



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HALLIN SÄHKÖSUUNNITTELU

Opinnäytetyö

TEKIJÄT: Erja Pulkkinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Erja Pulkkinen			
Työn nimi Hallin sähkösuunnittelu			
Päiväys	5.5.2017	Sivumäärä/Liitteet	46/22
Ohjaajat Lehtori Heikki Laininen, Lehtori Timo Savallampi			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sähkönikkarit Oy			
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin jyvaskyläläiselle Sähkönikkarit Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia toimivat sähkösuunnitelmat hallirakennukseen, jossa kerrosalaa on yhteensä 584 m². Tavoitteena oli selvittää mitä sähkösuunnittelijalta vaaditaan suunnittelua tehdessä. Tämän lisäksi oli tarkoitus myös oppia suunnittelun eri vaiheet ja työskentelytavat käytännössä.</p> <p>Jotta sähkösuunnittelu olisi mahdollista, täytyy suunnittelijan ymmärtää rakennushankkeen vaiheet ja niiden sisältö talotekniikan ja sähkösuunnittelijan kannalta. Opinnäytetyössä käydään ensimmäisenä läpi teoriaa rakennushankkeesta sen vaiheista ja mitä rakennushankkeen vaiheet sisältävät suunnittelijan näkökulmasta. Tämän jälkeen opinnäytetyössä käsitellään hallirakennuksen sähkösuunnittelua ja siihen liittyviä laskentatapoja ja määräyksiä sekä valaistuksen suunnittelua. Opinnäytetyötä tehtäessä käytettiin eri suunnitteluohjelmia, kuten CADS Electric pro:ta ja DIALux:ia. Opinnäytetyötä tehdessä oli noudatettava tandardissa SFS 6000 esitettyjä laskentamenetelmiä sekä vaatimuksia.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin sähkösuunnitteluun liittyviä suunniteludokumentteja ja laskelmatuloksia. Näitä dokumentteja olivat mm. tasokuvat, keskuksien pääkaaviot, piirikaaviot ja järjestelmäkaaviot.</p>			
Avainsanat sähkösuunnittelu, suunnittelun vaiheet			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Erja Pulkkinen			
Title of Thesis Electrical Planning of Hall Building			
Date	5 May 2017	Pages/Appendices	46/22
Supervisor(s) Mr Heikki Laininen, Lecturer and Mr Timo Savallampi, Lecturer			
Client Organisation /Partners Sähkönikkarit Oy			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was done for Sähkönikkarit Oy from Jyväskylä. The purpose of this thesis was to make electrical plans for a hall building which has a floor area of 584 m². Other purposes were to learn what it means to work like as an electrical planner and learn the steps of electrical planning and different working methods.</p> <p>In order to do electrical planning the planner has to understand how the process of a building project goes. That is why this thesis was started by first going through the steps in the process of a building project and what those steps mean for a planner.</p> <p>The main subject of this thesis was the electrical planning of a hall building and it deals with the methods of calculation and different regulations concerning electrical planning. Different planning programs were used while making this thesis. Calculation methods and regulations were compatible with standard SFS 6000.</p> <p>The outcome of this thesis were documents according to electrical planning and different calculation results. These different documents were for example schematic circuit diagrams, layouts and schemas of different systems.</p>			
Keywords Electrical planning, steps of electrical planing			

ESIPUHE

Haluan kiittää Sähkönikkarit Oy:tä mahdollisuudesta toteuttaa hallirakennuksen sähkösuunnitelmat opinäytetyönä sekä avusta ja ohjauksesta. Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja haastava. Haluan kiittää myös lehtori Heikki Lainista onnistuneesta työn ohjaamisesta ja neuvojen sekä tuen antamisesta.

Opinäytetyön ansiosta ymmärsin paremmin, mitä sähkösuunnittelu vaatii ja mitä eri vaiheita suunnittelijan työssä voi olla. Opinnäytetyön teko oli opettavaista, sillä sain tehdä suunnittelutyön itsenäisesti ohjauksen alaisena.

Jyväskylässä 10.12.2016

Erja Pulkkinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KIINTEISTÖN RAKENTAMINEN	8
2.1	Rakennushanke	8
2.2	Talotekniikka ja sähkösuunnittelu rakennushankkeessa	9
2.2.1	Tarveselvitysvaihe	9
2.2.2	Hankesuunnitteluvaihe	9
2.2.3	Luonnossuunnitteluvaihe	11
2.2.4	Toteutussuunnitteluvaihe	12
2.2.5	Rakennusvaihe ja käyttöönotto	13
3	SUUNNITTELU	15
3.1	Sähköliittymän mitoitus	15
3.2	Ylikuormitussuojaus	16
3.3	Johdon kuormitettavuus	18
3.4	Oikosulkusuojaus	19
3.5	Vikasuojaus ja syötön automaattinen poiskytkentä	20
3.6	Selektiivisyys	22
3.7	Jännitteenalenema	23
3.8	Valaistus	24
3.8.1	Valaistuksen suunnittelu	24
3.8.2	DIALux	25
4	DOKUMENTOINTI.....	27
4.1	Nousujohto- ja maadoituskaavio	27
4.2	Tasokuvat	28
4.3	Järjestelmäkaavio	29
4.4	Keskuskaavio ja piirikaavio	29
5	HALLIRAKENNUKSEN SÄHKÖISTYS	31
5.1	Mitoitusarvot	31
5.2	Pääsulakkeen mitoitus	33
5.2.1	Pääsulake, laskelma 1	33
5.2.2	Pääsulake, laskelma 2	35

5.2.3	Pääsulake, laskelma 3	36
5.3	Liittymisjohdon mitoitus	37
5.4	Alakeskuksien sulakkeiden ja syöttöjohtojen mitoittaminen.....	39
5.5	Suojauksen toimivuus ja jännitteenalenema	40
5.6	Valaistus	41
6	YHTEENVETO.....	46
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	47
	LIITE 1: SÄHKÖSELOSTUS	48
	LIITE 2: PIIRUSTUSLUETTELO.....	56
	LIITE 3: PÄÄKESKUKSEN KESKUSKAAVIO.....	57
	LIITE 4: PIIRIKAAVIO, ULKOVALAISTUKSEN OHJAUS, HALLI 1	61
	LIITE 5: PIIRIKAAVIO, SISÄVALAISTUKSEN OHJAUS, HALLI 2	62
	LIITE 6: PIIRIKAAVIO, VALAISTUKSEN OHJAUS, KATOS, LÄHTÖ 1	63
	LIITE 7: NOUSUJOHTOKAAVIO.....	64
	LIITE 8: SAVUNPOISTOKAAVIO	65
	LIITE 9: VALAISINLUETTELO.....	66
	LIITE 10:KALUSTO- JAHUOLTOHALLIN DIALUX LASKENTATULOKSET.....	67
	LIITE 11: VARASTO/TYÖTILAHALLIN DIALUX LASKENTATULOKSET	68
7	LIITE 12: TAUKOTILAN DIALUX LASKENTATULOKSET	69

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin jyvaskyläläiselle vuonna 2002 perustetulle Sähkönikkarit O:lle. Opinnäytetyön aiheena on hallin sähkösuunnittelu. Tavoitteena on tehdä sähkösuunnitelmat hallirakennukseen, jonka tilavuus on 4 290 m³.

Työssä esitellään kiinteistön rakentamiseen liittyvää teoriaa ja rakennushankkeen eri vaiheista sekä niiden merkitys talotekniikassa. Lisäksi työssä käsitellään sähkösuunnittelua ja sen eri vaiheita, laskentatapoja sekä lyhyesti sähkösuunnitteluun liittyvää valaistuslaskentaa ja tässä työssä käytettyjä valaistuslaskentaohjelmia. Tässä opinnäytetyössä on myös kerrottu yleisimmät sähkösuunnittelun dokumentoituihin liittyvät dokumentit ja niiden yleinen sisältö.

Teoriaosuuden jälkeen käsitellään opinnäytetyön aineena olevaa hallirakennusta ja sen sähkösuunnittelua, mitoitusta ja laskelmia. Laskelmista on esitetty laskentaesimerkkejä, jotka liittyvät opinnäytetyötä koskevan kohteen sähkötekniisiin mitoituksiin.

2 KIINTEISTÖN RAKENTAMINEN

Tässä luvussa käsitellään yleisesti rakentamista rakennushankkeen ja sen vaiheiden kautta (kuvio 1) ja käydään läpi sähkösuunnittelijan osuutta rakennushankkeessa.



KUVIO 1. Rakennushankkeen päävaiheet.

2.1 Rakennushanke

Rakennushanke syntyy, kun täytyy korjata vanhaa tai rakentaa uutta. Tilantarve niin yrityksillä, yksityisillä ihmisillä tai julkisilla yhteisöillä on lähtökohtana rakennushankkeelle. Rakennushankkeeseen kuuluu kuusi päävaihetta, joita ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu, luonnossuunnittelu, toteutussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. (Harsia 2004, 30.)

Tarveselvitysvaiheessa arvioidaan ja selvitetään rakennushankkeen tarpeellisuus, edellytykset ja mahdollisuudet. Tarkoituksena on tehdä tarveselvitys, jolla määritellään rakennushankkeen luonne. Korjaushankkeen tarveselvitysvaiheessa määritellään korjaamisen tavoitteet ja uudet tai muuttuneet tarpeet. (Harsia 2004, 30.)

Hankesuunnitteluvaiheessa selvitetään rakennushankkeen toteuttamistarpeet ja -mahdollisuudet sekä vaihtoehtoiset toteuttamistavat. Selvityksen tulokset kootaan hankesuunnitelmaksi. Hankesuunnitelman toteuttamistavan sekä laajuus- ja laatuavoitteiden avulla määritellään rakennushankkeen kustannustaso ja aikataulu. Hankesuunnitelman pohjalta voidaan tehdä investointipäätös. (Harsia 2004, 30.)

Luonnossuunnitteluvaiheessa määritellään rakennuskohteen suunnitteluratkaisut, tekniset järjestelmät ja toteutustapa. Luonnossuunnitelmien hyväksymisestä tehdään päätös, minkä jälkeen voidaan siirtyä toteutussuunnitteluun. Toteutussuunnittelussa määritellään hankintatapa, laaditaan hankinta-asiakirjat ja piirustukset, valmistellaan hankinta ja tehdään päätös rakentamisesta. (Harsia 2004, 30)

Rakentamisvaiheessa kiinteistö, rakennus tai niiden osat rakennetaan. Rakentamisvaiheessa tehtävän suunnittelun avulla varmistetaan suunnitelmien mukainen toteutus, laatu ja tarvittavat käyttö- ja ylläpitovalmiudet. Rakentamisvaihe päättyy vastaanottopäätökseen. (Harsia 2004, 30.)

Käyttöönottovaiheessa rakennus ja rakennuksen aiottu toiminta otetaan käyttöön. Seurantatoimenpiteillä todetaan rakennuksen käyttövalmiudet. Rakennushanke päättyy takuutarkastukseen. (Harsia 2004, 30.)

2.2 Talotekniikka ja sähkösuunnittelu rakennushankkeessa

Sähkösuunnittelu on vain yksi osa rakennushanketta ja sen taloteknistä suunnittelua. Sähkösuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös muita rakennushankkeeseen liittyviä suunnitelmia ja tehdä yhteistyötä muiden suunnittelijoiden kanssa. Seuraavissa luvuissa esitetään rakennushankkeen vaiheita talotekniikan ja sähkösuunnittelun näkökulmasta.

2.2.1 Tarveselvitysvaihe

Tarveselvitysvaiheessa sähkösuunnittelija ei ole välttämätön, sillä tarveselvityksessä ei ole ennalta määriteltäviä talotekniikkaan liittyviä suunnittelutehtäviä, jotka vaatisivat sähkösuunnittelijaa. Tarveselvitysvaiheessa on tarkoituksena selvittää rakennuskohteen tilojen ja toimintojen tarpeet. (Harsia 2004, 55, 57.)

Sähkösuunnittelijaa voidaan käyttää tarveselvitysvaiheessa konsultointiapuna ja asiantuntijana, jos rakennushankkeessa tarvitaan teknisiä tai taloudellisia selvityksiä tai laskelmia. Selvityksillä ja laskelmilla arvioidaan rakennushankkeen investointi- ja käyttökustannuksia sekä energian hankintaan ja käyttöön liittyviä teknisiä ja taloudellisia peruskysymyksiä. Talotekniikan suunnittelijoiden tehtävinä voi tarveselvityksessä olla mm.

- tilojen kartoitus
- toimiminen asiantuntijana tilojen ja toimintojen tietojen keräämisessä ja analysoinnissa
- auttaminen talotekniikan suunnittelutavoitteiden määrittelyssä. (Harsia 2004, 57–58.)

Tarveselvitysvaiheessa ei synny talotekniikkaan tai sähkösuunnitteluun liittyviä dokumentteja. Mahdollisista selvityksistä laaditaan raportit. (Harsia 2004, 58.)

2.2.2 Hankesuunnitteluvaihe

Hankesuunnitteluvaiheessa tehdään alustava rakennuspäätös ja varsinainen ensimmäinen suunnitteluvaihe alkaa. Hankesuunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija määrittää kohteeseen tulevien tai mahdollisesti tulevien sähköjärjestelmien toiminnot ja ominaisuudet. Uudisrakennuskohteissa hankesuunnitteluvaiheessa laaditaan alustava kustannusarvio ja korjausrakennuskohteissa tehdään vanhojen sähköjärjestelmien kunto- ja käyttökelpoisuusarvio. Näiden lisäksi sähkösuunnittelija voi osallistua suunnittelukokouksiin ja avustaa päätöksenteossa sekä selventää ja tarkentaa valintojen merkitystä. (Harsia 2004, 58–61.)

Hankesuunnitteluun, niin kuin mihin tahansa suunnitteluun, tarvitaan lähtötietoja. Hankesuunnittelussa käytetään lähtötietoina tarveselvitysvaiheessa tehtyä ja hyväksyttyä tarveselvitystä sekä hankepäätöstä. Näiden lisäksi lähtötietoja ovat kohteen yleistiedot, joita ovat

- laajuus, toiminnalliset sekä aikataululliset tavoitteet
- kustannus- ja laatutavoitteet
- varustelutasotavoitteet
- ylläpidon tavoitteet
- turvallisuustavoitteet
- tietotekniikan tavoitteet
- energian käytön tavoitteet
- olemassa olevat järjestelmät. (Harsia 2004, 61.)

Talotekniset tarpeet ovat:

- sisäilma, lämpökuormat, käyttöajat
- valaistus
- tiedonsiirto
- turvallisuus
- keskeytymätön käyttö
- erityiskuormat, häiriötilanteet
- monikäyttöisyys, muunneltavuus, laajennettavuus
- käyttäjien vaikutus
- erityisvaatimukset. (Harsia 2004, 61.)

Lähtötiedot saadaan rakennuttajalta; sähkösuunnittelijan tehtävänä on tarkistaa, täydentää sekä ottaa kantaa lähtötietoihin. Lähtötietojen perusteella sähkösuunnittelija voi esitellä tyyppiratkaisuja, vertailla niitä ja niiden ominaisuuksia sekä kustannuksia. Tyyppiratkaisuiden perusteella sähkösuunnittelija voi toteuttaa erilaisia havainnoillistavia esittelymateriaaleja. (Harsia 2004, 61.)

Hankesuunnitteluvaiheessa selvitetään rakennuskohteeseen vaikuttavat viranomaismääräykset ja sähköverkkoyhtiön sekä tietoverkkopalvelun toimittajan vaatimukset. Selvityksillä saadaan tietää tontin rakennettavuus ja ympäristövaikutukset talotekniikan kannalta. (Harsia 2004, 61.)

Talotekniikan ja sähkösuunnittelun tavoitteita selvitettäessä lähtötietoina käytetään arkkitehdiltä saatuja tietoja ja muiden rakennuskohteen suunnittelijoiden esityksiä. Talotekniikan ja sähkösuunnittelun tavoitteiden selvityksessä on seuraavia asioita:

- laatutasotavoitteiden ja ratkaisuvaihtoehtojen kuvaus
- tilantarpeet ja tilojen sijoitteluun liittyvät asiat
- turvallisuus
- häiriösuojaus
- investointi- ja ylläpitokustannukset. (Harsia 2004, 61.)

Hankesuunnitteluvaiheen lopuksi käydään läpi eri suunnittelualojen tavoitteet sekä vertaillaan ja yhtenäistetään suunnittelutavoitteet. Hankesuunnitteluvaiheessa syntyviä sähkösuunnitelmadokumentteja voivat olla lyhyt selostus sähköjärjestelmien ominaisuuksista ja toiminnoista sekä korjausrakentamisessa vanhojen järjestelmien kunto- ja käyttökelpoisuusarvio. Sähköjärjestelmien selostuksesta käy ilmi järjestelmien laajuus-, laatu- ja varustelutaso sekä perusteet järjestelmän valinnalle. (Harsia 2004, 61-62.)

2.2.3 Luonnossuunnitteluvaihe

Luonnossuunnitteluvaiheessa tutkitaan ja määritellään rakennuskohteen toiminnallisia ja teknisiä perusratkaisuja. Tarkoituksena on esittää tilaajalle kohteeseen parhaiten soveltuvat ja vaatimukset täyttävät ratkaisut, niin että tilaaja saa tarvittavat tiedot päätöksen tekoon. Päätöksen tekoon vaikuttaa eri ratkaisujen soveltuvuus ja toimivuus rakennuskohteessa sekä sen ympäristössä. Kustannusarviot ja niiden vertailukelpoisuus ovat tärkeitä tietoja tilaajalle. (Harsia 2004, 62.)

Luonnossuunnitteluvaiheessa käytettäviä, rakennuttajalta saatuja lähtötietoja ovat mm.

- vastuu- ja suunnittelurajat
- aikataulu
- ohjausmenettelyt
- dokumenttien jakamisen turvallisuus. (Harsia 2004, 62.)

Sähkösuunnittelijan tulee luonnossuunnitteluvaiheessa selvittää teknisten tilojen sijoitukset ja tilantarpeet sekä määritellä ehdotuspiirustuksiin pääjohtoteiden reitit. Erilaiset sähköiset järjestelmät esitetään luonnossuunnitteluvaiheessa periaatekaavioina sekä selvitetään mahdolliset muunneltavuustarpeet. Luonnossuunnittelun tarkoituksena on keskittyä valittujen ratkaisujen periaatteelliseen suunnitteluun. Tällaiseen suunnitteluun kuuluu mm. sähkö- ja tietojärjestelmien sijoittaminen rakennukseen. (Harsia 2004, 62–63.)

Luonnossuunnittelussa syntyvien asiakirjojen tärkeitä lähtötietoja ovat:

- eri suunnitteluratkaisujen hyväksymispäätökset
- arkkitehdin laatimat piirustukset
 - asemapiirustus
 - leikkaus- ja julkisivukuvat
 - tyyppihuonepiirustukset
 - huoneluettelo
- rakennesuunnittelijan laatimat asiakirjat
 - rakennepiirustukset
 - urakkarajat. (Harsia 2004, 63.)

Arkkitehdin laatimista piirustuksista tulee käydä ilmi rakenteet, huonenumerot, paloalueet ja poistumistiet. Rakennesuunnittelijan rakennepiirustuksista tulee käydä ilmi rakennetyypit ja lämmönläpäisykertoimet. (Harsia 2004, 63.)

Asiakirjojen laatimisen alkuvaiheessa on tarkennettava ulkopuolisten liittymien, kuten sähköliittymän tekniset tilantarpeet ja johtoreiitit. Lisäksi sijoitetaan päälaitteet ja mitoitetaan niiden suuruusluokat sekä selvitetään raskaiden ja suurien laitteiden rakenteisiin vaikuttavat johtoreittien vaatimat reiät ja läpiviennit. (Harsia 2004, 63.)

Luonnossuunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija määrittelee sähköjärjestelmien:

- tila- ja suojausluokat
- valaistusratkaisut
- ryhmitysalueet
- maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmä
- tehon- ja kompensointitarve
- jakelujärjestelmät ja -ratkaisut
- varmennetut ja kesketymättömät käytöt
- energiamittaukset ohjausjärjestelmät ja niiden tarpeet
- suojausperiaatteet ja häiriölaitteet.

Luonnossuunnitteluvaiheessa syntyviä sähkösuunnitteluasiakirjoja ovat mm. rakennustapaselostus, asemapiirustus, pohjapiirustukset, leikkaukset ja detaljit, julkisivut sekä tyyppihuonepiirustukset. (Harsia 2004, 63–64.)

2.2.4 Toteutussuunnitteluvaihe

Toteutussuunnitteluvaiheessa tarkoituksena on laatia yksityiskohtaiset suunnitelmat rakennuskohdeesta, jotta suunnitelmien perusteella voidaan määrittellä sähkötöiden laajuus ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät sekä hankintarajat. Toteutussuunnittelussa keskitytään tilojen suunnitteluun, tarkkojen mitoituslaskelmien tekemiseen, verkostojen mitoitukseen ja sijoitukseen sekä sähköselostuksen laatimiseen. (Harsia 2004, 66.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa suunnittelun lähtötietoja ovat luonnossuunnitelman hyväksymispäätös, hyväksytyt luonnossuunnitelmat ja tarkennettu suunnitteluohje.

Arkkitehdin laatimia piirustuksia, kuten asemapiirustus, pohjapiirustukset, leikkaukset ja julkisivukuvat, tarvitaan toteutussuunnitteluasiakirjojen lähtötietoina. Arkkitehdin laatimista piirustuksista tulee käydä ilmi ainakin luonnossuunnittelutiedot, alakatot ja mitat. (Harsia 2004, 66–67.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa määritetään tarkasti toteutuksen ominaisuudet ja osa suunnitelmista saatetaan suunnitella laitevalintoihin saakka. Tässä vaiheessa myös määritellään ja tarkennetaan järjestelmien toimintakuvaukset sekä laitteiden ja materiaalien vaatimukset. Toteutussuunnittelua varten tehdään myös ohjeet kohteessa käytettäville laitetunnuksille ja -merkinnöille. (Harsia 2004, 67.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa sähkösuunnittelija suunnittelee, mitoittaa ja tarkentaa kohteen

- jakelureitit ja -järjestelmät
- johtotiet ja -järjestelmät
- keskusten pääkaaviot
- jakelualueet
- maadoitusjärjestelmät ja potentiaalintasausjärjestelmät
- teho- ja mitoituslaskelmat
- ohjausratkaisut
- valaistusratkaisut, valaisinvalinnat ja -sijoitukset
- tilat- ja suojausluokat
- loppullinen pistesijoittelu
- ryhmitykset ja johdotukset. (Harsia 2004, 67–69.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa syntyy kohteettain seuraavanlaisia asiakirjoja:

- työselitys
- asemapiirustus
- pohjapiirustukset
- leikkaus-, detalji- ja julkisivukuvat
- tyyppihuonepiirustukset
- järjestelmäkaaviot
- laiteluettelo
- pistesijoitukset ja johtotiet
- johdotus ja ryhmityspiirustukset
- keskusten ja kytkentäkaappien kokoonpanopiirustukset. (Harsia 2004, 67–69.)

Eri talotekniikan alojen suunnitelmat sovitetaan yhteen ja tilaajalle tehdään hyväksymisesitys. Tämän jälkeen tilaaja tekee päätöksen suunnitelmien hyväksymisestä. (Harsia 2004, 67–69.)

2.2.5 Rakennusvaihe ja käyttöönotto

Rakennusvaiheessa sähkösuunnittelija toimii oman suunnittelualueensa asiantuntijana, tarkentaa yksityiskohtia ja valvoo toteutuksen suunnitelman mukaisuutta. Toteutussuunnitteluvaiheessa tehtyjä suunnitelmia täydennetään rakentamisen aikana työsuunnitelmiksi valittujen järjestelmien, laitteiden ja laitteistojen teknisillä tiedoilla. Rakentamisvaiheessa suunnitelmiin tehdyt muutokset korjataan suunnitteludokumentteihin. (Harsia 2004, 74.)

Rakennusvaiheessa on tärkeää, että suunnittelija tietää, missä vaiheessa työmaalla ollaan. Tämä helpottaa rakennusaikaisien suunnittelutehtävien tekoa. Tällöin on tärkeää, että suunnittelija käy työmaalla työmaakokouksissa sekä suunnittelukokouksissa. Näin suunnittelija pysyy myös mukana muiden talotekniikan alojen suunnittelijoiden suunnitelmien mukana ja välttyään tarpeettomilta päällekkäisyyksiltä.

Käyttööntöövaiheessa sähkösuunnittelija toimii suunnitelmiansa kokonaisuuden osaajana. Suunnittelija tuntee toteutetut prosessit ja niiden käyttööntöön liittyvät tehtävät. Sähkösuunnittelijan on osallistuttava käyttööntöön ja valvottava sekä tarkistettava, että halutut tavoitteet ja ominaisuudet on saavutettu. (Harsia 2004, 76.)

3 SUUNNITTELU

Sähkösuunnittelun merkitys on tärkeä niin isoissa kuin pienissäkin kohteissa. Rakennushankeessa sähkösuunnittelijan tehtävät ja tehtävien laajuus voivat vaihdella kohteen mukaan. Pienissä kohteissa ei ole välttämättä tarvetta tehdä sähkösuunnittelua niin laajoissa ja selkeissä vaiheissa kuin isoissa kohteissa. (Harsia 2004, 87.)

Jotta varmistetaan laadukas suunnittelun taso ja toimivat ratkaisut sekä asiakkaan tyytyväisyys, sähkösuunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon:

- rakenuskohteen koko elinkaari
- viranomais määräykset
- turvallisuus ja laatu
- tilojen ja järjestelmien käytettyävyys ja huolto
- muunneltavuus
- taloudellisuus. (Harsia 2004, 87.)

Sähkösuunnittelussa teknisistä asioista tärkeimpiä on johdon mitoitus ja suojaus sekä näihin liittyvät asiat, joilla voidaan mitoittaa koko rakennuskohteen johtimet ja niiden suojaus:

- mitoitusarvojen selvitys
- ylikuormitussuojaus
- johdon kuormitettavuus
- oikosulkusuojaus
- syötön automaattinen poiskytkentä
- selektiivisyys
- jännitteenalenema. (Tiainen 2010, 9.)

Seuraavissa luvuissa on käyty läpi sähkösuunnittelua sekä johdon mitoitukseen ja suojaukseen liittyviä asioita, tämän opinnäytetyön kannalta.

3.1 Sähköliittymän mitoitus

Rakennuskohteen sähköliittymän oikeinmitoitus on tärkeää: alimitoitettu sähköliittymä voi rajoittaa rakennuksen käyttöä ja ylimitoitetusta sähköliittymästä voi aiheutua ylimääräisiä kuluja. Liittymän mitoituksessa suunnittelijan tulisi ottaa huomioon rakennuksessa mahdollisesti tapahtuva tehontarpeen nousu. Tällöin varmistetaan, että rakennuksen sähköliittymä on riittävä myös tulevaisuudessa mutta sähköliittymä ei kuitenkaan saa olla liian suuri. (ST 13.31, 1.)

Sähköliittymää mitoittaessa on pyrittävä käyttämään rakennuskohteen todellista huipputehontarvetta. Huipputehontarve selvitetään laskemalla se todellisesta tai oletetusta tehontarpeesta. Rakennuksen tehontarvetta arvioitaessa tulisi huomioida sähkön saannin varmuus, tulevaisuuden sähköte-

hontarpeet ja muutostarpeet, kuitenkin ylimitoittamatta liittymää. Rakennuksen tehontarvetta voidaan arvioida alustavasti kohteen laajuudesta ja käyttötarkoituksesta. Arvio tarvittavasta sähköliittymästä tarkentuu suunnittelun edetessä ja laitevalintojen varmistuessa. Rakennuskohteen huipputehohon vaikuttavia asioita voivat olla mm. valaisimet, LVI-laitteet ja varustetaso. (ST 13.31, 3.)

Asuinrakennuksille on määritelty laskentakaavat sähköliittymän mitoittavan tehon laskentaa varten, mitkä eivät päde muiden rakennuksien tehontarpeen laskemisessa. Muilla, kuin asuinrakennuksilla asennettavat laitteet ja rakennuksen käyttötarkoitukset muuttuvat rakennuskohteittain. Tämän takia tehonvaihtelut voivat olla suuria ja muiden, kuten teollisuuden, rakennuksien sähköliittymän mitoituksessa käytetään eri menetelmiä. Muiden rakennuksien kuin asuinrakennuksien merkittävin tekijä sähköliittymän mitoittamisessa on rakennuskohteessa käytettävät sähkölaitteet. Rakennusten mitoittava teho lasketaan siis rakennuksessa käytettävien sähkölaitteiden tehojen perusteella. Laitteiden tehojen lisäksi sähköliittymän mitoituksessa on otettava huomioon tasauskerroin k_1 ja samanaikaisuuskerroin k_2 . Tasauskerroimen k_1 avulla voidaan ottaa huomioon, miten laitteita on käytössä samanaikaisesti. Samanaikaisuuskerroin k_2 avulla otetaan huomioon, kuinka paljon tasauskerroimen k_1 tehosta on käytössä huipputehon aikana. (ST1 3.31, 5-6.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään muun kuin asuinrakennuksen sähköliittymän mitoitukseen, sillä opinnäytetyö käsittelee hallirakennuksen sähköistämistä.

3.2 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitusvirta on muulloin kuin vian aikana esiintyvä ylivirta. Ylivirralla tarkoitetaan mitä tahansa mitoitusvirtaa suurempaa virtaa. Johtimista puhuttaessa mitoitusvirta tarkoittaa kuormitettavuutta. Johdon kuormitettavuus tarkoittaa suurinta virtaa, jolla johdinta voidaan kuormittaa jatkuvassa käytössä ilman, että johtimen sallittu lämpötila ylittyy. (Tiainen 2010, 26–28.)

Ylikuormitussuojauksen tarkoituksena on katkaista ylikuormitusvirta ennen kuin siitä aiheutuva lämpötilan nousu vahingoittaa johtimen eristystä, jatkosta, liitoksia tai ympäristöä. Ylikuormitussuojina voidaan käyttää sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita tai katkaisijoita. Näiden on tarkoitus kytkeä ylikuormitettu johto irti syötöstä. (Tiainen 2010, 27.)

Standardin SFS 6000-4-43 kohdan 433.1 mukaan: "kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (2)$$

missä:

I_B on piirin suunniteltu virta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n on suojalaitteen mitoitusvirta

I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa."

Standardin kohdassa 433.1 määritellään: "suunniteltua virtaa I_B voidaan pitää tasauskertoimien soveltamisen jälkeen toteutuvana todellisena virtana." (SFS-käsikija 600-1 2012, 257).

Kaavan 1 mukaan ylikuormitussuojan nimellisvirran pitää olla vähintään yhtä suuri kuin arvioidun kuormitusvirran ja johdon kuormitettavuuden pitää olla vähintään suojalaitteen nimellisvirran suuruinen. Käytännössä ylikuormitussuojaksi valitaan suojalaite, jonka nimellvirta on mitoitusvirtaa suurempi. Suojalaitteen nimellvirta tarkoittaa virtaa, jonka suojalaite voi johtaa jatkuvasti huonontumatta. (Tiainen 2010, 28.)

Kaavassa 2 määritellään suojalaitteen toimintavirran ja johdon kuormitettavuuden välinen yhteys. Suojalaitteen tulisi toimia tietyssä ajassa, viimeistään yhden tunnin kuluessa, jos ylikuormitusvirta on 1.45-kertainen johdon kuormitettavuuteen verrattuna. (Tiainen 2010, 28.)

Näiden sääntöjen mukainen suojaus ei tietyissä tapauksissa anna täydellistä suojaa, jos ylivirta on pitkäaikaisesti pienempi kuin virta I_2 . Sähkösuunnittelu tulisikin toteuttaa niin, ettei pieniä pitkäaikaisia ylivirtoja esiinny usein. (Tiainen 2010, 28.)

Toimintarajavirrat eri suojalaitteilla eroavat toisistaan, jonka vuoksi ylikuormitussuojan valinta esimerkiksi sulakkeella ja johdonsuojakatkaisijalla eroavat toisistaan (Tiainen 2010, 28). Käytettäessä standardissa SFS-EN 60 898 määritellyjä B-, C-, ja D-tyyppisiä johdonsuojakatkaisijoita suojalaitteenä on ylikuormitussuojauksen mitoitus yksinkertaista. B-, C-, ja D-tyyppisten johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintarajavirta on 1,45-kertaa suojalaitteen nimellvirta. Tämä tarkoittaa, että ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. (Tiainen 2012, 132.)

Valittaessa johdonsuojakatkaisijaa on tärkeä huomioida johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky, nimellvirta ja nimellisjännite sekä laukaisukäyrä. Johdonsuojakatkaisijoiden suositeltavia nimellisvirtoja ovat 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 ja 125 A. (Tiainen 2010, 29.)

Ylikuormituksen toteuttaminen sulakkeilla vaatii erilaista mitoittamista kuin johdonsuojakatkaisijoilla, sillä sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellvirta. Tämä tarkoittaa, ettei ylikuormitussuojaa voida valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan, vaan käytetään kaavaa 3. (Tiainen 2012, 133.)

$$k * I_n \leq 1,45 * I_z \quad (3)$$

jossa:

I_n on suojalaitteen nimellvirta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

k on sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde. (Tiainen 2012, 133.)

Kaavassa 3 oleva kerroin k määritellään gG-tyypin sulakkeilla seuraavasti:

$k=2,1$	kun $I_n \leq 4 \text{ A}$
$k=1,9$	kun $4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$
$k=1,6$	kun $I_n \leq 16 \text{ A}$. (Tiainen 2012, 133.)

Ylikuormitussuojauksen voi toteuttaa myös muilla suojalaitteilla, niille tarkoitettujen mitoittamisperiaatteiden mukaisesti ja ylikuormitussuojauksen voi jopa tietyissä tilanteissa jättää kokonaan pois. Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaukselle ovat olemassa omat mitoitusohjeensa, mutta näitä ei kuitenkaan käsitellä tässä opinnäytetyössä.

3.3 Johdon kuormitettavuus

Johdon suurin sallittu lämpötila määrittelee johdon kuormitettavuuden. Johtimen jatkuvasti sallitun lämpötilan ylittyessä yllämpötila voi aiheuttaa tulipalon tai lyhentää johdon käyttöikää kiihdyttämällä johtimen eristeiden vanhenemista. Käytännössä kuormitettavuuden määrittelyssä käytetään johdolle sallittuja kuormitusvirtoja, eikä pelkästään johtimelle sallittuja lämpötiloja. Standardissa SFS6000-5-52 on esitetty kuormitettavuustaulukot, joita käytetään johdon kuormitettavuuden määrittelyssä. Kuormitettavuuden vaikuttavat myös johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa ja muiden virtapiirien läheisyys. (Tiainen 2012, 216.)

Johdon kuormitettavuuden mitoittamisessa on otettava huomioon eri asennustavat, joita ovat asennustapa A (uppoasennus), C (pinta-asennus), D (maa-asennus) ja E, F, G (vapaasti ilmassa tehtävät asennukset). (Tianen 2010, 44.) Teoksen johdon mitoutus ja suojaus luvussa 4.7 kerrotaan, että kuormitettavuus on määriteltävä asennusreitin hankalimpien olosuhteisen mukaan.

Asennustavassa A "johtimet tai monijohdinkaapeli asennetaan lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa. Seinän on koostuttava säänkestävästä ulkopinnasta, lämpöeristyksestä ja sisäpinnasta, joka on puuta tai vastaavaa materiaalia ja jonka lämmön johtavuus on vähintään $10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Putki on asennettava mahdollisimman lähelle sisäpintaa, kuitenkin välttämättä koskematta sitä. Putki voi olla metallia tai muovia. Kaapeleista tulevan lämmön oletetaan poistuvan vain sisäpinnan kautta." (Tianen 2010, 45.)

Asennustapa C tarkoittaa asennusta, jossa yksi- tai monijohdinkaapeleita on puuseinällä. Tällöin: "kaapeli on asennettu puuseinällä niin, että kaapelin ja pinnan väli on pienempi kuin 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. Samoja kuormitettavuusarvoja voidaan käyttää myös asennustavoissa, joissa kaapeli on kiinnitetty kivirakenteiselle seinälle tai asennettu sen sisään. Kivirakenteella tarkoitetaan tiiltä, betonia, kipsiä tai vastaavia muita kuin eristäviä materiaaleja." (Tianen 2010, 46)

Asennustapa D tarkoittaa asennusta, jossa monijohdinkaapelit ovat maassa. "Kaapeli on asennettu suoraan maahan tai muoviseen, keraamiseen tai metalliseen putkeen, joka on suoraan yhteydessä maahan ja jonka lämpöresistiivisyys on $1,0 \text{ K}\cdot\text{m/W}$ ja asennussyvyys $0,7 \text{ m}$." (Tiainen 2010, 46)

Asennustavalla E tarkoitetaan asennusta, jossa yksi- tai monijohdinkaapeli on vapaasti ilmassa. Tällöin:" kaapeli on tuettu niin, ettei lämmön haihtumista ole estetty. Muista lähteistä aiheutuva lämpeneminen on otettava huomioon ja huolehdittava, ettei normaalin lämmön johtumista ole estetty. Vapaasti ilmassa asennustavan arvoja voidaan käytännössä käyttää, jos kaapelin ja minkä tahansa lähellä olevan tason välinen etäisyys on vähintään 0,3 kertaa monijohdinkaapelin halkaisija tai yksijohdinkaapelin koko halkaisija. Monijohdinkaapeleita käytetään asennustavassa E, asennustavoissa F ja G käytetään eri tavoin sijoiteltuja yksijohdinkaapeleita." (Tiainen, 2010 s.46)

Asennustapojen lisäksi johdon kuormitettavuutta mitoittaessa tulee ottaa huomioon korjauskertoimet. Tämä johtuu siitä, että todellista kuormitettavuutta arvioitaessa pitää ottaa huomioon, onko kaapelin läheisyydessä muita kaapeleita, jotka heikentävät kuormitettavuutta. Tämän lisäksi on huomioitava maan lämmönjohtavuuden vaikutus kuormitettavuuteen. Näiden asioiden lisäksi on myös huomattava, että kuormitettavuustaulukoissa annetut arvot on ilmoitettu tietyssä lämpötilassa. (Tiainen 2010, 52.) Jos esimerkiksi ympäristön tai maan lämpötila eroaa kuormitettavuustaulukon arvoista, tarvitaan korjauskertoimet, jotta johdon kuormitettavuus voidaan arvioida oikein vallitsevat olosuhteet huomioon ottaen.

Kuormitusvirta ja sen aiheuttama lämpeneminen määrävät ensisijaisesti johtimien poikkipinnan suuruuden. (Tianen 2010, 43.)

3.4 Oikosulkusuojaus

Standarissa SFS 6000 määritellään oikosulku seuraavasti: "vahingossa tapahtunut tai tahallinen yhdistys yhden tai useamman johtavan osan välillä, joka pakottaa potentiaalierot näiden johtavien osien välillä nolaksi tai lähelle nolaa." Oikosulku on siis pieni-impedanssinen vika normaalisti eri potentiaalissa olevien jännitteisten osien välillä (Tiainen 2010, 65).

Standardin SFS 6000-4-43 kohdan 434.5.1 mukaan: "suojalaitteen mitoituskatkaisukyky ei saa olla pienempi kuin suojalaitteen asennuspaikalla esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta. Pienempi katkaisukyky sallitaan kuitenkin, jos suojalaitteen syöttöpuolella on riittävä katkaisukykyyn omaava toinen suojalaite. Tällaisessa tapauksessa molempien suojalaitteiden ominaisuudet on sovitettava yhteen siten, ettei suojalaitteiden läpi kulkeva energia ylitä arvoa, jonka kuormituspuolen suojalaite ja suojattavat johtimet vahingoittumatta kestävät."

Standardin SFS 6000-4-43 kohdan 434.5.2 mukaan: "missä tahansa virtapiirin kohdassa esiintyvät oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään ajassa, joka ei ylitä aikaa, jossa johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan."

Oikosulkusuojan on täytettävä Standardin SFS 6000-4-43 kohtien 434.5.1 ja 434.5.2 mukaiset vaatimukset. Standardissa määritellään myös laskentakaava, jolla voidaan laskea enintään 5 s kestävien

oikosulkujen aika t . Aika t kuvaa oikosulun kestoaikaa, jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan. Standardin mukaan kaavassa (kaava 4) oletetaan johtimien olevan normaalissa suurimmassa sallitussa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua.

$$t = (k * S/I)^2 \quad (4)$$

Kaavassa 4

t = kesto aika sekunteina

S = johtimen poikkipinta [mm^2]

I = oikosulkuvirta [A] tehollisarvona [rms]

k = kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat. (SFS-käsikirja 600-1 2012, 133.)

Valittaessa oikosulkusuojia täytyy tietää suurin ja pienin oikosulkuvirta. Suojattavan johtimen suoja-laitteen kaukaisimmassa päässä tapahtuvasta oikosulusta syntyy pienin oikosulkuvirta. Suurin oikosulkuvirta syntyy juuri suojalaitteen jälkeen tapahtuvasta oikosulusta. Suurimman oikosulkuvirran selvittäminen on tärkeää, jotta voidaan varmistaa suojalaitteen kyky katkaista oikosulkuvirta. (Tiainen 2010, 75.)

Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa sulakkeilla tai johdonsuojakatkaisijoilla. Johdonsuojakatkaisijoita ei yleensä käytetä pelkästään oikosulkusuojana ja usein niiden kanssa joudutaan käyttämään myös etusulaketta. Useimmiten oikosulkusuojauksen suojauslaitteina käytetään tulppa- ja kahvasulakkeita. Oikosulkusuojauksen suunnittelussa on otettava huomioon myös mahdolliset rinnankytketyt johtimet. Tällöin tulee huomioida rinnankytketyssä osuudessa tapahtuva oikosulku. (Tiainen 2010, 67, 78.)

3.5 Vikasuojaus ja syötön automaattinen poiskytkentä

Yleisimmin käytetty vikasuojausmenetelmä on syötön automaattinen poiskytkentä. Menetelmä perustuu suljettuun vikavirtapiiriin ja suojalaitteen valintaan. Tarkoituksena on, ettei vianaikainen kosketusjännite ehdi aiheuttaa vaaraa. Vikasuojaus toteutetaan ylivirtasuojilla, ellei oikosulkuvirta ole riittävä, käytetään suojaukseen vikavirtasuojaa. (Tiainen 2010, 85, 88.)

Standardin SFS 6000-4-41 kohdassa 411.4.5 kohdan mukaan: "TN-järjestelmässä voidaan vikasuojaukseen käyttää seuraavia suojalaitteita:

- ylivirtasuojia
- vikavirtasuojia."

Vikavirtasuojia ei kuitenkaan saa käyttää TN-C-järjestelmässä. Käytettäessä TN-C-S-järjestelmässä vikavirtasuojia, PEN-johdinta ei saa käyttää kuorman puolella. Tällöin täytyy yhdistää suojamaadoitusjohdin PEN-johtimeen vikavirtasuojan syötön puolelta. (SFS-käsikirja 600-1 2012, 95.)

Samassa standardin kohdassa on myös huomio, jonka mukaan käytettäessä vikavirtasuojaa vikasuojaukseen on piiri suojattava myös ylivirtasuojalla (SFS-käsikirja 600-1 2012, 95).

Standardissa SFS 6000 kohdassa 131.2.2 kerrotaan vikasuojauksesta, että: "ihmiset ja kotieläimet on suojattava niiltä vaaroilta, joita voi syntyä koskettaessa jännitteelle alttiita osia vian aikana." Samassa standardin kohdassa määritetään, että: "suojaus voidaan toteuttaa:

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

Standardin SFS 6000-4-41 kohdassa 411.3 on määritelty vikasuojauksen vaatimukset. Standardin kohdassa 411.3.1 on määritelty suojamaadoitus ja suojaava potentiaalinen tasaus, joista on kerrottu tämän työn luvussa 4.1.

Standardin kohdassa 411.3.2 syötön automaattisesta poiskytkennästä vian aikana kerrotaan, että "suojalaitteen on automaattisesti katkaistava syöttö piirin tai laitteen äärijohtimissa vaadituissa ajoissa." Standardin kohdan 411.3.2.2 taulukon 41.1 mukaan suurin sallittu poiskytkentäaika TN-järjestelmässä on korkeintaan 32 A suojalaitteella suojatulle ryhmäjohdolle tilanteessa, jossa $230\text{ V} < U_0 \leq 400\text{ V}$ on enintään AC:llä 0,2 sekuntia ja DC:llä 0,4 sekuntia. Standardin taulukossa 41.1 U_0 on nimellinen tasa- tai vaihtojännite äärijohtimesta maahan. Standardin SFS 6000-4-41 kohdan 411.3.2.3 mukaan "TN-järjestelmässä korkeintaan 5s poiskytkentäaika on sallittu pääjohdoille ja piireille, joita kohta 411.3.2.2. ei koske." (SFS-käsikirja 600-1 2012, 92-93.) Eli piireille, joissa on suurempi kuin 32 A suojalaite.

Suojauksen toimivuuden selvittämiseen pitää määrittää pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta. Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskemisessa voidaan käyttää kaavaa 5. Kaava 5 on yksinkertaistettu ja, jonka virhe voi olla korkeintaan n.10 %. Laskentakaavaa voidaan kuitenkin käyttää, sillä laskentakaavasta aiheutuvat virheet ovat aina turvallisempaan suuntaan. Tällä tarkoitetaan, että laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen oikosulkuvirta. Tarkempia laskentakaavoja oikosulkuvirralla on esitetty standardissa IEC 60909. (Tiainen 2010, 89.)

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (5)$$

Kaavassa 5

I_k = pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta [A]

c = kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.

U = pääjännite [V]

Z = virtapiirin kokonaisimpedanssi, joka muodostuu

- jakelumuuntajan edeltävän verkon impedanssista

- muuntajan impedanssista
- muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista. (Tiainen, 2010 s.2010)

Käytännössä mitoituksessa suunnittelun lähtötiedoksi kysytään pienin oikosulkuvirta liittymän luona jakeluverkkoyhtiöltä. Monesti määritellään myös suurin sallittu johtopituus, silloin kun suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi Z_v tai oikosulkuvirta on tiedossa. Suurin sallittu johtopituus voidaan laskea kaavalla 6. (Tianen 2010, 89, 90.)

$$l = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{2 \cdot z} \quad (6)$$

Kaavassa 6

l = johtopituus [km]

c = kerroin 0,95

U = pääjännite [V]

I_k = oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa

Z_v = impedanssi ennen suojalaitetta

z = suojattavan johtimen impedanssi [Ω /km]

Standardissa SFS 6000-4-41 kohdassa 415.1 kerrotaan vikavirtasuojien käytöstä lisäsuojauksena. Kohdan 415.1.1 mukaan "mitoitusvirraltaan enintään 30mA vikavirtasuojan käyttöä pidetään vaihtojännitejärjestelmissä lisäsuojauksena, joka toimii perussuojauksen ja/tai vikasuojauksen vioissa tai kun käyttäjä on varomaton." Samassa standarsissa kohdassa 415.1.2 määritellään, että: "vikavirtasuojan käyttöä ei hyväksytä yksinomaisena suojausmenetelmänä." Vikavirtasuoja toimii siis lisäsuojauksena ja standardin SFS 6000-4-41 kohdan 411.3.3 mukaan vaihtosähköjärjestelmissä täytyy käyttää vikavirtasuojaa, joka mitoitusvirraltaan enintään 30 mA

- "suojaamaan mitoitusvirraltaan enintään 20 A tavanomaisia maallikoiden käyttämiä pistorasioita
- suojaamaan ulkona käytettävää, mitoitusvirraltaan enintaan 32 A pistorasiaa tai siirrettävää laitetta."

Kohdassa 411.3.3 määritellään myös, että "poikkeus lisäsuojavaatimuksista voidaan tehdä:

- erityiselle määrätyn laitteen liittämiseen tarkoitetulle pistorasialle tai
- pistorasioille, joita käytetään ammattihenkilön tai opastetun henkilön valvomana teollisissa tai kaupallisissa rakennuksissa." (SFS käsikirja 600-1, 94.)

3.6 Selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyydellä tarkoitetaan, että suojalaitteen tulisi toimia ainoastaan sen varsinaisella suojausalueella. Lähimpänä vikaa olevan suojalaitteen tulisi toimia ylikuormitus- tai oikosulkutilanteissa ensimmäisenä. (Tiainen 2010, 103.)

Selektiivisyyden voi tarkistaa vertailemalla suojalaitteiden ominaiskäyriä. Selektiivisyys on saavutettu, jos jälkimmäisen suojalaitteen ominaiskäyrä on sitä aiemman suojalaitteen ominaiskäyrän alapuolella eivätkä käyrät leikkaa toisiaan millään ylivirran arvoilla. Tällöin vikaa lähempänä oleva suojalaite laukeaa ensimmäisenä. Täydellistä selektiivisyyttä ei välttämättä ole tarpeen saavuttaa, sillä sen toteuttaminen saattaa johtaa suureen ylimitoitamiseen. (Tiainen, 2010 s.103.)

3.7 Jännitteenalenema

Standardin SFS 6000-5-52 opastavan liitteen 52G:n mukaan jännitteenalenema liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välillä ei pitäisi olla

- pienjänniteasennuksessa, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta isompi kuin
 - 3 % valaistuksessa
 - 5 % muussa käytössä
- pienjänniteasennuksessa, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä isompi kuin
 - 6 % valaistuksessa
 - 8 % muussa käytössä.

Standardissa on myös huomautuksena, että "suurempi jännitteenalenema voi olla hyväksyttävä moottoreilla käynnistyksen aikana sekä muilla laitteilla, joilla on suuri käynnistys virta." Tämä edellyttää kuitenkin kummassakin tapauksessa, että jännitteen vaihtelut säilyvät arvoissa, jotka on määritelty laitteita koskeissa laitestandardeissa. (SFS-käsikirja 600-1, 2012 s.262.)

Jännitteenalenema voidaan laskea kaavoilla 7 ja 9 sekä suhteellinen jännitteenalenema kaavalla 10. Kaavaa 7 käytetään, kun lasketaan jännitteenalenemaa tasajännitteellä. Laskettaessa jännitteenalenemaa yksivaiheisella vaihtojännitteellä käytetään kaavaa 8 ja laskettaessa jännitteenalenemaa kolmivaiheisella vaihtojännitteellä käytetään kaavaa 9. (Tiainen, 2012 s.233.)

$$\Delta U = I * 2 * r * l \quad (7)$$

$$\Delta U = I * 2 * l * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (8)$$

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (9)$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \quad (10)$$

Kaavoissa 7, 8, 9 ja 10:

ΔU = jännitteenalenema [V]

I = kuormitusvirta [A]

l = johdon pituus [km]

r = ominaisresistanssi [Ω/m]

x = ominaisreaktanssi [Ω/m]

U_n = nimellisjännite

φ = jännitteen ja virran välinen kulma

Δu = suhteellinen jännitteenalenema. (Tiainen, 2012 s.233–234.)

3.8 Valaistus

Seuraavissa luvuissa kerrotaan valaistuksen suunnittelun vaatimuksia ja kerrottu hieman valaistuksen suunnitteluun käytettävästä DIALux-ohjelmasta. Valaistus ja sen suunnittelu on laaja-alainen, joten tässä opinnäytetössä ei käydä kaikkea valaistuksen suunnitteluun liittyviä asioita.

3.8.1 Valaistuksen suunnittelu

Valaistuksen suunnittelua ohjaa mm. standardi SFS-EN 12464-1, joka määrittää valaistusvaatimukset henkilöiden sisätyötiloille. Standardi käsittelee yleisimpiä näkötehtäviä ja esittää valaistusvaatimukset eri tiloille, muttei teknisiä ratkaisuja valaistuksen toteutukselle. Tällöin suunnittelijalle jää vapaus soveltaa teknisiä ratkaisuja. Standardissa EN 12464-1 määritellään tilakohtaiset ohjeavot valaistusvoimakkuudelle, kiusahäikäisyydelle, yleistasaisuudelle ja värintoistolle. (ST 58.02, 1-2.)

Valaistuksen suunnittelun perusteina ovat mm. valaistusympäristö, luminanssijakauma ja valaistusvoimakkuus sekä häikäisy. Jotta valaistusvaatimukset täytyisivät, tulee näiden kolmen perustarpeen toteutua:

- näkömukavuus, työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa
- näkötehokkuus, työntekijä pystyy suoriutumaan tehtävästään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempijaksoisesti
- turvallisuus. (ST 58.02, 2.)

Tärkeimpiä valaistusympäristöön vaikuttavia tekijöitä ovat:

- luminanssijakauma
- valaistusvoimakkuus
- valon suuntaus
- valon vaihtelevuus
- valon väri ja värintoisto-ominaisuudet
- häikäisy
- välkyntä. (ST 58.02, 2.)

Luminanssijakauma vaikuttaa silmien sopeutumistasoon ja vaikuttaa kohteen näkyvyyteen. Standardissa otetaan kantaa luminanssijakaumaan määrittelemällä tilakohtaiset valaistusvoimakkuusvaatimukset, suositellut heijastuskertoimet tärkeille hajaheijastaville sisäpinnoille ja suljetun tilan tärkeiden pintojen ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden. Jotta saavutetaan hyvä luminanssijakauma, käytetään tärkeiden pintojen heijastumissuhteita:

- katto 0,7...0,9

- seinät 0,5...0,8
- tärkeät esineet esim. koneet tai kalusteet 0,2...0,7
- lattia 0,2...0,4. (ST 58.02 s.2.)

Suljetuissa tiloissa tärkeiden pintojen ylläpidettävä keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m ja valaistusvoimakkuuden tasaisuus U_0 tulisi olla:

- seinillä $E_m > 50$ lx ja $U_0 \geq 0,1$
- katossa $E_m > 30$ lx ja $U_0 \geq 0,1$. (ST 58.02, 3.)

Kaikissa tiloissa pintojen valaistusvoimakkuusvaatimuksien täyttyminen ei käytännössä ole mahdollista. Tämä voi johtua tilan koosta, monimuotoisuudesta ja toiminnallisista syistä. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi teollisuus- ja varastotilat. Toimistot, opetustilat, terveydenhuoltotilat ja yleiset sisäänkäynti-, käytävä-, ja porrastilat tai vastaavien tilojen seinät ja katot tulee olla paremmin valaistuja. Näille on määritelty erilaiset pintojen ylläpidettävät valaistusvoimakkuudet. (ST 58.02, 3.)

Standardin SFS-EN 12464-1 määritellyt valaistusvoimakkuuden arvot ovat ylläpidettäviä valaistusvoimakkuuksia eli vanhan asennuksen arvoja. Näissä arvoissa on siis otettu huomioon lamppujen valovirran alenema ja likaantumisen vaikutus. Standardissa määritellyt tilakohtaiset arvot ovat keskimääräisiä valaistusvoimakkuuksia työalueella. Työalue voi olla vaaka-, pystysuora tai kalteva ja jos työaluetta ei tunneta, koko tilan aluetta käsitellään työalueena tai koko alue on valaistava tasaisesti. Tunnettaessa tilan työalue, sen välitöntä lähiympäristöä ja tausta-aluetta ei tarvitse valaista samoilla vaatimuksilla kuin työaluetta. ST-kortin 58.02 taulukossa 1 on esitetty, miten työalueen välitön lähiympäristön valaistus riippuu työalueen valaistusvoimakkuudesta. (ST 58.02, 3.)

Häikäisy voi olla kiusahäikäisyä tai estohäikäisyä. Kiusahäikäisyyttä aiheuttaa epämiellyttävä tunne, muttei välttämättä heikennä näkemistä. Estohäikäisy ei välttämättä aiheuta epämiellyttävää tunnetta, mutta heikentää näkemistä. Kiusahäikäisyä voi aiheuttaa esimerkiksi valaisimet ja ikkunat. Estohäikäisy ei yleensä ole ongelma, jos kiusahäikäisy saadaan poistettua. Häikäisyn rajoittaminen on tärkeää varsinkin jos työskennellessä katse suuntautuu vaakatason yläpuolelle. Kiusahäikäisyyden raja-arvot ilmoitetaan häikäisyindeksillä UGR. UGR-arvoa ei voi käyttää epäsuoran valaistuksen tai valokattojen aiheuttaman häikäisyn arvioimiseen. (ST 58.02, 3-4.)

Hyvät värintoisto-ominaisuudet valaistuksessa ovat tärkeitä näkemisen sekä viihtyvyyden kannalta ja suuntaamalla valoja voidaan korostaa kohteita sekä parantaa kolmiulotteisten kohteiden näkyvyyttä. Värintoisto-ominaisuuksia kuvataan värintoistoindeksillä R_a . Välykyntää ei saisi esiintyä ja valaistuksen suunnittelu pitää toteuttaa sen mukaisesti. (ST 58.02, 4-5.)

3.8.2 DIALux

Valaistuksen suunnitteluun käytetään yleensä valaistuksen suunnitteluohjelmia. Näitä ohjelmia on monia, yksi niistä on DIALux. DIALux valaistuksen suunnitteluohjelmasta on kaksi eri ohjelmaversiota, DIALux 4 ja DIALux evo 6. Nämä ohjelmat eroavat toisistaan siten, että DIALux 4 on kevyempi ja yksinkertaisempi ohjelma kuin DIALux evo 6.

DIALux 4-ohjelmalla voidaan tehdä ja mallintaa yksittäisen huoneen valaistuksen suunnittelu sekä tehdä tievalaistuksen suunnittelu. DIALux 4-ohjelmalla voidaan myös ottaa huomioon päivänvalon vaikutus ja tehdä hätävalaistuksen suunnittelua sekä urheilukenttien valaistuksen suunnittelua. DIALux evo 6:lla voidaan suunnitella ja mallintaa koko rakennus kerralla tai vain yksittäinen huone. DIALux evo 6:lla voidaan myös tehdä samaan projektiin sekä sisävalaistuksen suunnittelu että ulkovalaistuksen suunnittelu, tämä ei onnistu DIALux 4:lla. DIALux evo 6:ssa voidaan myös ottaa huomioon päivänvalo ja tehdä päivänvalo-ohjauksia, mutta hätävalaistus ja urheilukenttien valaistusta ei voida suunnitella kuin DIALux 4:lla.

Käyttämällä DIALux:a voidaan rakennus tai yksittäinen tila mallintaa 3D-mallina, sekä syöttää kaikki tilan tai tilojen valaistuksen laskentaan liittyvät tiedot ohjelmaan. Tämä nopeuttaa valaistuksen laskentaa ja saadaan kerralla otettua huomioon kaikki valaistukseen liittyvät tekijät. Samalla saadaan mallinnettua tila ja nähdään valon jakautuminen tilassa tai tiloissa sekä voidaan tarkastella valaistusvoimakkuutta tilan eri pinnoilla ja kohdissa. Valaistuksen suunnitteluohjelmaa käyttämällä voidaan havainnollistaa valaistuksen käyttäytyminen käytännössä sekä saadaan tarkat laskentatulokset tilasta tai tiloista.

4 DOKUMENTOINTI

Sähkösuunnittelun tuotoksena ovat aina sähkösuunnitelmat eli dokumentit. Näitä dokumentteja käytetään sähköasennuksia tehdessä. Dokumentointiin käytetään kaavioita, piirustuksia ja taulukoita, joista ilmenee seuraavia tietoja:

- virtapiirien laji ja rakenne
 - kulutuspisteiden sijainti
 - johtimien lukumäärä ja koko
 - johtolaji
 - johtotyyppi
- tiedot suoja-, kytkin ja erotinlaitteiden ominaisuuksien ja sijaintien tunnistamiseen. (Tiainen 2012, 179.)

Rakennuskohteen asennuksien dokumenteista, tarpeen mukaan, tulisi löytyä:

- johtimien tyypit ja poikkipinta-alat
- virtapiirien pituudet
- suojalaitteen luonne ja tyyppi
- suojalaitteiden mitoitusvirrat ja asetelut
- suurimmat oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden katkaisukyvyt. (Tiainen 2012, 179.)

Suunnitteludokumentteihin sisältyy myös laskelmat, joista selviää, että suojausvaatimukset toteutuvat (Tiainen 2012, 180).

4.1 Nousujohto- ja maadoituskaavio

Nousujohtokaaviossa esitetään rakennuksen nousujohtot periaatteellisena kaaviona. Nousujohtokaaviosta nähdään pääkeskukseen tulevat ja siitä lähtevät kaapelit. Nousujohtokaaviosta tulisi ilmetä nousujohtojen pituudet ja kaapelityypit sekä jakokeskukset.

Maadoituskaaviossa esitetään rakennuksen maadoitus ja potentiaalinen tasaus periaatteellisena kaaviona. Standardin SFS 6000-5-54 kohdan 542.1.4 mukaan "maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on saada aikaan johtava yhteys maahan, joka:

- on luotettava ja sopiva asennuksen suojausvaatimukseen
- voi johtaa maasulkuvirrat ja suojajohtimien virrat maahan aiheuttamatta termisiä lämpö- tai sähkömekaanisia rasituksia ja näistä virroista johtuvia sähköiskuja
- tarvittaessa soveltuu myös toiminnallisiin tarkoituksiin
- on vankkarakenteinen tai mekaanisesti suojattu ja arvioituihin ulkoisiin olosuhteisiin verrattuna kestää riittävästi korroosiota." (SFS käsikija 600-1 2012, 302.)

Standardin SFS6000-4-41 kohdassa 411.3.1.1 määritellään suojamaadoituksesta, että

- "jännitteelle alttiit osat on kytkettävä suojamaadoitusjohtimeen kunkin maadoitustavan mukaisesti.

- Samanaikaisesti kosketeltavat jännitteelle alttiit osat on yhdistettävä samaan maadoitusjärjestelmään yksittäin, ryhmissä tai yhteisesti.
- suojamaadoitukseen käytettävien johtimien on täytettävä SFS 6000-5-54 vaatimukset
- kussakin piirissä on oltava suojamaadoitusjohdin, joka yhdistetään asianomaiseen suoja- maadoitus järjestelmään." (SFS käsikirja 600-1 2012, 92.)

Standardin SFS6000-4-41 kohdassa 411.3.1.2 suojaavasta potentiaalintasauksesta määritellään, että: "jokaisessa rakennuksessa suojaavaan potentiaalintasaukseen on kytkettävä suojamaadoitusjärjestelmä, maadoitusjohdin, päämaadoituskisko ja seuraavat johtavat osat:

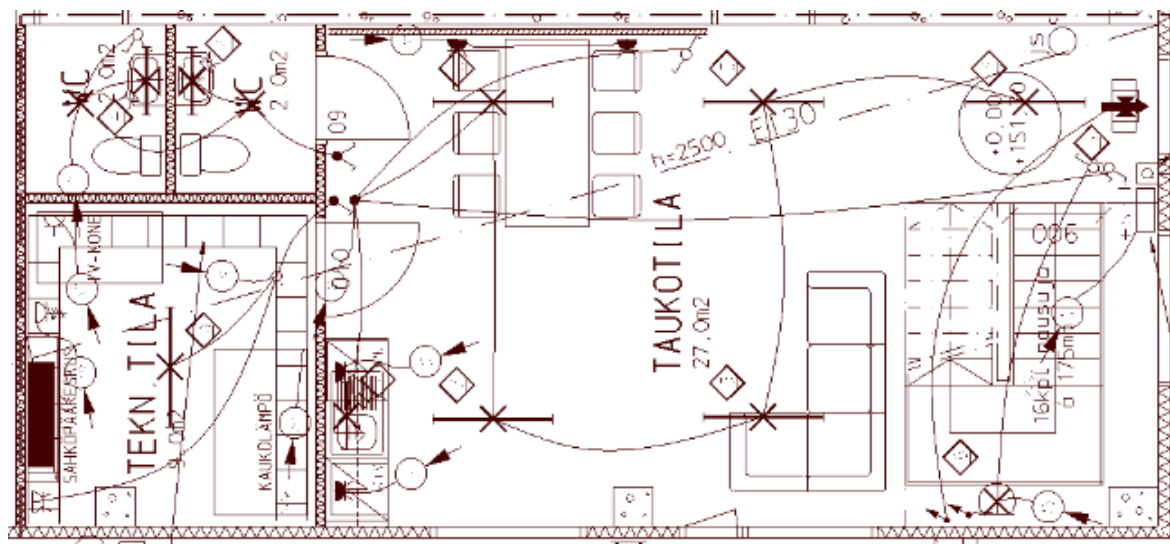
- rakennukseen tulevat metalliputket, esim. vesi-, kaasu- ja kaukolämpöputket
- rakenteiden muut johtavat osat jos ne ovat kosketeltavissa normaalissa tilanteessa, metalliset keskuslämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät
- betonirakenteiden rakenneteräkset, jos liittäminen on mahdollista rikkomatta rakenteita." (SFS käsikirja 600-1 2012, 92.)

Standardin SFS 6000-4-41 kohdan 411.4.2 mukaan TN-järjestelmissä, joissa sähköliittymää syötetään verkosta, jossa on käytössä PEN-johdin, täytyy tehdä maadoitusjärjestelmä, joka sisältää maadoituselektrodin. Standardin SFS 6000-5-54 kohdan 542.1.2 mukaan maadoituselektrodi on liitettävä maadoitusjohtimella päämaadoituskiskoon. Standardissa on esitetty myös minimikoot maadoituselektrodeille. Kuparilla poikkipinta-ala täytyy olla 16 mm^2 , kuumasinkityllä teräksellä 90 mm^2 , ruostumattomalla teräksellä 90 mm^2 ja betoniin upotetulla teräksellä 90 mm^2 . (SFS käsikirja 600-1 2012, 94,302.)

4.2 Tasokuvat

Tasokuvissa esitetään rakennuskohteen sähköjärjestelmät ja niiden pistesijoitukset sekä ryhmitykset ja ainakin vahvavirtajärjestelmien johdotukset. Tasokuvasta tulee käydä ilmi kaikki sähkökalusteet, niiden lukumäärä ja sijainti sekä mahdolliset positiot. Tasokuvasta nähdään myös kaapelihyllyt ja johtoreitit asennuskorkoineen. Tasokuvan on tarkoitus toimia työmaalla olevalle sähköasentajalle kuvana, josta näkee kaikki sähkötekniset järjestelmät ja niiden sijoitukset. Tasokuva toimii siis sähköasentajan yhtenä työkuvana, jonka mukaan asennustyö tehdään. Tasokuvissa näkyvistä sähköteknisistä järjestelmistä on usein olemassa myös muita kuvia tai kaavioita, jotka täydentävät tasokuvissa esitettyjä järjestelmiä sekä niiden toimintaa ja asennusratkaisuja.

Kuvassa 1 on esimerkki miltä tasokuva voi näyttää, kuva on tässä opinäytetyössä käsiteltävästä hallirakennuksesta. Kuvassa 1 on hallirakennuksen ensimmäisessä kerroksessa sijaitseva taukotila, WC:t ja tekninen tila.



KUVA 1. Esimerkki tasokuvasta

Tasokuvien tärkeimpänä tehtävänä on näyttää sähköpisteiden ja laitteiden sijainti sekä asennuskorkeus, jos ne poikkeavat normaaleista asennuskorkeuksista. Tasokuvat eivät välttämättä anna tietoa eri sähkötekniisten järjestelmien toiminnoista tai vaatimuksista. Näitä varten tehdään eri järjestelmistä järjestelmäkaaviot.

4.3 Järjestelmäkaavio

Järjestelmäkaavion on tarkoitus selventää eri sähköisten järjestelmien toimintatapa ja tekniset vaatimukset. Järjestelmäkaavioita voivat olla esim:

- antennijärjestelmän järjestelmäkaavio
- yleiskaapeloinnin järjestelmäkaavio
- turvavalistusjärjestelmän järjestelmäkaavio
- äänentoistojärjestelmän järjestelmäkaavio
- paloilmoinjärjestelmän järjestelmäkaavio
- savunpoiston järjestelmäkaavio.

Järjestelmäkaavioden perusteella tiedetään eri järjestelmien toiminta ja johdotukset, jotka eivät välttämättä näy tasokuvissa. Esimerkiksi antennijärjestelmän pisteet ja sijoitukset näkyvät tasokuvissa, mutta tasokuviin ei yleensä piiretä antennijärjestelmän johdotuksia vaan ne löytyvät antennijärjestelmän järjestelmäkaaviosta. Järjestelmäkaaviot voivat olla periaatteellisia, mutta järjestelmäkaaviosta tulee kuitenkin käydä ilmi järjestelmän periaate niin, että asennustyö on mahdollista.

4.4 Keskuskaavio ja piirikaavio

Keskuskaaviossa esitetään sähkökeskuksen tulot ja lähdöt sekä keskuksessa olevat komponentit. Keskukset rakennetaan keskuskaavion pohjalta ja siksi onkin tärkeää, että keskuskaaviossa otetaan huomioon myös kasvuvara. Keskuskaavioista nähdään myös tasokuvassa esitettyjen ryhmänumeroiden ryhmien nimet.

Keskuskaaviosta tulee käydä ilmi:

- keskuksen tiedot, nimellisvirta ja oikosulkukestoisuus
- suojalaitteiden tyypit, koot ja asetteluarvot aseteltavissa suojissa, ellei ole esitetty erillisessä taulukoissa tai tiedostoissa
- tiedot piirikaavioista, ellei erillisessä luettelossa. (Tiainen 2012, 182.)

Piirikaavioiden tarkoitus on esittää virtapiirien ohjaukset, niin että ne voidaan toteuttaa. Piirikaavioissa yleensä esitetään pääpiiri ja siihen liittyvä ohjauspiiri sekä niiden komponentit ja johdotukset.

5 HALLIRAKENNUKSEN SÄHKÖISTYS

Seuraavissa luvuissa käsitellään hallirakennuksen sähköistystä. Rakennuksessa, jossa on sosiaalitiloja kahdessa kerroksessa ja muuten rakennus on yksikerroksinen. Hallirakennukseen kuuluu kalusto- ja huoltohalli, joka on 209 m² ja jonka yhteydessä on vielä varatilaa 19 m². Lisäksi hallirakennuksessa on kaksi varasto- ja työtilahallia, joista kummatkin ovat 103 m²:n kokoisia ja niissä on toimisto sekä wc- ja pesuhuonetilat. Hallirakennuksessa on myös 207 m² kokoinen katos. Hallirakennuksen tilavuus, katos mukaan luettuna on 4 290 m³ ja kerrosalaa on yhteensä 584 m². Rakennuksen sosiaalitiloista ensimmäisessä kerroksessa on taukotila, tekninen tila ja kaksi wc:tä. Toisessa kerroksessa on toimistotilaa, wc, pukuhuone, pesuhuone ja sauna. IV-konehuone on myös hallirakennuksen toisesta kerroksesta.

Sähkösuunnittelua tehtäessä tulee ottaa huomioon, että hallirakennuksen toimisto- ja varastohalleihin ei tulnaisi välttämättä heti tekemään toimisto- ja wc-tiloja. Sähkösuunnittelu tehtiin kuitenkin pohjapiirusten mukaisesti, jotta osattaisiin huomioida toimisto- ja wc-tilojen sähkövaraukset sekä tiloista olisi valmiit suunnitelmat sitten kun ne rakennettaisiin. Sähkösuunnitteluun vaikutti myös se, että hallirakennuksen tulisi olla muunneltavissa, esimerkiksi kalusto ja huoltohalli tulnaisiin luultavasti jakamaan jonkinlaisella pressuseinällä. Valaistusta suunniteltaessa tulikin ottaa huomioon esimerkiksi, syttyisivätkö kaikki valot kerralla vai pitääkö kaluste- ja huoltohallin valaisimet syttyä vain osa kerrallaan. Kylmäkatos tulnaisiin luultavasti muuttamaan tulevaisuudessa lämpimäksi tilaksi ja joitakin hallirakennuksen väliseiniä tulnaisiin tulevaisuudessa ehkä poistamaan. Hallirakennuksessa ei ollut tarvetta yleis- tai antennikaapeloinnille.

Koska hallirakennuksen rakentaminen on vielä vaiheessa, voi tässä opinnäytetyössä esitetyt sähkökuvat vielä muuttua. Sähkösuunnittelusta syntyneitä dokumentteja on esitetty liitteissä (1-9).

5.1 Mitoitusarvot

Tämän opinnäytetyön aiheena olevan hallirakennuksen mitoitusarvojen selvittäminen ja arviointi oli haastavaa, sillä hallin lopullista käyttötarkoitusta ei ollut tiedossa. Tiedossa oli vain, ettei hallin tehontarve tule aluksi olemaan niin suuri kuin ehkä tulevaisuudessa. Tämä teki mitoittamisesta haasteellista, sillä tämäntyyppisten rakennusten tehontarpeen arviointiin käytetään pääasiassa rakennuksessa olevien sähkölaitteiden tehoa. Mitoitusarvoina toimivat myös rakennuksen muut tehontarpeet, kuten valaistus (Taulukko 2).

Koska tämäntapaisten rakennusten tehontarpeen laskentaan ei ole valmiita laskentakaavoja samaan tapaan kuin asuinrakennuksille, on hyvä hyödyntää kokemusperäistä tietoa ja taitoa. Laskelmia tehtäessä ohjeistuksena toimivat arviot siitä, ettei hallirakennuksessa tulisi aluksi olemaan kovin suurta toimintaa tai tehon tarvetta. Arvioitiin, että hallirakennuksen pääsulakkeen kooksi riittäisi sen hetkisen tarpeiden mukaan maksimissaan 50 A sulake, mutta liittymisjohto olisi mitoittettava suurempaan tehontarpeeseen.

Hallirakennuksessa tulee todennäköisesti tulevaisuudessa olemaan jonkinlaista autonkorjaus toimintaa. Hallissa käytettävät sähkölaitteet on arvioitu mahdollisesti tulevaisuudessa olevan käyttötarkoituksen mukaan. Tämän tiedon perusteella on selvitetty laitteita, joita autokorjaamoissa voi olla käytössä ja laskettu niiden laitteiden tehoista kokonaisteho, jota käytetään pääsulakkeen ja liittymisjohdon mitoituslaskelmissa. Taulukossa 1 on esitetty autokorjaamossa mahdollisesti käytettäviä laitteita ja niiden tehohaarukat sekä laskelmissa käytettyjä tehoja.

Laskiessa mitoituksia oli huomioitava, että pääsulakkeiden koko vaikuttaa yleensä liittymämaksuihin. Koska hallirakennuksen tehontarve ja käyttö tulisi olemaan aluksi vähäistä, ei haluttu mitoittaa pääsulaketta tulevaisuuden käyttötarkoituksen mukaisesti. Hallirakennuksen pääsulakkeen mitoituksesta tehtiin kolme mitoituslaskelmaa. Laskelmassa 1 pääsulake on mitoitettu suurimman arvioidun tehontarpeen mukaan, mikä voisi olla tulevaisuudessa. Tätä sulakekokoa ei kuitenkaan tulisi käyttää, ellei hallin tehontarve tulevaisuudessa nousisi niin suureksi. Laskelmissa 2 ja 3 haettiin järkevän kokoista pääsulaketta hallirakennuksen vähäisemmän tehontarpeen mukaan. Liittymisjohto haettiin kuitenkin mitoittaa suurimman arvioidun tehontarpeen mukaan, jotta tulevaisuudessa voitaisiin nostaa pääsulakkeiden kokoa tehontarpeen muuttuessa vaihtamatta liittymisjohtoa. Pääsulakkeen koon muuttaminen on helpompaa ja vähemmän työlästä kuin liittymisjohdon vaihtaminen suuremmaksi.

TAULUKKO 1. Esimerkkejä autokorjaamoissa olevista laitteista ja niiden tehohaarukat sekä laskennassa käytetyt tehot

Mahdollisia laitteita autokorjamossa	Teho	Laskennassa käytetty teho [kW]	
Nostin (ei raskaskalusto)	2,2 kW -6,6 kW		6,6
Ruuvikompressori	7,5-15 kW		12
Jarrunsorvaus	n. 1 kW		1
Matalapainepesuri	6 kW		6
Puristin	0,75-5,5 kW		5,5
Jarrutestilaitte	2,5-7,4		6
Renkaanpainotuskone	0,2 kW		0,2
renkaanvaihto kone	0,75-1,1 kW		1,1
induktiokuumennin	3,7-16 kW		12
Hitsauslaite	6 kW		6
		Yht.	56,4

TAULUKKO 2. Rakennuksen muu tehontarve.

Rakennuksen	Teho [kW]
Valaistus	6
Kiuas	6
Lämmittimet	2
Ilmanvaihto	11
Yht.	25

5.2 Pääsulakkeen mitoitus

Pääsulake suojaa rakennuskohteen liittymiskaapelia. Pääsulaketta mitoittaessa tarvitaan rakennuskohteen mitoittava teho. Rakennuskohteen mitoittavasta tehosta voidaan laskea mitoitusvirta, jonka avulla voidaan määrittää rakennuskohteen pääsulake.

Rakennuskohteen mitoittava teho hallirakennuksessa saadaan hallissa käytettävien sähkölaitteiden tehojen perusteella. Laitteiden yhteenlasketuista tehoista saadaan kokonaisteho P , jota käytetään pääsulakkeen mitoituslaskelmissa. Kokonaistehon lisäksi on määriteltävä tasauskerroin k_1 tai samanaikaisuuskerroin k_2 , kasvukerroin g sekä tehokerroin $\cos\varphi$. Pääsulakkeen mitoituksessa voidaan käyttää kaavoja 11 ja 12.

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} * k * g \quad (11)$$

kaavassa 1

S = Näennäisteho [kVA]

P = teho [kW]

$\cos\varphi$ = tehokerroin

k = tasauskerroin tai samanaikaisuuskerroin

g = kasvukerroin.

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} * U_p} \quad (12)$$

kaavassa 2

I_B = piirin suunniteltu virta

U_p = verkon pääjännite [kV].

5.2.1 Pääsulake, laskelma 1

Autokorjaamoissa käytettäviä laitteita on paljon ja laitteiden tehot vaihtelevat suuresti. Koska hallirakennuksen lopullisesta käyttötarkoituksesta ja siellä käytettävistä laitteista ei ole varmuutta, kerrotaan taulukon 1 teho 56,4 kW kahdella. Tällöin laitteiden kokonaistehoksi tulee 112,8 kW. Tällä varmistetaan osittain, että laskennassa käytettävä teho riittää, vaikka hallirakennukseen tulisikin tulevaisuudessa hyvin suuritehoisia autokorjaamo- tai muita sähkölaitteita.

Laitteiden tehojen lisäksi mitoitukseen vaikuttavat valaistus, lämmitys ja ilmanvaihto sekä muut mahdolliset laitteet. Tässä työssä käsiteltävään hallirakennukseen tulee kaukolämpö, joten lämmitystä ei sinänsä tarvitse ottaa huomioon. Halliin on tulossa kuitenkin muutama sähkölämmitin ja sosiaalitulojen saunan kiuas. Rakennuksen muut tehontarpeet on myös arvioitu tarkempien tietojen puuttuessa ja ne on esitetty taulukossa 3.

Kun lasketaan yhteen rakennuksessa käytettävien laitteiden kokonaisteho 112,8 kW ja rakennuksen muun tehontarpeen kokonaisteho 25 kW, saadaan koko rakennuksen kokonaisteho $P = 137,8$ kW. Tätä tehoa tullaan käyttämään myös liittymisjohdon mitoituksessa (luku 5.2).

Kokonaistehon ollessa selvillä voidaan jatkaa pääsulakkeen mitoittamista laskemalla kokonaistehosta P näennäisteho S kaavalla 11. Jotta näennäisteho voitaisiin laskea, määritellään ensin laskentaa varten tasaukerroin k_1 ja kasvukerroin g sekä tehokerroin $\cos\varphi$. Tässä kohteessa ensimmäisessä laskelmassa käytettävien kertoimien arvot ovat:

- $k_1 = 0,6$
- $g = 1,3$
- $\cos\varphi = 0,8$.

Näennäistehoksi saadaan:

$$S = \frac{137,8 \text{ kW}}{0,8} * 0,6 * 1,3 \approx 134,36 \text{ kVA}.$$

Kun näennäisteho on laskettu, voidaan laskea piirin suunniteltu virta I_B kaavalla 12. Piirin suunniteluksi virraksi saadaan:

$$I_B = \frac{134,36 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} \approx 193,92 \text{ A}.$$

Piirin suunnitellun virran ollessa selvillä voidaan kaavan 1 ehtojen mukaisesti valita sulakekoko. Kaavassa 1 olevan epäyhtälön mukaan piirin suunnitellun virran I_B tulee olla pienempi kuin suojalaitteen mitoitusvirta I_n . Tämän ehdon mukaisesti valitaan pääsulakkeen koko standardissa SFS 6000-5-52 taulukon C.52.1 mukaisesti (taulukko 4), sulakekoon tulee siis olla mitoitusvirtaa suurempi.

TAULUKKO 3. Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisvirroilla(SFS-käsikirja 2012, 258).

gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta [A]	Johdon sallittu kuormitus vähintään [A]
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883

Pääsulakkeen kooksi saadaan taulukon 4 mukaan 200 A. Tämä pääsulakkeen mitoitus on ajateltu tulevaisuuden kannalta. Sulakekoko ei tule olemaan käytössä hallirakennuksessa vasta kuin tarvittaessa tulevaisuudessa. Näiden laskelmien mukaan haluttiin kuitenkin mitoittaa liittymisjohto, jotta liittymisjohto kestäisi tulevaisuuden tehontarpeen nousun. Näin mahdollistetaan rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuminen liittymisjohtoa vaihtamatta. Liittymisjohdon mitoitus on käyty läpi luvussa 5.2.

5.2.2 Pääsulake, laskelma 2

Tässä laskelmassa haetaan järkevämpää sulakekokoja hallirakennukselle, sillä tiedetään, ettei tehontarve tule aluksi olemaan niin suuri kuin laskelmassa 1. Pääsulaketta lähdetään mitoittamaan puolta pienemmällä teholla (68,9 kW), kuin laskelmassa 1. Laskelmaa 2 varten on myös määriteltävä kertoimet tasaukerroin k_1 ja kasvukerroin g sekä tehokerroin $\cos\varphi$. Tässä laskelmassa kertoimet ovat:

- $k_1 = 0,6$
- $g = 1,0$
- $\cos\varphi = 0,8$

Kasvukerroin g on määritelty ykköseksi, sillä alkuperäinen tehontarve on arvioitu niin suureksi, ettei pienempää sulakekokoa mitoittaessa koettu tarpeelliseksi huomioida kasvuvaraa.

Kokonaistehon P ollessa tiedossa, lasketaan taas näennäisteho S kaavalla 11.

$$S = \frac{68,9 \text{ kW}}{0,8} * 0,6 * 1,0 \approx 51,68 \text{ kVA}.$$

Tämän jälkeen lasketaan piirin suunniteltu virta eli mitoitusvirta I_B kaavalla 12.

$$I_B = \frac{51,68 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} \approx 74,59 \text{ A}.$$

Tämän jälkeen katsotaan taas standardin SFS 6000-5-52 taulukosta C.52.1, joka on esitetty taulukossa 4, sulakekoko pääsulakkeelle. Tämän laskelmien tuloksen mukaan pääsulakkeen kooksi saadaan 80A. Tämä sulakekoko koettiin kuitenkin vielä liian suureksi, joten tehtiin vielä kolmas laskelma.

5.2.3 Pääsulake, laskelma 3

Laskelmassa 3 tarkoituksena on saada mitoittua pääsulake pienemmäksi kuin laskelmissa 1 tai 2. Pääsulakkeen mitoitetaan teholla, joka on kolmaosan laskelman 1 kokonaistehosta 137,8 kW. Tällöin laskelmassa 3 käytettävä kokonaisteho P on 45,93 kW.

Laskelmassa 3 kertoimien tasaukerroin k_1 ja kasvukerroin g sekä tehokerroin $\cos\varphi$ arvot ovat samat kuin laskelmassa 2. Kertoimet ovat:

- $k_1 = 0,6$
- $g = 1,0$
- $\cos\varphi = 0,8$.

Tässäkin laskelmassa laskentatavat pysyvät samoina kuin edellisissä laskelmissa. Tällöin lasketaan ensin näennäisteho S kaavalla 11, jolloin näennäistehoksi saadaan:

$$S = \frac{45,93 \text{ kW}}{0,8} * 0,6 * 1,0 \approx 34,45 \text{ kVA}.$$

Tämän jälkeen lasketaan virta I_B kaavalla 12, josta saadaan:

$$I_B = \frac{34,45 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} \approx 49,7 \text{ A}.$$

Virran I_B perusteella voidaan valita pääsulakkeen kooksi, taulukon 4 mukaan 50 A. Koska hallirakennuksen tehontarve tulisi tarkempien arvioiden mukaan olemaan vielä pienempi todettiin, että 50 A sulakkeet pääsulakkeina olisivat vieläkin turhan suuret. Pääsulakkeiden kooksi valikoitui loppujen lo-

puksi 35 A sulakkeet, kun kokonaisteho on 35,93 kW. Tätä pääsulakekoon mitoittamiseen liittyviä laskelmia ei ole esitetty, sillä laskelmatavat on esitetty monesti.

5.3 Liittymisjohdon mitoitus

Liittymisjohdon tulee minimissään kestää pääsulakkeen nimellisvirta ja sen on aiheutettava riittävän suuri oikosulkuvirta oikosulkutilanteessa, jotta suojalaite laukeaa tarpeeksi nopeasti. SFS 6000 Standardi määrittelee liittymisjohdon laukaisuajaksi 5 sekuntia. Liittymisjohdon mitoitus aloitetaan kaapelin kuormitettavuuden määrittämisellä. Mitoitukseen käytetään kaavoja 2 ja 3. Kaavalla 3 voidaan johtaa kaava 13, jolla lasketaan johtimen jatkuvakuormitettavuus I_z .

$$I_z = \frac{k}{1,45} * I_n \quad (13)$$

kaavassa 13

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

k = Sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde.

Liittymiskaapelia mitoittaessa huomioidaan asennus- ja ympäristöolosuhteista johtuvat korjauskertoimet. Jakamalla johtimen jatkuva kuormitettavuus I_z , tarvittavilla korjauskertoimien tulolla saadaan selville johtimen kuormitettavuus, jossa on otettu huomioon asennusolosuhteet ja ympäristö. Korjauskertoimet tulee katsoa aina tapauskohtaisesti, eri korjauskertoimet löytyvät mm. SFS 6000 standardista.

Hallirakennuksen liittymisjohto mitoitetaan tässä tapauksessa pääsulakkeen mitoituslaskelman 1 tehontarpeen ja sulakekoon mukaisesti. Tällöin varmistetaan, että liittymisjohto on tarpeeksi suuri kun hallirakennuksen käyttötarkoitus muuttuu ja tehontarve kasvaa.

Liittymisjohdon mitoitus voidaan siis aloittaa laskemalla kaavalla 13 johdon jatkuva kuormitettavuus I_z . Luvussa 3.2 kerroin k määriteltiin gG-typin sulakkeilla seuraavasti:

k=2,1 kun $I_n \leq 4 \text{ A}$

k=1,9 kun $4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$

k=1,6 kun $I_n \leq 16 \text{ A}$ (Tiainen 2012, 133.)

Käytetään liittymisjohdon mitoituksessa k:n arvona 1,6:ta. Suojalaitteen nimellisvirran ollessa 200 A ja kertoimen k:n ollessa 1,6 johdon jatkuvaksi kuormitettavuudeksi saadaan:

$$I_z = \frac{1,6}{1,45} * 200 \text{ A} \approx 220,69 \text{ A}.$$

Jotta saataisiin todellinen johdon kuormitettavuus, täytyy käyttää korjauskertoimia. Seuraavaksi on esitetty mahdollisia tilanteita, joiden takia voidaan joutua käyttämään korjauskertoimia.

Standardissa SFS 6000-5-52 kohdan B.52.2.1 mukaan: "kuormitettavuusarvoja valittaessa on referenssilämpötiloina käytetty seuraavia lämpötiloja:

- ilmassa oleville johtimille ja kaapeleille asennustavasta riippumatta 25 °C
- maahan asennetuille kaapeleille joko suoraan maassa tai maassa olevissa suoja putkissa 15 °C. (SFS käsikirja 600-1 2012, 240.)

Jos ympäristön lämpötilat eroavat edellä mainituista arvoista, täytyy käyttää korjauskertoimia, jotka on esitetty mm. standardissa SFS 6000. Tässä tapauksessa hallirakennuksen liittymisjohto tulee liittymispisteestä rakennukseen maassa, jonka lämpötilan oletetaan olevan 15 °C. Tässä tapauksessa korjauskerroin standardin SFS 6000-5-52 taulukon B.52.15 mukaan on 1,0 eli korjauskerrointa ei tarvitse ottaa huomioon.

Maan lämpötilan lisäksi mitoituksessa on otettava huomioon maan lämpöresistiivisyys, joka määräytyy maalajin mukaan. Standardin SFS 6000-5-52 kohdan B.53.2 mukaan: "Suomessa käytetään maan lämpöresistiivisyyden perusarvona 1,0 K·m/W"(SFS käsikirja 600-1 2012, 240.). Tällön maalaji olisi puolikuiva savi ja kostea sora (Tiainen 2010, 54.). Jos käytetään maan lämpöresistiivisyyden arvona perusarvoa, korjauskerroin olisi standardin SFS 6000-5-52 taulukon B.52.16 mukaan 1,0 eli korjauskerrointa ei tarvitse ottaa huomioon. Tässä tapauksessa oletetaan maalajin olevan maan lämpöresistiivisyyden perusarvon mukaista, joten mitoituksessa ei oteta maan lämpöresistiivisyyden korjauskerrointa huomioon.

Ympäristön olosuhteiden lisäksi on otettava huomioon, miten ja mille liittymisjohto on asennettu sekä onko useampia johtoja vierekkäin. Liittymisjohdon ollessa ainoa kaapeli, yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa korjauskerroin olisi 1,0 kuten oletetaan tässä tapauksessa (SFS-käsikirja 600-1 2012, 253). Tällöin korjauskerrointa ei tarvitse ottaa huomioon.

Kun korjauskertoimet on määritetty, voidaan laskea todellinen johdon kuormitettavuus, jakamalla I_z korjauskertoimien tulolla (kaava 14).

$$\text{Johdon kuormitettavuus} = \frac{I_z}{\text{Korjauskertoimien tulo}} \quad (14)$$

Vaikkei tässä tapauksessa tarvitsisi ottaa korjauskertoimia huomioon, lasketaan kuitenkin johdon todellinen kuormitettavuus havainnoillistamaan laskentatapaa. Johdon kuormitettavuudeksi korjauskertoimien jälkeen saadaan:

$$\text{Johdon kuormitettavuus} = \frac{220,69 \text{ A}}{(1*1*1)} = 220,69 \text{ A.}$$

Kun johdon todellinen kuormitettavuus on tiedossa, voidaan selvittää kaapelin poikkipinta-ala standardin SFS 6000-5-52 taulukon B.52.2 mukaisesti. Tässä vaiheessa on siis tiedettävä tai arvioitava liittymisjohdon asennustapa (luku 3.3). Hallirakennuksen liittymisjohdon oletetaan menevän maassa ja jonkin matkaa kivirakenteisella seinällä. Tällöin asennustavan katsotaan olevan asennustapa C, sillä se on asennusolosuhteista hankalampi.

SFS 6000-5-52 taulukon B.52.2 mukaan liittymisjohdon poikkipinta-alaksi saadaan alumiinijohtimille 150 mm^2 ja kupariselle johtimille 95 mm^2 . Hallirakennuksen liittymisjohdoksi tämän mitoituksen perusteella valitaan 150 mm^2 poikkipintainen alumiinikaapeli AXMK 4 x 150. Isoilla poikkipinnoilla alumiinikaapeli on taloudellisempi vaihtoehto.

5.4 Alakeskuksien sulakkeiden ja syöttöjohtojen mitoittaminen

Alakeskuksille tulevat syöttöjohdot ovat mitoitettu samoilla laskentaperiaatteilla kuin liittymisjohdon mitoituksessa. Koska laskentaperiaatteet on jo esitetty luvussa 5.3, niitä ei käsitellä enään tässä luvussa. Tässä luvussa on esitetty esimerkkilaskelma alakeskuksen syöttöjohdon mitoituksesta laskenta tuloksineen. Kaikille alakeskuksille tuli samat sulakkeet ja syöttöjohdot.

Laskennassa käytetty kokonaisteho P on $22,97 \text{ kW}$ ja kertoimien tasauskerroin k_1 ja kasvukerroin g sekä tehokerroin $\cos\varphi$ arvot ovat:

- $k=0,6$
- $g=1,3$
- $\cos\varphi = 0,8$.

Näennäistehoksi saadaan:

$$S = \frac{22,97 \text{ kW}}{0,8} * 0,6 * 1,3 \approx 22,39 \text{ kVA}.$$

Piirin suunnitelluksi virraksi eli mitoitusvirraksi I_B saadaan:

$$I_B = \frac{22,39 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} \approx 32,32 \text{ A}.$$

Sulakkeen kooksi saadaan 35 A , jolloin kuormitusvirraksi I_z saadaan

$$I_z = \frac{1,6}{1,45} * 35 \text{ A} \approx 38,62 \text{ A}.$$

Korjauskertoimeksi saadaan $0,72$ jos varaudutaan siihen, että yhdeksän kaapelia menevät yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa (SFS-käsikirja 2012, 253).

Johdon todelliseksi kuormitettavuudeksi saadaan tällöin:

$$\text{Johdon kuormitettavuus} = \frac{38,62 \text{ A}}{(0,72)} = 53,64 \text{ A}.$$

Käytettäessä asennustapaa C saadaan kuparijohtimilla poikkipinta-alaksi 10 mm².

5.5 Suojauksen toimivuus ja jännitteenalenema

Seuraavaksi tarkastellaan hallirakennuksen suojauksen toimivuutta. Verkkoyhtiön ilmoittama yksivaiheinen oikosulkuvirta on noin 2095 A. Käyttämällä kaavaa 5 voidaan laskea hallirakennuksen pääkeskusta edeltävän verkon impedanssi Z_v :

$$Z_v = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{0,95 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 2095} \approx 0,105.$$

Tämän jälkeen lasketaan pääkeskuksen impedanssi käyttämällä kaavaa 15.

$$Z_{k1} = Z_v + l \cdot z \cdot 2 \quad (15)$$

kaavassa 14

Z_{k1} = Pääkeskuksen impedanssi [Ω]

Z_v = verkon impedanssi [Ω]

l = johtimen pituus [km]

z = johtimen impedanssi [Ω /km].

Liittymisjohdon pituus sähköverkon liittymispisteestä pääkeskukselle on n. 50 m. Johtimen impedanssia määriteltäessä, kaapelin tarkat tiedot saadaan kaapelin valmistajalta. Kirjassa D1-2012, on esitetty taulukko kaapeleiden likimääräisistä impedanssiarvoista johdinlämpötilassa 80 °C. Näitä likimääräisiä arvoja voidaan käyttää laskelmissa. Alumiinikaapelille, joka on 4 x 150, likimääräiseksi impedanssiksi on määritetty 0,270 Ω /km. (Tiainen 2012, 95-96.)

Tällöin pääkeskuksen impedanssiksi saadaan:

$$Z_{k1} = 0,105 + 0,05 \cdot 0,270 \cdot 2 = 0,132.$$

Kun pääkeskusta edeltävä verkon impedanssi ja pääkeskuksen impedanssi ovat tiedossa, saadaan kokonaisimpedanssi, jolla voidaan laskea pääkeskuksen yksivaiheinen oikosulkuvirta I_k kaavalla 5:

$$I_k = \frac{0,95 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,132} \approx 1662,1 \text{ A.}$$

Laskettua yksivaiheista oikosulkuvirtaa I_k verrataan pienimpään sallittuun oikosulkuvirtaan gG-sulakkeelle 5,0 sekunnin toiminta-ajassa, joka 35 A sulakkeelle on 165 A ja 200 A sulakkeelle 1250 A. Näin ollen oikosulkuvirta voidaan todeta riittäväksi ja suojaus toimivaksi.

Lasketaan vielä esimerkiksi jännitteenalenema sekä suhteellinen jännitteenalenema pääkeskuksella kaavoilla 9 ja 10. Lähtötietojen ollessa:

$$I = 193,92 \text{ A}$$

$$l = 50 \text{ m}$$

$$r = 0,258$$

$$x = 0,080$$

$$U_n = 400$$

$$\cos\varphi = 0,80$$

$$\sin\varphi = 0,60$$

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) = 193,92 \text{ A} * 0,05 * \sqrt{3} * (0,258 * 0,8 + 0,080 * 0,6) = 4,27 \text{ V}$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% = \frac{4,27 \text{ V}}{400 \text{ V}} * 100\% \approx 1,07\%$$

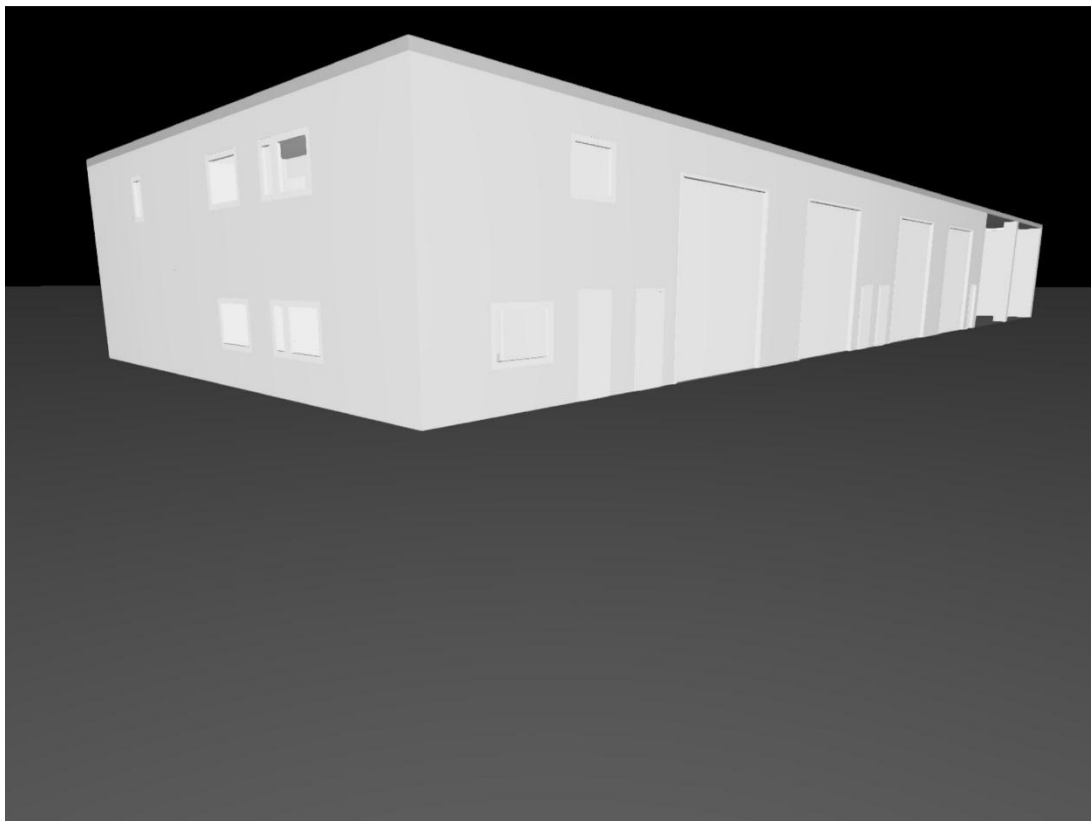
Jännitteenalenema jää siis alle sallitun 5% rajan.

5.6 Valaistus

Tätä työtä tehtäessä käytettiin valaistuksen suunnitteluohjelmia DIALux 4 ja DIALux evo 6. Valaistuksen suunnittelu aloitettiin ohjelmalla DIALux evo 6, mutta ohjelman käyttö oli uutta ja sen opettelu vei liikaa aikaa, joten valaistuslaskelmat päätettiin tehdä DIALux 4 -ohjelmalla. DIALux evo 6 -ohjelmalla kuitenkin mallinnettiin rakennus, jotta saataisiin parempia 3D-mallinnus kuvia, joista oleellisimmat on esitetty kuvissa (2-8).

Tarkoituksena oli suunnitella hallirakennuksen valaistus LED-valaisimia käyttämällä. Rakennuskohteen edetessä valaistussuunnittelu haluttiin tehdä myös loisteputkivalaisimilla. Tästä johtuen hallirakennukseen tehtiin useampi valaistuslaskelma. DIALux 4:llä saatuja valaistuksen laskentatuloksia, loisteputkivalaisimilla laskettuna on esitetty liitteissä (10-12).

Kuvassa kaksi näkyy koko hallirakennus mallinnettuna DIALux evo 6:lla. Hallirakennus on kuvattu ulkoa päin viistosti. Mallista näkee hyvin hallien nosto ovet, muut ovet ja ikkunat sekä avoimena olevan kylmän katokset.



KUVA 2. Hallirakennus

Kuvassa kolme on näkymä hallirakennuksen ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevasta taukotilasta, josta johtaa portaat toiseen kerrokseen toimistotilaan. Kuvassa neljä on taukotila ulko-ovelta katsottuna. Laskennassa taukotilassa käytettiin minor 2x28 valaisimia.



KUVA 3. Taukotila



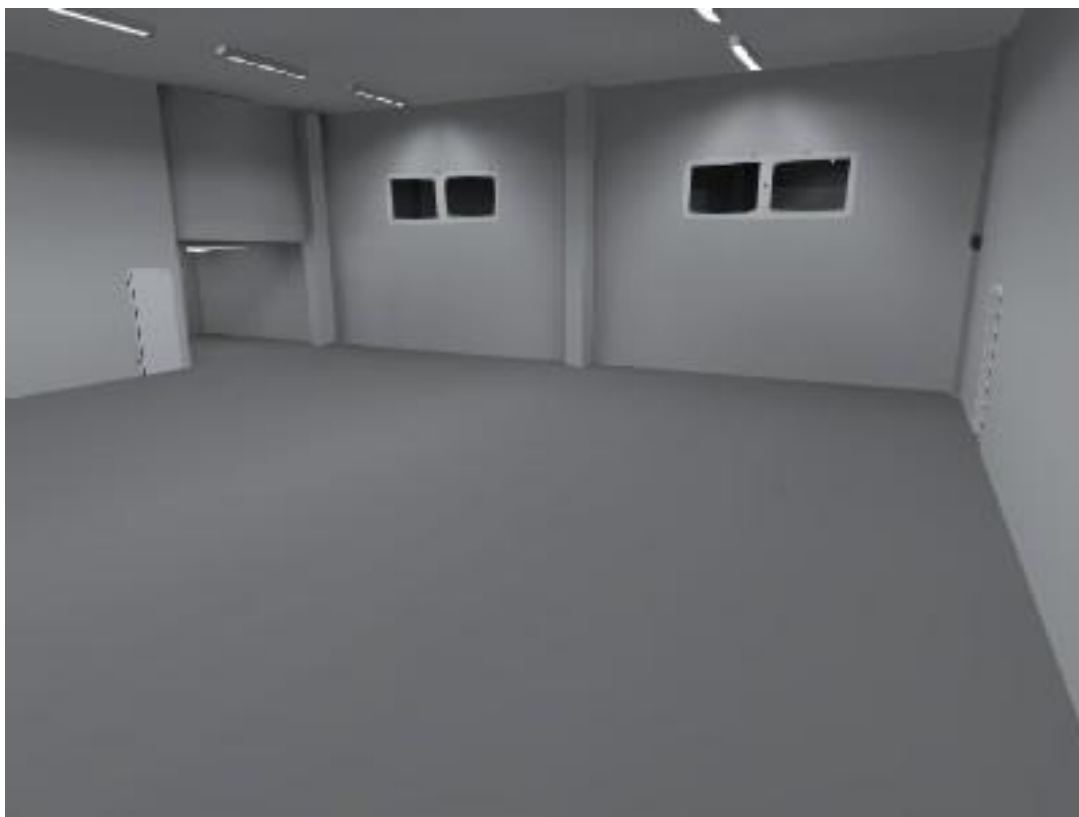
KUVA 4. Taukotila

Kuvassa 5 näkyy toisen kerroksen toimistotila mallinnettuna. Toisessa kerroksessa sijaitsee myös mm. IV-konehuone. Toimiston ja IV-konehuoneen valaistuksen laskennassa on käytetty samoja valaisimia kuin taukotilassa.



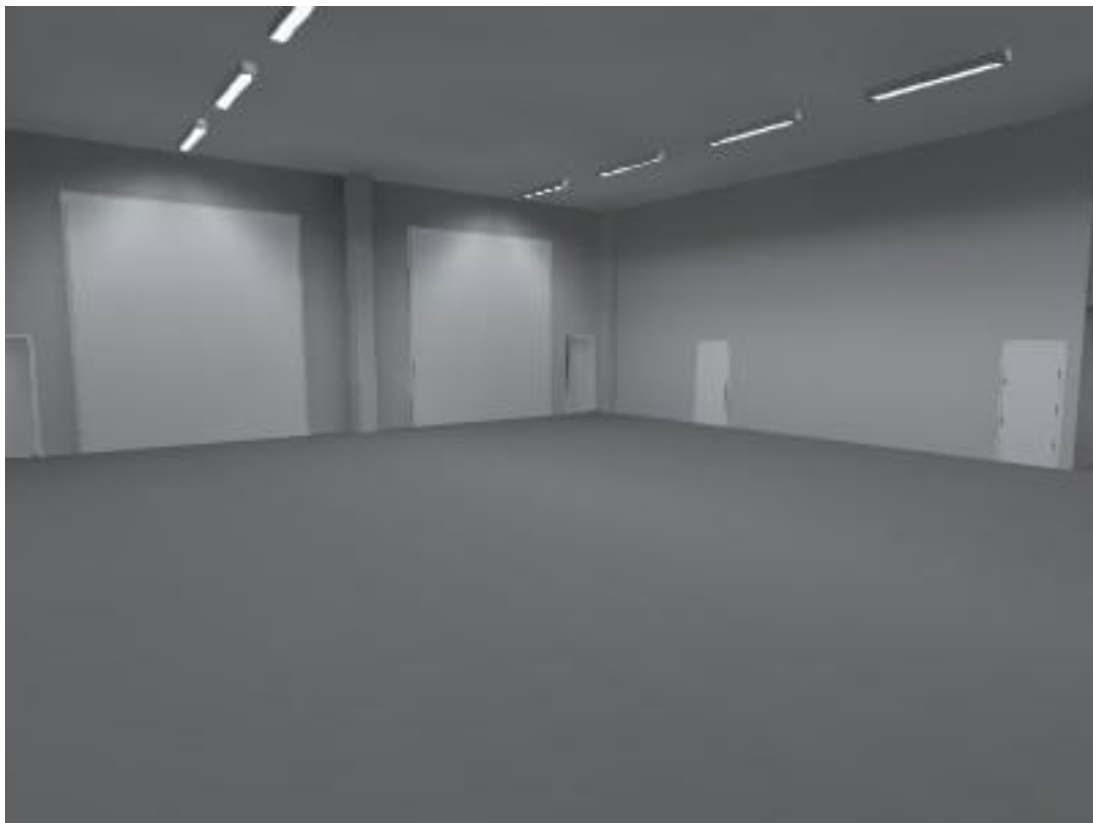
KUVA 5. Toimisto

Kuvissa 6 ja 7 on hallirakennuksen kalusto- ja huoltohalli mallinnettuna.



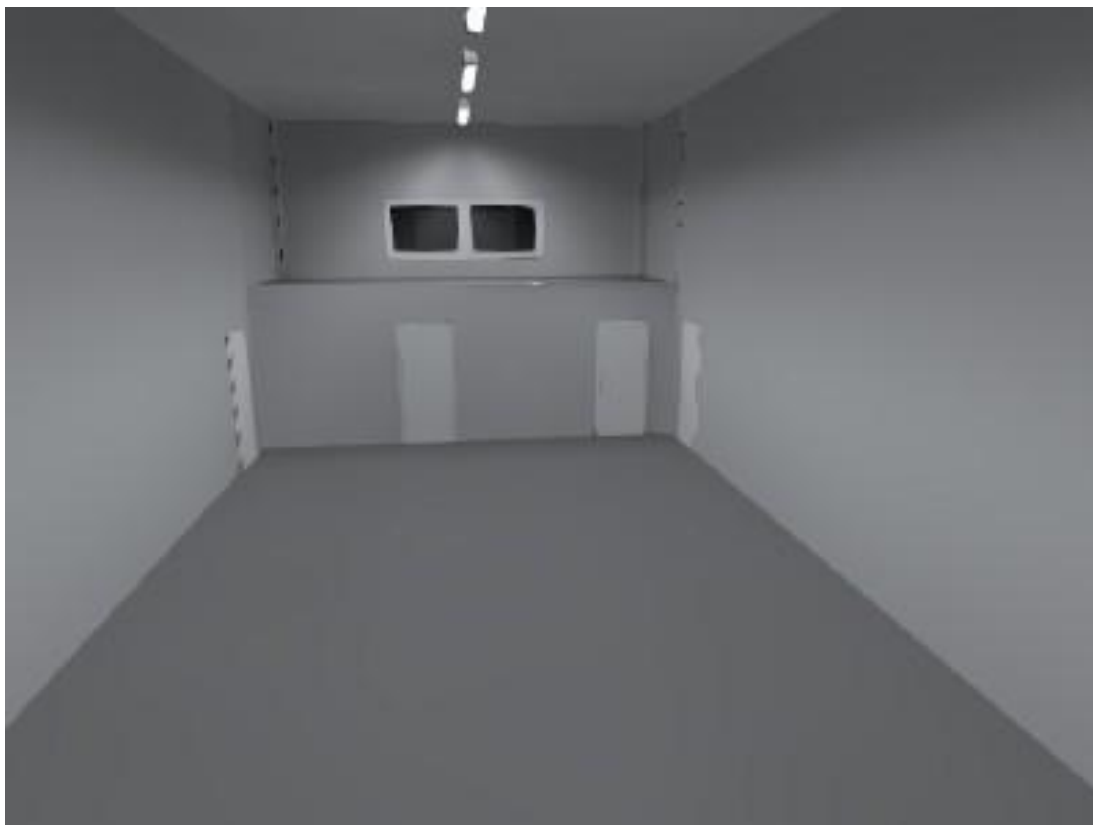
KUVA 6. Kalusto- ja huoltohalli

Kalusto- ja huoltohallissa valaistuslaskennassa käytettiin valaisimina Esinda 2x80 -valaisinta. Valaisimet on laskennassa asennettu 5 m:n, kun hallin korkeus on n. 5,4 metriä. Samoja valaisimia käytettiin myös molempien varasto- ja työtilahallien (kuva 8) laskelmissa sekä katoksen valaistuksen laskennassa.



KUVA 7. Kalusto- ja huoltohalli

Kuvassa 8 on mallinnuskuvaa varasto- ja työtilahallista tultaessa halliin ulkoa. Hallin perällä näkyy toimisto ja wc- ja pesuhuonetilat, joiden yläpuolella on tyhjää tilaa.



KUVA 8. Toinen varasto- ja työtilahalleista

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli hallin sähkösuunnittelu. Tarkoituksena oli tehdä sähkösuunnitelmat hallirakennukseen, jonka tilavuus on 4 290 m³. Työn alussa käytiin läpi teoriaa rakennushankkeesta, jonka jälkeen käsiteltiin sähkösuunnittelua ja laskentatapoja. Teorian jälkeen käytiin läpi opinnäytetyön hallin sähkösuunnittelua ja sen sähkötekniisiä mitoituksia sekä valaistuksen laskentaa.

Suunnittelutyötä vaikeutti se, ettei hallin lopullista käyttötarkoitusta ollut tiedossa. Työssä jouduttiin arvioimaan hallirakennuksen sähkötehon tarvetta, mikä oli haastavaa kokemattomalle suunnittelijalle. Työtä tehdessä oli myös tutustuttava eri standardeihin ja määräyksiin. Työn tuloksena saatiin sähkösuunnittelussa syntyviä dokumentteja.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

HARSIA, Pirkko 2004. Sähkösuunnittelun käsikirja. Helsinki: Suomen Sähkö ja teleurakoitsijaliitto ry.

TIAINEN, Esa 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. Espoo: Sähköinfo Oy.

TIAINEN, Esa 2012. D1 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1. SÄHKÖASENNUKSET. OSA 1: SFS 6000 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUKSET 2012.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1. SÄHKÖASENNUKSET. OSA 1: SFS 6000 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUKSET 2012. OSA 4-41: SUOJAUMENETELMÄT. SUOJAUS SÄHKÖISKULTA. SFS 6000-4-41. Vahvistettu 2012-08-13. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1. SÄHKÖASENNUKSET. OSA 1: SFS 6000 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUKSET 2012. OSA 4-43: SUOJAUMENETELMÄT. YLIVIRTASUOJAUS. SFS 6000-4-43. Vahvistettu 2012-08-13. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1. SÄHKÖASENNUKSET. OSA 1: SFS 6000 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUKSET 2012. OSA 5-52: SÄHKÖLAITTEIDEN VALINTA JA ASENTAMINEN. JOHTOJÄRJESTELMÄT. SFS 6000-5-52. Vahvistettu 2012-08-13. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1. SÄHKÖASENNUKSET. OSA 1: SFS 6000 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUKSET 2012. OSA 5-54: SÄHKÖLAITTEIDEN VALINTA JA ASENTAMINEN. MAADOITTAMINEN JA SUOJAJOHTIMET. SFS 6000-5-54. Vahvistettu 2012-08-13. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

VALAISTUKSEN TOTEUTUS STANDARDIN SFS-EN 12464-1 MUKAISESTI. ST 58.02. Laadittu 2013-02-15. Espoo: Sähköinfo Oy.

LIITE 1: SÄHKÖSELOSTUS

SÄHKÖSELOSTUS

Kiinteistö Oy Palokärkiysi

HALLIN SÄHKÖISTÄMINEN

Palokärjentie 9, 40320 Jyväskylä

A KIINTEISTÖHALINTO	4
A0 yleiset tiedot kohteesta	4
A01 Rakennuskohde ja sen sijainti	4
A02 Rakennuskohteen yksikkötiedot	4
A1 HALLINTO JA OHJAUS	4
B2 SUUNNITTELU	4
B23 Sähkösuunnittelu	4
C02 YLEISET TOTEUTUSOHJEET JA VAATIMUKSET	4
C021 Yleisiä sähkötekniisiä tietoja	4
C03 LAITTEITA JA TARVIKKEITA KOSKEVAT YLEISET VAATIMUKSET	5
C031 Tarvikkeet	5
C05 YLEISET ASENNUSOHJEET	5
C051 Työn suorittaminen	5
S SÄHKÖENERGIAN JAKELU- JA KÄYTTÄKÄRJESTELMÄT	5
S1 asennus- ja apujärjestelmät	5
S110 Kaapelihyllyjärjestelmä	5
S120 Johtokanava järjestelmä	5
S150 Läpiviennit	6
S2 SÄHKÖNJAKELU JA SIIHEN LIITETYT KUORMITUKSET	6
S21 sähköenergin tuotanto ja liittäminen	6
S211 Sähköliittymä	6
S2111 Sähköliittymäkaapeli	6
S22 sähköenergian pääjakelu	6
S222 Pääjakelujärjestelmä 400/230V	6
S23 laitteiden ja laitteistojen sähköistys	6
S231 Kiinteistön laitteiden ja laitteistojen sähköistys	6
S24 sähköliitännäjäjärjestelmät	7
S241 Pistorasiat	7
S25 valaistusjärjestelmät.	7
S251 Sisävalaistusjärjestelmä	7
S252 Ulkovaalaistus järjestelmä	7
S6 TURVAVALAISTUSJÄRJESTELMÄT	7

S61 poistumisvalaistus	7
S6105 Poistumisreitien opastevalaisimet	7
T6 PALOTURALLISUUSJÄRJESTELMÄT	8
T630 savunpoiston ohjais- ja valvontajärjestelmät	8
T6301 Ohjauskeskukset ja -laitteet	8
T6302 Kaapelointi	8
T6303 Savunpoistoluukut ja -ikkunat	8

A KIINTEISTÖHALINTO

A0 YLEISET TIEDOT KOHTEESTA

A01 Rakennuskohde ja sen sijainti

Kohteen nimi: Kiinteistö Palokärkiysi Oy
Osoite: Palokärjentie 9,40320 Jyväskylä

A02 Rakennuskohteen yksikkötiedot

Rakennustyyppi: Hallirakennus
Tilavuus: 4290m³

A1 HALLINTO JA OHJAUS

Rakennuttajan edustajat: Rauno Hassinen, 0400 244 677, r.hassinen@hinaus-team.fi

Rene Hassinen, 040 134 7020, renehassinen@gmail.com

Vastaava työnhjohtaja: Jari Pekkanen, 0400 648 516, baujari@elisanet.fi

B2 SUUNNITTELU

B23 Sähkösuunnittelu

Suunnittelu: Toteutettu opinnäytetyönä Savonian ammattikorkeakoulussa
Suunnittelija: Erja Pulkkinen
Puhelin: 040 0864784
Sähköposti: erjapulkkinen@kolumbus.fi

C02 YLEISET TOTEUTUSOHJEET JA VAATIMUKSET

C021 Yleisiä sähkötekniisiä tietoja

Työt tehdään noudattaen voimassa olevia lakeja ja asetuksia. Sähköasennukset tehdään standardin SFS600 ja muoden määräyksien ja standardien mukaisesti.

C03 LAITTEITA JA TARVIKKEITA KOSKEVAT YLEISET VAATIMUKSET

C031 Tarvikkeet

Käytettävien tarvikkeiden tulee olla Suomessa käytössä olevien standardien ja määräysten mukaisia. Tarvikkeina tulee käyttää vain asennusolosuhteisiin tarkoitettuja ja sopivia tuotteita.

Laitteita asentaessa käytetään laitevalmistajan tai -toimittajan asennusohjeita.

C05 YLEISET ASENNUSOHJEET

C051 Työn suorittaminen

Työt tulee suorittaa työturvallisuutta noudattaen.

S SÄHKÖENERGIAN JAKELU- JA KÄYTTÄKÄRJESTELMÄT

S1 ASENNUS- JA APUJÄRJESTELMÄT

S110 Kaapelihyllyjärjestelmä

Kaapelihyllyt asennetaan tasokuvien mukaisesti urakoitsijan määrittelemällä hyllyllä. Hyllyt liitetään pääpotentiaalitasauskiskoon.

Valaisinripustuskiskot asennetaan tasokuvien mukaisesti, urakoitsijan määrittelemällä kiskolla. Valaisinripustuskiskot liitetään myös pääpotentiaalitasauskiskoon

Kaapelihyllyjen ja valaisinripustuskiskojen kiinnitykseen käytetään siihen tarkoitettuja kiinnikkeitä ja tarvikkeita.

S120 Johtokanava järjestelmä

Johtokanavaa asennetaan tasokuvien mukaisesti urakoitsijan määrittelemällä johtokanavalla.

S150 Läpiviennit

Läpiviennit tulee tehdä siten, että johdot ja johtotiet suojataan mekaaniselta vaurioitumiselta. Läpiviennit tulee suljetaan lävistetyn rakenteen ominaisuuksia vastaaviksi. Palo-, ääni- ja lämpötekniikoiden sekä vastaavien tulee säilyä.

S2 SÄHKÖNJAKELU JA SIIHEN LIITETYT KUORMITUKSET**S21 SÄHKÖENERGIN TUOTANTO JA LIITTÄMINEN****S211 Sähköliittymä**

Liittymiskaapeli tulee rakennuksen sähköpääkeskukseen sähköyhtiön liittymispisteestä.

S2111 Sähköliittymäkaapeli

Liittymiskaapeli on AXMK 4x150

S22 SÄHKÖENERGIAN PÄÄJAKELU**S222 Pääjakelujärjestelmä 400/230V**

Sähköjakelu toteutetaan TN-S järjestelmällä. Keskuksat hankitaan pääkaavioiden mukaisina.

S23 LAITTEIDEN JA LAITTEISTOJEN SÄHKÖISTYS**S231 Kiinteistön laitteiden ja laitteistojen sähköistys**

Kiinteistön laitteiden ja laitteistojen sähköistys toteutetaan sähkösuunnitelman mukaisesti. Kaapelointi ja asennukset toteutetaan voimassa olevien standardien ja määräyksien sekä tilavaatimusten mukaisesti.

S24 SÄHKÖLIITÄNTÄJÄRJESTELMÄT

S241 Pistorasiat

Pistorasioiden määrät ja sijoitukset on esitetty tasokuvissa. Pistorasioiden tulee olla standardien ja määräyksien sekä tilavaatimusten mukaisia. Asennuksien tulee täyttää asetetut turvallisuusvaatimukset. Pistorasia malleina käytetään urakoitsijan määrittelemiä malleja.

S25 VALAISTUSJÄRJESTELMÄT.

S251 Sisävalaistusjärjestelmä

Valaistus toteutetaan suunnitelmien mukaisesti. Valaistusta ohjataan painonapeilla tai kytkimillä. Valaisimet on määritelty valaisinluettelossa.

S252 Ulkovaalaistus järjestelmä

Valaistus toteutetaan suunnitelmien mukaisesti. Valaistusta ohjataan, joko hämähäkykytkimellä tai käsikäytöllä. Valaisimet on määritelty valaisinluettelossa.

S6 TURVAVALAISTUSJÄRJESTELMÄT

S61 POISTUMISVALAISTUS

S6105 Poistumisreitien opastevalaisimet

Poistumisreitien opastevalaisimet on määritelty valaisinluettelossa. Valaisimissa on omat varavirtalähteenä toimivat akut. Valaistus toteutetaan tasokuvien mukaisesti.

T6 PALOTURALLISUUSJÄRJESTELMÄT

T630 SAVUNPOISTON OHJAIS- JA VALVONTAJÄRJESTELMÄT

T6301 Ohjauskeskukset ja -laitteet

Savunpoistolaukaisukeskuksena ja -painikkeina sekä tuuletuspainikkeina käytetään Keraventin tuotteita. Savunpoistolaukaisukeskuksen sekä laukaisupainikkeiden ja tuuletuspainikkeiden määrät ja sijoitukset on esitetty tasokuvassa.

T6302 Kaapelointi

Kaapelointi toteutetaan standardien ja määräysten mukaisesti. Kaapeloinnin tulee olla palon kestävä.

T6303 Savunpoistoluukut ja -ikkunat

Savunpoistoikkunoina käytetään Keraventin tuotteita. Ikkunat ovat moottoritoimisia.

LIITE 3: PÄÄKESKUKSEN KESKUSKAAVIO

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
		KESKUS						RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS								
D muutos E muutos F muutos								1	Liittymisjohto	35/250	AXMK 4x150								
								Virtamuuntajamittaus 200/5 Ik 0,2											
								2	Alakeskus 1	35	MCMK 4x10/10								
								3	Alakeskus 2 Tilavaraus jäikimittaukselle	35	MCMK 4x10/10								
								4	Alakeskus 3 Tilavaraus jäikimittaukselle	35	MCMK 4x10/10								
								5	Alakeskus 4 Tilavaraus jäikimittaukselle	35	MCMK 4x10/10								
								Varaus: Alakeskus 5 Tilavaraus jäikimittaukselle		35	MCMK 4x10/10								
								6	Taukotila valaistus	10	MMJ 3x1,5S								
								7	Valaistus WC	10	MMJ 3x1,5S								
								8	Tekn.tila valaistus ja PR	10	MMJ 3x1,5S								
A muutos B muutos C muutos							KIINTEISTÖ OY PALOKÄRKIYSI KESKUSKAAVIO PÄÄKESKUS		Suunn. EPUL/22.8.2016 Piirt. Tark.	Kokonaisuus Lehti 1/4	Sähköpositio Piiustusnumero SÄH 101	Työnumero							

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
		KESKUS						RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS																	
D muutos	E muutos	F muutos																										
																									9	Taukotilan PR	16	MMJ 3x2,5S
																									10	JK+M	16	MMJ 3x2,5S
A muutos	B muutos	C muutos																										
																							11	APK	10	MMJ 3x1,5S		
																							12	Valaistus porraskäytävä	10	MMJ 3x1,5S		
D muutos	E muutos	F muutos																										
																							13	Vara	16			
																							14	Voimapistorasias tekn.tila	16	MMJ 5x2,5S		
A muutos	B muutos	C muutos																										
																							15	Ohjauskeskus	10	MMJ 3x1,5S		
																							16	Toimistotilan valaistus	10	MMJ 3x1,5S		
D muutos	E muutos	F muutos																										
																							17	Toimistotilan PR, työpistevalaisin	16	MMJ 3x2,5S		
																							18	LIESI	16	MMJ 5x2,5S		
A muutos	B muutos	C muutos																										
																							19	Liesikuopu	10	MMJ 3x1,5S		
																							20	JK	16	MMJ 3x2,5S		
D muutos	E muutos	F muutos																										
																							21	PKH, PH, S valaistus +PR	10	MMJ 3x1,5S		
																							22	KIUAS	16	MMJ 5x2,5S		
A muutos	B muutos	C muutos																										
																							23	VP	16	MMJ 3x2,5S		
																							24	IV-konehuoneen valaistus	10	MMJ 3x1,5S		
D muutos	E muutos	F muutos																										
																							25	Hätätie valaistus hallit	10	MMJ 3x1,5S		

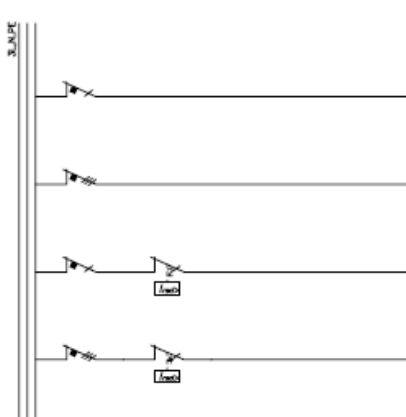
KIINTEISTÖ OY PALOKÄRKIYSI
KESKUSKAAVIO
PÄÄKESKUS

Suunn.
EPUL/22.8.2016
Piirt.
Tark.

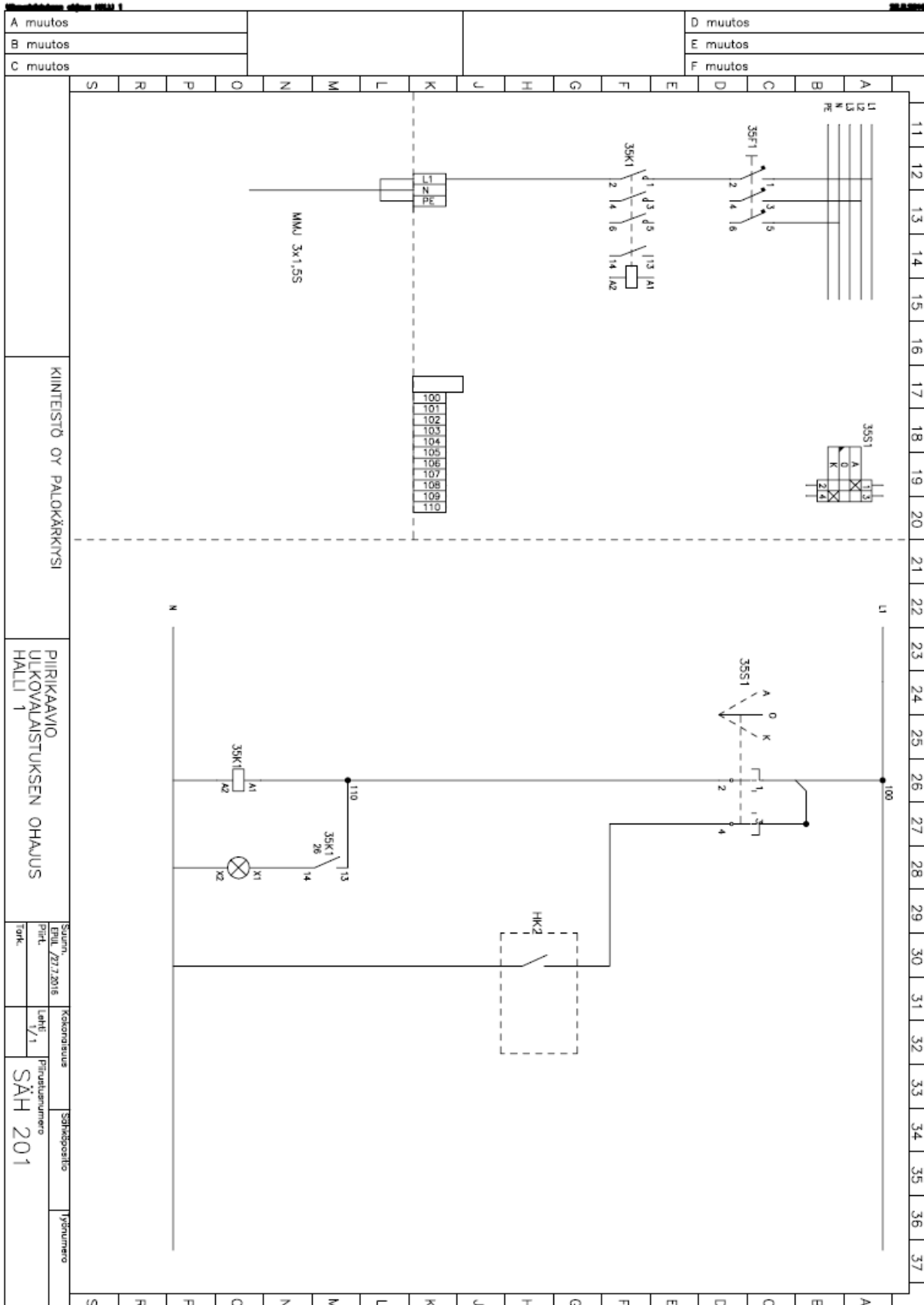
Kokonaisuus
Lehti
2/4

Sähkösijoitus
Piiustatusnumero
SÄH 101

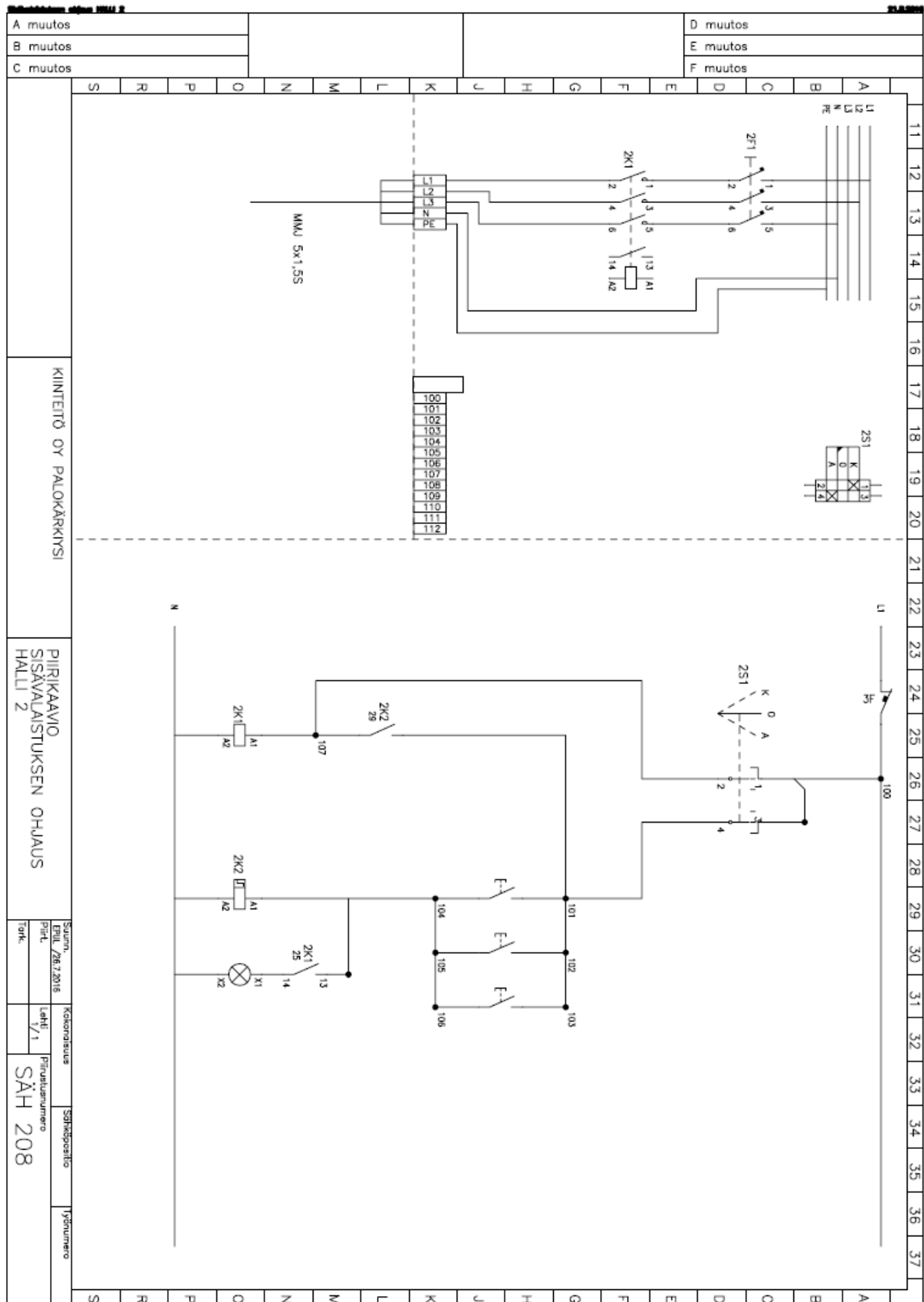
Työnumero

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	PÄÄTYS					
		KESKUS							RYHMÄ	OSOITE					A/A	JOHDOTUS				A					
																									B
									39	Vara					10						C				
									40	Vara					16							D			
									41	Vara					10							E			
									42	Vara					16							F			
																						G			
																						H			
																						J			
																						K			
																						L			
																						M			
																						N			
																						O			
																						P			
																						R			
																						S			
																						T			
																						U			
																						V			
																						X			
																						Y			
																						Z			
																						1			
																						2			
A muutokset									KIINTEISTÖ OY PALOKÄRKIYSI			Suunn. EPUL/22.8.2016		Kokonaisuus		Sähköpostio		Työnumero							
B muutokset									KESKUSKAAVIO			Pirt.		Lehti 4 / 4		Piiustusnumero									
C muutokset									PÄÄKESKUS			Tark.				SÄH 101									

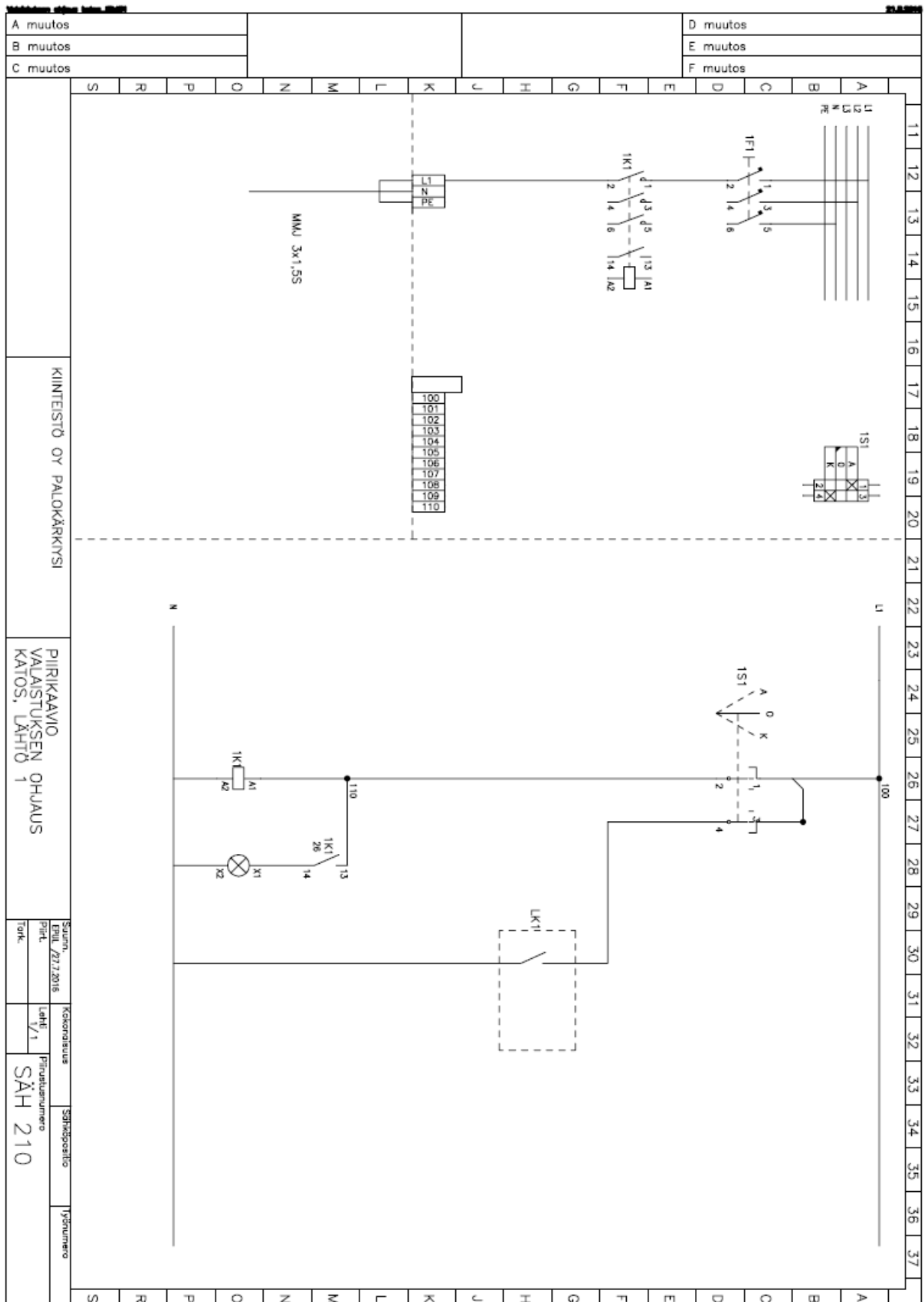
LIITE 4: PIIRIKAAVIO, ULKOVALAISTUKSEN OHJAUS, HALLI 1



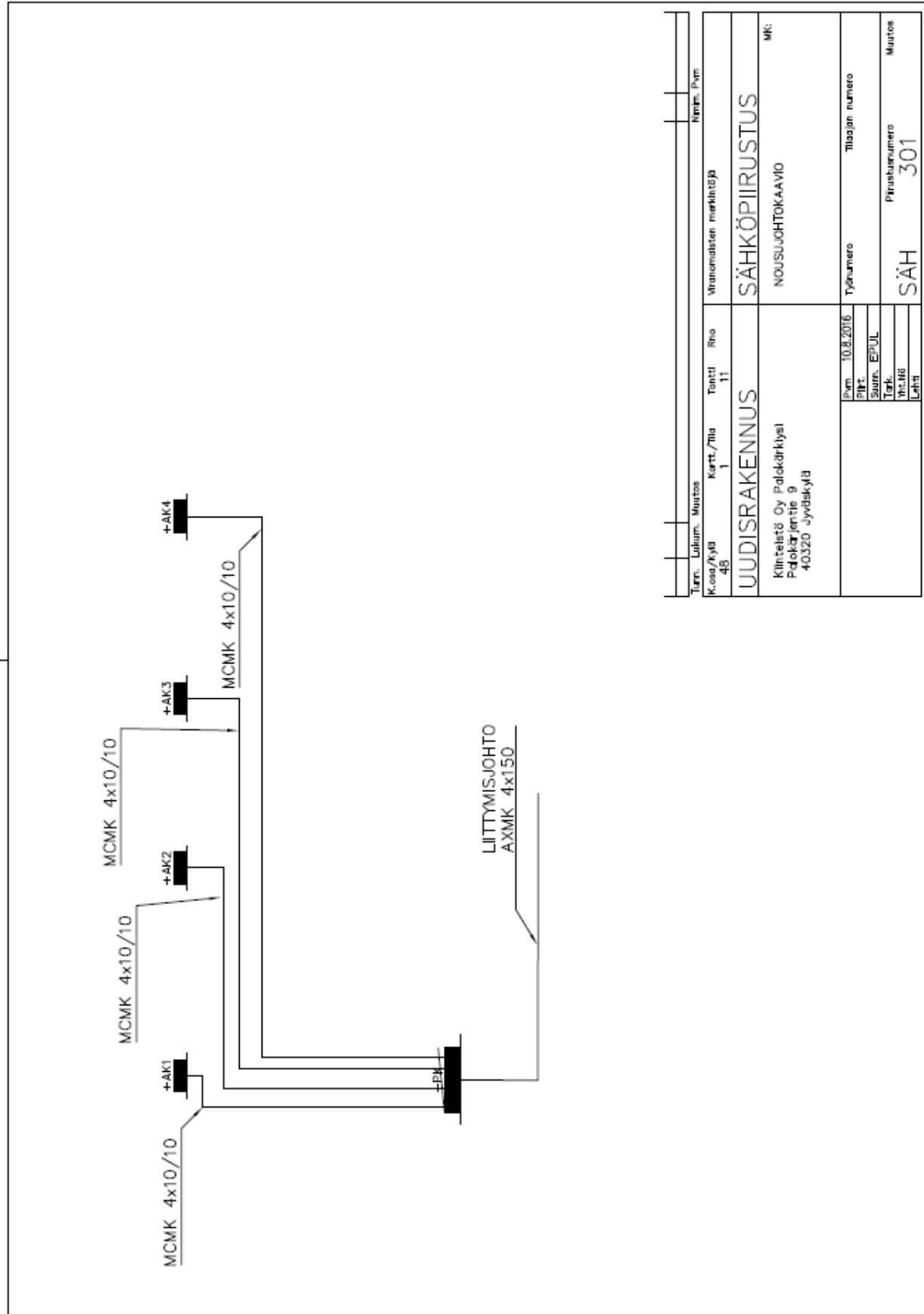
LIITE 5: PIIRIKAAVIO, SISÄVALAISTUKSEN OHJAUS, HALLI 2



LIITE 6: PIIRIKAAVIO, VALAISTUKSEN OHJAUS, KATOS, LÄHTÖ 1

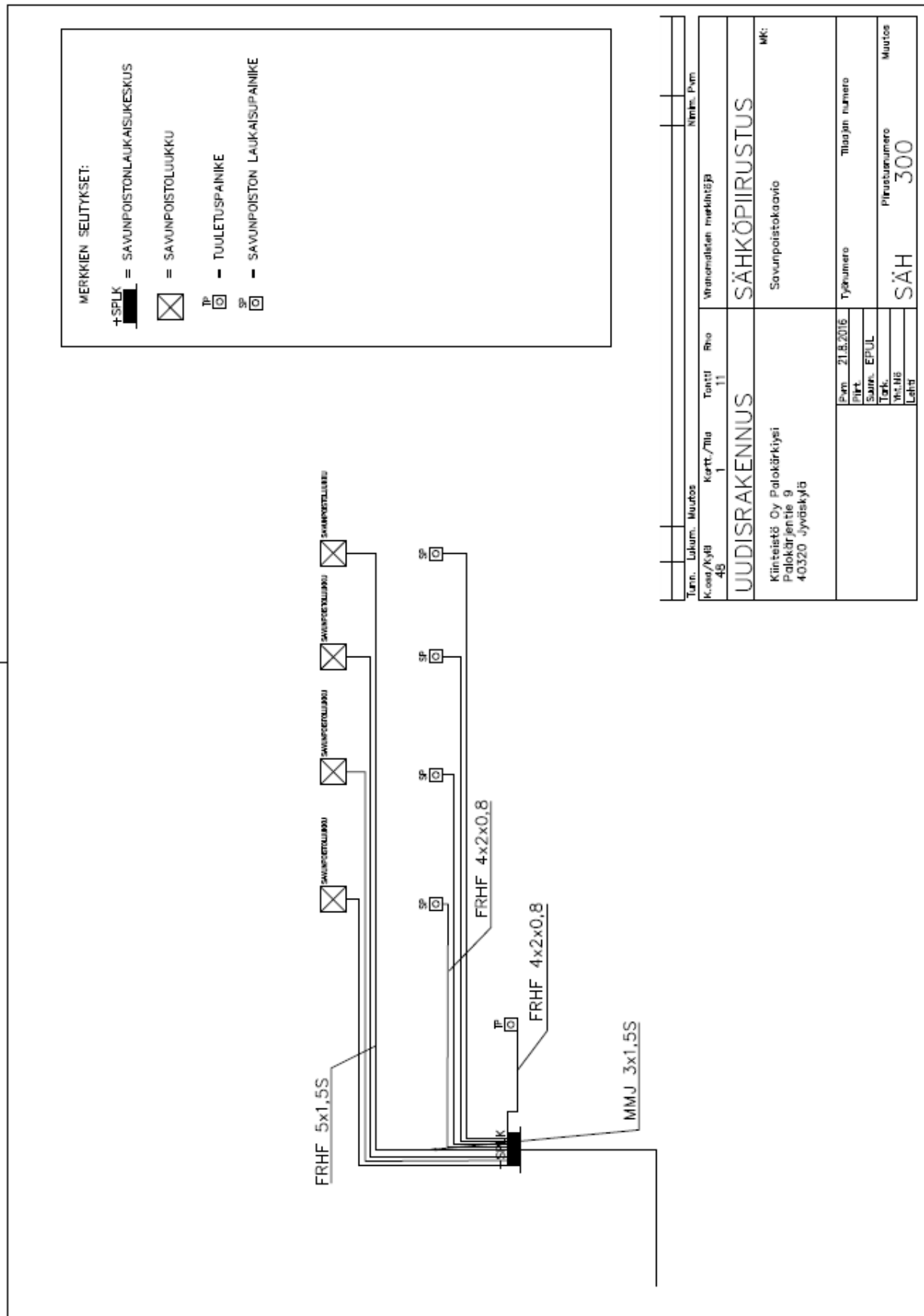


LIITE 7: NOUSUJOHTOKAAVIO



Tunn.	Lukum.	Muutos	Kartt./Tila	Tosit	Rno	Muutosten merkintä	Mitt.	Pvm
	48		1	11				
UUDISRAKENNUS			SÄHKÖPIIRUSTUS			MK:		
Kliinisetä Oy Paldikylä Palojärventie 9 40320 Jyväskylä			NOUSUJOHTOKAAVIO					
Pvm. 10.8.2016			Työnumero			Tilaajan numero		
Piik.			Suunn. EPUL			Pöytänumero		
Tark.			Mitt.			Muutos		
Leht.			SÄH			301		

LIITE 8: SAVUNPOISTOKAAVIO



Tunn.	Lukum.	Muutos	Kortti/tila	1	Tuottil	Rno	Maailmanlaisten merkitäjä	Nimi, Pvm
45				11				
UUDISRAKENNUS			SÄHKÖPIIRUSTUS					
Kiinteistö Oy Palokärkiyesi Palokärjentie 9 40320 Jyväskylä			Savunpoistokaavio					
Pvm 21.8.2016			Työnumero			Tilaajan numero		
Pirtt.			Saimi EPUL			Piirustenumero		
Tark.			Matti			Muutos		
Mitt.			Lehti			SÄH 300		

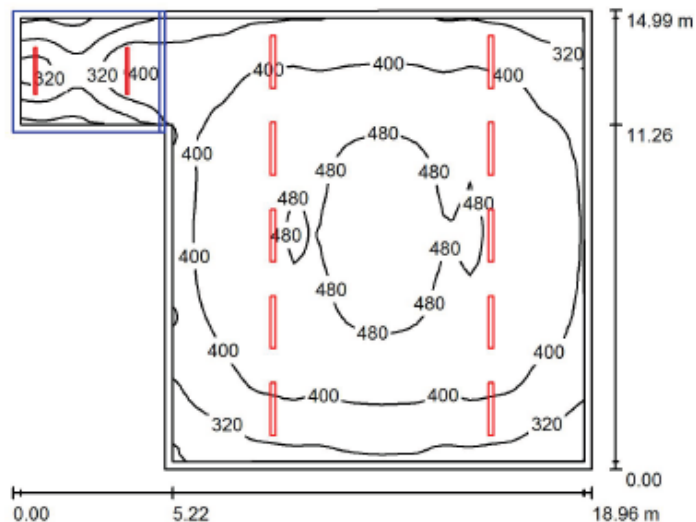
LIITE 10:KALUSTO- JAHUOLTOHALLIN DIALUX LASKENTATULOKSET

Projekti 1



Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kalusto ja huoltohalli_esinda / Yhteenveto



Tilan korkeus: 5.400 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:193

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	405	143	511	0.354
Lattia	20	365	118	514	0.324
Katto	70	73	3.23	91	0.044
Seinät (7)	50	167	2.94	707	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 64 x 64 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	2	REXEL_FI 4320024 SL20-158 HF (1.000)	4522	5200	56.0
2	10	REXEL_FI 4320077 Esinda 2x80W/WB/Industry (1.000)	12293	12300	165.0
			Yhteensä: 131970	Yhteensä: 133400	1762.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $7.70 \text{ W/m}^2 = 1.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 228.95 m^2)

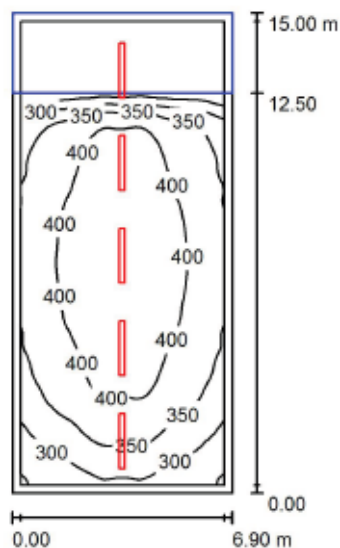
LIITE 11: VARASTO/TYÖTILAHALLIN DIALUX LASKENTATULOKSET

Projekti 1



Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Varasto/työtila_Esinda / Yhteenveto



Tilan korkeus: 5.400 m, Asennuskorkeus: 5.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:193

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	373	204	438	0.546
Lattia	20	264	3.80	374	0.014
Katto	70	73	48	97	0.654
Seinät (4)	50	152	5.37	503	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	5	REXEL_FI 4320077 Esinda 2x80W/WB/Industry (1.000)	12293	12300	165.0
Yhteensä:			61463	61500	825.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $7.98 \text{ W/m}^2 = 2.14 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 103.35 m^2)

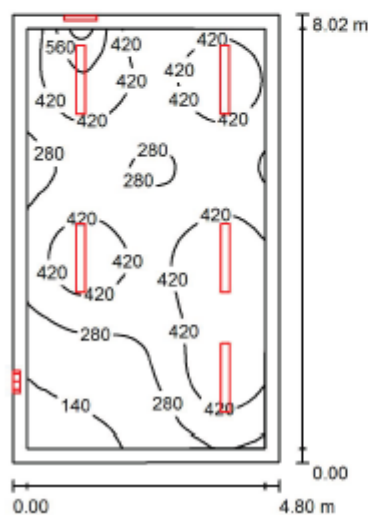
7 LIITE 12: TAUKOTILAN DIALUX LASKENTATULOKSET

Projekti 1



Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Taukotila_Minor / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:104

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	364	103	760	0.282
Lattia	20	295	104	387	0.351
Katto	70	129	58	1818	0.449
Seinät (4)	50	202	85	3926	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 64 x 64 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	1	Alpilux Oy Ami AL12014 T5 14W (1.000)	876	1350	15.0
2	1	ENSTO AVR400 All-round luminaire (1.000)	780	1380	100.0
3	5	REXEL_FI 4320100 Minor IP44/2x28W/PR (1.000)	3993	5200	60.0
Yhteensä:			21623	Yhteensä: 28730	415.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $10.80 \text{ W/m}^2 = 2.96 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 38.43 m^2)