

Teollisuushallin sähkösuunnittelu ja mitoitusohjeet

Jonne Vaalanti

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto
Sähkövoimatekniikka

VAALANTI, JONNE:
Teollisuushallin sähkösuunnittelu ja mitoitusohjeet

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 11 sivua
Huhtikuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää pienyritykselle ohjeistus siitä, miten pienten teollisuushallien sähkösuunnittelu on suositeltavaa toteuttaa. Tavoitteena oli selkeiden, helposti seurattavien ohjeiden avulla edistää pienyrityksen kykyä toteuttaa sähkösuunnittelua siihen saakka, kunnes yrityksellä on kyky palkata täyspäiväinen sähkösuunnittelija. Lisäksi työn tavoitteena oli madaltaa kynnystä palkata suunnittelija lisäämällä ymmärrystä suunnittelijan töistä ja selkeyttämällä työnkuvaa ja työvaiheita.

Työn aikana laajasta määrästä materiaalia tiivistettiin oleellimmat asiat sähkösuunnittelun toteuttamiseksi perustasolla. Työssä laadittiin ohjeet komponenttien sijoittamiseen, tarpeiden arviointiin, kaapeleiden ja muiden komponenttien mitoitukseen ja suojauksen toteuttamiseen. Kiinteän sähkökuorman puuttuminen työn kohteesta aiheutti ongelmia suunnittelun yhdistämisessä laskuesimerkkeihin. Tämä aiheutti haasteita erityisesti tehokuorman arvioinnissa. Tämän ratkaisemiseksi työtä laajennettiin siten, että työhön lisättiin kuormalaitteita, joita todelliseen halliin ei ole tarkoitus asentaa. Näin laskuesimerkeistä saatiin kattavampia.

Tulevaisuudessa olisi suositeltavaa laajentaa tätä tutkimusta laskentataulukon tekemisellä, jonka avulla voitaisiin automatisoida laskentaa. Lisäksi työtä voitaisiin laajentaa niin, että sitä voitaisiin käyttää eri tyyppisten rakennusten suunnittelussa.

Asiasanat: kiinteistön sähkösuunnittelu, suunnittelijan palkkaaminen, suunniteluohje, mitoitus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Power Engineering

VAALANTI, JONNE:
Electrical Design and Dimensioning of an Industrial Hall

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 11 pages
April 2020

The purpose of this thesis was to create guidelines on how the electrical planning of small industrial halls should be done. The objective was to create clear and easy to follow instructions on how to improve a small business' ability to offer electrical planning solutions to its clients until it is able to hire a full-time electrical designer. In addition, the goal was to lower the threshold of hiring a designer by providing information on the work of a designer and clarifying the job description and the steps in the progression of a project.

During the making of this thesis, instructions to guide electrical planning on a basic level were compiled from a large amount of material. Instructions on where to place components, estimating needs, dimensioning cables and other components, and choosing protective equipment were created. The lack of steady electrical load in the example building caused problems in combining electrical planning with calculation examples. This caused challenges especially in estimating the total power load of the building. To solve this, the thesis was expanded to include devices that were no going to be installed in the actual hall. This way, it was possible to provide more comprehensive calculation examples.

In the future it would be advisable to develop this thesis by making a calculation table with which it would be possible to automate the calculations. Additionally, the thesis could be expanded so that it could be used in the planning of other types of buildings.

Key words: electrical planning, hiring a designer, planning instructions, electrical dimensioning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KOHDE	10
2.1	Kaapelireitit ja pituudet	11
2.1.1	Kaapelipituuksien arviointi	11
2.2	TARPEIDEN ARVIOINTI	12
2.2.1	Valaistuksen ohjaus	12
2.2.2	Valaistussuunnittelu	13
2.2.3	Pistorasiat	17
2.2.4	Hätäpoistumistievalaistus	18
2.2.5	Nosto-ovet	19
2.2.6	Puhaltimet	20
2.3	Sähkökuvat	20
3	MITOITUS	21
3.1	Kuormitettavuus ja kaapelin valinta	21
3.1.1	Lämpötilan vaikutus	22
3.1.2	Kaapeleiden määrän vaikutus	22
3.1.3	Lämpöeristeen vaikutus	22
3.1.4	Kaapelin valinta	23
3.2	Vikavirtasuojaus	24
3.3	Maadoitus	24
4	MITOITUKSEN TEORIA	27
4.1	Teho	27
4.2	Oikosulkuimpedanssi	29
4.2.1	Oikosulkuvirta tiedossa	29
4.2.2	Muuntaja tiedossa	31
4.3	Oikosulkuvirta	32
4.4	Jännitteenalenema	33
4.5	Loistehon kompensointi	34
4.6	Keskus	36
5	MITOITUSESIMERKKI	38
5.1	Teho	38
5.2	Oikosulkuimpedanssi keskuksen oikosulkuvirran avulla	40
5.3	Oikosulkuimpedanssi muuntajan avulla	41
5.4	Oikosulkuvirta	42
5.5	Jännitteenalenema	43
5.5.1	Pääkeskuksella	44

5.5.2 Moottorin kytkentäkotelossa	44
5.5.3 Yksivaiheisen pistorasian liittimissä.....	45
5.6 Loisteho	46
6 POHDINTA	47
LÄHTEET.....	48
LIITTEET	50
Liite 1. Johdon kuormitettavuus asennustavan mukaan	50
Liite 2. Korjauskerroin lämpötilan mukaan	51
Liite 3. Korjauskerroin johtojen lukumäärän mukaan	52
Liite 4. Loistehon tarpeen arviointi	53
Liite 5. Moottorin loistehon tarpeen arviointi.....	54
Liite 6. Prysmian AMCMK kaapelitaulukko	55
Liite 7. Muuntajan valintataulukko	56
Liite 8. Kaapeleiden impedanssit eri johdinpoikkipinta-aloilla (Ω/km)..	57
Liite 9. Eri tilojen valaistustandardin vaatimuksia	58
Liite 10. Sijoituskuva	59
Liite 11. Kaapeli- ja etukojetaulukko.....	60

LYHENTEET JA TERMIT

f	taajuus, Hz
I_{1s}	kaapelin yhden sekunnin oikosulkuvirran kesto, A
I_B	virtapiirin suunniteltu virta, A
I_{k1}	yksivaiheinen oikosulkuvirta, A
I_{k3}	kolmivaiheinen oikosulkuvirta, A
I_{pk}	dynaaminen oikosulkuvirta, A
I_z	johtimen jatkuva kuormitettavuus, A
I_{kAK}	alakeskuksen oikosulkuvirta, A
k	kuormituskerroin
k_1	lämpötilaan perustuva kuormituskerroin
k_2	kaapeleiden määrään perustuva kuormituskerroin
$k_{tulevaisuus}$	tulevaisuuskerroin
$k_{samanaikaisuus}$	samanaikaisuuskerroin
l_j	johdon pituus, km
n	taajuuden moninkerta
P_h	häviöteho, W
$P_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtolaitteiden teho, W
$P_{kojeet+laitteet}$	kojeiden ja laitteiden teho, W
P_{laiten}	laite numero n:n teho, W
$P_{laiteryhmä}$	laiteryhmän teho, W
$P_{mitoitus}$	mitoitusteho, W
P_{muut}	muiden laitteiden teho, W
$P_{muutLVI}$	muiden LVI laitteiden teho, W
$P_{pr.max}$	pistorasiasta saatava suurin teho, W
$P_{sähkölämmitys}$	sähkölämmityslaitteiden teho, W
$P_{valaistus}$	valaistuksen teho, W
Q_c	kondensaattorin teho, var
R_k	oikosulkuresistanssi, Ω
S_{sc}	oikosulkuteho, VA
S_N	nimellinen näennäisteho, VA
t_{oc}	oikosulkuvirran kesto aika, s
t_s	kaapelin oikosulkuvirran kestoisuus, s
U_N	nimellisjännite, V

U_v	vaihejännite, V
ΔU	jännitteen alenema, V
Δu	suhteellinen jännitteenalenema, %
X_k	oikosulkureaktanssi, Ω
Z_{kPK}	pääkeskuksen oikosulkuimpedanssi, Ω
Z_j	johdon impedanssi, Ω
Z_k	oikosulkuimpedanssi, Ω
Z_{k1}	pääkeskuksen oikosulkuimpedanssi, Ω
z_k	suhteellinen oikosulkuimpedanssi, %
Z_L	vaihejohtimen impedanssi, Ω
Z_{PE}	maadoitusjohtimen impedanssi, Ω
φ_1	tehokulma ennen kompensointia ($^\circ$)
φ_2	tehokulma kompensoinnin jälkeen ($^\circ$)
η	hyötysuhde (0-1)

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa sähköalalla toimivan pienyrityksen ajatuksesta siitä, että onko suunnittelijan palkkaaminen kannattavaa. Sähkökatko Tmi on yksi monista sähköalan pienyrityksistä, joiden kasvua rajoittaa insinöörin palkkaamisen vaikeus.

Pienyritykselle suunnittelijan palkkaaminen on kallista ja riskialtista, sillä pienellä kasvavalla yrityksellä ei välttämättä ole vielä kykyä tarjota täyspäiväistä suunnittelijan työtä. Tämä aiheuttaa vaikeuksia selkeään työnkuvan määrittelyyn, varsinkin jos urakoitsijalla ei ole selkeää käsitystä suunnittelutyöstä. Myös aloituskulut saattavat olla suuret, mikäli on tarvetta hankkia ohjelmistojen lisenssejä, tietokone, mittauslaitteistoa tai toimistotiloja.

Työn tarkoituksena on helpottaa työn suunnitteluvaihetta ja selkeyttää suunnitteluprosessia kokoamalla yhteen saatavilla olevaa materiaalia ja tekemällä sen pohjalta helposti luettavat ja yksioikoiset ohjeet suunnittelun avuksi. Lisäksi halutaan helpottaa suunnittelua ja antaa kyky toteuttaa sitä itse siihen saakka, että yrityksen suunnittelutyön tarve kasvaa täyspäiväiseksi.

Ohjeiden ja urakoitsijan ymmärryksen kasvamisen myötä kynnys palkata täyspäiväinen suunnittelija pienenee. Myös työkalujen hankkiminen etukäteen on mahdollista, kun on tiedossa, että millaisia työkaluja mahdollisesti tarvitaan.

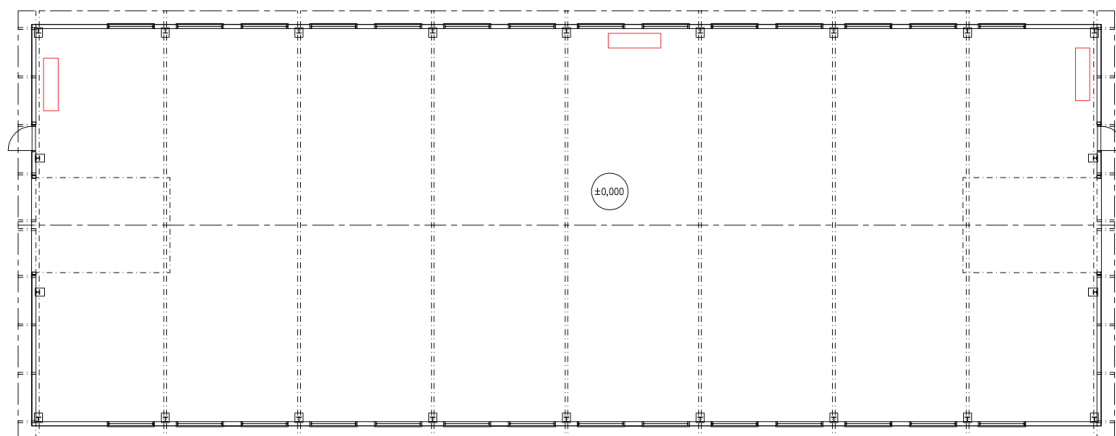
Työ aloitetaan esittelemällä todellinen kohde, johon toimeksiantajan on tarkoitus tehdä sähköasennukset. Kohteen esittelyn jälkeen selvitetään tarpeet, joiden mukaan kohteen asennukset on mitoitettava. Kun vaatimukset ovat tiedossa, käydään läpi, kuinka mitoitus on tehtävä ja tämän jälkeen annetaan esimerkkejä mitoituslaskelmista.

Työssä hyödynnetään sähköalan SFS-standardia ja muuta alan kirjallisuutta, joka pohjautuu kyseiseen standardiin ja poimitaan sieltä tärkeimmät asiat. Nämä tiedot yhdistetään loogiseen järjestykseen ja ne selitetään auki niin, että toimeksiantajan on helppo toteuttaa suunnittelua itsenäisesti.

Työn ohjeiden tarkoitus on helpottaa pienten teollisuushallien sähkösuunnittelua. Suurten kokonaisuuksien hallintaan vaaditaan jo ryhmä suunnittelijoita ja sen vuoksi ei ole tarkoituksenmukaista keskittyä suurempiin kokonaisuuksiin.

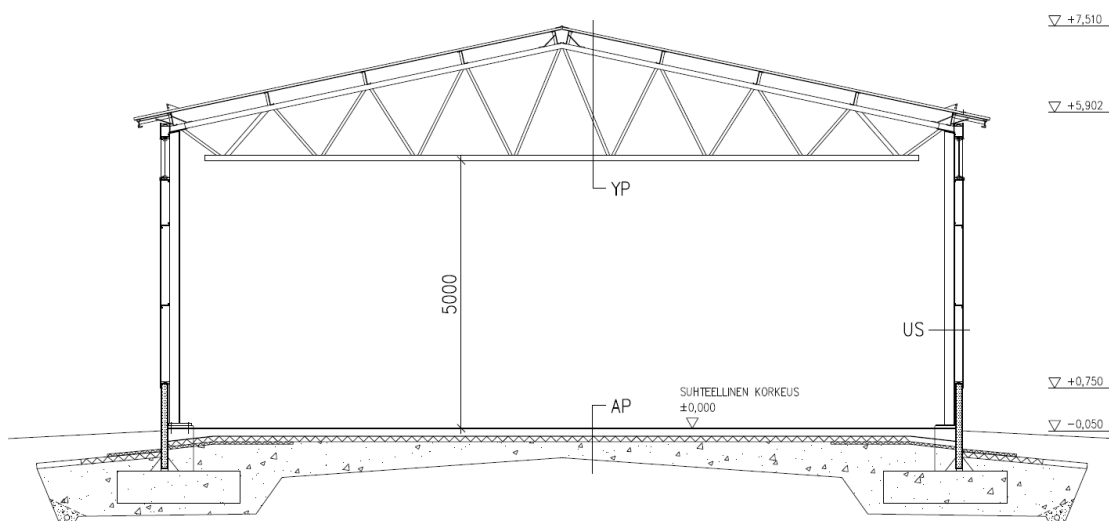
2 KOHDE

Työssä suunniteltava kohde on kuvan 1 mukainen 40 metriä pitkä ja 15 metriä leveä teollisuushalli, jonka käyttötarkoituksena on toimia kaluston kylmänä säilytys ja mahdollisesti pesutilana.



KUVA 1. Hallin pohjakuva ylhäältä katsottuna.

Kuvassa 2 on hallin leikkauskuva, jossa näkyy erinäisiä korkeuksia maanpinnasta. Kattopalkit ovat viiden metrin korkeudella hallin lattian pinnasta.



KUVA 2. Hallin leikkauskuva sivusta katsottuna.

2.1 Kaapelireitit ja pituudet

Hallin keskuksat sijaitsevat kuvassa punaisilla merkityissä paikoissa. Vasemmalta oikealle katsoen keskuksat ovat nimetty seuraavasti: VOIMA 113, HALLI ja EP101KXX. Oikeanpuolimmaisen keskuksen tunnuksen XX-merkintä viittaa siihen, että keskuksen numeroa ei olla vielä päätetty.

Kaapelireitin valinnassa on pyrittävä valitsemaan sellainen reitti, jota käyttämällä kaapelin pituus jää mahdollisimman lyhyeksi, jotta oikosulkuvirrat pysyvät korkeina ja jännitteenalenema pienenä. Tämän vuoksi kaapelien reitiksi valikoidaan seinä, jolla HALLI-keskus sijaitsee.

Kaapelit ovat suositeltavaa sijoittaa katon rajaan, sillä siellä ne eivät ole vaarassa vahingoittua. Hallin korkeus on kuvan 2 mukaan viisi metriä, joka voidaan valita mitoituksen aikaiseksi asennuskorkeudeksi.

EP101KXX-keskusta syötetään AMCMK 4x185/57 Cu-kaapelilla. Tästä eteenpäin keskuksille VOIMA 113 JA HALLI on tilaajan toimittamien dokumenttien mukaan mitoitettu MCMK 4X16+16-kaapeli. Niiden pituuksina on tilaajan tekemässä jännitteenalenemalaskennassa 46 ja 26 metriä.

2.1.1 Kaapelipituuksien arviointi

Kaapelin pituuden arvioinnissa on mitoituksen kannalta suotuisampaa arvioida kaapeli liian pitkäksi kuin lyhyeksi, sillä jos kaapeli arvioidaan laskentaa varten todellisuutta lyhyemmäksi, tiukasti mitoitettun kaapelin oikosulkuvirta voi laskea liian pieneksi ja jännitteenalenema nousta liian suureksi. Tämän vuoksi pituuden arvioinnissa on hieman ylöspäin pyöristetyt arvot.

Tilaajan toimittamat kaapelipituudet ovat kutakuinkin sopivat, mutta etenkin VOIMA 113-keskusta syöttävä kaapeli tulee todellisuudessa olemaan pidempi.

Huomioimalla kaapelireitti sekä syöttävän keskuksen ja VOIMA 113-keskuksen etäisyys seinästä. Jos asennuskorkeus on viisi metriä, hallin pitkä seinä on 40

metriä, VOIMA-keskus on viiden metrin etäisyydellä pitkästä seinästä ja EP101KXX on kahden metrin etäisyydellä seinästä. Täten pituuden voidaan arvioida olevan lähempänä 57:ää metriä.

Samaa käytäntöä noudattamalla voidaan HALLI-keskusta syöttävän kaapelin pituudeksi arvioida 30 metriä.

2.2 TARPEIDEN ARVIOINTI

Hallin käyttötarkoitus asettaa hallin sähköntarpeelle tiettyjä vaatimuksia. Halliin on tarkoitus asentaa muutamia kolmi- ja yksivaiheisia pistorasioita liitännäislaitteita kuten painepesureita varten. Tämän lisäksi halliin tulee kytkin- tai liikeohjattu valaistus, kaksi nosto-ovea, hätäpoistumistievalaistus sekä mahdollisesti poistopuhaltimia.

Rakennusvaiheessa valaistuksen ohjauksen toteutustapa ja puhaltimien asentaminen eivät ole vielä varmoja. Tämän vuoksi niiden toteutus jää suunnittelijan harteille.

2.2.1 Valaistuksen ohjaus

Valaistuksen ohjausvaihtoehtoina on kytkimellä tai liiketunnistimella tapahtuva ohjaus. Molemmissa vaihtoehtoissa on omat hyvät ja huonot puolensa.

Kytkimellä tapahtuva ohjaus vaatii aina ihmisen kontaktin. Mikäli valaistusta halutaan lisätä tai vähentää, on aina käveltävä kytkimen luokse muuttamaan valaistusta. Liiketunnistin taas on siinä mielessä hyvä, että valot eivät ole päällä turhaan. Halli on kuitenkin suuri, joten liiketunnistin ei välttämättä kykene tunnistamaan hallin toisessa päässä tapahtuvaa liikettä ja täten saattaa sammuttaa valot tarpeettomasti. Liiketunnistin ei myöskään välttämättä tunnista vähäistä liikettä. Tämän vuoksi tunnistimia olisi sijoitettava halliin useita. Näin ratkaisusta tulisi kallis ja epäkäytännöllinen käyttäjän näkökulmasta.

Kytkimien etuna tässä tilanteessa on kustannustehokkuus. Riittää, että hallin sisäänkäyntien läheisyyteen sijoitetaan kytkin, jonka avulla valaistus saadaan kytettyä päälle tai pois. Halliin ei ole tarkoitusta asentaa säädettävää valaistusta, joten vaihtoehdoksi valikoituu ON/OFF tyyppinen ratkaisu. Mikäli johonkin osaan hallia tarvitaan lisää valoa, voidaan se toteuttaa asentamalla työpistevalaistusta kyseiselle alueelle.

Työpistevalaistukseen taas liiketunnistin on mainio vaihtoehto, sillä se tulisi sijaitsemaan lähellä käyttäjää, joka liikkuu jatkuvasti vähän. Näin valaistus ei kytkeydy pois päältä turhaan.

Kytkimet tulee sijoittaa siten, että ne ovat lähellä sisäänkäyntejä ja nosto-ovia.

2.2.2 Valaistussuunnittelu

Valaistussuunnittelun toteutukseen on monia tapoja. DiaLux niminen ohjelma on tähän käyttöön hyvin soveltuva yksinkertainen ratkaisu. Ohjelmalla voidaan mallintaa rakennus ja sen sisätilat sekä pintojen värit ja heijastussuhteet. Tämän jälkeen voidaan valita valaisin ja lisätä sen levittämän valon yksityiskohtaiset tiedot ohjelmaan. Kun valaisin on tiedossa, voidaan niitä sijoittaa piirustukseen. Ohjelma laskee valon kattavuuden ja tämän perusteella saadaan varmuus valon riittävydestä.

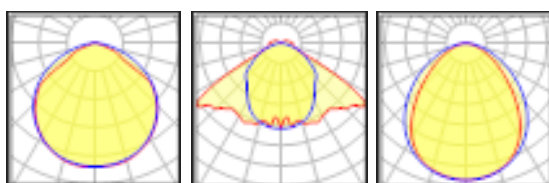
Pintojen värit vaikuttavat suuresti niiden heijastavuuteen ja täten tilan kirkkauteen. Tämän vuoksi on tärkeää tietää tilan pintojen värit ennen suunnittelun aloittamista.

Eräs yritys on tehnyt tarjouksen kyseisen kohteen valaisimista ja tehnyt valmiin valaistussuunnitelman. Valaistussuunnitelmassa pintojen heijastussuhteiksi on määritelty seuraavat arvot: katto 70%, seinät 50% ja lattia 20%. Näitä samoja arvoja käytettiin tämän työ valaistussuunnittelussa.

Valaistusvoimakkuus vaikuttaa olennaisesti tilan mukavuuteen ja siellä työskentelyn turvallisuuteen. SFS-EN 12464-1 standardissa annetaan erilaisille tiloille valaistusvoimakkuuden vähimmäisarvot luxaina (Liite 9).

Ohjelmalla voidaan myös laskea häikäisykerroin. Häikäisykerroin kertoo kuinka paljon katossa olevat valaisimet ja pintojen heijastus häikäisevät tilaan sijoitettua katsojaa. Täten häikäisykertoimen on oltava mahdollisimman pieni, jotta valaisimet eivät häiritsisi katsojaa.

Häikäisyvaikutusta on kuitenkin mahdotonta saada kokonaan eliminoitua, sillä jos sitä ei olisi, ei valoakaan olisi riittävästi. On siis löydettävä sopiva tasapaino häikäisyyn ja valon määrän välillä. Valaisimen asennuskorkeus ja sen valojakokäyrä vaikuttavat myös olennaisesti häikäisykertoimeen. Alla olevassa kuvassa 3 on tässä työssä verrattujen kolmen eri valaisimen valojakokäyrät. Kuvassa punainen ja sininen viiva kertovat kyseisen valaisimen valojakokäyrän muodon pitkittäisestä ja poikittaisesta suunnasta katsottuna.



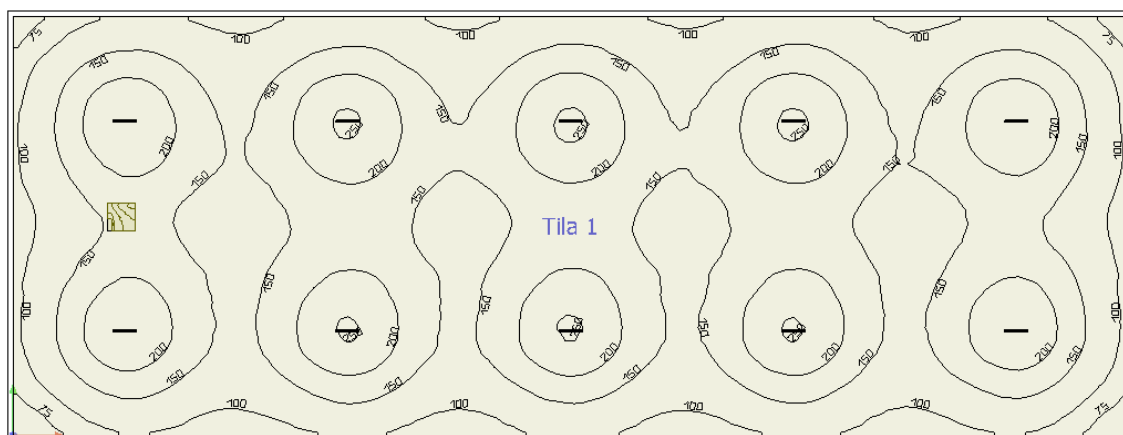
KUVA 3. Valaisinten valojakokäyrät järjestyksessä vasemmalta oikealle: ADLux AD Linear, Ensto TN2284WBC, AIRAM RAMI L OP.

Häikäisykertoimesta käytetään myös termiä UGR eli Unified Glare Rating. SFS-EN 12464-1 standardissa määritellään myös tälle arvolle sopiva maksimiarvo eri tiloissa. Tyypillisesti sen on välillä 16-28 (Liite 9).

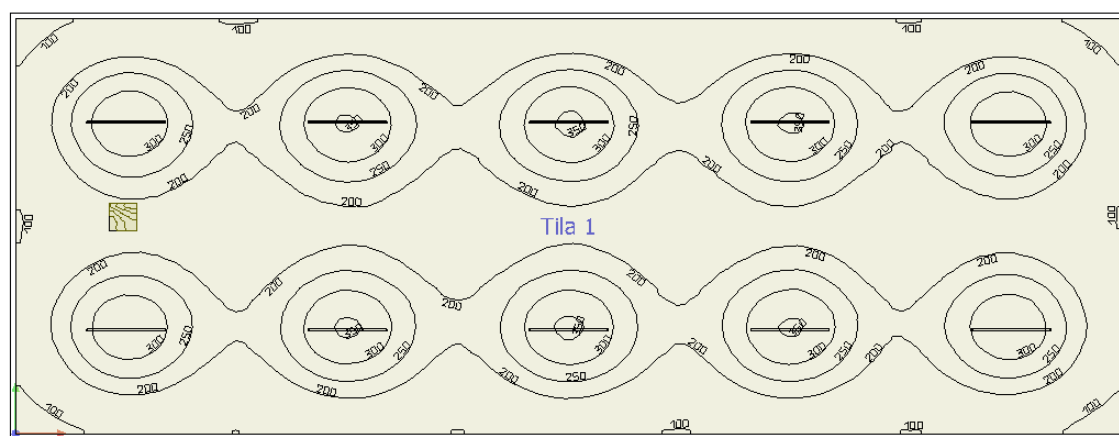
Valaistusvoimakkuuden tasaisuus annetaan standardissa kirkkaimman ja tummimman kohdan välisenä suhteena. Tyypillisesti arvo on välillä 0,4-0,7 (Liite 9).

Työssä tehtiin DiaLuxilla simulaatio kolmella eri valaisimella ja verrattiin niitä toisiinsa. Simulaatiossa käytettiin kymmentä valaisinta koko hallin valaisemiseen, sillä valaisimista tarjouksen tehnyt yritys oli suunnitelmassaan käyttänyt kymmentä valaisinta. Jokaisella valaisintyypillä tehtiin kaksi simulaatiota. Toinen niistä, että valaisin on asennettu pitkittäin hallin mukaisesti ja toinen niin, että valaisin

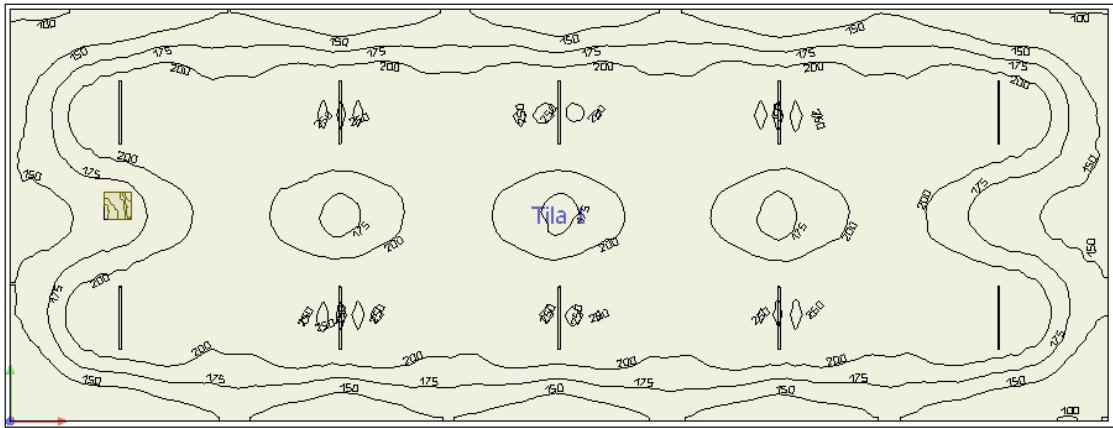
on poikittain hallin mukaisesti (Kuvat 4-6). Kuviksi on valittu paremmin vaatimukset täyttävä asennuskonfiguraatio. Kuvissa viivojen vieressä olevat numerot kertovat kyseisen ympyrän tai viivan alueella olevan luxien määrän. Lisäksi kuvissa näkyvä neliö on kuvitteellinen katsoja, joka on asetettu 1,65 metrin korkeuteen (tyypillinen ihmisen silmien korkeus). Tämän avulla voidaan toteuttaa UGR:n laskenta.



KUVA 4. ADLux AD Linear S100 89 W.



KUVA 5. AIRAM RAMI L OP 128 W.



KUVA 6. Ensto TN2284WBC 107 W.

Valaisinten vertailussa on otettava huomioon monta eri tekijää kuten hinta, standardin vaatimusten täyttäminen, ja sähkönkulutus pitkällä aikavälillä. Liitteen 9 taulukon mukaan varastotilan valaistusvoimakkuus pitää olla vähintään 100 lx, UGR korkeintaan 25 ja tasaisuus vähintään 0,4. Alla olevassa taulukossa 1 näkyy valaisimen hinta, parhaan asennuskonfiguraation simuloinnin tuloksena saadut valaistuksen arvot ja kyseisen valaisimen valmistajan ilmoittama teho. Taulukosta huomataan, että ainoastaan Enston TN2884WBC-valaisimella toteutettu valaistus täyttää standardin asettamat vaatimukset. Voimakkuuden suositustason ylittäminen ei haittaa, sillä standardi asettaa vain minimivaatimuksen.

TAULUKKO 1. Kymmenen valaisimen hinnat ja parhaan asennuskonfiguraation saavuttamat arvot.

Laite	ALV 0% (€)	UGR	Voimakkuus (lx)	Tasaisuus	Teho (W)
AD Linear S100	1440	>30	159	0,35	89
RAMI L OP	980	26,1	206	0,33	128
TN2284WBC	2635	23,2	195	0,49	107

Jotta AD Linear S100- ja RAMI L OP-valaisinten arvot saataisiin vastaamaan standardin asettamia vaatimuksia, voitaisiin valaisimia asentaa halliin enemmän kuin kymmenen kappaletta ja laskea niiden asennuskorkeutta. Myös kapeamman valojakokäyrän omaavan valaisinmallin valinta helpottaisi asiaa.

Valaisimet ovat luonnollisesti hieman eri tehoisia. Tämä aiheuttaa eroja sähkönkulutuksessa ja täten myös lopullisessa hinnassa. Taulukossa 2 lasketut hinnat ovat laskettu siten, että valaisimet ovat päällä kaksi tuntia joka päivä, sähkö ja sen siirto maksaa 7 senttiä kilowattitunnilta ja sähkön hinta kasvaa vuosittain 3,5 %.

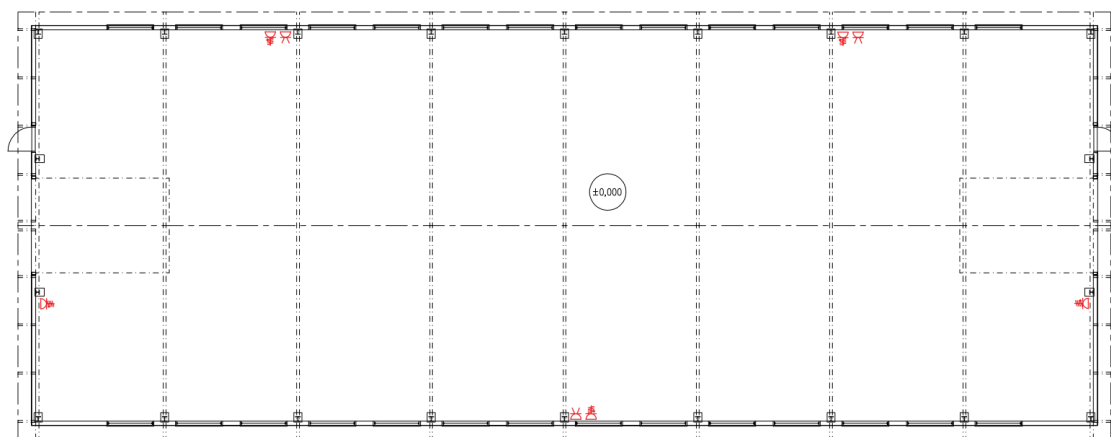
TAULUKKO 2. Valaisinten kulutus ja sen hinta.

Laite	kWh/a	Hinta (€/a)	Hinta (€/10a)	Todellinen hinta (€/10a)
AD Linear S100	650	45	642	2082
RAMI L OP	934	65	923	1903
TN2284WBC	781	55	771	3406

Kuten yllä olevasta taulukosta voidaan huomata, ADLuxin ja RAMI L OP:n hinnat ovat kutakuinkin samaa luokkaa kymmenen vuoden päästä asennuksesta. Ne eivät kuitenkaan täytä täysin standardin asettamia laatuvaatimuksia, joten järkevin valinta olisi Enston TN2284WBC-valaisin.

2.2.3 Pistorasiat

Halliin ei tule raskasta teollisuuslaitteistoa kuten suuria moottoreita. Täten riittää, että halliin asennetaan muutama pistorasia keskeisille paikoille. On suositeltavaa, että pistorasiat eivät ole kovin kaukana käyttäjästä ja niitä on hallissa tarpeeksi, jotta jatkojohtojen käyttö jäisi mahdollisimman pieneksi. Kuvaan 7 on merkitty ehdotetut paikat pistorasioille. Kaikkiin kohtiin paitsi nosto-ovien viereen asennetaan sekä kolmi- että yksivaiheinen pistorasia.



KUVA 7. Pistorasioiden ehdotetut sijainnit.

Pistorasioiden tulee olla IP44-luokiteltuja, sillä hallissa saatetaan pestä kalustoa ja tämän seurauksena vettä saattaa roiskua laajaltikin. Muun muassa ABB Oy valmistaa kyseiseen käyttötarkoitukseen soveltuvia pistorasioita.

2.2.4 Hätäpoistumistievalaistus

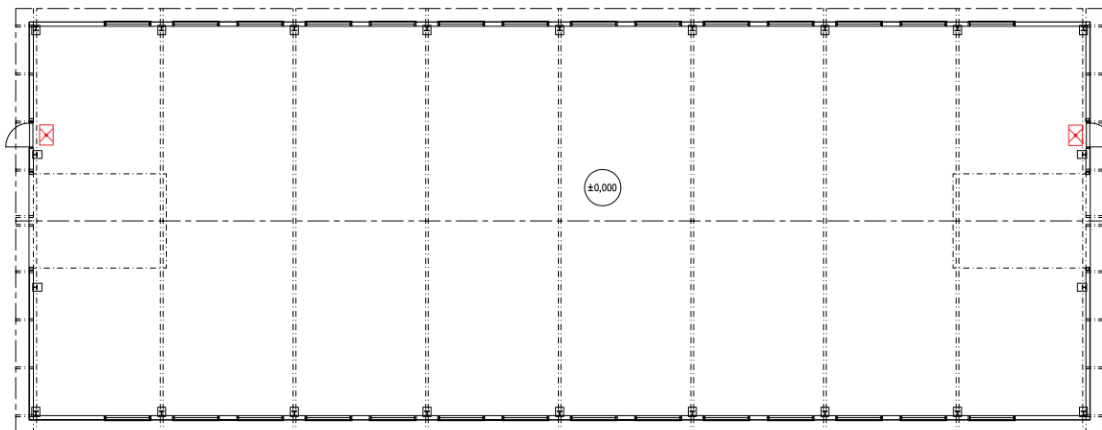
Sisäasiainministeriön asetuksen (805/2005) mukaan poistumisreitit ovat merkittävä poistumisopasteilla majoitustiloissa, hoitolaitoksissa, kokoontumis- ja liiketiloissa, työpaikatiloissa, tuotantotiloissa, varastotiloissa, joissa työskennellään sekä muissa tiloissa, joissa pelastautuminen on hankalaa.

Asetuksessa (805/2005) mainitaan myös, että poistumistievalaistusta suunniteltaessa on erityisesti huomioitava rakennuksen käyttötapa, koko ja muoto.

Asetuksessa (805/2005) annetaan vaatimus, että poistumistieopasteet täytyvät aina olla valaistuja, sekä niiden täytyy pysyä päällä vähintään tunnin ajan, vaikka syöttävästä ryhmäjohdosta katkeaisi sähkö.

Hätäpoistumistievalaistuksen toteutuksessa on tärkeää, että poistumistiet ovat helposti löydettävissä ja ohjeistus poistumistielle on näkyvissä joka paikassa rakennusta. Kalustohallissa on riittävää, että poistumistievalaistus on jokaisen uloskäynnin läheisyydessä, sillä halli on avoin ja sen sisällä ei ole seiniä, jotka estäisivät näkyvyyttä. Kuvassa 8 näkyy havainnollistettuna poistumisvalaisimien ehdotetut sijoituspaikat.

Mikäli hallissa olisi toimistotilaa tai käytäviä, olisi syytä sijoittaa poistumistievalaisin käytävän päähän tai muulle keskeiselle paikalle.



KUVA 8. Poistumistievalaisinten sijoituspaikat.

2.2.5 Nosto-ovet

Halliin asennettavat nosto-ovet ovat tilattu erikseen ja laitetoimittaja toteuttaa asennuksen. Toimittaja tarvitsee ovien läheisyyteen kolmivaiheiset 16 A:n voimapistorasiat. Ovien merkki ja malli ei ole tiedossa. Niiden aiheuttamasta kuormasta voidaan siis tehdä vain oletuksia. Kuorma ei ole jatkuvaa, mutta kyseisellä pistorasiolla on mahdollista syöttää alla olevan kaavan 1 mukaan laskettu määrä tehoa sen ajan, kun ovella kestää avautua. Kerroin 3 kaavassa tulee piirin kolmivaiheisuudesta. Jokainen vaihe kykenee tuottamaan 16 A:n virran.

$$P_{pr.max} = 3 \cdot I_B \cdot U_v = 3 \cdot 16 \text{ A} \cdot 230 \text{ V} = 11040 \text{ W} \quad (1)$$

11 kW on todennäköisesti enemmän kuin tarpeeksi kyseisille nosto-oville. Suurimmat vastaavan kokoluokan moottorikäyttöiset nosto-ovet käyttävät kutakuinkin 6 kW tehoa. Niiden verkkoliitännässä käytetään kuitenkin 16 ampeerin voimapistorasioita.

2.2.6 Puhaltimet

Hallin rakennuksen aloitusvaiheessa ei ole myöskään tiedossa, millaista tuule-
tusta halliin halutaan, joten on tehtävä oletuksia. Kylmähalliin voidaan olettaa tu-
levan vaikkapa kaksi kappaletta kaksinopeuspuhaltimia nosto-ovien läheisyy-
teen. Näille on hyvä varata kontaktorilähdöt keskukselle. Puhaltimien toimintaa
voidaan ohjata kellon avulla.

Kellon etuna on automaattinen vaihtelu eri nopeuksien ja poissa päältä olemi-
sen välillä. Asetukset voidaan ohjelmoida siten, että kun hallissa on paljon akti-
viteettia, on täysi nopeus päällä, muutoin puolinopeus. Ja kun aktiviteettia ei
ole, puhaltimet ovat poissa käytöstä. Kellosta onnistuu myös käsikäyttö, jolloin
käyttäjä voi ohjata toimintaa tarpeen mukaan.

2.3 Sähkökuvat

Sähkökuvat halliin toteutettiin AutoCAD-suunnitteluohjelmalla ja Excel-laskenta-
työkalulla. Liitteen 10 sijoituskuvaan on tuotu kaikki halliin asennettavat laitteet
ja pistorasiat, kaapelihyllyt, jakorasiat ja niitä syöttävien ryhmien tunnuksset.

Liitteessä 11 on taulukko, johon on merkitty kaapelinumero, kaapelin kytkentä-
ryhmä, kaapelityyppi ja kyseisen kaapelin kytkentäryhmään kuuluvat etukojeet.

3 MITOITUS

3.1 Kuormitettavuus ja kaapelin valinta

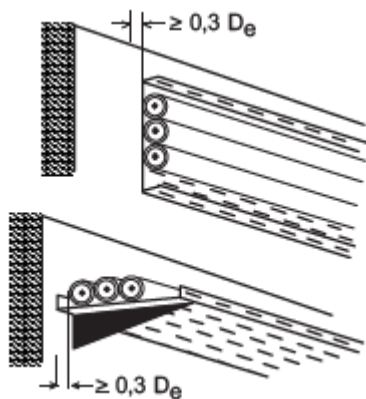
Kuormitettavuuden mitoittaminen on mahdollista toteuttaa monella tavalla.

Tässä työssä tavaksi valittiin noudattaa SFS 6000-standardin ohjeistusta. D1-2017-käsikirjan ohjeilla saadaan aivan yhtä pätevä, mutta tiukempi mitoitus. D1-2017 pohjautuu SFS standardiin.

Kaapelia ympäröivä materiaali vaikuttaa olennaisesti kaapelin jäähtymiseen. Esimerkiksi kylmä maa edistää kaapelin viileänä pysymistä paremmin kuin ilma. Myös kaapeleiden asentaminen nippuun tai lähelle toisiaan vaikuttaa jäähtymiseen.

Kuormituksen kasvaessa lämpeneminen lisääntyy. Suurilla kuormilla ongelma on tyyppistä. Työn halliin ei kuitenkaan ole tulossa raskasta teollisuuslaitteistoa tai paljoa kaapeleita, joten lämpeneminen ei aiheuta erityisratkaisuja.

Kaapelin kuljettaminen hallin sisällä on suositeltavaa toteuttaa käyttämällä kaapelihyllyä kuvan 9 mukaisesti. Hyllyyn on helppo kiinnittää kaapelia ja hyllyyn on mahdollista varata tilaa tulevaisuutta varten, mikäli sähköntarve lisääntyy. Käytettäessä tikashyllyjärjestelmää, on käytettävä SFS 6000 standardin taulukossa A.52.3 määriteltyä referenssiasennustapaa E tai F.



KUVA 9. Hyllyasennus (SFS 6000-5-52, s.27).

3.1.1 Lämpötilan vaikutus

Käytettäessä asennustapaa E, on huomioitava kuormituskerroin, johon vaikuttavat kaapeleiden määrä hyllyllä ja ympäristön lämpötila. SFS-standardin taulukko B.52.14 (Liite 2) antaa kertoimen ympäristön lämpötilan mukaan. Tässä tapauksessa tehdashallin, jossa ei ole minkäänlaista viilennystä voidaan lämpötilan keksällä olettaa nousevan jopa 35 asteeseen. PVC-eristeen MMJ kaapelin korjauskertoimeksi saadaan näin 0,94.

3.1.2 Kaapeleiden määrän vaikutus

Kun kaapeleita on enemmän kuin yksi, on huomioitava niiden vaikutus keskenään ja näin kaapeleille saadaan SFS 6000 standardin taulukosta B.52.17 (Liite 3) toinen korjauskerroin. Tämän työn tapauksessa molemmille puolille HALLI-keskusta asennetaan kolmivaiheinen voimapistorasiasia ja yksivaiheinen pistorasiasia. Keskukselle tulee myös syöttö-, nosto-ovien syöttö-, hätäpoistumistievalaistus-, hallivalaistus- ja mahdolliset tuuletuksen syöttökaapelit. Kaapeleita tulee yhdelle hyllylle siis 12. Näistä 12:sta kaapelista neljä on yksijohdinkaapeleita. Standardissa mainitaan, että yksijohdinkaapeleita käytettäessä niitä voidaan kohdella kolmen kuormitetun johtimen piirinä summaamalla niiden määrät yhteen ja jakamalla se kolmella. Näin ollen voidaan ajatella hyllylle tulevan yhdeksän kaapelia ja täten kuormituskertoimeksi saadaan 0,78.

3.1.3 Lämpöeristeen vaikutus

Mikäli kaapeli läpäisee lämpöeristeen, on otettava huomioon lämpöeristeen paksuus ja kaapelin kuormitettavuudelle on annettava kuormituskerroin. Kuormitettavuustaulukosta saatava kuormitettavuus on kerrottava tällä kertoimella, jotta saadaan lopullinen kuormitettavuus. SFS 6000 standardin taulukosta 52.X saadaan apua korjauskertoimen valintaa varten. Samoja korjauskertoimia on

käytettävä putken sisällä olevan kaapeli mitoitukseen, mikäli putki lävistää eristeeseen. Mitoitus on tehtävä epäedullisimman läpäisykohdan mukaan. Alla olevassa kuvassa 10 on kyseinen taulukko.

Lämpöeristeen paksuus mm	Korjauskerroin
50	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

KUVA 10. Lämpöeristeen vaikutus (SFS 6000-5-52, 16).

3.1.4 Kaapelin valinta

Kun kuormituskertoimet ovat tiedossa, on mahdollista mitoittaa kaapeli. Kaapeli voidaan mitoittaa kahdella tavalla: Ylivirtasuojan nimellisvirran tai kaapelin asennustavan mukaan.

Käytettäessä B-, C- tai D-tyypin johdonsuojakatkaisijoita, voidaan suojalaite valita kaapelin kuormitettavuuden mukaan (SFS 6000-5-52:2017, 75). Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli halutaan käyttää maksimissaan 16 ampeerin virtaa, kaapelin on kestävä vähintään sen verran. Kerroin kuormitettavuudelle voidaan edellisten kappaleiden valintojen mukaan laskea kaavalla 2.

$$k = k_1 \cdot k_2 = 0,94 \cdot 0,78 = 0,7332 \quad (2)$$

Täten, jos halutaan asentaa pistorasia, jossa saa käyttää enintään 16 A:n laitteita, on valittava SFS 6000-5-52:n taulukon B.52.10 (Liite 1) sarakkeesta 3 seuraava suuremman kuormitettavuuden omaava kaapeli kuin alla olevan kaavan 3 tulos.

$$I_z = \frac{I_B}{100 \cdot k} \cdot 100 = \frac{16 \text{ A}}{100 \cdot 0,7332} \cdot 100 \approx 21,83 \text{ A} \quad (3)$$

Tässä tapauksessa kaapeliksi valikoituu taulukon mukaan 2,5 mm²:n poikkipinta-alan omaava kaapeli.

3.2 Vikavirtasuojaus

SFS 6000 standardin kohdissa 411.3.3 ja 411.3.4 on määritelty, millaiset sähkölaitteet on suojattava mitoitusvirraltaan vähintään 30mA:n vikavirtasuojilla. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi mitoitusvirraltaan enintään 32A pistorasiat, ulkona käytettävät siirrettävät laitteet ja asuntoissa ja niiden piha-alueilla toimivat valaisimia syöttävät ryhmäjohdot, joita käyttävät pääasiallisesti maallikot. (SFS 6000-4-24:2017, 75)

Samankaltaisen standardin liitteessä 41X on esitetty erikoistapauksia, joissa vikavirtasuojaus voidaan jättää pois. Tällaisia tapauksia ovat laitteet, joilla on tietty käyttötarkoitus ja sitä syöttävään pistorasiaan pääsy ei ole helppoa tai laitteen syötön katkeaminen aiheuttaa suurta haittaa. Esimerkiksi jääkaapit ja pakastimet ovat tällaisia laitteita asuinrakennuksissa. Lisäksi, jos pistorasiassa käytetään laitetta, jota pidetään kädessä käytön aikana, se on suojattava vikavirtasuojalla. (SFS 6000-3-41:2017, 95)

Näiden määräysten perusteella voidaan tehdä päätelmä, että kaikki kalustohallin ryhmät on suojattava vikavirtasuojilla.

3.3 Maadoitus

Maadoitusjohdin on päämaadoituskiskon ja maadoituselektrodin välille kytketty johdin (Kuva 12). Maadoitusjohtimen tulee olla vähintään 6 mm⁶ kuparikaapelia tai 50 mm² terästä. Maahan upotettujen maadoitusjohtimien tulee kuitenkin olla kuvassa 11 olevien esimerkkien mukaisia.

FI HUOM. Tämä taulukko on yksinkertaistettu esikuvastandardista olevasta taulukosta ottamalla mukaan vain elektrodille vaadittu poikkipinta-ala, materiaalin paksuus ja mahdollisen korroosiosuojauskerroksen paksuus. Taulukossa ei ole mukana maadoituselektrodien erilaisia profiileja ja mukana on Suomen poikkeuksena mainittu mahdollisuus käyttää 16 mm² kuparielektrodia. Maadoituselektrodit on valittu vain sähköiskulta suojausta koskevien vaatimusten mukaisesti. Jos maadoituselektrodia käytetään myös salamasuojaukseen, elektrodin poikkipinnan pitää standardin SFS-EN 62305-3 mukaan olla suurempi. **FI**

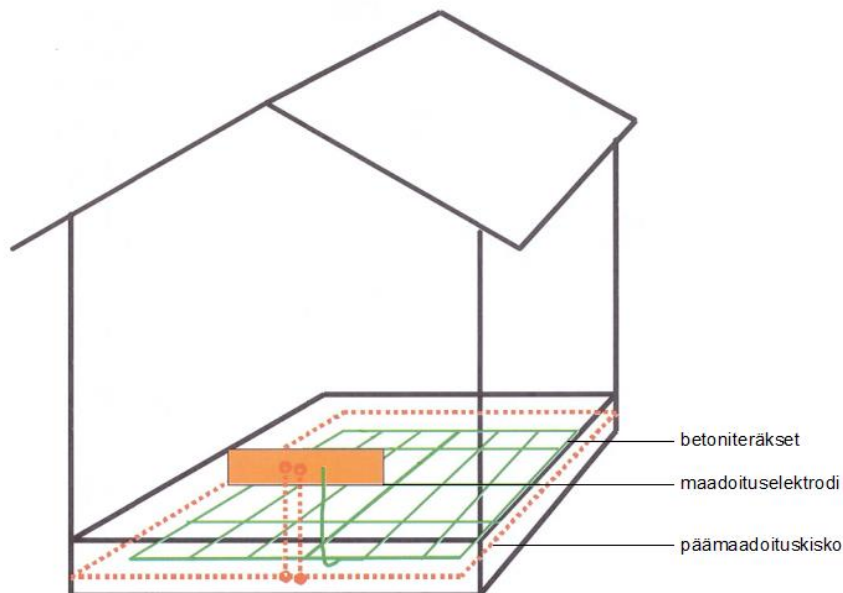
Materiaali	Poikkipinta-ala mm ²	Halkaisija Ø mm	Minimipaksuus mm ^a	Korroosiosuojauskerroksen paksuus µm
Kupari	16		1,6	–
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	–
Betoniin upotettu teräs	90	10	3	– ^b
Kuparivaipalla varustettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 (vaaka- tasossa 10)		250 (vaakaelektrodilla 70)

^a Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija Ø
^b Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta

KUVA 11. Maadoituselektrodin minimimitat (SFS 600-1-1 2017, 376).

Alumiinikaapelia ei saa käyttää maadoitusjohtimena. (SFS 600-1-1 2017, 377.)

Mikäli maadoituselektrodia käytetään myös salamasuojauksessa, tulee maadoitusjohtimen poikkipinnan olla vähintään 16 mm² kuparia tai 50 mm² terästä. (D1-2017, 300.)



KUVA 12. Tyypillinen maadoitusjärjestelmä (D1-2017, 293).

Alla olevassa kuvassa 13 on määritelty, minkä paksuinen maadoitusjohtimen tulee olla. Kuvan mukaan, mikäli äärijohdin on poikkipinta-alaltaan enintään 16 mm², saa suojajohdin olla yhtä paksu.

Äärijohtimen poikkipinta S mm ² kuparia	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm ² kuparia	
	Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohdin	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohdin
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	16 ^a	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}$ ^a	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$

Jossa

k_1 on äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukossa [A.54.1](#) tai SFS 6000-4-43 taulukoissa

k_2 on kertoimen k arvo, joka on esitetty [taulukoissa A.54.2 - A.54.6](#).

^a PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla nollajohtimen mitoituksen sääntöjä (ks. SFS 6000-5-52).

KUVA 13. Maadoitusjohtimen paksuuden valinta (SFS 600-1-1 2017, 379).

4 MITOITUKSEN TEORIA

Tehtäessä sähkösuunnittelua, on lähdettävä liikkeelle suunniteltavan kohteen käyttötarkoituksesta ja energiantarpeesta. Energiantarpeeseen sisältyy muun muassa valaistus, ilmastointi, sähkölaitteet ja lämmitys. Tämän työn aiheena on pienehkön teollisuushallin tai muun vastaavan rakennuksen sähkösuunnittelu.

Energian tarpeen selvityksen jälkeen on mahdollista laskea rakennuksen vaatima teho. Tehon avulla taas voidaan laskea muita tarpeellisia asioita, jotka vaikuttavat sähkölaitteiden ja kaapeleiden mitoitukseen kuten oikosulkuimpedanssi ja -virrat, jännitteenalenema ja yliaaltokomponentit.

4.1 Teho

Tehon laskennassa on lähdettävä liikkeelle energiantarpeen arvioinnista. Tehon arvioinnissa haasteena on tarkkojen laskelmien tekeminen. Varsinkin kohteissa, joissa ei ole tiedossa, millaisia laitteita kohteeseen halutaan. ST-kortista 13.31 (Sähkötieto ry 2001, 15) löytyy kaava tehontarpeen arviointiin (Kaava 4). Kaavan avulla summataan kaikkien mahdollisten sähkölaitteiden tehot ja kerrotaan se tulevaisuuskertoimella 1,3. Tulevaisuuskerroin huomioi tulevaisuuden sähköntarpeen kasvun ja edellä mainittu arvo on laajalti käytetty sähkösuunnittelussa.

$$P_{mitoitus} = k_{tulevaisuus} \cdot \left(\begin{matrix} P_{ilmanvaihto} + P_{valaistus} + P_{muutLVilaitteet} + \\ P_{kojeet+laitteet} + P_{sähkölämmitys} + P_{muut} \end{matrix} \right) \quad (4)$$

Eri laiteryhmiä tehontarpeen arvioinnissa voidaan käyttää samanaikaisuuskerrointa. Tämän kertoimen arvona käytetään yleensä 0,7:ää. Samanaikaisuuskerroin huomioi esimerkiksi sen, että mikäli rakennuksessa on 20 kappaletta 100 W:n laitteita, todennäköisesti niitä kaikkia ei käytetä samanaikaisesti. Tämä johtaa siihen, että voidaan olettaa niistä vain 14:n olevan käytössä samanaikaisesti. Yksittäisen laiteryhmän tehontarpeen arviointiin voidaan käyttää kaavaa 5.

$$P_{\text{laiteryhmä}} = k_{\text{samanaikaisuus}} \cdot (P_{\text{laitte 1}} + P_{\text{laitte 2}} + P_{\text{laitte 3}} \dots + P_{\text{laitte n}}) \quad (5)$$

Näennäistehon laskeminen kohteissa, joissa laitteet eivät ole tiedossa saattaa olla haastavaa, sillä laitteiden tehokertoimen selvittäminen on mahdotonta. Tehokerroin on siis arvioitava. ABB Oy:n TTT-käsikirjasta saadaan apua tähän ongelmaan. Kuvassa 14 on havainnollistettu eri laitteiden tyypillisiä tehokertoimia.

Kuorma	cos φ tehokerroin (W / VA)	tan φ loistehon tarve (VAr / W)
Moottorit	0,7 ... 0,85	1,0 ... 0,62
Loisteputkivalaisimet		
-kompensoitamattomat	0,5	2
-kompensoidut	0,9	0,5
Tyristorikäytöt	0,4 ... 0,75	2,3 ... 0,9
Resistiivinen kuorma	1	0

KUVA 14. Tehokertoimien arviointitaulukko (ABB Oy 2000, 1).

Moottorin sähköinen teho ja näennäistehoteho voidaan laskea seuraavasti kaavoilla 6 ja 7. P kuvaa pätötehoa, jonka moottorin pyörivä roottori kykenee tuottamaan. P_s on se sähköinen teho, jonka moottori ottaa verkosta, jotta se kykenee tuottamaan roottorin ulos antaman tehon.

$$P_s = \frac{P}{\eta(\%)} \cdot 100\% \quad (6)$$

$$S = \frac{P_s}{\cos \varphi} \quad (7)$$

4.2 Oikosulkuimpedanssi

Oikosulkuimpedanssia tarvitaan laskennassa, jotta voidaan laskea oikosulkuvirtoja. Alakeskuksen oikosulkuimpedanssi voidaan laskea, mikäli sitä syöttävän keskuksen tai muuntajan oikosulkuimpedanssi on tiedossa. On siis kaksi tapaa laskea oikosulkuimpedanssi: Kun syöttävän keskuksen tai muuntajan oikosulkuvirta on tiedossa tai kun muuntaja on tiedossa.

4.2.1 Oikosulkuvirta tiedossa

Mikäli syöttävän keskuksen tai muuntajan oikosulkuvirta on tiedossa, voidaan kyseisen keskuksen tai muuntajan oikosulkuimpedanssi laskea sen oikosulkuvirran ja jännitteen osamääränä kaavalla 8. Jännitekerrointa c käytetään otta-
maan huomioon mahdollinen jännitteenalenema ja tämän takia alentunut oikosulkuvirta. Täten voidaan mitoittaa laitteen suojaksi suojalaite, joka laukaisee suojan, vaikka oikosulkuvirta olisi hieman pienempi, kuin oletettu.

Jännitekerroin määräytyy alla olevan kuvan 15 mukaisesti eri jännitteen arvoilla. Pienjännitteellä maksimioikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään kerrointa 1 mikäli pääjännite on korkeintaan 400 V, muilla arvoilla se on 1,05. Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa 400 V:n pääjännitteellä kerroin on 0,95.

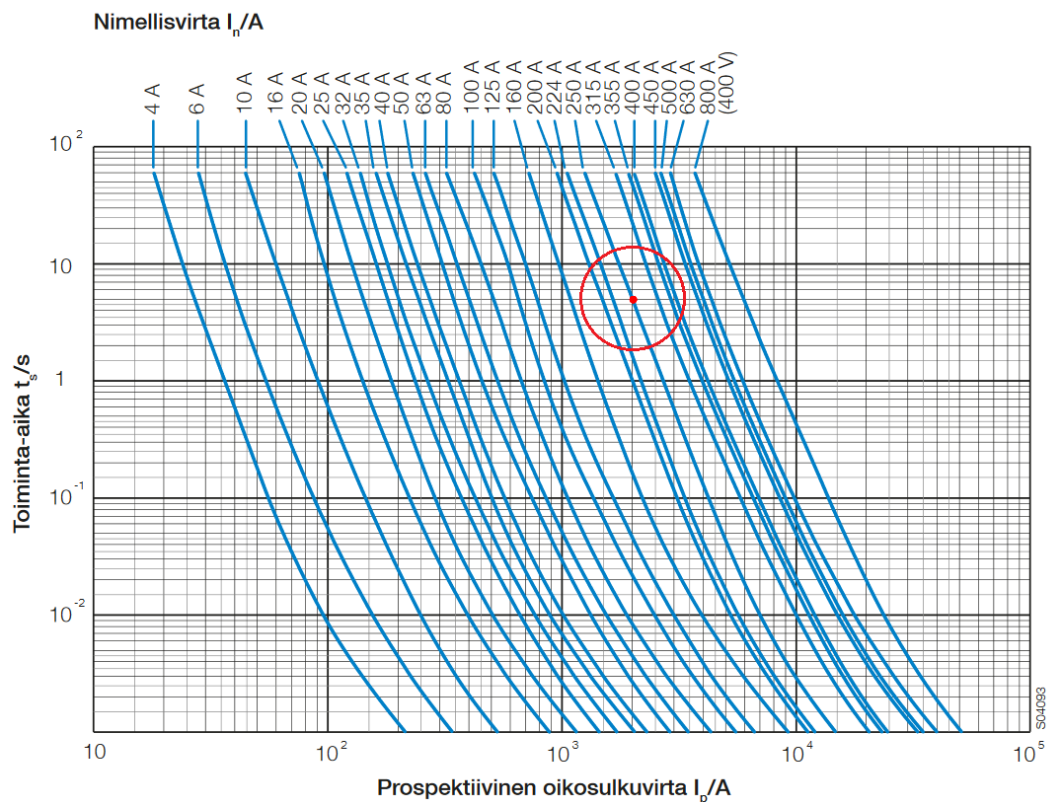
Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulkuvirta C_{max}	Minimioikosulkuvirta C_{min}
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

KUVA 15. Jännitekerroimen määräytyminen (ABB Oy, TTT-käsikirja, luku 7, 2).

$$Z_{kPK} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} \quad (8)$$

Mikäli syöttävän pääkeskuksen tai muuntajan oikosulkuvirta ei ole tiedossa, on tehtävä oletamus sen suojauslaitteen perusteella. Pääsulakkeiden on lauettava alle viidessä sekunnissa, jos niiden välittömässä läheisyydessä tapahtuu oikosulku (Harsia, 2008).

Alla olevan kuvan 16 mukaan 250 ampeerin aM-sulake laukeaa viidessä sekunnissa 2000 A:n virralla.



KUVA 16. aM-kahvasulakkeiden toiminta-aika (ABB Oy 2011, 29).

Kun syöttävän pääkeskuksen oikosulkuimpedanssi on tiedossa, on laskettava seuraavalle keskukselle vievän kaapelin oikosulkuimpedanssi. Tämä impedanssi voidaan laskea liitteen 8 taulukon antamien tietojen avulla. Taulukossa annetaan resistanssin, reaktanssin ja impedanssin arvot eri paksuisilla kaapeleilla. Kaapelin impedanssi voidaan laskea kaavalla 9.

$$Z_j = l_j \cdot (Z_L + Z_{PE}) \quad (9)$$

Johdon impedanssin avulla voidaan laskea seuraavan pisteen, vaikka alakeskuksen oikosulkuimpedanssi kaavalla 10.

$$Z_{kAK} = Z_j + Z_{k1} \quad (10)$$

4.2.2 Muuntaja tiedossa

Mikäli muuntaja on tiedossa, sen kilpiarvoista saadaan tarpeelliset tiedot laskentaa varten. Jos niitäkään ei tiedetä, voidaan käyttää vastaavan tehon ja muuntosuhteen omaavaa muuntajaa. Laskentaa varten käytettävä muuntaja löytyy valmistajien muuntajanvalintataulukoista.

Alla olevan kaavan 11 mukaan voidaan laskea muuntajan oikosulkuimpedanssi.

$$Z_k = z_k \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (11)$$

Oikosulkuimpedanssin avulla voidaan laskea muuntajan oikosulkuresistanssi kaavalla 12.

$$R_k = \frac{P_h}{S_N} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (12)$$

Kun oikosulkuresistanssi on laskettu, voidaan sen avulla laskea oikosulkuimpedanssin vaihekulma kaavalla 13.

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{R_k}{Z_k}\right) \quad (13)$$

4.3 Oikosulkuvirta

Kun minkä tahansa pisteen oikosulkuimpedanssi on tiedossa, voidaan sen kolmivaiheinen oikosulkuvirta laskea kaavalla 14. Kerroin c on kuvan 15 mukaan 400 V:n pääjännitteellä arvoltaan 0,95 tai 1. riippuen siitä, lasketaanko pienintä vai suurinta oikosulkuvirta. Pienimmällä oikosulkuvirralla käytetään kerrointa 0,95.

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (14)$$

Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen (Kaava 15) tapahtuu käyttämällä eri jännitekertoimen arvoa kaavassa 14.

$$I_{k1} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (15)$$

Oikosulkusuojan on lauettava riittävän nopeasti kyseisellä oikosulkuvirran arvolla kuvan 17 ohjeiden mukaisesti, jotta siihen kytketty kaapeli ei vahingoitu lämpenemisvaikutuksen takia. Oikosulkusuojan toiminta-ajan tarkasteluun voidaan käyttää kuvan 16 kaltaisia prospektiivisen oikosulkuvirran taulukoita.

Järjestelmä	50 V < $U_0 \leq 120$ V s		120 V < $U_0 \leq 230$ V s		230 V < $U_0 \leq 400$ V s		$U_0 > 400$ V s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	^a	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	^a	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja.

U_0 on nimellinen tasa- ja vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

HUOM. Jos poiskytkentä toteutetaan vikavirtasuojan avulla, katso kohdan 411.4.4 huomautus, kohdan 411.5.3 huomautus 4 ja kohdan 411.6.4 b) huomautus 4.

^a Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.

KUVA 17. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat (SFS 600-1-1 2017, 75).

Kaapelin kestävyys voidaan tarkistaa laskemalla sen oikosulkukestoisuus kaavalla 16. Lasku on tehtävä suurimmalla kolmivaiheisella oikosulkuvirralla, jotta varmistetaan kaapelin kestävydestä pahimmassa tapauksessa.

$$t_s = \frac{I_{1s}^2 \cdot t_{oc}}{I_{k3}^2} \quad (16)$$

4.4 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema aiheutuu kaapelissa tapahtuvista häviöistä ja kaapelissa kulkevasta virrasta. Mikäli jännitteenalenema kasvaa esimerkiksi laitteen suuren kuormitusvirran tai kaapelin häviöiden takia liian suureksi, voi käyttölaite toimia huonosti tai olla toimimatta kokonaan. Tämän vuoksi SFS 6000- standardissa on säädetty rajat jännitteenalenemalle. Kuvan 18 mukaan suoraan yleisestä sähköverkosta syötettävälle pienjänniteasennukselle raja on 3 tai 5 prosenttia riippuen sen käyttötavasta.

Asennuksen tyyppi	Valaistuskäyttö %	Muu käyttö %
A - Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B - Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä tehollähteestä ^a	6	8

^a Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja. Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.

Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.

KUVA 18. Suurimmat sallitut jännitteenalenemat pienjänniteasennuksissa (SFS 6000 2017, 282).

Suuremmat jännitteenalenemat saattavat kuitenkin olla sallittavia, mikäli jännitteenalenema on vain hetkellistä. Tällaisia tapauksia ovat moottorit ja muut laitteet, joilla on suuri käynnistysvirta.

Oikosulkumoottoreilla käynnistysvirta on tyypillisesti 5-7 kertainen nimellisvirtaan nähden.

Kaavalla 17 voidaan laskea virta missä tahansa pisteessä, kunhan tiedetään kyseisen pisteen näennäisteho. Virtaa tarvitaan, jotta voidaan laskea jännitteenalenema.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (17)$$

Alla olevilla kaavoilla 18-20 on mahdollista laskea erilaisten piirien jännitteenalennemat. Kaavalla 18 voidaan laskea yksivaiheisen ja kaavalla 19 taas kolmivaiheisen piirin jännitteenalennema voltteina.

$$\Delta U = I_B \cdot 2 \cdot l \cdot (R_k \cdot \cos \varphi + X_k \cdot \sin \varphi) \quad (18)$$

$$\Delta U = I_B \cdot \sqrt{3} \cdot l \cdot (R_k \cdot \cos \varphi + X_k \cdot \sin \varphi) \quad (19)$$

Suhteellinen jännitteenalennema prosentteina voidaan laskea tästä voltteina saadusta arvosta osamääränä kaavan 20 avulla.

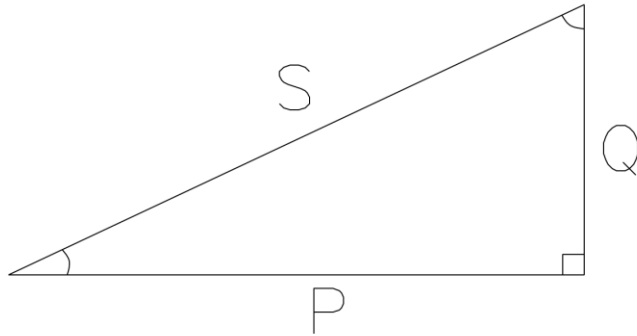
$$\Delta u[\%] = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100\% \quad (20)$$

4.5 Loistehon kompensointi

Kohteissa, joissa on paljon loistehoa synnyttäviä laitteita, saatetaan tarvita loistehon kompensointia. Loistehon osuuden tehosta kasvaessa riittävän suureksi, se kasvattaa näennäistehoa ja näin myös virtaa.

Loistehoa aiheuttavat impedanssin kapasitiiviset ja induktiiviset komponentit. Nämä komponentit kuitenkin kumoavat toisensa. Käytännössä voidaan ajatella kapasitiivisen loiskuorman olevan miinusmerkkistä ja induktiivisen olevan plusmerkkistä.

Käytännössä rakennuksen sähkölaitteet voidaan mallintaa yhdeksi sijaiskytkennäksi, jossa on resistansseja, kapasitansseja ja induktansseja. Joka tapauksessa aina joko kapasitanssi tai induktanssi on hallitseva tekijä ja se tuottaa plus- tai miinusmerkkistä loiskuormaa. Kuvassa 19 on havainnollistettu näennäistehon S riippuvuutta loistehosta Q ja pätötehosta P . Loistehon Q kasvaessa myös näennäisteho kasvaa. Hyvin mitoitetulla kompensointilaitteistolla voidaan pienentää virtoja ja tätä kautta myös sähkölaskua.



KUVA 19. Tehokolmio.

Kompensointitarve voidaan laskea kaavan 21 mukaan. Kaavaan sijoitetaan tehokulma ennen kompensointia ja haluttu tehokulma kompensoinnin jälkeen.

$$Q = \frac{P}{\eta} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (21)$$

Liitteen 4 taulukon avulla mitoitusta voidaan helpottaa. Taulukossa on esitettyä tehokulma ennen kompensointia ja sen jälkeen. Näiden lukujen risteämäpisyydessä on kerroin, jonka avulla voidaan kertoa pätöteho P, jotta saadaan tarvittava kompensoitava loisteho Q.

Mikäli halutaan kompensoida yksittäisen moottorin tuottamaa loistehoa, voidaan käyttää liitteen 5 taulukkoa. Taulukosta etsitään moottorin kierrosluku ja teho. Näiden tietojen perusteella voidaan valita moottorille sopiva kondensaattori kompensoimaan loistehoa.

Tyypillisesti moottorit pyritään kompensoimaan $\cos \varphi$ arvoon 0.98. Suurien moottoreiden kompensoinnissa on huomattava, että kompensointiteho olisi maksimissaan 90% moottorin tyhjäkäyntitehosta. (Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus, 3.)

Kompensointia voidaan toteuttaa kolmella tavalla. Yksittäiskompensoinnilla, kojeryhmien kompensoinnilla tai keskitetyllä kompensoinnilla.

Yksittäiskompensoinnilla tarkoitetaan yksittäisen laitteen loistehon kompensointia. Yleensä on pyrkimyksenä sijoittaa kompensointilaitte lähelle laitetta itseään,

esimerkiksi kondensaattoriyksiköllä varustetun turvakytkimen avulla (Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus, 4).

Kojeryhmien kompensoinnilla tarkoitetaan esimerkiksi moottoriryhmien kompensointia. Mikäli alueella on paljon kuormaa, mutta vain osa niistä aiheuttaa paljon loiskuormaa, voidaan tätä tapaa käyttää niiden ryhmien kompensointiin.

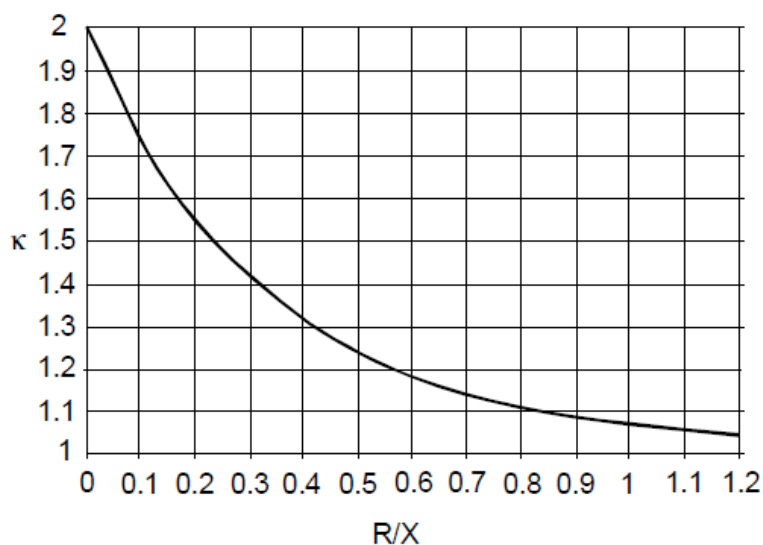
Keskitetyllä kompensoinnilla tarkoitetaan kokonaisuuksien, esimerkiksi teollisuusalueiden tai suurten rakennusten yhteistä kompensointia.

4.6 Keskus

Kun syöttävä muuntaja on tiedossa ja verkko on säteittäinen, voidaan esimerkiksi muuntajalta virtansa saavan pääkeskuksen dynaaminen oikosulkuvirta laskea kaavalla 22.

$$I_{pk} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3} \quad (22)$$

Kerroin k kuvassa 20 on oikosulkua edeltävän verkon osan resistanssin R ja reaktanssin X suhde. Yleensä reaktanssi on dominoiva vaikuttaja, sillä muuntajalla on suuret induktiiviset häviöt suhteessa muihin laskennassa käytettäviin komponentteihin.



KUVA 20. Sysäyskerroimen riippuvuus häviöiden suhteesta (ABB Oy, TTT-käsikirja, Luku 7, 8).

Keskus täytyy valita niin, että sen dynaamisen oikosulkuvirran kestoisuus on suurempi kuin kiskoissa mahdollisesti tapahtuva oikosulku. Alla olevassa kuvassa 21 on ABB Oy:n MCS-järjestelmän teknisiä tietoja.

Terminen nimelliskestovirta	I_{cw}	max. 35 kA
Ehdollinen oikosulkuvirta	I_{cf}	max. 50 kA
Dynaaminen nimelliskestovirta	I_{pk}	max. 73,5 kA

KUVA 21. ABB Oy:n MCS-järjestelmän oikosulkukestoisuudet (ABB Oy 2001, 10).

5 MITOITUSESIMERKKI

Tässä kappaleessa olevissa esimerkeissä on keksitty suuntaa antavia esimerkkejä mahdollisista tilanteista ja laskettu niiden perusteella tuloksia.

5.1 Teho

Taulukossa 3 on kuvitteellisen rakennuksen sisältämät sähkölaitteet. Kuvitelmaan, että ainoastaan kuusi moottoria on samaan aikaan päällä.

TAULUKKO 3. Sähkölaitteet.

Laite	Laitteen teho (kW)	Määrä (kpl)
Tuuletin	1,5	2
Valaisin	0,1	12
Sähkömoottori	1,5	8
Lämmityspatteri	1	5
Toimistolaitteet	0,66	3

Moottorit ovat 1,5 kW moottoreita. Valmistaja ilmoittaa moottorinvalintataulukossaan kuvassa 21, että 1,5 kW:n koneen $\cos \varphi$ on 0,7 ja hyötysuhde 85,3%.

Näillä tiedoilla voidaan laskea moottorin ottama sähköinen teho kaavoilla 6 ja 7.

$$P_s = \frac{P}{85,3\%} \cdot 100 = 1758 \text{ W} \quad (6)$$

$$S = \frac{P_s}{\cos \varphi} = \frac{1758 \text{ W}}{0,7} \approx 2512 \text{ VA} \quad (7)$$

Näennäistehon kulma saadaan laskemalla $\cos \varphi$:n arvosta ulos φ .

$$\varphi = \cos^{-1}(0,7) = 45,6^\circ$$

Yhdistämällä sähköinen teho ja kulma φ saadaan moottorin pätöteho.

$$\overline{S}_{kok} = (2512 \angle 45,6^\circ) \text{ VA}$$

IP 55 - IC 411 - Insulation class F, temperature rise class B
IE3 efficiency class according to IEC 60034-30-1; 2014

Output kW	Motor type	Product code	Efficiency IEC 60034-30-1; 2014			Speed r/min	Power factor Cosφ	Current		Torque			Moment of inertia J = 1/4 GD ² kgm ²	Weight kg	Sound pressure Level L _{pa} dB
			Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%			I _N A	I _s /I _N	T _N Nm	T _i /T _N	T _s /T _N			
1500 r/min = 4 poles															
400 V 50 Hz															
CENELEC-design															
0.25	M2BAX 71MB 4	3GBA072320--D	1440	73,5	70,1	63,8	0,64	0,78	6,1	1,67	2,7	3,5	0,00075	10	41
0.37	M2BAX 71MLA 4	3GBA072410--D	1441	77,3	74,9	69,8	0,66	1,06	6,8	2,47	2,7	3,8	0,00098	12	50
0.55	M2BAX 80MC 4	3GBA082330--D	1445	80,8	80,8	78,1	0,75	1,31	7,8	3,64	2,6	3,9	0,00228	17	48
0.75	M2BAX 80MLA 4	3GBA082410--D	1444	82,5	81,3	78	0,72	1,79	8,4	4,86	3,8	4,6	0,00295	21	48
1.1	M2BAX 90SB 4	3GBA092120--D	1439	84,1	83,2	80,9	0,74	2,57	7,7	7,23	3,6	4,2	0,00394	23	47
1.5	M2BAX 90SLA 4	3GBA092010--D	1444	85,3	84,2	81,3	0,7	3,65	8,3	9,87	4,6	5,4	0,00485	25	44
2.2	M2BAX 100LB 4	3GBA102520--D	1451	86,7	86,6	84,5	0,77	4,77	9,2	14,54	3,4	4,4	0,00863	34	50
3	M2BAX 100LKA 4	3GBA102810--D	1450	87,7	87,6	86,5	0,8	6,18	9,8	19,78	3,7	4,6	0,0115	41	56
4	M2BAX 112MLA 4	3GBA112410--D	1443	88,6	88,9	88,1	0,81	8,11	9,4	26,53	3,6	4,4	0,0152	50	57
5.5	M2BAX 132SMA 4	3GBA132210--D	1463	89,6	90,4	90,2	0,77	11,5	7,9	35,89	2,6	3,3	0,0297	67	68
7.5	M2BAX 132SME 4	3GBA132250--D	1465	90,4	90,7	90,3	0,78	15,5	7,4	48,96	2,5	4	0,037	77	60
11	M2BAX 160MLA 4	3GBA162410--F	1477	91,4	91,8	91,1	0,82	21,1	7,6	71,27	2,6	3,3	0,11	136	61
15	M2BAX 160MLB 4	3GBA162420--F	1477	92,1	92,4	91,6	0,82	28,5	8,2	96,99	3	3,7	0,135	161	61
18.5	M2BAX 180MLA 4	3GBA182410--F	1472	92,6	92,6	92	0,82	35	10,3	120,1	3,6	4	0,135	169	64
22	M2BAX 180MLB 4	3GBA182420--F	1473	93	93,2	92,5	0,8	42,8	10,1	142,58	3,3	4,2	0,167	198	65
30	M2BAX 200MLA 4	3GBA202410--F	1481	93,6	94	93,5	0,82	56,3	10	192,76	3,9	3	0,32	282	69
37	M2BAX 225SMA 4	3GBA222210--F	1479	93,9	94,2	93,7	0,81	70,3	9,3	237,79	2,5	3	0,376	278	67
45	M2BAX 225SMB 4	3GBA222220--F	1481	94,2	94,4	93,8	0,79	87,8	9,1	288,31	4,2	3,6	0,415	293	68
55	M2BAX 250SMA 4	3GBA252210--F	1479	94,6	94,7	94	0,83	102	10,1	351,77	4,4	3,4	0,62	386	74
75	M2BAX 280SMB 4	3GBA282220--M	1485	95	95,2	94,8	0,86	133	6,4	483	2,3	2,8	1,38	573	75
90	M2BAX 280SMC 4	3GBA282230--M	1485	95,2	95,3	94,8	0,86	159	7,1	588	2,5	2,9	1,73	636	75
110	M2BAX 315SMB 4	3GBA312220--M	1489	95,4	95,4	94,8	0,85	196	7	705	2,1	3	2,43	823	71
132	M2BAX 315SMC 4	3GBA312230--M	1488	95,6	95,8	95,3	0,86	231	6,7	847	2,2	2,9	2,9	892	71
160	M2BAX 315SMD 4	3GBA312240--M	1488	95,8	96	95,8	0,85	282	6,9	1026	2,2	3	3,2	933	71
200	M2BAX 315MLB 4	3GBA312420--M	1487	96	96,4	96,4	0,86	351	6,8	1284	2,4	3	3,9	1091	74
250	M2BAX 355SMA 4	3GBA352210--M	1491	96	96	95,6	0,86	435	6,4	1601	2,1	2,9	5,9	1445	78
315	M2BAX 355SMB 4	3GBA352220--M	1491	96	96	95,6	0,86	545	6,7	2018	2,3	3	6,9	1595	78
355	M2BAX 355SMC 4	3GBA352230--M	1490	96	96,2	95,8	0,86	616	6,3	2273	2,3	2,8	7,2	1635	78

KUVA 21. Moottorivalintataulukko (ABB Oy 2018, 20).

Kun laitteiden kuorma on sama, voidaan summaamisen sijasta käyttää kerto-merkkiä kaavassa 5.

$$\bar{S}_{\text{laiteryhmä}} = \frac{6}{8} \cdot (2512 \angle 45,6^\circ) \text{ VA} \cdot 8 \approx (15073 \angle 45,6^\circ) \text{ VA} \quad (5)$$

Samassa rakennuksessa on myös raskaita laitteita, joiden yhteinen $\cos \varphi$ on 0,85 ja samanaikaisuuskerroin 0,7. Alla olevassa taulukossa 4 on lueteltu raskaiden laitteiden ottamat pätötehot ja näennäisteho samanaikaisuuskerroin huomioituna.

TAULUKKO 4. Raskaat laitteet.

Laitteen nimi	Määrä (kpl)	Teho (kW)	Yhteensä (kVA)
Pilarinostin (alle 500kg)	2	3	4,9
Levyleikkuri	1	10	8,2
Särmäpuristin	1	7	5,8
Hitsauskone	3	30	74,1
Hydraulipuristin	1	2	1,6

Laiteryhmän kokonaisnäennäistehoksi saadaan edellä olevien esimerkkien avulla $(94706 \angle 31,8^\circ)$ VA

Seuraavaksi voidaan lisätä kaikki laiteryhmien tehot yhteen kaavalla 4. Kuvitellaan, että tuulettimet ovat samoilla 1,5 kW:n moottoreilla varustettuja. Muiden ryhmien tehokertoimen voidaan tässä esimerkissä kuvitella olevan 1.

$$\bar{S}_{mitoitus} = 1,3 \cdot \left(\begin{array}{l} (5024 \angle 45,6^\circ) \text{VA} + 1200 \text{ W} + (15073 \angle 45,6^\circ) \text{VA} + \\ 5000 \text{ W} + 2000 \text{ W} + (94706 \angle 31,8^\circ) \text{VA} \\ (121196 \angle 32,8^\circ) \text{VA} \end{array} \right) \approx \quad (4)$$

5.2 Oikosulkuimpedanssi keskuksen oikosulkuvirran avulla

Kuvitellaan, että Pääkeskus PK01 syöttää alakeskusta AK01 ja pääkeskuksen oikosulkuvirraksi on ilmoitettu 1632 A. Keskusten välillä on AMCMK 4x120+41Cu syöttökaapeli ja kaapeli on 100 metriä pitkä.

$$Z_{kPK} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 1632 \text{ A}} \approx 0,1345 \Omega \quad (8)$$

Seuraavaksi lasketaan kaapelin impedanssi kaavalla 9. Tämän jälkeen summaataan kaapelin ja pääkeskuksen impedanssit toisiinsa. Liitteen 8 taulukosta saadaan kaapelille impedanssien arvot, jotka voidaan syöttää suoraan kaavaan.

Mikäli taulukosta ei löydy juuri oikeaa poikkipinta-alaa, voidaan taulukosta valita seuraava, pienempi poikkipinta-alainen kaapeli. Näin varmistutaan siitä, että laskettu impedanssi ei varmasti ole liian pieni ja täten vaikuta kappaleen 5.4 oikosulkuvirran laskuihin väärentävästi.

$$Z_j = 0,1 \text{ km} \cdot (0,326 \text{ } \Omega/\text{km} + 0,657 \text{ } \Omega/\text{km}) = 98,3 \text{ m}\Omega \quad (9)$$

Seuraavaksi voidaan laskea alakeskuksen impedanssi kaavalla 10.

$$Z_{kAK} = 0,0983 \text{ } \Omega + 0,1345 \text{ } \Omega \approx 232,7 \text{ m}\Omega \quad (10)$$

5.3 Oikosulkuimpedanssi muuntajan avulla

Tässä kappaleessa lasketaan oikosulkuimpedanssi pääkeskus PK01:llä, jota syöttää muuntaja M01. Muuntaja on liitteessä 7 merkitty 50 kVA:n muuntaja. Myös tässä esimerkissä kaapeli on AMCMK 4x120+41. Kaapelin impedanssi lasketaan kappaleessa 5.2.

$$Z_k = 0,04 \cdot \frac{(400 \text{ V})^2}{160000 \text{ VA}} = 0,04 \text{ } \Omega \quad (11)$$

$$R_k = \frac{2350 \text{ W}}{160000 \text{ VA}} \cdot \frac{(400 \text{ V})^2}{160000 \text{ VA}} \approx 0,0147 \text{ } \Omega \quad (12)$$

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{0,0147 \text{ } \Omega}{0,04 \text{ } \Omega}\right) \approx 68,458^\circ \quad (13)$$

Seuraavaksi voidaan yhdistää laskettu oikosulkuimpedanssi ja sen vaihekulma yhteen ja saadaan oikosulkuimpedanssi vaihekulmam muodossa:

$$\underline{Z}_k \approx (0,04 \angle 68,458^\circ) \Omega$$

Sama luku polaarimuodossa on:

$$\underline{Z}_k \approx (0,0147 + j0,03721) \Omega$$

Polaarimuodosta voidaan suoraan nähdä reaktanssin osuus.

$$X_k \approx 37,21 \text{ m}\Omega$$

Reaktanssi on induktiivista, sillä polaarimuodon imaginääriosaa on positiivinen. Sen ollessa negatiivinen, reaktanssi olisi kapasitiivista. Tämä käy järkeen, sillä tyypillisesti muuntajan aiheuttama kuorma on induktiivista.

$$Z_{kPK} = 0,0983 \Omega + 0,04 \Omega = 0,1383 \Omega \quad (10)$$

5.4 Oikosulkuvirta

Oikosulkuvirran laskentaan voidaan käyttää joko kappaleissa 5.2 tai 5.3 lasketujen oikosulkuimpedanssien avulla. Tässä esimerkissä käytetään kuitenkin kappaleessa 5.3 laskettuja arvoja. Lasketaan kolmivaiheinen oikosulkuvirta kaavalla 14.

$$I_{k3} = \frac{1 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,1383 \Omega} \approx 1669,8 \text{ A} \quad (14)$$

Tämän jälkeen lasketaan yksivaiheinen oikosulkuvirta kaavalla 15.

$$I_{k1} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot (0,1383) \Omega} \approx 1586,3 \text{ A} \quad (15)$$

Kappaleen 5.4 esimerkin R/X kertoimeksi saadaan noin 0,66.

$$R/X = \frac{0,0147 \Omega}{0,03721 \Omega} \approx 0,395$$

Täten saadaan kuvan 20 mukaan k:n arvoksi 1,32. Lasketaan seuraavaksi dynaaminen oikosulkuvirta kaavalla 21.

$$I_{pk} = 1,32 \cdot \sqrt{2} \cdot 1669,8 \text{ A} \approx 3117 \text{ A} \quad (21)$$

Kaavalla 20 voidaan laskea kaapelin oikosulkuvirran kestoisuus sekunteina. Valmistajan taulukosta (Liite 6) saadaan suurin yhden sekunnin oikosulkuvirran kestoisuus.

$$t_s = \frac{(9100 \text{ A})^2 \cdot 1 \text{ s}}{(1669,8 \text{ A})^2} \approx 29,7 \text{ s} \quad (16)$$

Kaapeli kestää virtaa pitkään. Tämä on hyvä, sillä pitkällä oikosulkuvirran kestoisuudella kaapeli ei käytännössä pääse ylikuumentamaan ja täten kaapelin käyttöikä pysyy hyvänä. Kaapelin on kestävä reilusti enemmän oikosulkuvirtaa kuin oikosulkusuojan, jotta säästytään kalliilta kaapelien vaihdolta oikosulku-tilanteessa.

5.5 Jännitteenalenema

Seuraavaksi lasketaan jännitteenalenema tilanteessa, jossa 50 metrin päässä keskuksesta on kuvan 21 moottorivalintataulukon 1,5 kW:n moottori. Kaapelina on käytetty MCMK 4x2,5+2,5 mm²-kaapelia. Esimerkissä käytetään kappaleissa 5.1 ja 5.3 laskettuja arvoja. Kaapelin resistanssin ja reaktanssin arvot löytyvät liitteestä 8.

Lisäksi lasketaan yksivaiheisen pistorasian liittimissä tapahtuva jännitteenalenema. Pistorasialle on vedetty 50 metriä pitkä MMJ 3x2,5 mm²-kaapeli.

5.5.1 Pääkeskuksella

Ensin on laskettava virta pääkeskuksen liittimissä. Virta saadaan laskettua kaavalla 17. Kappaleessa 5.1 on laskettu rakennuksen kokonaisteho stabiilissa tilanteessa.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{121196 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} \approx 175 \text{ A} \quad (17)$$

Lasketaan seuraavaksi jännitteenalenema pääkeskuksella kaavalla 19. Kaapelin pituus voidaan poistaa kaavasta, sillä se on jo huomioitu oikosulkuimpedanssin laskuissa.

$$\Delta U = 175 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot (0,0147 \text{ } \Omega \cdot \cos(68,458^\circ) + 0,03721 \text{ } \Omega \cdot \sin(68,458^\circ)) = 12,13 \text{ V} \quad (19)$$

Seuraavaksi voidaan laskea suhteellinen jännitteenalenema kaavalla 20.

$$\Delta u[\%] = \frac{12,13 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 100\% \approx 3,032\% \quad (20)$$

5.5.2 Moottorin kytkentäkotelossa

Valmistaja on ilmoittanut moottorin nimellisvirraksi 3,65 A. Tämä voidaan sijoittaa jännitteenaleneman kaavaan.

Lasketaan seuraavaksi jännitteenalenema moottorin kytkentälaatikossa kaavalla 19. Resistanssin ja reaktanssin paikoille sijoitetaan kaapelin tiedot.

$$\Delta U = 3,65 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,05 \text{ km} \cdot (8,77 \text{ } \Omega \cdot \cos(45,6^\circ) + 0,110 \text{ } \Omega \cdot \sin(45,6^\circ)) \approx 1,96 \text{ V} \quad (19)$$

Seuraavaksi voidaan laskea suhteellinen jännitteenalenema kaavalla 20. Kaavaan on lisättävä pääkeskuksen jännitteenalenema ja pääjännitteestä on poistettava jo alentunut jännite.

$$\Delta u_{moottori} [\%] = \frac{1,96 \text{ V}}{400 \text{ V} - 12,13 \text{ V}} \cdot 100\% + 3,032\% \approx 3,54\% \quad (20)$$

Jännitteenalenema pysyy alle kuvan 18 mukaan sallitun 5 prosentin arvon. Täten asennus ja kaapelivalinta ovat hyväksyttäviä.

5.5.3 Yksivaiheisen pistorasian liittimissä

Yksivaiheisen pistorasian enimmäiskuormitus on 16 ampeeria, sillä sen johdon-suojakatkaisijat ovat mitoitettu 16 ampeerin nimellisvirran mukaan. Ajatellaan myös, että pistorasiaan on kytketty resistiivistä kuormaa. Myös kaapelin voidaan ajatella olevan resistiivinen, sillä sen reaktiivinen komponentti on käytännössä mitätön suhteessa resistiiviseen komponenttiin. Tämä eliminoi kaavan 18 sulkeiden sisältä kaiken muun paitsi resistanssin.

$$\Delta U = 16 \text{ A} \cdot 2 \cdot 0,05 \text{ km} \cdot (8,770 \Omega) = 14,032 \text{ V} \quad (18)$$

Suhteellinen jännitteenalenema prosentteina voidaan laskea tästä voltteina saadusta arvosta osamääränä kaavan 19 avulla. Kaavaa joudutaan kuitenkin muokkaamaan siten, että 400 voltin pääjännitteestä muodostetaan vaihejännite jakamalla se $\sqrt{3}$:lla.

$$\Delta u_{pistorasia} [\%] = \frac{14,032 \text{ V}}{\frac{400 \text{ V} - 12,13 \text{ V}}{\sqrt{3}}} \cdot 100\% + 3,032\% \approx 9,3\% \quad (19)$$

Jännitteenalenema pistorasian liittimissä ylittää sallitun arvon. Tämän vuoksi on valittava suurempi kaapeli. Jotta jännitteenalenema saataisiin alle 10 prosenttiin, olisi pistorasiaa syöttämään asennettava 10 mm²:n kaapeli. Näin jännitteenalenemaksi saataisiin 4,64%. Kyseinen arvo on sallitun rajoissa. Pistorasian

liittimiin ei kuitenkaan voi kytkeä 10 mm²:n paksuista kaapelia, joten kaapelin pituutta on lyhennettävä maksimissaan 16 metriseksi.

Yksi vaihtoehto on myös saattaa paksu kaapeli lähelle pistorasiaa ja jatkaa jakorasialta lyhyt matka pistorasiaan 2,5 mm²:n paksuisella kaapelilla. Myös tämä saattaa olla epäkäytännöllinen vaihtoehto, mikäli keskuksella on muitakin rajalla olevia kaapeleita. Ongelma voidaan ratkaista valitsemalla keskusta syöttävälle kaapelille paksumpi poikkipinta-ala, jolloin jännitteenalenema keskuksen liittimissä olisi pienempi ja näin myös jännitteenalenema pistorasialla pieneneisi.

5.6 Loisteho

Lasketaan seuraavaksi ryhmäkohtaisen loistehon kompensoinnin tarve. Kuten kappaleessa 5.1 on laskettu, moottoreita on yhtäaikaisesti päällä 8 kappaletta (tuulettimet ja muut moottorit). Niiden yhteenlaskettu teho on 12 kW ja hyötysuhde 85,3%. Lasketaan kompensoinnin tarve kaavalla 21.

$$Q = \frac{12000 \text{ W}}{0,853} (\tan(\cos^{-1}(0,7)) - \tan(\cos^{-1} 98)) \approx 11478 \text{ Var} \quad (21)$$

Kompensoinnin tarve on huomattavan suuri suhteessa päätötehoon. Tämä johtuu siitä, että moottori on pieni ja sen päätötehon suhde näennäistehoon (teho-kerroin) on huono verrattuna suurempiin moottoreihin. Suuremmilla moottoreilla kompensointi on kannattavampaa, sillä niiden ottamaa virtaa saadaan pienennettyä ja näin myös käytettyä tehoa.

6 POHDINTA

Työssä saatiin kerättyä yhteen työkalut ja ohjeistusta eri lähteistä erillisten asioiden mitoituksen avuksi. Nämä työkalut järjestettiin selkeään järjestykseen niin, että työn etenemistä on helppo seurata. Jokaiseen työvaiheeseen annettiin ohjeet kyseistä työvaihetta koskevassa kappaleessa. Tämän jälkeen tehtiin esimerkkilaskelmat ohjekappaleissa annettujen ohjeiden mukaisesti. Näin teoria ja laskuesimerkit saatiin sidottua yhdeksi helppolukuiseksi paketiksi.

Työ onnistui kokonaisuutena melko hyvin. Kokonaisuus on toimiva sekä sen avulla voidaan toteuttaa todellisen teollisuushallin sähkösuunnittelu ilman huolia toimintavarmuudesta tai turvallisuudesta.

Työtä voitaisiin tulevaisuudessa laajentaa esimerkiksi laskentatyökalun ohjelmoinnilla ja ohjeiden laajentamisella koskemaan muunkinlaisia rakennuksia kuin pieniä teollisuushalleja.

Laskentatyökalun toteutuksessa olisi tärkeää, että kappaleen 5 mitoituserimerkkien laskutoimitukset olisivat sisäänrakennettuja, jotta laskuvirheiden mahdollisuudet saataisiin minimoitua. Täten laskentatyökaluun voitaisiin vain syöttää lähtötiedot ja tämän perusteella työkalu kertoisi tuloksen. Tätä tulosta voitaisiin verrata standardin taulukkoon ja todeta ratkaisu toimivaksi tai muutettavaksi.

Ohjeiden laajentamista voitaisiin toteuttaa siten, että ohjeita yksinkertaistettaisiin sovellettaviksi, vaikka asuinkiinteistöihin. Asuinkiinteistöjen ryhmäjohtojen mitoitus on hieman yksinkertaisempaa kuin tehoasennusten ja muiden suurikuormaisten laitteiden mitoitus. Asuinkiinteistöissä myös viihtyvyysaspektin lisäksi valaistussuunnitteluun korostuu. Suuremmissa kohteissa taas loistehon ja yliaaltojen vaikutus kasvaa, joten näihin asioihin liittyvää ohjeistusta voitaisiin lisätä. Tämän lisäksi suuremmissa teollisuuslaitoksissa on eri jännitetasoja, jotka vaikuttavat suunnitteluun olennaisesti. Myös eri jännitetasojen vaikutus mitoitukseen huomioivat ohjeet eivät olisi tulevaisuudessa pahitteeksi.

LÄHTEET

ABB Oy. 2000. TTT-käsikirja 2000-07, Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus. Luettu 5.3.2020.

<https://docplayer.fi/17025438-9-loistehon-kompensointi-ja-yliaaltosuojaus.html>

ABB Oy. 2000. TTT-käsikirja 2000-07, Luku 7: Oikosulkusuojaus. Luettu 5.3.2020. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf

ABB Oy. 2001. Pienjännitekojeistot ja MCC. Esite. Luettu 19.4.2019. <https://library.e.abb.com/public/357333a15ac86009c2256cee003e399c/MCS-esite-suomi.pdf>

ABB Oy. 2011. Pienjännitekojeet, esite OF1FI 11-09. Kahvasulakkeet, 2...1600 A. Luettu 5.3.2020. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SCC317002C1801&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Oy, 2015. Liquid-Filled Distribution Transformers. Datasheet. Luettu 12.3.2020 https://new.abb.com/docs/librariesprovider95/energy-efficiency-library/ecodesign_dtr-30-06-2015.pdf?sfvrsn=9

ABB Oy. 2018. Catalog. Low voltage. General performance motors. Luettu 5.3.2020. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105789&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Harsia, P. 2008. Automaattisen poiskytkennän laskeminen. Luettu 5.3.2020. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211201010952.html>

Prysmian Group Finland Oy. 2018. Kaapelitaulukko. Luettu 18.3.2020. https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/cpr%20AMCMK%200%2C6_1kV_180118.pdf

Sesko ry. 2011. SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Sesko ry. 2017. SFS-käsikirja 600-1-1. Pienjännitesähköasennukset. 1. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

Sisäasiainministeriön asetus rakennusten poistumisreittien merkitsemisestä ja valaisemisesta. Luettu 28.2.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050805>

Sähkötieto ry. 2001. ST-kortisto. ST 13.31: Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. Espoo: Sähköinfo Oy.

LIITTEET

Liite 1. Johdon kuormitettavuus asennustavan mukaan

(Sesko ry, 2017, 261)

Taulukko B.52.10 Kuormitettavuus ampeereina Taulukon 52.1 asennustavoilla E, F ja G
 - PVC-eristys, kuparijohtimet - Johtimen lämpötila: 70 °C, ulkolämpötila: 30 °C

Johtimien nimellis- poikkipinta	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	Monijohdinkaapelit		Yksijohdinkaapelit				
	Kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kaksi kuormitettua johdinta koskettavat toisiaan	Kolme kuormitettua johdinta komiassa	Kolme kuormitettua johdinta, tasossa Koskettavat toisiaan	Erillään	
						Vaakatasossa	pystytasossa
mm ²	Tapa E	Tapa E	Tapa F	Tapa F	Tapa F	Tapa G	Tapa G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-
10	70	60	-	-	-	-	-
16	94	80	-	-	-	-	-
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	-	-	754	656	689	852	795
500	-	-	868	749	789	982	920
630	-	-	1 005	855	905	1 138	1 070

HUOM. 1 Johtimien oletetaan olevan pyöreitä poikkipintaan 16 mm² saakka. Suuremmilla poikkipinnoilla arvot viittaavat muun muotoisiin johtimiin ja niitä voi turvallisesti käyttää pyöreisiin johtimiin.

HUOM. 2 D_e on kaapelin ulkohalkaisija.

Liite 2. Korjauskerroin lämpötilan mukaan

(Sesko ry, 2017, 265)

Ympäristön lämpötila ^a °C	Eristys			
	PVC	PEX ja EPR	Mineraali ^a	
			PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa 70 °C	Paljas, ei kosketeltavissa 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,78	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

^a Korkeammilla ympäristön lämpötiloilla sovelletaan valmistajan antamia arvoja.

Liite 3. Korjauskerroin johtojen lukumäärän mukaan

(Sesko ry, 2017, 267)

Kohta	Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä												Käytetään kuorimitettavuus-taulukon kanssa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1,0	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	B.52.2 - B.52.13 Tavat A - F
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle piirille tai monijohdinkaapelille			B.52.2 - B.52.7 Tapa C
3	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puiseen alakaton pinnalle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Yhdessä kerroksessa rei'itettyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,0	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				B.52.8 - B.52.13 Tavat E ja F
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1,0	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Liite 4. Loistehon tarpeen arviointi

(Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus, 2)

COS φ_1	COS φ_2							
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,8
0,30	3,18	3,04	2,98	2,93	2,85	2,70	2,56	2,43
0,32	2,96	2,82	2,76	2,71	2,63	2,48	2,34	2,21
0,34	2,77	2,62	2,56	2,52	2,44	2,28	2,15	2,02
0,36	2,59	2,45	2,39	2,34	2,26	2,11	1,97	1,84
0,38	2,43	2,29	2,23	2,18	2,11	1,95	1,81	1,68
0,40	2,29	2,15	2,09	2,04	1,96	1,81	1,67	1,54
0,42	2,16	2,02	1,96	1,91	1,83	1,68	1,54	1,41
0,44	2,04	1,90	1,84	1,79	1,71	1,56	1,42	1,29
0,46	1,93	1,79	1,73	1,68	1,60	1,45	1,31	1,18
0,48	1,83	1,69	1,62	1,58	1,50	1,34	1,21	1,08
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,52	1,64	1,50	1,44	1,39	1,31	1,16	1,02	0,89
0,54	1,56	1,42	1,36	1,31	1,23	1,07	0,94	0,81
0,56	1,48	1,34	1,28	1,23	1,15	1,00	0,86	0,73
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,62	1,27	1,12	1,06	1,01	0,94	0,78	0,65	0,52
0,64	1,20	1,06	1,00	0,95	0,87	0,72	0,58	0,45
0,66	1,14	1,00	0,94	0,89	0,81	0,65	0,52	0,39
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,72	0,96	0,82	0,76	0,71	0,64	0,48	0,34	0,21
0,74	0,91	0,77	0,71	0,66	0,58	0,42	0,29	0,16
0,76	0,86	0,71	0,65	0,60	0,53	0,37	0,24	0,11
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,82	0,70	0,56	0,49	0,45	0,37	0,21	0,08	
0,84	0,65	0,50	0,44	0,40	0,32	0,16	0,03	
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

Liite 5. Moottorin loistehon tarpeen arviointi

(ABB Oy, TTT-käsikirja, Luku 9, 3)

Tahtikierto: 3000 r/min					
Teho/kW	Kondensaattorin loisteho / kVAr	Ennen kompensointia		Kompensoinnin jälkeen	
		cos ϕ ₁	I _N / A	cos ϕ ₂	I _N / A
05,5	2,5	0,88	10,5	0,99	9,4
07,5	2,5	0,90	13,8	0,98	12,7
11,0	5,5	0,88	20,0	0,99	18,0
15,0	6,7	0,89	27,0	0,99	24,0
18,5	6,7	0,89	33,0	0,98	30,0
22,0	10,0	0,85	41,0	0,98	36,0
30,0	12,5	0,88	53,0	0,99	47,0
37,0	15,0	0,89	64,0	0,99	58,0
45,0	20,0	0,89	78,0	0,99	70,0
55,0	20,0	0,89	95,0	0,98	86,0
75,0	30,0	0,90	126	0,99	114
90,0	35,0	0,90	151	0,99	137
110,0	40,0	0,90	184	0,99	167
Tahtikierto: 1500 r/min					
5,5	2,5	0,83	11,0	0,95	9,6
7,5	2,5	0,83	14,8	0,92	13,4
11,0	6,7	0,81	22,0	0,98	18,0
15,0	6,7	0,83	29,0	0,96	25,0
18,5	12,5	0,76	39,0	0,97	30,0
22,0	15,0	0,79	44,0	0,99	35,0
30,0	16,6	0,83	56,0	0,99	47,0
37,0	20,0	0,84	68,0	0,99	58,0
45,0	25,0	0,83	83,0	0,99	70,0
55,0	30,0	0,84	100	0,99	85,0
75,0	35,0	0,86	133	0,99	115
90,0	40,0	0,87	157	0,99	138
110	50,0	0,87	191	0,99	168
132	60,0	0,87	229	0,99	201
160	75,0	0,86	280	0,99	243
200	80,0	0,87	345	0,98	305
250	100	0,87	430	0,98	380
315	120	0,87	540	0,98	480
Tahtikierto: 1000 r/min					
5,5	2,5	0,78	11,8	0,90	10,2
7,5	6,7	0,70	18,0	0,96	13,1
11,0	10	0,74	24,0	0,99	18,0
15,0	10	0,78	32,0	0,97	25,0
18,5	10	0,81	36,0	0,97	30,0
22,0	15	0,81	43,0	0,99	35,0
30,0	20	0,81	58,0	0,99	48,0
37,0	20	0,83	69,0	0,98	58,0
45,0	25	0,84	82,0	0,99	70,0
55,0	30	0,84	100	0,99	85,0
75,0	40	0,84	136	0,99	115
90,0	50	0,84	162	0,99	137
110	60	0,84	198	0,99	167

Liite 6. Prysmian AMCMK kaapelitaulukko

(Prysmian Group Finland Oy 2018, 3)

TUOTTEEN NIMI		AMCMK 4x16/10 1 kV	AMCMK 4x25/16 1 kV	AMCMK 4x35/16 AN 1 kV	AMCMK 4x50/16 AN 1 kV	AMCMK 4x70/21 AN 1 kV	AMCMK 4x95/29 AN 1 kV	AMCMK 4x120/41 AN 1 kV	AMCMK 4x150/41 AN 1 kV	AMCMK 4x185/57 AN 1 kV	AMCMK 4x240/72 AN 1 kV		
Sähkönumero		0621854	0621855	0621859	0621860	0621861	0621862	0621863	0621864	0621865	0621866		
RAKENNETIETOJA (1)													
Kaapelin ulkohalkaisija		mm	23	27	27	31	35	40	44	49	54	60	
Massa	alumiini	kg/km	165	265	365	495	720	1000	1260	1550	2000	2600	
	kupari	kg/km	90	145	145	145	195	270	410	550	690	900	
	kaapeli	kg/km	560	830	980	1250	1600	2200	2800	3300	4100	5200	
TOIMITUSTIETOJA													
Vakiotoimituspituus		m	1000	1000	1000	500	500	500	500	500	500	500	
Toimituskela			K14	K16	K16	K14	K14	K18	K20	K20	K22	K24	
Massa (1)		kaapeli+kela	kg	680	1100	1200	750	915	1400	1700	2000	2400	3100
MEKAANISIA ARVOJA (2)													
Pienin sallittu taipuvussäde asennusvedossa		m	0,28	0,32	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,59	0,65	0,72	
Pienin sallittu taipuvussäde lopullisessa asennuksessa (3)		m	0,18	0,22	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,43	0,48	
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla		kN	0,9	1,5	2,1	3,0	4,2	5,7	7,2	8,5	8,5	8,5	
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäällä		kN	1,9	3,0	4,2	6,0	8,4	11,4	14,4	18,0	20,0	20,0	
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)													
Vaihe- ja nollajohdinten maks. tasavirtaresistanssi		johdin 20°C	Ω/km	1,91	1,20	0,868	0,641	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125
Vaihe- ja nollajohdinten vaihtovirtaresistanssi (1)		johdin 70°C	Ω/km	2,3	1,4	1,0	0,77	0,53	0,39	0,31	0,25	0,20	0,15
PE-johdinten maks. tasavirtaresistanssi		johdin 20°C	Ω/km	1,83	1,15	1,15	1,15	0,868	0,641	0,443	0,443	0,320	0,253
Induktanssi vaihetta kohti (1)		mH/km	0,31	0,30	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,40	0,45	0,45	0,50	0,55	0,65	0,70	0,70	0,75	0,80	
KUORMITETTAVUUS (2)													
Maassa, asennustapa D		johdin 65°C	A	78	100	125	150	185	220	255	280	330	375
Ilmassa, asennustapa E		johdin 70°C	A	65	83	102	124	159	194	225	260	297	350
TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)													
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta		vaihe- ja nollajohdin (4) PE-johdin (5)	kA	1,2	1,9	2,6	3,8	5,3	7,2	9,1	11,4	14,0	18,2
			kA	1,7	2,6	2,6	2,6	3,7	4,6	6,7	6,7	8,8	11,4

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöoletukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa, Energia-, teollisuus- ja talonrakennuskaapelit -luettelosta.

(3) Taipuvuus on tehtävä varovaisena ja tasaisena kertataivutuksena.

(4) Johdinten lämpötila on ennen oikosulkua 70°C ja oikosulun päättyessä 160°C.

(5) PE-johdinten lämpötila on ennen oikosulkua 65°C ja oikosulun päättyessä enintään 250°C.

Liite 7. Muuntajan valintataulukko

(ABB Oy, 2015)

Liquid-filled distribution transformers
 Voltage up to 24 kV
 Primary/secondary voltage 20/0.4 kV
 Cooling ONAN

Power rating (kVA)	Type	Short-circuit impedance	Load losses at 75°C Pk W	No-load losses P ₀ W	Sound power level LWA dB(A)	Length mm	Width mm	Height mm	Total weight kg	Conductor material (prim/sec)	Conductor weight kg	Core material (E-steel)	Core weight (net) kg	Roller distance mm
50	SDT	4%	1100	90	39	900	770	1325	480	Al/Al	38	GO	175	520 x 520
100	SDT	4%	1750	145	41	960	800	1450	700	Al/Al	70	GO	265	520 x 520
160	SDT	4%	2350	210	44	1100	840	1480	1115	Al/Al	95	GO	475	520 x 520
250	SDT	4%	3250	300	47	1150	940	1530	1450	Al/Al	125	GO	620	520 x 520
315	SDT	4%	3900	360	49	1190	950	1580	1585	Al/Al	155	GO	680	670 x 670
400	MDT	4%	4600	430	50	1220	1000	1630	1790	Al/Al	170	GO	790	670 x 670
500	MDT	4%	5500	510	51	1240	1060	1680	1930	Al/Al	205	GO	810	670 x 670
630	MDT	4%	6500	600	52	1300	1090	1800	2400	Al/Al	265	GO	1015	670 x 670
800	MDT	6%	8400	650	53	1430	1080	1850	2680	Al/Al	330	GO	1035	820 x 820
1000	MDT	6%	10500	770	55	1490	1140	1860	2950	Al/Al	340	GO	1080	820 x 820
1250	MDT	6%	11000	950	56	1640	1170	1970	3560	Al/Al	495	GO	1365	820 x 820
1600	MDT	6%	14000	1200	58	1530	1180	2020	4070	Al/Al	520	GO	1525	820 x 820
2000	MDT	6%	18000	1450	60	1690	1200	2060	4550	Al/Al	500	GO	1790	1070 x 1070
2500	MDT	6%	22000	1750	63	1970	1220	2140	5330	Al/Al	610	GO	2000	1070 x 1070
3150	LMDT	6%	27500	2200	65	2230	1410	2150	8197	Al/Al	610	GO	2400	1070 x 1070

GO: grain oriented electrical steel
 NO: non-oriented electrical steel
 AM: amorphous steel

Liquid-filled distribution transformers
 Voltage up to 24 kV
 Primary/secondary voltage 20/6 kV
 Cooling ONAN

Power rating (kVA)	Type	Short-circuit impedance	Peak Efficiency %	Index	Sound power level LWA dB(A)	Length mm	Width mm	Height mm	Total weight kg	Conductor material (prim/sec)	Conductor weight kg	Core material (E-steel)	Core weight (net) kg	Roller distance mm
4000	LMDT	6%	99.465	-	-	2450	1500	2550	9000	Al/Al	800	GO	3100	1070
5000	LMDT	7%	99.483	-	-	2600	1500	2670	10500	Al/Al	1000	GO	3400	1070
6300	LMDT	7%	99.510	-	-	2750	2000	2710	12500	Al/Al	1100	GO	4000	1505
8000	LMDT	8%	99.535	-	-	2950	2000	2770	14700	Al/Al	1350	GO	4800	1505
10000	LMDT	8%	99.560	-	-	3600	3700	3400	17500	Al/Al	1520	GO	5750	1505

* Transformers up to and including 8000 kVA are hermetically sealed with corrugated wall. 10000 kVA transformer is with conservator and radiators.

** Provided values of dimensions and weights are preliminary and may change after final design preparation.

Liite 8. Kaapeleiden impedanssit eri johdinpoikkipinta-aloilla (Ω/km)

(Tiainen 2010, 90)

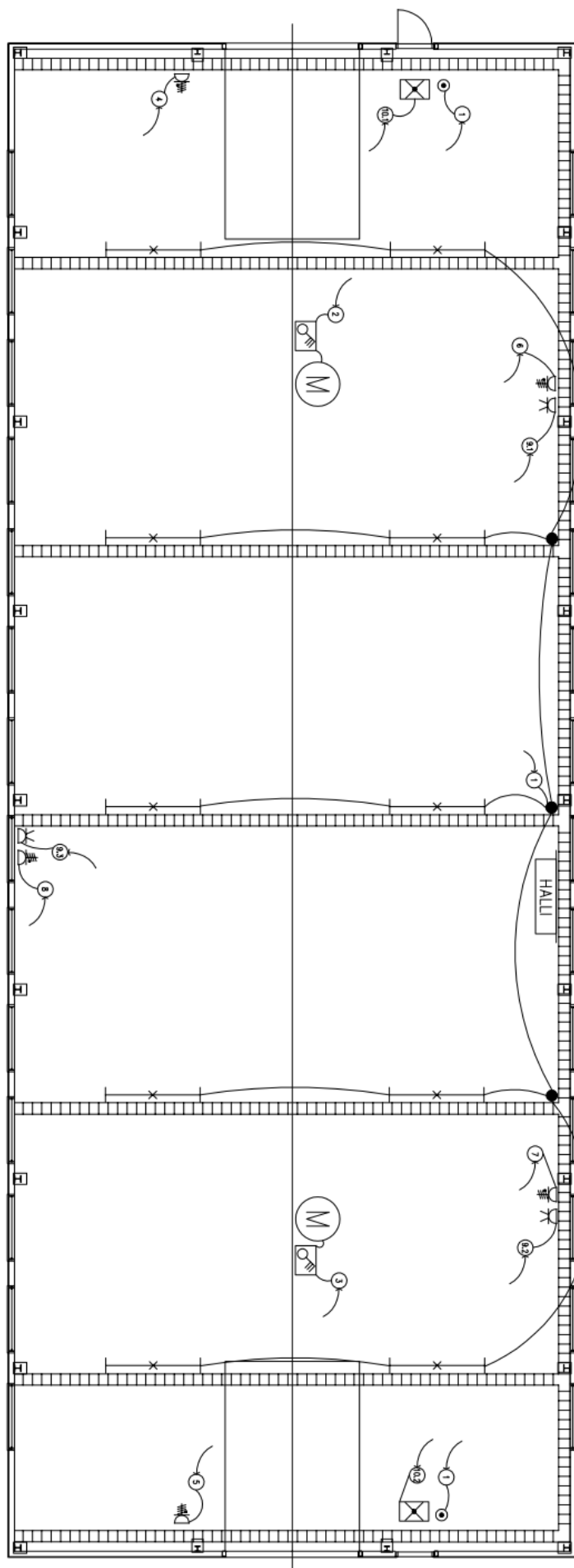
Johtimen poikkipinta (mm ²)	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
1,5	14,620	0,115	14,620			
2,5	8,770	0,110	8,771			
6	3,660	0,100	3,661			
10	2,244	0,094	2,246			
16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,491
35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Liite 9. Eri tilojen valaistustandardin vaatimuksia

(SFS-EN 12464-1 2011, 38-69)

Tila/tehtävä	Valaistusvoimakkuus (lx)	Häikäisykerroin (UGR)	Tasaisuus
Kodin yleistiloja			
Eteinen	150		
Eteinen, kaappien pystypinnat	200		
Keittiö, työtasot	300-500		
Keittiö, kaappien pystypinnat	100-200		
Keittiö, ruokapöytä	0-500		
Makuuhuone	100-200		
Makuuhuone, lukuvalaistus	300-500		
Lastenhuone	100-200		
Lastenhuone, kirjoituspöytä	300-500		
Työhuone	300-500		
Vaatehuone, kaappien pystypinnat	200		
Olohuone	100-200		
Olohuone, lukeminen	300-500		
Kylpyhuone	100		
Sauna	Tunnelmavalistus		
Kodinhoituhuone	150-250		
Kodinhoituhuone, työtasot	300-500		
Varasto	100		
Varasto, hyllyjen pystypinnat	100-200		
Ulkotilat, katokset, kulkureitit ja sisäänkäynnit	20-30		
Yleiset tilat			
Portaat	100	25	0,4
Varastotilat	100	25	0,4
Käytävät	150	22	0,4
Lastausalueet	150	25	0,4
Taukokuoneet	200	22	0,4
Sosiaalitilat	200	25	0,4
Kuntoilutilat	300	22	0,4
Liiketilat ja myymälät			
Myymäläalueet	300	22	0,4
Kassat	500	19	0,6
Taukokuoneet	200	22	0,4
Sosiaalitilat	200	25	0,4
Varasto	100	25	0,4
Tavaroiden lastaus ja käsittely	300	25	0,6
Toimistotilat			
Arkistointi ja kopiointi	300	19	0,4
Työpisteet, neuvottelu- ja kokoustilat	500	19	0,6
Tekninen piirtäminen	750	16	0,7
Vastaanotto	300	22	0,6

Liite 10. Sijoituskuva



PRT

MUUTOS	PVM	TEKI	TARK.	HVM.	ERITTELY	ARVIOITUA
KALUSTOSAKKIA		KORITTEI/TILA			TONTTI/ARHO	VIHANOM. ARVIOITUMERK.
UUDISRAKENNUS						NO
TYÖN NIMI						ARK
Kalustohalli						Sijoituskuva ja kaapelitit
						1:100
Puh. 0400 212 759		PVM	15.4.2020	SUUNN. ALA		PIIRI NO
		SIVUNN.		ARVIO		MUUTOS
		Jonne Vaalanti,JV		ARK		1

Liite 11. Kaapeli- ja etukojetaulukko

KAAPELI- NUMERO	RYHMÄ- NUMERO	RYHMÄN NIMI	KAAPELITYYPPI	MISTÄ	MIHIN	Etukojeet				
						Johdonsuoja	Vikavirta- suoja	Kontaktori- lähtö	Kello	Sysäysrele
1	1.1	Valaistus	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Jakorasiolle	10 A	X			X
	1.2					10 A	X			X
	1.3					10 A	X			X
2	2.1	Puhallin länsi	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Turvakytkimelle	16 A	X	16 A	X	
	2.2					16 A	X	16 A	X	
	2.3					16 A	X	16 A	X	
3	3.1	Puhallin itä	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Turvakytkimelle	16 A	X	16 A	X	
	3.2					16 A	X	16 A	X	
	3.3					16 A	X	16 A	X	
4	4.1	Nosto-ovi länsi	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	16 A	X			
	4.2					16 A	X			
	4.3					16 A	X			
5	5.1	Nosto-ovi itä	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	16 A	X			
	5.2					16 A	X			
	5.3					16 A	X			
6	6.1	Voima PR länsi	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	16 A	X			
	6.2					16 A	X			
	6.3					16 A	X			
7	7.1	Voima PR itä	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	16 A	X			
	7.2					16 A	X			
	7.3					16 A	X			
8	8.1	Voima PR etelä	MMJ HF 5x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	16 A	X			
	8.2					16 A	X			
	8.3					16 A	X			
9	9.1	PR länsi	MMJ HF 3x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	10 A	X			
	9.2	PR itä	MMJ HF 3x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	10 A	X			
11	9.3	PR etelä	MMJ HF 3x2,5 S	HALL-keskus	Pistorasiolle	10 A	X			
12	10.1	Turvavalaisin länsi	MMJ HF 3x2,5 S	HALL-keskus	Valaisimelle	10 A	X			
	10.2	Turvavalaisin itä	MMJ HF 3x2,5 S	HALL-keskus	Valaisimelle	10 A	X			
13	10.3	Varalla				10 A	X			
	11.1	Varalla				10 A	X			
	11.2	Varalla				10 A	X			
	11.3	Varalla				10 A	X			
	12.1	Varalla				10 A	X			
	12.2	Varalla				10 A	X			
	12.3	Varalla				10 A	X			
	13.1	Varalla				10 A				
	13.2	Varalla				10 A				
	13.3	Varalla				10 A				
	14.1	Varalla				16 A	X			
	14.2	Varalla				16 A	X			
	14.3	Varalla				16 A	X			
	15.1	Varalla				16 A				
	15.2	Varalla				16 A				
15.3	Varalla				16 A					

KALUSTOHALLI

KAAPELI- JA ETUKOJE-
TAULUKKO

Pirttäjä Jonne Vaalanti

Päivämäärä 15.04.2020

Pirustusnumero

2

Muutos

Lehti