

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Tutkintotyö

Ville Aalto

TAMPEREEN VALOVIKKOJEN SÄHKÖVERKON KUNTOARVIO

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2007

Lehtori Eerik Mäkinen
Tampereen Vera Oy, valvojana insinööri Juha-Pekka Kaunisto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

Aalto, Ville

Tampereen Valoviikkojen sähköverkon kuntoarvio

Tutkintotyö

38 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Eerik Mäkinen

Työn teettäjä

Tampereen Vera Oy, valvojana insinööri Juha Kaunisto

Toukokuu 2006

Hakusanat

pienjänniteverkko, mitoitus

TIIVISTELMÄ

Tampereen Valoviikkojen käytössä oleva pienjännitesähköverkko rakennettiin v. 1966. Myöhemmin verkkoa on uudistettu ja laajennettu, eikä sen nykyisestä rakenteesta ei ole olemassa kovinkaan tarkkoja dokumentteja.

Valoviikkojen sähköverkon omistussuhdetta ollaan vaihtamassa. Sitä ennen verkon nykytila on kuitenkin tutkittava ja mahdolliset puutteet ja epäkohdat korjattava.

Työn tarkoituksena on ollut pienjänniteverkon kuntoarvion ja sähköisen mitoituksen tekeminen. Näiden perusteella verkon kunnostamisesta on laadittu muutosehdotus. Työhön on lisäksi kuulunut verkon digitoiminen Tampereen kaupungin energialiiketoimintojen yhteiseen verkkotietojärjestelmään.

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Electrical Engineering

Power Electrical Engineering

Aalto, Ville

Condition appraisal of the electrical network for Light Weeks of
Tampere

Engineering Thesis

38 pages + 3 appendices

Thesis Supervisor

Eerik Mäkinen

Commissioning Company

Tampereen Vera Oy, Supervisor: engineer Juha Kaunisto

May 2006

Keywords

a low voltage network, dimensioning

ABSTRACT

The low voltage electrical network for Light Weeks of Tampere was built in 1966. Since then the network has been renewed and extended, but these operations are not documented properly, thus the present state of the network is a bit unknown.

Ownership structure of this network is facing a change, but before this can be accomplished the current state of the network must be analyzed and possible faults and defects must be fixed.

The purpose and goal of this thesis is to construct an appraisal for low voltage network and a proposal for the needs that may arise. Thesis also includes digitization of the network into joint data system network of energy businesses of the city of Tampere.

Ville Aalto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tampereen Valoviikot	6
1.2	Tampereen Vera Oy	6
1.3	Työn tavoitteet.....	7
2	STANDARDIEN VAATIMUKSET	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Kosketusjännitesuojaukset.....	9
2.3	Ylivirta- ja oikosulkusuojaus	10
2.4	Tilapäisasennukset.....	12
2.5	AMKA-riippukierrehoidon kiinnitys ja ripustus	13
3	VERKON NYKYTILA	13
3.1	Verkon rakenne	13
3.2	Ryhmäkeskukset.....	16
3.3	Johdot.....	17
3.4	Valokuviot.....	18
3.5	Verkon ohjaus	18
4	VERKON SÄHKÖINEN MITOITUS	19
4.1	Mitoituksen periaatteet	19
4.2	Johtimien kuormitettavuus.....	20
4.2.1	Yleistä.....	20
4.2.2	Mitoitus.....	20
4.3	Ylikuormitussuojat	23
4.3.1	Yleistä.....	23
4.3.2	Mitoitus.....	23
4.4	Oikosulkusuojat.....	25
4.4.1	Yleistä.....	25
4.4.2	Mitoitus.....	25
4.5	Automaattisen poiskytkennän toteutuminen.....	29
4.5.1	Yleistä.....	29
4.5.2	Mitoitus.....	30
4.6	Jännitteenalenema.....	32
4.6.1	Yleistä.....	32
4.6.2	Mitoitus.....	33
5	MUUTOSEHDOTUS.....	34
5.1	Muutokset.....	34
5.1.1	Ryhmäkeskukset	34
5.1.2	Johtimet	35
5.1.3	Valokuviot	35

Ville Aalto

5.2	Muutoksiin tarvittava työmäärä ja kustannukset.....	36
5.2.1	Keskukset.....	36
5.2.2	Johtimet	36
5.2.3	Valokuviot	37
6	VERKON SÄHKÖINEN DOKUMENTOINTI.....	37
	LÄHDELUETTELO.....	38

LIITTEET

1. Valoviikkojen sähköverkon johto-osat
2. REKA kaapeli - Johtimien tasavirtaresistanssit
3. Valoviikkojen sähköverkkokartta

Ville Aalto

1 JOHDANTO

1.1 Tampereen Valoviikot

Tampereen Valoviikot on Tampere Tunnetuksi ry:n vuosittain järjestämä tapahtuma, jonka rakentamisesta ja kunnossapidosta huolehtii Tampereen Vera Oy. Valoviikkojen ajaksi Tampereen keskustan kaduille ripustetaan vuoden pimeimpänä aikana yli 32.000 valopisteen muodostamat lähes 200 koristevalokuviota. Ensimmäistä kertaa vuonna 1966 järjestetyn tapahtuman idea on saatu Tampereen saksalaisesta ystävyyskaupungista Essenistä. /11/



Kuva 1.1 Tampereen Valoviikot /11/

1.2 Tampereen Vera Oy /10/

Tampereen Vera Oy on sähkömarkkinalain uudistamisen ja sähkömarkkinoiden kilpailulle avaamisen myötä Tampereen Sähkölaitoksesta erottunut yhtiö, jonka omistaa Tampereen kaupungin omistama Tammerkosken Energia Oy. Vera Oy:n toiminta on keskittynyt sähköverkonrakennukseen ja -kunnossapitoon sekä katuvalaistukseen. Normaalin 0,4 kV:n pienjänniteverkkojen lisäksi yhtiön toimialaan kuuluvat myös 20 kV:n keskijänniteverkot sekä 110 kV:n suurjänniteverkot. Vera Oy:n merkittävimpiä työkohteita ovat

Ville Aalto

1. Tampereen sähköverkon rakennus ja kunnossapito
 - pien- ja keskijänniteverkko, 20/110 kV:n sähköasemat
2. Tampereen ulkovalaistusverkko
 - rakentaminen, kunnossapito ja huolto
3. Tampereen Valoviikot
 - jokavuotisen tapahtuman rakentaminen, kunnossapito ja huolto
4. Sopimusurakointi
5. Keski- ja suurjännitetyöt teollisuudelle

1.3 Työn tavoitteet

Tampereen Valoviikkojen sähköverkon omistussuhdetta ollaan vaihtamassa Tampereen kaupungin sisällä yksiköltä toiselle. Ennen kuin verkon luovutus voidaan toteuttaa, on sen tämänhetkinen kunto tutkittava ja mahdolliset puutteet korjattava.

Tämän tutkintotyön tavoitteena on Valoviikkojen sähköverkon nykytilan ja kunnon selvittäminen, ja sen dokumentoiminen sähköiseen muotoon. Työssä selvitetään nykyisten sähköalan standardien vaatimusten mukaiset muutostarpeet verkolle, ja niiden vaatima työmäärä sekä kustannukset. Työn tutkimukset rajoittuvat verkon sähkötekniisiin ominaisuuksiin, joihin esimerkiksi valokuvioiden kiinnitykset ja muut vastaavat rakenteelliset seikat eivät kuulu.

2 STANDARDIEN VAATIMUKSET

Sähköturvallisuuden takaamiseksi Valoviikkojen sähköverkon on muiden pienjänniteverkkojen tavoin täytettävä yleisten sähköturvallisuusmääräysten ja alan standardien vaatimukset ja suositukset. Seuraavassa käsitellään Valoviikkojen sähköverkon kaltaiseen verkkoon kohdistuvat vaatimukset.

2.1 Yleistä

Valoviikkojen sähköverkkona toimii tyypillisesti katuvalojenkin yhteydessä käytetty nelijohdinjärjestelmä. Koska valokuviot asennetaan vuosittain muutaman kuukauden väliaikaista käyttöä varten, voidaan Valoviikkojen asennusta pitää tilapäisenä koristevalaistusasennuksena.

Henkilö- ja Yritysarviointi Seti Oy:n julkaisemassa Sähköturvallisuusmääräykset Käytännössä: Artikkelit ja tulkintakokoelma 9 -kirjassa on esitetty tulkintasuositus Valoviikkojen tyypiselle tilapäiselle koristevalaistusasennukselle. Julkaisun mukaan tämänkaltaisen laajamittainen koristevalaistusasennus ei kuulu standardin Pienjännitesähköasennukset SFS 6000-7-714 ”Ulkovalaistusasennukset” soveltamisalaan, mutta se edellyttää tilapäisten koristevalaistusasennusten yhteydessä noudatettavan saman standardin lukua 704 ”Rakennustyömaat”. /1/

Koko asennuksen kosketusjännitesuojauksen edellytetään olevan standardin SFS 6000-4-41 ”Suojaus sähköiskulta” kohdan 413 mukainen. Tämän lisäksi sähköverkon ylivirta- ja oikosulkusuojauksessa on huomioitava standardissa SFS 6000-4-43 ”Ylivirtasuojaus” esitetyt vaatimukset. /1/

Kosketussuojauksia kehoitetaan koko asennuksen osalta rakentamaan riittäväksi, minimissään IP X1 (kun laite on suojattu sateelta) tai IP X3, jos asennukset ovat alttiina sateelle ja on asennettu yli 0,5 m vaakatasoon tai kaltevan pinnan yläpuolelle. Vastaavasti asennuksen etäisyyden ollessa alle 0,5 m vaakatasoon tai

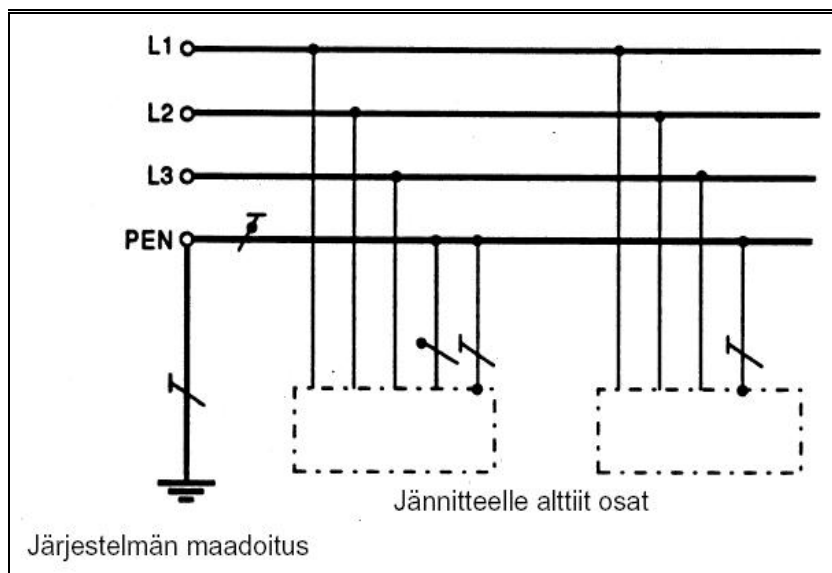
Ville Aalto

kaltevaan pintaan on kotelointiluokan oltava IP X4. Valaistuksen lisäsuojauksena suositellaan käytettäväksi nimellisvirraltaan enintään 30 mA vikavirtasuojakytkimiä. /1/

2.2 Kosketusjännitesuojaus

Kosketusjännitesuojauksella tarkoitetaan ”suojausta sähköiskulta vian aikana eli suojausta epäsuoralta koskettamiselta” /2/.

Suojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla on yleisin käytössä oleva tapa toteuttaa kosketusjännitesuojaus. Automaattisen poiskytkennän käyttämiseen liittyvät määräykset on eritelty käytettävän järjestelmän maadoitustavan mukaan. Valoviikkojen sähköverkko on rakennettu kuvan 2.2 mukaisesti TN-C-järjestelmäksi. Tällöin sama johdin (PEN) toimii sekä nolla- että suojajohtimena koko järjestelmässä.



Kuva 2.2 TN-C-vaihtosähköjärjestelmä /5, s. 34./

Kosketusjännitesuojaukselle asetettujen vaatimusten mukaan on kaikki verkon jännitteelle alttiit osat yhdistettävä jakelujärjestelmän maadoituspisteeseen. Koska verkossa käytetään PEN-johdinta, on sähköliittymässä oltava asianmukainen

Ville Aalto

maadoitus. TN-C-verkon maadoitus on tehtävä myös jokaisen vähintään 200 m pitkän syöttöjohtohaaran lopussa tai enintään 200 m päässä tästä haarasta. /2/ PEN-johtimen poikkipinta-alan tulee olla vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia. Johtimen on oltava eristetty samalla tavalla kuin vaihejohtimet, ellei käytetä muovieristeistä tai -vaippaista kaapelia, jossa PEN-johdin on konsentrinen johdin. /6/

Verkon ryhmäjohtojen suurin sallittu poiskytkentäaika on 5 sekuntia sillä edellytyksellä, että nämä johdot eivät syötä kädessä pidettäviä tai käytön aikana siirrettäviä laitteita. Oikosulkutilanteessa suojalaitteiden ominaisuuksien ja piirin impedanssien on mahdollistettava syötön poiskytkentä edellä mainitussa ajassa. Tällöin on myös seuraavaan ehdon täytyttävä: /2/

$$Z_s \times I_a \leq U_0 \quad (1)$$

missä

- Z_s = vikapiirin impedanssi, joka käsittää jännitelähteen, äärijohtimen vikapaikkaan saakka sekä suojajohtimen vikapaikan ja jännitelähteen välillä
- I_a = virta, jolla suojalaite toimii automaattisesti 5 sekunnissa
- U_0 = nimellisjännite maahan (vaihejännite).

Vikavirtasuojakytkimet eivät sovellu TN-C-järjestelmän suojaukseen yhdistetyn nolla- ja suojajohtimen vuoksi /2/. Vikavirtasuojakytkimien käyttöönotto Valoviikkojen sähköverkossa edellyttäisi nykyisen järjestelmän muuttamista viisijohdinjärjestelmäksi.

2.3 Ylivirta- ja oikosulkusuojaus /3/

Ihmiset ja johtimien ympäristö on suojattava liian korkeiden lämpötilojen ja mekaanisten rasitusten aiheuttamilta vaurioilta sähköverkon ylivirta- ja oikosulkusuojauksella. Johdon ylivirta- ja oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa samalla suojalaiteella, jos se tämän kaltaiseen käyttöön soveltuu.

Ville Aalto

Ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen on täytettävä seuraavat ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (2)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (3)$$

missä

I_B	=	virtapiirin mitoitusvirta
I_z	=	johtimen jatkuva kuormitettavuus
I_n	=	suojalaitteen nimellisvirta
I_2	=	virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran I_2 arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti, on annettu laitestandardissa tai se saadaan valmistajalta.

Oikosulkusuojauksen toimivuus varmistetaan määrittämällä verkon kaukaisimpien pisteiden oikosulkuvirta, joko laskemalla tai mittaamalla. Näissäkin pisteissä oikosulkuvirran on oltava suojauksen toiminnan kannalta riittävän suuri.

Oikosulkusuojalaitteen katkaisukyky ei saa olla pienempi kuin verkossa esiintyvä suurin oikosulkuvirta.

Oikosulkuvirta on voitava katkaista missä tahansa virtapiirin osassa viimeistään, kun johtimet saavuttavat suurimman sallitun lämpötilan.

Oikosulun kestäessä enintään 5 sekuntia voidaan laskea aika, jossa lämpötila nousee suurimpaan sallittuun. Tällöin oletetaan johtimen olleen normaalissa käyttölämpötilassaan ennen vikaa.

$$t = \left(k \times \frac{A}{I} \right)^2 \quad (4)$$

missä

t	=	kesto aika sekunteina
A	=	johtimen poikkipinta (mm ²)
I	=	todellinen oikosulkuvirta (A) tehollisarvona sekä
k	=	kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat. Vaihejohtimien kertoimen k arvot normaalisti käytetyille eristemateriaaleille on annettu taulukossa 1.

Ville Aalto

Taulukko 2.3 Kertoimen k arvot vaihejohtimille

	Johtimen eristys					
	PVC $\leq 300 \text{ mm}^2$	PVC $> 300 \text{ mm}^2$	EPR/PEX	Kumi 60 °C	Mineraali	
					PVC:lläpäällystetty	paljas
Alkulämpötila °C	70	70	90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali						
Kupari	115	103	143	141	115*	135
Alumiini	76	68	94	93	--	--
Tinalla juotetut kuparijohtimien liitokset	115	---	---	---	--	--
* Tätä arvoa käytetään kaapeleille, jotka ovat kosketeltavissa						

2.4 Tilapäisasennukset

Valoviikkojen sähköverkon asennuksissa tulee yleisesti noudattaa standardin SFS 6000-7-704 ”Rakennustyömaat” vaatimuksia. Tällöin verkon asennuksista kiinteiksi voidaan määritellä kaikki pääkeskukseen rajoittuvat asennukset sekä standardien mukaisesti kiinteästi asennetut kuorman puoleiset asennukset, joita ovat keskuksen ja valokuvioden väliset ryhmäjohtot. Loput kuorman puoleiset asennukset, eli valokuviot ja niiden liitäntäjohtot luokitellaan siirrettäviksi. /4/

Asennusten kiinteiden osien osalta riittää, että vaatimukset ovat täyttyneet niiden asennushetkellä. Puolikiinteät (siirrettävät) osat mielletään uudelleen asennetuiksi, joten niiden on täytettävä asennushetkellä kulloinkin voimassa olevat määräykset. /1/

Kaikista sähkölaitteista on kyettävä osoittamaan, mikä keskus laitetta syöttää, ja kukin laite saa sisältää vain yhteen syöttökeskukseen liitettyjä osia. /4/

Ville Aalto

Asennettujen johtimien liittimiin ei saa kohdistua ylimääräistä rasitusta.

Kaapeleiden on kestävä hankausta ja veden vaikutusta. /4/

2.5 AMKA-riippukierrehjon kiinnitys ja ripustus /9/

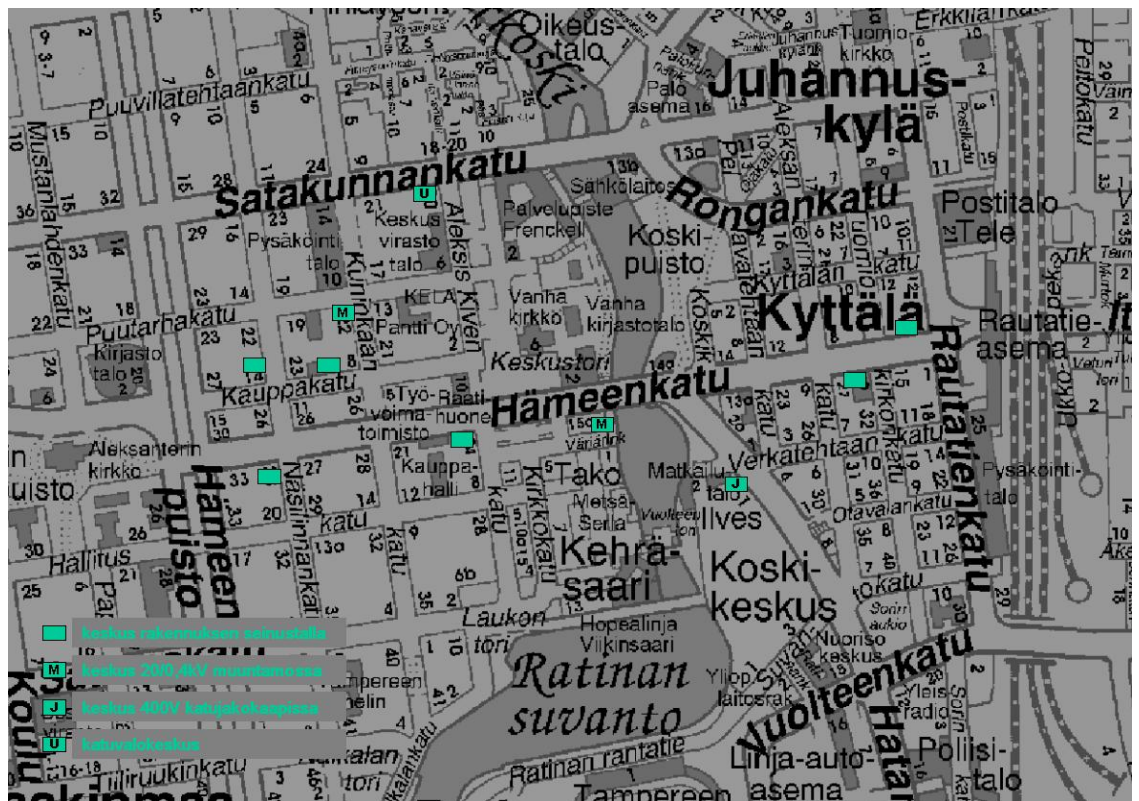
Sähkötarkastuskeskuksen ”Vahvavirtailmajohtomääräykset A 4-93”-julkaisussa määritellään Valoviikkojen sähköverkossa ryhmäjohtona paljon käytetty AMKA-riippukierrehjohto asennettavaksi siten, etteivät eri virtapiireihin kuuluvat johdot kosketa toisiaan.

3 VERKON NYKYTILA

3.1 Verkon rakenne

Valoviikkojen sähköverkko on kolmivaiheverkko, jonka vaihejännite on 230 V. Verkon kutakin vaihetta pyritään kuormittamaan mahdollisimman tasaisesti, mutta täysin symmetrisen kuormituksen toteuttaminen on käytännössä mahdotonta, koska kuormitukset voivat erikokoisten valokuviodien myötä olla hyvinkin eri tehoisia. Verkon syöttö tapahtuu 10:stä ryhmäkeskuksesta, joista kaksi on sijoitettu kaupungin keskustassa sijaitseviin 20/0,4 kV:n muuntamoihin, ja kuusi rakennusten seinustoille sekä yksi 400 V:n jakokeskukseen. Yksi keskuksista on katuvalokeskus, josta muutamaa valoviikkokuviota syötetään ja ohjataan samanaikaisesti katuvalojen kanssa. Kaikissa keskuksissa käytetään ylikuormitus- ja oikosulkusuojalaitteina johdonsuojakatkaisijoita eli automaattisulakkeita. Poikkeuksena viimeksi mainittu katuvalokeskus, jonka suojalaitteina toimivat perinteiset tulppasulakkeet.

Ville Aalto



Kuva 3.1a Ryhmäkeskusten sijaintikartta

Keskuksilta lähtevät ryhmäjohdot kulkevat kiinteästi asennettuina keskuksen sijainnin mukaan, joko maassa (MCMK), rakennusten seinärakenteiden sisällä (MCMK) tai rakennusten seinustoilla (MMJ) (kuva 3.1b).



Kuva 3.1b Ryhmäkeskus ja ryhmäjohdot

Ville Aalto

Nämä ryhmäjohtojen alkupäät nousevat valoien asennuskorkeudelle, josta syöttö valoryhmille jatkuu valokuvioiden kiinnitysvaijereihin ripustetulla riippukierrekaapelilla (AMKA). Ryhmäjohtot jatkuvat yksivaiheisina (MMJ) valaisinten kiinnitysvaijereita pitkin kunkin valokuvion syöttöliittimiin (kuva 3.1c).



Kuva 3.1c Ryhmäjohtot ja kiinnitysvaijeri

Ryhmäkeskusten oikosulkuvirrat, johto-osien pituudet ja poikkipinta-alat sekä impedanssit on esitetty liitteessä 1.

Valokuviot ovat teräs- tai alumiinirunkoisia, ja niissä käytetään pääasiassa 15 W:n koristehehkulamppuja. Hehkulamput kuvion sisällä on ketjutettu 1,5 mm²:n johtimilla (ML). Uusimmat kuviot on toteutettu valokaapelin ja värillisten lamppujen yhdistelmillä.

Suurin osa valokuvioista asennetaan vuotuisen sijoitussuunnitelman mukaisesti katujen poikki n.10 m korkeudessa kulkeviin kiinnitysvaijereihin, mutta osa kiinnitetään katuvalopylväisiin.

Ville Aalto

3.2 Ryhmäkeskukset

Sähköverkon kutakin osaa syöttävät ryhmäkeskukset on yksilöity VVKX-tunnuksin, joissa X muuttuu keskuksen järjestysnumeron mukaisesti. Keskuksista VVK3 on poistettu käytöstä. Taulukossa 3.2 on eritelty ryhmäkeskukset sijainteineen ja pääsulakkeineen. Niissä keskuksissa, joiden pääsulakkeen nimellisarvoa ei ilmoiteta, on käytössä ylivirtamomentilla laukaiseva pääkytkin. Taulukosta ilmenevät myös keskuksia syöttävät muuntajat sijainteineen sekä muuntajalähtöjen suojalaitteiden nimellisarvot.

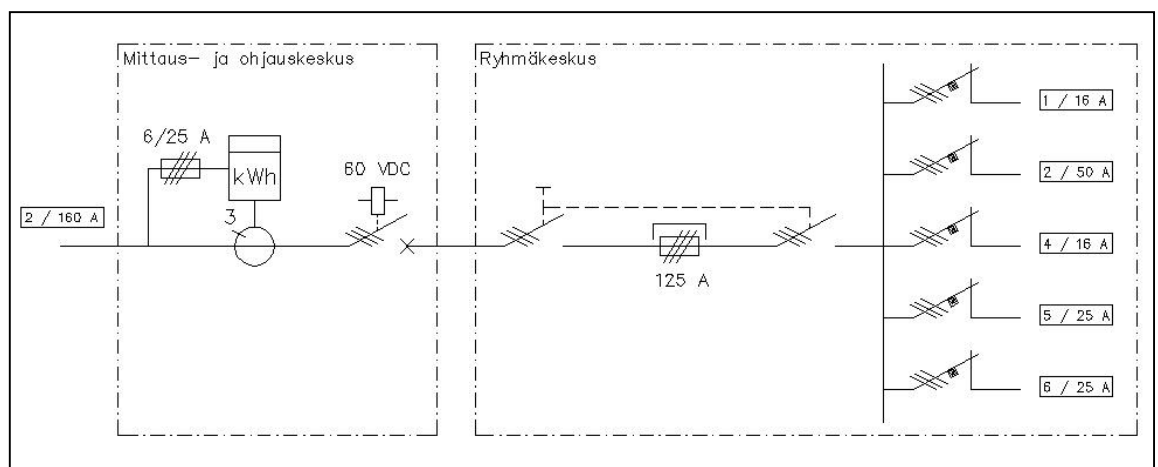
Taulukko 3.2 Ryhmäkeskusten tiedot

Keskuksen tiedot			Syöttävän muuntajan tiedot			
Keskus	Osoite	Pääsulake	Muuntamo	Osoite	Lähtö	Pääsulake
VVK1	Näsilinnankatu 28	-	M0030	Hämeenkatu 26	30	3x160/400A
VVK2	Hämeenkatu 17	-	M1426	Keskustori 9	2	3x200/400A
VVK4	Hämeenkatu 15	3x125 A	M0033	Hämeenkatu 15	2	3x160/400A
VVK5	Hämeenkatu 5	-	M0234	Hämeenkatu 5	11	3x200/400A
VVK6	Hämeenkatu 2	-	M0024	Hämeenkatu 1	8	3x224/400A
VVK7	Kauppakatu 8	-	M1008	Kauppakatu 10	6	3x160/400A
VVK8	Näsilinnankatu 24	-	M0197	Kauppakatu 16	9	3x125/400A
VVK9	Puutarhakatu 15	3x100 A	M0158	Puutarhakatu 15	31	3x125/400A
VVK10	Hatanpäänvaltatie 1	-	M0052	Koskikatu 9	8	3x300A
VVK11	Satakunnankatu 19	-	M0126	Satakunnankatu 19	11	3x100A

Keskukset VVK1, VVK2, VVK5, VVK7 ja VVK8 on asennettu rakennusten seinustoille. Kunkin keskuksen syöttö tapahtuu yleensä lähimmästä 20/0,4 kV:n muuntamosta. Syöttävän muuntajan muuntamotiloissa sijaitsevat liittymän pääsulakkeiden lisäksi kunkin liittymän ohjaus- ja mittauskeskukset. VVK6-keskuksen syöttöverkon rakenne on sama kuin edellisillä, mutta itse keskus on sijoitettu rakennuksen julkisivuun kiinnitetyn valomainoksen sisään. Keskus VVK10 on rakennettu 400 V jakokaapin yhteyteen, ja se sisältää Valoviikkokeskuksen ohjaus- ja mittauskeskuksen sekä liittymän pääsulakkeet. Muuntamoissa sijaitsevien VVK4- ja VVK9-keskusten mittaus- ja ohjauskeskukset sekä ryhmäkeskukset on sijoitettu omiin keskuskaappeihinsa. VVK11-alueen valokuvioilla ei ole varsinaista omaa keskusta, vaan valoja syötetään muuntamossa sijaitsevasta katuvalokeskuksesta.

Ville Aalto

Perusrakenteeltaan kaikki keskuksset ovat kuvan 3.2 esimerkin kaltaisia. Eroja ilmenee ainoastaan suojalaitteiden rakenteissa ja nimellisarvoissa. Kuvan 3.2 pääkaaviossa, lukuarvolla ”2 / 160 A” tarkoitetaan 20/0,4 kV muuntajalähdön numerointia ja tämän suojalaitteen nimellisarvoa. Mittaus- ja ohjauskeskuksessa sijaitsee 6/25 A tulppavarokkeilla suojattu kWh-mittari virtamuuntajineen. Tehomittauksen jälkeistä katkaisijaa käytetään syötön ohjaukseen. Ryhmäkeskuksen pääsuojalaitteena toimii 125 A kytkinkahvavaroke, ja ryhmäjohdot on suojattu vaihekohtaisilla johdonsuojakatkaisijoilla.



Kuva 3.2 VVK4:n pääkaavio

Seinäkeskukset ovat peruskunnoltaan hyviä, ja läpivientien sekä ovien osalta tiiviitä. Johtimet ja johdonsuojakatkaisijat ovat päällisin puolin kunnossa. Johtimien liitännäkiskot ja liitoskohdat ovat ulkona sijaitsevilla keskuksissa osittain hapettuneita, mutta käyttökelpoisia. Muuntamotiloissa sijaitsevat keskuksset ovat varsin vanhoja, mutta sään vaihteluilta suojattuina ne ovat säilyneet käyttökuntoisina.

3.3 Johdot

Ryhmäjohtoina käytettyjen AMKA- ja MMJ-kaapeleiden kunto on kokonaisuudessaan hyvä. Vuosittaisten valokuvioasennusten yhteydessä silmämääräisesti huonokuntoisiksi todettuja kaapeleita on pyritty uusimaan.

Ville Aalto

Nousujohdot ja MCMK-ryhmäkaapelit ovat maanpäällisiltä osiltaan hyväkuntoisia.

3.4 Valokuviot

Valoviikkojen sähköverkon omistaa Tampereen kaupunki, mutta itse valonlähteiden ja valokuvioiden omistaja on Tampere Tunnetuksi ry. Näin ollen yhdistys vastaa myös valokuvioiden vaatimusten mukaisuudesta.

Valokuvioiden 1,5 mm²:n ML-johtimet ovat monin paikoin erittäin vanhoja, ja niiden eristeet haurastuneita. Lisäksi yksinkertaisesti PVC-eristetyn ML-johtimen käyttö ilma-asennuksissa voidaan todeta nykyisten määräysten vastaiseksi.



Kuva 3.4 Valokuvion lampunpidin

Huonokuntoisten johdotusten lisäksi valokuvioissa käytetään kotelointiluokaltaan asennukseen sopimattomia posliinisia lampunpitimiä (kuva 3.4). Nämä lampunpitimet ovat vanhoja, eivätkä estä riittävän hyvin sadeveden ja kosteuden pääsyä lamppujen ja johtimien jännitteisiin osiin.

3.5 Verkon ohjaus

Valoviikkojen sähköverkon kutakin ryhmäkeskusta ohjataan ohjauskeskuksella. Ohjaus tapahtuu kuvassa 3.2 esitetyllä 60 V:n apujänniteellä impulssiohjatun

Ville Aalto

kytkimen eli sysäysreleen avulla. Tampereen Sähköverkko Oy:n käyttökeskuksesta annettu tasajänniteimpulssi muuttaa verkon jokaisessa ohjauskeskuksessa sijaitsevan kytkimen tilaa. Tämä mahdollistaa koko valoviikkoverkon yhtäaikaisen päälle- ja pois-kytkennän.

4 VERKON SÄHKÖINEN MITOITUS

4.1 Mitoituksen periaatteet

Verkon sähköisellä mitoituksella tarkoitetaan siihen kuuluvien johtojen mitoitusta ja suojausta. Mitoituksen tarkoitus on käsitellä johdon mitoitusta sen kuormitettavuuden kannalta. Mitoituksessa tulee huomioida myös kosketusjännitesuojaukseen liittyvät vaatimukset. Suojauksen keskeisenä tavoitteena on johdon suojaus ylikuormituksen ja oikosulun varalta. /7/

Tehtäessä mitoitusta olemassa olevalle pienjännitesähköverkolle voidaan se toteuttaa hieman eri tavalla kuin uutta verkkoa suunniteltaessa, koska johtimien poikkipinnat ovat jo ennalta tiedossa. Johtojen mitoituksessa tulee kuitenkin selvittää aina samat pääkohdat:

- johtimien kuormitettavuus
- ylikuormitussuojat
- automaattisen poiskytkennän toteutuminen
- oikosulkusuojat
- jännitteenalenema.

Valoviikkojen sähköverkko on mitoituksen kannalta haasteellinen, koska kuormitukset ja näin ollen johtimissa kulkevat virrat vaihtelevat suuresti valokuviodien sijoituspaikkojen vaihtuessa vuosittain. Tämän vuoksi kuormavirroista ja jännitteenalenemista muodostetaan kolmen viimeisen vuoden valokuviodien sijoitussuunnitelmien perusteella keskiarvot, joiden rinnalla tarkastellaan saman aikavälin huippuarvoja.

Ville Aalto

4.2 Johtimien kuormitettavuus

4.2.1 Yleistä

Johdon kuormitettavuus kuvaa sitä virtaa, joka johdossa voi eri asennusolosuhteissa kulkea lämmittämättä sitä liika. Kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat /12/

- johdon asennustapa
- ympäristön lämpötila
- vierekkäisten johdinten lukumäärä

Jos ryhmäjohto kostuu sarjaan kytketyistä erityyppisistä tai poikkipintaisista johdoista, ja jos niiden asennusolosuhteet ovat erilaiset, määritetään koko johdon kuormitettavuus sen johdon osan perusteella, jolla on heikoin kuormitettavuus.

4.2.2 Mitoitus

Selvitettäessä ryhmäjohtojen kuormitettavuuksia on tarkasteltava verkossa käytettävien erilaisten kaapeleiden kuormitettavuuksia ja asennustapoja. Taulukkoon 4.2.2a on laskettu eri tyyppisten kaapeleiden kuormitettavuudet ottaen huomioon asennusolosuhteet ja korjauskertoimet.

Ville Aalto

Taulukko 4.2.2a Eri kaapelityyppien kuormitettavuudet ja asennusolosuhteet

Kaapelin tyyppi	Asennus- tapa	Vierek- käiset	Ymp./maan lämpötila	Kuormitet- tavuus	Korjauskerroin		Kuormitet- tavuus
					Lämpötila	Asennus- tapa	
		kpl	T/C°	I/A			I/A
MMJ 4x10	seinä	4	15	60	1,10	0,75	50
MMJ 4x10	seinä	5	15	60	1,10	0,73	48
MMJ 4x16	seinä	2	15	80	1,10	0,85	75
MMJ 4x16	seinä	4	15	80	1,10	0,75	66
MMJ 4x16	seinä	5	15	80	1,10	0,73	64
MCMK 3x16+16	maa	1	10	100	1,05	1,00	105
MCMK 3x16+16	maa	2	10	100	1,05	0,75	79
MCMK 3x16+16	maa	4	10	100	1,05	0,60	63
MCMK 3x16+16	seinä	2	30	80	0,94	0,85	64
MCMK 3x16+16	seinä	6	30	80	0,94	0,72	54
AMKA 3x25+35	ilma	-	15	90	1,10	-	99

Ulkolämpötilan voidaan mitoituksen kannalta turvallisesti arvioida olevan maksimissaan 15 °C, ja vastaavasti maan 10 °C, koska valoja poltetaan ainoastaan syksyllä ja talvella. Muuntamohuoneiden lämpötilan oletetaan olevan n. 30 °C. Näitä lämpötiloja käytettäessä huomioidaan lämpötilojen aiheuttama korjauskerroin, joka on ulkona 1,10, maassa 1,05 ja muuntamossa 0,94. Erilaisten johtimien ja monijohdinkaapeleiden kuormitettavuudet sekä asennusolosuhteiden määrittelemät korjauskertoimet esitetään standardin SFS 6000-5-52 taulukoissa. Johtimen kuormitettavuus on ilmoitettu 70 °C lämpötilalle, joka on PVC-eristeisen kaapelin suurin sallittu käyttölämpötila.

Taulukko 4.2.2a osoittaa, että ryhmäjohtojen kuormitettavuudet määräytyvät pääasiassa niiden alkuosien MMJ- tai MCMK-kaapeleiden perusteella. Ilmaan asennettavan AMKA-kaapelin kuormitettavuus on 99 A, eli joukon suurimpia.

Ryhmäjohtoihin vaikuttavia kuormituksia tutkittaessa valitaan kunkin johdon se vaihe, jossa kulkee suurin virta. Jos nämä vaiheet täyttävät kuormitettavuuden ehdot voidaan sama todeta myös muista kyseisen ryhmäjohtojen vaihejohtimista. Taulukkoon 4.2.2b on listattu keskuksittain kaikkien lähtöjen suojalaitteiden nimellisvirrat ja kuormitettavuudet. Siihen on myös laskettu vuosina 2003-05 suurimmat yhdessä vaiheessa esiintyneiden kuormavirtojen keskiarvot sekä maksimivirrat. Taulukosta voidaan havaita, että kuormitettavuuden kannalta käytössä olevien kaapeleiden poikkipinnat ovat riittäviä verkon kaikissa osissa.

Ville Aalto

Taulukko 4.2.2b Vaiheiden kuormitettavuudet

Keskus	Lähtö	Suoja- laite	Kuormitet- tavuus	Keskiarvovirta 2003-05 (huippuarvo)
		I/A	I/A	I_{ka}/A
VV.K1	1	50	64	25,0 (28,4)
	2	50	64	26,1 (31,4)
	3	50	64	37,2 (41,2)
	4	50	64	19,1 (28,7)
	5	50	64	29,3 (30,4)
VV.K2	1	50	63	UUSI
	2	50	63	UUSI
	3	50	63	UUSI
	4	50	63	UUSI
	5	50	75	29,3 (32,2)
VV.K4	1	16	54	10,4 (10,4)
	2	50	54	21,7 (23,9)
	4	16	54	10,4 (10,4)
	5	25	54	20,9 (20,9)
	6	25	54	20,9 (20,9)
VV.K5	1	50	66	36,1 (43,0)
	2	50	66	32,9 (33,5)
	3	50	66	14,2 (32,2)
	5	50	66	35,1 (42,6)
VV.K6	1	50	64	30,9 (31,3)
	2	25	48	21,7 (21,7)
	3	50	64	27,9 (29,3)
	4	50	64	37,8 (43,0)
	5	50	64	21,2 (28,7)
VV.K7	2	50	50	30,0 (35,2)
	3	50	50	24,2 (30,4)
	4	50	50	24,2 (30,4)
	5	50	50	24,2 (30,4)
VV.K8	1	50	66	16,9 (21,7)
	2	50	66	24,2 (30,4)
	3	50	66	16,9 (21,7)
	4	50	50	26,4 (28,7)
VV.K9	1	63	64	31,3 (58,3)
	4	63	64	39,7 (48,3)
VV.K10	1	63	99	29,6 (30,0)
	2	50	79	UUSI
	3	50	79	UUSI

Ville Aalto

4.3 Ylikuormitussuojat

4.3.1 Yleistä

Ylikuormitusvirta tarkoittaa virtapiirin ylivirtaa silloin, kun se ei aiheudu vian seurauksena. Ylikuormitussuoja katkaisee virtapiiristä virran ennen kuin lämpötila missään piirin osassa nousee sallittua suuremmaksi. /7/

Ylikuormitussuojien toimivuutta tarkastellaan kappaleessa 2.3 mainittujen kahden epäyhtälön ehdoilla. Ensimmäisen epäyhtälön vaatimusten mukaan suojalaitteen nimellisvirran on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin virtapiirin mitoitusvirta ja johdon kuormitettavuuden yhtä suuri tai suurempi kuin suojalaitteen nimellisvirran. Toisen epäyhtälön ehtona on, että valmistajan suojalaitteelle ilmoittaman virta-arvon, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen tavanomaisessa ajassa (60 minuuttia), on oltava pienempi tai yhtä pieni kuin 1,45 kertaa johdon suurin sallittu kuormitettavuus.

4.3.2 Mitoitus

Tarkastellaan esimerkkinä VVK1-keskuksen lähtöä 1, jossa kuormavirran oletetaan olevan vuosien 2003 - 2005 huippuarvon suuruinen (28,4 A). Lähden johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta on 50 A ja ryhmäjohdon kuormitettavuus 64 A:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \Rightarrow \\ 28,4 \text{ A} \leq 50 \text{ A} \leq 64 \text{ A}$$

Käytettäessä ylikuormitussuojana johdonsuojakatkaisijaa on virta I_2 , joka varmistaa suojalaitteen toimimisen 60 minuutissa, enintään 1,45-kertainen suojalaitteen nimellisarvoon nähden (Taulukko 4.3.2),

Ville Aalto

Taulukko 4.3.2 johdonsuojakatkaisijoiden laukaisurajat

Laukaisukäyrät		Ylikuormituslaukaisin ☼			Oikosulkulaukaisin ☼		
Standardi	Laukaisukäyrä	Koestusvirrat:		Laukaisu-aika	Koestusvirrat:		Laukaisu-aika
		Kestorajavirta I_1	Laukaisurajavirta I_2		Kestorajavirta	Laukaisurajavirta	
EN 60 898	B	$1.13 \cdot I_n$	$1.45 \cdot I_1$	> 1 h < 1 h ☼	$3 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$	> 0.1 s < 0.1 s
IEC 898	C	$1.13 \cdot I_n$	$1.45 \cdot I_1$	> 1 h < 1 h ☼	$5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$	> 0.1 s < 0.1 s
DIN VDE 0660 osa 101	K	$1.05 \cdot I_n$	$1.2 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h ☼	$8 \cdot I_n$	$12 \cdot I_n$	> 0.2 s < 0.2 s
EN 60 947 IEC 947-2	Z	$1.05 \cdot I_n$	$1.2 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h ☼	$2 \cdot I_n$	$3 \cdot I_n$	> 0.2 s < 0.2 s

☼ Ympäristön lämpötilan vaikutus, ks. alla. ☼ Laukaisu- ja oikosulkulaukaisulle pätevät vaihtojännitteelle 50 ... 60 Hz. Muille taajuuksille katso taulukko alla. ☼ Käyttölämpötilasta (Yli $I_1 > 1$ h)

joten

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \Rightarrow$$

$$1,45 \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \Rightarrow$$

$$I_n \leq I_z \Rightarrow$$

$$50 \text{ A} \leq 64 \text{ A}$$

Toteuttaessaan molemmat epäyhtälöt, suojalaite täyttää ylikuormitussuojalle asetetut vaatimukset.

Taulukko 4.2.2b osoittaa, että verkon kaikki nykyiset ylivirtasuojat ovat nimellisarvoiltaan niin keskiarvokuormitukseen kuin maksimikuormitukseenkin nähden ehdot täyttäviä. Suurimmassa osassa verkkoa ylikuormitussuojien mitoitusvarat mahdollistavat tulevaisuudessa myös kuormituskokojen kasvattamisen.

Ville Aalto

4.4 Oikosulkusuojat

4.4.1 Yleistä

Oikosulku tarkoittaa pieni-impedanssista vikaa, joka muodostuu eri potentiaalisten osien välille. Oikosulkuvirta on tyypillisesti huomattavasti suurempi kuin ylivirta, minkä vuoksi oikosulkusuojalaitteen on toimittava ylivirtasuojaa nopeammin. Oikosulkuvirta on katkaistava ennen kuin sen lämpö- ja mekaaniset vaikutukset aiheuttavat vaaraa. /7/

Oikosulkusuojaus on mitoitettava siten, että se katkaisee pienimmän oikosulkuvirran, ja toisaalta sen on myös kyettävä katkaisemaan suurin, yleensä muutamien kiloampeerien suuruinen virta. Pienin oikosulkuvirta esiintyy virtapiirin kaukaisimmassa päässä ja suurin heti suojalaitteen jälkeen, yleensä sen liittimissä.

4.4.2 Mitoitus

Koska syöttävän johtimen poikkipinta muuttuu valokuvioille tultaessa huomattavan pieneksi, on myös valokuviot tarpeen suojata kuviokohtaisilla suojalaitteilla kahdesta syystä:

1. Suhteessa muuhun syöttävään johtoon nähden $1,5 \text{ mm}^2$ johdolla on huomattavan suuri impedanssi.
2. $1,5 \text{ mm}^2$ johdon kuormitettavuus ja oikosulkukestoisuus on huomattavasti pienempi kuin muilla syöttävän johdon osilla.

Oikosulkusuojat asennetaan kiinteäksi osaksi verkkoa ryhmäjohtojen perään, jolloin niiden kiinnityksistä ei tarvitse huolehtia joka vuosi uudelleen.

Valokuvioiden yksilöllinen suojaus mahdollistaa ryhmäjohtojen oikosulkusuojien mitoituksen ilman valokuvioista aiheutuvaa impedanssia.

Ville Aalto

Tarkastellaan esimerkkinä VVK1-keskuksen 1. lähdön K 50 A johdonsuojakatkaisijan toimivuutta ryhmäjohdon oikosulkusuojana:

Johdon pienin oikosulkuvirta esiintyy sen kaukaisimmassa päässä, ja se voidaan laskea likiarvokaavalla (5). Näin laskettuna saatu tulos on todellista arvoa pienempi, joten se on myös mitoituksen kannalta turvallisempi. Kerroin c ottaa huomioon virtapiirin jännitteenaleneman.

$$I_{k \min} = \frac{c \cdot U}{Z_{\text{kok}} \cdot \sqrt{3}} \quad (5)$$

jossa

$I_{k \min}$	=	pienin oikosulkuvirta
c	=	0,95
U	=	pääjännite
Z	=	vian muodostaman virtapiirin impedanssi, joka muodostuu
		§ jakelumuntajaa edeltävän verkon impedanssista
		§ muuntajan impedanssista
		§ muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista

Muuntajan ja sitä edeltävän verkon impedanssi lasketaan verkkoyhtiön muuntajalle ilmoittamasta oikosulkuvirrasta

$$Z_m = \frac{c \cdot U}{I_{k \min} \cdot \sqrt{3}} \quad (6)$$

jossa

Z_m	=	muuntajan ja sitä edeltävän verkon impedanssi
c	=	0,95
U	=	pääjännite
I_k	=	muuntajalle ilmoitettu pienin oikosulkuvirta

Liittymän oikosulkuvirraksi verkkoyhtiö ilmoittaa 10171 A, joten muuntajan ja sitä syöttävän verkon kokonaisimpedanssi on

$$Z_m = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{12204 \text{ A} \cdot \sqrt{3}} = 0,022 \Omega$$

Ville Aalto

Muuntajan jälkeisten johtimien impedanssi koostuu nousujohdon ja ryhmäjohdon muodostamasta kokonaisimpedanssista:

$$Z_{j\text{kok}} = Z_{j1} + Z_{j2} + Z_{j3} + Z_{j4} \quad (7)$$

jossa

$Z_{j\text{kok}}$	=	johtimien kokonaisimpedanssi
Z_{j1}	=	nousujohdon impedanssi
Z_{j2}	=	ryhmäjohdon ensimmäisen osan impedanssi
Z_{j3}	=	ryhmäjohdon toisen osan impedanssi
Z_{j4}	=	ryhmäjohdon kolmannen osan impedanssi

Johto-osien impedanssit, kun oikosulun vuoksi niiden lämpötilan oletetaan olevan 70 °C, lasketaan valmistajan antamien resistanssien perusteella (LIITE 2).

Reaktanssia ei poikkipinnaltaan 70 mm² ja sitä pienempien johtimien laskennassa tarvitse huomioida.

$$Z_{j\text{kok}} = \left(0,462 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,870 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot 0,09 \text{ km} + \left(1,38 \frac{\Omega}{\text{km}} + 1,38 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot 0,01 \text{ km} + \left(1,20 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,986 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot 0,19 \text{ km} + \left(2,19 \frac{\Omega}{\text{km}} + 2,19 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot 0,01 \text{ km} = 0,628 \Omega$$

Tämän perusteella oikosulkuvirta johdon päässä on

$$I_{k\text{min}} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{(Z_m + Z_{j\text{kok}}) \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{k\text{min}} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{(0,022 \Omega + 0,628 \Omega) \cdot \sqrt{3}} = 338 \text{ A}$$

K-tyypin johdonsuojakatkaisijan oikosulkulaukaisuraja on $12 \times I_n$ (taulukko 4.3.2), joten esimerkkitapauksessa oikosulkusuoja toimii, kun virta on 600 A. Tästä syystä kyseinen katkaisija ei sovellu johdon suojaukseen, vaan katkaisijaksi tulee vaihtaa

Ville Aalto

vastaava B-tyypin johdonsuoja, jonka laukaisuraja saman taulukon perusteella on 250 A.

Taulukko 4.4.2 Ryhmäjohtojen pienimmät 1-vaiheiset oikosulkuvirrat

Keskus	Johdon pienin oikosulkuvirta lähdöittäin, $I_{k \min} / A$ (johdonsuojalaitteen nimellisarvo, I_n)					
	1	2	3	4	5	6
VVK1	338 (50)	566 (50)	423 (50)	508 (50)	508 (50)	-
VVK2	764 (50)	484 (50)	640 (50)	432 (50)	374 (50)	348 (50)
VVK4	1154 (16)	706 (50)	-	894 (16)	534 (25)	471 (25)
VVK5	420 (50)	845 (50)	439 (50)	-	845 (50)	-
VVK6	969 (50)	518 (25)	812 (50)	412 (50)	292 (50)	-
VVK7	-	367 (50)	578 (50)	699 (50)	396 (50)	-
VVK8	492 (50)	576 (50)	448 (50)	420 (50)	-	-
VVK9	531 (63)	-	673 (63)	-	-	-
VVK10	364 (63)	511 (50)	428 (50)	-	-	-
VVK11	600 (25)	-	-	-	-	-

Valoviikkoverkon ryhmäjohtoissa esiintyy taulukon 4.4.2 mukaiset pienimmät oikosulkuvirrat. Vertaamalla virtoja ja kunkin lähdön suojalaitteiden kokoja taulukon 4.3.2 tietoihin nähdään, että riittävän nopea oikosulkusuojaus vaatii esimerkissä mainitulla tavalla kaikki automaattisulakkeet vaihdettavaksi B tyyppin laitteiksi.

Seuraavaksi on selvitettävä johdon suurin mahdollinen oikosulkuvirta, joka voidaan myös laskea edellä esitetyllä kaavalla, mutta tällöin kertoimena C on käytettävä 1,05:tä. Koska suurin oikosulkuvirta esiintyy suojalaitteen liittimissä on se näin ollen sama keskuksen kaikissa lähdöissä, eikä keskukselle ilmoiteta kuin yksi suurimman oikosulkuvirran arvo:

$$I_{k \max} = \frac{c \cdot U}{Z_{\text{kok}} \cdot \sqrt{3}} \quad (8)$$

jossa

- $I_{k \max}$ = suurin oikosulkuvirta
 c = 1,05
 U = pääjännite
 Z = vian muodostaman virtapiirin impedanssi, joka muodostuu
 - § jakelumuuntajaa edeltävän verkon impedanssista
 - § muuntajan impedanssista
 - § muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista

Ville Aalto

Keskuksen suurin oikosulkuvirta on

$$I_{k \max} = \frac{1,05 \cdot 400 \text{ V}}{(0,022 \Omega + 0,120 \Omega) \cdot \sqrt{3}} = 1713 \text{ A}$$

Keskuksiin vaihdettavien S 270 B-sarjan johdonsuojakatkaisijan oikosulkuvirran katkaisukyky on valmistajan mukaan 10 000 A, joten taulukon 4.4.2b perusteella katkaisukyky on riittävä kaikissa ryhmäkeskuksissa.

Taulukko 4.4.2b Suurimmat oikosulkuvirrat

Keskus	Keskuksen suurin oikosulkuvirta $I_{k \max}$ /A
VV.K1	1713
VV.K2	3111
VV.K4	6742
VV.K5	6908
VV.K6	2549
VV.K7	2554
VV.K8	1248
VV.K9	5230
VV.K10	4435
VV.K11	9754

4.5 Automaattisen poiskytkennän toteutuminen

4.5.1 Yleistä

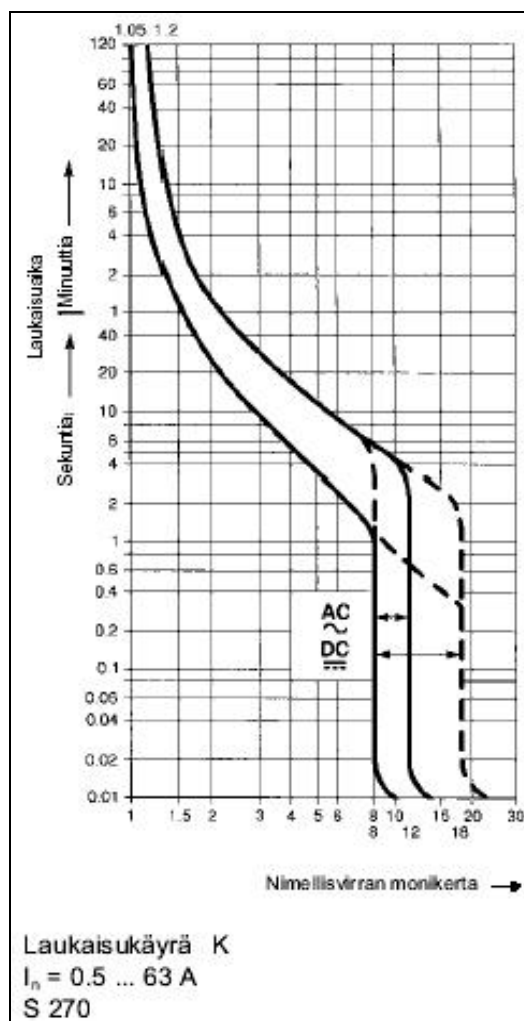
Kosketusjännitesuojaus automaattisen poiskytkennän avulla perustuu siihen, että vianaikainen kosketusjännite kytketty suojalaitteen avulla pois ennen kuin se aiheuttaa vaaraa ihmisille. /7/

Standardien vaatimusten mukaista 5 sekunnin poiskytkentä ajan toteutumista tarkastellaan vertaamalla jokaisen lähdön pienintä oikosulkuvirtaa johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrään.

Ville Aalto

4.5.2 Mitoitus

Verratessa oikosulkusuojina sopimattomiksi todettuja K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoita B-tyyppin vastaaviin huomataan etteivät kyseiset katkaisijat sovellu Valoviikkojen sähköverkkoasennukseen myöskään automaattisen poiskytkennän kannalta. Kuvasta 4.5.2a nähdään, että edellä käytetyn esimerkkilähdön 338 A oikosulkuvirta katkaisee K-tyyppin johdonsuojakatkaisijan suojaaman lähdön vasta noin 8 sekunnin kuluttua.

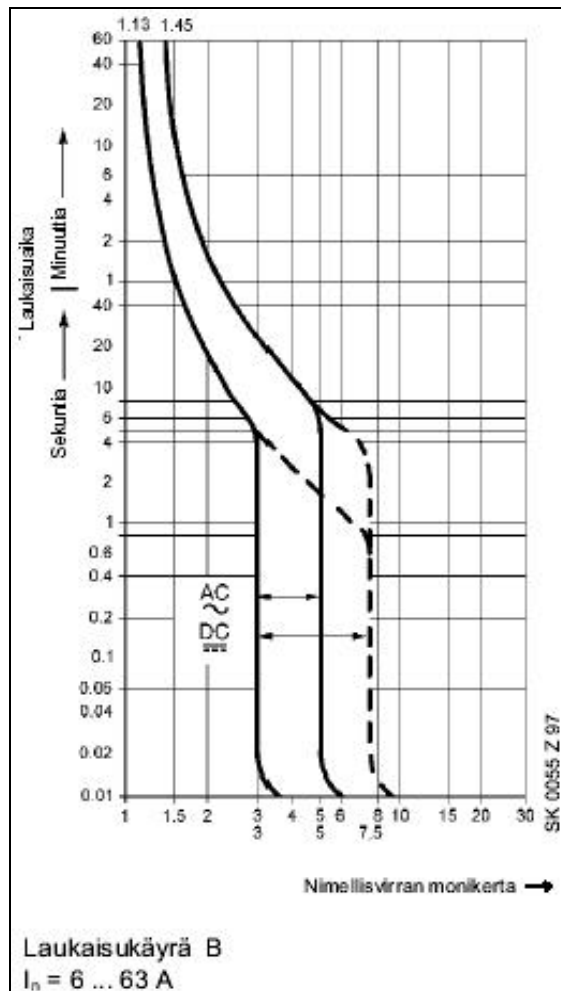


Kuva 4.5.2a S 270 K johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä

K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoita käytetäänkin yleensä kapasitiivisten ja induktiivisten kuormien kuten oikosulkumoottoreiden suojoina, jotka käynnistyessään ottavat nimellisvirtaansa nähden noin 6-8-kertaisen virran syöttöverkosta. Valoviikon sähköverkossa suhteellisen pitkien johtopituuksien

Ville Aalto

vuoksi oikosulkuvirrat eivät ole kovin suuria, joten resistiivisten kuormien suojaukseen käytettävät B-tyyppin johdonsuojakatkaisija soveltuvat siksi tähän käyttöön parhaiten.



Kuva 4.5.2b S 270-B-sarjan johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä

S 270-B-sarjan johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrästä (kuva 4.5.2b) nähdään, että B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisee esimerkkilähdön 50 A tapauksessa pienimmän oikosulkuvirran 349 A, jo alle 0,1 sekunnissa. Riittävän nopea poiskytkentä voidaan taulukoiden 4.2.2b ja 4.4.2 tietojen avulla todeta toteutuvan myös muissa ryhmäjohdoissa, kun kaikissa lähdöissä käytetään B-tyyppin automaattisulakkeita.

Ville Aalto

Todetaan esimerkkinä automaattisen poiskytkennän täyttävän kappaleessa 2.2 esitetyn kaavan (1) ehdot keskuksen VVK1 1.lähtöön valitun B-tyyppin automaattisulakkeen osalta:

$$\begin{aligned}(Z_m + Z_{jok}) \times (5 \times I_n) &\leq U_0 \\ (0,022 \Omega + 0,650 \Omega) \times (5 \times 50 \text{ A}) &\leq 230 \text{ V} \\ 215,5 \text{ V} &\leq 230 \text{ V}\end{aligned}$$

4.6 Jännitteenalenema

4.6.1 Yleistä

Kun johtimessa kulkee virta, sen impedanssissa syntyy jännitehäviö. Tämän vuoksi johtimen loppupään jännite on pienempi kuin alkupään. Näiden jännitteiden erotus on jännitteenalenema.

Ryhmäjohtojen yksivaiheinen jännitteenalenema voidaan oikosulkuvirran ohella laskea likiarvokaavalla (9), silloin kun johtojen reaktiivisuus on suhteellisen pieni.

$$\Delta u = 200 \cdot \frac{\rho \cdot P \cdot s}{A \cdot U_v^2} \quad (9)$$

jossa

Δu = jännitteenalenemaprocentti

ρ = johdinaineen resistiivisyys ($t = 70^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{Cu}} = 0,021 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, $\rho_{\text{Al}} = 0,028 \Omega/\text{mm}^2$)

P = kuormituksen teho

s = kuormituksen etäisyys

U_v = vaihejännite

A = johdinpoikkipinta

Ville Aalto

4.6.2 Mitoitus

Jännitteenalenemalaskelmilla selvitetään jokaisen ryhmäjohdon se vaihe, jossa jännitteenalenema on suurimmillaan. Jos sama vaihe syöttää useita kuormituksia laskelmissa huomioidaan myös niiden etäisyydet toisistaan. Jännitteenalenemia tarkastellaan kuormavirtojen tapaan keskiarvoilla, jotka lasketaan kolmena edellisenä vuonna toteutettujen valokuviosijoitusten perusteella. Keskiarvot muodostetaan kunkin vuoden vaihejohtimeen vaikuttaneista jännitteenalenemista. Sener:n verkostosuosituksessa ulkovalaistusverkolle suositellaan suurimmaksi sallituksi jännitteenalenemaksi 6...8 % /8/. Tätä sovelletaan myös tarkasteltaessa Valoviikon sähköverkon jännitteenalenemien suuruuksia.

Lasketaan esimerkkinä jännitteenalenema johdolle, joka syöttää kahta toisistaan etäällä olevaa kuormaa. 10.keskuksen 1.lähdön 1.vaiheen jännitteenalenema johdon päässä vuonna 2005:

aloitetaan laskemalla jännitteenalenema ensimmäiselle kuormalle

$$\Delta u_1 = 200 \cdot \frac{0,021 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 2250 \text{ W} \cdot 80 \text{ m}}{25 \text{ mm}^2 \cdot (230 \text{ V})^2} = 0,57 \%$$

tällöin ensimmäiseen kuormaan vaikuttava jännite on

$$\Delta U_1 = 0,57 \% \cdot 230 \text{ V} = 228,7 \text{ V}$$

lasketaan jännitteenalenema toiselle kuormalle eli johdon päähän

$$\Delta u_2 = 200 \cdot \frac{0,021 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 2240 \text{ W} \cdot 90 \text{ m}}{25 \text{ mm}^2 \cdot (228,7 \text{ V})^2} = 1,2 \%$$

Ville Aalto

Taulukko 4.6.2 Ryhmäjohtojen jännitteenalenemat

Keskus	Jännitteenalenemien keskiarvo vuosilta 2003-05, Δu / % (huippuarvo)					
	1	2	3	4	5	6
VVK1	3,8 (4,4)	1,8 (2,1)	3,4 (4,8)	0,9 (1,4)	1,2 (1,2)	-
VVK2	UUSI	UUSI	UUSI	UUSI	4,7 (4,9)	2,9 (4,4)
VVK4	0,3 (0,3)	1,6 (1,7)	-	0,5 (0,5)	0,9 (0,9)	1,1 (1,1)
VVK5	2,5 (2,5)	1,2 (1,3)	1,1 (1,3)	-	0,8 (0,9)	-
VVK6	0,5 (0,7)	2,1 (2,1)	0,6 (0,6)	2,8 (3,8)	4,3 (5,9)	-
VVK7	-	4,6 (5,4)	1,9 (2,4)	1,4 (1,8)	3,2 (4,2)	-
VVK8	1,1 (1,4)	1,1 (1,3)	1,0 (1,3)	2,1 (2,3)	-	-
VVK9	2,3 (4,3)	-	2,8 (3,5)	-	-	-
VVK10	1,5 (1,5)	UUSI	UUSI	-	-	-
VVK11	0,8 (0,8)	-	-	-	-	-

VVK-keskusten kunkin lähdön keskimääräiset jännitteenalenemaprocentit esitetään taulukossa 4.6.2. Taulukon perusteella sähköverkon kaikkien osien jännitteenalenemien voidaan todeta olevan suositusten rajoissa, niin keskiarvojen kuin huippuarvojenkin osalta.

5 MUUTOSEHDOTUS

5.1 Muutokset

5.1.1 Ryhmäkeskukset

Oikosulkusuojauksen ja automaattisen poiskytkennän ehdot toteutuvat, kun johdonsuojakatkaisijat muutetaan kaikissa ryhmäkeskuksissa B-tyypin katkaisijoiksi. Suojalaitteiden nimellisarvot pysyvät entisellään. Tulevien vuosien valokuviodien sijoitussuunnitelmien perusteella voidaan suojalaitteiden nimellisarvoja muuttaa tarpeen vaatiessa kuormitusten vaatimille tasoille, kuitenkin niin ettei niiden nimellisarvo ylitä johdon kuormitettavuutta.

Ville Aalto

5.1.2 Johtimet

Laajamittaiselle johdotusten uusimiselle ei ole tarvetta, mutta vuosittaisten valokuviodien asennusten yhteydessä on syytä silmämääräisesti tarkistaa kaapeleiden kunto ja tarvittaessa korvata huonokuntoiset ja eristevikaiset uusilla. Samalla on tarkastettava AMKA-kaapeleiden väliset etäisyydet, ja tarvittaessa erotettava toisissaan kiinni olevat johdot.

Verkon maadoitus parannetaan määräysten mukaiseksi rakentamalla yli 200 metrin mittaisten johtohaarojen päihin (tai päiden läheisyyteen) asianmukaiset maadoituselektrodit paikkoihin, joihin niiden toteuttaminen on mahdollista ja järkevää.

5.1.3 Valokuviot

Valokuviorunkoja ei ole mahdollista koteloida sadeveden pitäviksi. Tämän vuoksi sekä lamppujen pitimet, että niiden johdotukset on tarpeen muuttaa vaatimusten mukaiselle IP X3 tasolle. Johdotusten osalta tämä tarkoittaa vanhojen ML-johtojen vaihtamista kaksoiseristettyyn suojavaippaiseen kaapeliin. Posliiniset hehkulamppujen pitimet vaihdetaan ulkokäyttöön soveltuviin muovista valmistettuihin kumitiivisteisiin pitimiin.

Valokuviojohdotusten riittävän ylivirtasuojauksen saavuttamiseksi asennetaan jokaiselle valokuvioille kuviokohtainen ylivirtasuojaja. Suojalaitteina voidaan käyttää esimerkiksi gG-tyypin 10 A sulakkeita, jotka asennetaan verkon kiinteän osan jatkoksi valokuviodien 1,5 mm² johdotusten etupuolelle.

Ville Aalto

5.2 Muutoksiin tarvittava työmäärä ja kustannukset

Valoviikkojen sähköverkon kunnostuksen kustannusarvio voidaan muodostaa määrittämällä kunkin työkohteen tuntityön ja tarvittavien materiaalien määrät sekä yksikköhinnat.

Taulukko 5.2 Kustannusarvio

Muutuskohde	Työtunnit	Kohteet	Hinta	Tarvike1	Yks.hinta	Tarvike2	Yks.hinta	Yhteensä
	h	kpl	€/h	kpl/kohde	€/kpl	kpl/kohde	€/kpl	€
Keskukset	8	9	45 €	12	7,00 €	0	0,00 €	3 996 €
Maadoitukset	8	7	45 €	1	30,00 €	1	500,00 €	6 230 €
Kuviot	16	210	45 €	20	1,60 €	150	1,30 €	198 870 €
	Työtunnit	Miestyövuodet					Kokonaiskustannukset	
Yhteensä	3488	1,8						209 096 €

5.2.1 Keskukset

Keskuksiin vaihdettavien johdonsuoja-automaattien asennustyön kestoksi arvioidaan kahdeksan tuntia keskusta kohden ja työtunnin hinnaksi Vera määrittää 45 €. Yhden johdonsuoja-automaatin hinta on n. 7 € ja niitä vaihdetaan n.12 kpl /keskus, jolloin kokonaiskustannukset yhdeksän keskuksen suojalaitteiden vaihtamiseksi ovat n. 4000 €

5.2.2 Johtimet

Valoviikkoverkossa on seitsemän ryhmäjohtohaaraa, jotka yli 200 m mittaisina on määräysten mukaisesti maadoitettava. Yhden maadoituksen rakentamisen työajaksi arvioidaan kahdeksan työtuntia. Kustannuksia kertyy lisäksi maadoituspaikan pinnan (asfaltin tai katukiveyksen) korjauksesta n. 500€/kpl. Tällöin maadoitusten rakentamisen kokonaiskustannukset ovat tarvikkeineen n. 6000 €

Ville Aalto

5.2.3 Valokuviot

Huomattavan suuri osa muutoksiin tarvittavasta työmäärästä käytetään valokuvioden kunnostukseen. Kunnostettavia valokuvioita on n. 210 kpl, joiden kunkin kunnostamiseen käytetään n. 16 työtuntia. Yhden kuvion kunnostamiseen käytetään n. 20 m kaapelia, jonka hinta on 1,60 €/m sekä keskimäärin 150 hehkulampun pidintä, joiden yksikköhinta on 1,30 €. Siten valokuvioden kunnostamisten kokonaiskustannukset ovat n. 200 000 €.

6 VERKON SÄHKÖINEN DOKUMENTOINTI

Valoviikkojen sähköverkon dokumentointi sähköiseen muotoon toteutettiin Tampereen kaupungin energialiiketoimintojen yhteiseen sähköverkkotietokantaan, jota käytetään Xpower-sovelluksella. Verkko piirrettiin karttapohjalle mallintuen mahdollisimman tarkasti sen osien oikeita sijainteja (LIITE 3). Karttapohjana käytettiin Tampereen kaupungin kantakarttaa. Sähköverkosta digitoitiin kaikki osat sen mittauskeskuksilta valopisteille asti. Eri johto-osien ominaisuudet eriteltiin tietokantaan, jolloin sovellus kykenee poikkipintojen ja etäisyyksien perusteella laskemaan esimerkiksi oikosulkuvirrat johtohaarojen päihin.

X-power mahdollistaa verkon eri osien yksityiskohtaisen tietojen tallentamisen. Verkon kaikista osista voidaan muodostaa laitekortti, johon sisällytetään mm. kohteen fyysiset mitat, sähköiset tiedot sekä rakennus- ja kunnostusvuodet. Laittekortteihin voidaan tallentaa myös liitetiedostoina mm. keskuskaavioita tai asennusympäristöä havainnollistavia valokuvia.

Ville Aalto

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 Sähköturvallisuusmääräykset käytännössä: Artikkel- ja tulkintakokoelma 9. Henkilö- ja Yritysarviointi Seti Oy
- 2 SFS 6000-4-41. Suojaus sähköiskulta. Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto ry 1999. 358 s.
- 3 SFS 6000-4-43. Ylivirtasuojaus. Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto ry 1999. 358 s.
- 4 SFS 6000-7-704. Rakennustyömaat. Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto ry 1999. 358 s.
- 5 SFS 6000-3. Yleisten ominaisuuksien määrittely. Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto ry 1999. 358 s.
- 6 SFS 6000-5-54. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto ry 1999. 358 s.
- 7 Johdon mitoitus ja suojaus. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2004. 123 s.
- 8 Verkostosuositus US 4:92. Ulkovalaistuksen sähköinen mitoitus. Sähköenergialiitto (SENER) ry. 33 s.
- 9 Vahvavirtailmajohdomääräykset A 4-93. Sähkötarkastuskeskus. 1993. 102 s.

Painamattomat lähteet

- 10 Tampereen Vera Oy. [www-sivu]. [viitattu 3.5.2006] Saatavissa: <http://www.tampere.fi/tampereenvera/>
- 11 Tampere Tunnetuksi ry. [www-sivu]. [viitattu 3.5.2006] Saatavissa: <http://www.tamperetunnetuksi.net/valoviikot.htm>
- 12 Johdon mitoitus. Virtuaali ammattikorkeakoulu. Pirkko Harsia. [viitattu 15.5.2006] Saatavissa: <https://www.virtuaaliamk.fi/opintojaksot/030503/1132057231100/11320579789/1132058700025/1132058760959.html.stx>

JOHTIMIEN TASAVIRTARESISTANSSIT
KUPARIJOHTIMET

Yksilankaiset ja kerratut IEC 60228 lk 1 ja 2

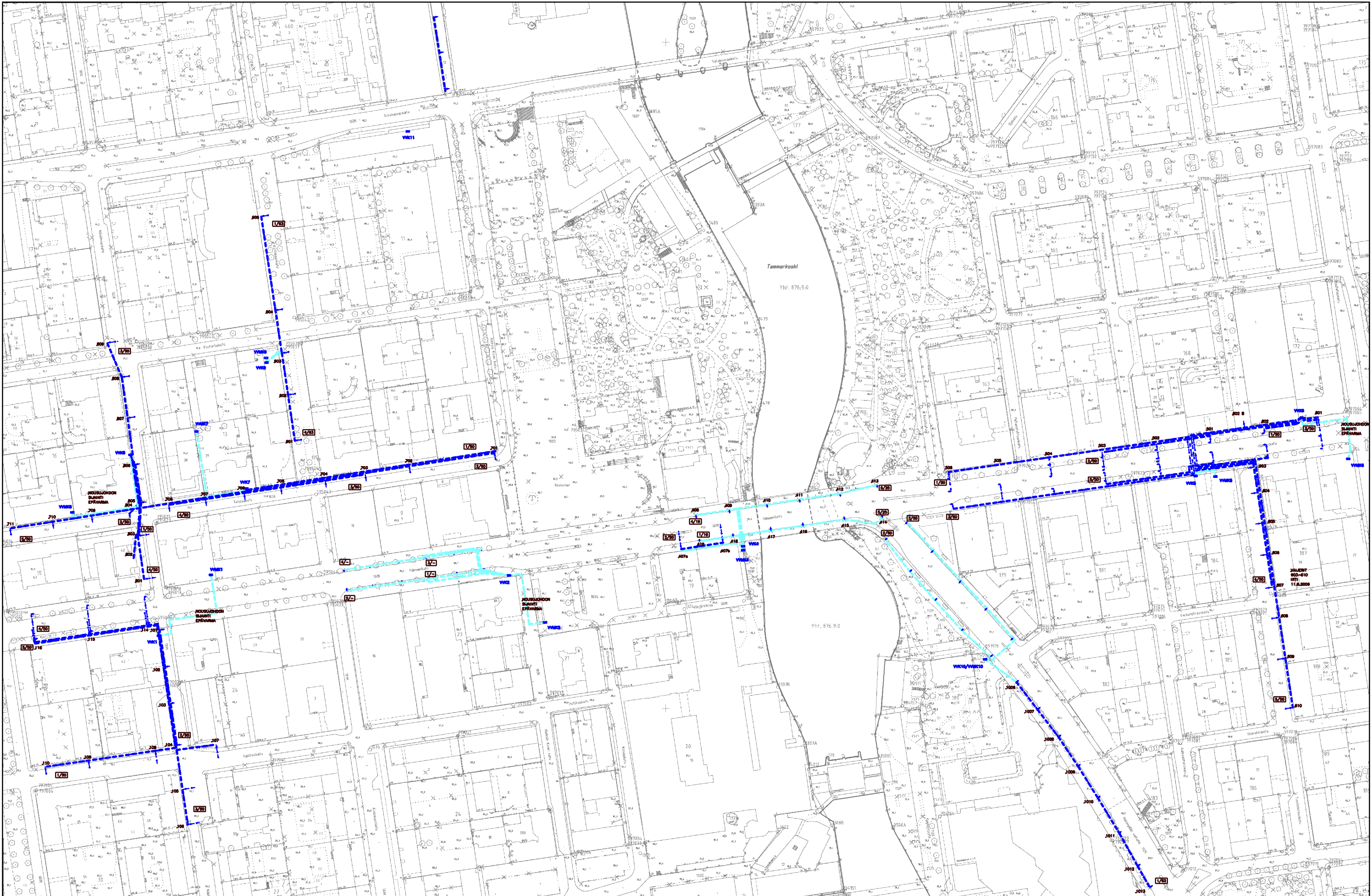
ML, MK, MK-HF, MPLM, MMJ, HHJ, MMJ-HF, FRHF, MKMJ, EKLK, EQLQ

MMO, MMO-HF, FRHF, MKMO, MCMO

MCMK, XCMK-HF, EMCMK, MCMK-O, FRHF-EMC

HXCMK, HXCHBMK

mm ²	Ω/km				
	20 °C	40 °C	60 °C	70 °C	90 °C
0,5	36,5	39,4	42,2	43,7	46,5
0,75	24,5	26,4	28,4	29,3	31,2
1	18,1	19,5	20,9	21,7	23,1
1,5	12,1	13,1	14,0	14,5	15,4
2,5	7,41	7,99	8,57	8,87	9,45
4	4,61	4,97	5,33	5,52	5,88
6	3,08	3,32	3,56	3,69	3,93
10	1,83	1,97	2,12	2,19	2,33
16	1,15	1,24	1,33	1,38	1,47
25	0,727	0,784	0,841	0,870	0,927
35	0,524	0,565	0,606	0,627	0,668
50	0,387	0,417	0,448	0,463	0,493
70	0,268	0,289	0,310	0,321	0,342
95	0,193	0,208	0,223	0,231	0,246
120	0,153	0,165	0,177	0,183	0,195
150	0,124	0,134	0,143	0,148	0,158
185	0,0991	0,107	0,115	0,119	0,126
240	0,0754	0,0813	0,0873	0,0902	0,0961
300	0,0601	0,0648	0,0695	0,0719	0,0766
400	0,0470	0,0507	0,0544	0,0562	0,0599
500	0,0366	0,0395	0,0424	0,0438	0,0467
630	0,0283	0,0305	0,0327	0,0339	0,0361
800	0,0221	0,0238	0,0256	0,0264	0,0282
1000	0,0176	0,0190	0,0204	0,0211	0,0224



Tampereen sähkölaitos
 Nimi: VALOVIKOT
 Tulostuspv: 25.04.2007 Mittakaava: 1:2500