



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Teemu Hautamäki

Suuritehoisen pienjännitesyötön suunnittelu ja mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan Koulutusohjelma

Insinöörityö

10.11.2019

Tekijä Otsikko	Teemu Hautamäki Suuritehoisen pienjännitesyötön suunnittelu ja mitoitus
Sivumäärä Aika	22 sivua + 1 liitettä 10.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Sampsa Kupari käytönjohtaja Timo Torvela
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä sähkösuunnittelun perusteisiin sekä vaatimuksiin ja esimerkki osana toteuttaa esisuunnittelu kiinteistön 500 kVA:n 10,5/0,4 kV:n päämuuntajan korvaamiseksi suoralla pienjännitesyötöllä 0,4 kV.</p> <p>Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa perehdyttiin sähkösuunnittelun perusteisiin, määräyksiin, sekä sähköverkkojen rakenteeseen. Tämän jälkeen otettiin tarkempaan käsittelyyn jännitteenaleneman, oikosulkuvirran sekä huipputehon teoria ja laskenta pienjännitteellä. Työssä käsiteltiin myös kaapelinsuojauksen perusteet yleisimmin käytetyillä tavoilla. Teknisenä esimerkkinä tehtiin 500 kVA:n pienjännitesyötön esisuunnittelu tarjouspyyntöä varten.</p> <p>Suunnittelun esimerkkityö sisälsi liittymämitoituksen työvaiheet kronologisessa järjestyksessä. Suunnittelu alkoi vaadittavan tehon tarpeen määrittelystä, syöttökeskuksen laajenuksen määrittelyn, syöttökatkaisijan määrittelyn, kaapelireitin suunnittelun, kaapelin mitoituksen jännitteenalenema huomioiden, oikosulkuvirtojen laskennan, kaapelin oikosulkukestoisuuden tarkastelun.</p> <p>Suunnittelun tuloksena syntyi esisuunnitelma olemassa olevan ratkaisun korvaamisesta suoralla pienjännitekaapeloinnilla. Syöttökaapeli yhdistelmäksi tuli kolme rinnan kytkettyä AXCMK-HF 4*240/72 kaapelia. Tämä oli hankintahinta/jännitteen alenemasuhteeltaan edullisin vaihtoehto.</p> <p>Opinnäytetyön esisuunnittelupakettia hyödynnettiin tarjouspyyntömateriaalina yrityksessä, johon työ tehtiin.</p> <p>Tiedonlähteitä opinnäytetyöhön ovat alan ammattilaisten haastattelut, kaapelinmitoitusoppaat, kirjallisuus, standardit, käsikirjat ja kaapelivalmistajien materiaali.</p>	
Avainsanat	sähkösuunnittelu, kaapelinmitoitus, jakelujärjestelmät

Author Title	Teemu Hautamäki High Power Low Voltage Feed Design and Dimensioning
Number of Pages Date	22 pages + 1 appendix 10th November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Senior lecturer Timo Torvela, Electrical Works Director
<p>The aim of this thesis work was to get acquainted with the basics and requirements of electrical design and as an example, design the replacement of a 500 kVA 10,5/0,4 kV main transformer with a direct low voltage supply of 0,4 kV.</p> <p>In the first part of the thesis the basics of electrical design, quantities and structure of electric networks were studied. Subsequently, the theory and calculation of voltage drop, short-circuit current and peak power at low voltage were taken for further consideration. The paper also covered the basics of cable protection in the most commonly used ways.</p> <p>As a technical example, a 500 kVA low voltage supply was pre-designed for a call for tender. The exemplary design work involved the design of the interfaces in chronological order. Starting from defining the required power requirement, defining the supply center extension, defining the circuit breaker, designing the cable path, considering the voltage reduction of the cable, calculating the short-circuit currents, considering the short-circuit resistance of the cable.</p> <p>The design resulted in a preliminary plan to replace the existing solution with direct low-voltage cabling. The supply cable was a combination of three (3.) parallel AXCMK-HF 4 * 240/72 cables. This was the most cost-effective option for the purchase price / voltage drop.</p> <p>The thesis pre-planning package was used as a tender request material in the company where the work was done. Information sources for the thesis include interviews with industry professionals, cable dimensioning guides, literature, standards, manuals and cable manufacturer materials.</p> <p>Information sources for the thesis include interviews with industry professionals, cable dimensioning guides, literature, standards, manuals and cable manufacturer materials.</p>	
Keywords	Electrical design, Cable design, Distribution systems

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkösuunnittelun perusteet	1
2.1	Sähkösuunnittelun vaatimukset ja määräykset	1
2.2	Tilaluokitukset, erikoistilat ja asennusympäristöt	2
2.3	Sähköverkkojärjestelmät	4
2.4	Kiinteistöverkot	5
2.5	Teollisuusverkot	7
2.6	Jakeluverkot	9
3	Kiinteistön liittymän mitoitus ja esitiedot	10
4	Liittymisjärjestelmän suojaus	11
5	500 kVA:n liittymän mitoitus	14
6	Yhteenveto	19
	Lähteet	21

Liitteet

Liite 1. Prysmian tekninen tietolehti

Lyhenteet

ATEX	Atmospheres explosives. Räjähdyksvaarallinen ympäristö.
Ex	Explosive. Räjähdyksvaarallinen.
Ex-tila	Räjähdyksvaarallinen tila.
Ex-laite	Räjähdyksvaarallisessa tilassa käytettävä laite tai suojausjärjestelmä.
PK	Pääkeskus
RK	Ryhmäkeskus
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Valvonta Ohjaus ja Tiedonkeräys)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on sähkösuunnittelun ja sähköliittymän mitoituksen perusteiden selvittäminen ja työtehtäväksi annetun projektin esisuunnittelun toteuttaminen.

Esimerkkiprojektina on toimistokiinteistön 500 kVA 10,5/0,4 kV:n verkkoliitännän uudelleenjärjestelyn esisuunnittelu. Opinnäytetyö on tehty kiinteistön omistavan yrityksen palveluksessa hankesuunnitelmaksi sekä tarjouspyyntödokumentaatioksi.

Näkökulma on projektin kokonaissuunnittelu, sisältäen syöttökaapeleiden mitoituksen laskentaesimerkinä. Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa perehdytään sähkösuunnittelun perusteisiin, määräyksiin sekä sähköverkkojen rakenteeseen. Tämän jälkeen otetaan tarkempaan käsittelyyn jännitteenaleneman, oikosulkuvirran sekä huipputehon teoria ja laskenta pienjännitteellä.

Teknisenä esimerkkinä tehdään 500 kVA:n pienjännitesyötön esisuunnittelu tarjouspyyntöä varten. Suunnittelun esimerkki sisältää liittymämitoituksen työvaiheet kronologisessa järjestyksessä. Alkaen vaadittavan tehon tarpeen määrittelystä, sisältäen syöttökeskuksen laajennuksen määrittelyn sekä syöttökatkaisijan määrittelyn. Suunnittelun jatkuen sisältäen kaapelireitin suunnittelun, kaapelin mitoituksen jännitteenalenema huomioiden, oikosulkuvirtojen laskennan sekä kaapelinoikosulku kestoisuuden tarkastelun.

2 Sähkösuunnittelun perusteet

2.1 Sähkösuunnittelun vaatimukset ja määräykset

Kiinteistöjen ja teollisuuden sähkökäyttöä sekä sähköverkoja säätelevät sähköturvalisuuslaki, standardit ja direktiivit. Näiden lisäksi suunnittelua ohjataan erilaisilla ohjeilla ja käytänteillä, jotka pohjautuvat alaa sääteleviin standardeihin ja direktiiveihin. Standardeista ja direktiiveistä löytyy paljon käytännön tietoa esimerkiksi suunnittelusta, laitteiden valinnasta ja dokumentaation laatimisesta. (1.)

Seuraavassa on lista keskeisimmistä standardeista, direktiiveistä ja käsikirjoista.

- SFS 6000 (alle 1 kV) ja SFS 6001 (yli 1 kV)
- Asennustavat ja työturvallisuus
- SFS-EN 2664
- 50 Hz ja yli 100 V vaihtosähkön siirto-, jakelu- ja käyttöjärjestelmät
- SFS-EN 60204-1
- PSK -standardit
- EMC -direktiivit EN61000
- Sähkömagneettisten häiriöiden tuotto ja sieto
- SFS-EN 50160 – Liityntäpisteen jakelujännitteen raja-arvot
- Sähköturvallisuuslaki ja sähköturvallisuusmääräykset
- SFS-EN 60947
- Pienjännitekytkinlaitteet
- SFS-EN 60079
- Räjähdysvaaralliset tilat, suunnittelu ja laitevalinnat
- SFS-Käsikirja 600-1
- SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset
- SFS-Käsikirja 600-2
- Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit
- SFS-Käsikirja 601
- Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot
- D1-2012
- Käsikirja rakennusten sähköasennuksista
- SFS-Käsikirja 16: Moottorikeskukset ja ohjelmoitavat ohjaukset
- Vakiosovelluksia enintään 1000V moottorikäyttöille
- SFS-Käsikirja 154: Jakokeskukset

2.2 Tilaluokitukset, erikoistilat ja asennusympäristöt

Sähkösuunnittelussa pitää ottaa huomioon käyttökohteen asennusympäristö, tilat ja näiden luokitukset. Tällä varmistetaan, että käyttökohteeseen tulee sinne soveltuvat sähkölaitteistot. (1.)

Tilaluokitus määrittää käyttökohteeseen soveltuvat sähkölaitteistot ja asennustavat. Rakennusten sähköasennuksissa tilaluokitukset ovat pääasiassa erilaisten erikoistilojen määrittely ja asennusvaatimusten noudattaminen. Teollisuuden sähköasennuksissa

joudutaan huomioimaan tilojen räjähdysvaarallisuus, räjähdysvaaralliset kaasuseokset, pölyt ja kemikaalit. Räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteistojen pitää täyttää tilanluokituksen vaatimukset. (1; 5.)

Seuraavassa on listaus SFS 6000-standardin määrittelemistä erikoistiloista:

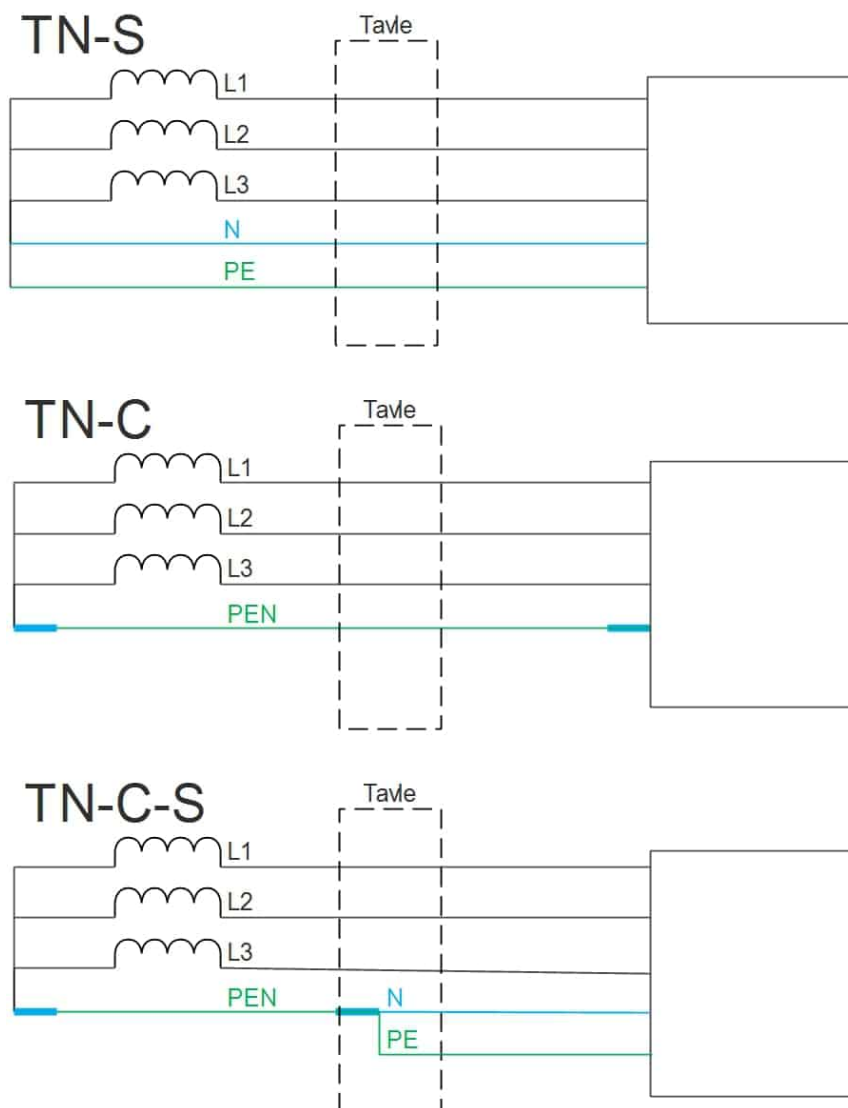
- kylpy- ja suihkutilat
- uima-altaat ja vastaavat
- saunat
- rakennustyömaat
- maa- ja puutarhatalouden tilat
- ahtaat johtavat tilat
- leirintäalueet
- venesatamat
- lääkintätilat
- näyttelyt, esitykset ja näyttelyosastot.

Seuraavassa on listaus SFS 6000-standardin määrittelemistä räjähdysvaarallisista (ATEX) tilaluokituksista.

- tilaluokka 0 (Tilaluokka 20)
 - Alueella on räjähdysvaarallista kaasua tai pölyä koko ajan tai pitkiä aikoja. Tilassa saa käyttää vaan Exi luokan luonnostaan vaarattomia piirejä. Moottoreita ei saa käyttää.
- Tilaluokka 1 (Tilaluokka 21)
 - Alueella todennäköisesti esiintyy räjähdysvaarallista kaasua tai pölyä normaalin käytön aikana. Tilassa saa käyttää Exd, Exe ja Exp luokan moottoreita ja laitteita.
- Tilaluokka 2 (Tilaluokka 22)
 - Alueella ei todennäköisesti esiinny räjähdysvaarallista kaasua tai pölyä normaalin käytön aikana tai niitä esiintyy vain lyhyitä aikoja. Tilassa saa käyttää tilaluokkien 0 ja 1 laitteita. Esimerkiksi moottorien rakenteiden täytyy kuitenkin olla joissakin olosuhteissa räjähdysuojattu.

2.3 Sähköverkkojärjestelmät

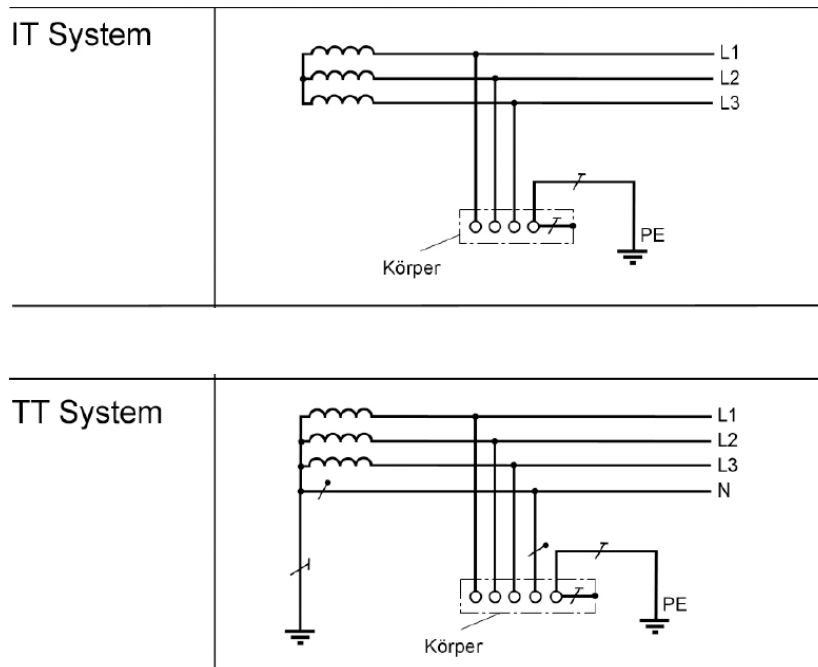
Sähköverkkojärjestelmällä tarkoitetaan jakelu-, kiinteistö- tai teollisuussähköverkkoa. Yleisesti on käytössä kolme erilaista verkoversiota TN-järjestelmästä: TN-S-järjestelmä erillisellä nolla- ja suojamaadoitusjohtimella, TN-C-S-järjestelmä, jossa osassa verkkoa nolla- ja suojamaadoitusjohdin ovat yhdistettyjä, ja TN-C-järjestelmä, jossa nolla- ja suojamaadoitusjohdin ovat yhdessä koko verkossa. Esimerkki järjestelmien eroista on kuvassa 1.



Kuva 1. TN-järjestelmien erot. (10.)

Näiden lisäksi erityissovelluksissa käytetään -IT ja -TT sähköverkkojärjestelmiä, ks. kuva 2. Verkot eroavat perinteisistä maadoitetuista verkoista siten että IT-järjestelmässä

jännitteiset osat eivät ole lainkaan yhteydessä suoraan maahan. TT-järjestelmässä taas syöttölähteen maadoituspiste on maadoitettu suoraan maaperään ja kulutus pisteiden keskuskeskukset ovat yhdistetty erillisiin omiin maaperään johdettuihin maadoituspisteisiin. (1; 4.)



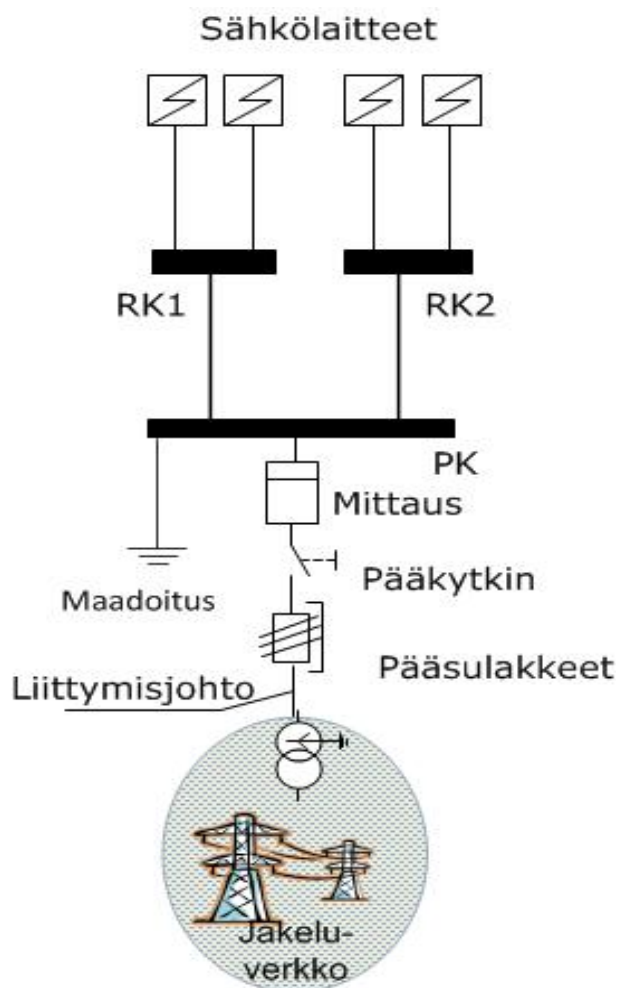
Kuva 2. IT ja TT järjestelmät. (11)

2.4 Kiinteistöverkot

Kiinteistöverkot tarkoittavat järjestelmiä, joilla toteutetaan kiinteistöjen ja tilojen sähkönjakelu, valaistus, tiedonsiirto ja sähköiset ohjaustoiminnot. Sähkönjakelu pitää sisällään sähköasennusjärjestelmän, joka koostuu keskuksista suojalaitteineen, johdoista, johteista, kojeista sekä erilaisista asennustarvikkeista. Valaistujärjestelmä koostuu valaisimista, niiden virtateistä ja valaistuksenohjausjärjestelmästä. Kiinteistöissä tiedonsiirtojärjestelmä sisältäen antenni- ja atk-verkon, joka on voitu toteuttaa kupari- tai valokuitukaapeloinnilla. Sähköiset ohjausjärjestelmät sisältävät taloautomaation, säätö- ja mittalaitteita ja käyttöliittymiä. (1.)

Pienten ja keskisuurten kiinteistöjen liittymä ja sähköverkonjakelu pääjännite on yleisesti 400 V. Suurilla kiinteistöillä saattaa olla omia muuntajia, joilla ne liittyvät keskijänniteverkkoon 20 kV, tällöin puhutaan 20/0,4 kV:n liittymästä.

Kiinteistöverkko rakentuu aina vähintään päävarokkeista, mittaus- ja pääkeskuksesta. Se on kiinteistön sähköverkon ns. solmupiste, jolla kiinteistö liittyy jakeluverkkoon. Pääkeskus syöttää yleensä lukuisia mittaus, jako- ja ryhmäkeskuksia, riippuen kiinteistön koosta ja käyttötarkoituksesta. Kiinteistöverkot ovat yleensä puumaisia ja jokaisella keskuksella on oma fyysinen jakoalueensa, esimerkki on kuvassa 3. Kiinteistöverkkoa suunniteltaessa ja laajennettaessa on tärkeää ottaa huomioon vaihekuormien tasapaino sekä keski- ja suurikokoisissa kiinteistöissä loistehon mahdollinen kompensoinnin tarve. Kompensoimaton loisteho vaikuttaa negatiivisesti siirtoverkon kapasiteettiin ja aiheuttaa mahdollisia kuluja kiinteistönhaltijalle, riippuen verkkoyhtiöstä. (4.)



Kuva 3. Kiinteistöliittymän periaate. (12.)

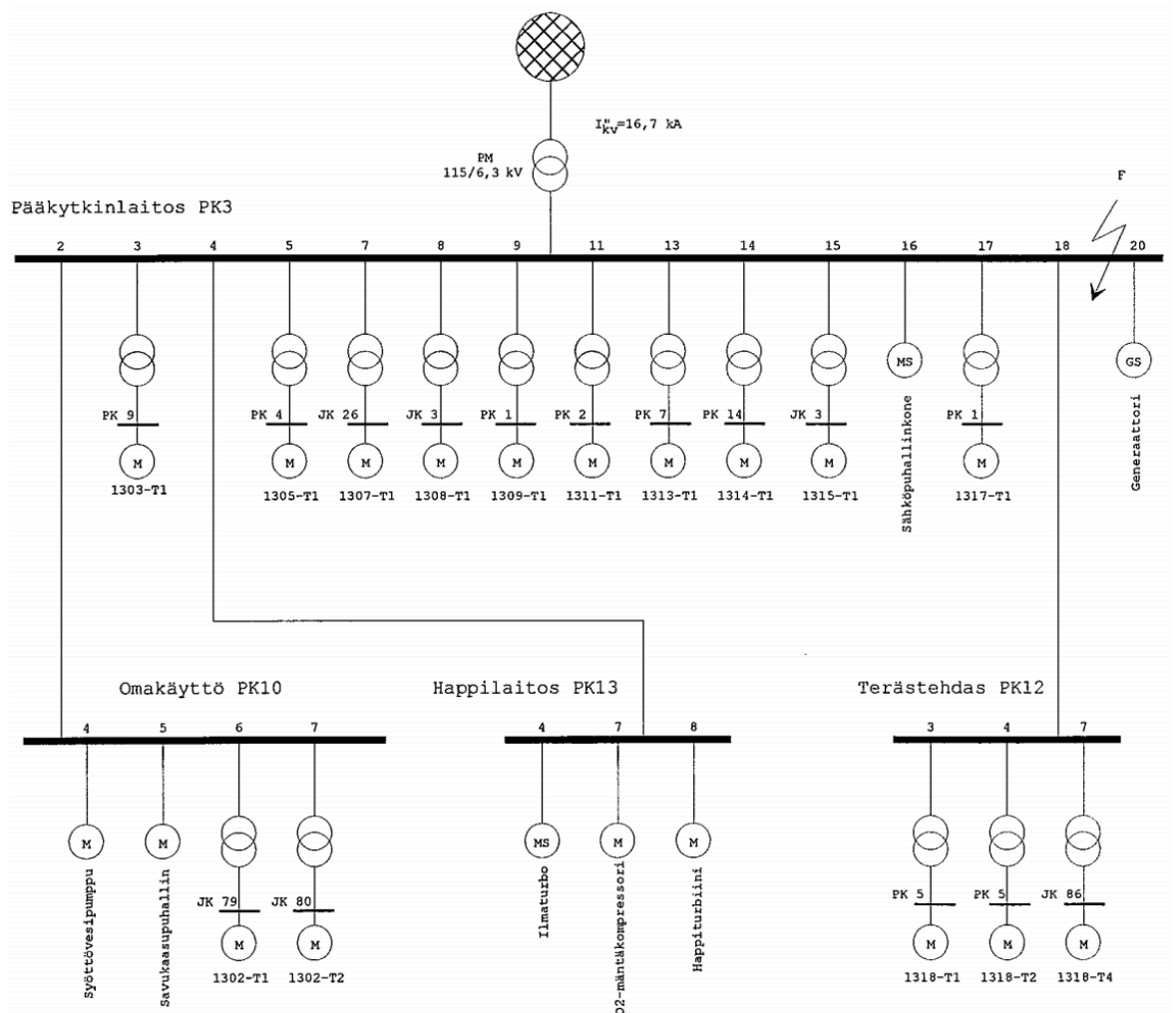
2.5 Teollisuusverkot

Teollisuusverkot eroavat kiinteistöjen sähköverkoista jännitetasoiltaan ja tehonsiirtokapasiteetiltaan. Teollisuuden verkot ovat toiminnaltaan ja rakenteeltaan hyvin lähellä jakeluverkkoja. Tyypillisesti teollisuusverkko liitetään jakeluverkkoon 400 kV:n, 110 kV:n tai 20 kV:n liittymällä. Teollisuusverkon sisällä jakelujännitteenä käytetään 20 kV:a, 10,5 kV:a, 6 kV:a tai 3 kV:a. Verkon siirtokapasiteetti on yleisesti kymmeniä tai satoja megawatteja.

Teollisuusverkko rakentuu tyypillisesti seuraavista järjestelmistä: prosessijakelu, valaistus- ja huoltosähköverkko ja apusähköjärjestelmät. Teollisuuden jakeluverkko sisältää yleensä version SCADA-verkonhallintajärjestelmästä, joka mahdollistaa etäohjauksen ja monitoroinnin. SCADA on lyhenne sanoista Supervisory Control and Data Acquisition.

Verkko sisältää myös jännitteen, virran ja sähkön laadun mittausjärjestelmän, jolla seurataan verkon tilaa. Laadukas sähköverkon hallinta ja mittausjärjestelmä mahdollistaa sähkönlaadun seurannan, ja vikatilanteissa trendit nopeuttavat vikojen löytymistä ja niiden aiheuttajien yksilöimistä. (1.)

Teollisuusverkko rakennetaan yleisesti säteittäisesti, jotta voidaan rajoittaa oikosulkuvirtoja sekä niiltä suojautuminen on selkeämpää, (ks. kuva 4). Verkon toimintaa voidaan myös varmentaa kaksoissyötetyillä keskuksilla ja rengas syöttö mahdollisuudella. Teollisuusverkko voidaan toteuttaa myös kokonaisuudessaan rengasmaisesti. On kuitenkin huomioitava, että rengassyöttö tuottaa haasteita suojausten toteuttamisessa, rengasverkossa liittymäpisteellä on aina kaksi syöttösuuntaa. (1; 3.)



Kuva 4. Esimerkki teollisuuden jakelukaaviosta. (13.)

Teollisuuden pienjännitetason jakelu toteutetaan yleensä kolmella päätyypillä: keskitetty jakelu, porrastettu jakelu tai hajautettu jakelu. Keskitetyssä jakelussa lähdöt on nimensä mukaisesti keskitetty pääkeskuksiin. Tämä on hyvin selkeä verkkorakenne, huomioon täytyy kuitenkin ottaa suuret oikosulkutehot ja häiriöiden leviäminen keskuksen syöttämälle prosessin osalle. Porrastettu jakelu rakentuu pääkeskuksista, jotka syöttävät taas alakeskuksia, tämä mahdollistaa komponenttien taloudellisemman mitoituksen koska oikosulkukestoisuuden ei tarvitse olla niin suuri. Myös kaapelipituudet voidaan optimoida tässä rakenteessa helposti. Hajautetussa jakelussa syöttösähkö tulee suoraan muuntaimoilta, ja ero tulee siitä, että sähkölähtöjen ohjaus toteutetaan kenttäväylällä kulutuskohteen välittömässä läheisyydessä. (1.)

3 Kiinteistön liittymän mitoitus ja esitiedot

Kiinteistön liittymistehon laskeminen ja määrittely on sähkösuunnittelun ensimmäinen lähtökohta, jonka jälkeen tulee selvittää liittymispisteen oikosulkuvirta, jakelujännitteen taso ja mahdollisen jännitteenaleneman vaikutus liittymäpisteeseen. Liittymistehon suurimman kuormituksen määrittäminen mahdollisimman tarkasti ja kuormituksen huippujen eriaikaisuus ja tasaus huomioiden on tärkeää liittymän mahdollisimman taloudellisen mitoituksen näkökulmasta sallitut jännitteenalenemat ja lämpenemät huomioiden. Liittymän ylimitoittaminen tarpeettomasti ei ole taloudellisesti kannattavaa. (4.)

Asuinkiinteistöjen liittymistehon mitoituksessa käytetään huipputehon laskentamalleja. Mallit perustuvat kuormitusmittauksiin erilaisista rakennuksista ja käyttötarkoituksista ottaen huomioon asunto ja henkilömäärät. (4.)

Kiinteistöverkossa jännitteenalenema syntyy virtapiirin alku- ja loppupään välille kaapeleiden ja komponenttien sisäisen resistanssin vaikutuksesta. Käytännössä tämä johtaa kaapeleiden ylimitoittamiseen siihen nähden mikä olisi riittävä kaapelin pinta-ala oikosulkutehon kestoisuuden kannalta.

Standardi SFS 6000-5-25 määrittelee suositukseksi, normaalista pienjännite verkosta syötettävälle laitteelle maksimijännitteenalenemaksi 5 %, valaisinasennuksille suositus on 3 %.

Oikosulkuvirta on kiinteistösähkösuunnittelun näkökulmasta verkon syöttämä maksimivirta, joka komponenttien on kestävä oikosulkutilanteessa. Tämä arvo määrittelee dynaamiset ja termiset rasitukset järjestelmässä. Kiinteistöverkoille verkonhaltija antaa liittymäpisteelle oikosulkuvirta-arvon, jota voidaan käyttää suunnittelun lähtökohtana. To- teutunut arvo tulee varmistaa käyttöönottomittauksin.

Käytännössä oikosulkuvirta vaikuttaa keskusten, kaapeleiden ja suojakojeiden mitoitukseen. Oikosulkuvirta-arvo määrittelee suojakojeiden suurimman sallitun toiminta-ajan.

Verkon laitteiden mitoittamisessa, oikosulkusuojauksen suunnittelussa ja turvallisen käytön suunnittelussa on tunnettava oikosulkuvirratt eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa. Verkon komponenttien on kestävä oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset.

Vakaa jännite ja siten hyvä sähkön laatu edellyttävät riittävän suurta verkon oikosulkutehoa.

4 Liittymisjärjestelmän suojaus

Oikosulkusuojaus

Järjestelmän oikosulkusuojausten suunnittelussa on otettava huomioon suurin järjestelmässä esiintyvä oikosulkuvirta. Suunnittelun lähtökohta on että komponenttien ja suojausten on kestävä sekä pystyttävä pois kytkemään suurin mahdollinen vikavirta, ennen järjestelmässä olevien komponenttien vaurioitumista. Oikosulkusuojausta ei pidä sekoittaa vikasuojaukseen. Oikosulkusuojauksessa on kysymys järjestelmän komponenttien suojaamisesta oikosulun termisiltä vaikutuksilta. Suojausten on toimittava vikatilanteen sijaitessa missä tahansa kohtaa järjestelmää. (1.)

Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojaus on nimensä mukaisesti järjestelmän komponenttien suojaaminen ylivirralla. Suojausten tarkoituksena on estää esimerkiksi kaapelin liiallinen lämpeneminen asennusympäristössä ja palovaaran aiheutuminen tai sähkömoottorin suojaus mekaaniselta vialta, esimerkiksi sähkömoottorin roottorin jumittumiselta. Toisin kuin oikosulkusuojaus ylikuormitus suojausta ei vaadita kaikissa tapauksissa. (1.)

Sähkömagneettiset häiriöt

1990-luvun alkupuolelta lähtien laitteiden suunnittelussa on täytynyt ottaa huomioon EMC-direktiivi, nykyisin myös sähköasennuksien on täytettävä uusittu direktiivi. Sähkömagneettisia häiriöitä ovat esimerkiksi järjestelmässä kulkevat harhavirrat tai radiotaajuiset häiriöt. Häiriövirrat muodostuvat esimerkiksi induktiivisesti suurjännitekaapelista pienjännitekaapeliin, jos asennusetäisyyksiä ei ole huomioitu asianmukaisesti. Tai taajuusmuuttajasta ympäristöön, jos EMC-luokiteltuja komponentteja ei ole käytetty ja asennettu asian mukaisesti. Standardi EN61800-3 antaa 1. ja 2. käyttöympäristön ja 4. (C1-4) häiriöiden raja-arvoluokkaa. Näitä vaatimuksia ja hyvää suunnittelu- ja asennuskäytäntöä seuraamalla EMC-häiriöt saadaan minimoitua. Tiivistettynä automaatio, tele- ja radio- sekä pienjännitekulutuskohtjakelu erotetaan suojaetäisyyksin ja teknisin

ratkaisuin, korkeajännitejakelun, taajuusmuuttajakäyttöjen, suurten induktiivisten kuormien sekä tehoradiojärjestelmien tuottamista häiriöstä. (1; 3.)

Ylijännitesuojaus

Kiinteistöjen ylijännitesuojauksella tarkoitetaan lyhyiltä ilmastollisilta ja verkon kytkentätoimista johtuvilta ylijännitteiltä suojautumista. Ylijännitesuojaus perustuu järjestelmän komponenttien ylijännitekestoisuuteen ja ylijännitesuojalaitteeseen liittymispisteessä. Kiinteistöjen ilmastollinen ylijännitesuojaus takaa yleensä myös riittävän suojan verkon kytkentä ylijännitteille, jotka ovat huomattavasti pienempiä kuin ilmastolliset ylijännitteet. Ylijännitesuojauksen suunnitteluun voidaan käyttää apuna standardia SFS 6000 (443), IEC 60 364-4-443:n ylijänniteluokkia sekä EN 62305-2:ta. Kiinteistölle voidaan rakentaa myös ulkoinen salamasuojaus, ulkoinen salamasuojaus vaatii lisäksi kiinteistön sisäisen salamasuojauksen. Esimerkiksi kiinteistön salamasuojaus järjestelmästä, ulkoinen sieppausrakenne, katto- ja alastulojohtimet sekä maadoitusjärjestelmä. Rakennuksen sisälle potentiaalin tasaus ja ylijännitesuojalaite. (1; 3.)

Suojauskojeita

Suojaus voidaan toteuttaa erityyppisillä ratkaisuilla riippuen jakelujärjestelmän tehosta ja käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi asuinkiinteistön syöttö voidaan suojata sopivilla sulakkeilla, kun taas tehtäväkriittisen laitoksen sähköjärjestelmän syötön suojaamiseen ja järjestelmän optimointiin soveltuu paremmin rele/katkaisijasuojaus. Kuten on esitelty kuvissa 6. ja 7. suojauskojeista. (1; 5.)



Kuva 6. Johdonsuojakatkaisija ABB (14.)



Kuva 7. Releohjattu katkaisija ABB SACE Emax 2 (15.)

5 500 kVA:n liittymän mitoitus

Opinnäytetyön esimerkin lähtökohta on teollisuuslaitoksen toimistokiinteistön pääkeskuksen PK-1 päämuuntajan 500 kVA 10,5/0,4 kV:n korvaaminen suoralla pienjännite syötöllä 0,4 kV olemassa olevasta laitoksen pienjännite jakelukeskuksesta A1-1. Opinnäytetyössä valmisteltiin tarjouspyyntösuunnitelma projektille.

Työssä käsitellään olemassa olevan pääkeskuksen syötön korvaamisen esisuunnittelu. Suunnittelu sisälsi projektin dokumenttirekisterin määrittelyn, tehon tarpeen määrittelyn ja syöttökeskuksen laajennustarpeen määrittelyn. Syöttösuojauksen määrittely tarkistettiin omistajan ohjelmavaatimuksista ja esimerkkisuojaus koordinaatiston määriteltiin vastaamaan ohjelmavaatimuksia. Suunnittelu sisälsi myös kaapelireitin suunnittelun, kaapelin mitoituksen jännitteenalennus huomioiden (tähän tarkoitukseen luotiin Excel-taulukko helpottamaan vertailua), oikosulkuvirtojen laskennan ja kaapelin oikosulkukestoisuuden tarkastelun.

Suunnittelu aloitettiin keräämällä olemassa olevat sähkösuunnitelmat projektin muutosdokumenttirekisteriin. Dokumenttirekisteri on työkalu järjestelmän suunnitelmien lähtödokumenttien yksilöimiseen ja myöhemmin päädokumenttirekisterin päivittämistarpeen määrittämiseksi. Rekisteriin kerättiin jakeludiagrammit, keskuskuvat, tasopiirustukset, oikosulkuvirta tarkastelu sekä laiterekisteri.

Liittymäntehon tarve tarkistettiin uuden syötönsuunnittelussa tutkimalla pääkeskuksen kuormat ensin piirustuksista ja tämän jälkeen keräämällä data, online mittausjärjestelmästä suunnittelua edeltäviltä kolmelta vuodelta. Näitä tietoja vertaamalla todennettiin mitoitus tarpeen ja suunnittelun lähtökohtien olevan 500 kVA, nimellisvirta $I_n=722A$, pääjännite 400 V (maksimi jännitteen alennus 3 %). Kiinteistön keskuksen nimellisarvot U_n 400 V, I_n 1250 A, I_k 16k A. Uuden syöttökeskuksen A1-1 dokumentoitu oikosulkuvirta arvo 25 kA.

Uuden syöttökeskuksen laajennuksen suunnittelu

Toimistokiinteistön uudeksi syöttökeskukseksi määriteltiin laitoksessa oleva pienjännitejakelukeskus A1-1, jossa oli vapaana riittävästi tehokapasiteettia. Jakelukeskukselle jouduttiin suunnittelemaan yhden kennon laajennus, koska uusi määritelty syöttökatkaisija oli runkokooltaan suurempi kuin tyhjä varakenno keskuksessa. Tässä vaiheessa

suunnittelua otettiin myös huomioon laajennettavat keskuksen oheiskomponentit, sisältäen virtakiskojen jatkamisen, katkaisijan, suoja-releen, mittausjärjestelmän, ohjauksen järjestelmän, apusähköjärjestelmän ja kaapeliläpiviennit. Syöttökatkaisija valittiin keskuksessa käytössä olevasta katkaisijamallisarjasta, päädyttiin ABB:n Tmax T7H1250-katkaisijaan.

Syötönsuojauksen määrittely

Syötönsuojaukselle annettiin tarkat raja-arvot omistajan ohjelmavaatimuksissa. Näin ollen suojauksen määrittely perustuu suoraan ohjelmavaatimukseen. Nimellisvirta asennukselle on $I_n=722$ A. Nimellis- ja oikosulkuvirrasta päädyttiin ABB:n Tmax T7H1250 katkaisijaan.

Suojausasettelu

Suojauskoje, katkaisija suojaus, L, S. (Long, ylikuormitus, Short, oikosulku).

Oikosulku suojausasetteluarvot $I_s=5 \cdot I_n$ 0,4s (3860A)

Ylikuormitus suojausasetteluarvot $I_l=1,1 \cdot I_n$ 3s (795A)

Kaapelireitin suunnittelu

Syöttökaapelin reitti määriteltiin mahdollisimman lyhyeksi jännitteenaleneman minimoimiseksi. Reitin suunnittelussa otettiin myös huomioon olemassa olevat kaapelihyllyt ja palo-osastointi. Kaapelireitin kokonaispituudeksi tuli 140 m, josta uuden kaapelihyllyn osuus oli 40 m

Syöttökaapelin mitoitus

Syöttökaapelin mitoituksessa hyödynnettiin Prysmian Groupin, Energia- teollisuus- ja talonrakennuskaapelit-opasta sekä suunnittelun tilaavan yrityksen sisäisiä käytäntöjä. Näiden määrittämänä mitoitus tehtiin AXCMK-HF-kaapelityypille. Käytettävä kaapelityyppi oli määritelty yleisesti omistajan ohjelmavaatimuksissa.

Mitoitus aloitettiin tekemällä Excel-taulukko eri alumiinikaapeli kokoonpanojen jännitteen aleneman ja hinnan vertailuun, katso taulukko 1. Kaapelityyppeinä olivat AXCMK-HF (4*150/72, 4*185/72, 4*240/72). Taulukkoa hyödyntämällä todettiin, että hinta-/jännitteenalenemasuhteeltaan paras yhdistelmä on 3*AXCMK-HF 4*240/72-kaapeli.

$$\text{Kaapeli impedanssi laskukaava } z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\text{Jännitteenalenema laskukaava } U_a = \sqrt{3} * I * R \cos\varphi + X \sin\varphi$$

Taulukko 1. Jännitteenaleneman ja kaapeli kokoonpanon hintasuhdevertailu.

AL 3 vaihe U_a		V		€
Jännitteenalenema 150=	45.6	V	11.40%	3920
Jännitteenalenema 185=	37.7	V	9.43%	4900
Jännitteenalenema 240=	29.6	V	7.40%	5600
Jännitteenalenema 300=	26.5	V	6.62%	16800
Jännitteenalenema 2*150=	22.8	V	5.70%	7840
Jännitteenalenema 2*185=	18.9	V	4.72%	9800
Jännitteenalenema 2*240=	14.8	V	3.70%	11200
Jännitteenalenema 2*300=	13.2	V	3.31%	16800
Jännitteenalenema 3*150=	15.2	V	3.80%	11760
Jännitteenalenema 3*185=	12.6	V	3.14%	14700
Jännitteenalenema 3*240=	9.9	V	2.47%	16800
Jännitteenalenema 3*300=	8.8	V	2.21%	25200
Jännitteenalenema 4*150=	11.4	V	2.85%	15680
Jännitteenalenema 4*185=	9.4	V	2.36%	19600
Jännitteenalenema 4*240=	7.4	V	1.85%	22400
Jännitteenalenema 4*300=	6.6	V	1.65%	33600

Seuraavaksi tarkasteltiin kaapeliyhdistelmän kuormitettavuutta asennustapa huomioiden. Tämä tehtiin SFS 6000-5-52-standardia hyödyntäen. Taulukosta B.52.1 saatiin referenssi asennustapa E, joka ohjaa käyttämään seuraavia taulukkoja apuna, B.52.7, B.52.14, B.52.17. Katso taulukko 2.

Kaapelin impedanssi

$$z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$z = \sqrt{0,150^2 + 0,0785^2}$$

$$z = 0,17 \text{ } (\Omega/km)$$

$$z(3 \text{ kaapelia rinnan}) = 0,057 \text{ } (\Omega/km)$$

Neljänneksi kaapelin oikosulkukestoisuus tarkistettiin valmistajan antamia tietoja vasten. Nähdään, että valittu kaapeli kestää oikosulun, vaikka se tapahtuisi yksittäisessä kaapelissa kolmesta. Seuraavassa esitellään aiheeseen liittyvät laskennat ja valmistajan tiedot. (Liite 1.)

PK A1-A vikaimpedanssi

$$Z_v = 0,008776 \text{ } \Omega = (0,95 * 400 \text{ V}) / (3\sqrt{3} * 25000 \text{ A})$$

RK1 vikaimpedanssi

$$Z_{v1} = 0,025 \text{ } \Omega = 0,00877 \text{ } \Omega + 2 * 0,057 \frac{\Omega}{km} * 0,14 \text{ km}$$

RK1 lk $U_n = 390 \text{ V}$

$$I_{k \text{ min}} = 8556 \text{ A} = (0,95 * 390 \text{ V}) / (\sqrt{3} * 0,025 \text{ } \Omega)$$

$$I_{k \text{ max}} = 9907 \text{ A} = (1,1 * 390 \text{ V}) / (\sqrt{3} * 0,025 \text{ } \Omega)$$

Kaapelin 1 s terminen rasitus ei missään tilanteessa ylitä sen kestoisuutta. $15,8 \text{ kA} < 22,6 \text{ kA}$. (Liite 1.)

Termisen vikavirran laskenta:

1 sekunnin terminen vikavirta (I_{1s}) kestoisuus.

$$I_{1s} = \sqrt{tk} * I_k$$

Terminen vikavirta laskettuna kaapelin alkupäässä $I_k=25$ kA laukaisu 0,4 s, $U_n=400$ V.

$$I_{1s_{alkupää}} = \sqrt{0,4 \text{ s}} * 25 \text{ kA} = 15,8 \text{ kA}$$

Terminen vikavirta laskettuna kaapelin loppupäässä tai RK1, $I_k=8,5$ kA, $U_n=390$ V

$$I_{1s_{loppupää}} = \sqrt{0,4 \text{ s}} * 8,5 \text{ kA} = 5,4 \text{ kA}$$

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä perehdyttiin sähkösuunnitteluun ja tehtiin kiinteistöliittymän mitoitus esimerkki. Opinnäytteen tavoitteena oli mahdollistaa suuremman projektikokonaisuuden aloittaminen valmistelemalla tarjouspyyntösuunnitelma ja dokumentaatio.

Esimerkkisuunnittelussa määritettiin uudeksi liittymän syöttökeskukseksi jo laitoksessa olemassa oleva jakelukeskus A1-1. Keskukselle A1-1 määriteltiin yhden kennon laajenustarve, samalla uudeksi syöttökatkaisijaksi keskukselle PK-1 määriteltiin ABB Tmax T7H1250.

Keskusmäärittelyn jälkeen suunnittelu jatkui kaapelireitin määrittelyllä. Kaapelireitin kokonaispituudeksi tuli 140 m, uuden kaapelihyllyn tarve on 40 m.

Syöttökaapelimäärittely tehtiin perustuen talon sisäisiin ohjeistuksiin kaapelityypille sekä vertailemalla kaapeliyhdistelmien hintaa ja jännitteenalenemasuhdetta. Tällä menetelmällä paras yhdistelmä oli 3*AXCMK-HF 4*240/72 syöttöratkaisu.

Kaapelivalinnan jälkeen tehtiin kuormitettavuus- ja vikatilannetarkistelu perustuen SFS 6000-5-52:n ja D1:n ohjeisiin käsin laskemalla. Tarkistelu tuloksena todettiin, että kaikki

arvot ovat hyväksyttävissä rajoissa. Kaapelin 1 s terminen rasitus ei missään tilanteessa ylitä sen kestoisuutta. $15,8 \text{ kA} < 22,6 \text{ kA}$.

Opinnäytetyöprojektin toteutuksen yhteydessä suoritin projektikansion valmistelun, piiri- ja keskuskaavioiden punakynäversioiden piirtämisen, viiden projektipalaverin johtamisen, karkean hankebudjetin määrittelyn, hankesuunnitelman Power Point-esityksen, hankesuunnitelman hyväksyttämisen, dokumenttirekisterin määrittelyn ja kustannussäästöarvioinnin.

Opinnäytetyöprojektin jälkipohdintana voidaan sanoa, että se on tuonut uutta kokemusta hankkeen määrittelystä sekä sähkösuunnittelusta sekä erityisesti työnantajan sisäisistä vaatimuksista sekä projektitoiminnasta. Tehty projektityö eteni hankkeeksi, sen pohjalta kilpailutettiin ulkopuolinen suunnittelutoimisto toteuttamaan projektin kokonaissuunnittelu. Tätä kirjoittaessa hanke kokonaisuudessaan kiinteistön liittymän uudelleen järjestelystä on toteutettu osana suurempaa laitoksen jakeluverkon uudistusta. Dokumentoitu opinnäytetyö oli vain osa kokonaisprojektia ja esisuunnittelua. Projekti sisälsi kolmen vaihtoehdoisen liittymätavan esimäärittelyn ja vertailun. Nämä vaihtoehdot esitettiin yrityksen sähköosastolle sekä sen jälkeen hyväksyttiin yksikönpäälliköllä. Kaikki nämä vaiheet sisältyivät kokonaisprojektiin. Opinnäytetyön tekeminen oman pääroolin ohella toi myös omaa lisähaastettaan työhön, toki se toi ja avasi lisää mahdollisuuksia yrityksen sisällä ja toi erityisesti uusia kontakteja yrityksen projektiosastolta.

Lähteet

- 1 Hietalahti, Lauri. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- 2 Hietalahti, Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- 3 TTT-Käsikirja. 2000. Sähköinen julkaisu. Helsinki: ABB Oy.
- 4 D1-2012. 2014. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Helsinki: Sähköinfo Oy.
- 5 Sesko ry. 2012. SFS-Käsikirja 600-1. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 6 Sesko ry. 2012. SFS-Käsikirja 600-2. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 7 Sesko ry. 2015. SFS-Käsikirja 601. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 8 Prysmian katalogi.
- 9 Yhtiön sisäiset omistajan ohjelmavaatimukset. 2017. XYZ Oy.
- 10 TN-järjestelmät. Verkkoaineisto. 2019. <[https:// elbogen.dk/jordingsystemer/](https://elbogen.dk/jordingsystemer/)>. Ladattu 10.10.2019.
- 11 TT- ja IT-järjestelmät. Verkkoaineisto. 2019. <[https:// www.bender.de/en/know-how/technology/tn-stt-system](https://www.bender.de/en/know-how/technology/tn-stt-system)>. Ladattu 10.10.2019.
- 12 Kiinteistöliittymä. Verkkoaineisto. 2019. <<http://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/sahkoverkko/kiinteiston-sahkoverkko/kiinteiston-sahkoverkko-2/>>. Ladattu 10.10.2019.
- 13 Teollisuusverkko. Kupari, Sampsa. 2016. Kurssimateriaali, jakelujärjestelmien häiriöt. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 14 Sähköverkko. Verkkoaineisto. 2019. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi>>. Ladattu 10.10.2019.
- 15 Johdonsuojakatkaisija. Verkkoaineisto. 2019. ABB Oy. <<https://new.abb.com/products/2CDS253001R0804/miniature-circuit-breaker-s200-80-100a-3p-c-80-ampere>>. Ladattu 10.10.2019.

- 16 Releohjattu katkaisija. Verkkoaineisto. 2019. ABB Oy.
<<https://new.abb.com/low-voltage/products/circuit-breakers/emax2>>. Ladattu
10.10.2019.

OMINAISUUDET

TUOTTEEN NIMI			AXCMK-HF 4x35Al/16Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x50Al/16Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x70Al/21Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x95Al/29Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x120Al/41Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x150Al/41Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x185Al/57Cu AN 1 kV	AXCMK-HF 4x240Al/72Cu AN 1 kV
Sähkönumero			0624059	0624060	0624061	0624062	0624063	0624064	0624065	0624067
RAKENNETIETOJA (1)										
Kaapelin ulkohalkaisija		mm	26	29	33	38	41	47	52	57
Massa	alumiini kupari kaapeli	kg/km	365	495	720	955	1260	1550	1950	2550
		kg/km	145	145	195	270	370	510	660	660
		kg/km	900	1200	1550	2050	2500	3000	3800	4850
TOIMITUSTIETOJA										
Vakiotoimituspituus		m	500	500	500	500	500	500	500	500
Toimituskela			K12	K12	K14	K16	K20	K20	K22	K24
Massa (1)	kaapeli+kela	kg	540	690	890	1220	1590	1840	2300	2880
MEKAANISIA ARVOJA (2)										
Pienin sallittu taivutussäde asennusvedossa		m	0,31	0,35	0,40	0,46	0,49	0,56	0,62	0,68
Pienin sallittu taivutussäde lopullisessa asennuksessa (3)		m	0,22	0,23	0,26	0,30	0,33	0,37	0,42	0,46
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla		kN	2,1	3,0	4,2	5,7	7,2	8,5	8,5	8,5
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäällä		kN	7,0	10,0	14,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)										
Vaihe- ja nollajohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	0,868	0,641	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125
Vaihe- ja nollajohtimen vaihtovirtaresistanssi (1)	johdin 70°C	Ω/km	1,0	0,77	0,53	0,39	0,31	0,25	0,20	0,15
PE-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	1,15	1,15	0,868	0,641	0,443	0,443	0,320	0,253
Induktanssi vaihetta kohti (1)		mH/km	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,32	0,35	0,40	0,42	0,44	0,46	0,49	0,52
KUORMITETTAVUUS (2)										
Maassa	johdin 70°C	A	130	150	185	220	255	290	330	375
Ilmassa	johdin 70°C	A	105	125	155	190	220	250	285	330
	johdin 90°C	A	130	165	205	245	280	320	365	430
TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)										
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta	vaihe- ja nollajohdin (4) PE-johdin (5)	kA	3,3	4,7	6,6	8,9	11,3	14,1	17,4	22,6
		kA	2,4	2,4	3,3	4,4	6,0	6,0	8,1	10,2

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöolettamukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa.

(3) Taivutus on tehtävä varovaisena ja tasaisena kertataivutuksena.

(4) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 90°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(5) PE-johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 85°C ja oikosulun päättyessä enintään 250°C.