniteverkon runkojohdolle muuntamon ja ensimmäisen jakokaapin välille saa olla enintään 275 metriä, kun käytetään kahta rinnakkaista AXMK 4x185-kaapelia ja ne suojataan sulakkeilla, joiden nimellisvirta on 315 A. Tällöin oikosulkuvirta suhteessa sulakkeen nimellisvirtaan on vähintään kolminkertainen. Jos verkkotietojärjestelmällä tehty oikosulkulaskenta ei pääse tavoitteisiin poiskytkentäaikojen tai suhteellisten oikosulkuvirtojen arvoista, joudutaan miettimään ratkaisuksi käytettävän poikkipinta-alaltaan yhtä luokkaa järeämpiä kaapeleita, asentamaan uusi jakokaappi vähentämään kaapelien pituutta tai käyttämään välisulakkeita. [9, s. 47, 51.]

Oikosulkuvirtojen laskentaan verkkotietojärjestelmällä vaikuttavat muutamat dokumentoinnin oikeellisuuden tekijät. Rinnakkaisten kaapelien johto-osille tulee määrittä sama pituus, koska muuten verkkotietojärjestelmä ei tunnista kaapeleita rinnakkaissyötöksi, vaan kierrättää toisen kaapelin laskennan molempien kautta. Tällöin rinnakkaisten kaapelien laskennan tulokset ovat toisistaan poikkeavia ja ristiriidassa keskenään. Trimble NIS käyttää oikosulkulaskennassa vakiojännitteenä 230:tä voltia. Pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran laskennassa käytetään kuitenkin jännitekerrointa (0,95). Tämä perustuu verkkotietojärjestelmän oikosulkuvirran laskemiseen suurimmalla sallitulla jännitteenalennamalla. [2.]

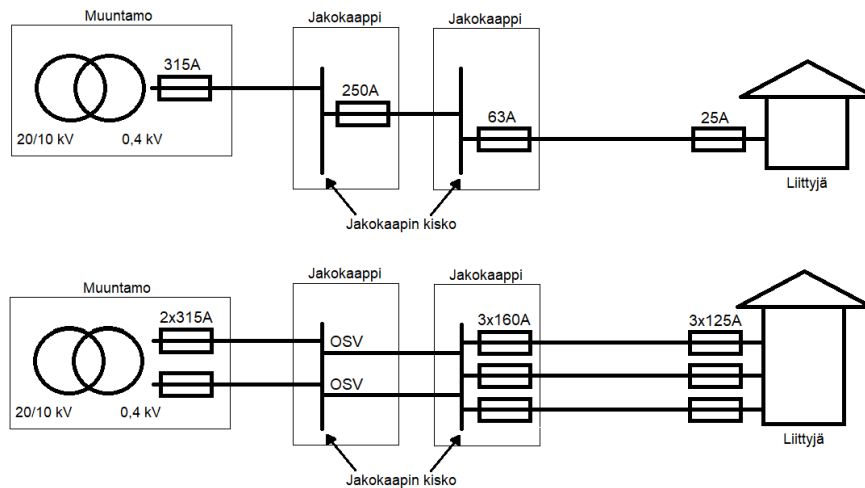
## 2.4 Sulakesuojaus ja selektiivisyys

Kun oikosulkuvirta tiedetään, voidaan sulakesuojaus suunnitella toimimaan tarvittavan nopeasti. Pienjänniteverkon selektiivinen sulakesuojaus toteutetaan porrastamalla eri nimellisvirtojen omaavia sulakkeita niin, että muuntamolta

lähtevälle kaapelille käytetään suurempia sulakkeita kuin jakokaapilta lähtevälle [1, s. 202].

Yhtiön jakeluverkossa käytetään Siban valmistamia gG-kahvasulakkeita sulakesuojaukseen. Tällöin myös verkkokartalle täytyy jakokaappikytkimien attribuutteihin lisätä sulaketyypiksi Siban sulakkeet, jotta laskennassa järjestelmä käyttää Siban sulakkeiden sulamiskäyriä määrittäessään poiskytkyajan. Jos sulaketyypistä ei ole määritetty jonovarokeytkimen komponentille, Trimble NIS käyttää oletuksena IEC:n (International Electrotechnical Commission) maksimipalamiskäyriä kahvasulakkeille palamisaikojen määrittämisessä [2]. Verkkotietojärjestelmään on lisätty jokaiselle kaapelityypille teknisiin tietoihin suurin sallittu kuormitusvirta. Tällöin muuntajalähdöllä on aina oltava nimellisvirralta alemman luokan sulake suojaamaan kaapelia ylikuormituksen aiheuttamilta vaurioilta.

Kuvassa 7 on esitetty kaksi esimerkkiä Helsingin sähköverkon alueella esiintyvistä sulakesuojaustavasta. Esimerkit eroavat toisistaan niin runkoverkon rakenteen perusteella muuttuvan selektiivisyyden kuin liittjän rinnakkaisten liittimisjohtojen ja pääsulakekoon kohdalla. Verkossa liitännänä kahden jakokaapin väliselle runkojohdolle tai -johdoille voidaan käyttää oikosulkuveitsiä (OSV) molemmissa päissä. Tällöin selektiivisyyteen vaikuttavaksi sulakkeeksi käytetään alkupään eli muuntajalähdön sulakkeita. Oikosulkuvirtojen on myös oltava riittävän suuret ennen seuraavaa sulakeporrasta, jotta muuntamolähdön pj-sulake ehtii toimimaan suojatakseen runkojohtoja standardin vaatimassa ajassa (15 s) [17, s. 11, 15].



Kuva 7. Kaksi esimerkkiä selektiivisestä sulakesuojauksesta.

Taulukossa 6 on esitetty pj-sulakkeiden keskinäinen selektiivisyys, kun rinnakkaisia sulakkeita on eri määrä sulakeyhdistelmän alapuolella suojaamassa. Rinnakkaisia sulakkeita voi olla tapauskohtaisesti yhdestä neljään kaapelille. Rinnakkaisten kaapelien lukumäärä voi muuttua verkon rakenteen mukaan, jolloin se rajoittaa käytettävän sulakkeen kokoa selektiivisyyden säilyttämiseksi.

Taulukko 6. Siban gG-sulakkeiden selektiivisyys keskenään eri rinnakkaisten sulakkeiden lukumäärillä [9, s. 49].

<b>Sulakeyhdistelmä</b>	<b>Suurin mahdollinen seuraava sulakeyhdistelmä</b>			
2x400A	1x400A	2x250A	3x160A	4x125A
3x315A	1x400A	2x250A	3x224A	4x160A
2x315A	1x400A	2x224A	3x160A	4x125A
1x315A	1x224A	2x125A	3x80A	-
4x250A	1x400A	2x250A	3x200A	4x160A
3x250A	1x400A	2x224A	3x160A	4x125A
2x250A	1x250A	2x160A	3x100A	4x80A
1x250A	1x160A	2x80A	-	-
4x200A	1x400A	2x250A	3x160A	4x125A
3x200A	1x315A	2x160A	3x125A	4x100A
2x200A	1x250A	2x125A	3x80A	-

Taulukon mukaan, jos runkojohdon alkupäätä suojaa kaksi 315 A:n sulakkeilla suojattua kaapelia, voidaan sen jälkeen seuraavassa sulakeportaassa käyttää esimerkiksi enintään 160 A:n sulakkeita kolmelle rinnakkaiselle liittymiskaapelille, jotta selektiivisyys säilyy (ks. kuva 7). Kyseinen verkkorakenne rajoittaa selektiivisyydellään myös asiakkaan suurinta mahdollista pääsulakekokoa. On huomioitavaa, että jokaiselle sulakesuojaukselle ei löydy kaikkia neljää rinnakkaisten sulakkeiden vaihtoehtoa. [9, s. 48–49.]

## 2.5 Jännitteenalenema

Asiakkaan liittymäpisteessä yleisen jakeluverkon jännitetasolle on asetettu nimellisjännite ja vaihtelurajat. Jännitetaso vaihtelee normaalitilanteessakin sähköverkon kokonaisuormituksen hetkittäisen vaihtelun mukaan.

Kokonaisjännitteenalenema sähköasemalta asiakkaan liittymäpisteeseen määräytyy yleisesti sähköaseman päämuuntajan ja pienjänniteasiakkaan välisen kaapelireitin impedansseista ja erisuuruuksista kuormituksista reitin varrella. Yksittäisten laitteiden ja kuormituskojeiden tehot ovat vaihtelevia ja muuttuvat ajan funktiona. Tämän vuoksi yhden sähköverkon osan mitoittaminen jännitteenaleneman perusteella ei ole tarkkaa. [1, s. 68.] Apuna tähän käytetään verkkotietojärjestelmän sähköistä tehonjaon mitoitusta. Trimble NISin sähköinen laskenta ilmoittaa jokaisen johtoreitin päässä syntyvän jännitteenaleneman kaikkien käyttöpaikkojen samanaikaisen huippukulutuksen aikana.

Helen Sähköverkon ohjeavana pidetään, että pienjänniteverkossa asiakkaan pääkeskukselle saakka pyritään pitämään jännite 230 voltissa ja sallittu jännitteenvaihtelu olisi 5 %:n rajoissa siitä puolin toisin eli 218,5–241,5 V [9, s. 67]. Standardin sallima raja pienjänniteverkon jännitteenalenemalle normaaleissa käyttöolosuhteissa on maksimissaan yli 10 % tai alle 15 % nimellisjännitteestä pois lukien jakelukeskeytykset [18, s. 13]. Standardin sallima vaihtelu on suurempi, sillä asiakkaan käyttämä sähkölaitteisto on tavallisesti suunniteltu 10 %:n jännitteenvaihtelulle noudattaen asetettuja tuote- ja asennusstandardeja. Täten 10 %:n jännitteenvaihtelu olisi riittävä jakelujärjestelmän valtaenemmistölle. Yhtiön asettama tiukempi raja jännitteenalenemalle liittyy yhtiön omiin periaatteisiin Helsingin sähköverkon rakenteen sen mahdollistaessa.

Suunnitelman sähköisestä mitoituksesta tulee tarkastaa jännitteenalenema jokaiselle johtolähdölle. Viiden prosentin tavoitteen pieni ylittyminen voidaan jättää tapauskohtaisesti huomioimatta, mutta yli 7 %:n jännitteenaleneman kohdalla täytyy reagoida miettimällä yhdessä suunnittelijan kanssa esimerkiksi reitimuutosta tai kaapelin poikkipinta-alan kasvattamista.

### **3 Suunnitteluperiaatteiden mukaisen rakennustavan tarkastaminen**

Mitoituksen lisäksi suunnitellun verkon tulee olla järjestelmässä rakenteellisesti ja ulkonäöllisesti yhdenvertainen jo olemassa olevan verkkokartan sisältöön.

Sen lisäksi että verkko dokumentoidaan yhdenmukaisesti, verkon rakentaminen toteutetaan kaupunginosasta riippuen samoja periaatteita noudattaen. Yhtiön verkkoalue on tiivis yhdistelmä keskusta-aluetta ja kaupunkimaista taajamaa. Sähköverkon rakennustapa on suunniteltu siten, että sitä pystytään noudattamaan kaikkialla yhtiön verkkoalueella.

Rakennustavan toteutuksesta projektipäällikkö tarkastaa verkkotietojärjestelmässä seuraavat asiat:

- kaivureitit ja kaapeliojat
- asfaltoinnin katuluokat
- verkkokomponenttien sijoitus kartalle
- suunnitelman revisiointi
- korostukset suunnitelmassa ja verkkotopologia
- päästölaskenta.

### 3.1 Kaivureitit ja kaapeliojat

Verkonrakennuksessa maakaapelointi toteutetaan verkonrakennuskumppanin puolesta yhtiön sähköverkon rakennustapojen mukaisesti. Maakaapeleille suunniteltu kaivureitti esitetään projektipäällikölle projektin aloituskatselmuksessa. Aloituskatselmus suoritetaan paikan päällä maastossa, ja kyseiseen katselmuksen osallistuvat kaikki projektissa mukana olevat osapuolet. Vähimmillään tämä tarkoittaa työn tilaajaa (yhtiötä) ja verkonrakennuskumppania, mutta esimerkiksi YKT-projekteissa mukana voi olla myös muita infratekniikan rakennusyrityksiä.

Uuteen kaapeliojaan asennetaan pj-kaapelille halkaisijaltaan 110 millimetriä oleva muovinen suojaputki suojaamaan kaapelia koko sen matkalta. Kj-kaapeleille asennetaan kokoluokkaa leveämpi, 140 mm:n suojaputki. Suojaputken lujuusluokituksen mukaan käytetään kahta eri luokkaa. A-luokan suojaputkea käytetään, kun joudutaan rakentamaan ajoradan myötäisesti tai ajoradan kohtisuoria alituksia. B-luokan suojaputkea käytetään viheralueilla ja kevyen



liikenteen väylillä. A- ja B-luokituksen erona on suojaputken lujuusluokitus. [6, s. 5–6.]

Kaivureiteille ei tiiviissä kaupunkiympäristössä ole usein vaihtoehtoja. Suunnitteluperiaatteiden mukaisesti kaivureittinä ja tarvittavien kaapelijatkosten sijoituspaikkana suositetaan eniten viheralueita ja kevyen liikenteen väyliä. Lähinnä teiden ja katujen alituskohdat pystytään valitsemaan vapaasti minimoiden kuitenkin mahdollinen syntyvä liikennehaitta. Ajoradan alitukset rakennetaan kohtisuoraan ja alitukseen asennetaan tarvittava määrä ennakkoputkia, jotta samaa kadun kohtaa ei tulevaisuudessa tarvitsisi kaivaa auki koko matkalta [6, s. 6].

Verkkotietojärjestelmään laaditusta suunnitelmasta tulee tarkastaa, että kaapelireittejä ei piirretä tonttirajojen lävitse, sillä suunnitteluperiaatteiden mukaisesti sähköverkkoa ei rakenneta tontin rajojen sisäpuolelle. Kaapelireitti tulee tarkastaa myös talousteknisessä mielessä, olisiko olemassa parempaa reittivaihtoehtoa, jotta kaapelipituutta voisi vähentää ja täten minimoida muun muassa jännitteenalenemaa.

Tärkeintä kaivureitin valinnassa on miettiä, mahtuuko tarvittava määrä putkia kaapeliojaan huomioidessa jo olemassa oleva maanalainen infra. Yhtiö ei lähtökohtaisesti sijoita kaapeleita puistoalueille, jos verkon rakentamiseen on muita teknistaloudellisesti järkeviä mahdollisuuksia. Jos kaapeleita joudutaan asentamaan puistoalueelle, kaapelireitti valitaan niin, että istutukset, puut ja pensaat säilyvät mahdollisimman ehjinä. [6, s. 6.]

Verkkotietojärjestelmään kaivureitti piirretään omalle tasolle erotettuna pj- ja kj-verkkojen karttatasoista. Kaapeliojat-tasoon piirretään uusille kaapeleille uudet, suunnitellut ojat ja hylättävien kaapeleiden kaapeliojat poistetaan kartalta. Suunniteltujen ojien attribuutteihin lisätään tiedot kanavakaivuun leveydestä, kaivuolosuhdeluokasta ja yhteiskaivuukumppanien lukumäärästä.

Energiavirasto on jakanut jakeluverkon maakaapelin kaivutyöt kuuteen eri olosuhdeluokkaan. Olosuhdeluokat ovat:

1. Helppo: asemakaavan ulkopuoliset alueet.
2. Tavallinen: asemakaavan sisällä mutta muiden olosuhteiden ulkopuolella.
3. Tavallinen II: kallioinen maaperä, sisemmän kaupunkialueen tai keskusta-alueen ulkopuolella.
4. Vaikea: sisempi kaupunkialue mutta keskusta-alueen ulkopuolella.
5. Erittäin vaikea: kaupunkiseudun keskusta sekä isot ja pienet suurkaupungin alakeskukset.
6. Erittäin vaikea II: suurkaupungin keskusta. [19, s. 43.]

Verkkotietojärjestelmässä suunnitellun kaapeliojan olosuhteena käytetään normaalia, vaikeaa- tai erittäin vaikeaa olosuhdetta. Kuvassa 8 on esitetty näkymä kaapeliojan attribuuteista olosuhdeluokkineen. Projektipäällikön tulee tarkastaa, että kaapeliojalle on syötetty kaapeliojan pituus oikeaan olosuhdeluokkaan. Kaivuolosuhteen paikkansapitävyyden pystyy tarkistamaan verkkotietojärjestelmässä olevan taustakartan avulla. Taustakartta on värjätty eri väreillä sen mukaan, onko alue esimerkiksi asemakaavan ulkopuolella tai kuuluuko alue keskusta-alueeseen. [2.]

Kuva 8. Suunnitellun ojan attribuutti-ikkuna [2].

Projektiokohtaisesti alueen mukaan voidaan hyödyntää vanhoja putkia tai ennakkoputkitusta. Ennakkoputket eivät näy verkkotietojärjestelmässä, vaan ne on dokumentoitu vain sijaintitietojärjestelmään. On suunnittelijan vastuulla huomioida ennakkoputkitusten käyttö ja projektipäällikön vastuulla huomioida niiden

vaikutus teknistaloudellisessa mielessä. Jos projektissa hyödynnetään vanhoja putkia tai tyhjiä ennakkoputkia, kaapeliojan komponenttia ei piirretä verkkotietojärjestelmään koko matkalle. Suunniteltu uusi oja piirretään vain putkituksen esille kaivun ja kaapelin vetoon käytettävälle alueelle.

### 3.2 Asfaltoinnin katuluokat

Suunnitteluperiaatteiden mukainen päällysteiden korjaaminen ja asfaltointi toteutetaan mukaillen PKS-katutyöohjetta. Katutyöohjeen mukaisesti kaivanto on täytön jälkeen päällystettävä viipyilemättä pysyvällä päällysteellä tai väliaikaisella päällysteellä, jos kaivutyö on toteutettu talvikaudella. Talvikaudella tarkoitetaan joulukuun ja toukokuun välillä tehtyä kaivutyötä. Väliaikainen päällyste tulee korvata pysyväksi talvikauden päätteeksi toukokuun loppuun mennessä.

PKS-katutyöohjeessa kadut on luokiteltu liikennemäärän ja sen aiheuttaman rasituksen perusteella kuuteen katuluokkaan. Luokittelu vaikuttaa asfaltoinnin paksuuteen sekä rakenteelliseen vähimmäisvahvuuteen ja -laatuun. Katuluokat ovat:

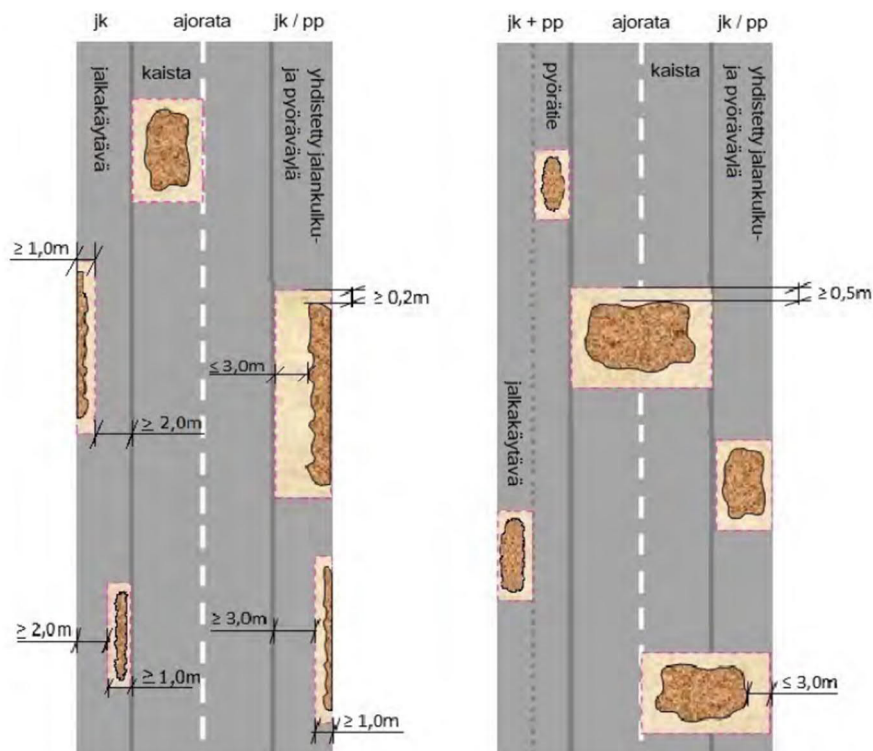
1. erittäin vilkkaasti liikennöidyt kadut
2. vilkkaasti liikennöidyt kadut
3. pääliikenne- ja kokoojakadut
4. asuntokadut
5. jalankulku- ja pyöräväylät
6. jalkakäytävät. [20, s. 12.]

Samoja katuluokkia käytetään verkkotietojärjestelmässä laaditun suunnitelman laskelmoiduille asfalttiosuuksille. Kadulle määritellään sille kuuluva katuluokitus kaivuluvan myöntämisen yhteydessä. Kaivulupaa hakee sähköverkon rakentamisesta vastuussa oleva yritys. Projektipäällikön tulee tarkastaa, että verkkotietojärjestelmässä on käytetty oikeita katuluokkia suunniteltujen ojakomponenttien asfaltoinneille. Tämän lisäksi tulee tarkastaa, että aloituskatselmuksessa sovitujen kaivuiden asfaltointien toteutus tehdään oikealla tavalla ohjeistuksen

mukaan ja minimoidaan kaikki ylimääräinen asfaltointi. Asfaltointi on hyvin merkittävä tekijä projektin maanrakennuskustannuksissa.

Kuvassa 9 on havainnollistettu asfalttiohjeistus eri tilanteissa. Ohjeistuksen mukaan kevyen liikenteen väylistä (katuluokat 5 ja 6) jalkakäytävä päällystetään niin, että vanhaa päällystettä jää vähintään kaksi kolmasosaa. Jalkakäytävän ja pyörätien yhdistelmä ilman erotusviivaa asfaltoidaan koko kaistan leveydeltä silloin, kun väylä on alle neljä metriä leveydeltään. Yli neljä metriä leveä yhdistetty väylä asfaltoidaan niin, että vanhaa päällystettä jää vähintään kolmen metrin leveydeltä. Jos jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden kaistat on eroteltu esimerkiksi kaistaviivalla tai kiveraidalla, asfaltoidaan vain toinen kaistoista kokonaisuudessaan. Ajouradan myötäisesti kaivettaessa koko ajoradan kaista tulee asfaltoida uudelleen kaivannon leveydestä riippumatta. Ajouradan alitukset asfaltoidaan niin, että uusi asfaltti kattaa leveydeltään puoli metriä kaivannon ulkopuolelle.

[20, s. 10–11.]



Kuva 9. Päällysteiden leikkaus- ja asfaltointiohjeet [20, s. 11].

### 3.3 Verkkokomponenttien sijoitus kartalle

Komponenttien sijoitus verkkotietojärjestelmän kartalle tehdään oikeaa sijaintitietoa mukaillen. Verkkokomponenttien tarkka sijainti kartoitetaan eri järjestelmään, joten verkkotietojärjestelmässä enemmän on merkitystä sillä, että käytössä oleva komponentti löytyy kartalta läheltä sitä kohtaa, missä se sijaitsee myös maastossa.

Kaapelireittien ja jakokaappien tulee sijaintia sillä puolella katua, jossa ne kulkevat myös maastossa. Jos kaapeleita kulkee paljon rinnakkain, ne voidaan digitoita verkkotietojärjestelmään kulkemaan myös ajorataa pitkin, vaikka todellisuudessa ne kulkisivat kevyen liikenteen väylää pitkin. Yhtiön suunnitteluohjeen mukaisesti kaapelit putkineen sijoitetaan siten, että pj-kaapelit kulkevat tontin puoleisessa reunassa ja kj-kaapelit kulkevat ajoradan puoleisessa reunassa. Erillismuuntamo sijoitetaan mahdollisimman lähellä sen oikeaa sijaintia esimerkiksi viheralueella. Kiinteistömuuntamon komponentti sijoitetaan kartalle sen kiinteistön kohdalle, jossa kiinteistömuuntamo oikeasti sijaitsee. Muuntamon attribuutteihin lisätään liitteeksi reittitieto, josta verkonhaltija tai -rakentaja saa selville tarkat ohjeet muuntamotilan sijainnista. Kaapelijatkoksien tulee sijaintia lähellä niiden oikeaa sijaintia. Jos kaapelijatkoksia on useita vierekkäin, ne voidaan tarvittaessa sijoittaa verkkokartalle limittäin. [6, s. 5–6.]

Tärkeimpänä tehtävänä komponenttien sijoituksesta projektipäälliköllä on tarkastaa, että verkkokartta pysyy mahdollisimman lukukelpoisena eivätkä samalle tasolle piirretyt kaapelit risteä keskenään turhaan. Verkkokartan helppolukuisuus on saavutettava kaikilla eri karttatasoilla jännitetasosta riippumatta mukaan lukien kaapeliojien karttataso. Kaapeliojien sijoituksen omalle karttatasolle tulisi mukailla pj- tai kj-kaapeleiden karttatasoa riippuen siitä, kumman jännitetason verkkoa kaapeliojiin on rakennettu. Uusittavien jakokaappien karttakomponentit sijoitetaan suunnitteluasiakirjojen mukana tulevien istutuskuvien mukaisesti limittäin lähelle purettavaa komponenttia, jotta purettava kaappi erottuu kartalta.

### 3.4 Suunnitelman revisiointi

Projektikohtaisesti suunnittelija on voitu merkitä suunnitelmaan korvattavaksi jakokaappeja, joissa olisi vielä pitoaikaa jäljellä, mutta maastotarkastuksessa on huomattu kaapin kärsineen rakenteellisia vaurioita. Jos jakokaapin vauriot pystytään korjaamaan ilman sen vaihtamista, tulee suunnitelmaan tehdä päivitys vaihtamatta jääneestä jakokaapista.

Suunnitelmalle laadittuja kaapelijatkoksia ei kaikkia välttämättä toteuteta, jos sähköverkon rakentaminen pystytään toteuttamaan suunnitteluperiaatteiden mukaisesti yhtenäisellä kaapeliyhteydellä. Tilannekohtaisesti on hyvin yleistä, että joudutaan tekemään myös suunnitelmasta poikkeavia, ylimääräisiä kaapelijatkoksia. Kaapelit jatketaan esimerkiksi muuntamon ulkopuolella, jos reitti muuntamon sisään koetaan rakennusvaiheessa haastavaksi. Kaapelityyppi tai sen poikkipinta-ala saattaa myös muuttua rakentamisvaiheen aikana. Tähän vaikuttaa esimerkiksi asiakkaan linjaus paloluokituksesta tai sähkön laadun riittämättömyys. Verkonrakennuskumppanin suunnittelija korjaa kaikki mahdolliset muutokset suunnitelmaan, ja uusi revisio suunnitelmasta esitetään projektipäällikölle. Revisioitu suunnitelma vaatii suunnitelman tarkastamisen verkkotietojärjestelmässä. [21.]

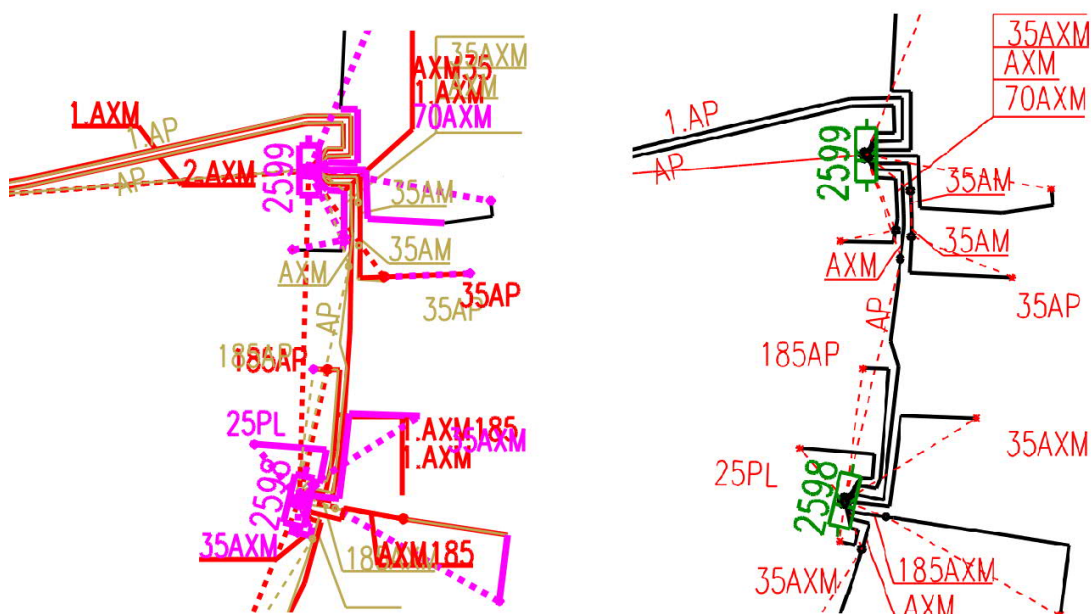
### 3.5 Korostukset suunnitelmassa

Verkkotietojärjestelmään tehdyt muutokset suunnitelmakantaan näkyvät korostettuna eri värein. Väritykset poistuvat, kun suunnitelmakannalle suoritetaan Master-ajo, eli toisin sanoen suunnitelma siirretään aktiiviseen Master-kantaan ylikirjoittamalla vanha data muutetuista verkkokomponenteista. Ennen Master-ajoa suunnitelmalle luodut muutokset verkkokarttaan näkyvät seuraavissa väreissä:

- punainen: uusi suunnitelmakantaan lisätty kaapeli tai komponentti
- magenta: Master-kannassa jo olemassa oleva kaapeli tai komponentti, jota on muutettu aktiivisella suunnitelmalla esimerkiksi muokkaamalla sen sijaintia, attribuutteja tai osittain poistamalla

- ruskea: käytöstä poistettu, purettu kaapeli tai komponentti.

Korostetuista verkon osista tärkeimpänä on tarkastaa, että kaikki purettavat tai käytöstä poistuvat kaapelit ja komponentit on varmasti poistettu suunnitelma-kannasta. Muuten hylätyt verkon osat jäävät kartalle hankaloittaen luettavuutta ja aiheuttaen epäsiisteyttä sekä aiheettomia rakennevirheilmoituksia. Kuvassa 10 on kaksi näkymää verkkokartan pienjänniteverkosta, jossa vasemmanpuolei- sessa käytetään suunnitelman korostuksia.



Kuva 10. Suunnitelman korostukset verkkokartalla [2].

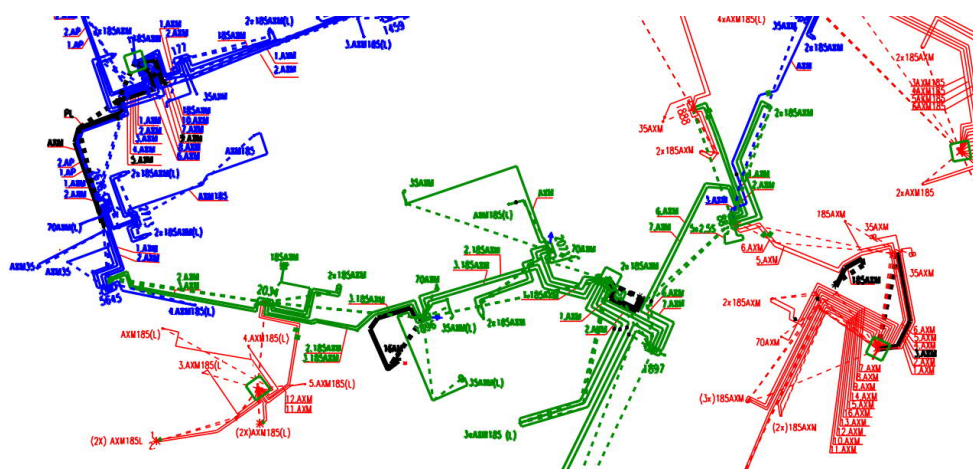
### 3.6 Verkkotopologia

Verkkotopologialla tarkoitetaan teoreettista mallinnusta sähköverkon osien loogisesta järjestyksestä verkkokartalla [22]. Verkkotopologian tarkastamisessa varmistetaan, että suunnitelmalla olevat sähköverkon eri osat ovat joltain kautta yhteydessä toisiinsa. Pienjänniteverkko on toteutettu yhtiön alueella yhdistelmänä säteittäistä ja silmukoitua rakennustapaa. Säteisverkossa muuntamo on verkon tähtipiste, josta verkko haarautuu pj-lähtöinä jakokaapeille tai suoraan sähköliittymille. Tiiviissä taajama- tai kaupunkiympäristössä on kuitenkin kiinteistöjä, joita voisi sähköistää mistä tahansa lähialueen muuntopiiristä liki

samoin kustannuksin verkon rakennuksen kannalta. Tällöin verkon ylikuormitus- tai häiriötilanteessa voidaan turvautua viereisen muuntopiirin sähkönsyöttöön kapasiteetin sen salliessa minimoiden asiakaskeytykset. [1, s. 161.]

Lyhyiden kaapelointivälimatkojen takia säteisverkosta on rakennettu silmukkarakenteinen rakentamalla kahden tai useamman säteittäisen muuntopiirin välille varayhteys maakaapelitse. Muuntopiirejä ei kuitenkaan yhdistetä toisiinsa verkon normaalissa kytkentätilanteessa, joten varayhteyttä ei pidetä sähköistetyinä, vaan aukinaiseksi jätetty jakokaapin tai pj-keskuksen kytkin toimii muuntopiirien välisenä jakorajana. Jakorajamuutoksien avulla pystytään välttämään käyttökatkoja sähköverkon rakentamiseen tai huoltamiseen liittyvissä töissä yhdistämällä hetkellisesti muuntopiirin osa toiseen muuntopiiriin, jolloin sähkö kulkee asiakkaalle toisen muuntopiirin kautta. [9, s. 41.]

Topologian avulla tarkastetaan, etteivät suunnitelmalla olevat muuntopiirit ole yhteydessä toisiinsa verkon ollessa normaalissa käyttötilanteessa. Suunnitelmassa olevat mahdolliset topologiamuutokset, esimerkiksi jakorajamuutokset, tulee tarkastaa lataamalla verkkokartalle myös ympäröivää verkkoa ja värityksellä verkkotopologian kartalle eri värein kuvan 11 mukaisesti. Samalla värillä verkkokartalle värjäytyvät kaapelit kuuluvat yhteen muuntopiiriin. Verkkokartta käyttää yleensä kolmea eri väriä, sinistä, punaista ja vihreää erottamaan lähi-alueen muuntopiirit.



Kuva 11. Pienjänniteverkon topologia korostettuna verkkokartalla.



Kj-verkon topologia pystytään luomaan kartalle sähköasemalähdöttäin tai sen mukaan, kumpi sähköaseman päämuuntajista johtolähtöä syöttää. Kj-verkon rakenne on pj-verkon kaltainen; jakelumuuntajat ovat verkon normaalissa tilanteessa syötettynä yhden sähköasemalähdön perässä. Eri sähköasemalähtöjen perässä olevien jakelumuuntajien välille on rakennettu yhteys, ja täten verkko on silmukoitu. Jakorajana pidetään kj-kojeiston kuormaerotinta, joka sijaitsee muuntamotilassa.

### 3.7 Päästölaskenta

Ympäristö- ja vastuullisuusasiat nousevat yhä tärkeämmiksi. Raportointia tulee kehittää. Helen-konserni solmi vuonna 2023 vapaaehtoisen Green deal -sopimuksen tavoitteena vähentää työmailla syntyviä päästöjä. Tämän takia yhtiön sähköverkkotyömailla syntyvien hiilidioksidipäästöjen seuranta tehostetaan kehittämällä toimintamallia tarkemman seurannan mahdollistamiseksi. [23.]

Toimintamallin kehitys näkyy yhtiön suorittamassa vuotuisessa päästölaskennassa. Vuoden aikana käyttöönotettujen verkkokomponenttien lukumääristä ja kaapeleiden metrimääristä kerätään yksilöllistä taulukko dataa, joka kerrotaan tietyn verkkokomponentin päästökertoimella. Päästökerroin muodostetaan valmistajan ilmoittamien hiilidioksidipäästöjen avulla. Esimerkiksi sähköverkkokomponenttivalmistaja ABB on ilmoittanut jakokaappinsa hiilidioksidipäästöt jaettuna valmistuksen, jakelun, asennuksen, käytön ja käyttöiän päättymisestä johtuvan purkamisen aikana syntyviin päästöihin [24, s. 11–13].

Projektipäällikön vastuu on tarkastaa, että suunnitelmassa käytettävien sähkölaitteistojen attribuutteihin on täytetty valmistajan nimi ja laitteen malli. Tällöin päästölaskentaa suoritettaessa voidaan käyttää oikeaa päästökerrointa ja saada tarkempi tulos päästölaskentaan.

Tulevaisuuden kehitysideana on tuoda laskelmoidut päästökertoimet suoraan verkkotietojärjestelmän attribuutteihin, jolloin datan käsittely verkkotietojärjestelmän ulkopuolisessa sovelluksessa, esimerkiksi Power BI:ssä, olisi helpompaa.

## 4 Investointitehokkuuden tarkastaminen

Verkkoa suunnitellaan teknistaloudellisilla periaatteilla. Sähköisen mitoituksen ja rakennustavan tarkastamisen lisäksi tarkastetaan suunnitelman kustannukset. Kustannusseurantaa tehdään määrittämällä regulaatiomallin investointitehokkuus, joka on investointien tarkastamista valvontamallia laajemmalla tasolla. Tämän lisäksi investointitehokkuutta tarkastetaan valvomalla verkonrakennuskumppanin sekä myös yhtiön omien laitehankintojen kustannuksia.

### 4.1 Regulaatiomallin investointitehokkuus

Investointitehokkuuden laskeminen suunnitelmakohtaisesti verkkotietojärjestelmää käyttäen on keskeisessä osassa suunnittelua, koska sen perusteella tehdään päätöksiä, otetaanko vastaanotettava suunnitelma toteutukseen. Trimble NIS laskee NIM-laskennassa (Network Investment Management) suunnitelmalle erilaisia taloudellisia tunnuslukuja ja CAPEX-arvon (Capital Expenditure), joka on suunnitelmakohtainen yritykselle aiheutuva pääomameno eli investointikustannus. CAPEX-arvo perustuu Energiaviraston asettamien yksikköhintojen mukaan jokaiselle suunnitelmaan lisätylle sähköverkon komponentille. Suunnitelmassa CAPEX-arvoon lasketaan suunnitelmalle muodostuvat materiaalikustannukset, urakointikustannukset ja maanrakennuskustannukset [2].

Investointien hallinnalle tärkeämpi tunnusluku on investointien tehokkuus, jota kutsutaan myös CAPEX-suhteeksi. Suhdeluvun muodostamiseksi investointikustannuksien CAPEX-arvolla jaetaan uudistettavan sähköverkon jälleenhankinta-arvo (JHA). Jälleenhankinta-arvo lasketaan verkkokomponenttikohtaisesti kaavan 3 avulla, koko sähköverkolle kaavan 4 avulla ja suunnitelmakohtainen CAPEX-suhde kaavan 5 avulla.

$$JHA_i = \text{yksikköhinta}_i \cdot \text{määrä}_i \quad (3)$$

$$JHA = \sum_{i=1}^n (JHA_i) \quad (4)$$

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

$JHA_i$  on sähköverkkokomponentin  $i$  kaikkien komponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo

$\text{yksikköhinta}_i$  on sähköverkkokomponentin  $i$  yksikköhinta Energiaviraston valvontamallin mukaan

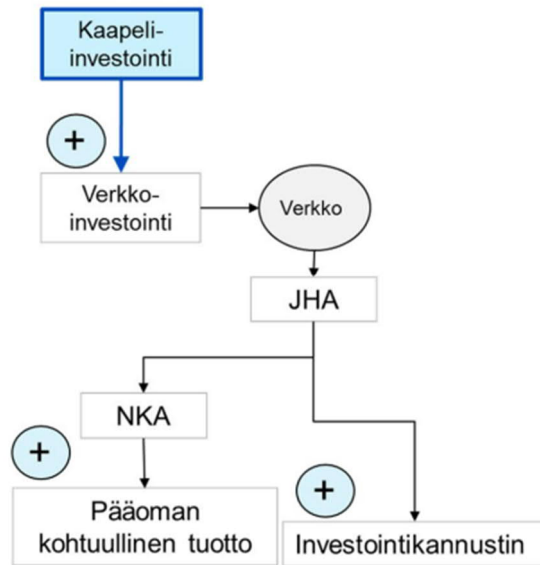
$\text{määrä}_i$  on kaikkien sähköverkkokomponenttien  $i$  lukumäärä

$JHA$  on koko sähköverkko-omaisuuden jälleenhankinta-arvo.

$CAPEX - \text{suhde}$  on investointien tehokkuus

$CAPEX$  on investointikustannukset [25, s. 31–32].

Hyvät taloudelliset tunnusluvut perustuvat kustannustehokkaisiin investointeihin. Tunnusluvuilla on vaikutus Energiaviraston valvontamallin asettamiin kohtuullisen tuoton laskelmiin ja erilaisiin kannustimiin [26, s. 8]. Investointikannustin on yksi käytössä olevista kannustimista. Sen menetelmä perustuu ohjaamaan sähköverkkoyhtiötä tehostamalla investointien kustannustasoa ja tekemään tarkoituksellisia, teknistaloudellisia verkkoinvestointeja aiempaa halvemmalla. Investointikannustimella mahdollistetaan verkon jälleerakentamiseen liittyvät investoinnit, joita on suurin osa yhtiön verkkoalueella tapahtuvista investoinneista. Investointikannustimen ohella olemassa olevan verkon nykykäyttöarvo ja siitä seuraavat vuosittaiset tasapoistot johtavat pääoman kohtuulliseen tuottoon ja täten positiiviseen kassavirtaan kuvan 12 mukaisesti. Yksikköhintakannustin muodostuu keskimääräisistä toteutuneisiin kustannuksiin perustuvista yksikköhintoista Energiaviraston valvontamallissa. Näitä yksikköhintoja käytetään määrittämään verkkoyhtiön verkko-omaisuuden jälleenhankinta-arvo. [27, s. 20.]



Kuva 12. Valvontamallin toimintaperiaate [28].

Jälleenhankinta-arvosta määritetään sähköverkon nykykäyttöarvo (NKA), jolla oikaistaan sähköverkkoon sitoutunut verkko-omaisuus. Nykykäyttöarvo lasketaan verkkokomponenttikohtaisesti kaavan 6 avulla ja koko sähköverkolle kaavan 7 avulla.

$$NKA_i = \left(1 - \frac{\text{keski-ikä}_i}{\text{pitoaika}_i}\right) \cdot JHA_i \quad (6)$$

$$NKA = \sum_{i=1}^n (NKA_i) \quad (7)$$

$NKA_i$  on verkkokomponentin  $i$  kaikkien komponenttien nykykäyttöarvo

$pitoaika_i$  on verkkokomponentin  $i$  pitoaika

$\text{keski-ikä}_i$  on verkkokomponentin  $i$  kaikkien komponenttien keskimääräinen ikä

$NKA$  on koko sähköverkko-omaisuuden nykykäyttöarvo [25, s. 32].

Pelkällä CAPEX-suhteella investointien tehokkuutta laskettaessa painoarvo keskittyy vain verkon uudistuviin verkkokomponentteihin eikä siinä oteta huomioon nykykäyttöarvon muutoksia poistuvista komponenteista. Tämä on

ongelmallista varsinkin projekteissa, joissa tehdään laajamittaisia korvausinvestointeja alueisiin, joiden sähköverkkoa on uusittu eri ajanjaksoina. Tällöin poistuvien ja purettavien komponenttien pitoajat eivät välttämättä ole vielä täyttyneet, joten niillä on vielä nykykäyttöarvoa.

Tällaisen tilanteen vuoksi investointitehokkuuden laskennassa Trimble NIS käyttää toista tunnuslukua, jossa huomioidaan projektikohtaisesti sähköverkosta poistuvien komponenttien nykykäyttöarvo. NKA-muutostehokkuus lasketaan kaavan 8 avulla.

$$NKA_{muutos}CAPEX = \frac{NKA_{uusi} - NKA_{purku}}{CAPEX} \quad (8)$$

$NKA_{muutos}CAPEX$  on investointien tehokkuus nykykäyttöarvon muutos huomioiden

$NKA_{uusi}$  on uusien sähköverkkokomponenttien laskettu nykykäyttöarvo

$NKA_{purku}$  on sähköverkosta purettavien ja poistettavien sähköverkkokomponenttien laskettu nykykäyttöarvo pitoaika huomioiden.

$CAPEX$  on investointikustannukset [2].

Investointien tehokkuuden ja NKA-muutostehokkuuden tunnuslukuja vertaamalla voi hanke- tai projektipäällikkö arvioida suunnitelman teknistaloudellista kannattavuutta sen hyväksymisvaiheessa. Jos NKA-muutostehokkuus on selkeästi CAPEX-suhdetta pienempi, tarkoittaa se sitä, että suunnitelmalle korvatuksi osoitettujen verkkokomponenttien pitoaika ei ylity ja sähköverkosta hylättäisiin vielä käyttökäistä materiaalia. Tällainen toiminta on joissain määrin mahdotonta välttää, sillä yhtiön verkkoalueella on verkko-osia, joissa komponentteja on uusittu eri vuosikymmeninä.

Investointien kannalta on tehokasta uusia yhdeltä katualueelta mahdollisimman paljon verkkoa yhdellä kertaa, sillä tämä näkyy kustannustehokkaana ratkaisuna varsinkin maanrakennuskustannuksissa. Suunnitelmaa tarkastaessa

projektipäällikön tulee tarkastaa NIM-laskennan tunnusluvuista kyseisten suhteiden välinen ero ja arvioida myös sen paikkansa pitävyyttä, sillä virheellisestä NIM-laskennasta kärsii sekä verkon arvo että kustannustehokas ja teknistaloudellinen rakentamistapa.

Jos sekä CAPEX-suhde että NKA-muutostehokkuus ovat hyvin lähellä toisiaan, on purettavan verkko-osuuden keskimääräinen ikä hyvin lähellä täyttä pitoaikaa, jolloin sen vaikutus verkon arvoon on mitätön ja mukailee yhtiön verkon rakentamisen suunnitteluperiaatteita varsinkin PTS-projekteissa. Taulukossa 7 on esitetty Trimble NIS -suunnitelmassa luodun NIM-laskennan taulukoidut tunnusluvut. On huomioitavaa, että CAPEX-suhteelle ja NKA-muutos -suhteelle ei ole yksikköä, vaan ne ovat desimaalimuotoisia suhdelukuja.

Taulukko 7. Verkkotietojärjestelmän laskemat ennakoitavat taloudelliset tunnusluvut [2].

Nimi	Yksikkö
Investointien tehokkuus (CAPEX-suhde)	-
NKA-muutostehokkuus	-
Materiaalikustannus	k€
Rakennuskustannus	k€
Maanrakennuskustannusten osuus	%
Jälleenhankinta-arvo (JHA), uusi/purku/muutos	k€
Nykykäyttöarvo (NKA), uusi/purku/muutos	k€
Rakennettava/purettava kj-verkko	km
Rakennettava/purettava pj-verkko	km
Rakennettavat/purettavat muuntamot	kpl

## 4.2 Uuden valvontamallin muutokset

Uusi Energiaviraston valvontamalli astui voimaan 1. tammikuuta 2024. Tämän seurauksena Energiaviraston kannustimiin sekä jälleenhankinta- ja nykykäyttöarvojen laskentaperusteisiin tehtiin merkittäviä muutoksia, jotka vaikuttavat verkon arvon määrittelyssä. Uuden mallin mukaan verkon arvon määrittäminen tapahtuu jokaiselle investoinnille sen toteutusvuoden hintojen perusteella. Päättyneessä, vuosien 2016–2023 valvontamallissa sekä uuden että vanhan verkon arvo määriteltiin jälleenhankintahinnan avulla eli vuotuisesti vaihtuneiden yksikköhintojen avulla sitomatta verkkokomponentin arvoa sen asennusvuoteen.

Tästä eteenpäin menneiden investointien verkkokomponenttien arvon laskenta suoritetaan jäädytetyillä yksikköhinnoilla, eli verkko-omaisuuden arvo ei voi nousta inflaation tai indeksikorotusten myötä kaapeleiden ikääntyessä maastossa. Uusi laskentatapa suosii investointeja vanhaan verkkoon, sillä mitä uudempi verkko, sen suurempi arvo sillä on riippumatta komponenttien yksikköhintojen noususta. [29.]

Jatkossa yksikköhintojen jäädyttäminen investointivuoteen tapahtuu jäädytetyn jälleenhankinta-arvon laskentaperiaatteella, joka on esitetty kaavassa 9.

$$JHA_n = JHA_{<2024} + \sum_{2024}^n (INV_t \cdot YH_t - Purut_t) \quad (9)$$

$JHA_{<2024}$  on ennen vuotta 2024 investoitujen käytössä olevien komponenttien jälleenhankinta-arvo vuonna  $n$

$INV_t$  on vuoden  $t$  investointimäärä

$YH_t$  on vuoden  $t$  yksikköhinta

$Purut_t$  on vuoden  $t$  puruille laskettu jälleenhankinta-arvo käyttäen purkujen investointivuosien yksikköhintoja [19, s. 38].

Vanhan massan eli ennen vuotta 2024 investoitujen käytössä olevien komponenttien oikaistu jälleenhankinta-arvo vuonna  $n$  määräytyy nykyään kaavan 10 mukaisesti.

$$JHA_{<2024} = INV_{\text{määrä}<2024} \cdot YH_{<2024} \quad (10)$$

$INV_{\text{määrä}<2024}$  on ennen vuotta 2024 investoitujen käytössä olevien komponenttien yhteismäärä vuonna  $n$

$YH_{<2024}$  on jäädytetty yksikköhintataulukko [19, s. 38].

Uutta toimintatapaa on perusteltu valvontamallissa ottamalla inflaatio huomioon oikealla tavalla käytettäessä kohtuullisen tuottoasteen määrittämiseen nimellistä tuottoastetta [19, s. 37]. Jatkossa investointi verkkoon nostaa verkon arvoa vähemmän kuin aikaisemmin. Lisäksi paljon vanhaa verkkoa omistavan verkkoyhtiön verkko-omaisuuden arvo laskee huomattavasti. Tämä haittaa erityisesti kaupunkiverkkoyhtiöitä, joilla on suuret investointikustannukset verrattuna muihin sähköverkkoyhtiöihin. [29.] CAPEX-suhdetta laskettaessa investointien tehokkuuden tunnusluku alenee, koska jälleenhankinta-arvo pienenee investointikustannuksien pysyessä ennallaan.

Vuodesta 2024 eteenpäin tehtävien investointien oikaistu nykykäyttöarvo verkkokomponentille perustuu jatkossa investointivuoteen jäädytettyyn jälleenhankinta-arvoon ja ikätietojen avulla määritettyihin nykykäyttöarvojen summaan kaavan 11 mukaisesti.



$$NKA_{t_n} = \left(1 - \frac{ikätieto_{t_n}}{pitoaika}\right) \cdot JHA_{t_n} \quad (11)$$

$NKA_{t_n}$  on vuonna t investoitujen komponenttien oikaistu nykykäyttöarvo vuonna n verkkokomponentille.

$ikätieto_{t_n}$  on vuonna t investoitujen komponenttien ikä vuonna n

$pitoaika$  on verkkokomponentin määritetty pitoaika

$JHA_{t_n}$  on vuonna t investoitujen käytössä olevien komponenttien investointivuoteen jäädytetty jälleenhankinta-arvo vuonna n [19, s. 45].

Uusi valvontamalli säätelee rajusti sähköverkkoyhtiön sallittua tuottoa. Verkon arvon pienentyminen yksipuolisesti kuluttajahintojen edelleen kasvaessa vaikuttaa yhtiön mahdollisuuteen nostaa esimerkiksi sähkönsiirtohintoja. Osalla Suomessa toimivista sähköverkkoyhtiöistä on edellisiltä vuosilta tuottoalijäämiä, joiden avulla muutokset sähkönsiirtohintoihin ovat vielä mahdollisia. [30.]

### 4.3 Verkonrakennuskumppanin kustannukset

Helen Sähköverkolla on kumppanuussopimuksen mukaan sovittu verkonrakennuksen operatiiviseen toiminnan toteuttava yhteistyökumppani. Verkonrakennuskumppani toteuttaa työt yksikköhintaurakkana, jolloin sopijaosapuolten kesken hyväksytty yksikköhinnasto solmii yhteen useita eri kustannuslähteitä eroteltuna asennus- ja maanrakennusyksiköihin. Laskutettavaan yksikköön kuuluu pääpiirteittäin muun muassa:

- materiaalikustannukset
- rakentamiskustannukset
- henkilöstökustannukset
- kalustokustannukset
- logistiikkakustannukset
- mahdolliset lisä- ja lupamaksut.

Verkonrakennuskumppani laskuttaa verkon rakentamisesta määrämittauserusteiden mukaisesti. Projektipäällikön tulee tarkastaa laskutusehdotuksia

hyväksyessä, että laskutettavat verkkokomponentit löytyvät projektille laaditusta suunnitelmasta, sen määräluettelosta ja edelleen myös verkkotietojärjestelmästä.

Määrämittausperusteiden yksikköhinnat pysyvät samoina koko sopimuskauden pois lukien indeksitarkastettavat yksiköt ja korotuskertoimet. Maanrakennusyrityksien kohdalla verkonrakennuskumppani voi tapauskohtaisesti käyttää korottavaa keskustakerrointa tai routakerrointa. Keskustakerrointa käytetään keskusta-alueilla tehtävissä maanrakennustöissä, joissa syntyy selkeää haittaa esimerkiksi liikenteelle. Routakerrointa käytetään talviaikana tehtävien maanrakennustöiden yhteydessä. Nämä hintaa korottavat tekijät tulee projektipäällikön huomioida projektin toteutusvaiheessa, sillä niillä on oma vaikutuksensa investointitehokkuuteen.

Investointitehokkuuden realisoituminen ja toteutuneen CAPEX-suhteen saaminen lähelle ennakoitua CAPEX-suhdetta vaatii projektipäälliköltä yksiköiden systemaattista tarkastamista. Esimerkiksi inhimillisen virheen vuoksi samalta kadunosalta voi laskutettavissa yksiköissä toistua sama kustannus useaan kertaan, jolloin samasta työvaiheesta maksettaisiin kahteen kertaan.

#### 4.4 Yhtiön omat laitehankinnat

Yhtiö hankkii osan suunnitelmalle suunnitelluista verkkokomponenteista itse tapauskohtaisesti joko suoraan laitevalmistajalta tai maahantuojalta tukkumyyntinä. Suurimpana syynä omille laitehankinnoille ovat niiden edullisemmat hinnat verrattuna urakoitsijan tarjoamiin yksikköhintoihin liittyen komponenttien hankintaan, kuljetukseen ja varastointiin. Täten hankkimalla osan sähköverkon laitteista itse voidaan säästää materiaalikustannuksissa, mitkä mahdollistavat paremman investointitehokkuuden, eli CAPEX-suhteen. Omina laitehankintoina hankittavia verkkokomponentteja asennetaan vuositasolla vähemmän kuin yleisiin kuuluvia verkkokomponentteja, kuten jakokaappeja, kaapelijatkoksia ja -päätteitä. Vähäisemmän hankinta- ja asennuslukumäärän takia

yksikköhinnointelu ei palvele täysin yhteistyösopimuksen molempia osapuolia eli yhtiötä ja verkonrakennuskumppania.

Omaehtoisissa projekteissa yhtiön omina laitehankintoina yleensä esiintyvät seuraavat verkkokomponentit:

- pj-keskukset
- jakelumuuntajat
- erillismuuntamot
- kj-kojeistot
- kytkemöt

Pj-keskukset tilataan valmiiksi kalustettuina tarvittavalla määrällä jonovarokeytkimiä ja muuntajaliitäntää kohti suunnatuilla virtakiskoilla tai kaapelipäätteillä. Liityntä jakelumuuntajaan riippuu muuntamotilan kokoonpanopiirroksesta. Yhtiöllä on käytössä useampi eri variaatio keskuksen tyyppille riippuen kiinteistömuuntamon kalustuksesta. Kumppanin vastuulla on hoitaa pj-keskuksen asianmukainen asennus ja käyttöönotto. Jakelumuuntajia hankitaan nykyään kolmessa eri vakiokokoluokassa: 630, 800 ja 1000 kVA. Kj-kojeiston tarkka malli ja kennojen lukumäärä määräytyy tarvittavien muuntajalähtöjen ja muuntamotilan rakenteen perusteella. Kojeistoiksi hankitaan kapasiteetin 2+1 tai 3+1 kj-kojeistoja. Ensimmäinen numero indikoi kj-kojeiston kennojen lukumäärästä ja toinen numero indikoi liitännästä jakelumuuntajaan. Muuntajalähtöjen suunnat voivat olla tilan mukaan kojeistossa joko ylös- tai alaspäin. Tämä huomioidaan tilausvaiheessa, kun valitaan kojeiston tarkkaa mallia projektikohtaisesti.

Mahdollisena laitehankintana yhtiön projektissa voi olla myös kytkemö. Kytkemöllä tarkoitetaan keskijänniteverkon kytkentämuutoksiin tarkoitettua kj-kojeistoa, josta puuttuu muuntajalähtö eli virtakiskot muuntajan pj-puolen navoille. Tällöin niistä käytetään ilmaisua kapasiteetin 2+0 tai 3+0 kojeisto, kun käytettävissä ei ole liitäntää jakelumuuntajaan. Kytkemö on Helsingin verkkoalueella suhteellisen harvinainen komponentti. Niitä on verkkotietojärjestelmän Masterkannassa yhtiön alueella hieman yli 20 kappaletta [2]. Tämän takia niiden hankinta suoritetaan yhtiön omana laitehankintana.

Energiaviraston asettamassa yksikköhinnastossa on oma hintansa kiinteistömuuntamolle. Kiinteistömuuntamoita varten yleensä solmitaan vuokrasopimus yhtiön ja kiinteistön omistajan kesken. Tällöin vuokrasopimusta voidaan pitää yhtiön omana laitehankintana muuntamotilasta, vaikka todellisuudessa tilaa ei välttämättä rakenneta, vaan tila vuokrataan pitkäkestoisella, 20–50 vuoden vuokrasopimuksella sähkölaitteiston pysyväksi sijoituspaikaksi.

Komponenteilla, jotka hankitaan omina laitehankintoina, saadaan lisättyä verkon arvoa Energiaviraston yksikköhintataulukon mukaisesti. Taulukossa 8 on esitetty vuonna 2024 voimassa olevat yksikköhinnat yleisimmille laitehankinnoille.

Taulukko 8. Energiaviraston uusimmat yksikköhinnat verkkokomponenteille, jotka yhtiö suorittaa omina laitehankintoina [10].

<b>Verkkokomponentti</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>€/yksikkö</b>	<b>Pitoaika (a)</b>
Muuntaja 630 kVA	kpl	13 000	35–45
Muuntaja 800 kVA	kpl	14 900	35–45
Muuntaja 1000 kVA	kpl	19 100	35–45
1-kiskokojeiston katkaisijallinen lähtö- tai syöttökenno	kpl	25 300	40–50
2-kiskokojeiston katkaisijallinen lähtö- tai syöttökenno	kpl	41 900	40–50
Kiinteistömuuntamo luokka 1: enintään 3 kennoa erottimilla	kpl	49 400	35–50
Kiinteistömuuntamo luokka 2: 4 kennoa erottimilla	kpl	51 600	35–50
Kiinteistömuuntamo luokka 3: vähintään 5 kennoa erottimilla	kpl	77 500	35–50

Projektipäällikön tarkastaessa suunnitelmaa tulisi varsinkin investointitehokkuuden kannalta priorisoida pistokoeluontoinen verkkokomponenttien tarkastaminen yhtiön omiin laitehankintoihin. Vähäinen omien laitteiden lukumäärä projektilla helpottaa ajallisesti tarkastusta samalla tehostaen tehokkaita investointeja. Esimerkiksi muuntajakoon ja kj-kojeiston lähtöjen lukumäärän tarkastaminen paikkansapitäviksi voi vaikuttaa kymmenillä tuhansilla euroilla Energiavirastolle raportoitavaan verkko-omaisuuteen. Omista laitehankinnoista tulee olla kaikki mahdolliset attribuutit täytettynä suunnitelmalle, muun muassa valmistaja, malli ja käyttöönottopäivä, sillä niillä on vaikutus tehtäessä massalaskentaa Trimble NIS -komponenteista. Vasta massalaskennan kautta tehtävän raportoinnin avulla käyttöönotetut verkkokomponentit luetaan verkko-omaisuudeksi.

Yhtiön omista laitehankinnoista vastaavat hankepäälliköt. Projektipäällikön tulee vastata omia laitehankintoja vaativien projektien toteutuksesta. Yhtiön sisällä täytyy pohtia, onko jakeluverkon sähkölaitteistoa järkevä hankkia omina laitehankintoina. Tähän vaikuttaa kustannus- ja investointitehokkuuden kannalta myös ajankäytöllinen hyöty, koska hankepäälliköiden aikaa kuluu merkittävästi heidän suorittaessaan osan projektin hankinnoista itsenäisesti suoraan toimittajan tai jälleenmyyjän kautta.

Hankepäälliköiden tulee myös puntaroida riskienhallintaa omien laitehankintojen kohdalla niin, että varastossa on riittävästi kriittisiä laitteistoja reservissä. Kriittistä tarvetta voi tulla esimerkiksi jakelumuntajalle suuren sähkökatkon aikaan, jolloin niiden hankkiminen ja varastointi omakustanteisesti maksimoi toimitusvarmuutta ja minimoi saatavuusongelmien riskiä.

## **5 Projektipäällikön tehtävät ja työkalut suunnitelman eri vaiheissa**

Projektipäälliköllä on tarkastettavanaan oman projektinsa eri vaiheissa asioita, joita projektiasiantuntijat eivät erikseen tarkasta ajaessaan suunnitelman muutoksia verkkojärjestelmän kartalle. Verkkotietojärjestelmään luodut suunnitelmat dokumentoi Master-kantaan projektiasiantuntija. Projektiasiantuntijat keskittyvät

työssään dokumentoinnin oikeellisuuteen ja ajantasaisuuteen. Jotta työn tehokkuutta voitaisiin parantaa vähentämällä molempien toimihenkilöiden tekemää samojen asioiden tarkastamista kahteen kertaan, täytyy projektipäällikölle kuuluvat projektin seurannan ja tarkastamisen työtehtävät rajata erilleen dokumentointia tekevien projektiasiantuntijoiden työtehtävistä. On huomioitavaa, että molemmilla osapuolilla ei välttämättä ole tasavertaisesti työtehtäviä jokaisessa projektin osavaiheessa.

## 5.1 Suunnitelman vastaanottovaihe

Suunnittelun aikana suunnittelija luo sähköverkon suunnitteluohjeen mukaisesti tarvittavat dokumentit, jotka toimitetaan projektipäällikölle. Suunnitelmalle kuuluvia asiakirjoja ovat

- verkostolaskennat tulokset
- mittakuvat
- haitta-ainetutkimuksien raportit
- jakokaappikortit
- sijoitus kuvat
- kuvaistutukset jakokaapeista
- kj- ja pj-verkkokartat (verkon tilanne ennen projektin aloitusta)
- kj- ja pj-suunnitelmat (verkon tilanne projektin toteutuksen jälkeen)
- muuntamoiden kokoonpanopiirustukset
- muuntamoiden pääkaaviot
- kj-verkon käyttökaavio (sis. kaavioon tulevat muutokset)
- putkisuunnitelmat [6, s. 18].

Suunnitelmadokumentit toimitetaan toiminnanohjausjärjestelmään. Projektipäällikkö tarkastaa, että verkostolaskennan tulokset ovat riittävät sähköiseltä mitoitukseltaan. Verkostolaskentaan kuuluu kuormitusasteiden, jännitteenalennemien ja oikosulkuvirtojen tarkastaminen. Jotta sähköinen mitoitus saadaan laskettua oikein verkkotietojärjestelmällä, täytyy erityisesti tarkastaa muutamia dokumentoinnin oikeellisuuteen liittyviä asioita.

Pj-verkossa rinnakkain kytkettyjen kaapeleiden pituuksien täytyy olla samat, koska muuten järjestelmä laskee virran kulkemaan virheellisesti kaksinkertaisen pituuden. Jakorajojen tulee olla digitoituna oikein, jotta verkkotopologia muodostuu loogisesti eivätkä oikosulkuveitset ja sulakkeet saa ole ristissä saman kytkimen attribuuteissa. Muuten kyseinen johtolähtö joko häviää laskentatuloksista tai laskentatulos on virheellinen. [21.]

## 5.2 Toteutuksen aikainen tarkastaminen

Suunnitelmaan saattaa tulla muutoksia jo ensimmäisen maastokäynnin eli aloituskatselmuksen aikana. Suunnitelman voi tulla muutoksia monesta eri syystä, mutta yleisesti muutokset johtuvat siitä, että verkon tai sen ympäristön rakenne onkin maastossa erilainen kuin verkkotietojärjestelmän tai muun karttaohjelman avulla on voinut ymmärtää.

Muutoksien syntyessä suunnitelma tulee revisioida. Suunnitelman revisiointi toteutetaan viimeistään loppudokumentoinnin yhteydessä, mutta isoissa projekteissa mieluummin paljon aikaisemmin. Revisiointinumero tulee merkitä uuteen suunnitelmaan, jotta uusimman version pystyy havaitsemaan luotettavasti. Revisioituun suunnitelmaan tulee projektipäällikön tehdä sähköisen mitoituksen uudelleen tarkastaminen, jotta mikään sähköisen laatuun tai sen riittävyyteen vaikuttava ehto ei jää toteutumatta.

Suuri projekti saatetaan jakaa useaan eri NIM-laskentaan, eli projektin toteuttaminen sekä taloudelliset tunnusluvut pilkotaan ja eritellään useaksi eri kokonaisuudeksi. Näin toimitaan usein, jos projektin toteutus aloitetaan syksyllä, mutta talvikauden vaikutuksesta sen toteutus venyy talven yli seuraavalle vuodelle. Tällöin rakennettu ja käyttöönotettu verkonosa erotetaan alkuperäisestä projektista, sille lasketaan omat tunnusluvut ja suunnitelma masteroidaan osittain käyttöönotetulta alueelta.

Alkuperäisestä suunnitelmasta erotettu osuus vaikuttaa alkuperäisen projektin CAPEX-suhteeseen, kun sen mukana siirtyy osa verkon

rakennuskustannuksista. Projektipäällikön tulee seurata ja olla ajan tasalla siitä, mitä osuuksia verkosta verkonrakennuskumppani on saanut käyttöönotettua ja minkä alueiden toteutus siirtyy kevääseen päivitettyjen tunnuslukujen kanssa.

Verkkotietojärjestelmässä on käytössä työkaluja, joita käytetään toteutuksen aikaiseen tarkastamiseen, varsinkin laskutusehdotusten tarkastamiseen. Osa työkaluista auttaa myös dokumentoinnin oikeellisuuden tarkastamiseen.

### Verkkonavigaattori ja Finder-kyselyt

Verkkonavigaattori on Trimble NISin sisäinen navigointityökalu, jolla pystyy hakemaan kaikki suunnitelmakantaan luodut, muokatut ja poistetut komponentit listattuna. Navigaattori avaa erillisen verkkokarttanäkymän, johon se keskittää hiirellä aktiiviseksi valitun komponentin. Verkkonavigaattorin avulla voidaan tarkastaa komponenteille täytetyt attribuutit komponenttityyppi kerrallaan eikä niitä tarvitse löytää itse kartalta silmäääräisesti etsien.

Verkkonavigaattorin avulla voidaan tarkastella myös verkkokartan rakennevirheitä tai mahdollisia rakennevirheitä. Navigaattori listaa esimerkiksi poistamatta jääneitä tai käyttämättömien kaapelien johto-osia ja rakenteeltaan virheellisiä johto-osia.

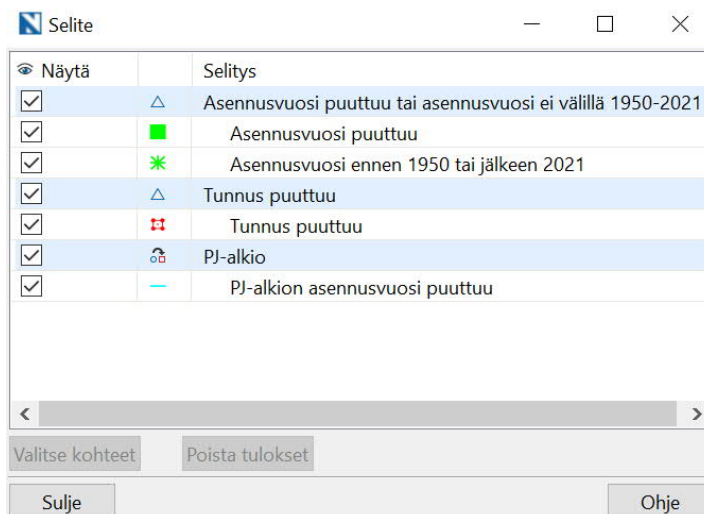
Finder-kyselytyökalulla pystytään hakemaan suunnittelukannasta haluttuja attribuutteja sisältäviä verkkokomponentteja. Finder-kysely korostaa kyselyn ehtoihin sopivat verkkokomponentit kartalle listaamatta niitä erikseen. Kyselyn voi suorittaa manuaalisesti määrittelemällä ehdot halutuille attribuuteille itse tai käyttämällä valmiita järjestelmään tallennettuja kyselyitä.

Eräs esimerkki Finder-kyselyn hyödyntämisen on etsiä työkalulla suunnitelmasta lähialueen muuntamot, joissa on muuntamoautomaatiolaitteita. Kysely korostaa kaikki ne muuntamot, joihin on jo asennettu automaatiolaitteita, kuten vianilmaisimia. Yhtiön verkonrakennusperiaatteiden mukaisesti muuntamoautomaatiota ei ole järkevää rakentaa vierekkäisiin muuntamoihin, jos ne ovat saman sähköasemalähdön syöttämiä. Vierekkäisten muuntamoiden



vianilmaisimet hälyttävät vian sattuessa jokainen erikseen, jolloin vian paikantaminen voi vaikeutua. Kyselyn tuloksien avulla projektipäällikkö voi punnita, onko suunnitelman muuntamoille hyödyllistä lisätä automaatiolaitteita tai toisessa tapauksessa olisiko järkevämpää jättää ne kokonaan asentamatta.

Verkkotietojärjestelmään on luotu automatisoituja Finder-kyselyitä, joilla pystyy tarkastamaan verkkotiedon oikeellisuutta. Pj-verkon ikätietojen tarkastamiseen on luoto automaattinen Finder-kysely, jonka suorittaminen korostaa verkkokartalle ne johto-osat ja alkiot, joiden ikätieto on virheellinen. Ikätiedon virheellisyys vaikuttaa nykykäyttöarvon (NKA) laskemiseen vääristäen komponenttien keskiikää. Verkkotietojärjestelmän työkaluista löytyy erikseen Tarkasta verkkotiedot -painike, joka suorittaa automatisoidun Finder-kyselyn korostaen erilaisilla merkinnöillä erilaisia rakenne- tai digitointivirheitä kartalle [2]. Kysely aukaisee kuvan 13 mukaisen ikkunan, josta ilmenee, mitä mahdollisia verkkotiedon virheitä tietokannasta on löytynyt.



Kuva 13. Tarkasta verkkotiedot -toiminnon selitteet [2].

## Määräluettelo

Määräluetteloä käytetään projektipäällikön ensisijaisena toteutuneiden kustannuksien investointitehokkuuden tarkastamistyökaluna sekä laskutusehdotuksien eli määrämittauspöytäkirjojen hyväksynnän työkaluna. Projektipäällikkö

tarkastaa, että Trimble NISin määräluettelo vastaa komponenttilajien kokonaisluvuiltaan ja -kustannuksiltaan verkonrakennuskumppanin lähettämän laskutusehdotuksen lukuja kappale-, metri- ja euromääriltään sekä että määräluettelo vastaa määramittausperusteiden yksiköitä toimenpiteiltään. Määräluettelo laskee projektille sen kokonaiskustannuksen, ja sen avulla projektipäällikkö voi seurata esimerkiksi budjetissa pysymistä.

### 5.3 Loppudokumentointi

Kun projekti valmistuu, verkonrakennuskumppani toimittaa projektin loppudokumentoinnin. Masterointipyyntö tulee suunnittelijalta ensin projektin projektipäällikölle. Tällöin suunnitelmalla täytyy olla projektin toteutusvaiheessa syntyneet muutokset. Yleisiä muutoksia suunnitelmaan toteutusvaiheessa ovat

- ylimääräiset kaapelijatkot haastavan reitin vuoksi
- kaapelireittimuutokset
- uusi sähköliittymä
- kytkemättä jäänyt sähköliittymä
- poistamatta jäänyt tai uusittu jakokaappi
- asentamatta jäänyt muuntamoautomaatio [21].

Projektipäällikkö ohjaa Masterointipyynnön dokumentointia suorittavalle projekti-asiiantuntijalle, kun suunnitelman on tarkastettu olevan verkkotietojärjestelmässä virheetön ja ajan tasalla muutoksista [21]. Projektipäällikkö tarkastaa loppudokumentoinnin mukana tulevien asiakirjojen avulla. Loppudokumentoinnin asiakirjat toimitetaan toiminnanohjausjärjestelmään. Työkaluna loppudokumentoinnin tarkastamiseen voidaan käyttää seuraavia asiakirjoja:

- asennustöiden punakynäkuvat, käyttöönottotarkastuspöytäkirjat
- maanrakennuksen loppudokumentit, monttu- ja asfalttikartat, valokuvat
- kartoituksen mittakuvat ja valokuvat
- muuntamoiden vastaanottotarkastuspöytäkirjat [31].

## 5.4 Projektiasiantuntijoiden vastuualue dokumentoinnissa

Verkkokartan dokumentoinnin toteutuksen vastuu on projektiasiantuntijoilla. Projektiasiantuntijoiden päävastuualue dokumentoinnista liittyy Master-kannan päivityksen toteutukseen. Projektiasiantuntija saa pyynnön projektipäälliköltä toteuttaa suunnitelman Master-ajo, kun suunnitelma on tarkastettu ja loppudokumenttien mukainen.

Projektiasiantuntija tarkastaa pj-verkon puolelta jakokaappien ja muuntamoiden pj-keskusten lähdöt sekä kj-verkon puolelta kojeistojen ja sähköasemien lähdöt yksitellen. Jokaisen lähdön tulee olla kytketty oikeaan johtoalkioon kiinni ja johto-osan tulee olla yhtenäinen, jotta rakennevirheitä ei synny. Jokaiselle kiinni-asennossa olevalle jakokaapin kytkimelle tulee olla sulakkeet tai oikosulkuveitset valittuna attribuutteihin. Muuten kaapeli ei piirry verkkotopologiaan oikein eikä ole sähköisen laskennan tuloksissa mukana. Jakokaapin kytkinluettelon tulee olla verkkotietojärjestelmän suunnitelmassa vastaavanlainen urakoitsijan toimittamaan jakokaappikorttiin ja täten maastossa olevaan todelliseen kytkentätilanteeseen verrattuna. [32.]

Projektiasiantuntijan vastuulla ovat Trimble NIS -verkkokartan ristiviittaukset toiseen Trimble Utilities & Public Administrationin tarjoamaan järjestelmään, Trimble DMS:ään. Trimble DMS on käytöntukijärjestelmä, jota käytetään verkon kytkentätilan seurantaan, kytkentämuutoksien tai jakelukeskeytyksien suunnitteluun sekä jakeluhäiriöiden vianpaikannukseen [33]. Trimble NIS- ja Trimble DMS -järjestelmien tulee olla molempien ajan tasalla, ja järjestelmien välinen synkronointi suoritetaan manuaalisesti reaaliajassa. Ajantasainen synkronointi suoritetaan yhteistyössä käyttökeskusoperaattorin kanssa.

Projektiasiantuntija tarkastaa verkkokartan luettavuuden helppouden suunnitelmalla muutetuista komponenteista. Jos kaapelit tai verkkokomponentit poikkeavat paljon sijaintikartalle kartoitettujen kaapeleiden tarkoista reiteistä, voidaan komponentteja tai johto-osia siirtää kartalla vastaamaan verkon todellista rakennetta. Projektiasiantuntijan vastuulla on tarkastaa verkkotopologian eheys. Jos topologia ei värity oikein eli jää valkoiseksi, suunnitelmassa on rakennevirhe,

joka tulee korjata ennen Master-ajoa. Rikkinäinen verkkotopologia sekoittaa käyttötukijärjestelmän käyttökaavion, jolloin verkon aktiivista kytkentä- ja tilatietoa ei pystytä tarkastelemaan. [32.]

## 6 Sisäisen työohjeen tekeminen

Opinnäytetyön tuotoksena yritykselle tehtiin sisäinen työohje kertomaan tarkemmin verkkotietojärjestelmällä luodun suunnitelman tarkastamisesta. Sisäisen työohjeen on tarkoitus pysyä yrityksen sisäisenä dokumenttina Jakeluverkko-tiimin käyttöön sellaisena versiona, jota pystytään jatkossa päivittämään uuteen toiminnanohjausjärjestelmään siirryttäessä vuoden 2024 aikana.

Nykyinen toiminnanohjausjärjestelmä on ollut käytössä 2000-luvun alusta, ja sen käyttöominaisuuksien räätälöiminen yhtiön nykyisten, muuttuneiden toimintaperiaatteiden mukaiseksi olisi hyvin monimutkaista. Lisäksi integraatio muiden sähköisten järjestelmien välillä on koettu haastavaksi järjestelmävaatimuksien ja yhteensopimattomuuksien vuoksi.

Sisäisen työohjeen tekemisen alkuvaiheissa täytyi miettiä kohderyhmää, kelle työohje tehdään. Nykyään Jakeluverkko-tiimin projektipäälliköillä ei ole käytössään verkkotietojärjestelmään pohjautuvaa työohjetta suunnitelman tarkastamiseen useasta eri näkökulmasta. Työohjeita jakeluverkon suunnitteluperiaatteista ja dokumentointitavoista on kirjoitettu, mutta yhteen sidottua, ajankohtaista työohjetta ei löydy. Sen lisäksi työohjeen olisi tarkoitus toimia myös perehdyttävänä materiaalina tuleville, uusille projektipäälliköille, joiden aikaisempi projektin vetovastuukokemus on voinut olla erilaista tai toimintaperiaatteiltaan poikkeuksellista yhtiön periaatteisiin verraten.

Lopputuloksena työohjeeksi rakentui opinnäytetyön kirjoituksen ohessa 20-sivuinen opas, joka käsittelee tiivistettynä samoja opinnäytetyössä käsiteltyjä osaluoteita. Sisäisestä työohjeesta tehtiin kuvankaappauksien ja saatetekstien avulla opas, jossa neuvotaan myös verkkotietojärjestelmän käyttöliittymän painikkeiden sijainnit ja niiden toimintojen merkitys.

## 7 Yhteenveto

Jakamalla Trimble NIS -suunnitelman tarkastaminen kolmeen osakokonaisuuteen luo kattavan kokonaisuuden toiminnanohjaukselle. Sähköisen mitoituksen tarkastaminen varmistaa standardien ja sähkömarkkinalain vaatimien sähköisten arvojen pysymisen sallituissa rajoissa hyvälaatuisen, häiriöttömän ja stabiilin jakeluverkon mahdollistamiseksi. Suunnitteluperiaatteiden mukaisen rakennustavan tarkastaminen varmistaa verkon olevan rakenteellisesti yhdenvertainen kaikkialla Helsingissä muun infrastruktuurin kanssa ja noudattaa yhtiön muita strategisia tavoitteita ja periaatteita. Investointitehokkuuden tarkastaminen varmistaa järkevät verkon uudistamispäätökset verkkokomponenttien pitoaikojen täytyessä, mahdollistaa yhtiön vuosittaisen talousarvion seurannan, kasvattaa verkon arvoa valvontamallin mukaisen yksikköhinnittelun avulla ja pitää yllä yhtiön investointikykyä myös uuden valvontamallin voimassa ollessa.

Opinnäytetyössä käsitellyt aiheet nostavat esiin projektipäällikön työn monipuolisen osaamisen tärkeyden, joka varsinkin järjestelmäosaamisen kannalta korostuu tulevaisuudessa. Väärin järjestelmään dokumentoitu verkkotieto on turvallisuusriski ja voi pahimmassa tapauksessa johtaa sähkötapaturmaan. Dokumentoinnin puutteellisuus vaikuttaa suoraan sallittuun tuottoon, sillä verkon nykykäyttöarvon virheellisyys vaikuttaa esimerkiksi mahdollisuuteen korottaa siirtohintoja muiden kuluttajahintojen noustessa. Väärä tieto verkkotietojärjestelmässä voi johtaa myös väriin johtopäätöksiin verkon strategisessa suunnittelussa. Uusi toiminnanohjausjärjestelmä mahdollistaa paremman integraation järjestelmien välillä ja vähentää virheellisen tiedon dokumentointia.

Verkkotietojärjestelmän merkittävin ominaisuus on sillä toteutettava sähköverkon suunnittelu. Tämän takia kaikkia Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän työkaluja ei ole projektipäällikön päivittäisessä käytössä. Suunnittelutyökalujen avulla on kuitenkin mahdollista tarkastaa projektin toteutuksenaikaista seuranta esimerkiksi suunnitelman määräluettelon, rakennevirheiden tarkastelutyökalun ja sähköisen mitoitus työkalun avulla.

Tämän työn aikana ilmeni lukuisia kehitysideoita tulevaisuudessa suoritettavaan suunnitelmien tarkastamiseen verkkotietojärjestelmällä. Toimintamallin kehittäminen jatkossa edistää digitaalisen edelläkävijän roolia yrityksen sisäisessä strategiassa, sekä kehitys heijastuu muihin yrityksen arvoihin aina konsernitasonne asti.

Verkkotietojärjestelmän tietopohjassa käyttöpaikkojen tyyppikäyrien päivittäminen uusimmilla yritykselle räätälöidyillä käyrillä parantaa sähköverkon suunnittelua. Yritykselle räätälöityjen käyttöpaikkatyyppien käyttöönotto sähköisessä mitoituksessa mahdollistaisi entistä tarkemman tarkastelun uudisrakennuskohteille tehonjakolaskennassa. Helsingissä tullaan rakentamaan vielä täysin uusia asuinalueita tulevina vuosina. Yritysten vastuullisraportointivelvollisuuksien laajentuessa Trimble NIS -komponenteille lisättävä päästökerroin mahdollistaisi tarkemman ja luotettavamman tarkastelun yrityksen hiilidioksidipäästöihin. Omille laitehankinnoille muodostettava rekisteri niiden komponenttien osalta, jotka tilataan, mutta joita ei syystä tai toisesta asenneta mahdollistaisi paremman seurannan projektipäälliköille varastossa vapaana olevista muuntajien, kojeistojen ja keskuksien kappalemääristä.

Opinnäytetyön tuotoksena syntyneen tarkastustyöohjeen ja erillisen verkkotiedon dokumentointikäsi­kirjan avulla projektipäälliköiden ja -asiantuntijoiden yhteistyötä saadaan tiivistettyä. Tiiviimmällä yhteistyöllä saadaan kehitettyä toimintamallia paremman verkkotiedon laadun, yhdenmukaisten dokumentointikäytäntöjen ja verkolla tehtävien töiden laskutusperiaatteiden suhteen. Jatkossa verkkokartan Masterointi ja rakennetun verkonosan laskutus olisi mahdollista rinnastaa. Tällä hetkellä laskutus on vaadittu käsittelemään käyttöönotetun verkon osaa. Masteroinnin ja laskutuksen rinnastaminen vähentäisi välilaskutusta. Tarvittaessa myös fuusioimalla toimihenkilöiden työtehtäviä olisi mahdollista lisätä asiantuntijuutta Jakeluverkko-tiimiin.

Ainoa kustannuksellisesti merkittävä osa verkon rakentamisesta, jota ei pystytä nykyisillä työkaluilla ja toimintamenetelmillä tarkastamaan verkkotietojärjestelmästä, on maanrakennustöiden toteutunut asfaltointi. Verkkokarttaan ei

dokumentoida graafisesti toteutuneen asfaltoinnin neliömetrimääriä. Asfaltoinnit näkyvät vain määräluettelossa numeerisessa muodossa. Projektipäällikkö joutuu käyttämään asfaltoinnin tarkastamiseen muita järjestelmiä, kuten sijaintikarttaa sekä verkonrakennuskumppanin toimittamia työnaikaisia valokuvia.

## Lähteet

- 1 Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3., uudistettu painos. Helsinki: Otatieto Oy.
- 2 Trimble NIS. Versio 22.1–01. 2023. Sovellus. Trimble Utilities & Public Administration.
- 3 Verkkotiedon dokumentointi. 3.2.2020. Yrityksen sisäinen aineisto. Helen Sähköverkko Oy.
- 4 Santaharju, Teija. 2024. Lähes kaikki sähköverkkoyhtiöt valittavat Energiaviraston valvonnan muutoksista markkinaoikeuteen. Verkkoaineisto. Yleisradio. <<https://yle.fi/a/74-20072209>>. 31.1.2024. Luettu 2.3.2024.
- 5 Työmaat kartalla. Verkkoaineisto. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/ajankohtaista/tyomaat-ja-kehityshankkeet/tyomaat>>. Luettu 21.11.2023.
- 6 Sähköverkon suunnitteluohje. 3.2.2020. Yrityksen sisäinen aineisto. Helen Sähköverkko Oy.
- 7 Verkkotiedon dokumentointiohje. 3.2.2020. Yrityksen sisäinen aineisto. Helen Sähköverkko Oy.
- 8 Virtanen, Erkkä. 2012. Asennuskaapelit. Insinööriyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 9 Jakeluverkon suunnitteluperiaatteet. 3.2.2020. Yrityksen sisäinen aineisto. Helen Sähköverkko Oy.
- 10 Yksikköhinnat 2024 sähkönjakelun vuoden 2022 arvossa. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <[https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Yksikk%C3%B6hinnat+2024+s%C3%A4hk%C3%B6jakelu+\(v2022+arvossa\).xlsx/e09b5e61-ff3c-0778-90a9-ca727af887d1?t=1704877138878](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Yksikk%C3%B6hinnat+2024+s%C3%A4hk%C3%B6jakelu+(v2022+arvossa).xlsx/e09b5e61-ff3c-0778-90a9-ca727af887d1?t=1704877138878)>. Luettu 10.1.2024.
- 11 Keränen, Juha. 2020. Jakeluverkon materiaalien tekniset vaatimukset. 3.2.2020. Yrityksen sisäinen aineisto. Helen Sähköverkko Oy.
- 12 Mutanen, Antti; Lummi, Kimmo & Järventausta Pertti. 2019. Valtakunnallisten tyyppikäyttäjämäärittelyiden päivittäminen ja hyödyntämisen periaatteet verkkopalvelumaksuihin liittyvissä tarkasteluissa. Verkkoaineisto. Energiavirasto & Tampereen yliopisto.



- <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Loppuraportti-verkkotoiminta-Tyypikayttajat-2019.pdf/585042fc-c377-09bb-5e4d-b330a6dfa1bb/Loppuraportti-verkkotoiminta-Tyypikayttajat-2019.pdf?t=1554356177000>>. 2019. Luettu 16.1.2024.
- 13 Mutanen, Antti; Lummi, Kimmo & Järventausta, Pertti. 2020. Tuntimitaus- ja avoimeen dataan perustuva kuormitusmallinnus. Verkkoaineisto. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/dokumentit/helen-s%C3%A4hk%C3%B6verkko-kuormitusmallinnus-2020-vaihe-1.pdf>>.2020. Luettu 22.12.2023.
  - 14 Datahub - sähkökäyttöpaikkojen tiedot yhdessä järjestelmässä. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/datahub/>>. Luettu 22.2.2024.
  - 15 SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto.
  - 16 Peijariniemi, Ville. 2007. Haja-asutus- ja maaseutualueiden pienjänniteverkon rakentamisen ja saneeraamisen yhdenmukaistaminen. Insinöörityö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
  - 17 SFS 6000-8-801:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-801: Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Suomen Standardisoimisliitto.
  - 18 SFS-EN 50160:2022. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto.
  - 19 Valvontamenetelmät kuudennella 1.1.2024–31.12.2027 ja seitsemännellä 1.1.2028–31.12.2031 valvontajaksolla. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+++Menetelm%C3%A4liite.pdf/bc07b3d7-9b1b-e970-9be9-f46f1c1dfc94/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+++Menetelm%C3%A4liite.pdf?t=1703848648980>>. Luettu 30.1.2024.
  - 20 Yleisten alueiden käyttö, tilapäiset liikennejärjestelyt ja katutyöt – Pääkaupunkiseudun (PKS) määräykset ja ohjeet. 2023. Verkkoaineisto. PKS-kaupungit. <[https://kuntatekniikka.fi/skty/wp-content/uploads/sites/105/2023/02/31843502\\_SKTY\\_PKS\\_Yleiset\\_alueet\\_22\\_02\\_14\\_netv3-1.pdf](https://kuntatekniikka.fi/skty/wp-content/uploads/sites/105/2023/02/31843502_SKTY_PKS_Yleiset_alueet_22_02_14_netv3-1.pdf)>. Päivitetty 12.1.2023. Luettu 19.2.2024.
  - 21 Lanteri, Pertti. 2024. Projektipäällikkö, Helen Sähköverkko Oy, Helsinki. Keskustelu 12.2.2024.

- 22 Sähköverkon topologia. 2016. Verkkoaineisto. Tieteen termipankki. <[https://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:s%C3%A4hk%C3%B6verkon\\_topologia](https://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:s%C3%A4hk%C3%B6verkon_topologia)>. 21.12.2016. Luettu 24.2.2024.
- 23 Helen on sitoutunut työmaiden päästöjä vähentävään Green deal -sopimukseen. 2023. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2023/helen-on-sitoutunut-tyomaiden-paastoja-vahentavaan-green-deal-sopimukseen>>. 21.9.2023. Luettu 21.2.2024.
- 24 Environmental Product Declaration ABB Cable Distribution Cabinet CDC 460. 2023. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CGD001329S1000&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. 17.10.2023. Luettu 21.2.2024.
- 25 Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016–31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020–31.12.2023 valvontajaksolla. 2021. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <[https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Liite\\_2\\_Valvontamenetelm%C3%A4t\\_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu\\_p%C3%A4ivitetty\\_22.pdf/82887397-969e-431b-36c9-412d566f19f7/Liite\\_2\\_Valvontamenetelm%C3%A4t\\_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu\\_p%C3%A4ivitetty\\_22.pdf?t=1647522665452](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_p%C3%A4ivitetty_22.pdf/82887397-969e-431b-36c9-412d566f19f7/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_p%C3%A4ivitetty_22.pdf?t=1647522665452)>. Päivitetty 21.12.2021. Luettu 27.11.2023.
- 26 Hyvönen, Eemeli. 2019. Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohjeen laatiminen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 27 Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2020 -. Tuloksellisuuden ja ohjausvaikutusten kehittyminen vuosina 2016–2019 suhteessa aiempiin valvontajaksoihin. 2021. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/S%C3%A4hk%C3%B6verkkoliiketoiminnan+kehitys,+s%C3%A4hk%C3%B6verkon+toimitusvarmuus+ja+valvonnan+vaikuttavuus+2020.pdf/802204a1-5758-e520-24a1-f68ba819ec77/S%C3%A4hk%C3%B6verkkoliiketoiminnan+kehitys,+s%C3%A4hk%C3%B6verkon+toimitusvarmuus+ja+valvonnan+vaikuttavuus+2020.pdf?t=1620212590448>>. Päivitetty 4.5.2021. Luettu 28.11.2023.
- 28 Forsström, Juha. 2019. Sähköverkkoyhtiön kustannusneutraali valvontamalli. Verkkoaineisto. Teknologian tutkimuskeskus VTT OY. <[https://energiavirasto.fi/documents/11120570/15657793/%C3%84ly-verkkoforum\\_02\\_20191104+VTT+Tutkimusraportti.pdf/83647490-b1a5-cf2a-1a31-74824e9fa9ca/%C3%84lyverkkorum\\_02\\_20191104+VTT+Tutkimusraportti.pdf?t=1573214532000](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/15657793/%C3%84ly-verkkoforum_02_20191104+VTT+Tutkimusraportti.pdf/83647490-b1a5-cf2a-1a31-74824e9fa9ca/%C3%84lyverkkorum_02_20191104+VTT+Tutkimusraportti.pdf?t=1573214532000)>. 6.5.2019. Luettu 28.11.2023.

- 29 Vironen, Petri. 2023. Sähkön siirtohintoja valvovan mallin muutos kuohuttaa verkkoyhtiöitä – kuluttajahinnat tuskin kovin nopeasti laskevat. Verkkoaineisto. Yleisradio. <<https://yle.fi/a/74-20060869>>. 20.11.2023. Luettu 12.2.2024.
- 30 Lassila, Anni. 2023. Sähkön siirtohintojen rajut nostot ovat kirvoittaneet närkästystä: nyt Energiavirasto suitsii korotuksia. Verkkoaineisto. Aamulehti. <<https://www.aamulehti.fi/talous/art-2000010088906.html>>. 29.12.2023. Luettu 5.3.2024.
- 31 Ikonen, Mikael. 2023. Jakeluverkon loppudokumentointi. Yrityksen sisäinen aineisto. Helen Sähköverkko Oy.
- 32 Sirén, Mirko. 2024. Projektiasiantuntija, Helen Sähköverkko Oy, Helsinki. Keskustelu 12.2.2024.
- 33 Trimble DMS. Verkkoaineisto. Trimble Utilities & Public Administration. <<https://upa.trimble.com/fi-fi/tuotteet/trimble-dms>>. Luettu 24.2.2024.