

HUIPPUTEHON, JÄNNITTEENALENEMAN JA OIKOSULKUVIRTOJEN LASKENTARAPORTTI- POHJA

Taavi Hölttä

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2014

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Hölttä, Taavi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 04.06.2014
	Sivumäärä 65	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi JÄNNITTEENALENEMAN, HUIPPUTEHON ja OIKOSULKUVIRTOJEN LASKENTARAPORTTIPOHJA		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hukari, Sirpa		
Toimeksiantaja(t) Rejlers Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella tai selvittää sopiva kaupallinen sähköverkonlaskentaan tarkoitettu ohjelmisto, joka toimisi laskentaraporttipohjana. Laskentaraportin tarkoitus on, että rakennuksen sähköverkon suojausien toimivuus ja tehontarve on todistettu laskemalla, kuten standardikokeilussa SFS 6000 määrätään. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Rejlers Oy, joka on yksi pohjoismaiden suurimmista suunnittelu- ja konsultointipalveluita ja projektitoimituksia tarjoavista organisaatioista.</p> <p>Opinnäytetyössä lähdettiin ensin perehtymään jännitteenalenenman, oikosulkuvirran ja huipputehon tietoperustaan, minkä jälkeen käsiteltiin laskentaa. Tietoperustan ja laskennan avulla päätettiin luoda laskentaraportti Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmistolla kaupallisten ohjelmistojen sijaan. Huipputeholle luotiin teollisuus-, palvelu- ja julkisrakennuksille oma laskentataulukko ja asuinrakennuksille oma. Jännitteenalenenman ja oikosulkuvirran laskenta tehtiin taulukkolaskentaohjelmassa omaksi tiedostokseen.</p> <p>Opinnäytetyön laskentaraporttipohja palvelee yrityksen sähkösuunnittelijoita sähkösuunnitteluprojektin siinä vaiheessa, kun rakennukselle pitää selvittää huipputeho tai todeta suojausien toimivuus. Laskentataulukkoita on sähkösuunnittelun laskentaa varten käytetty ennenkin, mutta kaikkien lähteiden alkuperää tai arvojen paikkansapitävyyttä ei tiedetty. Laskentaraporttipohja on rakennettu sillä periaatteella, että lähtötiedot ovat raporteissa esillä ja arvot ovat päivitettävissä ja muokattavissa myös tulevaisuuden tarpeita varten.</p>		
Avainsanat (asiasanat) sähkösuunnittelu, laskenta, mitoitus, laskentaraporttipohja, jännitteenalenema, oikosulkuvirta, huipputeho		
Muut tiedot		



Author(s) Hölttä, Taavi	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 04062014
	Pages 65	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title CALCULUS REPORT OF PEAK POWER, VOLTAGE DROP AND SHORT CIRCUIT		
Degree Programme Automation Engineering		
Tutor(s) Hukari, Sirpa		
Assigned by Rejlers Oy		
Abstract <p>The aim of the thesis was to design or clarify a simple and effective calculus report with help of commercial network calculation and electrical design software. The purpose of the calculus report was to verify the accomplishment of network calculation as standard SFS 6000 instructs. The thesis was assigned by Rejlers Oy, one of the major organizations in the Nordic Countries offering design, consulting and project dis-patching.</p> <p>The thesis starts with the theory of voltage drop, short circuits and peak power, which leads to the theory of calculations and dimensioning. the calculus report was decided to be implemented with Microsoft Excel software instead of commercial network calculation software. For the peak power calculations two separate worksheets were made, where the first was for common residential buildings, and the other was for industrial and public utility buildings. The voltage drop and short circuit calculations were combined in one worksheet.</p> <p>The calculus report of the thesis serves the company's electrical engineers when there is a need to calculate the peak power of a building or functionality of a protective gear. At company's office there have already been calculus reports previously, however, there are no mentions about where and when the values have been taken. For the lack of that information the new calculus report was made to fulfill and also future needs of the company.</p>		
Keywords electrical design, calculation, dimensioning, calculus report, voltage drop, short circuit, peak power		
Miscellaneous		

Sisältö

Kuviot	3
Taulukot	3
Kaavojen suureet	4
1 Opinnäytetyön lähtökohdat	6
1.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja Rejlers Oy.....	6
1.2 Opinnäytetyön tarkoitus.....	6
1.3 Sähkötekninen laskenta talotekniikan projekteissa	7
2 Jännitteenalenema	9
2.1 Jännitteenaleneman teoreettinen tarkastelu	9
2.2 Jännitteenaleneman laskenta.....	10
3 Oikosulkuvirta	13
3.1 Oikosulkuvirran teoreettinen tarkastelu	13
3.2 Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskenta	14
3.3 Keskuksen oikosulkusuojaus	16
4 Huipputeho pienjänniteverkossa	22
4.1 Huipputehon teoreettinen tarkastelu	22
4.2 Huipputehon laskenta	25
4.2.1 Tehonmitoitusmenetelmät	25
4.2.2 Neliötehojakautuma.....	26
4.2.3 Huipputehon mitoittaminen laiteluettelon avulla.....	26
4.2.4 Huipputehon mitoittaminen sähkötehokkuuden avulla.....	33
4.2.5 Laskentamallien mukainen mitoittaminen	36
4.2.6 Empiirisen tietotaidon mukainen mitoitus	38

5	Laskentaporttipohja	38
5.1	Sähköteknisen laskennan nykytilanne ja kehitystarpeet	38
5.2	Laskentaporttipohjan toteutusperiaate.....	39
5.3	Laskentaporttipohjan toteutus	40
5.3.1	Huipputehon ja keskiarvohuipputehon laskentaporttipohja	40
5.3.2	Jännitteenalenemien ja oikosulkuvirtojen laskentaporttipohja	41
6	Pohdinta.....	43
	Lähteet	45
	Liitteet	47
	Liite 1. Esimerkki rakennuksen nousujohtokaaviosta	47
	Liite 2. Ryhmäjohtojen suurimmat sallitut poiskytkentäajat.....	48
	Liite 3. Pienimmät toimintarajavirrat johdonsuojakatkaisijoilla.....	49
	Liite 4. Pienimmät toimintarajavirrat gG-sulakkeilla	50
	Liite 5. Asuinrakennusten tehonmitoitus	51
	Liite 6. Keskiarvohuipputehon laskentamallin tehokertoimet teollisissa ja julkisissa rakennuksissa	52
	Liite 7. Asuinrakennusten keskiarvohuippu- ja huipputehon laskentaporttipohja	55
	Liite 8. Julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennusten keskiarvohuipputehon laskentaporttipohja	57
	Liite 9. Julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennusten huipputehon laskentaporttipohja	59
	Liite 10. Julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennusten oikosulkuvirrat, jännitteenalenemat ja vikasuojauksen toteutuminen.....	61

Kuviot

Kuvio 1. Jännitteenaleneman muodostuminen ja esitys vektorisuureilla	12
Kuvio 2. Rakennuksen sähköverkon peruseriaate.	13
Kuvio 3. Tasavirtakomponentin määräytyminen	18
Kuvio 4. Vaihtovirtakomponentin määräytyminen.....	18
Kuvio 5. ABB:n OFAA gG -kahvasulakkeiden oikosulunrajoitus	21
Kuvio 6. 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen asuintalojen toteutuneet neliötehot	23
Kuvio 7. 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen koulurakennusten toteutuneet neliötehot	24
Kuvio 8. 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen toimistorakennusten toteutuneet neliötehot	24
Kuvio 9. Esimerkki ilmanvaihtoyksikön muodostumisesta	28
Kuvio 10. Rakennuksen energiatehokkuustaulukko ja ET-luokitus	33
Kuvio 11. Teollisten-, palvelujen- ja julkisten rakennustyyppien valinta.....	41
Kuvio 12. Neplan-ohjelmalla muodostettu rakennuksen sisäinen ja ulkoinen sähköverkko	42

Taulukot

Taulukko 1. Sähkösuunnitteluprojektin elinkaari	8
Taulukko 2. Suurimmat sallitut jännitteenalenemat pienjänniteasennuksissa	10
Taulukko 3. Jännitekerroin c	15
Taulukko 4. Sysäskertoimen suuruus	17
Taulukko 5. Kertoimen n standardiarvot	17
Taulukko 6. Keskuksen oikosulkukestoisuuden suositellut vähimmäisarvot 400 V:n jännitteellä	19
Taulukko 7. I^2t_{\min} - ja I^2t_{\max} -arvot gG- ja gM-sulakkeille	20
Taulukko 8. Ilmanvaihdon tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä	29
Taulukko 9. Valaistuksen tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä	30
Taulukko 10. Muiden LVI-laitteiden tehonmitoituksessa huomioitavia asioita	31

Kaavojen suureet

a	Keskiarvohuipputehon mitoituksessa käytetty vakioteho (kW), Suomen sähkölaitosyhdistys Ry
A_{krs}	rakennusten ulkoseiniä ulkopintojen mukaan laskettu kerrosten yhteinen lattiapinta-ala (m ²)
b	kerroin 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaihepiireille piireille, joka on keskiarvohuipputehon mitoituksessa käytetty teho kerrosalaa tai tuotannon kapasiteettia kohden (kW/1000m ³), Suomen sähkölaitosyhdistys Ry
c	kerroin joka huomioi jännitteenaleneman piirin liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.
I	kuormitusvirta (A)
I_B	suunniteltu virta (A)
I_k	yksivaiheinen oikosulkuvirta (minimioikosulkuvirta) (A)
I_{kmin}	On pienin oikosulkuvirta, joka aiheuttaa suojauksen toteutumisen vaaditussa ajassa (A)
I_k''	prospektiivinen oikosulkuvirta (A)
$I^2 t_{max}$	suojalaitteen läpi kulkema maksimienergia-arvo
l	johdon pituus (m)
l_{max}	suurin sallittu johtopituus, jonka avulla suojaus toteutuu (km)
L	johtojärjestelmän pituus (m)
m	tasavirtatekijä
n	vaihtovirtatekijä
ρ_1	johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä ja 20 °C käyttölämpötilassa (Ωmm ² /m).

P_{ke}	keskiarvohuipputeho (kW)
q_{max}	rakennuksen tulo- tai poistoilmavirroista suurempi (m ³ /s)
r	ominaisresistanssi (Ω/m)
S	johtimen poikkipinta-ala (mm ²)
SFP	rakennuksen puhaltimien ominaissähköteho (kW/m ³ /s)
t_k	vian kesto aika tai sulakkeen sulamisaika (s)
Δu	suhteellinen jännitteenalenema (%)
U	pääjännite (V)
U_n	nimellisjännite (V)
ΔU	absoluuttinen jännitteenalenema (V)
x	ominaisreaktanssi (Ω/m)
z	suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)
Z	virtapiirin liittymispisteen impedanssi (Ω)
Z_v	impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)
$\cos \varphi$	tehokerroin
φ	jännite- ja virtaosoittimien välinen vaihekulma
κ	sysäyskerroin
λ	johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden (m Ω/m)

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja Rejlers Oy

Rejlers Oy on Suomessa toimiva asiantuntijatuntijaorganisaatio. Se tarjoaa asiakkailleen laadukkaita suunnittelu ja konsultointipalveluita sekä projektitoimituksia. Asiakasryhmiä on energian, infrastruktuurin, teollisuuden sekä rakentamisen ja kiinteistöjen osa-alueilla. (Yrityksen esittely n.d.)

Rejlers Oy on osa suurempaa pohjoismaissa toimivaa ja Ruotsista lähtöisin olevaa Rejlerskoncernen-yhtiötä. Rejlers Oy aloitti toimintansa Suomessa vuonna 1980. Mikkelissä perustettu Rejlers Oy on kasvanut vuosien varrella tasaisesti ja työllistää tällä hetkellä 450 ihmistä 14 eri paikkakunnalla. Konsernilla on selkeät tavoitteet vuodelle 2015: 2015 miljoonan Ruotsin kruunun liikevaihto ja 2015 työntekijää. Suomen henkilöstötavoitteen osuus tästä on 600 työntekijää. (Yrityksen esittely n.d.)

Jyväskylässä toiminta painottuu pääosin sähkö- ja automaatio-osaamiseen. Henkilöstöä Jyväskylän toimipisteellä on noin 75 henkilöä. (Puikkonen 2013.)

1.2 Opinnäytetyön tarkoitus

Jyväskylän toimipisteen suuresta henkilöstömäärästä huolimatta sähkötekniisiä laskentatehtäviä suorittaa noin 4 - 6 henkilöä. Laskentatavat ovat omien tottumusten mukaisia ja projekteissa hyödynnetään aikaisempia raportteja ja kollegoiden osaamista. Ismo Ahon kirjoittama opinnäytetyö *Sähköverkon laskennan ja mitoituksen raportoinnin kehitystyö* on Rejlers Oy:n Jyväskylän toimipisteelle tarkoitettu sähköteknisen laskennan ja mitoittamisen raportointipohja. Työ valmistui vuonna 2013. Ahon opinnäytetyö toimii tukena yrityksen laskentatehtävien ymmärtämiselle ja omalle opinnäytetyölleni.

Useimmissa talotekniikan projekteissa sähkötekniistä laskentaa tarvitaan pääasiassa rakennuksen sisäverkon mitoittamiseen pienjännitepuolella, sillä liityntäkaapelin ja jakelumuuntajan toimittaa useimmiten jakeluverkonhaltija. Tällöin laajempaa verkostolaskentaa ei tarvita. Ennen kuin jakeluverkonhaltija pystyy kuitenkin mitoitta-

maan liityntäkaapelin, pitää rakennuksen sähköverkon huipputeho olla tiedossa, sekä suojausten toimivuus tarkastettu ja todistettu myös laskennalla (SFS 6000. 2012, luku 1-132.1).

Opinnäytetyöni käytännön tavoitteena oli selvittää toimiva ratkaisu ja raportointipohja Rejlers Oy:n Jyväskylän talotekniikkaosastolle jännitteenaleneman, oikosulkuvirran ja huipputehojen laskemiseen. Työssä oli tarkoitus tutkia, soveltuvatko tällä hetkellä markkinoilla tai yrityksessä olevat ohjelmistot, kuten Ecodial, näihin laskentoihin vai olisiko laskentaraippohja syytä tehdä itse esimerkiksi Microsoft Excel -ohjelmistolla. Valmiiden ohjelmistojen käytössä on se hyvä puoli, että laskentamallit ja kaavat ovat ohjelmassa itsessään, mutta huono puoli saattaa olla laskennan ja tarvittavien lähtötietojen laajuus.

Opinnäytetyön tietoperusta käsittelee jännitteenalenemaa, oikosulkuvirtaa ja huipputehoa ja niiden merkitystä sähkötekniisessä laskennassa ja mitoittamisessa. Se laadittiin siis laskentaraippohjan tueksi.

Edellä mainittujen tavoitteiden ohessa henkilökohtaisena tavoitteena oli oppia ymmärtämään jännitteenaleneman, oikosulkuvirran ja huipputehon merkitys ja muodostuminen sähkötekniisessä laskennassa.

1.3 Sähkötekniinen laskenta talotekniikan projekteissa

Talotekniikan projekteihin lukeutuvat uudis- ja saneerauskohteet. Suunnittelun kohteita voivat olla päiväkodit, koulut, liikerakennukset, asuinrakennukset ja teollisuus. Kohteesta riippumatta projektilla on aina alku ja loppu, ja sitä kautta syntyvä aikataulu. Riippuen projektista ja sen muodosta voidaan aikataulu jakaa erilaisiin suunnittelu- ja toteutusvaiheisiin; jokaisella vaiheella on oma kustannuksensa ja aikansa suhteessa koko projektiin. Nyssönen (2008, 12-13) kuvaa projektin sähkösuunnittelun eri jaksoja taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Sähkösuunnitteluprojektin elinkaari (Nyysönen 2008, 12-13.)

	Tyypilliset tehtävät	Tyypillinen kustannus	Tyypillinen kesto
Esisuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> – Päätös siitä toteutetaanko projekti – Määritetään projektin kokonaiskustannus (+/-30 %) – Määritetään projektin rahoitus ja riskit – Määritetään projektin ohjelma tai tarkoitus – Valitaan suunnittelija/t ja annetaan urakka 	1 % - 10 %	5 % - 25 %
Suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> – Viimeistellään projektin kokonaiskustannukset (+/-10 %) – Määritetään haluttu laatu – Määritetään projektin merkkipaalujen päivämäärät – Tuotanto suunnitelmat ja määritelmät 	5 % - 40 %	10 % - 40 %
Hankinta/tarjous ja urakka päätös	<ul style="list-style-type: none"> – Viimeistellään projektijakso – Identifioidaan erikoisolosuhteet projektille – Valitaan rakentaja ja annetaan urakka 	1 % - 10 %	5 % - 10 %
Asennus	<ul style="list-style-type: none"> – Asennusprojekti perustuu suunnitelmiin ja määritelmiin – Projektin epämääräisyydet selkeytyvät – Neuvotellaan sopimuksen muutoksista – Laadun tarkastus asennustyön edetessä 	40 % - 85 %	50 % - 90 %
Päättäminen ja hallinta	<ul style="list-style-type: none"> – Valmistellaan as-built dokumentit – Testataan systeemit – Laitoshenkilöstön koulutus – Laaditaan lista laatu puutteista, jotka täytyy korjata – Asennus- ja suunnittelusopimusten sulkeminen 	5 % - 20 %	50 % - 20 %

Sähkösuunnitteluprojektin laajuus ja suunnitteluun sisällytettävä osuus vaihtelevat aina tapauskohtaisesti, mutta rakenteellisesti suunniteltava kohde koostuu lähes aina samoista pääkojeista ja keskuksista. Urakkaraja määrittää eri alojen suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden rajapinnan. Esimerkiksi rakennuksen liittymiskaapelin ja muuntajan mitoittaa talotekniikan projekteissa usein jakeluverkonhaltija, mutta poikkeuksiakin on. Talotekniikkaosaston sähkösuunnittelijalle jääkin lähes aina rakennusten sisäisten keskuksien ja kulutus pisteiden sekä niiden välisen kaapeloinnin suunnittelu. Liitteessä 1 on esitetty esimerkki rakennuksen nousujohtokaaviosta. Nousujohtokaaviossa esitetään usein rakennukseen kuuluvat keskuksat, niiden väliset kaapeloinnit ja liittymän urakkaraja, mutta tarvittaessa sitä voidaan tarkentaa.

Opinnäytetyössäni käsiteltävät laskennat sijoittuvat pääasiassa projektin esisuunnittelun ja suunnittelun eri ajanjaksoille, mutta esimerkiksi asennusvaiheessa tulleet muutokset voivat vaikuttaa jännitteenaleneman, huipputehon ja oikosulkuvirran laskutuloksiin. Tästä syystä muutokset tulee tarvittaessa tarkastuttaa suunnittelijalla, jos on epäily, että sallitut arvot alitetaan tai ylitetään.

2 Jännitteenalenema

2.1 Jännitteenaleneman teoreettinen tarkastelu

Kuormitusvirran kulkiessa kaapelia pitkin kuormitus pisteelle, kuten valaisimelle, syntyy kaapelin impedanssissa jännitteenalenemaa. Kuormituksen suuruus, johtimen pituus ja impedanssi ovat merkittävimmät tekijät jännitteenaleneman suuruudessa. Käytettäessä pienjännitettä ja tehon kasvaessa myös kuormitusvirta kasvaa nopeasti, ja tästä syystä pienilläkin johdinetäisyyksillä jännitteenalenema on merkittävä. Sähkökäyttäjän näkökulmasta puhutaan usein absoluuttisesta ja suhteellisesta jännitteenalenemasta. Absoluuttisen jännitteenaleneman yksikkö on voltti. Suhteellisella jännitteenalenemalla tarkoitetaan sitä, että syöttävän laitteen jännitettä verrataan syötettävän jännitteeseen, mistä saadaan prosentuaalinen ero jännitteiden välille. (Broman. 2013.)

SFS 6000 -standardi määrittelee pienjänniteasennuksien suurimmat sallitut suhteelliset jännitteenalenemat taulukon 2 mukaisesti. Liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välinen jännitteenalenema ei saa ylittää ilmoitettuja raja-arvoja. Poikkeuksena ovat kuitenkin suurien käynnistysvirtoja vaativien laitteiden käynnistystilan-
teet. (SFS 6000. 2012. Luku 5–52. Liite 52G.)

Taulukko 2. Suurimmat sallitut jännitteenalenemat pienjänniteasennuksissa (SFS 6000. 2012. Luku 5–52. Liite 52G.)

Asennuksen tyyppi	Valaistus %	Muu käyttö %
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä ^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.

2.2 Jännitteenaleneman laskenta

Jännitteenalenemalle on määritetty laskentakaava SFS käsikirjan 6000–5–52 liitteessä 52G ja se on merkitty yhtälön 1 mukaisesti:

$$\Delta U = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B \quad (1)$$

missä

ΔU On absoluuttinen jännitteenalenema (V).

b On kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaihepiireille piireille.

ρ_1 On johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä ja 20 °C käyttölämpötilassa. Kuparilla 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ja alumiinilla 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

L On johtojärjestelmän pituus (m).

S On johtimen poikkipinta-ala (mm^2).

$\cos \varphi$ On tehokerroin. Jos tehokerroimen tarkkoja arvoja ei ole saatavilla, sen oletetaan olevan 0,8 ($\sin \varphi$ oletusarvo on 0,6).

λ On johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden. Jos ei ole tiedossa tarkkoja arvoja, reaktanssin oletetaan olevan 0,08 m Ω/m .

I_B On suunniteltu virta (A).

Kaavasta 1 on myös johdettu laskentakaavat. Käsikirjan D1-2012 (D1-2012 2013, 233–234) kaavoissa 5.1 - 5.5 on annettu tasajännitteen, yksi- ja kolmivaiheisen vaihtojännitteen absoluuttisen jännitteenaleneman kaavat ja ne on esitetty kaavoissa 2–4 seuraavasti:

Tasajännitteelle:

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

Yksivaiheiselle vaihtojännitteelle:

$$\Delta U = I * 2 * l * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (3)$$

Kolmivaiheiselle vaihtojännitteelle:

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (4)$$

Vaihtojännitteisessä verkossa jännitteenalenemaa laskettaessa kuorman tyypillä on merkitystä. Kaavoissa 3 ja 4 plusmerkkiä käytetään induktiivisella ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormalla. Absoluuttista jännitteenalenemaa vastaava suhteellinen arvo on esitetty Käsikirjassa D1-2012 (D1-2012, 2013, 234.) seuraavasti:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% \quad (5)$$

Yhtälöissä 2 - 5 symbolit tarkoittavat seuraavaa:

ΔU On absoluuttinen jännitteenalenema (V).

I On kuormitusvirta ampeereina (A).

l On johdon pituus metreinä (m).

r On ominaisresistanssi (Ω/m).

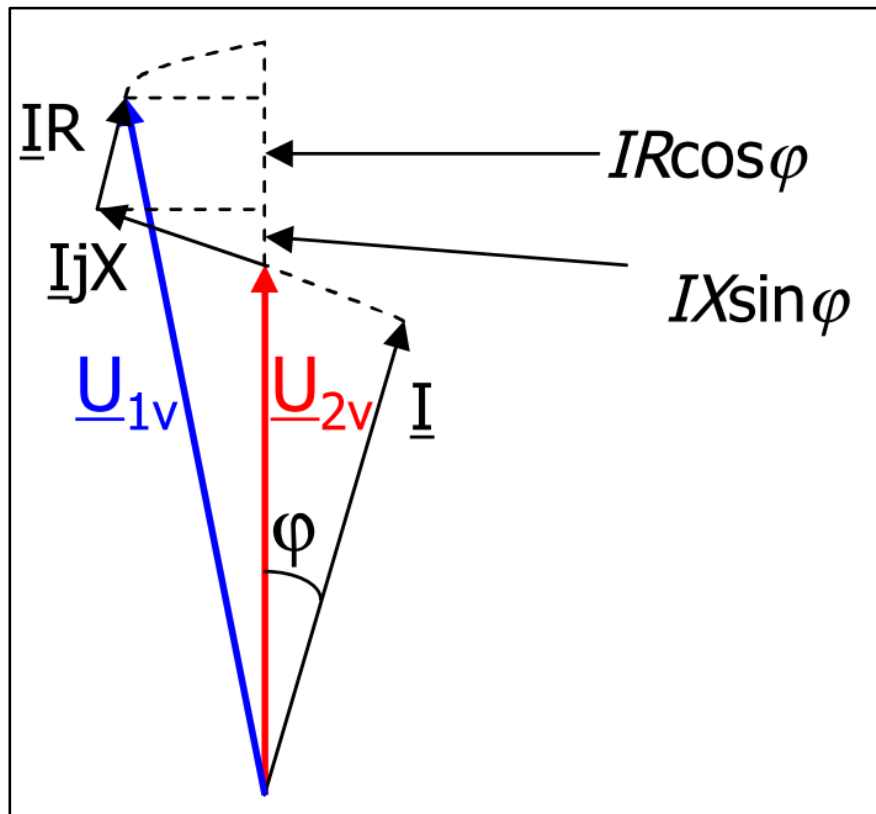
x On ominaisreaktanssi (Ω/m).

U_n On nimellisjännite.

φ On jännite- ja virtaosoittimien välinen vaihekulma.

Δu On suhteellinen jännitteenalenema.

Suhteellista jännitteenalenema-arvoa verrataan taulukossa 2 esitettyihin raja-arvoihin. Jos raja-arvot ylittyvät, niin jännitteenalenemaa voidaan tarvittaessa pienentää etsimällä lyhyempi kaapelireitti tai suurentamalla kaapelin poikkipintaa. Kuviossa 1 on esitetty jännitteenaleneman muodostuminen vektorisuureina. Aikaisempiin laskentakaavoihin verrattuna laskenta voidaan tehdä myös vektoreilla, mutta riittävä tarkkuus kuitenkin saavutetaan yksinkertaisemmilla kaavoilla 1–5.



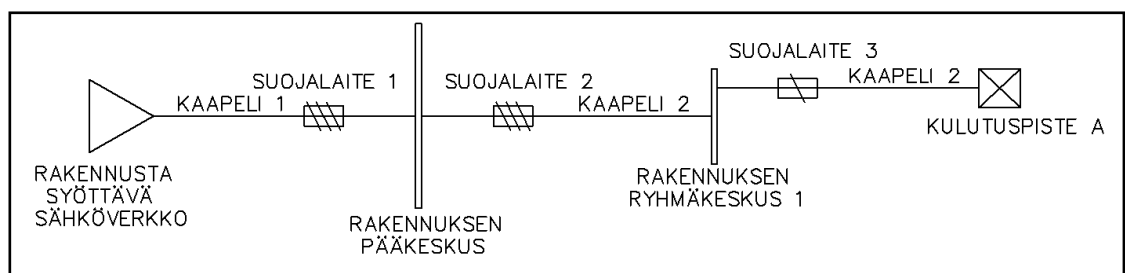
Kuvio 1. Jännitteenaleneman muodostuminen ja esitys vektorisuureilla
(Jännitteenalenema ja häviöt. n.d)

3 Oikosulkuvirta

3.1 Oikosulkuvirran teoreettinen tarkastelu

Oikosulkutilanne synnyttää laitteisiin ja kaapeleihin haitallisen ylivirran. Vika voi syntyä esimerkiksi kaapelin tai laitteen vaurioituessa. Henkilövahinkojen estämiseksi ja taloudellisten kustannusten minimoimiseksi oikosulku- ja ylivirtasuoja pitää asentaa jokaiseen piiriin ja useimmiten piirin alkupäähän (SFS 6000, 2012, luku 4-43, liite 43C).

Sähköverkko liittyy rakennukseen pääkeskuksen kautta, josta se jakaantuu ryhmäkeskuksille ja siitä kulutuspiesteille. Suojauksen pitäisi toimia selektiivisesti, mikä tarkoittaa hierarkkisesti oikeassa järjestyksessä toimivaa suojausta. Tilannetta havainnollistetaan kuviolla 2. Jos kulutuspiesteessä A tapahtuu oikosulku, pitäisi sen oman ryhmäkeskuksen ja juuri kulutuspiesteeseen A kuuluvan ryhmän suojalaitteen 3 laukea. Jos suojausasettelut on mitoitettu väärin, oikosulkuvirta kulkiessaan pääkeskuksesta kulutuspiestettä A syöttävän ryhmäkeskuksen 1 lävitse kulutuspiesteelle aiheuttaa suojauslaitteiden laukeamisen pääkeskuksessa. Tällaisessa tilanteessa koko kulutuspiestettä A syöttävä ryhmäkeskus olisi sähköittä, joten ei-vialliset ryhmät rakennuksesta olisivat myös ilman sähköä. (D1-2012, 2013, 92–104.)



Kuvio 2. Rakennuksen sähköverkon peruseriaate.

Talotekniikan projekteissa oikosulkuvirtaa tarvitsee tarkastella laitteiden kestävyys ja suojauslaitteiden toimivuuden kannalta. Aluksi selvitetään rakennuksen tehontarve, urakkarajat ja alustavat etäisyydet. Tämän jälkeen tiedustellaan jakeluverkon haltijalta oikosulkuvirtojen laskentaan ja keskuksen mitoittamiseen tarvittavat arvot.

Vaihe- ja nollajohtimen tai vaihe- ja suojajohtimen välillä syntynyt oikosulku aiheuttaa suojausien kannalta tarkasteltavan minimioikosulkuvirran I_{kmin} . Suojauksen toteutumiseksi riittää, kun tarkastelee piiriin kuuluvan, suojalaitteesta kauimmaisessa pisteessä tapahtuvan oikosulkuvirran ja vertaa sitä suojalaitteen pienimpään toimintarajavirtaan. (D1-2012, 2013, 92–94.)

Terminen I_{th} , dynaaminen i_{dyn} ja prospektiivinen oikosulkuvirta I_k'' ovat laitteiston fyysistä virtakestoisuutta kuvaavia suureita, ja niitä käytetään keskuksia mitoitettaessa. Termien oikosulkuvirta aiheuttaa piirien läpi mennessään termisen rasitteen ja lämmittää komponentteja. Dynaaminen ja prospektiivinen oikosulkuvirta ovat keskuksen mitoittamisen kannalta tärkeitä, ja ne on hyvä tietää jo keskusta suunniteltaessa. Dynaaminen oikosulkuvirta kuvaa hetkeä, jolloin oikosulun alkamisesta on kulunut noin 10 ms ja virta-arvo on saavuttanut huippunsa. Dynaaminen oikosulkuvirta, toiselta nimeltään sysäysoikosulkuvirta, on kestoltaan hyvin lyhyt ja aiheuttaa äkillisen magneettikentän muutoksen. Tämä äkillinen muutos aiheuttaa suuria voimia, jotka huonosti suunnitellussa järjestelmässä voivat rikkoa esimerkiksi hyllykannakkeita tai keskuksen rakenteita. (Aho 2013, 28–29.)

3.2 Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskenta

Minimioikosulkuvirtaa tarkasteltaessa halutaan usein selvittää, kuinka pitkälle kaapeli voidaan esimerkiksi ryhmäkeskukselta viedä, että vikasuojaus vielä toimisi. Pidempi kaapeli lisää impedanssia, jolloin yksivaiheinen oikosulkuvirta pienenee. Jos oikosulkuvirta on suojalaitteelle liian pieni, niin vikasuojaus ei toimi vaaditussa ajassa. Suurin sallittu johtimen pituus kulutuspaikalle voidaankin laskea kaavan 6 mukaisesti. (D1-2012, 2013, 96.)

$$l_{max} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{kmin}} - Z_v \quad (6)$$

missä

l_{max} On suurin sallittu johtopituus, jonka avulla suojaus toteutuu (km).

c On kerroin joka huomioi jännitteenalenneman piirin liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne. (ks. taulukko 3).

U On pääjännite (V).

I_{kmin} On pienin oikosulkuvirta, joka aiheuttaa suojauksen toteutumisen vaaditussa ajassa (A).

Z_v On impedanssi ennen suojalaitetta (Ω).

z On suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km).

Jännitteenaleneman kerroin c on riippuvainen sähköverkon nimellisjännitteestä ja siitä, lasketaanko minimi- vai maksimioikosulkuvirtojen mukaan. Taulukossa 3 on esitetty jännitekerroimen suuruus eri tilanteissa.

Taulukko 3. Jännitekerroin c (IEC 60909-0, 2001, 41)

Nimellisjännite U_n	Jännitekerroin c laskettaessa	
	maksimi oikosulkuvirta C_{max}	minimi oikosulkuvirta C_{min}
Pienjännite 100V-1000V		
a) 230 V / 400 V	1.00	0.95
b) muut jännitteet	1.05	1.00
keskijännite		
1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite		
> 35 kV	1.10	1.00

Kokonaisimpedanssi Z_v on määritettävä, ennen kuin piirin pisimmän ryhmäjohton päässä oleva vikasuojaus voidaan todeta toimivaksi. Tätä varten jakeluverkon haltija ilmoittaa liittymispisteen impedanssin Z . Tästä saadaan laskettua kaavan 7 mukaan pääkeskuksella oleva, suojalaitetta edeltävä yksivaiheinen oikosulkuvirta I_k . (D1-2012, 2013, 95.)

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (7)$$

missä

Z virtapiirin liittymispisteen impedanssi (Ω).

Seuraavaksi lasketaan oikosulkuvirrat ja ryhmäkeskuksia edeltävät impedanssit kaavojen 7 ja 8 mukaisesti. Johtimen impedanssi z saadaan käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.6 (D1-2012, 2013, 96).

$$Z_{v1} = Z + 2 * z_{v1} * l \quad (8)$$

$$I_{k1} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{v1}}$$

missä

l On johtimen pituus (km).

Kulutuspiisteelle pisin sallittu johtopituus voidaan nyt laskea saatujen arvojen Z_{v1} ja I_{k1} ja oletetun kulutuspiisteen suojalaitteen pienimmän toimintarajavirran I_{kmin} avulla.

Pitää kuitenkin huomioida, että liitteessä 2 on esitetty suurimmat sallitut

poiskytkentäajat korkeintaan 32 A:n suojalaitteella suojatuille ryhmäjohtoille.

Suuremmat (enintään 5 sekuntia) poiskytkentäajat ovat sallittuja pääjohtoilla ja yli

32 A:n ylivirtasuojalla suojatuilla johtimilla. Liitteistä 3 - 4 saadaan kulutuspiisteen

suojalaitteelle pienimmät toimintarajavirrat (I_{kmin}), jotka sijoitetaan kaavaan 6. (D1-2012, 2013, 92.)

3.3 Keskuksen oikosulkusuojaus

Keskuksen oikosulkuvirtakestoisuutta määritettäessä halutaan usein tietää alkuoikosulkuvirran tehollisarvo I_k'' ja alkuoikosulkuteho S_{kQ}'' tai edeltävän verkon alkuoikosulkuimpedanssi Z_Q'' . Näiden avulla saadaan määritettyä myös keskuksen mitoitukseen tarvittavat dynaaminen ja terminen oikosulkuvirta. Jakeluverkon haltija ilmoittaa tarvittavat oikosulkuvirtojen laskentaan ja keskuksen mitoittamiseen tarvittavat arvot. Kun tiedetään tehollinen alkuoikosulkuvirta, voidaan kaavan 9 mukaisesti laskea dynaaminen oikosulkuvirta (IEC 60909-0, 2001, 101-107.):

$$I_{dyn} = \kappa * \sqrt{2} * I_k'' \quad (9)$$

missä

κ On sysäyskerroin.

Sysäyskerroimen suuruuden määrittää verkon resistanssin ja reaktanssin suhde. Pienjänniteverkossa voidaan sysäysoikosulkuvirran suhde määrittää taulukosta 4.

Useimmiten pienjänniteverkon sysäyskerroin on 1,2-1,4.

Taulukko 4. Sysäyskertoimen suuruus (Aho 2013, 30)

I_k'' / kA	κ	$\cos\varphi$
≤ 10	1,2	0,5
≤ 20	1,4	0,3
≤ 50	1,5	0,25
> 50	1,6	0,2

Taulukko 4 on yksinkertaistettu malli standardista SFS-EN 60439-1 + A1 sivun 74 taulukosta 5. Standardin taulukossa esiintyvä n -arvo tarkoittaa dynaamisen huippuvirran suhdetta termisen oikosulkuvirran suuruuteen, mikä on sama asia kuin taulukossa 3 esitetyt κ -kertoimen arvot kerrottuna neliöjuuri kahdella. Standardissa SFS-EN 60439-1 + A1 esiintyvä n -kertoimen arvot on esitetty taulukossa 5. Näin ollen voidaan dynaaminen virtakestoisuus laskea kaavalla 9 ja taulukon 4 tai 5 avulla.

Taulukko 5. Kertoimen n standardiarvot (SFS-EN 60439-1 + A1, 2005, 74.)

Oikosulkuvirran tehollisarvo kA	$\cos \varphi$	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

HUOM. Nämä arvot pätevät useimpiin sovelluksiin. Erityisissä paikoissa, esim. muuntajan tai generaattorin läheisyydessä, voi tehokerroin saada pienempiä arvoja, jolloin prospektiivisen virran huippuarvo voi tulla rajoittavaksi arvoksi oikosulkuvirran tehollisarvon sijasta.

Keskuksen terminen oikosulkukestoisuus kertoo, kuinka kauan komponentit ja rakenteet kestävät lämpöä, joka on verrattavissa todellisen oikosulkuvirran aiheuttamaan lämpöön. Termisen oikosulkuvirran määrittämiseksi käytetään 1 sekunnin aikana tapahtuvaa rasiutusta ja se lasketaan oikosulkuvirran alkuarvosta I_k'' kaavan 10 mukaisesti. (Huotari & Partanen 1998, 29.)

$$I_{th} = I_k'' * \sqrt{(m + n) * t_k} \quad (10)$$

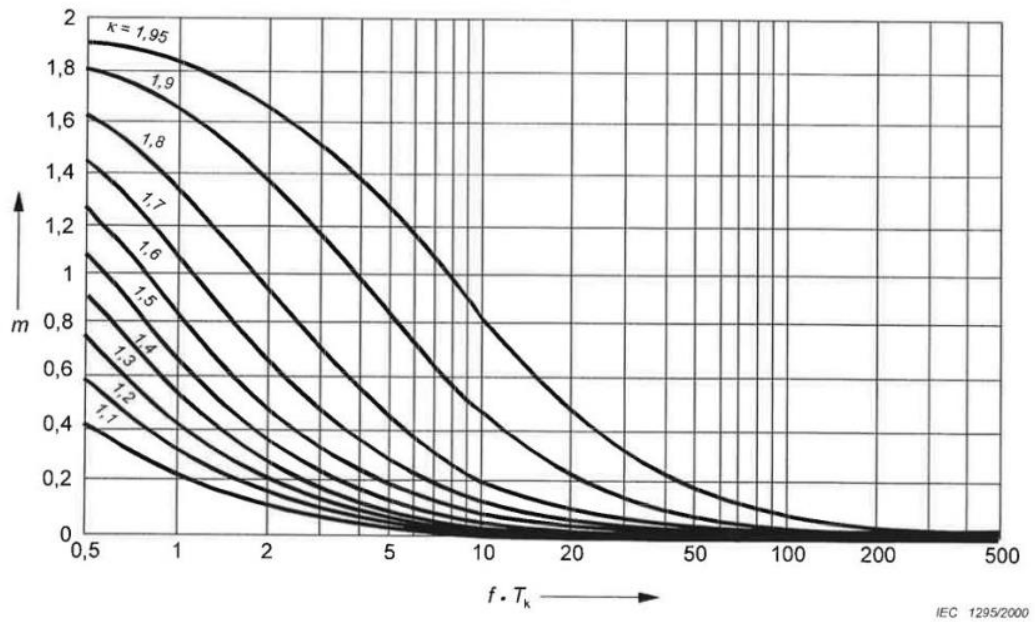
missä

m On tasavirtatekijä.

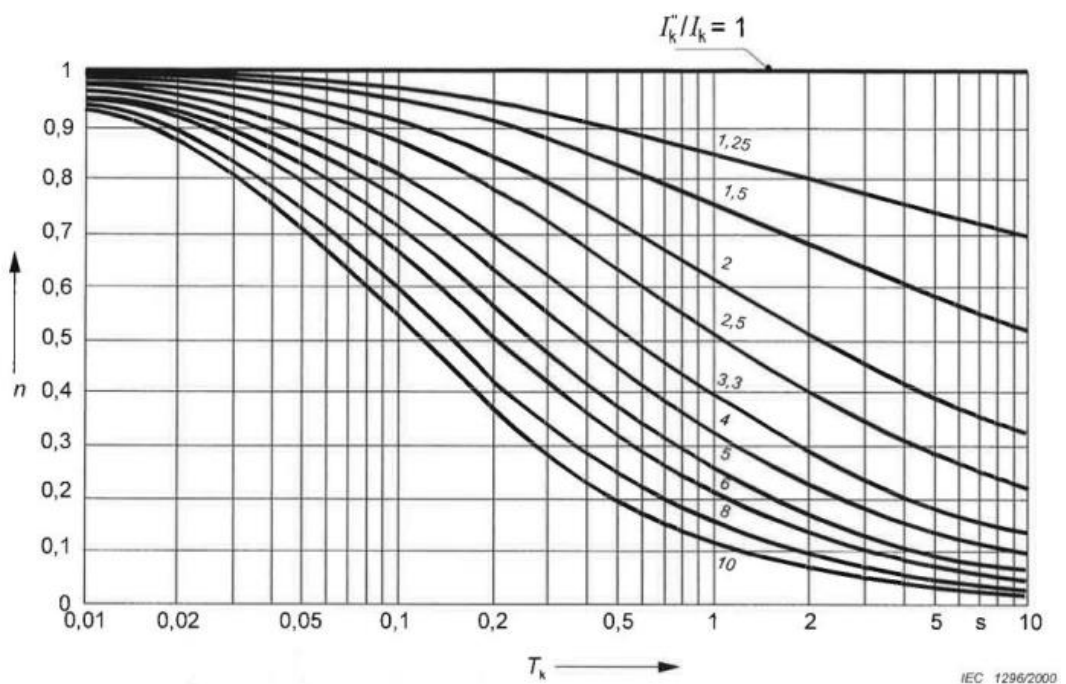
n On vaihtovirtatekijä.

t_k On vian kestoaika (s).

Tasavirtatekijän m määrittäminen riippuu sysäyskertoimesta, joka saadaan taulukosta 4 ja oikosulkuvirran kestoajasta kuvion 3 mukaisesti. Vaihtovirtatekijä n saadaan alkuoikosulkuvirran tehollisarvon ja jatkuvan oikosulkuvirran suhteesta sekä oikosulkuvirran kestoajasta kuvion 4 mukaisesti.



Kuvio 3. Tasavirtakomponentin määräytyminen (IEC 60909-0, 2001, 132)



Kuvio 4. Vaihtovirtakomponentin määräytyminen (IEC 60909-0, 2001, 133)

Julkisrakennuksissa, kuten kouluissa ja toimistorakennuksissa, moottoreiden, generaattoreiden määrä on teollisuuskohteisiin verraten pieni. Tästä syystä keskuksset voidaan mitoittaa alkuoikosulkuvirran I_k'' avulla. (Puttonen & Hukari 2014.)

Jos keskuksen tilaajalta tai käyttäjältä ei saada keskuksen käyttöpaikalla esiintyvää oikosulkuvirtaa, on valmistaja veloitettu mitoittamaan keskus tuoteselosteessa, esitteessä tai muussa teknisessä dokumentissa olevan oikosulunkestävyyden mukaan. Keskusten tulisi kuitenkin kestää vähintään taulukon 6 mukaisia syöttöliittimissä esiintyviä oikosulkuvirtoja. (Rytkönen 2014.)

Taulukko 6. Keskuksen oikosulkukestoisuuden suositellut vähimmäisarvot 400 V:n jännitteellä (Rytkönen 2014.)

Keskuksen nimellisvirta I_n A	Terminen nimelliskestovirta (oikosulkuvirran tehollisarvo) I_{cw} kA	Dynaaminen nimelliskestovirta (huippuarvo) I_{pk} kA
≤ 125	< 5	< 7,5
$> 125 \leq 250$	5,0	7,5
$> 250 \leq 400$	6,3	10,7
$> 400 \leq 630$	12,5	25,0
$> 630 \leq 800$	16,0	32,0
$> 800 \leq 1000$	20,0	40,0
$> 1000 \leq 1600$	25,0	52,5
$> 1600 \leq 2000$	31,5	66,2
$> 2000 \leq 2500$	40,0	84,0
$> 2500 \leq 3150$	50,0	105
> 3150	valmistajan ja käyttäjän/tilaajan sopimuksen mukaan	

Sulakkeella suojattu keskus

Katkaisijalla suojattu keskus voidaan mitoittaa laskettujen virta-arvojen perusteella, mutta sulakkeella suojatussa keskuksessa sulake rajoittaa oikosulkuvirran suuruutta. Tästä syystä keskuksen mitoituksessa pitää ottaa huomioon muun muassa suojalaitteen läpi kulkenut energia ja sulakkeen rajoittama huippuvirta. Sulakkeella suojatussa keskuksessa lasketaan ensin sulakkeen sulamisaika kaavan 11 mukaisesti (Aho 2013, 55–56.):

$$t_k = \frac{I^2 t_{max}}{I_k^2} \quad (11)$$

missä

t_k On sulakkeen sulamisaika, ajan ollessa alle 0,01 s käytetään aikaa 0,01 s.

$I^2 t_{max}$ On suojalaitteen läpi kulkema energia (Katso taulukossa 7 esitetyt $I^2 t$ esitetyt maksimiarvot.).

I_k'' On prospektiivinen oikosulkuvirta.

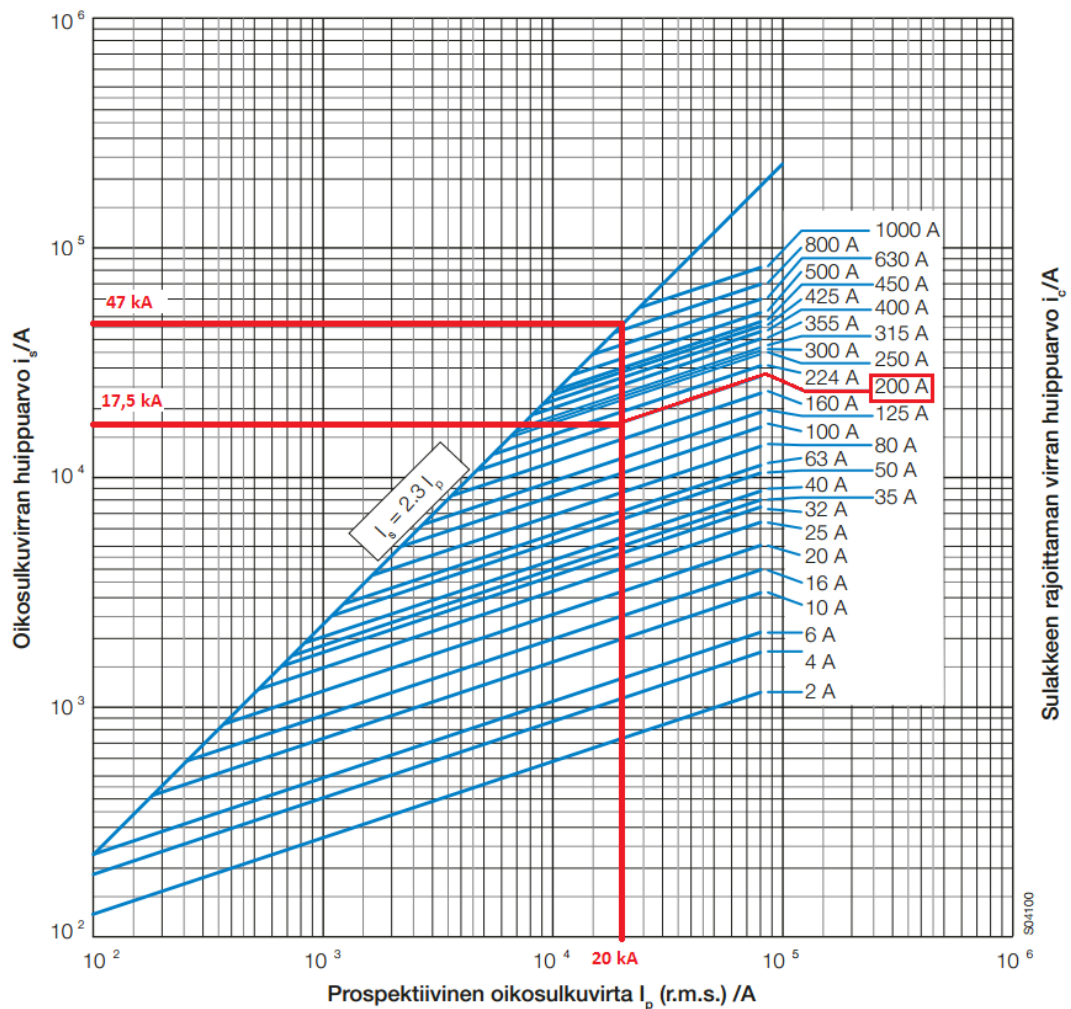
Taulukko 7. $I^2 t_{min}$ - ja $I^2 t_{max}$ -arvot gG- ja gM-sulakkeille (D1-2012, 2013, 256.)

I_n gG-sulakkeille I_{ch} gM-sulakkeille	$I^2 t_{min}$ $10^3 \times (A^2s)$	$I^2 t_{max}$ $10^3 \times (A^2s)$
16	0,3	1,0
20	0,5	1,8
25	1,0	3,0
32	1,8	5,0
40	3,0	9,0
50	5,0	16,0
63	9,0	27,0
80	16,0	46,0
100	27,0	86,0
125	46,0	140,0
160	86,0	250,0
200	140,0	400,0
250	250,0	760,0
315	400,0	1300,0
400	760,0	2250,0
500	1300,0	3800,0
630	2250,0	7500,0
800	3800,0	13600,0
1000	7840,0	25000,0
1250	13700,0	47000,0

Sulakkeen $I^2 t$ -arvoon perustuva 1 sekunnin aikainen oikosulkuvirta voidaan nyt laskea kaavalla 12. Pidemmälle ajalle mitatut oikosulkuvirran suuruudet voidaan laskea myös kaavalla 12, jos $I^2 t$ -arvot pysyvät vakiona ja virta on mitattu lyhyelle ajalle. Laskennan tuloksen perusteella valitaan keskusvalmistajien keskusten joukosta termiseltä kestoirralltaan seuraavaksi suurempi keskus. (Aho 2013, 57.)

$$I_{k1s} = \sqrt{\frac{I_k''^2 * t_k}{1s}} \quad (12)$$

”Keskuksen dynaaminen kestovirta määräytyy sulakkeen rajoittaman virran huippuarvon perusteella” (Aho 2013, 58). Sulakkeen valmistaja antaa graafisen kuvaajan, jonka avulla sulakkeen rajoittama huippuarvo selvitetään. Kuviossa 5 on esitetty ABB:n OFAA gG -kahvasulakkeiden oikosulkuvirran rajoitus. Kuvioista voidaan laskea dynaaminen kestovirta, kun tiedetään alkuoikosulkuvirran tehollisarvo (prospektiivinen oikosulkuvirta) ja piiriä suojaava sulake. Esimerkiksi, jos prospektiivinen oikosulkuvirta on 20 kA ja suojaava sulake on 200 A, suurin huippuvirta on 17,5 kA. Ilman sulakkeen rajoittavaa ominaisuutta suurin huippuvirta olisi 47 kA.



Kuvio 5. ABB:n OFAA gG -kahvasulakkeiden oikosulunrajoitus (ABB Pienjännitekojeet esite OF1FI 11-09 2011, 33.)

Kuviosta saadun arvon 17,5 kA mukaisesti valitaan keskusvalmistajien tarjoamista keskuksista dynaamiselta oikosulkukestoisuudeltaan seuraavaksi suurempi standardiarvo.

4 Huipputeho pienjänniteverkossa

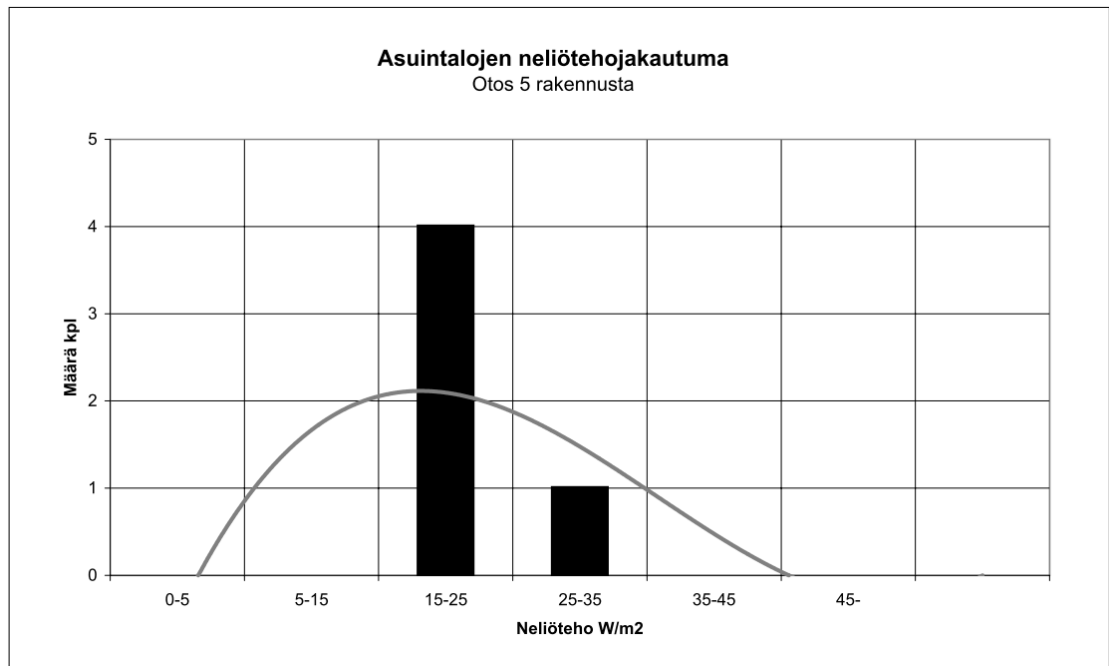
Keskiarvohuippu- ja huipputehoja käytetään sähkösuunnittelussa muun muassa esisuunnittelussa muuntajan kuormituksen arvioimiseen ja pääjänniteverkon taloudelliseen mitoittamiseen. Kohteiden tehojen mitoitus perustuu useimmiten kohteen tuntemukseen, sähkötyöselitykseen tai muuhun empiiriseen tietoon, ja lopullinen mitoitus voidaan tehdä vasta, kun sähköverkkoa kuormittavat laitteet on valittu. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

4.1 Huipputehon teoreettinen tarkastelu

Rakennuksen huipputehot voidaan laskea hyvin tarkasti esimerkiksi laiteluetteloiden ja niissä ilmoitettujen laitekohtaisten tehojen avulla. Toisaalta esisuunnitteluvaiheessa kiveen hakattuja sähkölaite valintoja ei vielä ole ja tästä syystä ei myöskään laiteluetteloa. Tätä varten on laadittu käyttötarkoitukseltaan ja laitetarpeiltaan erilaisille kohteille kuvaajia ja kaavoja, joiden avulla tulevaa tehontarvetta voitaisiin ennustaa.

Mitoitus lähtee liikkeelle alustavasta teholaskelmasta, kun tiedetään rakennuksen käyttötarkoitus ja neliöpinta-ala. Rakennuksen käyttötarkoituksesta voidaan päätellä mahdollinen sähkölaitteiden varustelutaso ja siitä edelleen määrittää tasoituskertoimia ja ottaa huomioon tulevaisuuden laitelisäyksiä. *Huipputehon määrittämisessä on kuitenkin muistettava, että lopullinen mitoitus tulee tehdä sähköverkkoa kuormittavien laitteiden valittua.* (Pienjänniteverkon mitoitusaste ja energiat 1978.)

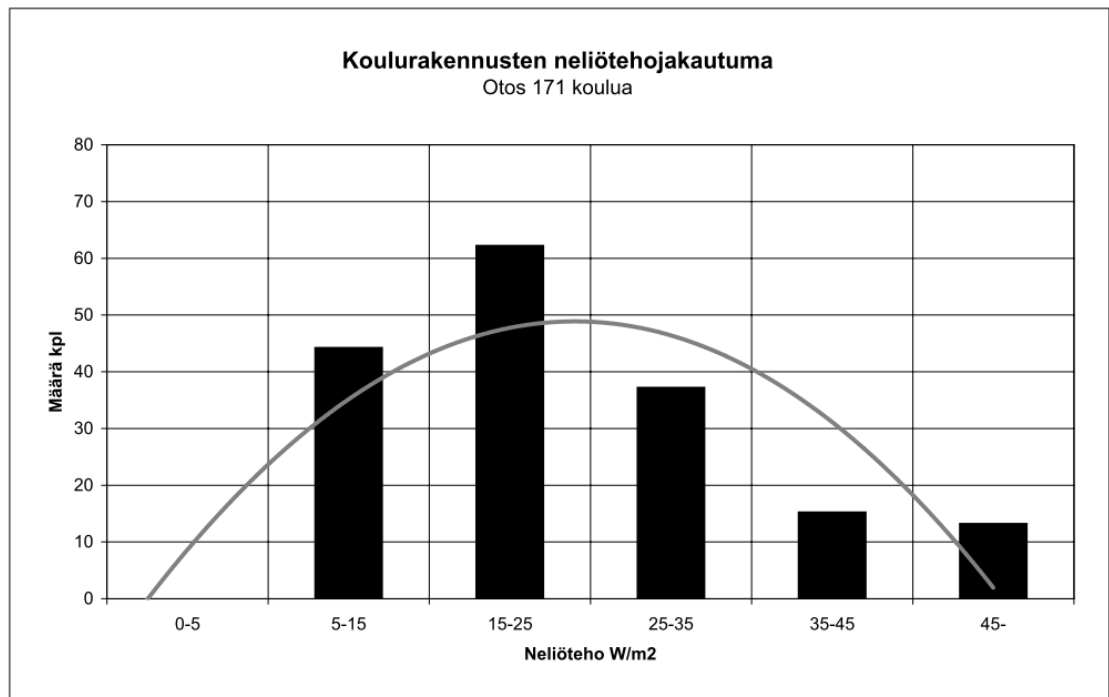
Asuinrakennusten huipputehojen määrittäminen voidaan ennustaa huomattavasti tarkemmin kuin julkis- ja teollisuusrakennusten, koska varustelutaso ja siitä aiheutuvat tehontarpeiden vaihtelut tiedetään varsin tarkkaan jo etukäteen. Suurimmat sähkökuormaan vaikuttavat tekijät ovat sähkölämmittäminen, lämmitysmuoto ja tietenkin asuinrakennuksen huoneistojen määrä. Huoneistojen määrä vaikuttaa myös laskentamalliin (Suomen sähkölaitosyhdistys Ry 1978). Kuviossa 6 on esitetty ST-kortin 13.31 mukaan toteutuneet neliötehojakaumat 1980-luvun jälkeen rakennetuille ja saneeratuille asuintaloille.



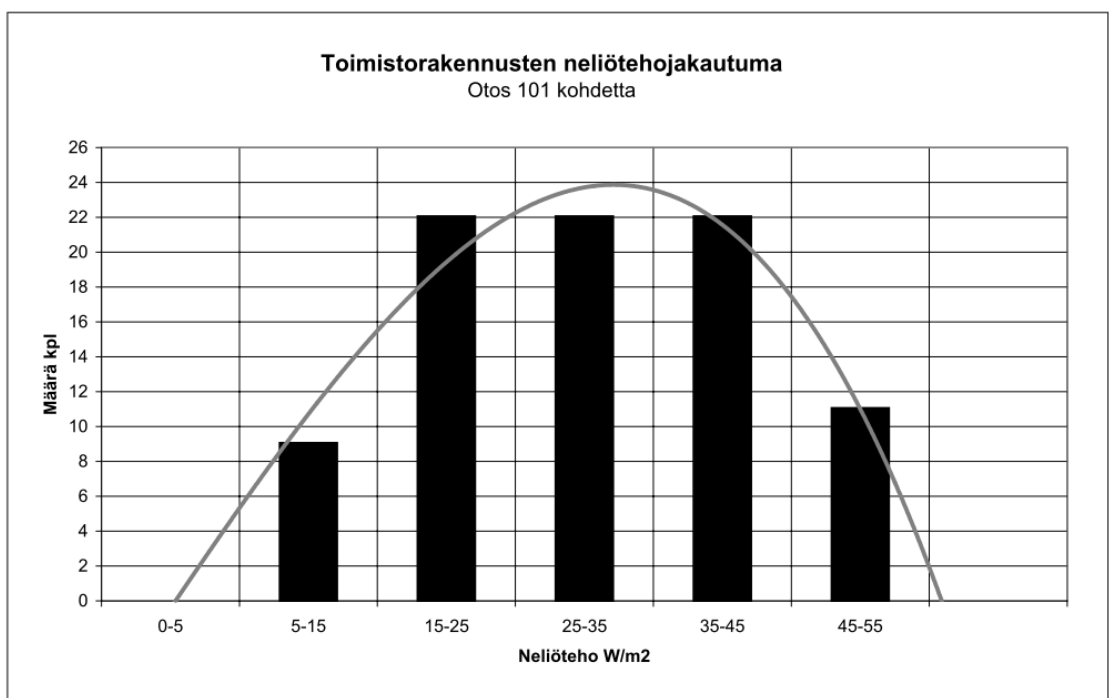
Kuvio 6. 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen asuintalojen toteutuneet neliötehot (ST-kortisto 13.31, 2001.)

Asuinrakennusten huipputehoja mitoitettaessa ST-kortin mukaisesti on syytä huomioida, että neliötehoja on tarkasteltu 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen kohteiden osalta. Lisäksi otosten määrä on suhteellisen pieni. Laitteiden määrä aina 2000-luvulle saakka koko ajan kasvanut, vaikka laitteiden tehontarve on saatanutkin vähentyä ja tästä syystä myös neliöllinen tehontarve rakennukselle on saatanut muuttua. Edellä olevan takia ST-kortin 13.31 olevaa tietoon pitää suhtautua varauksella.

Julkis- ja teollisuusrakennuksista tehdyt neliötehojakaumat ST-kortistossa 13.31 ovat otoksiltaan paljon laajempia ja siten luotettavampia, kuin asuinrakennusten. Tehon mitoituksen kannalta on kuitenkin huomioitava, että tehovaihtelut ovat suuria ja kahden eri koulunkin kesken huipputehot voivat olla suuruudeltaan eri luokkaa. Suuntaa antavaa huipputehoa voidaan kuitenkin selvittää kuvioiden 7 ja 8 avulla ja/tai käyttämällä ST -kortiston 13.31 laskentamalleja. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)



Kuvio 7. 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen koulurakennusten toteutuneet neliötehot (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)



Kuvio 8. 1980-luvun jälkeen rakennettujen ja saneerattujen toimistorakennusten toteutuneet neliötehot (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Suomen sähkölaitosyhdistyksen julkaisema raportti ”Pienjänniteverkon mitoitus- ja huippu-

tehon mitoittamista asuinrakennuksista aina teollisuusrakennuksiin saakka. ST-kortista 13.31 poiketen varsinaisia kuvaajia raportista ei löydy vaan mitoitus perustuu taulukoihin ja laskentamalleihin. Raportissa puhutaan keskiarvohuipputehosta P_{ke} , joka tarkoittaa mittausaineistosta laskettujen tehuippujen keskiarvoa. Rakennuksen tehomitoituksessa tämä arvo tarkoittaa, että ylitystodennäköisyys on 50 %. Huipputeho P_{max} tarkoittaa ainoastaan 1 %:n ylitystodennäköisyyttä. Suomen sähkölaitosyhdistys antaa laskentamallin keskiarvohuipputehon määrittämiseksi teollisuus- ja julkisrakennuksia varten, mutta huipputehon mitoitus tulee kuitenkin määrittää rakennuskohtaisesti hyödyntämällä esimerkiksi ST-kortissa 13.31 olevia ohjeistuksia.

4.2 Huipputehon laskenta

4.2.1 Tehonmitoitusmenetelmät

Rakennuksen tehojen määrittäminen ilman varsinaista laiteluetteloa perustuu empiirisen tiedon lisäksi tilastollisiin todennäköisyyksiin ja tästä syystä rakennuksen **lopul- lista** mitoitusta seuraavilla tavoilla ei voida kuitenkaan tehdä. Tehonmitoitusta voidaan lähestyä seuraavin menetelmin (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001; Pienjänniteverkon mitoitus-teho ja energiat 1978.):

1. Varustelutasoltaan ja käyttötarkoitukseltaan erilaisten rakennusten neliötehojakautumakuvaajien avulla, joita on esitetty ST-kortissa 13.31.
2. Rakennuskohtaisen laiteluettelon tai tasopiirustusten perusteella. Menetelmää käsitellään ST-kortissa 13.31.
3. Ominais- tai sähkötehokkuuden perusteella. Menetelmää käsitellään ST-kortissa 13.31.
4. Suomen sähkölaitosyhdistys Ry:n julkaiseman raportin ”Pienjänniteverkon mitoitus-tehot ja -energiat” mukaisten kaavojen perusteella.
5. Empiirisen tiedon pohjalta, mikä tarkoittaa esimerkiksi yrityksen keräämän datan pohjalta laskettuja tai tilastoituja arvoja tai kohdetta, jonka varustelutaso tunnetaan ennalta. Asuinrakennuksien tehontarpeet voidaan määrittää

tarkasti muun muassa ST-kortin 13.31 tai sähkölaitosyhdistyksen julkaiseman raportin mukaisesti.

Se, mitä toimintamallia edeltävistä vaihtoehtoista halutaan soveltaa, on rakennuskohtainen tai yrityksen toimintaohjeen mukainen.

4.2.2 Neliötehojakautuma

Kuvioissa 6 - 8 on esitetty asuintalojen sekä toimisto- ja koulurakennusten teho joikaista rakennuksessa olevaa neliötä kohden. Karkea arvio rakennuksen tulevasta tehon tarpeesta voidaan määrittää kertomalla rakennuksen pinta-ala tehojakautuman kuvaajassa esitetyillä arvoilla. Esimerkiksi nykyaikaisen koulurakennuksen ollessa 5000 m² voidaan kuvaajasta katsoa ja valita neliötehoksi 45 W/m². Valitsemalla kuvioista 7 saatava suurin neliöteho, varmistetaan ainakin liialliselta alimitoittamiselta. Ottamalla vielä huomioon tulevaisuuden sähkötehon kasvuvara 30 %, niin saadaan muodostettua kaavan 13 mukainen yhtälö. (Broman 2013, 7 – 8.)

$$1,3 * 45 \frac{W}{m^2} * 5000 m^2 = 293 kW \quad (13)$$

4.2.3 Huipputehon mitoittaminen laiteluettelon avulla

Laiteluettelon avulla tehontarpeen määrittäminen tulee kyseeseen kohteissa, joiden huipputehojen vaihtelut ovat suuria. Tällaisia ovat kaikki teollisuus-, palvelu- ja julkiseen käyttöön tarkoitetut rakennukset. Asuinrakennuksia lukuun ottamatta pääjänniteliittymä tulisi mitoittaa edellä mainituille rakennustyypeille mahdollisimman tapauskohtaisesti. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Koulu- ja toimistorakennuksissa suurimmat sähköä kuluttavat kokonaisuudet ovat valaistus, LVI- ja ATK-laitteet, mutta tapauskohtaisesti myös muut suuritehoiset laiteryhvät pitää huomioida ja lisätä pienjänniteliittymän tehonmitoitussyhtälöön 14. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

$$P_{mitoitus} = 1,3 * (P_{ilmanvaihto} + P_{valaistus} + P_{muut\ lvi-laitteet} + P_{kojeet\ ja\ laitteet} + P_{sähkölämmitykset} + P_{muut}) \quad (14)$$

missä

1,3 On kerroin, joka huomioi tulevaisuuden järjestelmälisäykset ja muut sähkötehon tarpeen lisäykset.

$P_{mitoitus}$ On lopullinen tehontarve rakennukselle.

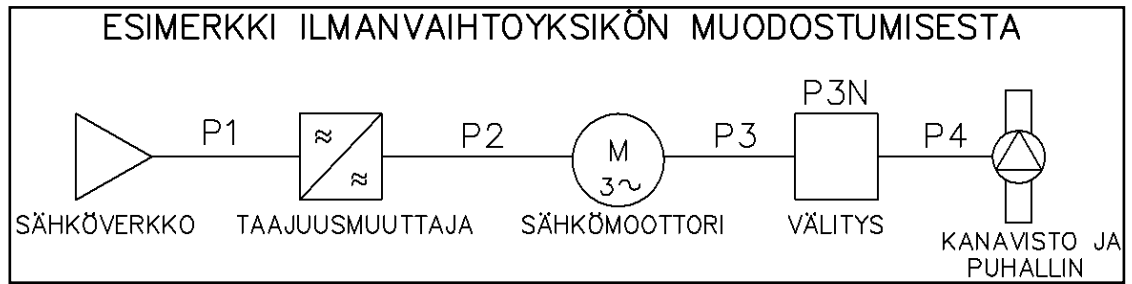
$P_{xxxxxxx}$ On rakennuksen laiteryhmäkohtainen teho.

Kaavan 14 laiteryhmäkohtaisten tehojen määrittämisessä pitää huomioida esimerkiksi laitteiden yhtäaikainen käyttö. Oletuksena voidaan pitää, että koulun lämmitys ja jäähdytys eivät ole yhtä aikaa päällä. Tästä syystä on yksittäisten laiteryhmiä tehoissa huomioitava seuraavanlaiset tasauskerroimet (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.):

1. k_1 on laiteryhmän sisäinen tasauskerroin ja kuvastaa laitteiden yhtäaikaista käyttöä. Esimerkiksi kaikki valot ovat yhtäaikaaisesti päällä.
2. k_2 on samanaikaisuuskerroin eri laiteryhmiä välillä. Esimerkiksi koneellinen jäähdytys ja sähkölämmitys toimivat yleensä eriaikaisesti. Suunnittelijalla pitää olla näkemys, syntykö huipputeho jäähdytyksen vai lämmityksen kautta, esimerkiksi kesällä vai talvella.

$P_{ilmanvaihto}$ -tehon määrittäminen laiteluettelolla

On syytä huomata, että ilmanvaihtojärjestelmä koostuu useasta sähkötehoa kuluttavasta yksiköstä (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001). Kuviossa 9 on esitetty vasemmalta oikealle ilmanvaihtoyksikön muodostuminen.



Kuvio 9. Esimerkki ilmanvaihtoyksikön muodostumisesta

Kuviossa 9 esiintyvät välivaiheet on merkitty P-kirjaimella ja juoksevalla numeroinnilla. Niiden merkitys on seuraavanlainen (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.):

- P1 on ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama teho (kW).
- P2 on sähkömoottorin ottoteho (kW).
- P3 on sähkömoottorin antoteho (akseliteho) (kW).
- P3N on sähkömoottorin nimellinen akseliteho (kW).
- P4 on puhallinakselille siirrettävä teho (kW).

LVI-suunnittelijan ilmoittamassa sähkölaiteluettelossa on ilmoitettu usein vain sähkömoottoreiden nimellistehot. Tehontarvetta määritettäessä pitää huomioida myös ilmanvaihtokokonaisuuden muiden sähkölaitteiden häviötehot, hyötysuhteet sekä käynnistys- ja ohjaustapa (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001). Taulukossa 8 on esitetty tarkemmin ilmanvaihdon tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ja tyypillisiä kertoimia.

Taulukko 8. Ilmanvaihdon tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Huomioitava tekijä	Vaikuttavat tekijät / vaihtoehdot	Tyypillisiä arvoja / reunaehtoja
Puhaltimen säätötapa	Pyörimisnopeussäätö, johtosiipisäätö, siipikulmasäätö, kuristussäätö, kaksinopeuskäyttö	
Puhaltimen ohjaustapa	Aikaohjaus, läsnäolo-ohjaus, hiilidioksidiohjaus, lämpötilaohjaus	Puhaltimien osailmavirran käytöllä esimerkiksi alle -10 °C lämpötiloissa voi olla suuri merkitys tehomitoitukseen
Voimansiirron hyötysuhde	Suora käyttö kiilahihnakäyttö lattahihnakäyttö	Suorassa käytössä voidaan voimansiirron hyötysuhteena käyttää 100 % Kiilahihnavälityksen hyötysuhde on yleensä luokkaa $93 \pm 2,5$ %, kun siirrettävä teho on välillä 0,7–35 kW. Kiilahihnavälityksen hyötysuhde on sitä pienempi mitä pienempi on siirrettävä teho. Lattahihnavälityksen hyötysuhde on yleensä luokkaa $96,5 \pm 1,3$ %, kun siirrettävä teho on välillä 0,7–35 kW.
Sähkömoottorin hyötysuhde		Sähkömoottorin hyötysuhde vaihtelee moottorin kokoluokan ja kuormituksen perusteella. Tyypillisesti oikosulkumoottorin hyötysuhde on 0,7–0,9.
Taajuusmuuttajan hyötysuhde		0,95

$P_{\text{valaistus}}$ -tehon määrittäminen valaisinluettelolla

Valaistuksen tehontarve voidaan määrittää rakennuskohtaisen valaisinluettelon avulla. Valaisinluettelossa on esitettyä lampun tyyppin ja asennustavan lisäksi muun muassa lamppujen nimellistehot, mutta valaistuksen huipputehon mitoittamiseen pitää ottaa huomioon myös taulukossa 9 esitettyjä tekijöitä. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Taulukko 9. Valaistuksen tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Huomioitava tekijä	Vaikuttavat tekijät / vaihtoehdot	Tyypillisiä arvoja / reunaehdoja
Valaistuksen perusratkaisu	Suora / epäsuora valaistus	Epäsuora valaistustapa voi vaatia luokkaa 1,5 kertaa suuremman sähkötehon kuin suora valaistustapa.
Lampputyyppi	Hehkulamppu, halogeenilamppu, loistelamput sekä erityyppiset purkauslamput	Hehkulamppu 10–20 lm/W Halogeenilamppu 15–24 lm/W Loistelamppu 20–90 lm/W Elohopealamppu 32–50 lm/W Monimetallilamppu 54–120 lm/W SpNa-lamppu 39–150 lm/W
Valaistuksen ohjaustapa	Paikalliset kytkimet, aikaohjaus, läsnäolo-ohjaus, päivänvalo-ohjaus	Kaikki valaisimet ovat harvoin yhtä aikaa käytössä. Tyypillinen valaistuksen tehomitoituksen tasauskerroin on 0,85. Päivänvalo-ohjauksessa voi kesäaikana huipputehon tarvetta arvioidessa käyttää tasauskertoimena 0,6–0,8 riippuen tilojen päivänvalosuhteesta.
Valaisimien liitännälaitte	Perinteinen kuristin Elektroninen liitännälaitte	Purkauslamppuvalaisimien perinteisten kuristimien vaikutus mitoittamiseen voidaan yleensä huomioida kertomalla lampun nimellisteho kertoimilla 1,1–1,3.

P_{muut lvi-laitteet} -tehon määrittäminen laiteluettelolla

Muut LVI-laitteet pitää tarkastella aina tapauskohtaisesti. Laitteita voivat olla esimerkiksi oviverhokojeeit, koneellinen jäähdytys ja kiertoilmapuhaltimet (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001). Taulukossa 10 on esitetty tähän kategoriaan kuuluvia laitteistoja ja huomioitavia asioita tehomitoituksessa.

Taulukko 10. Muiden LVI-laitteiden tehonmitoituksessa huomioitavia asioita

LAITEKOKONAISUUS	HUOMIOITAVA TEHONMITOITUKSESSA
Oviverhokojeet	Tehontarve voi kasvaa merkittävästi, jos lämmitysmuotona on sähkö.
Kiertoilmapuhaltimet	Tehontarve voi kasvaa merkittävästi, jos lämmitysmuotona on sähkö.
Koneellinen jäähdytys	Suunnittelijalla pitää olla arvio huipputehon ajankohdasta. Jäähdytyksen huipputehoa ei aina huomioida talvella.
Pumput	Huomioitava tasoituskerroin pumppujen yhtä- tai eriaikaisesta käytöstä.

P_{kojeet ja ja laitteet} -tehon määrittäminen laiteluettelolla

Edellä mainitsematta jätettyjä sähkötehoa kuluttavia laitteita ja kojeita on keittiössä, joiden tehontarpeen saa määritettyä keittiölaite-suunnitelmasta. Keittiöiden huipputehossa pitää kuitenkin huomioida, että laitteet ovat harvoin yhtäaikaisesti päällä. Tästä syystä tehonmitoituksen tasoituskerroin on yleensä alle 0,5. ATK-laitteiden, kuten suuret kopiokoneet, tietokoneet ja tulostimet, yhteisvaikutus toimistorakennuksessa voi olla samaa luokkaa kuin valaistuksen ja ilmanvaihtopuhaltimien. Suuntaa antava tehontarve ATK-laitteille voidaan määrittää tasopiirustuksesta saatavasta sähköpisteiden massaluettelosta. Julkisarakenne voi olla myös hotellikylpylä, ja tällaisessa rakennuksessa sähkökiukaiden käyttö saattaa olla merkittävässäkin osassa huipputehon mitoittamista. Kouluissa taas teknisen työn opetustilojen suuritehoiset pöytäsiirteet, höylät ja metallintyöstökoneet aiheuttavat huipputehoon osuuden, joka tulee ottaa huomioon sitä mitoittaessa. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

P_{sähkölämmitys} -tehon määrittäminen ja reunaehdot laskentaan

Sähkölämmitykseen mitoittettavan tehon osuus pitää käsitellä tapauskohtaisesti. Rakennuksen sähkölämmitykseen tarvittava teho on tarvittaessa voitava siirtää liittymiskaapelia pitkin lämmityspisteille. Tekijät, jotka vaikuttavat otetaanko sähköläm-

mitys liittymiskaapelin mitoittamiseen mukaan, ovat muun muassa seuraavanlaiset: (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

1. Mikä on kohteen lämmitysmuoto?
2. Mikä on huipputehon esiintymisaika? Kesällä koneellinen jäädytys voi nostattaa huipputehon korkeammaksi kuin talvella käytettävä sähkölämmitys.
3. Voidaanko huipputehoaikana sähkölämmityksiä ohjata pois päältä eli tasoittaa kuormitusta eri jaksoille esimerkiksi varaavalla lämmityksellä?
4. Käytetäänkö rakennuksessa ilmanvaihdon lämmitys- ja jälkilämmityspattereita samanaikaisesti sähkölämmitysten kanssa ja onko ilmanvaihdon osatehoilla vaikutusta sähkölämmityksen tehon käyttöön?
5. Mikä on autolämmityspistorasioiden ohjaustapa (ulkolämpötilaohjaus, huipputehonrajoitus, esivalittava ajastin) suhteessa alueella olevaan aluelämmitykseen)

P_{muut} -tehon määrittäminen

Muiden sähkölaitteiden tehonkulutus pitää käsitellä tapauskohtaisesti. Mitoitettaessa muita sähkölaitteita olisi syytä tietää rakennuksen koko, käyttötarkoitus, laitekanta ja teollisuudessa mahdollinen tuotannon laatu. Erityisesti teollisuusalueesta riippuen voivat käytettävien moottorien ja generaattorien tehot vaihdella hyvinkin suuresti. Pitää kuitenkin muistaa, että etenkin teollisuudessa laitteet ylimitoitetaan ja usein laitteiden todelliset tehot jäävät nimellistehoa pienemmäksi. Lisäksi tuotantolaitteet ovat harvoin käytössä yhtäaikaisesti. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Motiva Oy:n tarjoamista energiakatselmuksista selviää käyttötarkoitukseltaan erilaisien rakennusten keskimääräiset ominaiskulutusluvut (kWh/rakennus - m³). Jakamalla ominaiskulutusluvut käyttötarkoitukseltaan sopivilla huipunkäyttöajoilla, saadaan suurpiirteinen arvio tehontarpeen suuruusluokista. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Kun kaikki laiteryhmiä tehot ovat selvillä, saadaan laskettua rakennuksen huipputeho kaavalla 14, joka on esitelty sivulla 27.

4.2.4 Huipputehon mitoittaminen sähkötehokkuuden avulla

Monille nykyaikaisille laitteille, kuten televisioille, tietokoneille, jääkaapeille ja kodinkoneille on laadittu energiatehokkuusluokkia, mutta viime vuosina ovat yleistyneet myös rakennuksille tehtävät energiatehokkuusluokittelut. Laiteryhmille, kuten valaistukselle, ilmanvaihdolle ja pumppuja tarvitseville prosesseille, on laadittu sähkötehokkuusluokkia. Rakennuksen tehonmitoitus voidaan toteuttaa näiden tehokkuusluokkien avulla, kun ensin lasketaan merkittävimpien järjestelmien sähkötehojen tarve ja suhteutetaan se hankesuunnittelussa määriteltyihin tavoitearvioihin. VTT:n tiedotteesta ”Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvo” saa eri käyttötarkoitukseltaan oleville rakennuksille energiatehokkuusarvoja (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001). Kuviossa 10 on esitelty esimerkki rakennuksen energiatehokkuustaulukosta ja määritelty ET-luokitus kyseiselle kohteelle.



Kuvio 10. Rakennuksen energiatehokkuustaulukko ja ET-luokitus (Kymppitalojen talopaketti esittely ja energiatodistus n.d.)

Eri toimialojen suunnittelijat voivat yhdessä rakennuttajan kanssa määritellä kohteena olevalle rakennukselle sähkönkulutuksen tavoitetason. Tällöin suunnittelijoiden pitää ottaa huomioon eri laiteryhmiä sähkötehokkuusluokat ja näin välttyään epätaloudellisilta valinnoilta. Työelämässä projektit eivät toki ole aina näin yksiselitteisiä. Joskus taloudellisuutta haetaan kalliilla investoinneilla, jolloin tuotannossa tai käytön

aikana säästetään, mutta kohteen mukaan taloudellinen valinta voi myös syntyä päinvastaisessa tapauksessa.

$P_{\text{ilmanvaihto}}$ -tehon määrittäminen sähkötehokkuudella ja ominaissähköteholla

Ilmanvaihdon sähkötehokkuudella tarkoitetaan koko ilmankäsittelyjärjestelmän tehokkuutta suhteutettuna sähkönkulutukseen, ja sen yksikkö on kilowattia per ilmavirta ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$). Ominaissähköteho SFP (Specific fan power) tarkoittaa koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettua sähkötehokkuutta. Ominaissähköteho lasketaan kaavan 15 mukaisesti (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.):

$$SFP = P_{\text{puhaltimet}} / q_{\text{max}} \quad (15)$$

missä

SFP rakennuksen puhaltimien ominaissähköteho ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$)

$P_{\text{puhaltimet}}$ rakennuksen kaikkien puhaltimien ottama (sähköverkosta mitattavissa) yhteenlaskettu sähköteho (kW)

q_{max} rakennuksen tulo- tai poistoilmavirroista suurempi (m^3/s)

Ominaissähkötehon lukuarvoja ovat desimaaliluvut ja sen perusluokkia ovat muun muassa 1,0; 1,5; 2,5 ja 4,0 $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Tilojen ilmamäärät saadaan LVI-suunnittelijalta, mutta esisuunnitteluvaiheessa voidaan hyödyntää Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 tiloittain määriteltyjä tai Sisäilmastoluokitus 2000 - raportissa ilmoitettuja ilmamääriä. Ilmanvaihtopuhaltimien tarvitsema teho voidaan laskea ilmamäärän ja ominaissähkötehon tulona kaavan 16 mukaan (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.):

$$P_{\text{ilmanvaihto}} = SFP * q_{\text{max}} \quad (16)$$

Laskettu ilmanvaihtopuhaltimien teho on myös mitoitettava teho edellyttäen, että loistehon kompensointi on toteutettu keskitetysti pääkeskuksessa tai konekohtaisesti. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

$P_{\text{valaistus}}$ -tehon määrittäminen sähkötehokkuuden avulla

Valaistuksen tarvitsemaa tehoa voidaan ennustaa hyvinkin tarkkaan, kun tiedetään rakennuksen käyttötarkoitus. Kuten ilmanvaihdollekin, on valaistukselle määriteltävissä sen ominaissähköteho, joka tarkoittaa kaikkien valaisimien yhteenlaskettua sähkötehoa jaettuna rakennuksen pinta-alalla. Tästä saadaan valaistuksen sähkötehokkuuden yksiköksi wattia per neliö, W/m^2 . Sen perusyksiköitä ovat muun muassa 4; 8; 12; 16 ja $20 W/m^2$, mutta empiirisen tiedon pohjalta tai sopimuksen mukaan arvot voidaan käyttää myös muita arvoja. Valaistuksen teho voidaan määrittellä rakennukselle myös tilaryhmittäin tai valaistustavan mukaan. Suunnittelijan ja rakennuttajan tehtävänä onkin tarvittaessa sopia rakennuksen sähkönkulutuksen tavoitetaso. Tällöin suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden tulee huomioida arvot valaisimien valinnassa, jotta tavoitetaso saadaan säilytettyä. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

$P_{\text{muut lvi-laitteet}}$ -tehon määrittäminen sähkötehokkuuden avulla

LVI-laitteista erityisesti pumppujen sähkötehokkuus on määriteltävissä. Yksikkönä on wattia per litraa sekunnissa, $W/(l/s)$ ja se voi olla koko rakennuksen kaikkien vesikiertopiirien yhteenlaskettu sähköteho jaettuna vesikiertopiirien yhteisvirtaamalla. Samoin kuin valaistukselle ja ilmanvaihdolle on myös pumpuille on määritetty perusarvot. Lukuarvot ovat kokonaislukuja ja suuruudeltaan <100; 150; 200;250 ja >300 $W/(l/s)$. Tarvittaessa sähkötehokkuuden tavoitearvoja voidaan pumpuille määrittellä myös ryhmittäin. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

$P_{\text{kojeet ja laitteet}}$ -tehon määrittäminen sähkötehokkuuden avulla

Keittiölaitteiden sähkötehoa voidaan tarkastella esimerkiksi vertaamalla yhteen annokseen kuluva sähköteho. Näin olleen ominaissähköteho saadaan, kun jaetaan keittiölaitteiden tasattu huipputeho koko rakennuksen päivittäisillä annosmäärillä. Riippuen keittiöstä, voi energiankulutus olla 0,2-3,0 kWh/annos. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

Toimistolaitteet kuten tietokoneet, tulostimet ja muut ATK-laitteet, voidaan mitoittaa samoin kuin valaistus, mutta huomioiden kuitenkin rakennuksen käyttötarkoitus. Muut laitteet ja kojeet tulee käsitellä tapauskohtaisesti. (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

$P_{\text{sähkölämmitys}}$ -tehon määrittäminen sähkötehokkuuden avulla

Sähkölämmityksen huipputehon mitoittamiseen vaikuttavat tekijät on esitelty ST-kortin 13.31 sivuilla 26-27 kappaleessa " $P_{\text{sähkölämmitys}}$ -tehon määrittäminen ja reunaehdot laskentaan". (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

P_{muut} -tehon määrittäminen sähkötehokkuuden avulla

Muiden sähköjärjestelmään kuuluvien kokonaisuuksien tai laitteiden huipputehon mitoittamiseen vaikuttavia tekijöitä on esitelty ST-kortin 13.31 sivulla 27 kappaleessa " P_{muut} -tehon määrittäminen". (Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen 2001.)

4.2.5 Laskentamallien mukainen mitoittaminen

Laskentamalleja on esitelty asuinrakennuksille erityisesti ST-kortissa 13.31 ja Suomen sähkölaitosyhdistyksen julkaisemassa raportissa "Pienjänniteverkon mitoitus- ja energiat". Asuinrakennuksien huipputehoja mitoittaessa laskentakaavoihin vaikuttavat rakennuksen lämmitysmuoto ja kiukaiden varaus. Sähkölaitosyhdistyksen raportissa on myös esitelty eri teollisuuden ja julkisten palvelujen kertoimia keskiarvohuipputehon mitoittamista varten. Liitteessä 5 on esitetty laskentakaavoja lämmitysmuodoltaan ja kooltaan erilaisille asuinrakennuksille. Esitettävät mitoitus- ja energiat liitteessä 4 tarkoittavat seuraavaa: (Pienjänniteverkon mitoitus- ja energiat 1978.)

- P_{max} on huipputeho, joka ylitetään keskimäärin yhdessä sadasta eli sen todennäköisyys on 1 %

- P_{ke} on keskiarvohuipputeho, joka on mittausaineistosta (Suomen sähkölaitosyhdistys 1978) laskettujen yksittäisten tehohuippujen keskiarvo. Todennäköisyys sen ylittymiseen on 50 %.

Teollisuuden ja julkisrakennuksien huipputehoa ei voi asuinrakennusten kaltaisesti laskea tai ennustaa vaan se pitää tehdä tapauskohtaisesti. Suomen sähkölaitosyhdistys Ry kirjoittaaakin julkaisemassaan raportissa vastaavaa huipputehojen mitoittamisesta seuraavasti:

”Johtojen termiseen mitoitukseen ko. tehot eivät suuren hajonnan vuoksi sovellu, vaan kohteiden maksimihuipputehot suunnittelijan tulee määrittellä tapauskohtaisesti. Määrittelyssä voidaan käyttää apuna kohteen tuntemusta, sähkötyöselitystä tai muuta kokemusperäistä (empiirinen tieto) arviointi menetelmää.”

Keskiarvohuipputehojen määrittäminen julkis- ja teollisuusrakennuksille on kuitenkin mahdollista, kun käytetään liitteessä 6 olevaa taulukkoa ja kaavaa 16.

$$P_{ke} = a + b * A_{krs}$$

missä

P_{ke} keskiarvohuipputeho liitteessä 5 oleville tutkituille aineistoille

a liitteen 5 taulukossa annettu vakioteho (kW)

b liitteen 5 taulukossa annettu teho kerrosalaa tai tuotannon kapasiteettia (kW/1000m³) kohti

A_{krs} rakennusten ulkoseinien ulkopintojen mukaan laskettu kerrosten yhteinen lattiapinta-ala

Liitteen 5 taulukossa kerrottu ”selitysaste” tarkoittaa, kuinka suuren osan mitoitetusta tehosta käytetty selittäjä (kerrosala tms.) pystyy selittämään.

4.2.6 Empiirisen tietotaidon mukainen mitoitus

Empiirisellä mitoituksella tarkoitetaan kokemusperäisen tiedon mukaista mitoitusta. Toteutustapa voi noudattaa tai sivuta aiemmin mainittuja laskentamalleja ja tilastoja, mutta niihin sovelletaan ja sisällytetään myös omaa, esimerkiksi työpaikalla kerättyä tietoa. Hyvänä esimerkkinä voisi toimia koulurakennus. Jos tiedetään rakennuksen käyttötarkoitus ja koko, voidaan sen tarvitsemaa tehoa lähteä hakemaan aikaisemmasta vastaavasta projektista. On hyvä kuitenkin muistaa, että lopullinen huipputeho tulee laskea aina tapauskohtaisesti, kun laitekanta on selvillä.

5 Laskentareporttipohja

Opinnäytetyössä laaditun laskentareporttipohjan on tarkoitus toimia suunnittelijan tukena rakennuksen sähköteknisessä mitoittamisessa, mutta myös laskentareporttina asiakkaalle suoritetusta standardien mukaisesta laskennasta.

5.1 Sähkötekni­sen laskennan nykytilanne ja kehitystarpeet

Sähkötekni­nen laskenta tehdään Rejlers Oy:n sähkö- ja automaatio-osastolla pääosin Neplan-, Ecodial-, Microsoft Excel- ja ABBDocwin-ohjelmistoja hyödyntäen. Niissä mallinnetaan teollisuusalueen tai julkisen rakennuskokonaisuuden sähköverkko useasta muuntajasta aina rakennuksen ryhmäkeskuksiin saakka. Teollisuudessa moottorit ja muut kulutus­pisteet saatetaan myös ottaa laskentaan mukaan, jos niiden kokonais­valtainen kulutus on rakennuksen kokonaiskulutuksen suhteen suuri. Laajuudeltaan pienempiä mitoituksia työntekijät toteuttavat itsenäisesti omilla parhaakseen katsomilla laskentamenetelmillä.

Opinnäytetyö syntyi­kin kehitystarpeesta rakentaa laskentareporttipohja näille pienemmille mitoituksille, joille esimerkiksi Neplan-ohjelmisto on liian ”jä­reä” laskentaohjelma –tai usein näin laajaa laskentaa ei talotekniikan osastolla tarvita. Laskentamallipohjasta oli siis tehtävä yksinkertainen, toimiva ja mahdollisimman moniin projekteihin soveltuva laskentatyökalu sähkösuunnittelijoille. On hyvä, että yrityksessä on 1-3 rakennettua laskentamallia, jota kehitetään ja päivitetään tarpeen vaatiessa.

Tällöin suunnittelun laatu säilyy, kun kaikilla on samat taulukot käytössä eikä esimerkiksi vanhentuneen tiedon takia tule vääriä mitoituksia.

5.2 Laskentaraporttipohjan toteutusperiaate

Toimeksiantajalle luovutettu laskentaraporttipohja tehtiin Microsoft Excel -työkalulla, jonka tukena toimivat muut ohjelmistot, kuten CADS Planner Electric, MaggiCad, Ecodial, Neplan ja ABBDocwin. Microsoft Excel -ohjelma valittiin, koska laskentaraporttipohja olisi tällöin parhaiten muokattavissa erilaisiin tarpeisiin. Exceliin saa luotua esimerkiksi projektikohtaiset tai asiakkaan vaateiden mukaiset otsikkotaulut ja muokattua arvoja, jos niin parhaaksi nähdään. Lisäksi Microsoft Excel -ohjelmiston eduksi osoittautui, että se on asennettuna jokaisen työntekijän tietokoneeseen jo valmiiksi ja suurin osa työntekijöistä osaa käyttää sen tarvittavia toimintoja.

Microsoft Excel -ohjelmalla tehdyn laskentaraporttipohjan hyvä puoli on myös se, että se on kaikille suunnittelijoille ennestään tuttu työkalu. Oikeaoppinen suunnittelu- ja verkonlaskentaohjelmistojen käyttö vaatii koulutusta ja perehtymistä, jotta mitoitusvirheitä välttyttäisiin. Projekteissa on usein monta henkilöä tekemässä työtä ja jokaisella on oma kädenjälkensä suunnittelussa työssä. Tällöin ei riitä, että yksi henkilö tekee oikein. Jos verkostonlaskentaa mitoitettaisiin ohjelmistoilla joihin työntekijällä ei ole tarpeeksi koulutusta, niin pahimmassa tapauksessa henkilö saattaa ”rikkoa” oikein suunnitellun verkostolaskennan ja mitoitusarvot eivät ole enää luotettavat. Ongelmaksi muodostuu tästä syystä se, että koulutus yhdelle henkilölle ei riitä ja useamman kouluttaminen on taloudellisesti kallista.

CADS Planner Electric -ohjelmistolla oikein piirrettynä esimerkiksi pistesijoituspiirustuksesta voidaan tarvittaessa tarkastaa kaapelin päässä oleva oikosulkuvirta ja jännitteenalenema. Ohjelma myös varoittaa, jos jännitteenalenema on ylittänyt tai lähellä suurinta sallittua arvoa. Oikosulkuvirtaa voidaan verrata D1-2012 käsikirjassa johdon-suojien ja sulakkeiden pienimpiin toimintarajavirtoihin ja todeta suojalaite toimivaksi tai ei toimivaksi.

5.3 Laskentaporttipohjan toteutus

5.3.1 Huipputehon ja keskiarvohuipputehon laskentaporttipohja

Suunnittelin Microsoft Excel -ohjelmalla huipputeholle kaksi laskentaporttipohjaa, joista ensimmäinen on tarkoitettu erikokoisten asuinrakennuksien ja toinen palvelu-, julkis- ja teollisuusrakennusten huipputehon ja keskiarvohuipputehon mitoittamiseen. Sisällytin asuinrakennuksien huipputehojen laskentaporttipohjaan monivalintapainikkeet, joiden avulla voidaan määrittää minkälaisesta ja minkäkokoisesta asuinrakennuksesta on kyse. Näiden Excel-taulukkolaskentaohjelmassa käytettävien monivalintapainikkeiden toimintaa varten jouduin perehtymään Visual Basic -koodin käyttöön. Koodin avulla sain muodostettua pienen alueen, jonka arvot muuttuvat, kun asuinrakennuksen tyyppiä muutetaan. Tällä tavoin sain asuinrakennuksien huipputehon ja keskiarvohuipputehon laskentaporttipohjan yksinkertaiseksi ja käyttöliittymältään käyttäjäystävälliseksi. Liitteessä 7 on esitetty asuinrakennuksien huipputehon ja keskiarvohuipputehon laskentaporttipohja. Valintapainikkeet, joiden mukaan mitoitus tehdään on myös esitetty liitteessä 7. Kentät, joiden arvo valintapainikkeiden valinnan mukaan muuttuu, on piilotettu ja lukittu.

Teollisuus-, palvelu- ja julkisrakennuksille laskentaporttipohja piti toteuttaa eri tavoin kuin asuinrakennuksille, koska **huipputeholle** ei voida määrittää lineaarista yhtälöä, kuten asuinrakennuksille. Sen sijaan **keskiarvohuipputeho** on määritettävissä liitteen 6 avulla. Kopioin asuinrakennuksien laskentaporttipohjan ulkoasun ja poistin taulukosta solut, joissa ilmoitettiin rakennuksen huipputehot.

Monivalintapainike ei ollut mielestäni hyvä vaihtoehto teollisten-, palvelu- ja julkisten rakennuksien valitsemiseen ja siksi päädyin valitsemaan alasvetovalikon.

Alasvetovalikolla voidaan valita kuviossa 11 esitetyllä tavalla rakennuksen käyttötarkoitus, jota PHAKU-toiminnolla verrataan Excel-taulukon toisella lehdellä olevaan matriisitaulukkoon. Kun ohjelma löytää vastaavan rakennustyyppin toiselta Excel:n välilehdeltä, se syöttää ”Rakennuksen keskiarvohuipputeho, P_{ke} ”:

osoittamaan soluun rakennustyyppiä vastaavat vakiot. Yhtälön tuloksena soluun tulee arvoksi valitun rakennustyyppin keskiarvohuipputeho. Teollisten-, palvelu- ja julkisten rakennuksien keskiarvohuipputehon laskentaraippitpohjan ulkoasu on esitetty liitteessä 8.

Rakennuksen yht.kerros-pinta-ala, A_{krs} :	3000	m ²
Pysäköintialueen lämmitettyjen autopaikkojen lukumäättä, N_{auto} :	20	lkm
Rakennuksen käyttötapa:	21. Palloiluhalli	
Rakennuksen keskiarvohuipputeho		V
Pysäköintialue, P_{ke}		V
Yhteensä, P_{ke}	187,7	kW

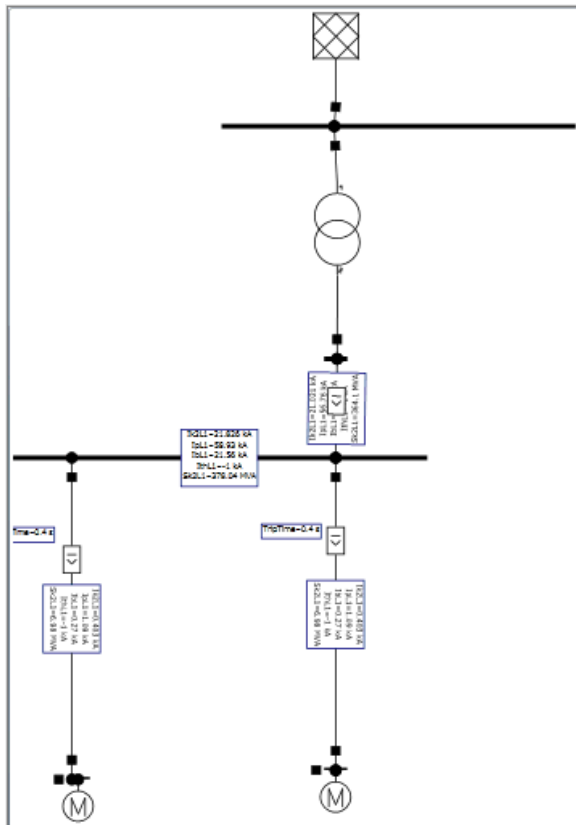
15. Toimistotalo / pankki / virastotalo
 16. Palvelu yleensä
 17. Koulu, ruoan valmistus
 18. Päiväkoti
 19. Vanhainkoti
 20. Sairaala / Terveyskeskus
 21. Palloiluhalli
 22. Julkinen kulutus yleensä

Kuvio 11. Teollisten-, palvelujen- ja julkisten rakennustyyppien valinta

Teollisuus-, palvelu- ja julkisrakennuksille huipputehon mitoittaminen tapahtuu aina tapauskohtaisesti empiirisen tiedon tai laiteluettelon mukaan. Tällä periaatteella tein projektin esisuunnittelun myöhäisempiä vaiheita varten taulukon (liite 9), johon voidaan syöttää yleisimpien laiteryhmien tarkkoja tehoja. Solukenttiin syöttämäni kaavat päivittävät taulukkoa automaattisesti esimerkiksi silloin kun nimellistä tehoa laiteryhmässä muutetaan.

5.3.2 Jännitteenalenemien ja oikosulkuvirtojen laskentaraippitpohja

Oikosulkuvirrat, jännitteenalenemat ja suojauksen toimivuustarkastelut suunnittelin yhteen taulukkoon. Taulukossa on pienempiä taulukkokokonaisuuksia, jotka ovat rakennuksen sähkökeskuksia ja niiden syöttökaapeleita sekä kulutuspisteitä. Laskentakokonaisuuden suunnittelin samannäköiseksi, kuin kaupalliset verkostolaskentaohjelmat, esimerkiksi Neplan ja Ecodial. Kuviossa 12 on Neplanilla muodostettu malli rakennuksen keskuksista, kulutuspisteistä ja liittymästä. Kuvaa voidaan lukea alhaalta ylös tai ylhäältä alas.



Kuvio 12. Neplan-ohjelmalla muodostettu rakennuksen sisäinen ja ulkoinen sähköverkko

Liitteessä 10 on Microsoft Excel -ohjelmalla suunnittelemani rakennuksen sähköverkon topologia. Kuvaa voidaan lukea ylhäältä alas, jolloin pääkeskukselta siirrytään alemmille ryhmäkeskuksille. Ryhmäkeskuksien alapuolella voi olla tarpeen vaatiessa alakeskuksia, mutta monesti ryhmäkeskuksien perässä on jo erilaisia laiteryhmiä (kulutus pisteitä). Alhaalta ylöspäin luettaessa järjesty on vain päinvastainen.

Laskenta kuitenkin muodostuu siten, että pääkeskukselle (tässä tapauksessa myös liittymispiste) jakelunverkonhaltija ilmoittaa prospektiivisen- ja minimoikosulkuvirran, joiden avulla taulukko laskee keskuksella olevan vikapaikan impedanssin. Impedanssi kasvaa ryhmäkeskuksien ja niiden alakeskuksien lisääntyessä, mikä taas pienentää minimoikosulkuvirtaa. Jos suojalaitteen pienintä toimintarajavirtaa ei ylitetä, niin keskuksen ”suojausten toimivuus” -soluun ilmestyy ”VALITSE TOINEN” -teksti punaisella pohjavärillä. Kun oikosulkua suojaava laite toimii sille vaaditussa ajassa, niin soluun ilmestyy ”TOIMII” -teksti vihreällä pohjavärillä.

Keskuksien ja kulutuspisteiden syöttökaapelit valitaan alavetovalikosta, mitkä vaikuttavat suojausien toimivuuteen ja jännitteenalenukseen. Kulutuspisteiden suojausien toimivuus ilmoitetaan solun ”Suurimmat sallitut johdinpituudet” vieressä. Negatiiviset arvot punaisella pohjavärillä tarkoittavat, että suojalaitetta pitää vaihtaa tai kaapelin poikkipintaa pitää suurentaa. Laskentaporttipohjassa jännitteenalenuksen laskentakaavaan laitoin tehokertoimen arvoksi 0.8, niin kuin SFS 6000-5-52 liitteessä 52G on määrätty. Arvoa voidaan kuitenkin muuttaa lisäämällä soluun ”Tehokerroin $\cos \varphi$ ” haluttu tehokerroin.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoite oli saada Rejlers Oy:n talotekniikkaosastolle toimiva laskentaporttipohja, jonka avulla voitaisiin laskea pääasiassa teollisuuden, julkisten ja palvelurakennuskohteiden pienjänniteverkon oikosulkuvirtoja, jännitteenalenukseen ja huipputehoja. Vaihtoehtoina olivat kaupalliset laskentaohjelmat vastaan itse rakennettu laskentaporttipohja Microsoft Excel -ohjelmistolla. Kaupallisten laskentaohjelmien ongelmana oli hinta ja koulutussidonnaisuus ohjelmiston oikeaoppisen käytön varmistamiseksi. Sovittiin, että rakennan laskentaporttipohjan Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmistolla, koska se on esiasennettuna jokaisen työntekijän koneeseen ja suurin osa työntekijöistä osaa ohjelmaa käyttää. Toiseksi hyväksi puoleksi osoittautui laskentaporttipohjan päivitettävyyden tarpeiden muuttuessa on kaikki arvot Excel-muotoisessa laskentaportissa muutettavissa ja tästä syystä se tekee siitä joustavan työkalun. Laskennan tukena voitaisiin hyödyntää muita sähkösuunnittelijan työkaluja kuten CADS Planner Electric-, Ecodial- ja ABBDocwin-ohjelmia. Tulevaisuudessa laskentaporttipohjan toimivuutta tarkastellaan, verrataan aikaisempien laskentamallien tuloksiin ja katsotaan kuinka laskennan arvot toteutuvat projektin edetessä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kolmiosainen laskentaporttipohja. Ensimmäisessä osassa laskenta keskittyi asuinrakennuksien huippu- ja keskiarvohuipputehoon, kun toisessa osassa käsiteltiin julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennuksien huippu- ja keskiarvohuipputehoja. Kolmannessa laskentaporttipohjan osassa ohjelman käyttäjä voi mallintaa rakennuksen sähkökeskustopologian ja saada sitä kautta keskuksien

väliset jännitteenalenemat, tarkastella vikasuojauksen toimivuuden oikosulkutilanteissa ja selvittää sähköryhmien suurimmat sallitut johdinpituudet. Jokaisen laskentatapa- ja ohjelmistopohjan osan tietoa, arvoja ja ulkoasua voidaan muokata projekti- tai tapauskohtaisesti.

Vaikka sain laadittua laskentatapa- ja ohjelmistopohjan toimeksiantajan käyttöön, jäi varsinaisen käytännön testaaminen opinnäytetyön arviointipäivämäärään mennessä suorittamatta. Alkuperäisenä tarkoituksena oli, että laskentatapa- ja ohjelmistopohjan valmistuttua toimeksiantaja testaisi taulukon toimivuuden vertaamalla laskentatapa- ja ohjelmistopohjasta saatuja arvoja aikaisempiin laskentatapa- ja ohjelmistopohjoihin ja käyttämiinsä ohjelmiin, ja arvioisin tuloksia opinnäytetyössäni. Kiireiden takia tarkastamista jouduttiin siirtämään myöhempään ajankohtaan. Kaupallisten ohjelmistojen vertailuun olisi voinut mielestäni käyttää hiukan enemmän opinnäytetyön ja toimeksiantajan resursseja. Esimerkiksi jonkin sähkösuunnittelijan perustyökalun tietokanta- tai tehokäyttökurssi voisi helpottaa laskentaa tulevaisuudessa huomattavasti.

Opinnäytetyössäni opin erityisesti, että kaikki tieto ei välttämättä löydy heti internetistä, vaan tarvittaessa pitää olla yhteydessä eri organisaatioihin ja yleisesti eri alan ammattilaisiin oikean lähteen löytämiseksi. Tuolloin tieto tarvittavasta aiheesta on niin sanottua sisäistä tietoa, eikä sitä ole julkistettu vapaaseen jakeluun. Hyvänä esimerkkinä sisäisestä tiedosta omassa opinnäytetyössäni olisi huipputehon mitoittaminen. Pitkän etsimisen jälkeen toimeksiantajalta löytyi vanha luentomateriaali, joka käsittelee huipputehojen mitoittamista. Lähteenä oli varsin luotettava lähde, koska kyseessä oli Suomen Sähkölaitosyhdistys Ry. En kuitenkaan löytänyt tätä materiaalia Internetistä tai koulun kirjaston hakukoneesta. Opinnäytetyön aikana opin tarkastelemaan lähteitäni myös kriittisestä näkökulmasta, ja tästä syystä en hyväksynyt lähteekseni tietoa ennen kuin tiesin sen perimmäisen alkuperän.

Lähteet

ABB Pienjännitekojeet esite OF1FI 11-09: Kahvasulakkeet, 2...1600 A gG ja aM – tyytit. 2011. Viitattu 11.04.2014

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/\\$file/1SCC317002C1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/$file/1SCC317002C1801.pdf)

Aho, I. 2013. Sähköverkon laskennan ja mitoituksen raportoinnin kehitystyö. Opin- näytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Tekniikka ja liikenne, Automaatiotekniikan koulutusohjelma.

Broman, M. 2013. Julkisen rakennuksen sähköverkon suunnittelu ja oikosulku tarkas- telu. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka, Sähkövoima- tekniikka. Viitattu 13.2.2014.

[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58010/Broman_Mikko.pdf?sequenc e=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58010/Broman_Mikko.pdf?sequence=1)

D1-2012. 2013. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 20. uud. p. Espoo: Sähköin- fo.

Huotari, K & Partanen, J. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan laitos, Säh- kötekniikan osasto. Viitattu 20.3.2014.

https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/teollisuusverkkojen_oiko sulkuvirrat.pdf.

IEC 60909-0. 2001. Short-circuit current in tree-phase a.c. systems - Part 0: Calcula- tion of currents. Switzerland: International Electrotechnical Commission IEC.

Jännitteenalenema ja häviöt. n.d. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. BL20A0700 Sähköverkkotekniikan peruskurssin luentomateriaali. Viitattu 13.2.2014.

https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0700/luennot/jannitteenalenema_ja_h aviot.pdf

Kymppitalojen talopaketti esittely ja energiatodistus. n.d. Talopaketti. Viitattu 19.4.2014. <http://kymppitalit.fi/talopaketti>

Köykkä, S. 2008. Sähkökeskusten standardin mukainen valmistus. Opinnäytetyö. Sa- takunnan ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka, Automaatio ja kunnossapidon koulu- tusohjelma. Viitattu 27.2.2014. <http://www.theseus.fi/handle/10024/1303>

Nyysönen, E. 2008. Sähkösuunnittelun projektityön hallinta ja kehittäminen. Opin- näytetyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan osasto, Teollisuus- elektroniikan koulutusohjelma.

Pienjänniteverkon mitoitusaste ja energiat. 1978. Suomen sähkölaitosyhdistys Ry. Viitattu 17.4.2014

Puikkonen, V. 2013. Toimistojen henkilöstörakenne. PowerPoint-esitys Rejlers Oy:n intranetissä. Viitattu 3.2.2014

Puttonen, P. & Hukari, S. 2014. Opinnäytetyön ohjauspalaveri 24.3.2014 Jyväskylän ammattikorkeakoululla.

Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen. 2001. Sähkötieto ry. ST - kortisto. ST 13.31. Viitattu 17.4.2014. Rejlers Oy:n lisenssillä

Rytkönen, A. 2014. Oikosulkukestävyyden suositellut vähimmäisarvot 400 V jännitteellä. Sähköpostiviesti 02.05.2014. Vastaanottaja T. Hölttä. Ohjeistus keskuksen oikosulkukestoisuuden määrittämiseksi tapauksissa joissa oikosulkuvirtaa keskuksen olinpaikassa ei ole ilmoitettu. Taulukko on esitetty myös SFS-käsikirjassa 154.

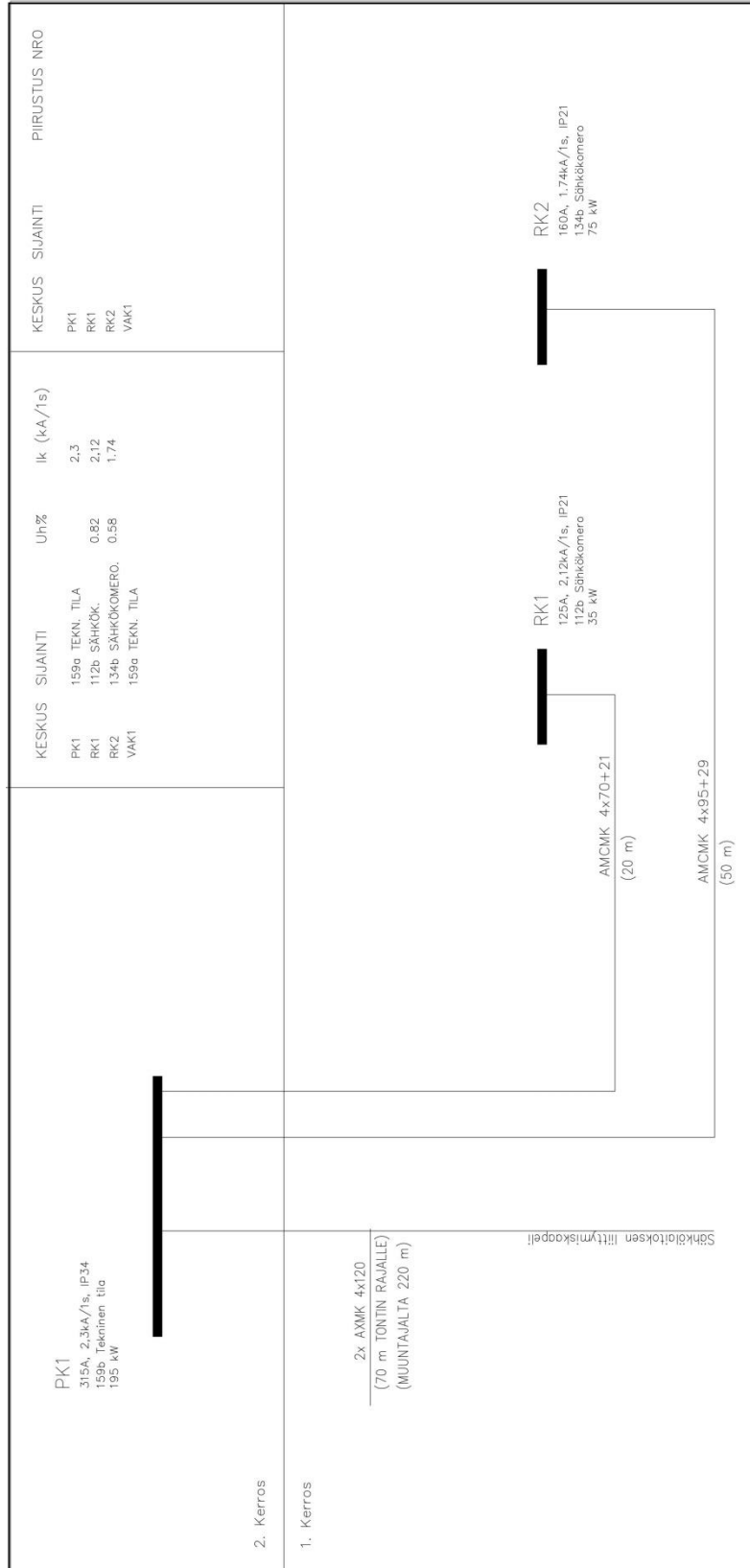
SFS 6000. 2012. Pienjännitesähköasennukset. 3. painos. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 60439-1 + A1. 2005. Jakokeskukset. Osa 1: Tyyppitestattujen ja osittain testattujen keskusten vaatimukset. 3. painos. Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 2.4.2014. <http://jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali. SFS Online.

Yrityksen esittely. n.d. Rejlers Oy. Viitattu 3.2.2014. <http://www.rejlers.fi/Yritys/>

Liitteet

Liite 1. Esimerkki rakennuksen nousujohtokaaviosta



Liite 2. Ryhmäjohtojen suurimmat sallitut poiskytkentäajat

(SFS 6000, 2012, Luku 4-41, Taulukko 41.1.)

411.3.2.2 Korkeintaan 32 A suojalaitteella suojatuille ryhmäjohtoille suurimmat sallitut poiskytkentäajat on esitetty taulukossa 41.1.

Taulukko 41.1 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat

Järjestelmä	$50 \text{ V} < U_0 \leq 120 \text{ V}$ s		$120 \text{ V} < U_0 \leq 230 \text{ V}$ s		$230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V}$ s		$U_0 > 400 \text{ V}$ s	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Huom. 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Huom. 1	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- tai vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

HUOM. 1 Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.

HUOM. 2 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.

Liite 3. Pienimmät toimintarajavirrat johdonsuojakatkaisijoilla

(D1-2012, 2013, taulukko 41.4a ja 41.4b.)

TAULUKKO 41.4a. Automaattisen poiskytkennän takia vaadittavat oikosulkuvirrat eri suojalaitteilla.

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
13	65	81,3	130	162,5
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1 000
125	625	781,3	1 250	1 562,5

TAULUKKO 41.4b.

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	K-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	120	150	72	90
10	200	250	120	150
13	260	325	156	195
16	320	400	192	240
20	400	500	240	300
25	500	625	300	375
32	640	800	384	480
50	1 000	1 250	600	750
63	1 260	1 575	756	945
80	1 600	2 000	960	1 200
125	2 500	3 125	1 500	1 875

Liite 4. Pienimmät toimintarajavirrat gG-sulakkeilla

(D1-2012, 2013, taulukko 41.5.)

TAULUKKO 41.5. gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat.

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40			190	237,5
50			250	312,5
63			320	400
80			425	531,3
100			580	725
125			715	893,8
160			950	1187,5
200			1250	1562,5
250			1650	2062,5
315			2200	2750
400			2840	3550
500			3800	4750
630			5100	6375

Liite 5. Asuinrakennusten tehonmitoitus

HUIPPU- JA KESKIARVOHUIPPUTEHOJEN LASKENTAMALLIT			
Asuinrakennukset		Huomautuksia	
Kerros ja rivitalot: > 15 huoneistoa	Teho (kW)	A_{krs} = kerrosala (m ²) P_{ke} = keskiarvohuipputeho (kW) P_{max} = huipputeho (kW)	
	1. Ilman kiukaita	$P_{ke} = 15 + 17 * A_{krs}$ $P_{max} = 65 + 17 * A_{krs}$	Laskut noudattavat lineaarista yhtälöä $k_1 + k_2 * A_{krs}$ Soveltuu jos A_{krs} P_{ke} mitoituksessa suurempi kuin 1200 m ² ja P_{max} mitoituksessa suurempi kuin 2500 m ² .
	2. Huoneistokohtaiset kiukaat	$P_{ke} = 30 + 24 * A_{krs}$ $P_{max} = 90 + 24 * A_{krs}$	Pienemmissä kohteissa: $P_{ke} = A_{krs} / 1200 \text{ m}^2 * k_1$
	3. Sähkölämmitetty	Voidaan soveltaa pientalojen laskentamallia	
Pientalo ja ok-talot: > 4 huoneistoa	Teho (kW)		
	1. Ei sähkölämmitetty, sähkökiuas	$P_{ke} = 10 + 26 * A_{krs}$ $P_{max} = 30 + 26 * A_{krs}$	
	2. Suorasähkölämmitys, sähkökiuas	$P_{ke} = 10 + 64 * A_{krs}$ $P_{max} = 30 + 64 * A_{krs}$	Käyttöveden lämmitys jatkuvaa tai käyttöveden lämmitys yöllä
	3. Suorasähkölämmitys, ei sähkökiuasta tai vuorottelu	$P_{ke} = 10 + 49 * A_{krs}$ $P_{max} = 30 + 49 * A_{krs}$	Käyttöveden lämmitys yöllä
	4. Varaava sähkölämmitys	Tulevat varaustehot tiedossa: $P_{ke} = 10 + 0,9 * \sum_{i=1}^N P_{vti}$ Varaustehoja ei tiedetä: $P_{ke} = 10 + 220 * A_{krs}$ $P_{max} = 60 + 220 * A_{krs}$	N = Asuntojen lukumäärä P_{vt} = Asuntojen varausteho
Pysäköintialueet	$P_{palue} = 10 + 0,5 * N_{auto}$	P_{palue} = Erillisen paikoitusalueen keskiarvohuipputeho N_{auto} = Lämmitettyjen	

Liite 6. Keskiarvohuipputehon laskentamallin tehokertoimet teollisissa ja julkisissa rakennuksissa

(Pienjänniteverkon mitoitus-teho ja energiat. 1978)

SUOMEN SÄHKÖLÄITÖSYHDISTYS ry

125

verkostosuositus

SA 1:87

TAULUKKO 1. Kertoimet teollisuuden, palvelun ja julkisen kulutuksen
mitoitustehomalliin

	a/kW	b/kW/1000m ²	selitys- aste %	käyttö- aika/h	pienin kohde 1000m ²	otos kpl
TEOLLISUUS						
1 Huonekalu-, puutyö- tehdas	33	43	99,8	1900	0,2	11
2 Konepaja	53	59	95	1900	1,0	38
3 Pienteollisuustalo, teollisuushalli	91	29	62	2200	2,0	17
4 Autokorjaamo	53	29	80	2100	0,5	15
5 Leipomo, sähkö- uunit	0	95	96	2900	0,5	12
6 Pakastamo, pakaste- varasto	78	76	81	2900	0,5	7
7 Vaatetehdas, ompe- limo	43	30	86	2100	1,0	14
8 Kirjapaino	24	61	82	2600	1,0	18
9 Betoni- ja ele- menttitehdas	92	4 ¹⁾	85		10 ²⁾	6
Teollisuus yleensä	36	49	89	2200		132
PALVELU						
10 Tavaratalo, auto- market	72	42	92	4100	3,0	22
11 Sekatavaramyymälä, kylmätiski	23	54	70	3500	0,2	26

Huom. 1) kW/m³/h

2) m³/h

SUOMEN SÄHKÖLAITOSYHDISTYS r.y.

126

verkkostosuositus

SA 1:87

	a/kW	b/kW/1000m ²	selitys- aste %	käyttö- aika/h	pienin kohde ₂ 1000m ²	otos kpl
12 Automyymälä, huo- nekaluhalli	19	35	55	2100	1,5	15
13 Pesula	13	71	98	2100	0,5	8
14 Hotelli, motelli	10	44	93	3400	0,5	19
15 Toimistotalo, vi- rastotalo, pankki, kirjasto	0	61	66	3700	4,0	25
Palvelu yleensä	22	47	89	3500		122
JULKINEN KULUTUS						
16 Koulu, ruoan valmistus	0	30	79	1800	2,5	14
17 Lasten päiväkot	11	26	50	2800	0,3	5
18 Vanhainkoti	41	23	90	2500	1,5	9
19 Sairaala, terveys- keskus, hoitokoti	10	31	96	3100	1,0	19
20 Virastotalo, esim. kunnantalo (ks. kohta Palvelu)						
21 Vesilaitos	19	0,65 ³⁾	95		100 ⁴⁾	8
22 Palloiluhalli	0	43	94	2700		6
Julkinen kulutus yhteensä	3,8	31	96	2600		53


Huom. 3) kW/m³/h4) m³/h

verkkostosuositus

SA 1:87

	keskiarvo kW/kpl	max kW/kpl	min kW/kpl	käyttö- aika/h	otos kpl
KOhteet, joihin em. malli ei soveltunut					
23 Huoltoasema	26	140	9	3000	18
24 Uimahalli, 25 m allas	209	318	54	3200	9
25 Keinojäärata, jäähiekko	253	282	232	4500	3
26 Viestintäase- mat PLH.					
- päätekeskus	3-8 kW	7-18 MWh/a			
- solmukeskus	10-50 kW	24-120 MWh/a			

Liite 7. Asuinrakennusten keskiarvohuippu- ja huipputehon laskentaraporttipohja

HUIPPU- JA KESKIARVOHUIPPUKESKUS PIENJÄNNITEVERKOSSA		SÄH XXXXX	
		Laadittu:	28.4.2014
XXXXX kaupunki			
Päiväkoti	Rejlers Oy	Työnumero:	xxxxxxx
Uudiskohde	Talotekniikka	Suunnittelija:	Taavi Hölttä
	Ylistönmäentie 26	Tarkastaja:	xxxxxxx
	40500 Jyväskylä		
Hankenumero ja nimi:	Hall. Kiinteistön nro ja nimi:		
Kiinteistön nro:	Rakennuksen nro ja nimi:		
<p>Mitoitukset perustuvat Suomen Sähkölaitosyhdistys Ry:n julkaisemaan raporttiin SA 1:87. Mitoituksessa on huomioitu tulevaisuuden laitelisäykset 1,3-kertoimella Tuloksissa on esitetty asuinrakennukselle keskiarvohuipputeho ja huipputeho mitkä tarkoittavat seuraavaa:</p> <p>A_{krs} tarkoittaa rakennusten ulkoseinien ulkopintojen mukaan laskettua kerrosten yhteistä lattiapinta-alaa</p> <p>P_{ke} tarkoittaa keskiarvohuipputehoa. Todennäköisyys, että mitoitettu arvo ylitetään on 50 % .</p> <p>P_{max} tarkoittaa huipputehoa. Todennäköisyys, että mitoitettu arvo ylitetään on 1 % .</p>			
Rakennuksen kerrosala, A_{krs} :		3000	m ²
Pysäköintialueen lämmitettyjen autopaikkojen lukumäärä, N_{auto} :			lkm
Rakennukset huipputehot	P_{ke} :	670	kW
	P_{max} :	720	kW
Pysäköintialue	P_{ke} :	10	kW
Yhteensä	P_{ke} :	680	kW
	P_{max} :	730	kW
Lisätietoja:			
.....			
.....			
.....			
.....			
Rev.	pvm.	Tekijä	Tarkastaja
			Selitys

Valitse seuraavista projektiasi parhaiten kuvaava asuinrakennusmuoto:

Kerros ja rivitalot: > 15 huoneistoa

- 1. Ilman kiukaita
- 2. Huoneistokohtaiset kiukaat
- 3. Sähkölämmitetyt

(Mitoitetaan pientalomallin mukaisesti)

Pientalo ja ok-talot: > 4 huoneistoa

- 4. Ei sähkölämmitetyt, sähkökiuas
- 5. Suorasähkölämmitys, sähkökiuas
- 6. Suorasähkölämmitys, ei sähkökiuasta
- 7. Varaava sähkölämmitys


(Käyttöveden lämmitys jatkuvaa tai käyttöveden lämmitys yöllä)

(Käyttöveden lämmitys yöllä)

HUOM!

On hyvä huomata, että yhteenlaskettu Pmax sisältää Pysäköintialueen keskiarvohuipputehon. Eli rakennuksen huipputeho ylitetään 1 % todennäköisyydellä, mutta pysäköintialueen teho ylitetään 50 % todennäköisyydellä.

Liite 8. Julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennusten keskiarvo- huipputehon laskentaratorttipohja

HUIPPU- JA KESKIARVOHUIPPU-TEHOT PIENJÄNNITEVERKOSSA		SÄH XXXXX	
		Laadittu:	28.4.2014
xxxxxxx kaupunki	 Rejlers Oy Työnumero: xxxxxxxx Talotekniikka Suunnittelija: Taavi Hölttä Ylistönmäentie 26 Tarkastaja: xxxxxxxx 40500 Jyväskylä		
Päiväkoti			
Uudiskohde			
Hankenumero ja nimi:	Hall. Kiinteistön nro ja nimi:		
Kiinteistön nro:	Rakennuksen nro ja nimi:		
<p>Mitoitukset perustuvat Suomen Sähkölaitosyhdistys Ry:n julkaisemaan raporttiin SA 1:87. Tuloksissa on esitetty Teollisuuteen, palveluihin ja julkiseen kulutukseen tarkoitettujen rakennuksien keskiarvohuipputeho. Mitoituksessa on huomioitu tulevaisuuden laite lisäykset 1,3-kertoimella. A_{krs} tarkoittaa rakennuksen ulkoseinien ulkopintojen mukaan laskettua kerrosten yhteistä lattiapinta-alaa P_{ke} tarkoittaa keskiarvohuipputehoa. Todennäköisyys, että mitoitettu arvo ylitetään on 50 %.</p>			
Rakennuksen yht.kerrospinta-ala, A_{krs} :	1000		m ²
Pysäköintialueen lämmitettyjen autopakkojen lukumäärä, N_{auto} :	20		lkm
Rakennuksen käyttötapa:	18. Päiväkoti		
Rakennuksen keskiarvohuipputeho, P_{ke}	48,1		kW
Pysäköintialue, P_{ke}	20		kW
Yhteensä, P_{ke}	68,1		kW
Lisätietoja:			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
Rev.	pvm.	Tekijä	Tarkastaja Selitys

HUOM!

Vesilaitoksen b-kerroin on annettu yksikössä "kW/m³/h" ja pienin kohde on yksikössä "m³/h". Laskettava **vesilaitos** seuraavin ehdoin:


Vesilaitoksen teho lasketaan $a + b \cdot A_{krs}$ missä,


$$a = 19$$

$$b = 0,65 \text{ kW/m}^3/\text{h}$$


A_{krs} = Rakennuksen kerrospinta-ala

Liite 9. Julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennusten huipputehon laskentaraippohja

HUIPPUTEHOT PIENJÄNNITEVERKOSSA							SÄH XXXXX	Laadittu: XX.XX.XXXX				
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Hankenumbero ja nimi:		Kiinteistön nro:				Rejlers Oy	Työnumero:	xxxx			
XXXXXXXXXXXXXXXXXX							Talotekniikka	Suunnitelija:	xxxx			
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Hall. Kiinteistön nro ja nimi:		Rakennuksen nro ja nimi:				Ylistönmäentie 26	Tarkastaja:	xxxx			
XXXXXXXXXXXXXXXXXX							40500 Jyväskylä					
Huomioitavaa:												
Alla oleva taulukko pohjautuu ST-kortistossa 13.31 sivulla 15 esiteltyyn laskentamalliin 8. Taulukolla lasketaan yleisesti ottaen teollisuus-, palvelun tai julkisen rakennuksen huipputehoa, kun tiedetään ennalta laiteryhmäkohtaisia tehontarpeita. Taulukkoa voidaan myös hyödyntää myös huipputehon arvioimiseen projektin alussa, jos empiirisen tiedon pohjalta voidaan arvioida mitä laiteryhmiä rakennus												
Laiteryhmä	Kellari kW	1. krs kW	2. krs kW	3. krs kW	4. krs kW	5. krs kW	Teho yhteensä kW	Tasauskerroin k1	Laiteryhmän teho kW	Samanaikaisuus kerroin k2	Mitoitettava teho kW	Huomio
Pinta-ala	550	1500	1500									3550 m ²
Valaistus	6	24	24				54	0,9	48,6	0,95	46,2	Valaistus laskettu 16 W/m ²
Ilmanvaihtopuhaltimet							42	0,95	39,9	1,95	77,8	SFP = 3 kW/(m ³ /s) ilmamäärä 14 m ³ /s
Koneellinen jäähdytys							0	0	0	0	0	
Muut LVI-laitteet							8,5	1	8,5	1	8,5	
ATK-pistorasia kuormat							14	0,5	7	0,8	5,6	
Muut pistorasiakuormat							20	0,2	4	0	0	

HUIPPUKATUHOT PIENJÄNNITEVERKOSSA							SÄH XXXXX	Laadittu: xx.xx.xxxx				
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Hankenumero ja nimi:		Kiinteistön nro:				Rejlers Oy	Työnumero:	xxxx			
XXXXXXXXXXXXXXXXXX							Talotekniikka	Suunnittelija:	xxxx			
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Hall. Kiinteistön nro ja nimi:		Rakennuksen nro ja nimi:				Ylistönmäentie 26	Tarkastaja:	xxxx			
XXXXXXXXXXXXXXXXXX							40500 Jyväskylä					
Huomioitavaa:												
Alla oleva taulukko pohjautuu ST-kortistossa 13.31 sivulla 15 esiteltyyn laskentamalliin 8. Taulukolla lasketaan yleisesti ottaen teollisuus-, palvelun tai julkisen rakennuksen huipputehoa, kun tiedetään ennalta laiteryhmäkohtaisia tehontarpeita. Taulukkoa voidaan myös hyödyntää myös huipputehon arvioimiseen projektin alussa, jos empiirisen tiedon pohjalta voidaan arvioida mitä laiteryhmiä rakennus												
ATK-pistorasia kuormat					14	0,5	7	0,8	5,6			
Muut pistorasiakuormat					20	0,2	4	0	0			
Keittiölaitteet					90	0,35	31,5	0,5	15,8			
Teknisen työn laitteet					40	0,35	14	0,5	7			
Sähkölämmitykset					15	1	15	0,9	13,5			
Aluesähköityksen kuormat					20	0,2	4	1	4			
Muut sähkökuormat					3,5	1	3,5	1	3,5			
xxx							0		0			
xxx									0			
Yhteensä					307		176		181,8			
Varaus tehollisäyksille									1,3			
MITOITUSTEHO									236,4			
P_{max}										66,6	W/m2	

Liite 10. Julkis-, palvelu- ja teollisuusrakennusten oikosulkuvirrat, jännitteenalenemat ja vikasuojauksen toteutuminen

HUIPPUKOHTEHOT PIENJÄNNITEVERKOSSA		SÄH XXXXX	Laadittu: xx.xx.xxxx		
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Hankenumber ja nimi:	Kiinteistön nro:	Rejlers Oy	Työnumero:	xxxx
XXXXXXXXXXXXXXXXXX			Talotekniikka	Suunnittelija:	xxxx
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Hall. Kiinteistön nro ja nimi:	Rakennuksen nro ja nimi:	Ylistönmäentie 26	Tarkastaja:	xxxx
XXXXXXXXXXXXXXXXXX			40500 Jyväskylä		

HUOMIOITAVAA

PK1	Harmaat kohdat täytetään	PK1 Kulutuspiisteet
Nimellisjännite (U_n): 400 V	Vihreissä kohdissa laskentatulokset	Suurimmat sallitut johdin etäisyydet, että oikosulkusuojaus toimii vaaditussa ajassa
Nimellisvirta (I_n): 125 A	Arvo ei kelpaa	Suojalaitteen tyyppi:
Terminen kestovirta (I_{term}): 2000 A		Sulake gG20 (5s)
Dynaaminen kestovirta (I_{dyn}): 3000 A	Siinä tapauksessa jos jakeluverkonhaltija ilmoittaa liittymispisteen oikosulkuimpedanssin:	Kaapelinvalinta (m):
Impedanssi (Z_v): 0,27 Ω	Impedanssi (Z): 0,27 Ω	MCMK 4x70 MCMK 4x70
Prospektiivinen oikosulkuvirta (I_k''): 2000 A	Minimi oikosulkuvirta (I_k): 812,567 A	Suurimmat sallitut johdinpituudet:
Minimi oikosulkuvirta (I_k): 800 A		3,462 km 3,462 km
Keskusta suojaava sulake: Sulake gG125 (5s)		Suojalaitteen tyyppi:
Suojauksen toimivuus: TOTEUTUU		Sulake gG80 (5s)
Tehokerroin cos ϕ :		Kaapelinvalinta (m):
		MCMK 4x70 MCMK 4x70
		Suurimmat sallitut johdinpituudet:
		0,363 km 0,363 km

RK1.1	
Tehokerroin $\cos \varphi$:	
Syöttökaapeli:	MCMK 4x16
Syöttökaapelin pituus (km):	0,03 km
Impedanssi (Z_{v1}):	0,44 Ω
Minimi oikosulkuvirta (I_{k1}):	501,15 A
Nimellisjännite (U_n):	400 V
Nimellisvirta (I_n):	50 A
Absoluuttinen jännitteenalenema (U_h (V)):	2,97 V
Suhteellinen jännitteenalenema (U_h (%)):	0,74 %
Keskusta suojaava sulake:	Sulake gG80 (5s)
Suojauksen toimivuus:	TOTEUTUU

RK1.2	
Tehokerroin $\cos \varphi$:	
Syöttökaapeli:	MCMK 4x16
Syöttökaapelin pituus (km):	0,5 km
Impedanssi (Z_{v1}):	1,80 Ω
Minimi oikosulkuvirta (I_{k1}):	121,85 A
Nimellisjännite (U_n):	400 V
Nimellisvirta (I_n):	50 A
Absoluuttinen jännitteenalenema (U_h (V)):	49,44 V
Suhteellinen jännitteenalenema (U_h (%)):	12,36 %
Keskusta suojaava sulake:	Sulake gG25 (5s)
Suojauksen toimivuus:	TOTEUTUU

RK2.1	
Tehokerroin $\cos \varphi$:	
Syöttökaapeli:	MCMK 4x70
Syöttökaapelin pituus (km):	0,03 km
Impedanssi (Z_{v1}):	##### Ω
Minimi oikosulkuvirta (I_{k1}):	##### A
Nimellisjännite (U_n):	400 V
Nimellisvirta (I_n):	50 A
Absoluuttinen jännitteenalenema (U_h (V)):	0,80 V
Suhteellinen jännitteenalenema (U_h (%)):	0,20 %
Keskusta suojaava sulake:	
Suojauksen toimivuus:	#VIIITTAUS!

Kulutuspiisteet	
Suurimmat sallitut johdin etäisyydet, että oikosulkusuojaus toimii vaaditussa ajassa	
Suojalaitteen tyyppi:	
Kaapelinvalinta (m):	
MCMK 4x70	MCMK 4x70
Suurimmat sallitut johdinpituudet:	
##### km	##### km
Suojalaitteen tyyppi:	
Kaapelinvalinta (m):	
MCMK 4x70	MCMK 4x70
Suurimmat sallitut johdinpituudet:	
##### km	##### km

Kulutuspiisteet	
Suurimmat sallitut johdin etäisyydet, että oikosulkusuojaus toimii vaaditussa ajassa	
Suojalaitteen tyyppi:	
Kaapelinvalinta (m):	
MCMK 4x70	MCMK 4x70
Suurimmat sallitut johdinpituudet:	
##### km	##### km
Suojalaitteen tyyppi:	
Kaapelinvalinta (m):	
MCMK 4x70	MCMK 4x70
Suurimmat sallitut johdinpituudet:	
##### km	##### km

Kulutuspiisteet	
Suurimmat sallitut johdin etäisyydet, että oikosulkusuojaus toimii vaaditussa ajassa	
Suojalaitteen tyyppi:	
Johdonsuoja C10	
Kaapelinvalinta (m):	
MCMK 4x1,5	MCMK 4x2,5
Suurimmat sallitut johdinpituudet:	
0,014 km	0,023 km
Suojalaitteen tyyppi:	
Johdonsuoja C16	
Kaapelinvalinta (m):	
MCMK 4x185	MCMK 4x1,5
Suurimmat sallitut johdinpituudet:	
-1,487 km	-0,015 km