



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MOOTTORIURHEILUKESKUKSEN ALUESÄHKÖISTYKSEN KARTOITUS JA LAAJENNUSSUUNNITELMA

TEKIJÄ: Niko Saaranen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Niko Saaranen	
Työn nimi Moottoriurheilukeskuksen aluesähköistyksen kartoitus ja laajennussuunnitelma	
Päiväys 9.9.2015	Sivumäärä/Liitteet 64/7
Ohjaaja Lehtori Heikki Laininen	
Toimeksiantaja Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli laatia dokumentaatio Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry:n rata-alueen aluesähköistyksen nykytilanteesta sekä alustavasti suunnitella alueelle toteutettavaa laajennusta. Työhön kuului sähkösuunnittelua ohjaaviin standardeihin ja sähköiseen mitoittamiseen liittyviin ohjeistuksiin ja vaatimuksiin tutustuminen ja niiden käyttäminen työn aikana.</p> <p>Selvitystyö oli lähinnä aistinvaraista tarkastelua. Kun alueen sähköistyksen nykytilanne oli saatu selville, pystyttiin tarkistamaan sähköisen mitoituksen vaatimustenmukaisuus. Tulevien laajennusten suunnittelua varten keskusteltiin ja hahmotteltiin asiakkaan kanssa tulevien uusien kuormituspisteiden tehontarvetta. Näiden suunnitelmien perusteella verkko voitiin alustavasti mitoittaa uudelleen vastaamaan muuttuvaa tilannetta. Mitoituksessa otettiin huomioon verkon jännitteenalenemat sekä oikosulkusuojauksen toimivuus. Yksi tarkasteltava kohde oli varikkoalueelle asennettavien sähkönsyöttöpisteiden varavoimajärjestelmän alustava suunnittelu, jotta näitä pisteitä voitaisiin tarvittaessa syöttää tästä omasta sähkönsyöttölaitteesta julkisen jakeluverkon sijaan.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena asiakas sai aluesähköistyksen nykytilannetta vastaavan dokumentaation sekä laskelmat ja alustavan ehdotukset tulevien laajennusten sähköteknisestä toteutuksesta.</p>	
Avainsanat sähkösuunnittelu, pienjänniteverkko	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Niko Saaranen			
Title of Thesis The Survey and Expansion Plan of the Outdoor Electrification of a Motor Sport Centre			
Date	9 September, 2015	Pages/Appendices	64/7
Supervisor Mr. Heikki Laininen, Senior lecturer			
Client Organisation /Partners Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry			
<p>Abstract</p> <p>The topic of this final year project was to make a documentation about the current state of outdoor electrification at a rally track area. The project also included studying and planning future expansion of electrification. The thesis was made for Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry. The thesis included studying standards and instructions about electrical planning and using those materials to complete the project.</p> <p>The survey of the current state of electrification was mostly made by using sensory evaluation. When the additional information was gathered, an inspection about matching the electrical requirements could be made. Future expansions and the need for power in different areas were discussed and planned with the client. This allowed planning and preliminary electrical dimensioning. The dropping of voltage and short-circuit protection were taken into account when planning the grid. On a clients wish, a possibility of including one part of the grid with an emergency power generator was also studied. If needed, this could work as a power input to that part of the grid instead of general distribution network.</p> <p>As a result of this thesis, the client received documentation about the current state of the outdoor electrification and also calculations and preliminary suggestions on how the future expansion could be carried out.</p>			
Keywords electrical planning, low-voltage network			
public			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	SUONENJOEN MOOTTORIURHEILUKESKUS RY	8
3	SÄÄDÖKSET SÄHKÖSUUNNITTELUSSA.....	9
3.1	Sähköturvallisuus.....	9
3.2	Säädökset pienjännitesähköasennuksissa	10
3.2.1	Turvallisuuteen liittyvä suojaus	10
3.2.2	Perussuojaus	10
3.2.3	Vikasuojaus	11
3.2.4	Käytettävän sähkönsyöttöjärjestelmän ominaisuudet	11
3.2.5	Kuormituksen määrä ja laatu	12
3.2.6	Ympäristön vaikutus	12
3.2.7	Johtimien poikkipinnat.....	13
3.2.8	Johtojärjestelmä ja asennustapa	13
3.2.9	Suoja-, ohjaus- sekä erotuslaitteet	14
3.2.10	Sähkölaitteiden luoksepäätävyys ja tunnistaminen.....	15
3.3	Sähkölaitteiden valinta	15
3.4	Varavoimajärjestelmät.....	16
3.4.1	Pienjännitteiset generaattorilaitteistot.....	16
3.4.2	UPS-laitteet	16
3.5	Sähköasennusten toteuttaminen ja tarkastukset	17
3.5.1	Käyttöönottotarkastus	18
3.5.2	Määräaikaistarkastus	19
3.6	Pienjänniteverkon maadoitukset.....	19
4	SÄHKÖINEN MITOITUS JA LASKENTA	20
4.1	Suojalaitteiden mitoitus	20
4.2	Johdon mitoitus	21
4.3	Jännitteenaleneman laskenta	22
4.4	Oikosulkuvirtojen laskenta	23
4.4.1	Muuntajan arvot.....	24
4.5	Selektiivisyys	25
5	NYKYTILANTEEN KARTOITUS.....	27

5.1	Aistinvarainen tarkastelu	27
5.2	Dokumentointi	28
5.3	Ulkovalaistus	29
5.4	Verkon mitoituksen tarkistus.....	30
5.4.1	Kiinteistöä syöttävä muuntaja	30
5.4.2	Jännitteenalenemat.....	32
5.4.3	Oikosulkusuojaus	37
6	ALUEEN KEHITTÄMISSUUNNITELMAT	42
6.1	Laajennukset	42
6.1.1	Uuden hallin rakentaminen	42
6.1.2	Varikkoalueen sähkönsyöttöpisteet.....	42
6.1.3	Tuomaritorni.....	42
6.1.4	Motocross-radan pistorasiatolpat.....	43
6.2	Varavoimajärjestelmä ja UPS	43
6.2.1	Aggregaatti.....	43
6.2.2	UPS-laite	45
6.3	Kuormituslisäykset ja laajennusten mitoitus	46
6.3.1	Jännitteenalenema	48
6.3.2	Oikosulkusuojaus	50
6.3.3	Vaihtoehtoinen toteutustapa	52
6.3.4	Selektiivisyys	53
6.4	Muutosehdotukset	54
7	YHTEENVETO.....	55
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	56
	LIITE 1: VERKKO.....	58
	LIITE 2: ASEMAPIIRROS, NYKYTILANNE (EI MITTAKAAVASSA)	59
	LIITE 3: ASEMAPIIRROS, LAAJENNUS (EI MITTAKAAVASSA).....	60
	LIITE 4: ASEMAPIIRROS, LAAJENNUS, VAIHTOEHTOINEN TOTEUTUS (EI MITTAKAAVASSA)	61
	LIITE 5: TEKNISET TIEDOT: GENERAATTORI KDE16EA3	61
	LIITE 6: TEKNISET TIEDOT: GENERAATTORI KDE16STA3	63
	LIITE 7: TEKNISET TIEDOT: UPS-LAITE MASTERYS BC 12 KVA.....	64

1 JOHDANTO

Tämä työ on tehty Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry:n toivomuksesta. Työ käsittelee aluesähköistyksen nykytilan selvitystyötä sekä mahdollisten muutosten vaikutusta sähköverkon riittävyyteen. Selvitys on ajankohtainen, koska alueelle ollaan suunnittelemassa muutoksia karting-radan toimivuuden ja käytön parantamiseksi. Yhdistys suunnittelee alueelle tuomaritornin sekä uusien sähkönsyöttöpisteiden sekä karting-autojen korjaushallin rakentamista, joten verkon kapasiteetin selvitys tulee tarpeeseen.

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta: Ensin tutkitaan sähkösuunnitteluun liittyviä ja niitä ohjaavia standardeja ja kiinnitetään huomiota myös sähköverkon mitoittamiseen ja tarpeellisen laskennan perusteisiin.

Toinen osa työstä keskittyy kohteen karting-radan ja varikkoalueen aluesähköistyksen nykytilan selvittämiseen sekä tulevien kuormituslisäysten tehontarpeen arviointiin ja niiden alustavaan suunnitteluun.

2 SUONENJOEN MOOTTORIURHEILUKESKUS RY

Työn toimeksiantaja Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry on Suonenjoella toimiva yhdistys, joka palvelee asiakkaita tarjoamalla karting-autoiluun ja motocrossin harrastamiseen liittyviä palveluita. Kuten yhdistyksen verkkosivuilla (Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry) mainitaan, yhdistys on perustettu vuonna 2005 rakentamaan, ylläpitämään ja kehittämään moottoriurheiluun liittyviä rata-alueita Suomessa.

Suonenjoella sijaitsevaa moottoriurheilukeskusta on rakennettu talkoovoimin jo vuodesta 2000 alkaen. Toiminnassa on noudatettu kestävän kehityksen periaatteita, hyödyntämiskelpoisten jätemateriaalien käyttöä myöten. (Suonenjoen Moottoriurheilukeskus ry.)

3 SÄÄDÖKSET SÄHKÖSUUNNITTELUSSA

Sähkö- ja elektroniikka-alan standardisoimisjärjestö SESKO ry on julkaissut koosteita säädöksistä. Säädökset on koottu SFS-käsikirjoihin, joista tämän työn toteutukseen liittyvät etenkin SFS-käsikirja 600-1 Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset sekä sitä täydentävä SFS-käsikirja 600-2 Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. (SFS 6000 2012, 3.)

Standardisarja SFS 6000 käsittelee pienjännitesähköasennuksia eli sähköasennuksia, joiden nimellisjännite vaihtojännitteellä (AC) on enintään 1 000 V ja tasajännitteellä (DC) enintään 1 500 V. Tämä standardisarja on laadittu eurooppalaisten asiakirjojen CENELEC HD 60364 Low-voltage electrical installations ja kansainvälisten standardien IEC 60364 perusteella (SFS 6000 2012, 3, 27).

Lisäksi aiheesta on olemassa useita sitä käsitteleviä ST-julkaisuja. ST-kortisto on yleisesti sähkösuunnittelijoiden ja muiden sähköisten järjestelmien toteutukseen liittyvien sähköalan ammattilaisten käytössä. Sen tarkoitus on kerätä yhteen sähköistyksessä käytettävien säännösten ja standardien vaatimukset ja näin edistää sähkösuunnittelun ja toteutuksen tasoa. (Sähkötieto 2015.)

3.1 Sähköturvallisuus

Turvallisuus on sähkösuunnittelussa kaiken lähtökohtana. Suunniteltaessa sähkölaitteistoa tai –verkkoa on järjestelmä suunniteltava sellaiseksi, ettei siitä aiheudu jatkokäyttäjälle minkäänlaista henkilö- tai materiaalivahinkoa. Kauppa- ja teollisuusministeriön laatima päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta (1193/1999) ja päätös sähköalan töistä (516/1996) ovat keskeisimpiä sähköasennuksia koskevia standardeja. (SFS 600-2 2012, 6.)

Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410 käsittelee sähkölaitteistojen ja –asennusten sähköturvallisuuden tasoon sekä niihin liittyviin sähköalan töihin ja käyttöön liittyviä asioita. Lain tarkoitus on minimoida sähkölaitteista tai -laitteistoista aiheutuvia mahdollisia henkilö-, terveys- tai omaisuusvahinkoja antamalla töihin ja käyttöön tarpeelliset määräykset. Sähköturvallisuuslaissa sanotaan sähköturvallisuuden tasosta seuraavaa:

Sähkölaitteet ja –laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava sekä niitä on käytettävä siten, että

- niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa
- niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä
- niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (SFS 600-2 2012, 9.)

Sähköturvallisuuslaissa 21.12.2007/1465 määrätään, että mikäli sähkölaite tai -laitteisto ei täytä edellä mainittuja vaatimuksia, sitä ei saa ottaa käyttöön (SFS 600-2 2012, 9).

Sähköturvallisuuslaissa määrätään myös edellytykset sähköalan töiden suorittamiseen.

Sähkölaitteiden korjaus- ja huoltotoissa ja sähkölaitteistojen rakennus-, korjaus-, huolto- ja käyttötöissä on seuraavat edellytykset:

- Töitä johtamaan nimetään luonnollinen henkilö, jolla on riittävä kelpoisuus (töiden johtaja).
- Itsenäisesti töitä suorittavalla ja valvovalla luonnollisella henkilöllä on riittävä kelpoisuus tai muuten riittävä ammattitaito.
- Käytössä on töiden tekemisen kannalta tarpeelliset tilat ja työvälineet sekä sähköturvallisuutta koskevat säännökset ja määräykset. (SFS 600-2 2012, 9.)

3.2 Säädökset pienjännitesähköasennuksissa

Standardeissa annetaan pienjännitesähköasennusten suunnitteluun ja toteutukseen seuraavissa kappaleissa esillä olevia ohjeistuksia ja määräyksiä.

3.2.1 Turvallisuuteen liittyvä suojaus

Sähköasennuksissa voi esiintyä seuraavia vaaratekijöitä

- sähköiskuvirrat
- liian korkeat lämpötilat, jotka voivat aiheuttaa palovammoja, tulipaloja tai muuta vahinkoa
- syttyminen räjähdysvaarallisessa tilassa
- alijännitteet, ylijännitteet ja sähkömagneettiset häiriöt, jotka voivat aiheuttaa tai joista voi seurata vamma tai vahinko
- tehonsyötön keskeytyminen ja/tai turvajärjestelmän toiminnan keskeytyminen
- valokaaret, jotka voivat aiheuttaa häikäistymistä, ylipainetta ja/tai myrkyllisiä kaasuja
- sähkötoimisten laitteiden mekaaniset liikkeet. (SFS 600-1 2012, 30.)

Sähkölaitteissa ja -laitteistoissa suojaus sähköiskua vastaan tapahtuu perussuojauksella ja vikasuojauksella. Kuten standardissa (SFS 600-1, 30) kerrotaan, pienjännitesähköasennuksissa, -järjestelmissä ja -laitteissa perussuojaus vastaa yleensä suojausta jännitteisen osan suoralta kosketukselta ja vikasuojaus suojausta kosketusjännitteeltä silloin, kun peruseristykseen tulee vika.

Täydellisin suojaus saadaan käyttämällä suojuksia ja eristämällä jännitteiset osat niin, ettei niihin pääse tahattomasti koskettamaan. Tämän takia näitä suojaustapoja voidaan käyttää jokaisessa tilanteessa. (D1-2012 2012, 79.)

3.2.2 Perussuojaus

Perussuojaus vastaa suojausta jännitteisen osan suoralta kosketukselta. Perussuojaus voidaan toteuttaa

- estämällä virran kulku ihmisen tai kotieläimen kautta
- rajoittamalla ihmisen tai kotieläimen kautta kulkeva virta vaarattomaan arvoon. (SFS 600-1 2012, 30.)

3.2.3 Vikasuojaus

Vikasuojaus vastaa suojausta kosketusjännitteeltä silloin, kun peruseristykseen tulee vikaa.

Vikasuojaus voidaan toteuttaa

- estämällä vikavirran kulku ihmisen tai kotieläimen kautta
- rajoittamalla ihmisen tai kotieläimen kautta kulkeva vikavirta vaarattomaan arvoon
- rajoittamalla viasta johtuvan kehon kautta mahdollisesti kulkevan virran kesto aika vaarattoman lyhyeksi. (SFS 600-1 2012, 30.)

Yleisimmin vikasuojausmenetelmänä käytetään suojausta syötön automaattisen poiskytkennän avulla. Tällä menetelmällä rajoitetaan ihmistä tai kotieläintä koskettamasta eristysviasta johtuvaa vaarallista kosketusjännitettä liian kauaa siten, että siitä aiheutuisi vaaraa. Toimiakseen tämä suojausmenetelmä vaatii vikavirtapiirin, joka mahdollistaa vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiirin rakenne määräytyy käytetyn johtojärjestelmän mukaan. Käytettäviä johtojärjestelmiä ovat TN-, TT- tai IT-järjestelmät. Toinen ehto suojausjärjestelmän toiminnan kannalta on, että vikavirta ja kosketusjännite kytketään pois sopivalla suojalaitteella. Poiskytkentäaikaan vaikuttaa kosketusjännitteen suuruus, vian todennäköisyys sekä sen todennäköisyys sille, että henkilö koskettaa laitetta vian aikana. Kosketusjännitteen kesto aika perustuu aiheesta tehtyihin tutkimuksiin. (D1-2012 2012, 84.)

Ensimmäisessä ehdossa mainitut virtapiirin johtojärjestelmät on esitelty osiossa 3.2.8, Johtojärjestelmä ja asennustapa.

3.2.4 Käytettävän sähkönsyöttöjärjestelmän ominaisuudet

Kun suunnitellaan sähköasennusta SFS 6000-sarjan perusteella, on tiedettävä käytössä olevan sähkönsyöttöjärjestelmän ominaisuudet. Turvallisen sähköasennuksen suunnitteleminen edellyttää, että nämä tiedot selvitetään jakeluverkonhaltijalta tai muulla tavoin. Sähkönsyöttöjärjestelmän ominaisuudet on syytä sisällyttää suunnittelun dokumentointiin, jotta saadaan osoitettua asennuksen olevan standardien mukainen. (SFS 600-1 2012, 32.)

Suunnittelun perustana käytetään seuraavia tietoja:

- virtalaji: vaihtosähkö (AC) tai tasasähkö (DC)
- johtimet ja niiden lukumäärä
- jännite ja jännitteen toleranssit
- jännitekatkokset, jännitteen vaihtelut ja jännitekuopat
- taajuus ja taajuuden toleranssit
- suurin sallittu virta
- maasulkupiirin silmukkaimpedanssi liittymispisteestä syöttöön päin
- prospektiivinen oikosulkuvirta
- sähkönsyöttöjärjestelmään rakenteellisesti kuuluvat suojausjärjestelyt
- jakeluverkon haltijan asettamat erityisvaatimukset. (SFS 600-1 2012, 32.)

3.2.5 Kuormituksen määrä ja laatu

Valaistusta, lämmitystä, tehonkäyttöä, ohjausta, merkinantoa, televiestintää yms. varten tarvittavien virtapiirien lukumäärä ja laji määritetään seuraavien tekijöiden perusteella

- kulutuspisteiden sijainti.
- eri virtapiirien odotettavissa oleva kuormitus
- tehontarpeen päivittäiset ja vuotuiset vaihtelut
- mahdolliset erityisolosuhteet kuten harmoniset yliaallot
- ohjauksen, merkinannon, televiestinnän yms. asettamat vaatimukset jne
- ennakoitava tehontarve tulevaisuudessa, jos se on tiedossa. (SFS 600-1 2012, 33.)

3.2.6 Ympäristön vaikutus

Sähkölaite ja -laitteisto on asennettava ja valittava siten, että se täyttää vaatimukset ulkoisten tekijöiden kestämiseksi. Ulkoisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi mekaaninen liike ja värähtely, kosteus tai laitteiston pölyntyminen. Kuvassa 1 on esitetty tilanne, jossa rakennuksen seinään asennetut johdot on suojattu mekaanisella suojuksella.



KUVA 1. Johdon suojaaminen mekaanisella suojuksella (Saaranen 2015-03-02.)

Laitevalintoja ei tehdä ainoastaan laitteiston toimivuuden varmistamiseksi, vaan jotta taataan laitteiden suojauksen luotettavuus. Sähkölaitteistoissa rakenteiden mukaiset suojausmenetelmät pätevät vain, jos laitteistot on asennettu niihin olosuhteisiin, mihin kyseiset laitteistot on tarkoitettu käytettäväksi. (SFS 600-1 2012, 197.)

3.2.7 Johtimien poikkipinnat

Sähköasennuksissa käytettävien johtimien poikkipinnat määräytyvät sekä normaaleissa olosuhteissa, kuten myös vikatilanteissa seuraavien tekijöiden perusteella

- suurin sallittu lämpötila
- sallittu jännitteenalenema
- oikosulku- ja maasulkuvirtojen todennäköisesti aiheuttamat mekaaniset rasitukset
- johtimiin kohdistuvat muut mekaaniset rasitukset
- vikavirtojen suojauksen toiminnan kannalta suurin sallittu impedanssi
- asennustapa. (SFS 600-1 2012, 33.)

3.2.8 Johtojärjestelmä ja asennustapa

Valittaessa johtojärjestelmää ja asennustapaa on otettava huomioon seuraavat asiat

- asennuspaikan ominaisuudet
- johtojen asennusalueena toimivien seinien tai rakennusten muiden osien ominaisuudet
- ihmisten tai kotieläimien mahdollisuus koskettaa johtoja
- jännite
- oikosulku- ja maasulkuvirtojen todennäköisesti aiheuttamat sähkömagneettiset rasitukset
- sähkömagneettiset häiriöt
- muut rasitukset, jotka voivat kohdistua johtojärjestelmään asennuksen tai käytön aikana. (SFS 600-1 2012, 34.)

Johtojärjestelmän maadoitustapana voidaan käyttää useita eri vaihtoehtoja. On olemassa TN-, TT- tai IT-järjestelmiä.

TN-järjestelmä muodostuu siten, että virtapiiriin yksi piste on suoraan maadoitettu. Laitteistojen ja laitteiden jännitteelle alttiit osat on kytketty tähän pisteeseen suojajohtimen kautta. TN-järjestelmät jaetaan TN-S- ja TN-C-järjestelmiin sekä yhdistelmään TN-C-S. (D1-2012 2012, 63.)

Sähköasennusten käsikirjassa (D1-2012 2012, 63, 64) kerrotaan, että TN-S-järjestelmässä on suojajohtimenä koko järjestelmässä käytetty erillistä johdinta nollajohtimen lisäksi. Tämä on yleisesti käytetty järjestelmä rakennusten sähköasennuksissa. TN-C-järjestelmässä käytetään yhtä johdinta (PEN) sekä nolla-, että suojajohtimenä koko järjestelmässä. Kuten käsikirjassa (D1-2012 2012, 63) mainitaan, voi tätä järjestelmää käyttää ainoastaan silloin, kun johtimien poikkipinta on vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia.

Lisäksi käytössä on näiden järjestelmien yhdistelmä, TN-C-S-järjestelmä. Järjestelmä koostuu kummastakin järjestelmästä siten, että osassa verkkoa on käytetty TN-C-järjestelmää ja osassa TN-S-järjestelmää. Tällaista yhdistelmää käytettäessä TN-C-järjestelmän tulee aina olla syöttävän verkon puolella ja TN-S-järjestelmän sen jälkeen. Tämä johtuu siitä, että kun nolla- ja suojajohdin on kerran erotettu, ei niitä saa enää uudelleen kytkeä PEN-johtimeksi. (D1-2012 2012, 64.)

Myös TT-järjestelmässä virtapiirin yksi piste on suoraan maadoitettu. Tavallisesti tämä on muuntajan tähtipiste. Sähkölaitteistojen ja -laitteen jännitteelle alttiit osat on TN-järjestelmästä poiketen maadoitettu erillisen tai erillisten maadoituselektrodien avulla. Näiden elektrodien on määritelmän mukaan oltava sähköisesti erillisiä syöttöverkon maadoituselektrodiin nähden. (D1-2012 2012, 66.)

Kolmas järjestelmä on IT-järjestelmä, joka poikkeaa edellä mainituista järjestelmissä siinä, että sen mitään osaa ei ole kytketty suoraan maahan. Kyseessä on siis maasta erotettu järjestelmä. Sähkölaitteistojen ja -laitteiden maadoituksessa on käytetty erillisiä maadoituselektrodeja. (D1-2012 2012, 66.)

3.2.9 Suoja-, ohjaus- sekä erotuslaitteet

Suojalaitteiden ominaisuudet on määriteltävä toiminnan perusteella. Toiminta voi olla suojausta esimerkiksi seuraavilta ilmiöiltä

- ylivirta (ylikuormitusvirta, oikosulkuvirta)
- maasulkuvirta
- ylijännite
- alijännite ja jännitteettömyys. (SFS 600-1 2012, 34.)

Suojalaitteet on mitoitettava siten, että ne toimivat sähköasennuksen kannalta sellaisilla virroilla, jännitteillä ja sellaisessa ajassa, että suojaus tapahtuu luotettavasti ja käyttäjää vaarantamatta. Mikäli käytetään laitetta sähkön välittömään poiskytkentään vikatilanteen esiintyessä, on poiskytkennän suorittava suojalaite asennettava ja merkittävä tavalla, joka mahdollistaa sen helpon ja tehokkaan käytettävyyden. (SFS 600-1 2012, 34.)

Sähkölaitteistoissa on oltava riittävässä määrin erotuslaitteita. Verkossa voidaan suorittaa huolto-, testaus- sekä korjaustoimenpiteitä, jotka edellyttävät, että tietyt virtapiirit tai yksittäiset laitteet pystytään erottamaan luotettavasti muusta verkosta. (SFS 600-1 2012, 34.)

3.2.10 Sähkölaitteiden luoksepäätävyys ja tunnistaminen

Sähkölaitteet ja –asennukset on toteutettava ja sijoitettava niin, että niiden käyttö, tarkastus ja huolto on mahdollista. Koteloiden käyttö ei saa merkittäväällä tavalla haitata edellä mainittujen toimenpiteiden suorittamista. (SFS 600-1 2012, 190.)

Kaikkiin liitoksiin pitää päästä käsiksi tarkastusta, testausta ja huoltoa varten, lukuun ottamatta seuraavia poikkeuksia

- maahan asennettaviksi tarkoitetut liitokset
- massaan valetut tai kapseloidut liitokset
- liitokset kylmäjohtimien ja katto-, lattia- tai saattolämmitysjärjestelmän välillä
- liitokset, jotka on tehty hitsaamalla, pehmeäjuottamalla, kovajuottamalla tai asianmukaisilla puristustyökaluilla
- liitos, joka on osa asianmukaisen tuotestandardin vaatimukset täyttävää laitetta. (SFS 600-1 2012, 226.)

Mikäli laitteiston kytkin- tai ohjauslaitteistoilla on olemassa sekaantumisen mahdollisuus, on käyttötarkoitus ilmoitettava laitteen viereen kilvellä tai muulla asian ilmaisevalla tavalla (SFS 600-1 2012, 191).

3.3 Sähkölaitteiden valinta

Asennuksissa käytettävien sähkölaitteiden on täytettävä kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (1694/1993) ja valtioneuvoston asetuksen (1466/2007) mukaiset vaatimukset. Laitteet on valittava siten, että ne kestävät niihin kohdistuvat ulkoisten tekijöiden aiheuttamat rasitukset ja vaikutukset. Mikäli jokin tietty laite ei vastaa rakenteellisilta ominaisuuksiltaan sen sijoituspaikan asettamia vaatimuksia, voidaan lisäsuojauksen avulla laitetta kuitenkin käyttää. (SFS 600-1 2012, 35, 36.)

Sähkölaitteet on valittava siten, etteivät ne vahingoita muita laitteita tai aiheuta häiriöitä syöttävään verkkoon normaalin käytön aikana, kytkennät mukaan luettuna. Tällöin voi esim. seuraavilla seikoilla olla merkitystä

- tehokerroin
- kytkentävirta
- epäsymmetrinen kuorma
- harmoniset yliaallot
- asennukseen kuuluvien laitteiden aiheuttamat lyhytaikaiset ylijännitteet. (SFS 600-1 2012, 36.)

3.4 Varavoimajärjestelmät

Sähkön syöttö voidaan toteuttaa omasta teholähteestä tilanteissa, joissa esimerkiksi jakeluverkossa ilmenee häiriöitä, joiden takia normaali jakelu estyy. Kuluttaja voi myös halutessaan syöttää osaa verkostaan varavoimajärjestelmän kautta vaihtoehtoisena teholähteenä jakeluverkon sijasta. Tällaista menettelyä voidaan käyttää esimerkiksi tilanteissa, joissa satunnaisia kulutushuippuja halutaan syöttää omalla generaattorilaitteistolla ilman, että koko kiinteistön liittymisteho kasvaisi.

3.4.1 Pienjännitteiset generaattorilaitteistot

Standardissa määritetään vaatimukset pienjännitteisille generaattorilaitteistoille, joita käytetään ainoastaan kytkettävänä vaihtoehtona yleiselle jakeluverkolle tai joita ei ole liitetty yleiseen jakeluverkkoon. Generaattorilaitteiston on teholtaan ja muilta ominaisuuksiltaan oltava sellainen, ettei se vaurioita jännite- ja taajuusvaihteluilla syötettäviä laitteita. On myös voitava automaattisesti kytkeä sähköasennuksen osa pois, mikäli generaattorilaitteisto ylikuormittuu. Automaattisen poiskytkennän avulla toteutettu suojaus ei saa riippua liittymisestä yleisen jakeluverkon maadoitukseen. Tilanteissa, joissa generaattorilaitteisto on normaalin syötön kytkettävä vaihtoehto täytyy laitteistolla olla sopiva maadoituselektrodi. (SFS 600-1 2012, 327.)

Mikäli varavoimajärjestelmästä halutaan vaihtoehtoinen tehonsyöttöjärjestelmä yleisen jakeluverkon sijaan, täytyy varmistaa, ettei generaattori voi toimia rinnan jakeluverkon kanssa. Tällaisia menetelmiä ovat

- sähköinen, mekaaninen tai sähkömekaaninen lukitus vaihtokytkimen käyttömekanismien tai ohjauspiirien välillä.
- lukitusjärjestelmä, johon on ainoastaan yksi siirrettävä avain.
- kolmiasentoinen vaihtokytkin, joka katkaisee toisen syötön, ennen kuin toinen syöttö kytkeytyy.
- sopivalla lukituksella varustettu automaattinen vaihtokytkin.
- muut yhtä turvallisen työskentelyn takaavat menetelmät. (SFS 600-1 2012, 329.)

3.4.2 UPS-laitteet

UPS-laitteisto (Uninterruptable Power System) takaa keskeytymättömän tehon sen syöttämään järjestelmään. Standardin SFS-EN 62040-3 määrittelemät UPS-laitetyypit ovat Stand-by UPS (off-line), Line Interactive UPS ja Double conversion UPS (on-line). (ST 52.35.01 2010, 1.)

Stand-by UPS-laitteen lähtöjännite on riippuvainen syöttävän verkon jännitteestä ja taajuudesta. Normaalitylanteessa laite ottaa jännitteen suoraan verkosta ja syöttää sen suodattimen kautta kuormaan. Samalla se varaa akustoa, jonka avulla normaalin sähkönsyötön katketessa se pystyy syöttämään kuormaa. (Ylinen 2010, 19.)

Line Interactive UPS-laitteen kuorman jännite on lähtöjännitteen säädön ansiosta riippumaton syöttävän verkon jännitteestä. Laitteen lähdön taajuus on kuitenkin riippuvainen tulotaajuudesta.

Käyttökohteina ovat yksinkertaiset pienitehoiset laitteet. Taajuuskorjauksen puutteen takia kyseistä tekniikkaa ei suositella käytettäväksi generaattorikäytöissä. (ST 52.35.02 2010, 4; Ylinen 2010, 22.)

Käytettäessä Double conversion (on-line) UPS-laitetta kuorman jännite on riippumaton niin syöttävän verkon jännitteestä kuin taajuudestakin. Ennen kuormalle syöttämistä sähkö tasasuunnataan ja sen jälkeen vielä vaihtosuunnataan. Generaattorikäyttöä suunniteltaessa on-line UPS-laitteen käyttö on suositeltavaa juuri syöttävän verkon taajuushäiriöiden korjauskyvyn ansiosta. Tällä tekniikalla toteutettu järjestelmä on nykyisin eniten käytössä oleva ratkaisu. Suurin osa yli 3 kVA:n UPS-laitteista käyttää on-line-tekniikkaa. (ST 52.35.02 2010, 4; Ylinen 2010, 22, 25.)

3.5 Sähköasennusten toteuttaminen ja tarkastukset

Sähköasennukset toteuttavat riittävän ammattitaidon ja pätevyyden omaavat henkilöt ja asennukset on tehtävä käyttäen käyttötarkoitukseen sopivia materiaaleja. Laittevalmistajat antavat tuotteisiinsa niiden asennukseen vaadittavat ohjeistukset, joiden mukaan sähkölaitteet on asennettava. (SFS 600-1 2012, 36.)

Sähkölaitteistot jaetaan sähköturvallisuuslaissa kolmeen luokkaan seuraavasti:

2§ (3.5.2004/335)

Tässä päätöksessä tarkoittaa:

1) luokan 1 sähkölaitteisto:

- Sähkölaitteistoa asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa.
- Muuta kuin asuinrakennuksen sähkölaitteistoa, jonka suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria ja joka ei kuulu luokkiin 2 tai 3.
- Sähkölaitteistoa räjähdysvaarallisessa tilassa, jossa vaarallisen kemikaalin valmistus, käsittely tai varastointi vaatii ilmoitusta.

2) luokan 2 sähkölaitteisto:

- Lääkintätilojen sähkölaitteistoa sellaisessa sairaalassa, terveyskeskuksessa tai yksityisellä lääkäriasemalla, jossa ei tehdä yleisanestesiaa tai laajapuudutusta edellyttäviä kirurgisia toimenpiteitä.
- Sähkölaitteistoa, johon kuuluu yli 1000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja.
- Sähkölaitteistoa, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovoltiampeeria.

3) luokan 3 sähkölaitteisto

- Sähkölaitteistoa räjähdysvaarallisessa tilassa, jossa vaarallisen kemikaalin valmistus, käsittely tai varastointi taikka räjähteen valmistus vaatii lupaa.

- Lääkintätilojen sähkölaitteistoa sellaisessa sairaalassa tai terveyskeskuksessa taikka sellaisella yksityisellä lääkäriasemalla, jossa tehdään yleisanestesiaa tai laajapuudutusta edellyttäviä kirurgisia toimepiteitä.
- Verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muuta vastaavaa sähköverkkoa. (SFS 600-2 2012, 35.)

3.5.1 Käyttöönottotarkastus

Jokaiselle sähköasennukselle on tehtävä käyttöönottotarkastus ennen asennuksen tai laitteen käyttöönottoa ja loppukäyttäjälle luovuttamista. Käyttöönottotarkastuksessa varmistetaan, että laitteisto toimii halutulla tavalla eikä aiheuta vaaraa sen tulevalle käyttäjälle tai omaisuudelle. Sähköturvallisuuslain mukaan käyttöönottotarkastuksessa selvitetään riittävässä laajuudessa, ettei laitteisto aiheuta vaaraa tai häiriötä (SFS 600-2 2012, 35).

Käyttöönottotarkastuksesta laaditaan tarkastuspöytäkirja, joka luovutetaan sähkölaitteiston haltijan käyttöön. Pöytäkirjaan merkitään kohteen yksilöintitiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä, tarkastuksen ja testausten tulokset sekä tarkastuksen suorittajan allekirjoitus. (SFS 600-2 2012, 35.)

Käyttöönottotarkastuspöytäkirjaa ei tarvitse laatia töistä, jotka on sähköturvallisuuslaissa määritelty seuraavasti

- Sellaisista sähköalan töistä, joista voi aiheutua vain vähäistä vaaraa tai häiriötä.
- Nimellisjännitteeltään enintään 50 voltin vaihtojännitteisten ja 120 voltin tasajännitteisten sähkölaitteistojen asennuksista.
- Yksittäisten komponenttien vaihdosta tai lisäyksistä taikka näihin verrattavista toimenpiteistä.
- Yksittäisten kojeiden syöttöön liittyvistä muutostöistä enintään 1000 voltin nimellisjännitteellä.
- Nimellisjännitteeltään enintään 1000 voltin kytkinlaitoksiin kohdistuvista muutostöistä, joissa kytkinlaitoksen nimellisarvoja ei muuteta.
- Sellaisen tilapäislaitteiston asennuksista, joka on koottu standardien mukaisista työmaakeskuksista. (SFS 600-2 2012, 35.)

Kyseisistä tilanteista, joissa ei pöytäkirjaa vaadita, on kuitenkin tarvittaessa testausten tulokset annettava sähkölaitteiston haltijalle (SFS 600-2 2012, 35).

3.5.2 Määräaikaistarkastus

Käyttövarmuuden ja laitteiston käyttäjälle turvallisena pysymisen kannalta sähkölaitteet ja –laitteistot on joissain tapauksissa tarkastettava tietyn määräajan välein. Määräaikaistarkastukset suoritetaan pistokokein.

Sähköturvallisuuslaissa määräaikaistarkastusten suoritustiheys on määritelty sähkölaitteiston luokituksen perusteella. Luokan 1 sähkölaitteistolle (lukuun ottamatta asuinrakennuksia) määräaikaistarkastus on tehtävä viidentoista vuoden välein, luokan 2 sähkölaitteistolle kymmenen vuoden välein ja luokan 3 viiden vuoden välein. (SFS 600-2 2012, 36.)

3.6 Pienjänniteverkon maadoitukset

Suomessa pienjännitejakeluverkko on toteutettu TN-C-järjestelmällä, jolloin verkon maadoitus on toteutettava standardin SFS-6000 mukaisesti. Standardi määrittää, että asiakkaan sähköliittymän syöttöpisteen, muuntajan tai generaattorin, PEN-johdin on maadoitettava syöttöpisteessä tai korkeintaan 200 m:n päässä siitä. Muuntamolla keskijännitteelle alttiiden osien suojamaadoitus ja pienjänniteverkon maadoitus yhdistetään yhteiseen maadoituselektrodiin. Tämän lisäksi jokainen yli 200 m:n syöttöhaara on maadoitettava haaran loppupäästä tai enintään 200 m:n päässä siitä. AMKA-verkoille standardi suosittelee maadoittamista vähintään 500 m:n välein. Mikäli verkko sijaitsee alueella joka on erityisen ukkosherkkää, tulee maadoitus toteuttaa tiheämmin. Maadoitusimpedanssin tulisi maadoituselektrodeilla olla alle 100 Ω . (Lakervi ja Partanen 2008, 199; Energiateollisuus 2006, 16, 17.)

4 SÄHKÖINEN MITOITUS JA LASKENTA

Verkon mitoituksessa olennaisina lähtötietoina ovat eri kulutuspuisteiden nimellistehot, pisteiden sijainti sekä käytettävien asennusreitien ja johtojen pituudet. Näiden tietojen perusteella voi aloittaa sähkötekni- sen suunnittelun.

4.1 Suojalaitteiden mitoitus

Suojalaitteiden mitoitus alkaa suojattavan kohteen kuormitusvirran määrittämisellä. Mitoitusvirta saadaan selville, mikäli kuormituksen määrä ja laatu on selvillä. Kaapelia suojaava suojalaite valitaan siten, että piirin suunniteltu virta ei ylitä suojalaitteen mitoitusvirtaa (SFS 600-1 2012, 130).

Piirissä kulkeva virta saadaan laskettua tehon perusteella kolmivaihejärjestelmässä käyttämällä kaavaa 1 (AMK-KUSTANNUS OY TAMMERTEKNIikka 2010, 128).

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (1)$$

jossa

P = kuormituspuiste- ten teho (W)

U = pääjännite (V)

$\cos \varphi$ = kuormituksen tehokerroin. (AMK-KUSTANNUS OY TAMMERTEKNIikka 2010, 128.)

Taulukossa 1 on esitelty käytettävissä olevat johtojen suojalaitteet. Tiedot ovat peräisin rakennusten sähköasennusten käsikirjasta D1-2012.

TAULUKKO 1. Suojalaitteet nimellisvirran perusteella (D1-2012 2012, 93.)

Nimellisvirta I_n (A)	
Johdonsuojakatkaisija	gG-sulake
6	2
10	4
16	6
20	10
25	16
32	20
50	25
63	32
80	35
125	40
	50
	63
	80
	100

4.2 Johdon mitoitus

Johtojen kuormitettavuus on määritetty lähinnä sen perusteella, kuinka suurta lämpötilaa kyseiset johdot kestävät. Johtimille jatkuvasti sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska silloin johdon ylikuumeneminen voi aiheuttaa tulipalon vaaran ja eristemateriaali kuluu ja haurastuu liiallisen lämpötilan seurauksena. Kuormitettavuuteen vaikuttavat johtimissa ja eristeissä käytetty materiaali, ympäristön lämpötila, johdon asennustapa sekä muiden johtojen läheisyys. (D1-2012 2012, 216.)

Aiheesta on koottu kuormitettavuustaulukoita, joita on esimerkiksi D1-2012 käsikirjassa rakennusten sähköasennukset. Käsikirjassa kuormitettavuustaulukot on laskettu vastaamaan Suomessa käytettyjä ilman lämpötiloja, maan lämpötiloja ja maan lämpöresistiivisyyden arvoja. Kuormitettavuudet on laskettu erikseen PVC- ja PEX-eristeisille johdoille ja eri asennustavoille. Eri asennustapoja ovat uppoasennus, taulukossa asennustapa A, pinta-asennus, asennustapa C, maa-asennus, asennustapa D ja vapaasti ilmaan tehtävä asennus, asennustapa E. Käsikirjassa käytetty taulukko on esillä taulukossa 2. (D1-2012 2012, 216, 217.)

TAULUKKO 2. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla (D1-2012 2012, 217.)

	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
Johtimen nimellispoikkipinta (mm ²)	A	C	D	E
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

4.3 Jännitteenaleneman laskenta

Johtoa kuormitettaessa siinä tapahtuu jännitteen alenemaa, jonka suuruuteen vaikuttaa johdossa esiintyvä kuormitusvirta I , kuormituksen tehokerroin $\cos \varphi$ sekä johdon tyypistä riippuvat ominaisuudet, sen resistiivisyys ja reaktanssi. Vaihejännitteen alenema voidaan laskea käyttämällä kaavaa 2.

$$U_a = I * (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (2)$$

jossa

U_a	= vaihejännitteen alenema (V)
I	= johdon virta (A)
R	= johdon vaihtovirtaresistanssi (Ω/m)
X	= johdon reaktanssi (Ω/m)
φ	= vaihejännitteen ja –virran välinen vaihesiirtokulma. (ABB 2000, 457.)

Jännitteenalenema voidaan laskea tietyllä johdolla kolmivaiheisella vaihtojännitteellä kaavalla 3, mikäli tiedetään johdon ominaisresistanssi ja –reaktanssi sekä johdon pituus.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \quad (3)$$

jossa

ΔU	= jännitteenalenema (V)
I	= kuormitusvirta (A)
l	= johdon pituus (m)
R	= ominaisresistanssi (Ω/m)
X	= ominaisreaktanssi (Ω/m)
φ	= jännitteen ja virran välinen vaihekulma. (D1-2012 2012, 232.)

Vastaava suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavasta 4.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% \quad (4)$$

jossa

Δu	= suhteellinen jännitteenalenema
U_n	= nimellisjännite (V). (D1-2012 2012, 232.)

Taulukosta 3 nähdään, kuinka paljon suhteellinen jännitteenalenema saa pienjännitesähköasennuksissa liittymispisteen ja kuormituspisteen välillä enimmillään olla.

TAULUKKO 3. Jännitteenalenema (SFS 600-1, 262.)

Asennuksen tyyppi	Valaistus %	Muu käyttö %
A - Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B - Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä*	6	8
* Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja		

4.4 Oikosulkuvirtojen laskenta

Verkossa voi esiintyä kolmenlaisia oikosulkutilanteita, yksi-, kaksi- ja kolmevaiheisia oikosulkuja. Oikosulkusuojausta suunniteltaessa on tunnettava oikosulkuvirrat verkon eri osissa. (ABB 2000, 197.)

Pienjänniteverkoissa syötön nopean poiskytkennän on tapahduttava pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran vaikutuksesta määrätyssä enimmäisajassa. Vikavirran tulee olla riittävä sulakkeen nopeaan palamiseen. (Lakervi ja Partanen 2008, 201.)

Theveninin menetelmä on yksi tapa ratkaista oikosulkuvirran arvo verkon eri osissa. Menetelmässä yksivaiheisessa sijaiskytkennässä komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ekvivalenttisella jännitelähteellä cU_n , jossa U_n on vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä ja c :n arvo on minimioikosulkuvirtaa laskettaessa pienjänniteverkossa 0,95. (ABB 2000, 197, 198.)

Theveninin menetelmällä oikosulkuvirta saadaan laskettua yhtälöllä 5.

$$I_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} \quad (5)$$

jossa

c = pienjänniteverkossa minimioikosulkuvirtaa laskettaessa arvo on 0,95

U_n = syöttävän verkon jännite (V)

Z_k = impedanssi vikapaikasta katsottuna (Ω). (ABB 2000, 197.)

Tämä menetelmä on yksinkertaistettu siten, että siinä osaimpedanssit on laskettu yhteen tavalla, jonka takia todellinen impedanssi on aina laskettua arvoa pienempi ja vikavirta on siten suurempi. Laskennassa tapahtuva virhe on siis aina turvallisempaan suuntaan. Kaavassa oleva impedanssi muodostuu vikapaikkaa edeltävän verkon impedanssista sekä johtimien impedansseista. (D1-2012 2012, 95.)

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea myös yhtälöllä 6. Yhtälössä esiintyvien muuntajan arvojen laskenta on esitetty kohdassa 4.4.1 Muuntajan arvot. Johtimien reaktanssi- ja resistanssiarvoja on saatavilla valmistajilta, mutta niistä on koottu myös likimääräisiä arvoja sisältäviä taulukoita (D1-2012 2012, 96).

$$I_{k1v} = \frac{0,95 \cdot 3 \cdot U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (6)$$

jossa

U_v	= vaihejännite (V)
r_j	= vaihejohtimen resistanssi (Ω/km)
R_m	= muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)
x_j	= vaihejohtimen reaktanssi (Ω/km)
X_m	= muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)
x_{j0}	= vaihejohtimen nollareaktanssi (Ω/km)
R_{m0}	= muuntajan nolaresistanssi (Ω)
r_0	= nollajohtimen resistanssi (Ω/km)
X_{m0}	= muuntajan nollareaktanssi (Ω)
x_0	= nollajohtimen reaktanssi (Ω/km)
l	= johdon pituus (km). (Lakervi ja Partanen 2008, 203.)

Mikäli laskennan tuloksena päädytään tilanteeseen, jossa laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin vaadittu arvo, voidaan tehdä seuraavia toimenpiteitä asian korjaamiseksi

- Kasvatetaan johdon poikkipintaa.
- Vaihdetään sulaketyyppi.
- Lisätään vikavirtasuojakytkin.
- Muutetaan ryhmitystä. (Laininen 2012.)

4.4.1 Muuntajan arvot

Oikosulkuvirtojen laskennan yhteydessä kaavassa 6 tarvittavien muuntajan arvot lasketaan seuraavasti:

Mikäli muuntajasta tiedetään lähtötietoina näennäisteho S_n , kuormitushäviön P_k arvo, tyhjäkäyntiteho P_0 , nollaimpedanssi z_0 ja käytössä oleva jänniteporras, voidaan muut arvot laskea kaavoilla 7-14. (Rouvali 2013.)

Muuntajan oikosulkuresistanssi (%)

$$r_k = \frac{P_k}{S_n} \quad (7)$$

Muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)

$$R_m = r_k * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (8)$$

Muuntajan oikosulkureaktanssi (%)

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad (9)$$

Muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)

$$X_m = x_k * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (10)$$

Muuntajan nolaresistanssi (%)

$$r_0 = \frac{P_0}{S_n} \quad (11)$$

Muuntajan nolaresistanssi (Ω)

$$R_{m0} = r_0 * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (12)$$

Muuntajan nolareaktanssi (%)

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} \quad (13)$$

Muuntajan nolareaktanssi (Ω)

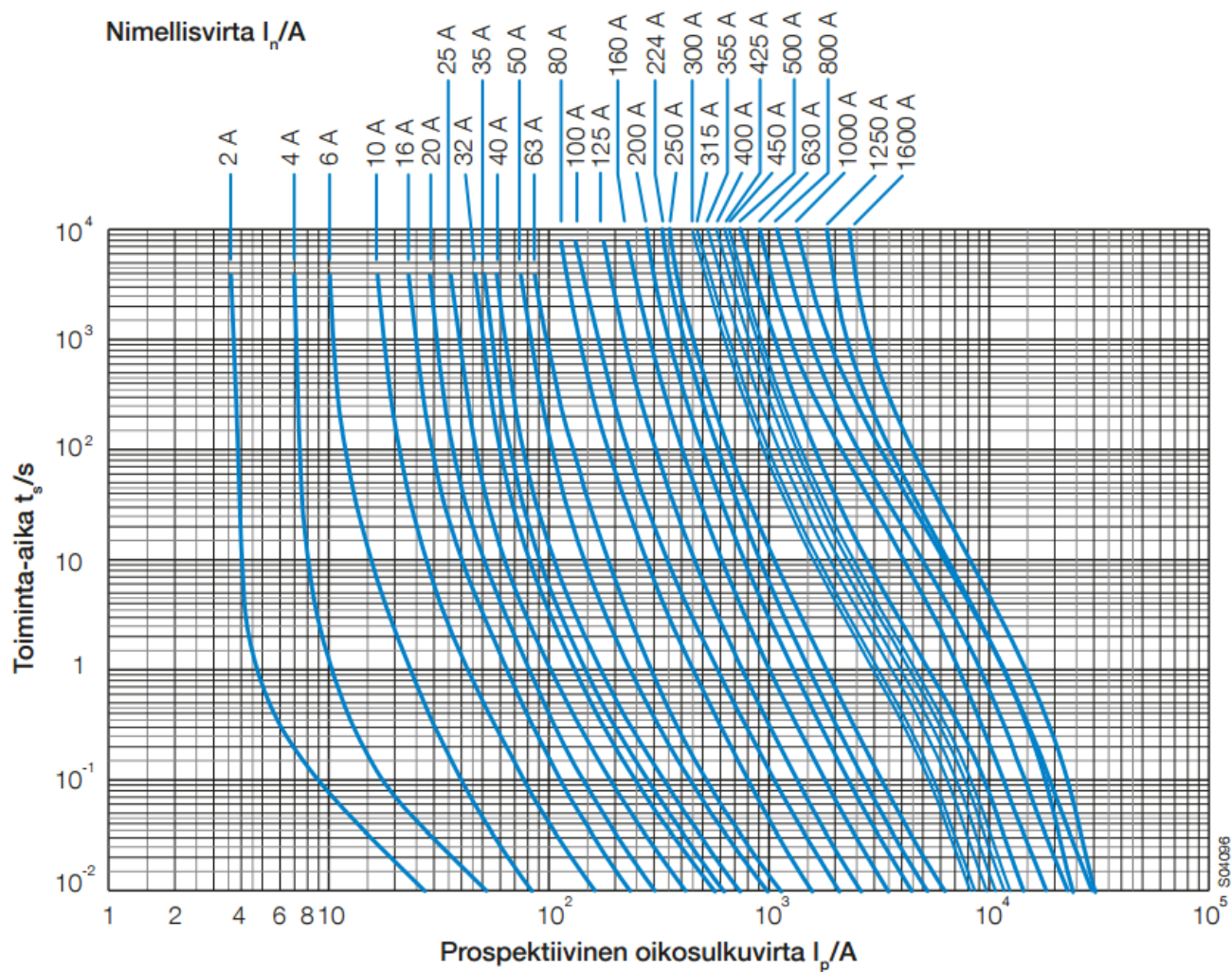
$$X_{m0} = x_0 * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (14)$$

4.5 Selektiivisyys

Selektiivisyys tarkoittaa suojauksessa sitä että mahdollisten vikatilanteiden sattuessa ainoastaan vikapaikkaa lähinnä oleva syötön puolella sijaitseva suoja toimii ja erottaa näin vikaantuneen kohdan verkosta. Tällä tavoin mahdollisimman pieni osa verkosta saatetaan jännitteettömäksi. (ST 52.35.02 2010, 2.)

Selektiivisyyden toteaminen ja suunnittelu tapahtuu johdon suojalaitteiden toimintakäyrien tai valmiiden selektiivisyydestaulukoiden perusteella. Laittevalmistajat ilmoittavat tuotteidensa toiminta-ajat taulukon 4 kaltaisella tavalla. Taulukossa on esitetty esimerkkinä ABB:n OFAA-kahvasulakkeiden toiminta-ajat (ABB 2009, 26). Johdolla esiintyvän oikosulkuvirran ja suojalaitteen nimellivirran perusteella taulukoista voidaan selvittää kyseisen suojalaitteen toiminta-aika.

TAULUKKO 4. ABB:n OFAA-sulakkeiden toiminta-ajat (ABB 2009, 26.)



5 NYKYTILANTEEN KARTOITUS

Työ alkoi tutustumisella kiinteistön aluesähköistyksen nykytilanteeseen, jotta tulevien laajennusten suunnittelu olisi mahdollista. Hyvä dokumentointi auttaa huomattavasti tulevaa suunnittelua ja mahdollistaa myös sujuvan korjaus-, tarkastus- ja huoltotoimenpiteiden tekemisen, mikäli sellaisille tulee joskus tarvetta.

5.1 Aistinvarainen tarkastelu

Ensimmäiseksi työssä käytiin kiinteistön alueella tutustumassa olemassa oleviin sähköasennuksiin. Kartoittaminen tapahtui aistinvaraisesti, eli alueella kierreltiin ja kirjattiin käytettyjen johtimien poikkipinnat, niiden asennusreitit, olennaisten sulakkeiden nimellisvirrat sekä alueen valaisimien sijainnit.

Alueen sähköistys on toteutettu ilmajohtoverkkona kiinteistöä syöttävältä pylväsmuuntamolta pääkeskukselle ja pääkeskukselta alueen kahdelle muulle keskukselle. Ilmajohto on haaroitettu kahvion kohdalla siten, että yksi haara syöttää kahviota ja toinen toimistorakennusta.

Alueella sijaitsi vielä vanhoja kyseisen kiinteistön entisen toiminnan aikaisia sähköasennuksia, jotka olivat olleet öljynerotuskaivon käytössä. Kuvassa 2 näkyy kaivoa varten asennettua sähköasennusta eräässä pylväässä varikkoalueen lähetyvillä.

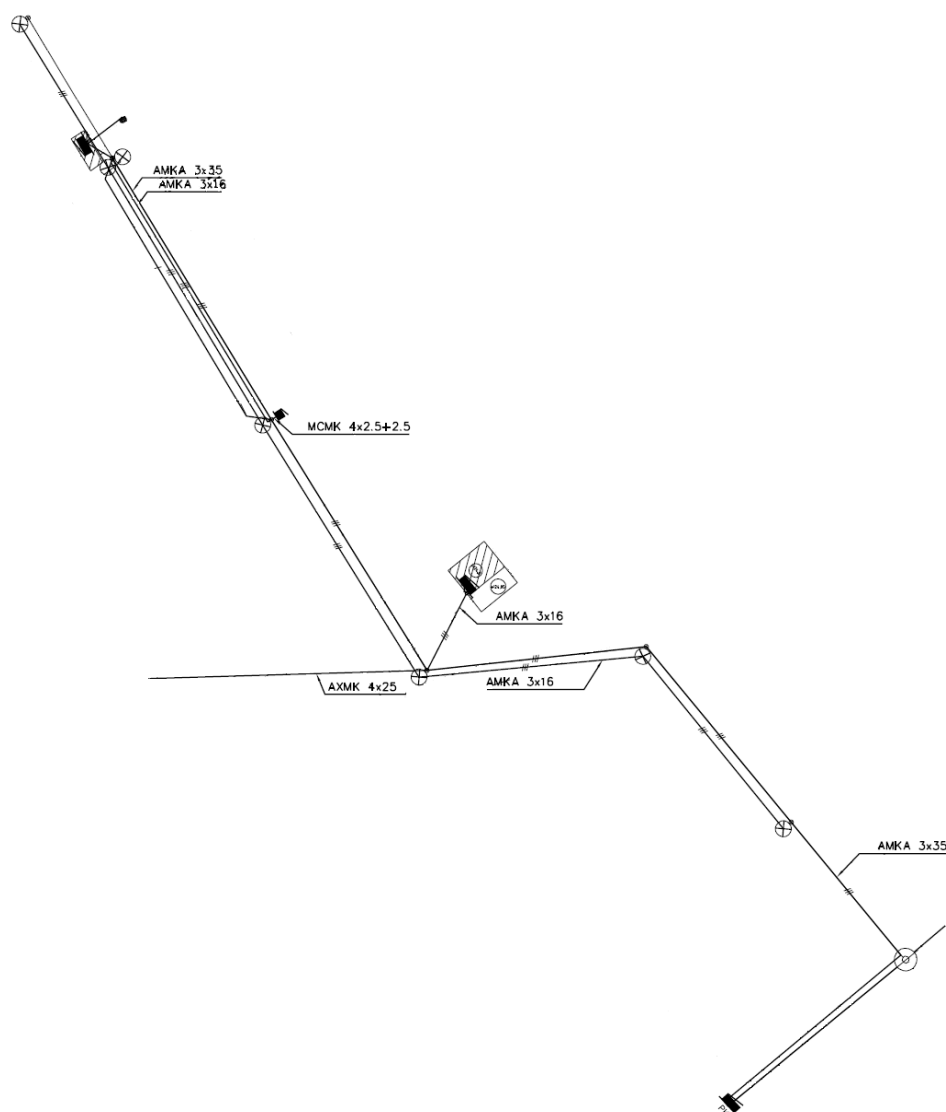


KUVA 2. Vanhoja öljynerotuskaivon sähköasennuksia (Saaranen 2015-04-15.)

5.2 Dokumentointi

Kiinteistöstä ei ollut asemapiirrosta josta olisi selvinnyt alueen sähköistys, joten tehtäväkseni tuli laatia sellainen vastaamaan kiinteistön nykytilannetta. Olemassa olevaan asemapiirrokseen oli kuitenkin merkitty ilmajohtopylväiden sijainti, joten tämä helpotti työtäni johtimien pituuksien arvioinnissa.

Asemapiirros päivitettiin vastaamaan nykytilannetta ja siihen sijoitettiin kiinteistön muuntamo, keskukset, ulkovalaisimet, ulkona sijaitsevat voimapistorasiat, autolämmityspistorasiatolpat sekä niiden johdotukset. Näyte asemapiirrokseen lisäystä alueen sähköistyksestä on kuvassa 3. Kuvasta näkyy kiinteistön muuntamo, keskukset sekä valaisimet. Kuvaan on merkitty viittauksin johtimien poikkipinnat. Koko asemapiirros on liitteessä 2, Asemapiirros, nykytilanne.



KUVA 3. Alueen sähköistys (Saaranen 2015.)

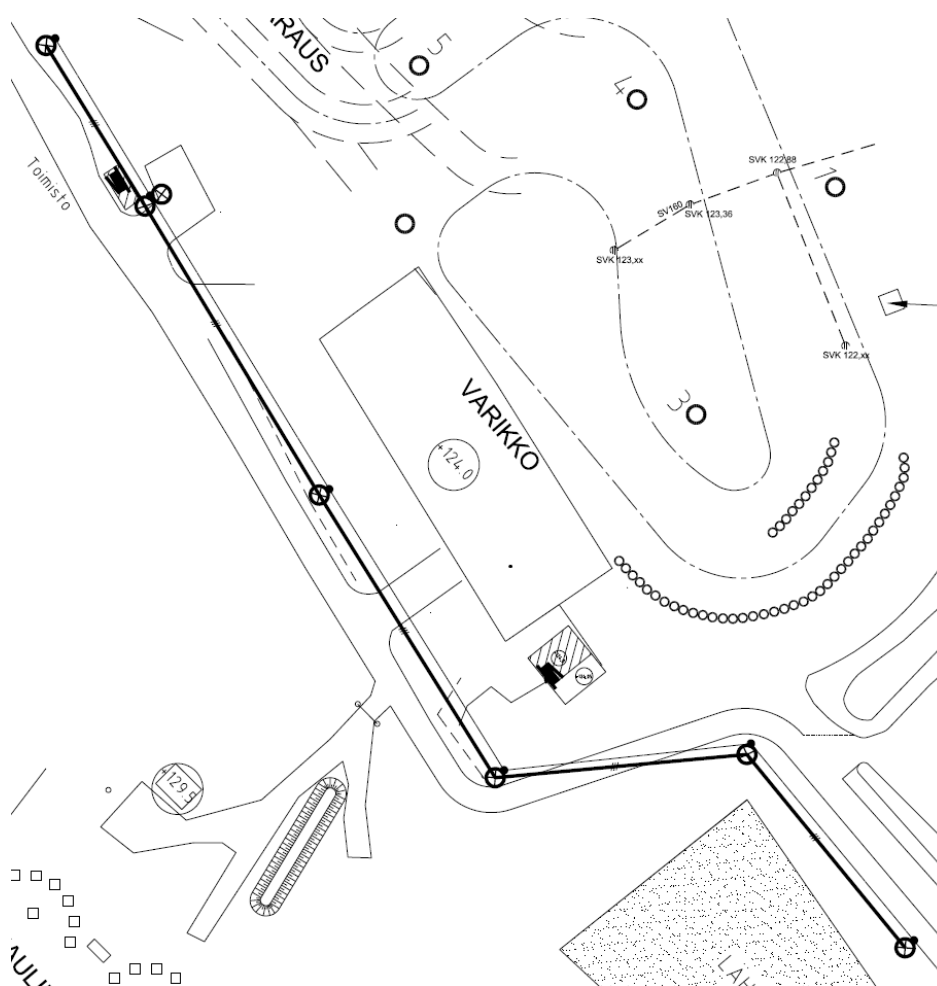
Asemapiirroksista on selvittävä keskijännitekojeiston ja pääkeskuksen sijainti, käytettyjen maakaapeli- tai ilmajohtimien asennusreitit ja tyypit sekä ulkona sijaitsevien sähkölaitteiden sijainti. Tällaisia sähkölaitteita ovat esimerkiksi ulkovalaisimet ja ulkona sijaitsevat pistorasiat. Kaapelointi

merkitään viiteviivoilla siten, että viiteviivan kärki osoittaa kyseistä kaapelia. Viiteteksti sijoitetaan viivan yläpuolelle. Merkinnoissa tulee näkyä mahdollisimman selvästi kaapeloinnin vahvuus ja materiaali, kuten myös sen asennustapa, jotta esimerkiksi maansiirtourakoitsija voi käyttää dokumentointia hyväksi omaa työskentelyään suunnitellessaan. Kaapelin merkintä tapahtuu ilmoittamalla ensin materiaalilyhenne, jonka jälkeen ilmoitetaan johtimien lukumäärä ja niiden poikkipinta-ala. Esimerkinä AMKA 3x16+25. (Kuki 2011, 9.)

Sähkökeskukset merkitään asemapiirrokseen siten, että niiden numerointi tai nimeäminen on selkeää ja paikkaansapitävää. Myös henkilöiden jotka eivät ole aikaisemmin olleet työskentelemässä alueella täytyy pystyä dokumentteja tutkiessaan paikantamaan tarvittavat sähkökeskukset ja muut asennukset ilman epäselvyyksiä. Tämä helpottaa tulevia töitä huomattavasti. (Kuki 2011, 9, 10.)

5.3 Ulkovalaistus

Alueen ulkovalaistus on toteutettu 125 W elohopeavalaisimilla, jotka on sijoitettu kiinteistön ohi kulkevan tien varteen ilmajohtopylväisiin. Valaisimien sijainti ja niiden syöttöjohdon kulkureitti on esillä kuvassa 4. Ulkovalaisimien syöttö tapahtuu toimistorakennuksen keskukselta, joka on kuvassa vasemmassa yläreunassa.



KUVA 4. Alueen ulkovalaistus (Saaranen 2015.)

Asiakkaan mukaan alueen ulkovalaistukseen ei tarvitse tehdä tältä osin muutoksia, vaan vanhat valaisimet jätetään entisille paikoilleen. Alueella järjestettäviä kisoja pidetään harvoin hämärään aikaan, joten rata-alueen valaistus ei ole välttämätöntä.



KUVA 5. Yksi alueen ulkovalaisimista (Saaranen 2015-04-15.)

5.4 Verkon mitoituksen tarkistus

Nykytilanteen kartoitukseen kuului olennaisena osana sähköasennusten mitoituksen tarkistaminen, jotta verkkoon lisättävät laajennukset saadaan mitoitettua säännösten mukaan.

5.4.1 Kiinteistöä syöttävä muuntaja

Kiinteistön muuntamona toimii ABB:n pylväsmuuntamo. Muuntamo on esillä kuvassa 6. Muuntamon hankalan lähestyttävyyden takia muuntajan arvokilpeen ei päästy käsiksi, jotta muuntajan sähkötekniset arvot olisi saatu selville. Nämä arvot ovat kuitenkin oleellisia sähköistä mitoitusta tarkistettaessa, joten työn aikana otettiin yhteyttä alueen verkkoyhtiöön, joka oli Savon Voima Oyj.



KUVA 6. Kiinteistöä syöttävä pylväsmuuntamo (Saaranen 2015-04-10.)

Verkkoyhtiöltä saatiin tietää, että kiinteistön muuntajana toimii Strömbergin valmistama KTMU24HC30-tyyppinen muuntaja, jonka näennäisteho S_n on 30 kVA. Muina tietoina saatiin muuntajan oikosulkuiмпedanssin z_k , kuormitushäviön P_k ja tyhjäkäyntihäviön P_0 arvot. Nämä muuntajan arvot ovat:

$$S_n = 30 \text{ kVA}$$

$$z_k = 4,2 \%$$

$$P_k = 750 \text{ W}$$

$$P_0 = 100 \text{ W}$$

Näiden lähtötietojen perusteella pystyttiin laskemaan muuntajan muut tarvittavat arvot käyttämällä ABB:n Teknisiä tietoja ja taulukoita-käsikirjasta löytynyttä nollaimpedanssin z_0 arvoa 1,2 %. Kyseinen nollaimpedanssin arvo on ilmoitettu vastaavan kokoiselle muuntajalle. Laskennassa käytetyt kaavat on esitetty kaavoissa 7-14 osiossa 4.4.1 Muuntajan arvot.

Muuntajan oikosulkuresistanssi (%)

$$r_k = \frac{P_k}{S_n} = \frac{750 \text{ W}}{30 \text{ kVA}} = 0,025$$

Muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)

$$R_m = r_k * \frac{U_n^2}{S_n} = 0,025 * \frac{(400 \text{ V})^2}{30 \text{ kVA}} = 0,1333 \Omega$$

Muuntajan oikosulkureaktanssi (%)

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{0,042^2 - 0,025^2} = 0,0337$$

Muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)

$$X_m = x_k * \frac{U_n^2}{S_n} = 0,0337 * \frac{(400 \text{ V})^2}{30 \text{ kVA}} = 0,1797 \Omega$$

Muuntajan nolaresistanssi (%)

$$r_0 = \frac{P_0}{S_n} = \frac{100 \text{ W}}{30 \text{ kVA}} = 0,00333$$

Muuntajan nolaresistanssi (Ω)

$$R_{m0} = r_0 * \frac{U_n^2}{S_n} = 0,00333 * \frac{(400 \text{ V})^2}{30 \text{ kVA}} = 0,01776 \Omega$$

Muuntajan nolareaktanssi (%)

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{0,012^2 - 0,00333^2} = 0,0115$$

Muuntajan nolareaktanssi (Ω)

$$X_{m0} = x_0 * \frac{U_n^2}{S_n} = 0,0115 * \frac{(400 \text{ V})^2}{30 \text{ kVA}} = 0,06133 \Omega$$

5.4.2 Jännitteenalenemat

Jänniteenalenemien laskentaa varten täytyi kiinteistön rakennuksille hahmotella niille sopivat pätötehon P ja tehokertoimen $\cos \varphi$ arvot. Arvioitiin että ryhmäkeskuksen RK2 syöttämän kahviorakennuksen teho olisi noin 5 kW tehokertoimella $\cos \varphi = 0,96$. Ryhmäkeskuksen RK1 syöttämän toimistorakennuksen tehoarvot ovat luultavasti samaa luokkaa. Ilmajohdon haaroituspisteessä, josta kummankin rakennuksen syöttöjohdot lähtevät, teho on siis noin 10 kW.

Verkon jännitteenaleneman tarkistus aloitettiin pääkeskukselta, josta edettiin ilmajohdon haaroituspisteeseen. Tämän pisteen tehon on arvioitu olevan noin 10 kW ja tämän perusteella saadaan laskettua pisteen virran I arvon käyttämällä kaavaa 1.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi}$$

$$I = \frac{10\,000\text{ W}}{\sqrt{3} * 400\text{ V} * 0,96} = 15,04\text{ A}$$

TAULUKKO 5. Johtojen resistanssit ja reaktanssit (Energiateollisuus 2008, 38, 39.)

Johto	R _v (+40°C) Ω/km	R ₀ (+40°C) Ω/km	X _v Ω/km	X _{v0} Ω/km	X ₀ Ω/km
AMKA					
3x16+25	2,064	1,491	0,108	0,055	0,074
3x35+50	0,938	0,778	0,104	0,045	0,073
MCMK					
3x16+16	1,240	1,240	0,088	0,088	-
MMJ					
4x6	3,322	3,322	0,115	0,115	0,115

Tehokertoimen $\cos \varphi$:n arvosta saadaan jännitteenalenemassa tarvittava arvo $\sin \varphi$:

$$\cos \varphi = 0,96$$

$$\arccos(0,96) = \varphi = 16,26^\circ$$

$$\sin \varphi = \sin(16,26^\circ) = 0,28$$

Jännitteenalenema kiinteistöä syöttävältä muuntajalta pääkeskukselle kaavalla 3, kun käytetty johto on AMKA 3x35+50 ja välimatka 50 m.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X)$$

$$= 15,04\text{ A} * 0,050\text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,96 * 0,938 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 * 0,104 \frac{\Omega}{\text{km}}\right) = 1,21\text{ V}$$

Suhteellinen jännitteenalenema muuntajan ja pääkeskuksen välillä on siis kaavan 4 mukaisesti:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% = \frac{1,21\text{ V}}{400\text{ V}} * 100\% = 0,30\%$$

Jännitteenalenema pääkeskuksen ja haaroituspisteen välillä, kun johdinpituus on 190 m ja käytetty johto on AMKA 3x35+50. Alueella käytettyjen johtojen resistanssi- ja reaktanssiarvot on koottu taulukkoon 5. Jännitteenaleneman laskennassa käytettiin kaavaa 3.

Jännitteenalenema pääkeskuksen ja ilmajohdon haaroituspisteen välillä kaavalla 3:

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X)$$

$$= 15,04\text{ A} * 0,190\text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,96 * 0,938 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 * 0,104 \frac{\Omega}{\text{km}}\right) = 4,60\text{ V}$$

Suhteellinen jännitteenalenema tällä välillä kaavalla 4 laskettuna on:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% = \frac{4,60 V}{400 V} * 100 \% = 1,15 \%$$



KUVA 7. Kahviorakennus, ilmajohdon liittyminen rakennuksen seinään (Saaranen 2015-04-10.)

Haaroituspisteeltä kahvion ja ryhmäkeskus RK2:lle syöttö on hoidettu ilmajohdolla AMKA 3x16+25 rakennuksen seinään. Tämän johdon pituus on noin 20 m. Syöttö ulkoseinältä keskukselle on toteutettu 6 mm²:n poikkipinta-aisella MMJ-johdolla. Tämän johdon pituus on noin 5 m. Kuvassa 7 näkyy ilmajohdon ja MMJ:n liitoskohta. Arvioni mukaan rakennuksen teho on noin 5 kW, joten johdossa kulkeva virta on kaavan 1 perusteella:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi} = \frac{5\,000 W}{\sqrt{3} * 400 V * 0,96} = 7,52 A$$

Jännitteenalenema AMKA 3x16+25 ilmajohdolla 20 m:n matkalla lasketaan kaavalla 3 seuraavasti:

$$\begin{aligned} \Delta U &= I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \\ &= 7,52 A * 0,020 km * \sqrt{3} * \left(0,96 * 2,064 \frac{\Omega}{km} + 0,28 * 0,108 \frac{\Omega}{km} \right) = 0,52 V \end{aligned}$$

5 m:n matkalla MMJ 6-johdolla jännite laskee kaavan 3 mukaisesti:

$$\begin{aligned}\Delta U &= I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \\ &= 7,52 \text{ A} * 0,005 \text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,96 * 3,322 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 * 0,115 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 0,21 \text{ V}\end{aligned}$$

Suhteellinen jännitteenalenema haaroituspisteen ja RK2:n välillä on siis kaavalla 4 laskettuna:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% = \frac{0,52 \text{ V} + 0,21 \text{ V}}{400 \text{ V}} * 100 \% = 0,18 \%$$

Haaroituspisteen ja ryhmäkeskuksen RK1 välillä kulkee ilmajohtoa AMKA 3x35+50 135 m:n matkalla, ilmajohtopylvästä keskuksen syöttö on toteutettu MCMK 3x16+16 maakaapelilla, jonka pituudeksi arvioitiin noin 10 m. Toimiston tehoksi on arvioitu noin 5 kW, joten virraksi saadaan kaavalla 1:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi} = \frac{5\,000 \text{ W}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V} * 0,96} = 7,52 \text{ A}$$

Jännitteenalenema ilmajohtolla kaavalla 3:

$$\begin{aligned}\Delta U &= I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \\ &= 7,52 \text{ A} * 0,135 \text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,96 * 0,938 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 * 0,104 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 1,63 \text{ V}\end{aligned}$$

Jännitteenalenema MCMK-kaapelilla kaavalla 3:

$$\begin{aligned}\Delta U &= I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \\ &= 7,52 \text{ A} * 0,010 \text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,96 * 1,240 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 * 0,088 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 0,16 \text{ V}\end{aligned}$$

Suhteellinen jännitteenalenema haaroituspisteen ja RK1:n välillä on siis kaavalla 4:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% = \frac{1,63 \text{ V} + 0,16 \text{ V}}{400 \text{ V} - 4,6 \text{ V}} * 100 \% = 0,45 \%$$

Ulkovalaistuksessa jännitteenalenemaa tarkasteltiin pisimmän ryhmäjohtoon osalta. Ulkovalaistus on toteutettu AMKA 3x16+35 ilmajohtolla ja ulkovalot ovat teholtaan 125 W. Ilmajohdon ja keskuksen välillä, noin 10 m:n matkalla, on käytetty maakaapelia MCMK 3x2,5+2,5. Kun laskettaessa käytetään valaisimien tehokertoimena arvoa 0,9 saadaan laskettua jännitteenalenema tilanteessa, jossa olosuhteet ovat huonoimmillaan (Laininen 2012). Käytettäessä valaisimien syttymisvirtaa, saadaan selville tilanne, jossa kuormitus on suurimmillaan. Palamisvirta 125 W elohopeavalaisimilla on 0,70 A

kun taas syttymisvirta on valmistajittain 1,00 – 1,15 A (Nykänen 2012, 28). Kauimmaisen valaisimen kanssa samassa ryhmässä on kolme valaisinta.

Keskuksen ja ilmajohdon välillä maakaapelilla jännitteenalenema on kaavalla 3:

$$\begin{aligned}\Delta U &= I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \\ &= 3 * 1,15 \text{ A} * 0,01 \text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,9 * 7,992 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,436 * 0,115 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 0,43 \text{ V}\end{aligned}$$

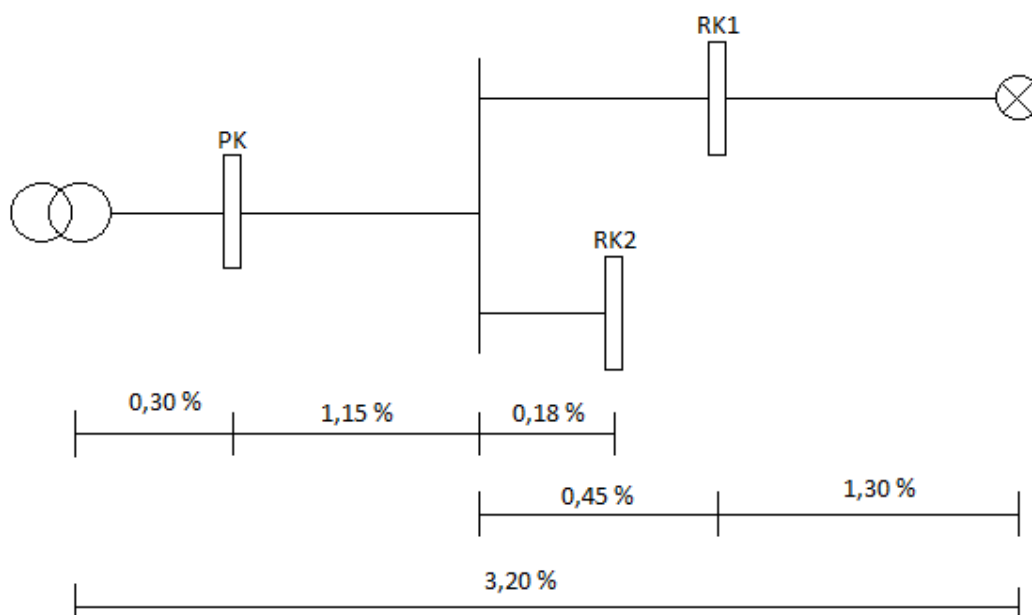
Kauimmainen valaisin sijaitsee noin 225 m:n pituisen johdon päässä ja jännitteenalenemaksi ilmajohdolla saadaan kaavan 3 mukaisesti:

$$\begin{aligned}\Delta U &= I * l * \sqrt{3} * (\cos \varphi * R + \sin \varphi * X) \\ &= 3 * 1,15 \text{ A} * 0,225 \text{ km} * \sqrt{3} * \left(0,9 * 2,064 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,436 * 0,108 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 2,56 \text{ V}\end{aligned}$$

Suhteellinen jännitteenalenema ryhmäkeskuksen RK1 ja kauimmaisen valaisimen välillä kaavan 4 mukaan:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_v} * 100 \% = \frac{2,56 \text{ V} + 0,43 \text{ V}}{230 \text{ V}} * 100 \% = 1,30 \%$$

Saatujen tulosten perusteella koottiin verkossa tapahtuvaa jännitteenalenemaa havainnollistava kuva 8. Kuten kuvasta nähdään, muuntajan ja kauimmaisen valaisimen välinen suhteellinen jännitteenalenema on 3,20 %. Kuten aiemmin taulukosta 3 (sivu 23) ilmeni, verkon jännitteenalenema on hieman suurempi kuin standardissa määritetty arvo.



KUVA 8. Suhteellinen jännitteenalenema verkossa (Saaranen 2015.)

Tulokset on koottu myös taulukkoon 6.

TAULUKKO 6. Jännitteenalenemat verkon nykytilanteessa (Saaranen 2015.)

VÄLI	l (km)	I (A)	ΔU (V)	Δu (%)
MUUNTAJA - PK	0,050	15,04	1,21	0,30
PK - HAARAPISTE	0,190	15,04	4,60	1,15
HAARAPISTE - TOIMISTO (AMKA)	0,135	7,52	1,63	0,41
HAARAPISTE - TOIMISTO (MCMK)	0,010	7,52	0,16	0,04
HAARAPISTE - KAHVIO (AMKA)	0,020	7,52	0,52	0,13
HAARAPISTE - KAHVIO (MMJ)	0,005	7,52	0,21	0,05
TOIMISTO - VALAISIN (MCMK)	0,010	3,45	0,43	0,19
TOIMISTO - VALAISIN (AMKA)	0,225	3,45	2,56	1,11
MUUNTAJA - VALAISIN			10,60	3,20

5.4.3 Oikosulkusuojaus

Ennen oikosulkusuojaus tarkistamista täytyi tietää oikosulkuvirta kuvassa 9 esiintyvällä kiinteistön pääkeskuksella. Verkkoyhtiön laskelmien mukaan yksivaiheisen oikosulkuvirran I_k arvo asiakkaan liittymispisteessä kiinteistön pääkeskuksella on 980 A.



KUVA 9. Kiinteistön pääkeskus (Saaranen 2015-03-02.)

Mikäli tämä oikosulkuvirta lasketaan käyttämällä kaavaa 6 ja sijoittamalla siihen muuntajan ja käytetyn johdon, AMKA 3x35+50 arvot, saadaan:

$$\begin{aligned}
 I_{k1v} &= \frac{0,95 * 3 * U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \\
 &= \frac{0,95 * 3 * 400 \text{ V}}{\sqrt{\left(2 * 0,1333 \Omega + 0,01776 \Omega + 3 * 0,05 \text{ km} \left(0,938 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,778 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)\right)^2 + \left(2 * 0,1797 \Omega + 0,06133 \Omega + 0,05 \text{ km} \left(2 * 0,104 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,045 \frac{\Omega}{\text{km}} + 3 * 0,073 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)\right)^2}} \\
 &= 1052,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

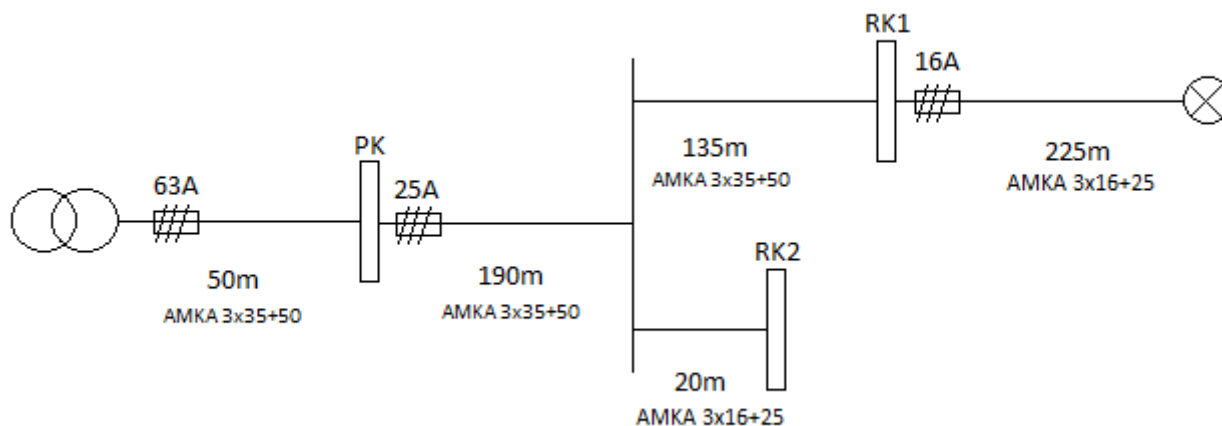
Oikosulkusuojauksen laskennassa käytetään kuitenkin verkkoyhtiöltä saatua arvoa, sillä itse lasketussa oikosulkuvirran arvossa käytettiin muuntajan nollaimpedanssin ja johtimien reaktanssin ja resistanssin taulukkoarvoja.

Muuntajan gG-sulakkeen nimellisvirta I_n on 63 A ja käsikirjasta D1-2012 taulukosta 41.5 nähdään, että kyseisen sulakkeen vaadittava oikosulkuvirta korkeintaan viiden sekunnin poiskytkentäajalla on 110 A. Pääkeskuksella esiintyvä oikosulkuvirta täyttää siis vaatimukset.

Käyttämällä Theveninin menetelmän mukaista kaavaa 5 saamme laskettua tätä pistettä edeltävän verkon impedanssin Z_v .

$$Z_v = \frac{cU_n}{\sqrt{3}I_k} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 980 \text{ A}} = 0,22387 \Omega$$

Kiinteistön verkosta on piirretty havainnollistava kuva 10, jossa näkyy kiinteistön kesukset, niitä syöttävät johdot sekä johtojen pituudet.



KUVA 10. Aluesähköistysten havainnoittamiskuva (Saaranen 2015.)

Välillä pääkeskus (PK) ja ryhmäkeskus 1 (RK1) kulkee kiinteistön runkojohto, jona toimii AMKA 3x35+50. Ilmajohto on liitetty RK1:lle maakaapelilla MCMK 3x16+16. Koska oikosulku tapahtuu vaiheen ja maan välillä ja AMKA-johdolla näiden johtimien poikkipinnat eivät ole yhtä suuria, täytyy ottaa huomioon että myöskään johtimien impedanssit eivät ole saman suuruisia. Käsikirjassa D1-2012 taulukossa 41.6 on ilmoitettu kaapeleiden likimääräisiä impedansseja johdinlämpötilassa 80 °C.

Taulukon mukaan 50 mm²:n alumiinijohtimen impedanssi on 0,800 Ω/km, 35 mm²:n alumiinijohtimen 1,089 Ω/km ja 16 mm²:n kuparijohtimen 1,418 Ω/km. Johtimien impedanssit on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Käytettyjen johtimien impedanssit (D1-2012 2012, 96.)

johtimen materiaali	johtimen poikkipinta A/mm ²	impedanssi Ω/km
alumiini	16	2,326
alumiini	25	1,492
alumiini	35	1,089
alumiini	50	0,800
kupari	2,5	8,770
kupari	6	3,660

Laskettaessa impedanssia RK1:llä, lisätään pääkeskuksen impedanssiarvoon johtimilla syntyvä impedanssi.

$$\begin{aligned}
 Z_{v1} &= Z_v + Z_{johdin} = Z_v + 0,325 \text{ km} * Z_{AL35} + 0,325 \text{ km} * Z_{AL50} + 2 * 0,020 \text{ km} * Z_{CU16} \\
 &= 0,22387 \Omega + 0,325 \text{ km} * 1,089 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,325 \text{ km} * 0,800 \frac{\Omega}{\text{km}} + 2 * 0,020 \text{ km} * 1,418 \frac{\Omega}{\text{km}} \\
 &= 0,8945 \Omega
 \end{aligned}$$

Impedanssin avulla saadaan laskettua kaavalla 5 pisteen yksivaiheinen oikosulkuvirta I_k .

$$I_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3} * Z_{v1}} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,8945 \Omega} = 245,3 \text{ A}$$

Kiinteistöä suojaavan gG-tyypin pääsulakkeen nimellisvirta I_n on 25 A ja käsikirjasta D1-2012 taulukosta 41.5 nähdään, että kyseisen sulakkeen vaadittava oikosulkuvirta korkeintaan viiden sekunnin poiskytkentäajalla on 110 A. Oikosulkuvirta täyttää siis vaatimukset.

Välillä PK ja RK2 kulkee runkojohto AMKA 3x35+50 sekä AMKA 3x16+25 ja ilmajohto on liitetty keskukselle 6 mm²:n kuparijohtimilla. Johtimien impedanssit saadaan käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.6 ja ne on esitetty taulukossa 7.

Impedanssi RK2:lla on laskettu samalla tavalla kuin RK1:lläkin, ainoa ero on johtimien pituuksissa ja poikkipinnoissa.

$$\begin{aligned} Z_{v2} &= Z_v + Z_{johdin} \\ &= Z_v + 0,190 \text{ km} * Z_{AL35} + 0,190 \text{ km} * Z_{AL50} + 0,020 \text{ km} * Z_{AL16} + 0,020 \text{ km} * Z_{AL25} + 2 * 0,005 \text{ km} \\ &\quad * Z_{CU6} \\ &= 0,22387 \Omega + 0,190 \text{ km} * 1,089 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,190 \text{ km} * 0,800 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,020 \text{ km} * 2,326 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,020 \text{ km} \\ &\quad * 1,492 \frac{\Omega}{\text{km}} + 2 * 0,005 \text{ km} * 3,660 \frac{\Omega}{\text{km}} \\ &= 0,696 \Omega \end{aligned}$$

Saadun impedanssiarvon avulla lasketaan kaavalla 5 pisteen oikosulkuvirta I_k .

$$I_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3} * Z_{v2}} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,696 \Omega} = 315,3 \text{ A}$$

Saatu arvo on suurempi, kuin pääsulakkeilla oleva vaadittu oikosulkuvirran arvo 110 A, joten oikosulkusuojaus toimii tässäkin pisteessä vaaditun viiden sekunnin poiskytkentäajan puitteissa.

Ryhmäjohtotasolla riittää se, että tarkastellaan pisimmän ryhmäjohtoon päässä esiintyvää oikosulkuvirtaa (Laininen 2012). Kyseinen pisin ryhmäjohto sijaitsee ulkovalaistusryhmässä. Valaisinryhmän johtona on käytetty AMKA 3x16+25 ilmajohtoa ja ilmajohto on kytketty keskukseseen kaapelilla MCMK 4x2,5+2,5. Johtimien impedanssit on esitetty taulukossa 7. Impedanssi kaukaisimman valaisimen luona on laskettu seuraavasti.

$$\begin{aligned} Z_{v3} &= Z_{v1} + Z_{johdin} = Z_{v1} + 0,02 \text{ km} * Z_{CU2,5} * 2 + 0,226 \text{ km} * Z_{AL16} + 0,226 \text{ km} * Z_{AL25} \\ &= 0,8945 \Omega + 0,02 \text{ km} * 8,770 \frac{\Omega}{\text{km}} * 2 + 0,226 \text{ km} * 2,326 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,226 \text{ km} * 1,492 \frac{\Omega}{\text{km}} \\ &= 2,104 \Omega \end{aligned}$$

Kyseisen pisteen yksivaiheinen oikosulkuvirta kaavalla 5:

$$I_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3} * Z_{v3}} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 2,104 \Omega} = 104,3 \text{ A}$$

Valaistusr ryhmän johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta on 16 A ja ryhmäjohtotasolla toiminta-aika on 0,4 s. Kyseisen suojalaitteen vaadittu oikosulkuvirta on D1-2012:n mukaan 80 A tällä poiskytkentäajalla, joten oikosulkuvirta on riittävän suuri. Kuten aiemmin todettiin, nämä tällä menetelmällä lasketut oikosulkuvirrat ovat aina todellisuutta pienempiä. Verkko on siis oikosulkusuojauksen kannalta kunnossa. Tulokset on koottu taulukkoon 8.

TAULUKKO 8. Oikosulkusuojauksen tulokset (Saaranen 2015.)

	oikosulkuvirta I_k (A)	vaadittu oikosulkuvirta 5 s poiskytkentäajalla (A)	vaadittu oikosulkuvirta 0,4 s poiskytkentäajalla (A)	Suojauksen toiminta
PK	980,0			
RK1 (Toimisto)	245,3	110,0	-	OK
RK2 (Kahvio)	315,3	110,0	-	OK
Valaisin	104,3	-	80,0	OK

6 ALUEEN KEHITTÄMISSUUNNITELMAT

6.1 Laajennukset

Alueen laajennus tulee sisältämään uuden, karting-autojen korjaukseen ja huoltoon tarkoitetun hallin rakentamisen, alueelle lisättävien sähkönsyöttöpisteiden asentamisen, rata-alueelle rakennettavan tuomaritornin sekä motocross-radan pistorasiatolppien asennuksen. Tavoitteena oli, että laajennusten sähköistys suunnitellaan alustavasti näiden lisättävien kuormituspisteiden tehontarpeen mukaan.

6.1.1 Uuden hallin rakentaminen

Suonenjoen Moottoriurheilukeskuksen rata-alueelle tehdään samanaikaisesti toinenkin opinnäytetyö, jonka aiheena on uuden hallin sähkösuunnittelu. Varikkoalueelle rakennettavasta autojen korjaus- ja huoltohallista saatiin opinnäytetyön tekijältä lähtötietoina hallin tulevan kuormitusvirran sekä hänen alustavan suunnitelmansa hallin syöttökaapelista.

Alustavien suunnitelmien mukaan hallin mitoitusteho P on $17,1 \text{ kW}$ tehokertoimella $\cos \varphi = 0,8$. Opinnäytetyön tekijän suunnitelmien mukaan hallin syöttökaapelina käytettäisiin kaapelia MCMK $3 \times 10 + 10$.

6.1.2 Varikkoalueen sähkönsyöttöpisteet

Asiakkaan toiveena oli, että rata-alueella sijaitsevalle varikolle saataisiin sähkönsyöttöpisteitä kattamaan kisojen aikana tarvittavaa sähkölaitteiden käyttöä. Toiveena oli, että pisteitä tulisi karting-radalle viisi kappaletta ja motocross-radalle kolme. Karting-radan sähkönsyöttöpisteille lisätään mahdollisuus liittää ne varavoima-aggregaattiin. Motocross-varikolle sijoitettavien pisteiden syöttö tapahtuu ainoastaan julkisen sähköverkon kautta.

Toteutettavaksi menetelmäksi valikoitui käyttää 16 A kolmivaihepistorasioita, jotka asennetaan niitä varten pystytettäviin tolppiin.

6.1.3 Tuomaritorni

Karting-radan varrelle ollaan suunnittelemassa tuomaritornin rakentamista. Torni toimisi ajanottotarkoituksessa kilpailujen aikana. Rata-alueelle rakennettavan tuomaritornin varustelutasoksi tulee asiakkaan tietojen mukaan pistorasioita sekä pienimuotoinen lämmitys. Näiden sähköasennusten yhteisteho P_{max} tulee olemaan noin 5 kW.

6.1.4 Motocross-radan pistorasiatolpat

Kolmivaihepistorasioiden asentamisen lisäksi toiveena oli saada pistorasiatolppia motocross-radan lähtöalueelle. Sähköntarve tällä alueella on vähäistä, joten päädyttiin ratkaisuun, jossa alueelle asennetaan kaksi tällaista tolppaa.

6.2 Varavoimajärjestelmä ja UPS

Asiakkaan toiveena oli tutkia mahdollisuuksia liittää karting-radan varikkoalueelle tulevat sähkönsyöttöpisteet varavoima-aggregaattiin. Tällä tavoin tilanteissa, joissa kuormitus lisääntyy näissä pisteissä äkillisesti ja huomattavasti normaaliin tilanteeseen verrattuna, voitaisiin tätä osaa verkosta syöttää varavoimajärjestelmän kautta. Näin saadaan jaettua kisojen aikana mahdollisesti esiintyvää suurta tehontarvetta sähköverkon ja varavoimajärjestelmän välille. Tällaisia tilaisuuksia, joissa kyseisenlaista kuormituksen huomattavaa kasvua esiintyy, ei ole kovinkaan usein. Tämän takia aggregaatin käyttö tehontarpeen takaamiseen on vartenotettava vaihtoehto, jonka mahdollisuuksia on syytä tutkia tarkemmin.

6.2.1 Aggregaatti

Aggregaatin alustavaa valintaa ohjeisti asiakkaan toive, että sen tulisi olla nimellisteholtaan noin 10 kW. Tämänkokoinen aggregaatti riittänee turvaamaan kyseisen alueen tehontarpeen. Aggregaatti tulee syöttämään kolmivaihepistorasioita, joten laitteeksi on valittava kolmivaiheaggregaatti.

Kyseisen teholuokan diesel-käyttöisiä kolmivaihegeneraattoreita on useilta eri valmistajilta. Valintaan vaikuttaa myös generaattorin sijoitus. Monet suuritehoiset generaattorit ovat kiinteästi asennettavia, mutta myös liikuteltavia malleja on saatavilla. Eri valmistajien tuotteita vertailtiin ja lähempään tarkasteluun päätyivät Kipor ja Hyundai. Tarkastelun kohteena olleiden laitteiden teknisiä tietoja on listattu taulukossa 9. Kaikki taulukon generaattorit ovat kolmivaiheisia.

TAULUKKO 9. Varavoima-aggregaattien vertailu (Saaranen 2015.)

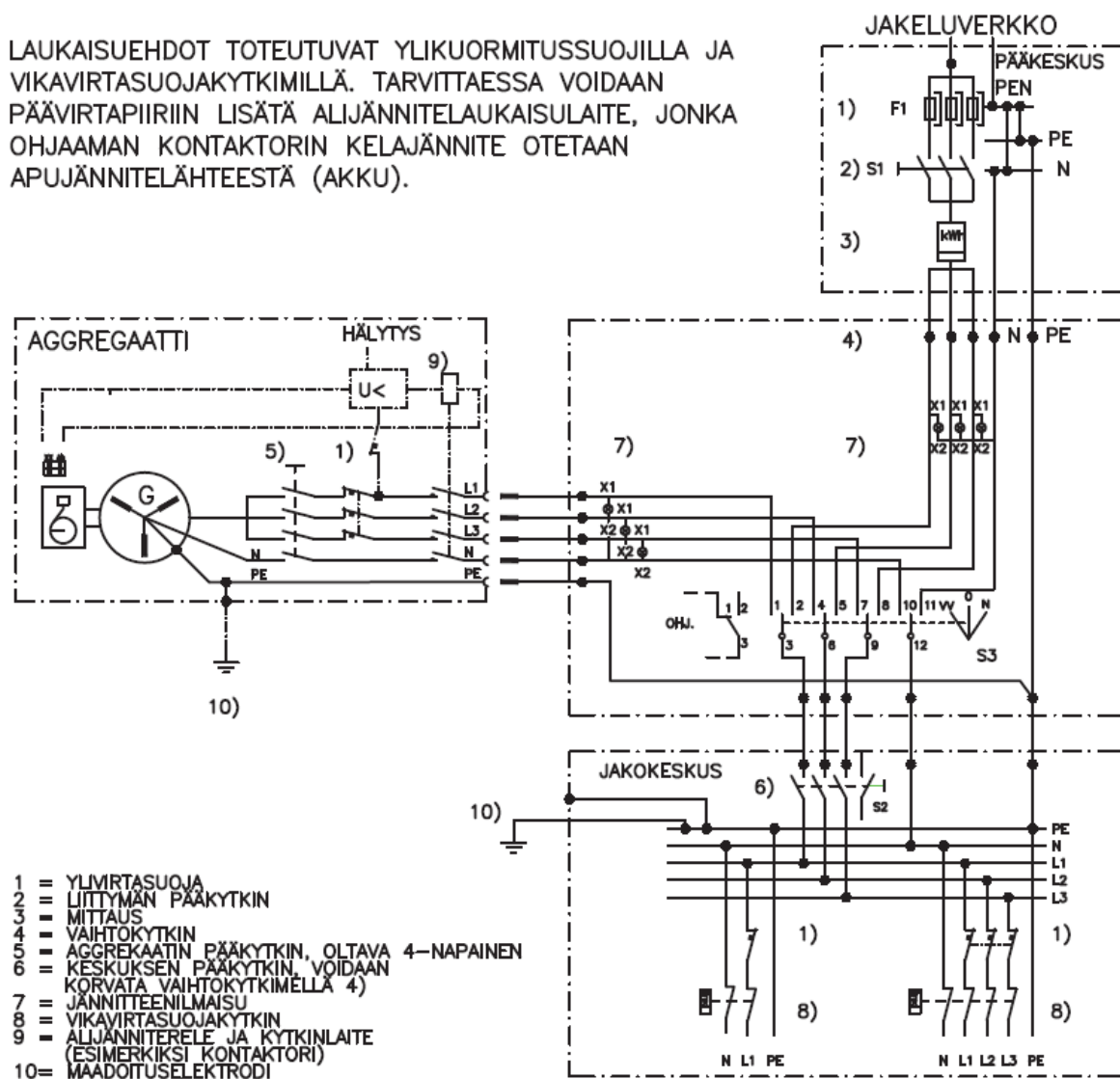
KIPOR		P_n (kW)	P_{max} (kW)	$\cos\phi$	I_n (A)	rpm	rpm max	tankki (l)	paino (kg)	hinta (€)
	KDE12000TA3	8	9,2	0,8	14,5	3000	3600	25	265	3 000
	KDE13SS3	8,5	10,5	0,8	15,3	1500	1800	65	685	3 300
	KDE16STA3	10,8	12	0,8	19,5	3000	3600	38	420	5 400
	KDE16EA3	10,8	12	0,8	19,5	3000	3600	38	300	
	KDE20SS3	13,6	16	0,8	24,5	1500	1800	65	720	13 300
HYUNDAI										
	DHY14KSE	10	11	0,8		1500		77,5	640	6 000

Taulukon tekniset tiedot ja hinnat ovat peräisin laitevalmistajien internet-sivuilta sekä jälleenmyyjien verkkokaupoista.

Kiporin kolmivaihegeneraattoreista mallin KDE13SS3 nimellistehoksi on annettu arvo 8,5 kW ja maksimitehoksi 10,5 kW (Kipor 2008, 48). Generaattoria ei voi kuitenkaan käyttää maksimiteholla kuin hetkellisesti, joten jotta saavutetaan halutun 10 kW tehon, täytyy valita suurempitehoinen generaattori. KDE16STA3-mallin nimellistehoksi on ilmoitettu 10,3 kW ja KDE20SS3 mallin nimellisteho olisi 13,6 kW (KIPOR 2008, 31). Hyundai vastaavan teholuokan generaattorim DHY14KSE nimellistehoksi ilmoitetaan 10 kW ja maksimitehoksi 11 kW (Hyundai).

KDE16STA3-mallin teho on asiakkaan toiveiden mukainen ja laitteen hinta on noin 5 400 €. Kyseinen malli on tarkoitettu kiinteästi asennettavaksi, mutta mikäli generaattorin paikkaa vaihdetaan tulevaisuudessa, on vastaavan teholuokan malli KDE16EA3 liikuteltava. Laitevertailujen jälkeen nämä varavaimageneraattorit päätyivät alustavaksi laitevalinnaksi. Lopullinen valinta tehdään sen perusteella, päätetäänkö generaattori asentaa kiinteästi vai päädytäänkö liikuteltavaan malliin. Tarkemmat tekniset tiedot ovat liitteissä 5 ja 6.

Kuvassa 11 on esitetty aggregaatin liittäminen osaksi kiinteätä sähköasennusta, jonka syöttö voi tapahtua myös yleisen jakeluverkon kautta.



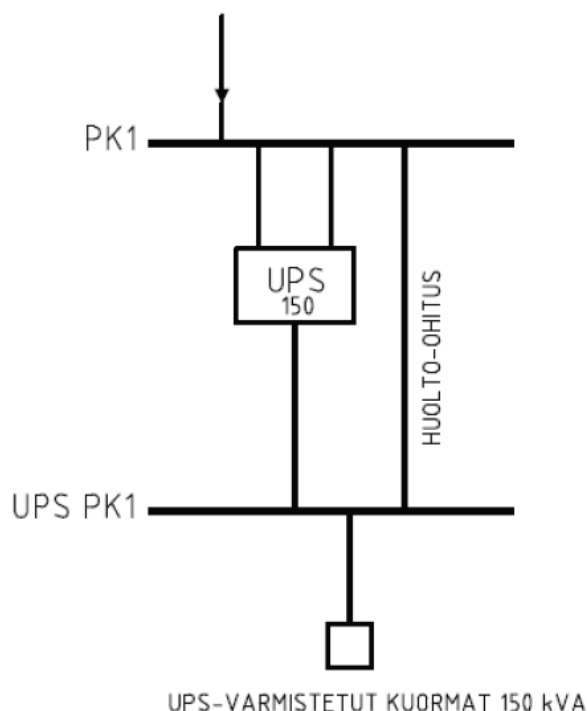
KUVA 11. Aggregaatti syöttää kiinteätä asennusta (ST 52.40 2012.)

6.2.2 UPS-laite

Varavoimajärjestelmällä syötettävään kuormaan sisältyy myös kannettavia tietokoneita, jotka ovat herkkiä taajuuden vaihteluille. Tämän takia varavoimajärjestelmä tulee suojata UPS-laitteella. Kuten aiemmin kohdassa 3.4.2 UPS-laitteet laitetyyppien tarkastelussa kävi ilmi, on Double conversion (on-line) UPS-laite tähän käyttötarkoitukseen sopiva.

UPS-laitteen valinnassa tulee ottaa huomioon se, että ei päädytä tilanteeseen, jossa laitetta joudutaan kuormittamaan täydellä teholla. Karkea mitoitusperiaate on, että laite mitoitetaan 80 % tehoarvon mukaan (ST 52.35.02 2010, 4). Mikäli syöttölaitteeksi valitaan edellisen osion alustavien arvioiden mukainen generaattori, jonka teho S_n on 16 kVA, on UPS-laite valittava siten, että sen näennäisteho on korkeintaan 12 kVA.

Masterys BC:ltä löytyy kyseisen kokoinen UPS-laite, joka on tulo- ja lähtövaiheiltaan kolmivaiheinen (SOCOMEK 2013, 3). Kyseinen laite täyttäisi teknisiltä ominaisuuksiltaan vaaditut arvot. Mallin tekniset tiedot ovat liitteessä 7.



KUVA 12. Yksittäisen UPS-laitteen esimerkkikaavio (ST 52.35.02 2010.)

Esimerkkikaavio yhden UPS-laitteen kytkennästä kuvassa 12 havainnollistaa järjestelmän periaatetta. Esimerkkikaavio on yksinkertaistettu siten, ettei siinä ole esitetty kytkinlaitteita. (ST 52.35.02, 5.)

Varavoimageneraattorin ja UPS-laitteen tulevaisuuden hankintaa suunniteltaessa on kuitenkin lopulta tarkasteltava, voitaisiinko verkon kuormitus hoitaa vuorottelulla siten, ettei varavoimajärjestelmän hankintaa tarvittaisi lainkaan.

6.3 Kuormituslisäykset ja laajennusten mitoitus

Alueelle tehtäville laajennuksille täytyi muodostaa arviot niiden tehontarpeesta. Näiden arvioiden perusteella voidaan tehdä tarvittava mitoitus tulevien laajennusten suojalaitteita ja käytettäviä johtoja varten.

Uuden rakennettavan hallin tehon arvioitiin olevan 17,1 kW tehokertoimella $\cos \varphi = 0,8$. Hallia suojaavat sulakkeet tullaan asentamaan toimistorakennuksen keskukseen RK1. Ottamalla huomioon rakennuksen muun kulutuksen, jonka aikaisemmin arvioitiin olevan noin 5 kW luokkaa, saadaan toimiston keskuksen kokonaistehon arvioksi 22,1 kW.

Kahviorakennuksen huipputehon arvioinnissa täytyy ottaa huomioon, että rakennuksen keskuksen syöttämät alueet eivät ole yhtäaikaisessa käytössä. Alueella ei esimerkiksi järjestetä samanaikaisesti karting- ja motocross-kisoja. Tämän takia motocross-alueen varikon ja lähtöalueen sähköpisteitä ei käytetä samaan aikaan kuin karting-radan tuomaritornia. Rakennukseen ollaan suunnittelemassa saunaa, johon asennetaan alustavien arvioiden mukaan teholtaan 9 kW sähkökiuas. Saunaa tullaan käyttämään ainoastaan iltaisin, ajankohtana jolloin alueella ei ole kisatoimintaa. Kahvion tehon arvioinnissa huomioitavaa on myös se, että kartingvarikon sähköpisteiden syöttö tulee kisojen aikana tapahtumaan aggregaatilla. Kahviorakennuksen huipputehon arvio on näiden seikkojen perusteella noin 15 kW. Tehonkulutuksesta on koottu taulukko 10.

TAULUKKO 10. Laajennuksen tehonjako (Saaranen 2015.)

PISTE		P (kW)
TOIMISTO		22,1
	UUSI HALLI	17,1
	MUU	5,0
KAHVIO		15,0
	SAUNA	9,0
	TUOMARITORNI	5,0
	MOTOCROSS-LÄHTÖALUEEN PISTORASIATOLPAT	4,0
	MOTOCROSSVARIKKO	6,0
	KARTINGVARIKKO	10,0
	MUU	4,0

Käyttämällä kaavaa 1 saadaan laskettua tehon P määräämä virta I . Esimerkkinä uuden hallin tehon ollessa 17,1 kW tehokertoimen $\cos \varphi$ arvolla 0,8 virraksi saadaan:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{17\,100\,W}{\sqrt{3} * 400\,V * 0,8} = 30,85\,A$$

Suojalaitteen nimellisvirran tulee olla suurempi kuin pisteen mitoitusvirran, joten hallin suojaksi valitaan nimellisvirraltaan 35 A sulake. D1-2012 Käsikirjassa taulukossa 43.1 ilmoitetaan sulakkeiden

vaatimat johtojen pienimmät kuormitettavuudet. Käytettäessä 35 A sulaketta, kaapelin kuormitettavuus täytyy olla vähintään 39 A. Kaapeli tulee kulkemaan rakennuksen seinää pitkin pinta-asennettuna sekä maahan kaivettuna. Käytettäväksi kaapeliksi voidaan valita MCMK 3x10+10, jonka kuormitettavuus Energiaviraston mitoitusohjeen SA2:08 mukaan pinta-asennettuna on 49 A ja maa-asennettuna 77 A. MCMK 3x6+6 kaapelin kuormitettavuudet samoilla asennustavoilla ovat 36 A ja 57 A. Kaapelin kuormitettavuus katsotaan aina heikoimman kuormitettavuuden mukaan, joten poikkipinnaltaan 6 mm² kaapeli ei täyttäisi vaatimusta. Kaapeliksi voidaan siis alustavasti valita MCMK 3x10+10. Kaapelilla täytyy kuitenkin tarkistaa siinä tapahtuvan jännitteenaleneman suuruus. Tämä käydään läpi kohdassa 6.3.1 Jännitteenalenema.

Kiinteistön pääsulakkeiden koko määräytyy koko muun kiinteistön tehontarpeen mukaan. Kun lasketaan kahviorakennuksen huipputehon P_{max} mukainen virta I_{max} käyttämällä kaavaa 1:

$$I_{max,kahvio} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{15\,000\,W}{\sqrt{3} * 400\,V * 0,96} = 22,55\,A$$

Toimistorakennuksen virta saadaan, kun lisätään uuden hallin mitoitusvirtaan rakennuksen muun kuormituksen käyttämä virta.

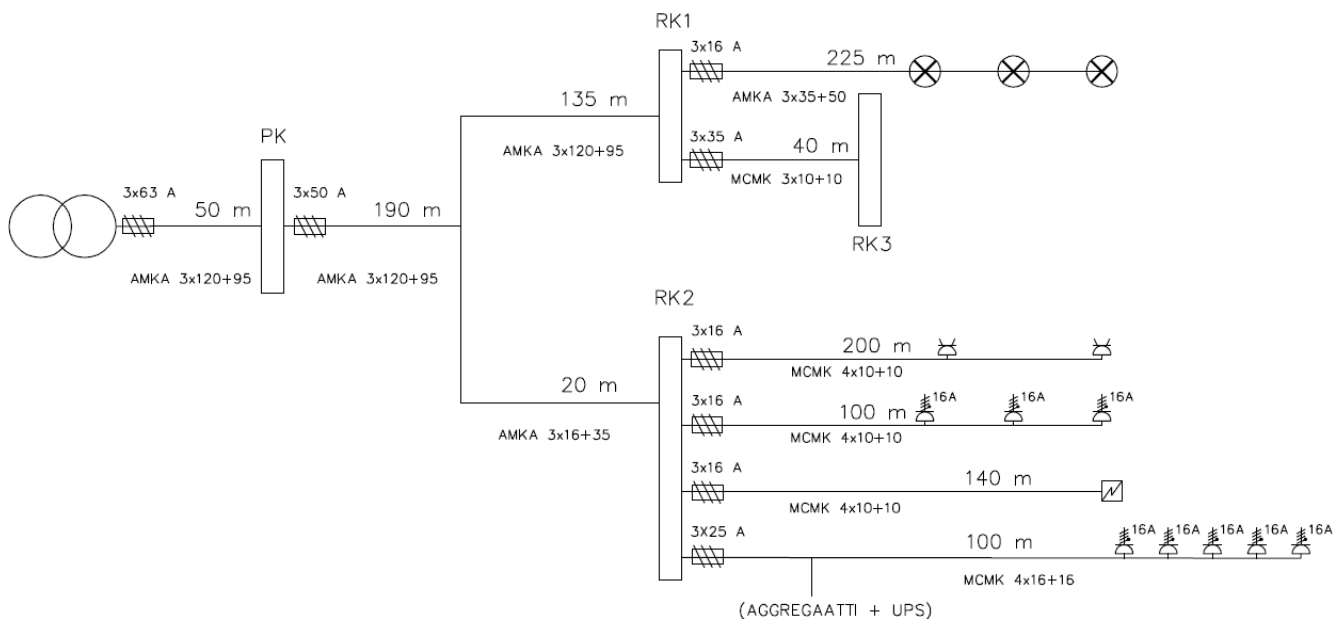
$$I_{max,toimisto} = I_{halli} + I_{toimisto} = I_{halli} + \frac{P_{toimisto}}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = 30,85\,A + \frac{5\,000\,W}{\sqrt{3} * 400\,V * 0,96} = 38,37\,A$$

Kirchhoffin virtalain mukaan solmupisteeseen tulevien virtojen summa on yhtä suuri, kuin solmupisteestä lähtevien virtojen summa (AMK-KUSTANNUSTEKNIikka OY TAMMERTEKNIikka 2010, 120). Täten ilmajohdon haarapisteessä kulkee virta I_{max} , jonka suuruus on laskettu kaavalla 1.

$$I_{max} = I_{max,kahvio} + I_{max,toimisto} = 22,55\,A + 38,37\,A = 60,92\,A$$

Koska sama virta kulkee myös pääkeskuksen kautta, olisi kiinteistön pääsulakkeiksi valittava sulakekoko, jonka nimellisvirta on 63 A. Tämä tarkoittaisi myös sitä, että kiinteistöä syöttävällä pylväsmuuntamolla sijaitsevat sulakkeet täytyisi vaihtaa suuremmiksi. Seuraava sulakekoko niille on 80 A. Tämä virran arvo on kuitenkin teoreettinen maksimi-arvo, johon kiinteistön todellisella käytöllä ei luultavasti päästä. Tämän takia kiinteistön pääsulakkeiksi riittänee nimellisvirraltaan 50 A sulakkeet.

Aluesähköistystä havainnollistava kuva johon tulevat laajennukset on lisätty on esitetty kuvassa 13. Kuvaan on merkitty ryhmäjohtojen pituudet ja alustavan arvion mukaiset kaapelit.



KUVA 13. Verkko laajennusten jälkeen (Saaranen 2015.)

6.3.1 Jännitteenalenema

Verkon mitoituksessa seuraava vaihe on tarkastaa kaapeleilla tapahtuva jännitteenalenema tilanteessa, jossa kuormitus on suurimmillaan. Edellisessä kohdassa käytiin läpi kulutuspuisteiden arvioidut huipputehot, joiden mukaan jännitteenalenemat on laskettu. Laskennassa käytettyjen kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit on koottu taulukkoon 11. Jännitteenaleneman laskennassa on käytetty kaavaa 3 ja suhteellisen jännitteenaleneman kaavaa 4.

TAULUKKO 11. Resistanssit ja reaktanssit (Energiäteollisuus 2008, 38, 39.)

	R_v	R_0	X_v	X_{v0}	X_0
AMKA 3x16+25	2,064	1,491	0,108	0,055	0,074
AMKA 3x35+50	0,938	0,778	0,104	0,045	0,073
AMKA 3x50+70	0,693	0,533	0,101	0,045	0,071
AMKA 3x70+95	0,479	0,392	0,097	0,045	0,070
AMKA 3x120+95	0,273	0,392	0,092	0,030	0,078
MCMK 4x2,5+2,5	7,992	7,992	0,115	0,115	
MCMK 4x6+6	3,322	3,322	0,115	0,115	
MCMK 4x10+10	1,974	1,974	0,110	0,110	
MCMK 4x16+16	1,240	1,240	0,088	0,088	
MMJ 4x6	3,332	3,332	0,115	0,115	
MMJ 4x10	1,974	1,974	0,110	0,110	

Ensiksi tarkistettiin millainen verkon tilanne on, mikäli ei tehdä muutoksia alueella käytettyihin kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Tulokset on koottu taulukkoon 12.

TAULUKKO 12. Jännitteenalenemat ilman muutoksia johdoissa (Saaranen 2015.)

VÄLI	l (km)	I (A)	ΔU (V)	Δu (%)
MUUNTAJA - PK AMKA 35	0,050	60,922	4,905	1,226
PK - HAARAPISTE AMKA 35	0,190	60,922	18,638	4,659
HAARAPISTE - TOIMISTO AMKA 35	0,135	38,370	8,340	2,085
HAARAPISTE - TOIMISTO MCMK 16	0,010	38,370	0,807	0,202
HAARAPISTE - KAHVIO AMKA 16	0,020	22,553	1,572	0,393
HAARAPISTE - KAHVIO MMJ 6	0,005	22,553	0,631	0,158
TOIMISTO - VALAISIN (MCMK)	0,010	3,450	0,433	0,188
TOIMISTO - VALAISIN AMKA 16	0,225	3,450	2,561	1,113
TOIMISTO - UUSI HALLI MCMK 10	0,040	30,852	3,517	0,879
KAHVIO - TUOMARITORNI	0,140	7,518	3,511	0,878
KAHVIO - AUTOTOLPAT	0,200	6,014	4,012	1,003
KAHVIO - MOTOVARIKKO	0,100	9,021	3,009	0,752
KAHVIO - VARIKKO	0,100	15,035	2,721	0,680
MUUNTAJA - VALAISIN			35,684	9,47

Kuten taulukosta 12 huomataan, on pääjännitteen alenema kiinteistön verkossa liian suuri. Muuntajalta toimistorakennuksen keskukselle jännite alenee 32,7 V, joka on suhteellisen arvona 8,17 %. Muuntajalta kauimmaiselle ulkovalaisimelle jännite alenee 9,47 %, vaikka tämä valaistusryhmän suhteellisen jännitteenaleneman arvo saisi SFS-600-1 standardin mukaan olla 3 %. Verkossa on siis tehtävä muutoksia käytettyjen johtojen suhteen.

Suurin osa jännitteenalenemasta tapahtuu kiinteistön runkojohdossa AMKA 3x35+50, joten sen poikkipintaa täytyy kasvattaa. Mikäli tämän johdon tilalle asennetaan AMKA 3x120+95 ilmajohto, saadaan liiallinen jännitteenalenema pienemmäksi. Ulkovalaisimien syöttöjohto ja entinen runkojohto kulkevat samoissa pylväissä, joten myöskin ulkovalaisimien jännitteenalenemaa saadaan pienennettyä vaihtamalla käytössä ollut AMKA 3x16+25 ilmajohto jo valmiina pylväissä kulkevaan AMKA 3x35+50 ilmajohtoon. Näiden muutosten jälkeen verkon jännitteenalenemat näytävät taulukon 13 mukaisilta.

Kahvion keskukselta RK2 lähtevien uusien lähtöjen johdotus tulee toteuttaa kartingradan varikkoa lukuunottamatta MCMK 4x10+10 poikkipintaaisella kaapelilla, jotta johdoissa syntyvä jännitteenalenema pysyy tarpeeksi alhaisena. Kartingradan varikkoalueen sähkönsyöttöpisteiden johdotus tulee toteuttaa MCMK 4x16+16 kaapelilla.

TAULUKKO 13. Jännitteenalenemat johtomuutosten jälkeen (Saaranen 2015.)

VÄLI	l (km)	I (A)	ΔU (V)	Δu (%)
MUUNTAJA - PK AMKA 120	0,050	60,922	1,519	0,380
PK - HAARAPISTE AMKA 120	0,190	60,922	5,771	1,443
HAARAPISTE - TOIMISTO AMKA 120	0,135	38,370	2,582	0,646
HAARAPISTE - TOIMISTO (MCMK 16)	0,010	38,370	0,807	0,202
HAARAPISTE - KAHVIO (AMKA)	0,020	22,553	1,572	0,393
HAARAPISTE - KAHVIO (MMJ)	0,005	22,553	0,631	0,158
TOIMISTO - VALAISIN (MCMK)	0,01	3,450	0,433	0,188
TOIMISTO - VALAISIN (AMKA 35)	0,225	3,450	1,196	0,520
TOIMISTO - UUSI HALLI MCMK 10	0,040	30,852	3,517	0,879
KAHVIO - TUOMARITORNI (MCMK 10)	0,140	7,518	3,511	0,878
KAHVIO - AUTOTOLPAT (MCMK 10)	0,200	6,014	4,012	1,003
KAHVIO - MOTOVARIKKO (MCMK 10)	0,100	9,021	3,009	0,752
KAHVIO - VARIKKO (MCMK 16)	0,100	15,035	2,721	0,680
MUUNTAJA - VALAISIN			12,308	3,38

6.3.2 Oikosulkusuojaus

Valittujen kaapeleiden ja suojalaitteiden oikosulkusuojaus tarkistettiin laskemalla uusien kulutuspisteiden oikosulkuvirrat. Laskennassa käytettiin taulukon 14 mukaisia johtojen impedanssiarvoja laskemalla pääkeskuksen oikosulkuvirta muuntajan sähkötekniisten arvojen perusteella sivun 23 kaavaa 6 käyttäen. Muiden pisteiden oikosulkuvirrat laskettiin Theveninin menetelmää käyttäen kaavalla 5.

TAULUKKO 14. Johtojen impedanssit (D1-2012 2012, 96.)

johdinmateriaali	mm ²	Z (Ω/km)
alumiini	16	2,326
alumiini	25	1,492
alumiini	35	1,089
alumiini	50	0,800
alumiini	70	0,557
alumiini	95	0,406
alumiini	120	0,326
kupari	2,5	8,770
kupari	6	3,660
kupari	10	2,246
kupari	16	1,418

Oikosulkulaskennan tulokset on koottu taulukkoon 15. Taulukosta nähdään kyseisten pisteiden lasketut oikosulkuvirrat sekä pisteiden gG-sulakkeiden ja B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoiden vaatimat arvot. Sulakkeiden vaaditut oikosulkuvirran arvot on saatu D1-2012 Käsikirjasta taulukosta 41.5. Taulukossa on vaadittujen oikosulkuvirtojen arvojen lisäksi ilmoitettu suluissa kyseisen suojalaitteen nimellisvirta.

TAULUKKO 15. Oikosulkuvirrat (Saaranen 2015.)

	$Z_v (\Omega)$	$I_k (A)$ laskettu	$I_k (A)$ vaadittu		
			gG	B	C
PK	0,196	1117,8	320 (63)		
TOIMISTO	0,491	446,9	250 (50)		
VALAISIN	1,422	154,2		80 (16)	160 (16)
UUSI HALLI	1,602	136,9	165 (35)		
KAHVIO	0,448	489,4	320 (63)		
TUOMARITORNI	1,077	203,7		80 (16)	160 (16)
AUTOTOLPAT	1,976	111,1		80 (16)	160 (16)
MOTOVARIKKO	2,425	90,5		80 (16)	160 (16)
VARIKKO	2,708	81,0		125 (25)	250 (25)

Laskettu oikosulkuvirta pääkeskuksella on 1117,8 A. Muuntajalla olevien sulakkeiden vaatima oikosulkuvirta on 320 A, joten tältä osin verkon oikosulkusuojaus on kunnossa. Toimistorakennuksen keskuksella oikosulkuvirta on 446,9 A ja kahviorakennuksella 489,4 A. Molemmat arvot ovat kunnossa 5 s:n poiskytkentäajalla, sillä pääkeskuksen nimellisvirraltaan 50 A:n sulakkeiden vaadittu oikosulkuvirta on 250 A.

Toimiston keskuksen syöttämän ulkovalaistusryhmän kauimman valaisimen oikosulkuvirta on laskennan perusteella 154,2 A. Tämä arvo riittää B-tyyppin johdonsuojakatkaisijalle 0,4 s poiskytkentään. Oikosulkuvirta uuden hallin liityntäpisteessä on 136,9 A ja toteutettaessa hallin syötön suojaus gG-sulakkeilla on näiden sulakkeiden vaadittu oikosulkuvirran arvo 5 s:n poiskytkennällä 165 A.

Kahvion syöttämien kulutuspisteiden laskettuja oikosulkuvirtoja on verrattu tuomaritornin, pistorasiatolppien ja motocross-varikon osalta nimellisvirraltaan 16 A johdonsuojakatkaisijan vaadittuihin arvoihin. Karting-radan varikon tapauksessa sulakkeen nimellisvirta on 25 A. Tuomaritornilla voidaan käyttää C-tyyppin johdonsuojakatkaisijaa, mutta pistorasiatolpilla ja motocross-varikolla on valittava B-tyyppin suojalaite. Karting-radan varikolla oikosulkuvirta ei riitä kumpaankaan johdonsuojakatkaisijatyyppiin. Kaapelin poikkipinta-alaa voitaisiin suurentaa, mutta varustamalla lähtö vikavirtasuojalla saadaan automaattinen poiskytkentä toteutumaan vikatilanteessa 0,3 s:ssa.

Vikavirtasuojakytkimen käyttö edellyttää, että laitteella suojattava verkon osa on toteutettu TN-S-järjestelmän mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että verkon osassa on käytössä erilliset N- ja PE-johtimet.

6.3.3 Vaihtoehtoinen toteutustapa

Yksi mahdollinen toteutustapa olisi vaihtaa verkon alkupäässä pääkeskuksen ja ilmajohdon haarapisteen välinen osuus maakaapeliksi. Maakaapelin käyttö mahdollistaisi johdon kuljettamisen lyhyempää reittiä pitkin ja näin ei välttämättä tarvittaisi käyttää suuripoikkipintaista AMKA-ilmajohtoa kyseisellä osuudella. Ilmajohdo joutuu kulkemaan matkan, jonka pituus on noin 190 m, mutta maakaapelia käytettäessä matka lyhenisi 120 m:iin. Käytettäessä MCMK 3x95+50 maakaapelia verkon jännitteenalenemat saataisiin taulukon 16 mukaisiksi. AMKA 3x120+95 on vaihdettu laskuissa AMKA 3x70+95:ksi.

TAULUKKO 16. Jännitteenalenemat maakaapelia käytettäessä (Saaranen 2015.)

VÄLI	l (km)	I (A)	ΔU (V)	Δu (%)
MUUNTAJA - PK AMKA 70	0,050	60,922	2,569	0,642
PK - HAARAPISTE MCMK 95	0,120	60,922	2,827	0,707
HAARAPISTE - TOIMISTO AMKA 70	0,135	38,370	4,369	1,092
HAARAPISTE - TOIMISTO (MCMK 16)	0,010	38,370	0,807	0,202
HAARAPISTE - KAHVIO (AMKA)	0,020	22,553	1,572	0,393
HAARAPISTE - KAHVIO (MMJ)	0,005	22,553	0,631	0,158
TOIMISTO - VALAISIN (MCMK)	0,01	3,450	0,433	0,188
TOIMISTO - VALAISIN (AMKA 35)	0,225	3,450	1,196	0,520
TOIMISTO - UUSI HALLI MCMK 10	0,040	30,852	3,517	0,879
KAHVIO - TUOMARITorni (MCMK 10)	0,140	7,518	3,511	0,878
KAHVIO - AUTOTOLPAT (MCMK 10)	0,200	6,014	4,012	1,003
KAHVIO - MOTOVARIKKO (MCMK 10)	0,100	9,021	3,009	0,752
KAHVIO - VARIKKO (MCMK 16)	0,100	15,035	2,721	0,680
MUUNTAJA - VALAISIN			12,202	3,35

Kuten taulukosta nähdään, jännitteenalenemat ovat näillä johdinvalinnoilla hieman pienemmät verrattaessa aiempiin taulukoihin. Myös oikosulkusuojauksen tila on laskettu taulukkoon 17.

TAULUKKO 17. Oikosulkusuojaus maakaapelia käytettäessä (Saaranen 2015.)

	$Z_v (\Omega)$	$I_k (A)$ laskettu	$I_k (A)$ vaadittu		
			gG	B	C
PK	0,196	1117,8	425 (80)		
TOIMISTO	0,473	464,3	320 (63)		
VALAISIN	1,404	156,3		80 (16)	160 (16)
UUSI HALLI	1,584	138,5	165 (35)		
KAHVIO	0,399	550,2	320 (63)		
TUOMARITORNI	1,028	213,5		80 (16)	160 (16)
AUTOTOLPAT	1,926	113,9		80 (16)	160 (16)
MOTOVARIKKO	2,375	92,4		80 (16)	160 (16)
VARIKKO	2,659	82,5		125 (25)	250 (25)

Tällä vaihtoehtoisella tavalla toteutetun verkon asemapiirros on liitteessä 4.

6.3.4 Selektiivisyys

Suunniteltavan verkon selektiivisyys voidaan todeta valmistajien tarjoamista suojalaitteiden selektiivisyystaulukoista.

Mikäli muuntamon ja pääkeskuksen sulakesuojauksessa käytetään OFAA-gG-sulakkeita, ovat näiden toiminta-ajat taulukon 4 (sivu 25) mukaisesti oikosulun tapahtuessa ryhmäkeskuksella seuraavan taulukon mukaisia. Oikosulkuvirtojen arvot saatiin osiosta 6.3.2 oikosulkusuojaus.

TAULUKKO 18. Selektiivisyyden tarkastelu (Saaranen 2015.)

nimellisvirta I_n/A	oikosulkuvirta I_k/A	toiminta-aika t_s/s
50	450	0,6
63	450	1,1
50	500	0,15
63	500	0,4

Kuten taulukosta 18 nähdään, oikosulkutilanteessa toimiston ryhmäkeskuksella verkossa ilmenee 450 A:n suuruinen oikosulkuvirta. Kyseisessä vikatilanteessa pääkeskuksella sijaitsevan suojalaitteen toiminta-aika on selektiivisyystaulukoiden perusteella 0,6 s, samalla muuntamon sulakkeiden toiminta-aika on 1,1 s. Vastaavasti kahvion ryhmäkeskuksen tilanteessa 500 A oikosulkuvirralla toiminta-ajat ovat 0,15 s ja 0,4 s. Toiminta-ajat eroavat toisistaan ja selektiivisyys toteutuu.

6.4 Muutosehdotukset

Varikkoalueella sijaitsee ilmajohtopylväässä öljynerotuskaivon sähköasennusten osana ollut kotelo. Sähköasennus on kiinteistön entisen omistajan toiminnan aikainen, eikä se ole enää käytössä asiakkaan sähköverkon osana. Sille ei löytynyt käyttötarkoitusta myöskään tulevilla laajennuksissa. Tämän takia asiakkaalle ehdotetaan, että kyseinen asennus poistetaan. Vaikka käytöstä poistetuista asennuksista ei sinänsä olekaan haittaa, on huolehdittava, etteivät tällaiset sähköasennukset ole jännitteisiä ja siten aiheuta mahdollisia vaaratilanteita.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli dokumentoida kiinteistön aluesähköistyksen nykytilanne ja toteuttaa verkon sähköisen mitoituksen tarkistus. Työhön kuului myös tulevien laajennusten sähköinen suunnittelu.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin laskelmat alueen sähköistyksen nykytilanteesta. Sähköistys oli toteutettu pääosin ilmajohtoverkkona, josta rakennusten sähkökeskuksia syötettiin. Laskennan perusteella nykytilanteessaan verkko on standardien mukainen jännitteenalenemien ja oikosulkusuojauksen kannalta.

Osana työtä suunniteltiin alueelle lisättävien kuormituspisteiden sähköistä toteutusta. Asiakkaan lähtötietojen perusteella suunniteltiin lisättävien kuormituspisteiden kaapeloinnit sekä niiden suojaus. Näiden tietojen perusteella pystyttiin mitoittamaan kiinteistön sähköverkko vastaamaan lisääntyvää kuormitusta. Työn aikana tarkasteltiin myös vaihtoehtoista tapaa toteuttaa osa verkosta maakaapelilla ilmajohdon sijaan.

Yksi asiakkaan toive oli tutkia mahdollisuuksia käyttää varavoima-aggregaattia varikkoalueen sähkönsyöttöpisteiden syötössä. Generaattorin hankkiminen mahdollistaisi suuremman kulutuksen tiettyinä ajanhetkinä, jolloin kiinteistöllä on kisatapahtumia. Työtä suoritettaessa päädyttiin kuitenkin ratkaisuun, jossa varavoimajärjestelmän hankintaa ei välttämättä tarvita. Koska kiinteistön pääsulakekokoa joudutaan jo muutenkin kasvattamaan nykyistä suuremmaksi, kuormituksen vuorottelulla päästään tilanteeseen, jossa aggregaatin ja UPS-laitteen hankkimiseen ei ole tarvetta.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ABB 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.

ABB 2009. Pienjännitekojeet, esite OF1FI 11-09. Kahvasulakkeet, 2...1600 A. gG ja aM -tyypit. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-07-01.] Saatavissa: <https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1SCC317002C1801.pdf>

AMK-KUSTANNUS OY TAMMERTEKNIikka 2010. Tekniikan kaavasto. Matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. Tampere: Kariston Kirjapaino Oy.

D1-2012 KÄSIKIRJA RAKENNUSTEN SÄHKÖASENNUKSISTA 2012. Helsinki: Painokurki Oy.

EATON 2012. UPS-käsikirja. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-.] Saatavissa: http://pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=24030

ENERGIATEOLLISUUS 2006. Pylväserotinasemien ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan RJ 19:06. Helsinki: Adato Energia Oy.

ENERGIATEOLLISUUS 2008. Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen SA 2:08. Helsinki: Adato Energia Oy.

HYUNDAI. Diesel Generator. Specifications. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-06-27.] Saatavissa: <http://hyundaipowerequipment.co.uk/hyundai-dhy14kse-1500rpm-14kva-three-phase-diesel-generator/>

KIPOR 2008a. Operation Manual. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-06-14.] Saatavissa: <http://kipor.gotoip4.com/upload/spec2011061109333283.pdf>

KIPOR 2008b. Operation Manual. Diesel generating set. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-06-28.] Saatavissa: <http://kipor.gotoip4.com/upload/spec2011053011590766.pdf>

KUKI, Janne 2011. Sähkösuunnitelmien loppudokumentointi. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-06-28.] Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/29433>

LAININEN, Heikki 2012. Sähköasennukset. Luentomoniste. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

LAKERVI, Heikki ja PARTANEN, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Gaudeamus.

NYKÄNEN, Raimo 2012. Vaalan kunnan katuvalaistuksen kehittäminen. Centria ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-09-14.] Saatavissa:

<https://www.theseus.fi/handle/10024/64626>

ROUVALI, Juhani 2013. Sähköjakelutekniikka (Pienjänniteverkko). Luentomoniste. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: SFS.

SFS-KÄSIKIRJA 600-2 2012. Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. Helsinki: SFS.

SOCOMEc 2013. Masters BC from 8 to 12 kVA for critical IT and light industrial applications. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-08-03.] Saatavissa:

http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/masters_bc_data_8-40kva_id_73223.pdf

SUONENJOEN MOOTTORIURHEILUKESKUS RY. [verkkójulkaisu]. [Viitattu 2015-03-30.] Saatavissa:

<http://www.smuk.fi/>

SÄHKÖINFO SEVERI. ST-kortisto [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-06-15.] Saatavissa:

<http://severi.sahkoinfo.fi/>

SÄHKÖTIETO. ST-julkaisut [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-03-26.] Saatavissa:

<http://www.sahkotieto.fi/index.php?k=14937>

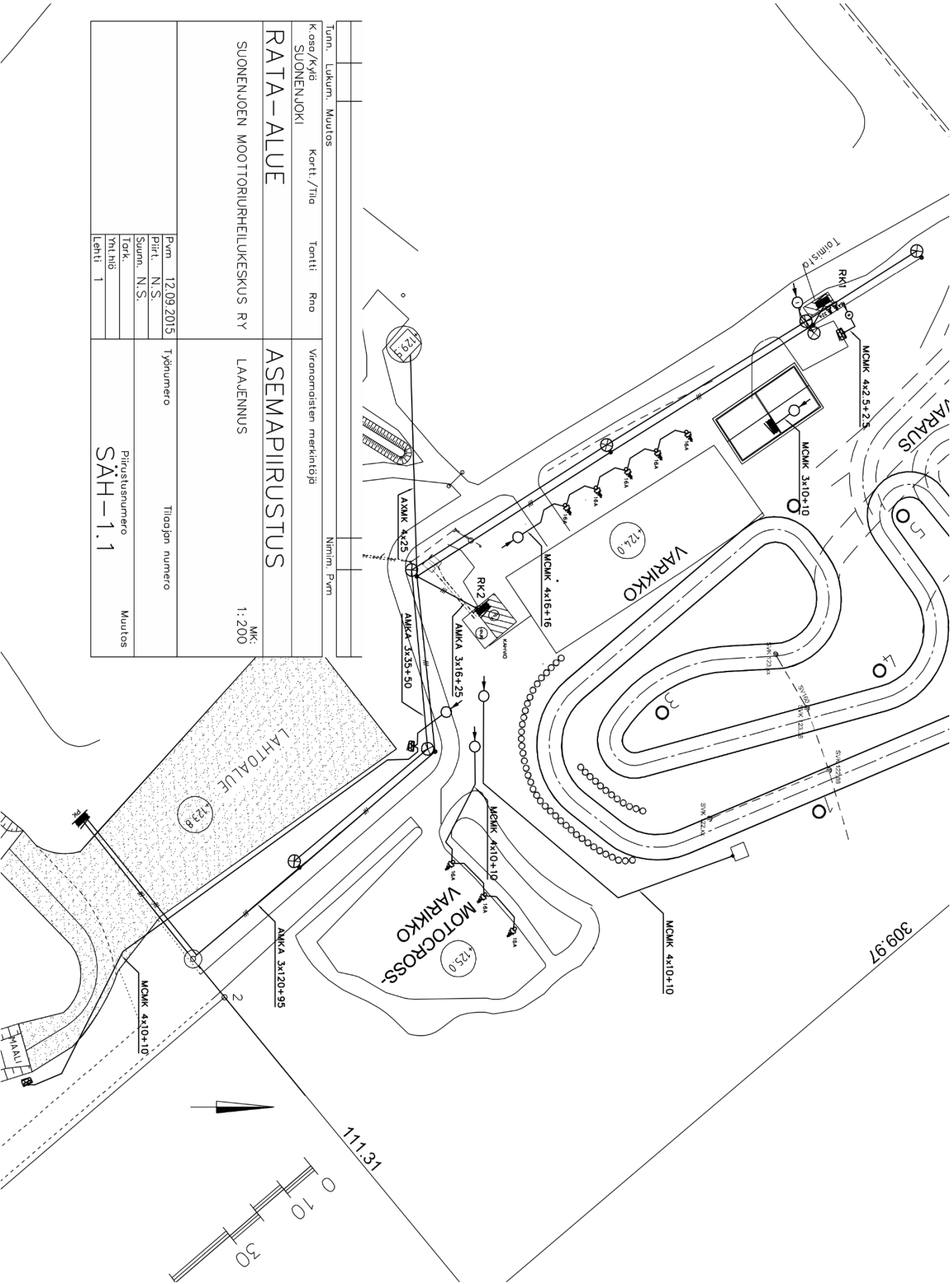
YLINEN, Marko 2010. UPS suunnittelu ja mitoitus, UPS-laskentaohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Tekniikka Pori, sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-06-14.] Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/24770>

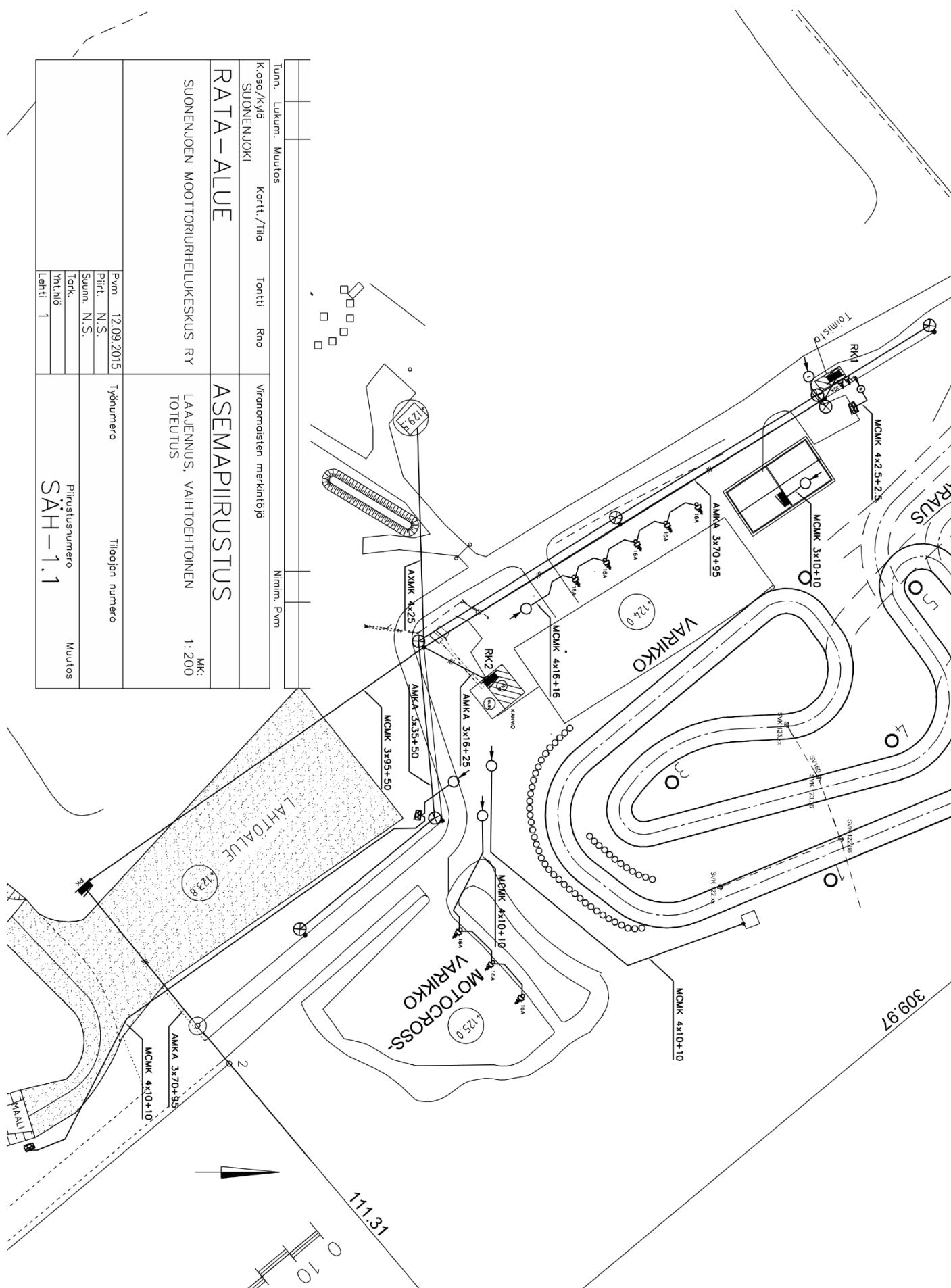
LIITE 1: VERKKO

NYKYTILANNE				
Väli	Johdin	Pituus (m)	Suojalaitteen nimellisvirta (A)	Suojalaitteen tyyppi
MUUNTAJA - PK	AMKA 3x35+50	50	63	gG
PK - ILMAJOHDON HAARA	AMKA 3x35+50	190	25	gG
ILMAJOHDON HAARA - TOIMISTO	AMKA 3x35+50	135		
TOIMISTO - ULKOVALAISTUS	AMKA 3x16+25	225	16	B
ILMAJOHDON HAARA - KAHVIO	AMKA 3x16+25	20		
LAAJENNUKSEN JÄLKEEN				
Väli	Johdin	Pituus (m)	Suojalaitteen nimellisvirta (A)	Suojalaitteen tyyppi
MUUNTAJA - PK	AMKA 3x120+95	50	63	gG
PK - ILMAJOHDON HAARA	AMKA 3x120+95	190	50	gG
ILMAJOHDON HAARA - TOIMISTO	AMKA 3x120+95	135		
TOIMISTO - ULKOVALAISTUS	AMKA 3x35+50	225	16	B
TOIMISTO - UUSI HALLI	MCMK 3x10+10	40	35	gG
ILMAJOHDON HAARA - KAHVIO	AMKA 3x16+25	20		
KAHVIO - TUOMARITORNI	MCMK 4x10+10	140	16	C
KAHVIO - PISTORASIAVOLPAT	MCMK 4x10+10	200	16	B
KAHVIO - MOTOCROSSVARIKKO	MCMK 4x10+10	100	16	B
KAHVIO - KARTINGVARIKKO	MCMK 4x16+16	100	25	C
LAAJENNUSTEN JÄLKEEN (VAIHTOEHTOINEN TOTEUTUS)				
Väli	Johdin	Pituus (m)	Suojalaitteen nimellisvirta (A)	Suojalaitteen tyyppi
MUUNTAJA - PK	AMKA 3x70+95	50	63	gG
PK - ILMAJOHDON HAARA	MCMK 3x95+50	120	50	gG
ILMAJOHDON HAARA - TOIMISTO	AMKA 3x70+95	135		
TOIMISTO - ULKOVALAISTUS	AMKA 3x35+50	225	16	B
TOIMISTO - UUSI HALLI	MCMK 3x10+10	40	35	gG
ILMAJOHDON HAARA - KAHVIO	AMKA 3x16+25	20		
KAHVIO - TUOMARITORNI	MCMK 4x10+10	140	16	C
KAHVIO - PISTORASIAVOLPAT	MCMK 4x10+10	200	16	B
KAHVIO - MOTOCROSSVARIKKO	MCMK 4x10+10	100	16	B
KAHVIO - KARTINGVARIKKO	MCMK 4x16+16	100	25	C

[illegible]

LIITE 3: ASEMAPIIRROS, LAAJENNUS (EI MITTAKAAVASSA)





LIITE 5: TEKNISET TIEDOT: GENERAATTORI KDE16EA3

Technical data

Generating set			KDE16EA3		KDE19EA3	
Rated frequency		Hz	50	60	50	60
Prime power		kVA	13.5	15.5	16.25	19
		KW	10.8	12.4	13	15.2
Standby power		kVA	15	17	18.75	21
		KW	12	13.6	15	16.8
Rated voltage		V	400/230	416/240	400/230	416/240
Rated current		A	19.5	21.5	23.5	26.4
Rated rotation speed		r/min	3000	3600	3000	3600
Generator						
Generator type			KTS16		KTS19	
Pole No.			2		2	
Phase number			Three phase		Three phase	
Excitation mode			Self-excitation and constant voltage(with AVR)			
Power factor		COSΦ	0.8(lag)		0.8(lag)	
Insulation grade			F		F	
Engine						
Engine type			KM376AG		KM376AG	
Structure type			3-cylinder, in-lined, water-cooled, 4-stroke, turbocharged		3-cylinder, in-lined, water-cooled, 4-stroke, turbocharged	
Bore×stroke		mm	76×77		76×77	
Displacement		L	1.048		1.048	
Compression ratio			21.5 : 1		21.5 : 1	
Rated power		KW	15.3	17.5	15.3	17.5
Water-cooled water capacity	Engine	L	1		1	
	Radiator tank	L	5		5	
Lubrication system			Pressure splashed			
Lube oil brand			Above CD SAE 10W-30、15W-40			
Lube capacity		L	4.8		4.8	
Starter system			12V Electric system		12V Electric system	
Starting motor capacity		V-KW	12V 1.4KW		12V 1.4KW	
Charging generator capacity		V-A	14V 20A		14V 20A	
Battery capacity		V-Ah	12V 65Ah		12V65Ah	
Fuel consumption ratio		g/KW.h	280	295	280	295
Fuel type			Engine fuel consumption: 0 # (summer) -10 # (winter) -35 # (cold)			
Genset						
Panel type			KI smart panel		KI smart panel	
Output	Receptacle		2-Single phase		2-Single phase	
	Connection pole		With		With	
	DC 12V output		-		-	
Noise level (7m)		dB(A)	90		90	
Fuel tank capacity		L	38		38	
Air filter intake capacity		m ³ /S	0.12		0.12	
Exhaust temperature		℃	≤520		≤520	
Silencer exhaust capacity		m ³ /S	0.27		0.27	
Intake air flow		m ³ /S	1.28		1.28	
Overall dimension		mm	1210×650×765		1210×650×765	
Net weight		kg	300		320	

LIITE 6: TEKNISET TIEDOT: GENERAATTORI KDE16STA3

Generating set			KDE12STA3		KDE16STA3	
Rated frequency		Hz	50	60	50	60
Prime power		kVA	10	11.5	13.5	15.5
		KW	8	9.2	10.8	12.6
Standby power		kVA	11	12.65	15	17
		KW	8.8	10.1	12	13.6
Rated voltage		V	400/230	416/240	400/230	416/240
Rated current		A	14.5	16	19.5	21.5
Rated rotation speed		r/min	3000	3600	3000	3600
Generator						
Generator type			KTS12		KTS16	
Pole No.			2		2	
Phase number			Three phase		Three phase	
Excitation mode			Self-excitation and constant voltage(with AVR)			
Power factor		COSΦ	0.8(lag)		0.8(lag)	
Insulation grade			B		F	
Engine						
Engine type			KM2V80G		KM376AG	
Structure type			V type double cylinder 4-stroke, water-cooled, turbocharged		3-cylinder, in-lined, water-cooled, 4-stroke, turbocharged	
Bore×stroke		mm	80×79		76×77	
Displacement		L	0.794		1.048	
Compression ratio			23 : 1		21.5 : 1	
Rated power		KW	12.5	14.5	15.3	17.5
Water-coded water capacity	Engine	L	0.45		1	
	Radiator tank	L	3.05		5	
Lubrication system			Pressure splashed			
Lube oil brand			Above CD SAE 10W-30、15W-40			
Lube capacity		L	2.27		4.8	
Starter system			12V Electric system		12V Electric system	
Starting motor capacity		V-KW	12V 1.4KW		12V 1.4KW	
Charging generator capacity		V-A	12V 20A		14V 20A	
Battery capacity		V-Ah	12V 36Ah		12V 65Ah	
Fuel consumption ratio		g/KW.h	285	297	280	295
Fuel type			Engine fuel consumption: 0 # (summer) -10 # (winter) -35 # (cold)			
Genset						
Panel type			KI smart panel		KI smart panel	
Output	Receptacle		2-Single phase		2-Single phase	
	Connection pole		With		With	
	DC 12V output		-		-	
Noise level (7m)		dB(A)	72		72	
Fuel tank capacity		L	26		38	
Air filter intake capacity		m ³ /S	0.08		0.12	
Exhaust temperature		℃	≤500		≤520	
Silencer exhaust capacity		m ³ /S	0.24		0.27	
Intake air flow		m ³ /S	0.84		1.36	
Overall dimension		mm	1350×650×760		1550×720×810	
Net weight		kg	310		420	

LIITE 7: TEKNISET TIEDOT: UPS-LAITE MASTERYS BC 12 KVA

11 TECHNICAL SPECIFICATIONS**MASTERYS BC**
from 8 to 12 kVA

Models					
	8	10	10	12	12
Input/Output phases	1/1 or 3/1 (autosetting)	1/1 or 3/1 (autosetting)	3/3	3/1	3/3

Electrical specifications - Input					
	8	10	10	12	12
Mains voltage	400 V $\pm 20\%$ (up to -35% @70% of nominal load) (three phase + neutral) 230 V $\pm 20\%$ (up to -35% @70% of nominal load)				
Input frequency	50-60 Hz $\pm 10\%$				
Input power factor	> 0,99 (single phase) > 0,95 (three phase)				
THDI	< 6% (single phase) < 25% (three phase)				

Electrical specifications - Output					
	8	10	10	12	12
Output voltage	230 V single phase (208*/220/230/240 V selectable) $\pm 1\%$ 400 V three phase (360*/380/400/415 V selectable) $\pm 1\%$				
Frequency	50-60 Hz $\pm 2\%$ (from 1% to 8% if generator is used)				
Automatic bypass	nominal output voltage $\pm 15\%$ (from 10% to 20% selectable if generator is used)				
Nominal power (kW)	5,6	7	7	8,4	8,4
Overload on mains power supply	125% 2 minutes; 150% 10 seconds				
Crest factor	3:1				
Voltage distortion	1% with linear load				

* @ Pout = 90% Pnom

Environment					
	8	10	10	12	12
Operating temperature	0÷40 °C (15÷25 °C recommended for longer battery life)				
Storage temperature	-5÷50 °C (15÷25 °C recommended for longer battery life)				
Relative humidity	0÷95% condensation-free				
Max. altitude	1.000 m (3.300 ft) without derating; 3.000 m (10.000 ft) max				
Acoustic noise (dB)	< 52				
Required cooling capacity (m³/h)	≤ 400				
Dissipated power max (W)	622	778	778	933	933
Dissipated power (BTU/h)	2120	2650	2650	3180	3180

Standards					
	8	10	10	12	12
Safety	EN 62040-1-1, EN 60950-1-1				
Type and performance	EN 62040-3 (VFI-SS-111)				
EMC	EN 62040-2				
Product certification	CE				
Protection level	IP20 (compliant with IEC 60529), IP21 on request				