



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

JARNO KIVIOJA

# VAASAN KESKUSTAN PIENJÄNNITE- VERKON NYKYTILA-ANALYYSI

Tekniikka ja liikenne  
2012

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jarno Kivioja
Opinnäytetyön nimi	Vaasan keskustan pienjänniteverkon nykytila-analyysi
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	52 + 2 liitettä
Ohjaaja	Timo Männistö

---

Opinnäytetyö tehtiin Vaasan Sähköverkko Oy:lle, missä sen on tarkoitus avittaa verkostosuunnittelun tehtäviä. Työn tavoitteena oli saada selville verkon nykytilanne ja onko verkossa mahdollisesti kiireellisiä saneerauskohteita.

Työvälineenä työssä oli Tekla Nis –ohjelma, minkä avulla saatiin laskettua verkon jännitteenalenema sekä verkon ja jakelumuuntajien kuormitusaste. Työssä vertailtiin myös laskettuja ja mitattuja tuloksia viemällä Fluke Memobox –mittari eräälle muuntamolle keräämään tietoa muutamaksi päiväksi. Työssä tarkasteltiin sen lisäksi jakelumuuntajien korvattavuutta niiden jakorajoissa sijaitsevilla muuntajilla.

Keskustassa on paljon saneerattavaa, mutta todellisia ongelmakohtia ei ole paljon. Muutamien muuntajien koko on jäänyt pieneksi sen ympäröivän verkon laajentumassa sekä pari kohdetta, missä jännitteenalenema on reilusti yli suunnitellun rajan. Sen lisäksi pienjänniteverkossa on paljon vanhaa kaapelia. Löydetyt ongelmakohdat huomioitiin ja ne on tarkoitus kunnostaa heti kun se on mahdollista.

## ABSTRACT

Author	Jarno Kivioja
Title	Analysis of the Current State of Low Network in the Vaasa city center
Year	2012
Language	Finnish
Pages	52 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Timo Männistö

---

The thesis was made for Vaasa Sähköverkko Oy to support network designing tasks. The aim of the thesis was to analyze the current state of low voltage network to find possible urgent improvement targets.

The Tekla Nis –software was the main tool in the thesis. It was used to calculate the voltage drops in the network and also to calculate the load level of the low voltage cables and the distribution transformers. To compare the calculated and the measured results, a Fluke Memobox –meter was taken to one substation to collect information. The replacement of the distribution transformers was also looked into.

As a result of the thesis it was found out that there are lots of improvement targets in the city center, but only a few of them are urgent. Some of the transformers are under-dimensioned for the distribution network because the surrounding network has expanded. In some places the voltage drop was bigger than the designed level. There are also lots of old distribution cables in the city center.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT KAAVAT JA LYHENTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO .....	10
2	VAASAN SÄHKÖVERKKO OY .....	11
3	VERKOSTOLASKENNAN VÄLINEET .....	13
	3.1 Tekla NIS Basic .....	13
	3.2 TEKLA-verkostolaskenta .....	13
	3.3 Fluke Memobox .....	14
	3.4 Kuntoindeksi .....	15
	3.5 Laskentaparametrit .....	15
4	VERKON SUUNNITTELUN PERUSTEET .....	19
	4.1 Jännitteenalenema .....	19
	4.2 Jakelumuuntajan kuormitus ja korvattavuus .....	20
	4.3 Pienjännitejakelujohtojen kuormitettavuus .....	23
5	LASKENNAN JA MITTAUKSEN VERTAILU .....	25
6	PIENJÄNNITEVERKON NYKYTILA-ANALYYSI.....	29
	6.1 Jakelumuuntajien nykytila .....	29
	6.1.1 Muuntamoiden kuntoindeksi .....	30
	6.1.2 Muuntajien kuormitus .....	33
	6.2 Pienjänniteverkon jännitteenalenema.....	35
	6.2.1 Jännitteenaleneman ongelmakohteita .....	36
	6.3 Korvaustarkastelut.....	40
	6.3.1 Keskustan luoteisosa.....	42
	6.3.2 Keskustan koillisosa.....	44
	6.3.3 Keskustan länsi- ja lounaisosat.....	47
7	YHTEENVETO .....	50
	LÄHDELUETTELO.....	52
	LIITTEET	

## KÄYTETYT KAAVAT JA LYHENTEET

$$U_h = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

$$u_h = \frac{U_h}{U_N} \cdot 100 \% \quad (2)$$

$$P_{max}/kW = k_1 \cdot W/GWh + k_2 \cdot \sqrt{W/GWh} \quad (3)$$

<b>VSV</b>	Vaasan Sähköverkko Oy
<b>PJ</b>	Pienjännite
<b>KJ</b>	Keskijännite
<b>GWh</b>	Gigawattituntia
<b>MWh</b>	Megawattituntia
<b>MW</b>	Megawatti
<b>kW</b>	Kilowatti
<b>W</b>	Watti
<b>U<sub>h</sub></b>	Jännitteenalenema
<b>A</b>	Ampeeri
<b>V</b>	Voltti
<b>kVA</b>	Kilovolttiampeeria
<b>I<sub>max</sub></b>	Huippuvirta
<b>U<sub>min</sub></b>	Minimijännite
<b>R</b>	Resistanssi
<b>X</b>	Reaktanssi
<b>φ</b>	Vaihekulma
<b>P<sub>max</sub></b>	Huipputeho

<b><math>k_1</math> ja <math>k_2</math></b>	Velanderin kertoimia
<b><math>^{\circ}\text{C}</math></b>	Astetta celsiusta
<b><math>S_N</math></b>	Nimellisteho
<b><math>U_N</math></b>	Nimellisjännite
<b><math>u_h</math></b>	Jännitteenalenemaprocentti
<b>PL120</b>	PLKVJ 3 x 120 + 70 kaapeli
<b>AX300</b>	AXMK 4 x 300 - kaapeli
<b>AX185</b>	AXMK 4 x 185 - kaapeli
<b>AXC185</b>	AXCMK 3 x 185 + 57 -kaapeli
<b>AP185</b>	APAKM 3 x 185 + 185 -kaapeli

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuvio 1.</b> Vaasan Sähköverkon jakeluverkko	s. 11
<b>Kuvio 2.</b> Fluke Memobox	s. 14
<b>Kuvio 3.</b> Tehonjako -laskennassa käytetyt parametrit	s. 18
<b>Kuvio 4.</b> Muuntamon 5 laskettu kuormitusvirta	s. 26
<b>Kuvio 5.</b> Muuntamon 5 mitattu kuormitusvirta	s. 27
<b>Kuvio 6.</b> Laskennan tulokset	s. 28
<b>Kuvio 7.</b> Mitattu U minimi ja I maksimi	s. 28
<b>Kuvio 8.</b> Muuntamoiden kuormitukset	s. 30
<b>Kuvio 9.</b> Muuntamon 514 PJ-keskus	s. 31
<b>Kuvio 10.</b> Muuntamon 548 KJ –keskus	s. 32
<b>Kuvio 11.</b> Muuntamon 1 KJ –keskus	s. 33
<b>Kuvio 1.</b> Uudet muuntamot	s. 34
<b>Kuvio 13.</b> Muuntamoiden 3 ja 621 verkot	s. 35
<b>Kuvio 2.</b> Keskustan jännitteenalenema	s. 36
<b>Kuvio 15.</b> Torin ympäristön jännitteenalenema	s. 37
<b>Kuvio 16.</b> Muuntamon 5 jännitteenalenema	s. 38
<b>Kuvio 17.</b> Muuntamon 514 jännitteenalenema	s. 39
<b>Kuvio 18.</b> Muuntamon 2 jännitteenalenema	s. 40
<b>Kuvio 19.</b> Keskustan aluejako	s. 41
<b>Kuvio 20.</b> Keskustan luoteisosan muuntamot	s. 42
<b>Kuvio 21.</b> Keskustan koillisosan muuntamot	s. 45
<b>Kuvio 22.</b> Kaupungin länsi- ja lounaisosa	s. 48

<b>Taulukko 1.</b> VSV:n käyttämät kuormituskäyrät.	s. 17
<b>Taulukko 2.</b> Suositellut jännitealueet ja –alenemat.	s. 20
<b>Taulukko 3.</b> Velanderin kaavan kertoimia.	s. 21
<b>Taulukko 4.</b> Jakelumuuntamon kuormitettavuus.	s. 22
<b>Taulukko 5.</b> VSV:n käyttämät muuntamoiden kuormitusprosentit.	s. 23
<b>Taulukko 6.</b> VSV:n käyttämät pj-kaapelit.	s. 25



**LIITELUETTELO****LIITE 1.** Runko- ja liittymiskaapeleiden kuormitettavuus**LIITE 2.** Keskustan jännitteenalenemakartta

## 1 JOHDANTO

Vaasan keskustan pienjänniteverkon nykytila-analyysin tarkoituksena on selvittää keskustan jakeluverkon tilanne. Työn havainnot ja löytöjen tarkoitus on auttaa verkostosuunnittelun tehtäviä, kun pystytään nopeasti näkemään missä päin keskustaa on saneeraustarpeita. Työssä ei tutkita keskijänniteverkkoa vaan keskitytään jakelumuuntajiin ja pienjännitejakeluverkkoon.

Jakelumuuntajista tarkastellaan niiden kuormitusastetta, korvattavuutta sekä niiden kuntoindeksiä. Havainnot perustuvat Tekla Nis – ohjelmassa oleviin tietoihin ja sen laskemiin tuloksiin. Ohjelman laskemia tuloksia verrattiin Fluken Memobox –mittarilla tehtyihin mittauksiin valitulta muuntamolta. Jakeluverkosta tarkastellaan jännitteenalenemia sekä kuinka se kestää kuormitusta.

Havainnoista ei tehdä tarkkoja parannussuunnitelmia, vaan pohditaan mahdollisia parannuksia. Tärkeintä on selvittää ongelma-alueet, minkä jälkeen verkostosuunnittelijoilla on helposti saatavilla tieto kohteista. Tällöin pystytään olemaan ajoissa mukana kun kaupungilla aloitetaan rakennus tai saneeraustyöt, koska keskustassa on kallista kaivaa, joten on etu jos kustannuksia saadaan jakaa.

## 2 VAASAN SÄHKÖVERKKO OY

Vaasan Sähköverkko Oy (myöhemmin VSV) on Vaasan Sähkön tytäryhtiö, jonka jakeluverkko kattaa Vaasan, Mustasaaren, Laihian, Vöyrin, Maalahden ja Korsnäsän alueet sekä osia Närpiöstä ja Jurvasta. Kuviossa 1 on esitetty VSV:n vastuualue.



**Kuvio 1.** Vaasan Sähköverkon jakeluverkko /1/

VSV vastaa alueen jakeluverkon kunnossapidosta, käytöstä ja vikapäivystyksestä, sähköverkkojen suunnittelusta ja rakennuttamisesta sekä mittauspalvelujen tuot-

tamisesta. VSV erkani Vaasan Sähkön tytäryhtiöksi vuonna 2006, jolloin haluttiin, että eri yritys vastaa sähkön myynnistä ja – jakelusta. /2/

Vuonna 2011 yhtiön liikevaihto oli 24,7 miljoonaa euroa, henkilöstöä on 29 henkilöä. Sähköä siirrettiin 952 GWh yli 63 000 asiakkaalle. Sähkön siirron huipputeho oli 217 MW. Sähköverkon pituus on 6010 km.

VSV:n toimintapolitiikka perustuu toimintaan liittyviin viranomaisvaatimuksiin sekä standardien SFS ISO 9001, SFS ISO 14001 ja OHSAS 18001 asettamiin vaatimuksiin. VSV yrittää toiminnallaan vähentää ympäristön rasiitusta olemalla käyttämättä ympäristölle haitallisia materiaaleja, säästämällä energiaa verkostohäviöissä sekä vähentämällä sähköverkon vaikutuksia ympäristöön./3/

### **3 VERKOSTOLASKENNAN VÄLINEET**

#### **3.1 Tekla NIS Basic**

Tekla NIS Basic – ohjelmalla mallinnetaan ja hallinnoidaan sähköverkkoihin ja jakelutoimintaan liittyvät keskeisimmät tiedot. Ohjelman pystyy rakentamaan omalle toiminnalleen ominaiseksi erilaisilla prosessi- ja käyttäjäryhmäkohtaisilla toimintasovelluksilla, mitkä tukevat yhtiön omaisuudenhallinnan ja sähköjakelun tehtäviä. Tällöin saadaan sähköverkolle korkealuokkainen elinkaarituki, koska pystytään parantamaan jakelun laatua sekä vähentämään häviöitä.

Ohjelmiston piiriin kuuluvat tekninen, rakentamis- ja taloudellinen suunnittelu, joita tukee monipuoliset verkostolaskentamahdollisuudet. Toimialakohtaisilla sovelluksilla pystytään myös laajasti vaikuttamaan käyttötoimintaan, kunnossapitoon sekä asiakaspalveluun, esimerkiksi automatisoiduilla asiakasviestintäratkaisuilla pystytään parantamaan asiakastytytyväisyyttä./4/

#### **3.2 TEKLA-verkostolaskenta**

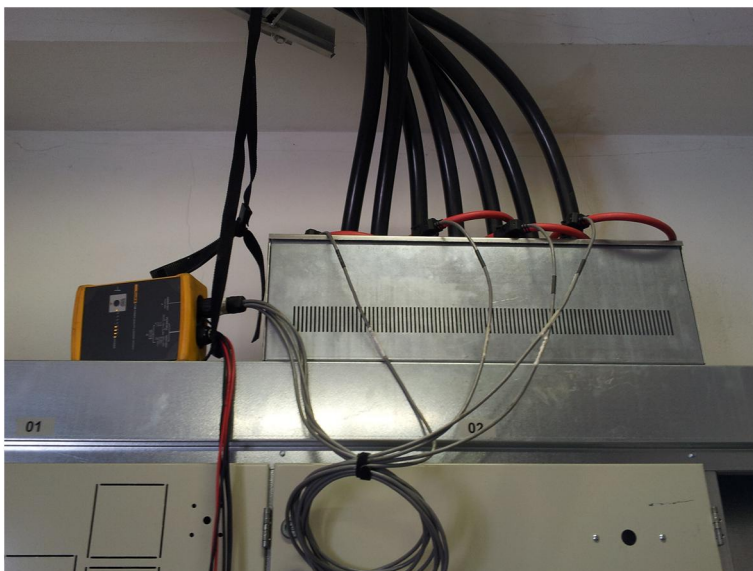
TEKLA-verkostolaskenta – sovelluksella saadaan kattavat työkalut sähköverkkojen säteis- ja rengasverkkolaskentoihin. Sovelluksen avulla verkostosuunnittelija tarkistaa nykyisen, uuden ja suunnitellun sähköverkon mitoituksen varmistaakseen, että verkko on sille asetettujen vaatimusten tasolla.

Sovelluksella pystytään laskemaan tehojakolaskenta, oikosulku- ja maasulkulaskennat sekä luotettavuuslaskelmat. Tehonjakolaskennan avulla saadaan tarkistettua onko verkon kaapelit ja muut komponentit mitoitettu oikein. Oikosulku- ja

maasulkulaskentojen avulla saadaan tarkistettua onko suojalaitteet mitoitettu oikein kaikille verkon osille suurimmalla ja pienimmällä oiko- ja maasulkuvirroilla. Luotettavuuslaskennassa vertaillaan erinäisiä vaihtoehtojen pitkäaikaiskustannuksia ja luotettavuutta, minkä pohjalta saadaan ideaali verkostorakenne./5/

### 3.3 Fluke Memobox

Fluke Memobox on 3-vaiheinen sähkölaadun tiedonkeruulaite. Sillä voidaan analysoida sähkönjakelujärjestelmän toimintaa ja verrata tuloksia laskennallisiin tuloksiin, esimerkiksi Tekla Nis -ohjelmalla laskettuihin arvoihin. Mittari kykenee keräämään tietoa samanaikaisesti jopa 500:sta eri parametrasta 85 päivän ajan, minkä jälkeen tuloksia voidaan analysoida mukana tulevalla PQ Log – ohjelmalla. Kuviossa 2 on Fluke Memobox keräämässä tietoa muuntamolla 5. /6/



**Kuvio 2.** Fluke Memobox

### 3.4 Kuntoindeksi

VSV on jakanut kuntoindeksin 3:een eri ryhmään: 1 uusi tai uutta vastaava, 2 vanha hyväkuntoinen ja 3 uusintatarpeessa. Kuntoindeksin tarkoituksena on antaa lisätietoa aluesuunnittelulle mahdollisista komponenteista, jotka ovat uusintatarpeessa. Tämä ei kuitenkaan indikoi sitä, tuleeko laite vaihtaa heti. Esimerkiksi luokkaan 3 merkitty muuntamo voi kunnossapitomielessä olla määriteltynä ”ei toimenpiteitä”. Tämä tarkoittaa sen pysyvän toimintakunnossa vähintään 6 vuotta. Siellä voi siis olla esimerkiksi jotain vanhentunutta, mutta toimivaa tekniikka, joka tulisi vaihtaa mahdollisuuksien mukaan. /7

### 3.5 Laskentaparametrit

Tehonjakolaskenta perustuu Suomen Sähkölaitosyhdistyksen SLYIND2004 - tyyppikäyräkirjaston tietoihin sekä osaltaan mittareilta saatuihin tietoihin. Taulukossa 1 on esitetty VSV:n käyttämät kuormituskäyrät. # -merkki käyrän edessä tarkoittaa kyseisen käyrän olevan pois käytöstä. Huomioitavaa on myös se, että käyttöpaikoille, joille kuormituskäyräksi on määritely 612 rivi- tai kerrostaloasunto, sähkökiuas käytetään tällä hetkellä laskennassa käyrää 611 rivi- tai kerrostaloasunto. Tämä johtuu siitä, että kuormituskäyrän 612 on havaittu antavan liian suuria huippuarvoja laskennassa.

Pienjänniteverkossa väärin valittu kuormituskäyrä voi aiheuttaa paikoin suuriakin virheitä. Myös oikein valittu kuormituskäyrä voi aiheuttaa virheitä, koska esimerkiksi kulutuspiiste: tavaratalot ja marketit pitää sisällään suuren määrän erilaisia kuormituksia, joiden kuormitusprofiilit voivat poiketa paljonkin keskimääräisestä kuormituskäyrästä.

Laskennassa hyödynnetään tällä hetkellä tuntimittaustietoja niiltä paikoilta joihin on merkitty yli 63 A sulake (joiltakin puuttuu nämä merkinnät). Tuntimittaustiedot on saatavissa kaikilta käyttöpaikoilta, mutta tietojen siirtäminen ja käsitteleminen kaikkien käyttöpaikkojen osalta olisi melko hidasta. Tulevaisuudessa on tarkoitus hyödyntää tuntimittaustietoja kaikilta käyttöpaikoilta. /8/

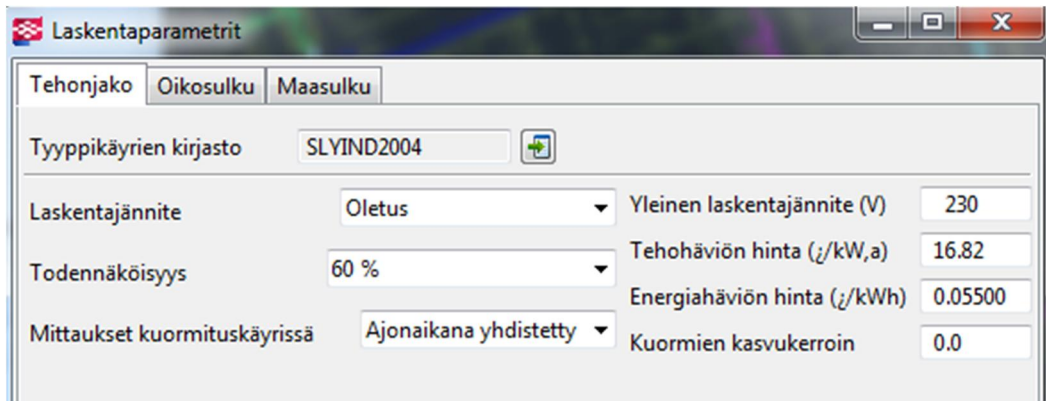


**Taulukko 1.** VSV:n käyttämät kuormituskäyrät.

110	000110	omakotitalo, sähkölämmitys
120	000120	omakotitalo, sähköläm. käyttövesivaraaja
130	000130	#omakotit.,suora sähköläm.,lattialäm.
210	000210	#omakotit.,os.var.sähköläm.,lyh.sulk.
220	000220	#omakotit.,os.var.sähköläm.,pitk.sulk.
300	000300	omakotitalo, varaava sähkölämmitys
400	000400	omakotit.,lämpöpumppuläm.
510	000510	omakotitalo, kaksoislämmitys, 1-tariffi
520	000520	omakotitalo, kaksoislämmitys, 2-tariffi
530	000530	#omakotit.,kaksoisläm.,v.aika-tarif.
601	000601	omakotitalo, ei sähkölämmitystä
602	000602	omakotitalo, ei sähköläm., sähkökiuas
611	000611	rivi- tai kerrostaloasunto
612	000611	rivi- tai kerrostaloasunto
711	000711	karja- ja maitotalous
712	000712	#karjatalous,asum. mukana
713	000713	#karjatalous,asum.,sähkök.
714	000714	karja- ja maitotalous, asuminen mukana
721	000721	lihantuotanto ja turkistarhaus
722	000722	#lihantuotanto,asum. Mukana
732	000732	kasvituotanto
733	000733	#kasvituotanto,asum.,sähkök.
735	000735	kasvihuone
1010	001010	rivi- tai kerrostalokiinteistö
1020	001020	rivi- tai kerrostalokiinteistö + asunnot
1030	001030	rivi- tai kerrostaloasunto, sähköläm.
1120	001120	loma-asunto
810430	810430	1-vuoro tekstiiliteollisuus
810440	810440	1-vuoro puutavaran valmistus
810452	810452	1-vuoro painotalot
810460	810460	1-vuoro kemianteollisuus
810480	810480	1-vuoro metalliteollisuus
820420	820420	2-vuoro elintarviketeollisuus
820430	820430	2-vuoro tekstiiliteollisuus
820460	820460	2-vuoro kemianteollisuus
820480	820480	2-vuoro metalliteollisuus
830400	830400	3-vuoro teollisuus
910810	910810	virastot ja konttorit
910820	910820	koulut ja päiväkodit
910821	910821	suuret oppilaitokset
910830	910830	sairaalat ja terveydenhoito
920610	920610	tukkukauppa, varasto, kuljetusliike
920622	920622	tavaratalot ja marketit
920623	920623	vähittäiskauppa
920630	920630	#automyynti ja huoltamotoim.
920631	920631	huoltoasemat
920632	920632	autokaupat
920640	920640	hotellit ja majoituspaikat
920650	920650	ravintolat ja kahvilat
920660	920660	#rahalaitokset ja vakuutustoim.
920670	920670	vapaa-ajan palvelut

Kuviossa 3 on esitetty tehonjakolaskennassa käytetyt parametrit. VSV käyttää todennäköisyytenä 60 % mikä tarkoittaa, että lasketuista muuntajien huippukuormista 60 % jää laskettua pienemmäksi. Monet sähköyhtiöt käyttävät arvoa 85 %. Ajonaikana yhdistetty tarkoittaa, että laskentaan käytetään mittaritietoja kuormi-

tuskäyriin mikäli tiedot ovat saatavissa. Laskentajännite 230 V on hieman vähemmän kuin jännite muuntamoilla yleisesti.



The screenshot shows a software window titled "Laskentaparametrit" with three tabs: "Tehonjako", "Oikosulku", and "Maasulku". The "Tehonjako" tab is active. Below the tabs, there is a text field for "Tyypikäyrien kirjasto" containing "SLYIND2004" and a small icon. The main area contains several parameter settings:

Laskentajännite	Oletus	Yleinen laskentajännite (V)	230
Todennäköisyys	60 %	Tehohäviön hinta (€/kW,a)	16.82
Mittaukset kuormituskäyrissä	Ajonaikana yhdistetty	Energiahäviön hinta (€/kWh)	0.05500
		Kuormien kasvukerroin	0.0

**Kuvio 3.** Tehonjako-laskennassa käytettävät parametrit

## 4 VERKON SUUNNITTELUN PERUSTEET

### 4.1 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema  $U_h$  voidaan laskea käsinlaskennassa kaavion 1 esittämällä likimääräisyhtälöllä, kun tiedetään vaikuttava virta  $I$ , verkon resistanssi  $R$ , reaktanssi  $X$  ja vaihekulma  $\varphi$ . Tämä soveltuu tavanomaisten kuormitusilanteiden laskemiseen, mutta ei esimerkiksi vikatapausten tutkimiseen. Kaaviossa 2 lasketaan jännitteenalenemalle prosenttiarvo. /9/

$$U_h = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

$$u_h = \frac{U_h}{U_N} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuuksia käsittelevä SFS-EN 50160 standardi määrittelee, että jännitteenvaihtelun tulisi pysyä normaalitilassa  $\pm 10 \%$ . Standardin mukaan loppukäyttäjien laitteiden tulisi sietää jännitettä, joka vaihtelee edellä mainitulla välillä. Sen pitäisi kattaa valtaosa verkon olosuhteista. Sähkömarkkinalaki asettaa standardin rajat minimitasoksi sähköntoimitukseen, mikä on täytyttävä tai asiakkaalla on oikeus lain edellyttämään korvaukseen. Taulukossa 2 on esitetty SA2:08 antamia suosituksia jännitevaihtelulle. VSV käyttää näitä arvoja sillä lisäyksellä, että suunniteltava laatu on 6 %. Pienjänniteverkossa ilmenevissä jännitteenalenemissa tulee huomioida myös keskijänniteverkko, koska jos jossain verkonosassa tavoitearvo ylitetään, tulee kokonaisalenema tarkistaa sähköasemalta kuluttajalle saakka./10//11/

**Taulukko 2.** Suositellut jännitealueet ja –alenemat./11/

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jänniteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Keskijänniteverkko	19 kV	22 kV	± 4 %	± 10 %	95 % ± 10 %
Pienjännitejakelu Muuntamo <sup>1)</sup>	196 V 220V	253 V 253V	± 4 %	± 10 % 1-2 %	+10 -15 % 2-4 %
Pienjänniterunkoverkko	210V	253V		3-5 %	3-7 %
Liittymisjohto <sup>2)</sup>	207V	253V		1-3 %	1-5 %
Sisäjohtoverkko	198V	253V			

<sup>1)</sup> Jännitetasoa voidaan säätää, jos käytettävissä on väliottokytin.

<sup>2)</sup> Liittymisjohto kuluttajan liittämiskohtaan saakka

## 4.2 Jakelumuuntajan kuormitus ja korvattavuus

Jakelumuuntaja on kallis laite verkon solmukohdassa, joten se tulee hyödyntää kustannustehokkaasti. Tällöin muuntajalle saadaan pitkä käyttöikä ja hyvä vaste investoinnille.

Muuntajalle voidaan arvioida huippukuorma kaaviossa 3 esitetyn Velanderin kaavan mukaisesti. Laskentatuloksena  $P_{max}$  on huipputeho kilowatteina kW,  $k_1$  ja  $k_2$  ovat Velanderin kertoimet ja  $W$  on vuosienergia megawattitunteina MWh. Taulukossa 3 on esitetty joitain Velanderin kertoimia. /9/

$$P_{max}/kW = k_1 \cdot W/GWh + k_2 \cdot \sqrt{W/GWh} \quad (3)$$

**Taulukko 3.** Velanderin kaavan kertoimia. /9/

Sähkökäyttäjryhmä	k1	k2
Kotitalous	0,29	2,50
Sähkölämmitys	0,22	0,90
Palvelu	0,25	1,90

Öljyeristeiset jakelumuuntajat suunnitellaan siten, että nimelliskuormalla ja ympäristön lämpötilan ollessa +20 °C on muuntajan käämityksen kuumin kohta noin +98 °C. Jäähdytysaineena olevan öljyn lämpötila on tällöin noin +70 – +75 °C muuntajan yläosissa. Kun muuntajaa kuormitetaan jatkuvasti tällä tavoin, katsotaan muuntajan vanhenevan normaalilla nopeudella ja sen katsotaan saavuttavan käyttöikänsä. Jakelumuuntajan käyttöikä riippuu yleensä eristeiden jännitelujuudesta, ja niiden kulumista kutsutaankin muuntajan vanhenemiseksi. Käytännössä muuntajan kuorma ei kuitenkaan ole aina nimellinen vaan se vaihtelee, jolloin pienen kuorman aikana voidaan katsoa eristeiden vanhenemisen olevan hitaampaa. Tällöin muuntajaa voidaan kuormittaa suuren kuorman aikoihin yli nimelliskuorman eristysten vanhenemisen silti pysyessä normaalina. Käämin lämpötila ei kuitenkaan saa nousta yli +140 °C, koska silloin alkaa paperieristyksessä muodostua kaasukuplia, jotka vähentävät huomattavasti eristysrakenteen jännitelujuutta. Tästä muodostuu yläraja suositeltavalle muuntajan hetkelliselle ylikuormitukselle, jolloin muuntajan kuormitussuhde on  $1,5 \times S_N$ .

Jakelumuuntajalle voidaan myös määrittää hätäkuormitettavuus jolloin eristeiden vanhenemisnopeus on normaalia suurempaa. Muuntajan käämin kuumimman pisteen lämpötila ei tällöinkään saa ylittää +140 °C eikä öljynrajapinnan lämpötila +115 °C.

Taulukossa 4 on esitetty SA2:08 asettamia verkostosuosituksia jakelumuuntamoiden kuormitettavuuteen. Taulukossa oleva kuormitettavuuskerroin on suhteessa nimellistehoon. Esitetyt arvot pätevät, kun kuormituksen huippu osuu talveen ja

puisto- sekä kiinteistömuuntamoiden ilmastointi on mitoitettu huippukuormituksia vastaavaksi. /11/

**Taulukko 4.** Jakelumuuntamon kuormitettavuus. /11/

Muuntopiiri	Muuntamotyyppi		
	Pylväsmmo	Puistommo	Kiinteistömmo
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,5	1,4	1,2
Keskusta- alue	1,4	1,3	1,0
Teollisuusalue	1,4	1,3	1,0
Maaseutualue	1,5	1,4	1,2

VSV käyttää pääasiassa taulukossa 4 esitettyjä arvoja. Keskusta-alueelle on muutamille muuntamotyyppille määritelty tarkemmat kuormitusarvot. Taulukossa 5 on esitetty VSV:n asettamat kuormitusrajat eri muuntamotyypeille. Taulukossa 5 on tuotu esille myös muuntamotyypeille suunniteltu kuormitettavuus, mikä on 60 % muuntamon maksimikuormitusprosentista. Nämä arvot pätevät vain silmukoidulla PJ – verkkoalueella. Korvaustilanteessa sallitaan muuntamokohtainen maksimi kuormitusprosentti. Käytössä olevien jakelumuuntajien skaala on 50 – 1000 kVA, mutta keskusta-alueella on vain 500, 800 ja 1000 kVA muuntajia.

**Taulukko 5.** VSV:n käyttämät muuntamoiden kuormitusprosentit. /7/

Muuntamotyyppi	Maksimi kuormitusprosentti(%)	Suunniteltu Kuormitettavuus(%)
Betoni	120	72
Kiinteistö	100	60
Peltikioski	130	78
Pylväs	140	84
Satelliitti	130	78
Tiilikioski	120	72
Tiilitorini	120	72

Keskusta- ja taajama-alueiden pienjänniteverkko rakennetaan pääosin silmu- koiduksi, mutta verkkoja käytetään aina säteittäisesti. Ainoastaan jakorajamuutok- sia tehdessä verkkoa käytetään renkaassa. Taajama-alueiden ulkopuolella vikati- lanteissa joudutaan useimmiten käyttämään siirrettävää generaattoria, koska verk- ko on rakennettu säteisverkoksi.

Korvaustilanteessa muuntajille sallitaan niiden maksimi kuormitusaste nimelliste- hon suhteen, kuten taulukossa 5 on esitetty. Kaapeleille sallitaan 100 % kuormi- tus. Korvaustilanteessa jännitteenaleneman  $u_h$  raja-arvo on 15 %.

### 4.3 Pienjännitejakelujohtojen kuormitettavuus

SFS 6000 antaa kuormitettavuudelle perusteet, joissa määritellään, että kaapelin tulee kestää jatkuvaa 100 % kuormitusta kyseessä olevassa asennusolosuhteessa. Pienjänniteverkon kaapelit voidaan jakaa runkokaapeleihin ja liittymiskaapelei- hin. /12/

Runkokaapelilla tarkoitetaan maakaapelia, joka lähtee verkon jakelumuuntamosta ja syöttää alueen jakokaappeja ja jatkuu mahdollisesti jakokaapilta toiselle ja päättyy johonkin näistä. Runkokaapeli päättyy yleensä muuntamon jakorajalle ja korvaustilanteita huomioiden tulisi sen kestää normaalitilanteita suurempia kuormia. Sitä ei liitetä kuluttajan pääsulakkeisiin. Kaapeleita mitoittaessa pyritään samaan lopputulokseen kuin muuntajilla eli vanhenemisnopeus tulisi pitää normaalina. Kuormitettavuus riippuu yleensä muuntamo- ja maa-asennuksen olosuhteista. Lisäksi kuormituskäyrän muoto vaikuttaa kuormitettavuuteen, sillä sen huomioiminen lisää kuormitettavuutta keskimäärin noin 20 %. Liitteessä 1 on taulukko runko- ja liittymiskaapeleiden kuormitettavuudesta.

Liittymiskaapelilla tarkoitetaan maakaapelia, joka lähtee verkon jakelumuuntamosta, jakokaapista tai ilmajohdon pylväältä ja syöttää kuluttajan pääsulakkeita päättyen siihen. Liittymiskaapeli kulkee yleensä sekä maa-asennuksessa että lopuksi kuluttajan kiinteistön sisällä, mikä määrää kaapelin kuormitettavuuden. /11/

Taulukossa 6 on esitetty, mitä kaapeleita VSV käyttää pienjännitteen runko- ja liittymiskaapeleina. Taulukossa näkyvät virtarajat tarkoittavat keskiarvohuippuvirtoja. Runkoverkko pyritään rakentamaan keskusta-alueella kaksinkertaisella AXMK 4 x 300 –kaapelilla, koska keskustassa kaapelin kaivaminen on kallista. Tällöin on parempi valita pari pykälää isompi kaapeli kuin on tarpeen, jolloin saadaan energiahäviökustannukset pienemmiksi. Taulukossa 6 on esitetty, että kyseisen kaapelin taloudellinen käyttöalue, kun huomioidaan kaapelin hinta ja häviöiden aiheuttamat kustannukset, on 130 ampeerista eteenpäin. Yleisesti ottaen kaksinkertainen AXMK 4 x 185 mm<sup>2</sup> –kaapeli olisi riittävä, sillä keskustan jakokaap-pien mitoitusvirta on 630 A, mutta 300 mm<sup>2</sup> –kaapelilla on pienemmät häviöt sekä se on parempi korvaustilanteissa. Keskustan verkossa on huomioitava, että energiamarkkinavirastolle raportoinnissa käytettävän pitoajan täyttyminen ei it-sessään tee jotain komponenttia vanhentuneeksi tai uusittavaksi. Esimerkiksi PJ –kaapelin pitoajaksi on valittu 35 vuotta, mutta kestoikä saattaa olla pitkälti yli 40



vuotta. Ikääntymisen sijaan keskusta-alueella investointitarpeen muodostaa usein kuormien kasvun seurauksena tulevat sähkötekniset syyt.

**Taulukko 6.** VSV:n käyttämät pj-kaapelit. /7/

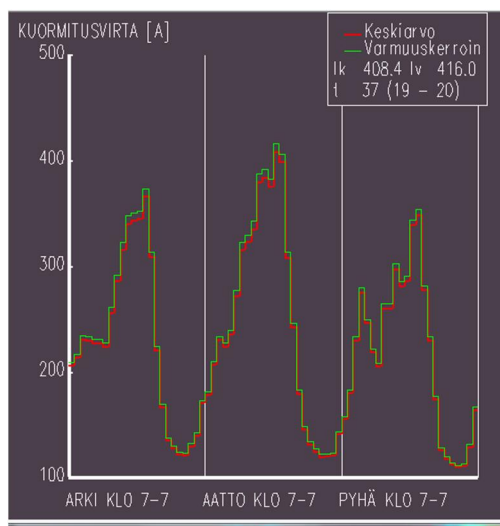
Käytettävät pj-kaapelit	Koko, mm <sup>2</sup>	Taloudelliset käyttöalueet (noin)
AXMK tai AXMK-PLUS 4 x 25	25	...35 A
AXMK tai AXMK-PLUS 4 x 50	50	35... 55 A
AXMK tai AXMK-PLUS 4 x 95	95	55... 70 A
AXMK tai AXMK-PLUS 4 x 185	185	70... 130 A
AXMK tai AXMK-PLUS 4 x 300	300	130 A...

## 5 LASKENNAN JA MITTAUKSEN VERTAILU

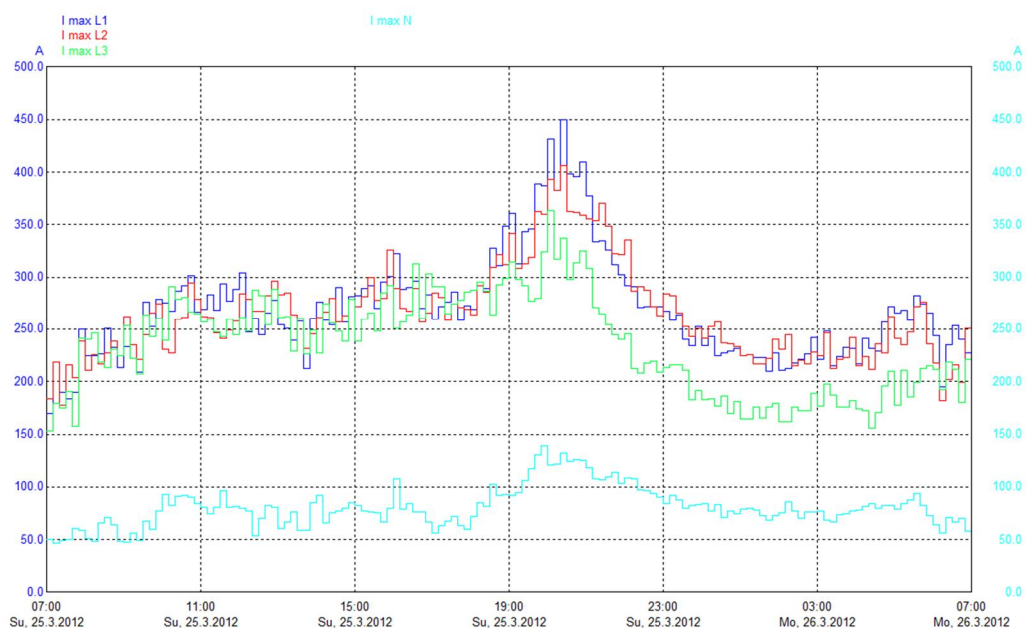
Työssä haluttiin tarkastella verkostolaskennan tuloksia todellisiin mitattuihin arvoihin, jotta saataisiin suuntaavaa tietoa laskennan tulosten oikeellisuuteen. Kohteeksi valittiin Tiilitehtaankujalla sijaitseva muuntamo 5. Fluken Memobox asetettiin keräämään tietoa 23.3. klo 09.50 – 27.3.12 klo 08.30 aikaväliltä. Tuloksia verrattiin samalta aika väliltä laskettuihin Tekla Nis – ohjelman tuloksiin. Laskentatulokset perustavat SLYIND2004 – tyyppikäyräkirjaston tietoihin.

Kuviossa 4 on laskettu kuormituskäyrä muuntamolle 5 erilaisille päivätyypeille. Pyhäpäivän laskettua arvoa voidaan verrata kuviossa 5 esitettyyn mitattuun arvoon muuntamolta pyhäpäivältä. Niistä huomataan, että tyyppikäyrästäihin perustuva kuormituslaskenta pitää tässä aika hyvin paikkansa, poikkeuksena aamun ja aamupäivän kuormitushuiput, jotka on laskettu hieman yläkanttiin. Tuloksien paikkaansa pitävyyteen vaikuttaa kulutuspisteiden samankaltaisuus. Muuntamon

alueella on lähinnä kerrostaloja ja alueella on kaukolämpö, jolloin sähkölämmitys ei sekoita tyyppikäyrästäjä.



**Kuvio 4.** Muuntamon 5 laskettu kuormitusvirta



**Kuvio 5.** Muuntamon 5 mitattu kuormitusvirta

Kuvioissa 6 on esitetty laskennan tulokset ja kuviossa 7 on mitatut  $U$  minimi ja  $I$  maksimi. Muuntamolle 5 on laskettu maksimi virraksi  $I_{\max} = 486$  A ja mittaamalla on saatu  $I_{\max} = 472$  A. On hyvä, että laskennan tulokset ovat suurempia kuin todelliset arvot. Laskentajännite on 230 V ja mitatuista arvoista nähdään jännitteen normaalisti olevan hieman suurempi. Laskettu  $U_{\min}$  on 225 V ja mitattu  $U_{\min}$  on noin 230 V, minkä lisäksi mittaustuloksessa ilmeni yksittäisellä vaiheella 224 V jännitekuoppa tuntemattomasta syystä.

Mittaustulokset ovat aika lähellä laskennallisia tuloksia. Tässä mittauksessa oli vahvuutena kulutuspuisteiden samankaltaisuus eikä lämmitystä ole toteutettu sähköllä. Jos alueella olisi esimerkiksi jokin iso marketti, sekoittaisi se mittauksia. Jos vertaillaan Anttilan ja Citymarketin kulutusta, mitkä ovat samaa tyyppikäyrästä, niin ovat kuormitukset vaikeasti laskettavissa luotettavasti.

P J - T E H O N J A K O L A S K E N T A - A I K A V Ä L I

M U U N T A M O : 5  
N I M I : SANDVIKSGATAN 13  
Muuntaja: 5063907  
Muuntamon osoite: SANDVIKSGATAN 13  
Muuntamon rakenne: Ei määritelty  
Valmistuspäivämäärä:  
Muuntajan valmistaja: ABB STRÖMBERG  
Muuntajan mitoitusaste (kVA): 500  
Muuntajan valmistusvuosi: 1969  
Välitötkytimen asento: 50 0 tai 3 (keskiasento)  
Tähtipisteen maadoittamistapa: Suoraan maadoitettu  
Muuntajan tyhjäkäyntiteho (kw) ja -energia (kwh): 0.820 79

KIRJASTO : SLYIND2004  
TILASTOLLINEN VARMUUS : 60 % (0.254)  
KUORMITUKSEN KASVUKERROIN : 1.00  
VAKIOLASKENTAJÄNNITE (V) : 230  
PÄIVÄTYYPPI : Kalenterin mukaan  
ENSIMMÄINEN LASKETTU TUNTI : 23.3.2011 9:00  
VIIMEINEN LASKETTU TUNTI : 27.3.2011 8:00  
KUORMITUSKÄYRÄ : Indeksisarjat

Y H T E E N V E T O (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (V)	Uh (%)	Ph (kw)	Eh (kwh)	K(Ph) (ε)	K(Eh) (ε)	K(yht) (ε)
1 -	2 5063907	66	225.0	2.2	3.103	148	0	8	8
verkko		53	217.3	5.5	4.520	137	0	8	8

T U L O K S E T P J - L Ä H D Ö I L L E (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Jakokeskus/ Rinn.lähtö	Sulake (A)	Imax (A)	Pmax (kw)	Kul 1km (Mwh)	Energia (Mwh)	A (%)	B (%)	C (%)
5063907			486	282	378	1204.4				5.5
11	AUTONL.+PIHAVALO	P5	160	21	12	1	31.5			
12	KATUVALO	P5	80	39	24	1	99.3			
13	K2469	P5	250	103	60	150	514.4			5.5
14	K2469	13	0	103	60	150	514.4			5.5
2	KAUPPAPUISTIKKO 44	P5	200	25	14	28	53.6			
3	RAASTUVANKATU 61	P5	315	46	26	27	98.7			
4	HIETALAHDENKATU 13 B	P5	160	15	9	26	36.6			
5	RAASTUVANKATU 63	P5	125	45	26	31	89.9			
6	K84	P5	250	15	9	27	64.4			
7	K84	6	0	15	8	27	64.4			
8	KAUPPAPUISTIKKO 48 A B	P5	160	71	41	58	152.3			
9	KAUPPAPUISTIKKO 50	P5	160	28	16	29	63.6			

LIIAN SUURI JÄNNITTEENALENEMA VERKOSSA (sarake C), LÄHTÖ: 13

Kuvio 6. Laskennan tulokset



Kuvio 7. Mitattu U minimi ja I maksimi

## 6 PIENJÄNNITEVERKON NYKYTILA-ANALYYSI

### 6.1 Jakelumuuntajien nykytila

Jakelumuuntajien kuormitukset ovat hyvällä tasolla torin ympäristöstä Kauppuistikon suuntaan sekä kirjastolle päin. Kuormitukset pysyvät kurissa, koska muuntajia on hyvin tiheästi sekä muuntajat ovat pääosin 800 kVA:n tehoisia. Keskustan reuna-alueilla, eli Kirkkopuistikko-Rantakatu-akselilla, muuntajien kuormitus on suurempaa. Tähän syynä on se, että muuntamoita on harvemmassa ja niiden verkot ovat kasvaneet.

Nykytila-analyysissä tarkasteltiin myös muuntamoiden kuntoindeksiä, joka puuttuu vielä monelta muuntamolta. Keskustassa on muutama muuntamo, jotka on määritelty kunnostettavaksi, vanhan tekniikkansa vuoksi, lisäksi usealle muuntajalle on määritelty vaihtovaikeudeksi erittäin haastava. Monet kiinteistömuuntamot sijaitsevat vanhoissa rakennuksissa ahtaiden käytävien päässä.

Kuviossa 8 on esitetty muuntamoiden kuormitus. Kuormitusasteet on merkitty eri väreillä, vihreä on alle 60 %, sininen 60 – 80 %, keltainen 80 – 100 % ja punainen on yli 100 %. Kuvioon ei ole eritelty muuntamotyypikohtaisesti kuormitusrajoja.



**Kuvio 8. Muuntamoiden kuormitukset**

### 6.1.1 Muuntamoiden kuntoindeksi

Muuntamot 10, 31, 514 ja 548 on merkitty kuntoindeksin mukaan kunnostettavaksi. Muuntajat ovat kunnossa, mutta niiden KJ- ja PJ- kesukset ovat vanhoja ja avoimia, lukuun ottamatta muuntamo 548, jossa PJ –keskus on jo uusittu. Kuntoindeksi ei kuitenkaan määrittele, että nämä tulisi kiireellisesti korjata, koska ne

ovat toimivia. Tulee kuitenkin huomioida, että mahdollisesti kun kohteita saneerataan, on hyvä vaihtaa samalla keskuskeskukset uusiksi.

Kuviossa 9 on esitetty muuntamon 514 PJ –keskus. Keskus on avonainen ja vieheen on tehty jälkeempään PJ –keskus lisälähdölle. Lisäykseen on käytetty nykyiset turvallisuuskriteerit täyttävää PJ –keskusta. Muuntamon runkoverkko on myös vanhaa ja se tulisi uusiksi. Tällöin lähtevien kaapeleiden poikkipinta-ala kaksinkertaistuisi, jos käytetään kaksinkertaista AX300 –kaapelia, jolloin nykyinen PJ –keskus jäisi liian pieneksi.



**Kuvio 9.** Muuntamon 514 PJ-keskus

Kuviossa 10 on muuntamon 548 avoin KJ –keskus ja vertailun vuoksi kuviossa 11 on esitetty nykyaikainen SF<sub>6</sub> KJ –keskus, mikä mahtuu huomattavasti pienempään tilaan. Kohteista, missä KJ –puolella on vaihtotarpeita, tulee ensiksi kartoittaa

millaisia erottimia on käytössä. KJ –keskuksessa on tärkeää, että kojeistolla pystytään erottamaan kuorma. Erotintyyppit tulee dokumentoida tulevaisuudessa tarkemmin ja sen pohjalta priorisoida vaihtojärjestys.



**Kuvio 10.** Muuntamon 548 KJ –keskus





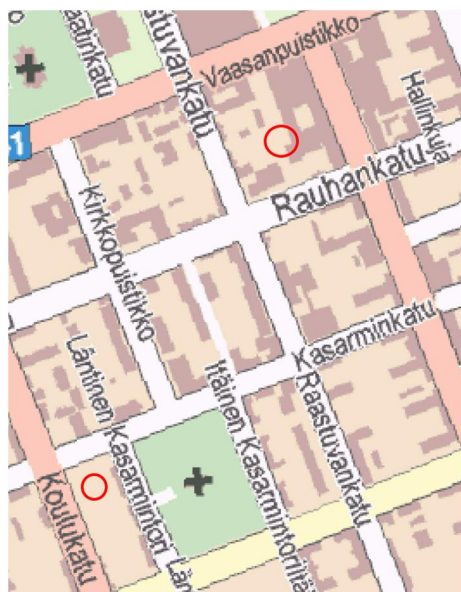
**Kuvio 11.** Muuntamon 1 KJ –keskus

### 6.1.2 Muuntajien kuormitus

Keskustassa on alueita, missä muuntamoiden kuormat ovat nousseet korkeiksi, niiden ympäröivän verkon laajentuessa ja energiankulutuksen lisääntyessä. Muuntajat eivät ole ylikuormassa, mutta reilusti yli suunnitellun rajan, ja kun tulevaisuudessa energiankulutus ja kuormitushuiput kasvavat, jäävät muuntajat pieniksi. On myös alueita, missä muuntajan vaihto suuremmaksi ei riitä, vaan tarvitaan uusi muuntamo jakamaan muuntajien kuormitusta alueella.

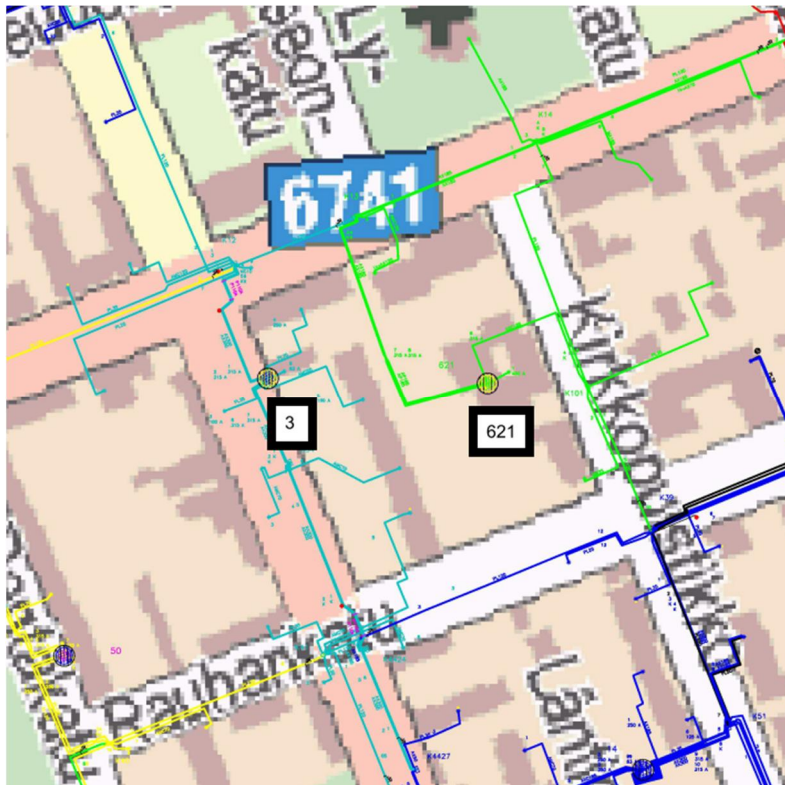
Tällä hetkellä keskustaan on tulossa 2 uutta muuntamo, joiden sijainti on karkeasti arvioitu kuvioon 12. Varsinkin Koulukadulle tuleva muuntamo tulee tarpeeseen, koska Kasarmintorin kupeessa sijaitsevalla muuntamolla 14 on suuri verkko, minkä lisäksi Korsholmanpuistikolla oleva kiinteistömuuntamo 15 on melkein 90

% kuormassa. Uuden muuntamon alueella verkko voidaan jakaa useamman muuntamon kesken.



**Kuvio 3.** Uudet muuntamot

Kirkkopuistikko Rantakatu – akselilla sijaitsevat muuntamot, jotka ovat 60 – 100 % kuormituksessa, ovat 500 kVA:n tehoisia kiinteistömuuntamoita. Muuntamot on siis yli suunnitellun 60 %, esimerkkinä muuntamot 3 ja 621. Kuviossa 13 on esitetty muuntamon 621 verkko vihreällä värillä ja muuntamon 3 verkko turkoosilla. Muuntamon käyttöönottovuosi on 1979 ja sen kulutuspisteinä on muun muassa hammaslääkäri, koulu sekä kaupungin virastoja. Energiankulutuksen voidaan olettaa kasvaneen roimasti vuosien saatossa ja nyt muuntaja on jo 98 % kuormassa. Muuntamo 3 on uusittu 90-luvun alussa, mutta sen muuntaja on vuodelta 1974. Se on tällä hetkellä 89 % kuormituksessa. Vaihtamalla 800 kVA muuntajat, saadaan muuntajien kuormitusasteet hyvälle tasolle.



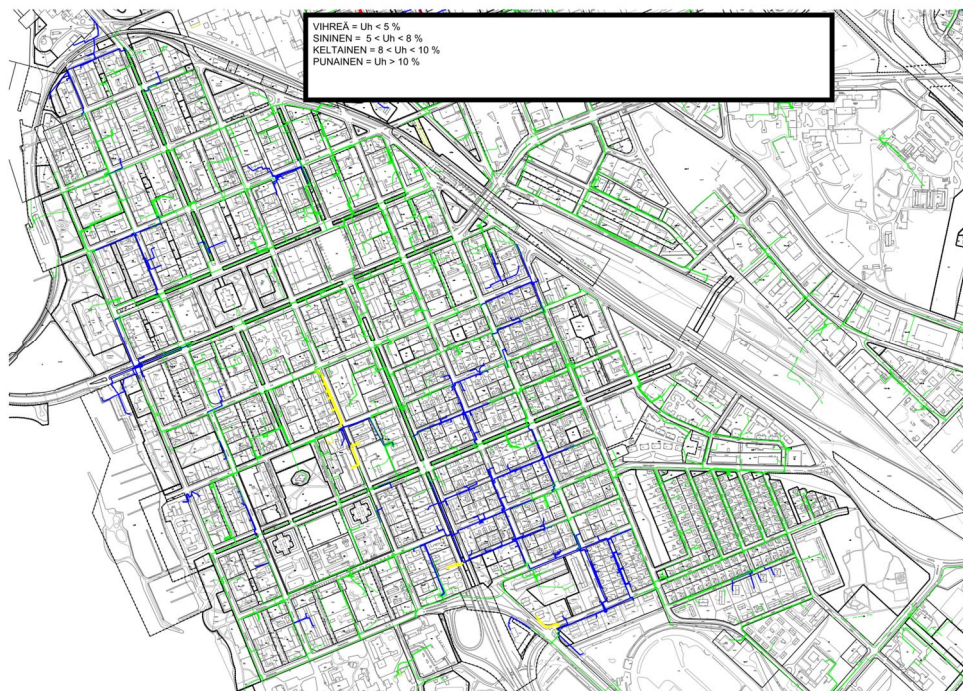
**Kuvio 13.** Muuntamoiden 3 ja 621 verkot

Kiinteistömuuntamoita on yleisesti vaikea uusida, koska niiden muuntajia on vaikea vaihtaa, varsinkin vanhempia. Ne on merkitty tietokantaan vaihtovaikeus: erittäin hankala. Vaikka muuntamoiden tilat eivät olekaan yleensä ahtaita, reitit muuntamotilaan ovat hankalia.

## 6.2 Pienjänniteverkon jännitteenalenema

Kappaleessa 4.1 määriteltiin verkon jännitteenalenemalle rajat. Jännitteenalenema-analysissä tuodaan esille esimerkkejä keskustan jakeluverkoston muuntopiireistä, missä on ongelmia jännitteenaleneman kanssa. Kuvioissa 14 on

esitetty kaapeleiden jännitteenalenema  $u_h$  eri väreillä, missä vihreä on alle 5 %, sininen 5-8 %, keltainen 8-10 % ja punainen yli 10 %. Kuva on suurempana liitteessä 2.

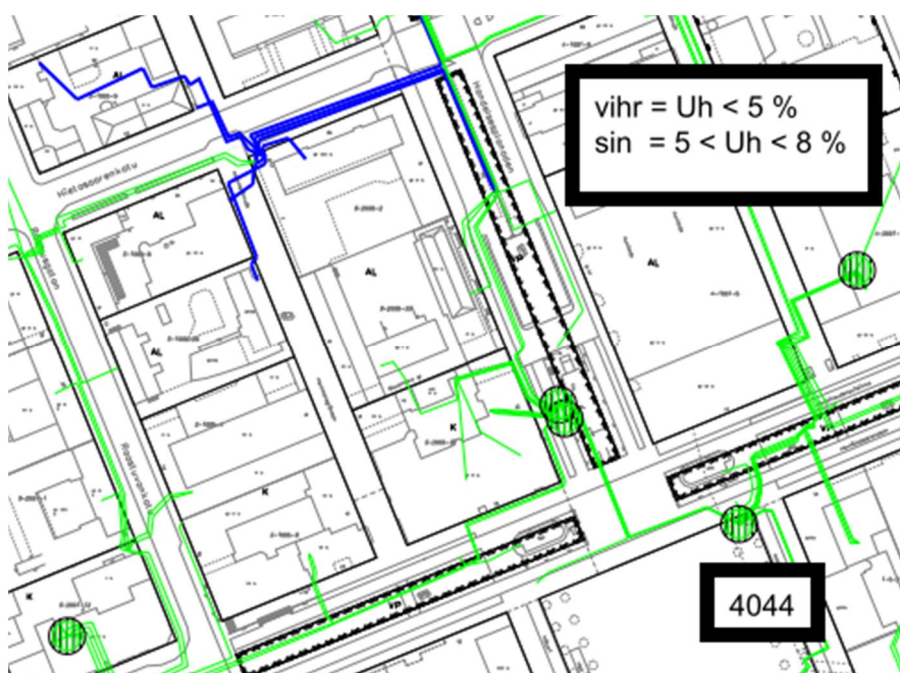


**Kuvio 4.** Keskustan jännitteenalenema

### 6.2.1 Jännitteenaleneman ongelmakohteita

Kuviossa 15 on esitetty torialueen jännitteenalenematilanne. Muuntamo 4044 sijaitsee toriparkissa, mikä syöttää osaa HS –center – rakennuksesta, ja sen lisäksi Kauppapuistikkoa pitkin Hietasaarenkadulle asti. Muuntajan etäisyys kauimmaiseen kulutuspiisteeseen on yli 426 metriä. Muuntamon verkossa on laskentatulosten perusteella jakokeskukselta K1015 eteenpäin yli 5 % jännitteenalenema ja kaukaisimmassa pisteessä  $u_h$  on 6,3 %.

Muuntamo sijaitsee ydinkeskustassa, mihin todennäköisesti ei rakennetta paljoa lisää sekä alueen muuntamoilla on kuormitusaste alle suunnitellun rajan. Tästä syystä alueella ei ole tarvetta uusille muuntamoille. Kaukaisimman pisteen jänniteenalenema saadaan pudotettua noin 5,3 %:iin suurentamalla kaapeleiden poikkipinta-alaa.



**Kuvio 15.** Torin ympäristön jänniteenalenema

Kuviossa 16 esitetty Tiilitehtaankujalla sijaitsevan muuntamon 5 verkko, mistä nähdään, että muuntamon verkossa  $u_h$  on yli 8 %. Muuntamolta lähtevä kaksinkertainen AX185 –kaapeli on lähes 50 % kuormassa jolloin siihen syntyy jännitehäviöitä ja jakokaapilta eteenpäin koko kuorman joutuu siirtämään PL120 –kaapeli, mikä on lähes 80 % kuormassa. Sen lisäksi verkossa on 2 liittymiskaapelia, joissa on yli 8 % jänniteenalenema. Kuviossa 16 näkyvä lyhyempi keltainen pätkä on MCMK 3 x 16 + 16 –kaapelia, mikä on yli 70 % kuormassa. Kuviossa 16 on myös liittymiskaapeli, jossa on yli 8 %  $u_h$ . Sen liittymispiste on yli 380

metrin päässä muuntamosta. Liittymiskaapeli on vanhaa PLKVJ 3 x 35 + 16 – kaapelia.

Muuntamon 5 kuormitusaste on lähes 100 %. Lisäksi alueen muillakin muuntamoilla on korkea kuormitusaste. Muuntamon verkko tulisi uusaa lähes kokonaan sekä mahdollisesti saada syöttö kauimmaisille kuluttajille toista kautta.



**Kuvio 16.** Muuntamon 5 jännitteenalenema

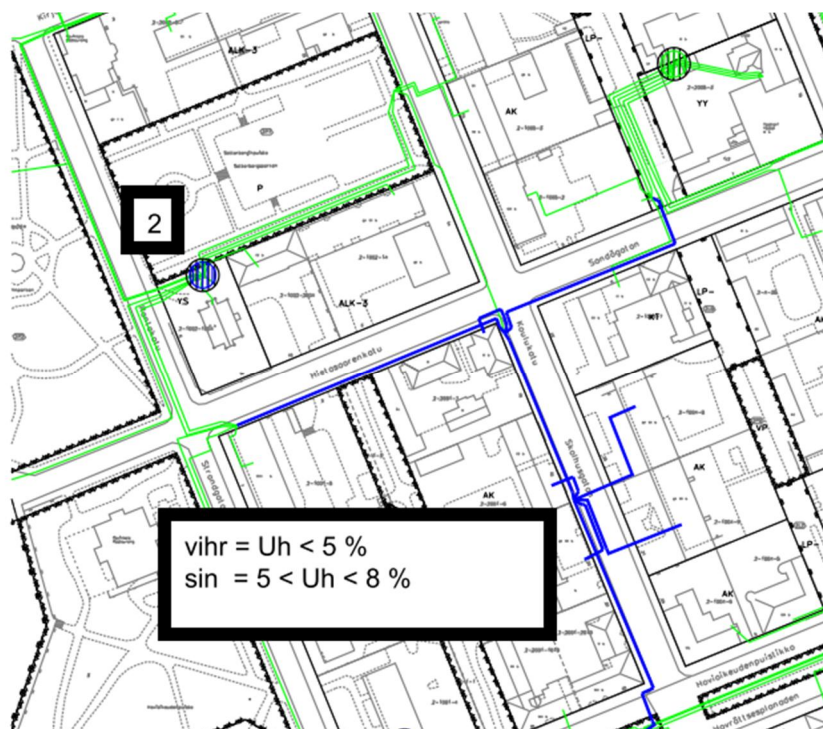
Kuviossa 17 on esitetty muuntamon 514 tilannetta, mikä sijaitsee keskuskoulussa. Muuntamo syöttää koulun lisäksi muutamaa kerrostaloa Raastuvankadulla. Jännitteenalenema nousee niissä yli 8 %. Suurimmillaan  $u_h$  on verkossa 9,1 % syöttöverkon kaukaisimmalla pisteellä. Raastuvankadun syöttö on alkumatkasta AP185 –kaapelia ja loppuosa PL120 –kaapelia. Ne ovat huippukuorman aikaan ylikuormassa.

Muuntaja ei ole suuressa kuormassa, mutta sen runkoverkko tulisi uusaa. Vaihtamalla AX300 –kaapeli runkoverkon alkuosaan saadaan kaapelin kuormitus sekä verkon jännitteenalenema laskemaan huomattavasti. Jos verkko saneerataan kak-sinkertaisella AX300 –kaapelilla saadaan verkko hyvälle tasolle.



**Kuvio 17.** Muuntamon 514 jännitteenalenema

Kuviossa 18 on Rantakadulla sijaitseva muuntamo 2. Se on hiljattain kunnostettu ja sen verkko on lähes kokonaan uusittu, mutta Hietasaarenkatua pitkin kulkeva PL120 –kaapeli syöttää Koulukadulla olevia kerrostaloja. Tässä haarassa  $u_h$  on pahimmillaan lähes 7 %. Tämä haara olisi hyvä saneerata siitäkin syystä, että korvaustilanteessa tämä PL120 –kaapeli on yhteys viereiselle muuntamolle, mihin se on täysin riittämätön.



**Kuvio 18.** Muuntamon 2 jännitteenalenema

### 6.3 Korvaustarkastelut

Jakelumuuntajien korvaustarkastelussa on tutkittu Tekla Nis -ohjelmalla voidaan-ko muuntamo korvata sitä ympäröivillä muuntamoilla, kuten on suunniteltu. VSV:n suunnitelmien mukaan jakelumuuntaja saa olla sen nimellistehon mukaisessa maksimi kuormassa, kuten taulukossa 5 on esitetty aiemmin. Kaapeleita saa kuormittaa 100 %. Siirrettävien generaattorien käyttöä ei ole huomioitu tarkastelussa.

Työssä on keskitytty keskustan länsi- ja koillisosan muuntamoihin. Kuviossa 19 on esitetty tarkasteltavat muuntamot sekä alueet joiden avulla on helpompi tarkastella korvaustilannetta. Alueet on valittu siten, että niissä on jotain erityistä mainittavaa, sekä niissä ilmenee muulle keskustan verkolle tyypillisiä ongelmia. Kor-



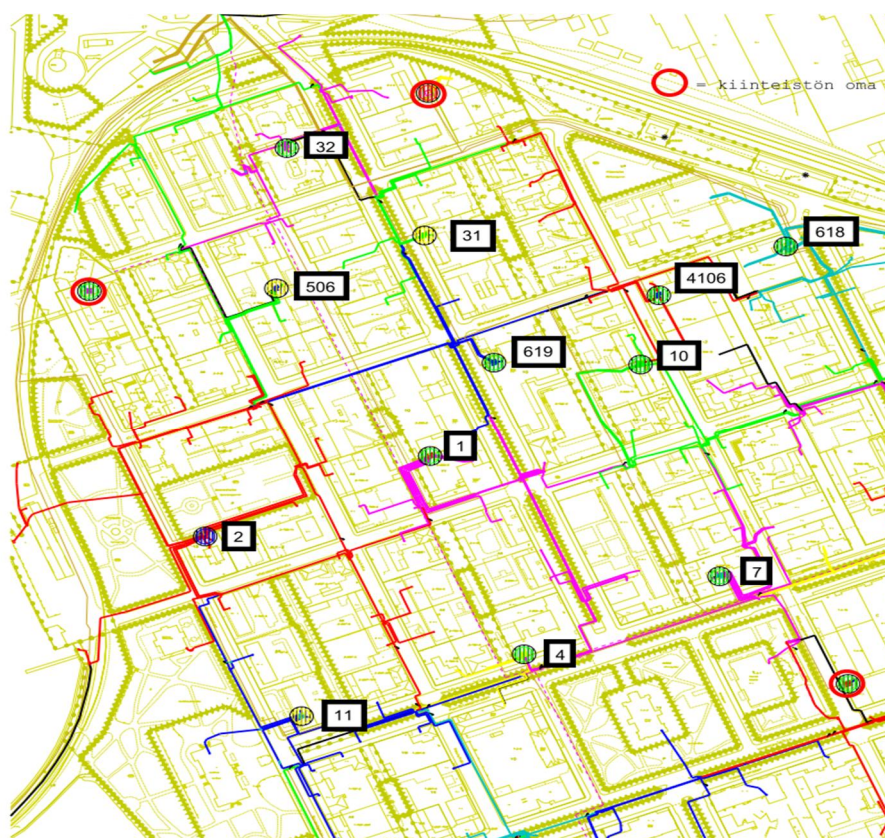
vaustarkastelussa on tuotu esille niitä verkon komponentteja, mitkä estävät tai rajoittavat muuntamoiden korvausta. Muuntamot, jotka ovat hyvin korvattavissa, on jätetty vähäiselle huomiolle.



**Kuvio 19.** Keskustan aluejako

### 6.3.1 Keskustan luoteisos

Kuviossa 20 on esitetty muuntamoita ja niiden säteisverkot Vaasan keskustan luoteisosassa. Alueella on muutamia yksityisomistuksessa olevia muuntamoita ja ne on merkitty punaisella renkaalla. Muuntamoiden: 1, 10, 31, 618 ja 619 korvaus onnistuu ongelmitta. Muuntamoiden: 2, 7, 11, 32, 506 sekä 4106 osallisistumisessa korvaustilanteisiin tai niiden korvauksessa on rajoitteita. Rajoituksia ovat esim. heikko runkoverkko, muuntamoiden korkea kuormitusaste normaalitilassa tai muuntamon laajaverkko.



**Kuvio 20.** Keskustan luoteisosan muuntamot

Muuntamo 32 voidaan korvata vain osittain, koska sen läheisillä muuntamoilla on normaalitilassa yli 80 % kuormitus. Sen lisäksi muuntamoiden 506 ja 32 välinen yhteys on toteutettu PL120-kaapelilla, mikä on riittämätöntä nykyverkkoihin. Muuntamon 31 välinen yhteys on uusittua verkkoa ja se on hoidettu kaksinkertaisella AX300-kaapelilla, mikä riittää hyvin nykyverkossa. Korvaustilanteessa on ongelmana muuntamon suuri kuormitusaste.

Muuntamon 506 korvauksessa on ongelmana muuntamon oman verkon pitkät linjat sekä viereisten muuntamoiden sijainti. Vaikka muuntamolta 2 tuleva yhteys on uusittua AX300- ja AX185-kaapelia, nousee kuormitus verkossa liian suureksi kaapeleille korvaustilanteessa. Sen lisäksi ongelmia aiheuttavat yllämainitut puutteet muuntamon 32 väliseen yhteyteen.

Muuntamo 2 on pari vuotta sitten huollettu tai vaihdettu ja sen verkko on hyvin ajan tasalla, paitsi jakorajayhteys viereiselle muuntamolle 1. Se olisi paras apu muuntamon 2 korvaustilanteeseen, mutta muuntamoiden välinen yhteys on PL120-kaapelia. Sen lisäksi muuntamolla 2 on todella suuri jakelualue ja sen etäisyys lähimpiin muuntamoihin suuri ja näillä on valmiiksi yli 80 % kuormitusaste. Joitakin kulutuspisteitä saadaan muuntamon 2 verkosta korvattua, mutta suurin osa jää korvaamatta.

Muuntamoiden 2 ja 11 välinen etäisyys ja PL120-kaapelilla toteutettu yhteys rajoittaa suuresti muuntamon 11 korvaustilannetta. Sen lisäksi muuntamon suuren kuorman vuoksi, ei viereisen muuntamon 4 kapasiteetti riitä korvaamaan sen verkkoa kokonaan.

Muuntamon 7 korvauksen pullonkaulana on jakokaappien K958 ja K30 välissä oleva PL120-kaapeli, missä kaapelin kuormitus nousee 106 %:iin, kun muuntamo 10 laitetaan korvaamaan osa muuntamon 7 verkosta. Alemman osan verkosta korvaa muuntamo 21-2.

Muuntamon 4106 verkko koostuu suurimmaksi osaksi PL120-kaapelista, mikä ei kestä suuria korvaustilanteen kuormia. Muuntamon kulutuspisteet ovat suuria ja

niitä on vaikea jakaa eri muuntamoille, minkä takia muuntamo on vaikea korvata.

Keskustan luoteisosassa suurin ongelma on muuntamoiden jakorajojen väliset yhteydet, joissa ilmenee paljon vanhaa PL120-kaapelia. Olisi suotavaa, että nämä yhteydet saataisiin vaihdettua nykyisin käytössä olevaan kaksinkertaiseen AX300-kaapeliin, minkä pitäisi kestää kaikki kuormitustilanteet. Lisäksi mahdollinen parannus olisi 506 ja tai 31 muuntamon muuntajan vaihto suurempaan. Molempien muuntajien koko on tällä hetkellä 500 kVA. Muuntamon 31 kuntoindeksi on 3 eli kunnostettava.

### **6.3.2 Keskustan koillisosa**

Keskustan Koillisosassa eli ydinkeskustassa on tiheästi jakelumuuntamoita, koska kulutuspisteet ovat suuria. Kuviossa 21 on esitetty alueen muuntamot, joista muuntamoiden: 9, 21-1, 21-2, 30, 37, 38, 39, 611, 1054 sekä 4044 korvaus onnistuu niiden viereisillä muuntamoilla. Lisäksi alueella on Galleria Wasan rakennuksessa sijaitseva muuntamo 609, missä on asiakkaan omistuksessa oleva muuntamo sekä VSV:n omistama muuntamo varalla. Muuntaja on täysin käyttökelpoinen ja sitä voidaan käyttää korvaustilanteissa. Ongelmia ilmeni muuntamoiden: 27, 684, 689 ja 897 korvauksessa.



**Kuvio 21.** Keskustan koillisosan muuntamot

Muuntamon 9 kaikki kulutuspiisteet ovat pienjännitekeskuksen takana jolloin muuntamon korvaustilanteessa voidaan muuntamo syöttää vain yhdellä muuntamolla, mutta viereisen muuntamon 39 ollessa pienessä kuormassa, riittää sen kapasiteetti korvaamaan muuntamon 9 kuorma.

HS Centerin – muuntamossa 689 on 1000 kVA muuntaja, minkä lisäksi sen kaikki kulutuspiisteet ovat sen pienjännitekeskuksen takana. Muuntamon ollessa normaalitilassa suuressa kuormassa ja viereisten muuntamoiden pieni koko estää muuntamon korvauksen.

Muuntamoiden 684 ja 1054 välillä on pullonkaula, koska yhteys on vain osittain tehty AX300 – kaapelilla. Jostain syystä muuntamon 1054 suunnasta on vedetty vain jakokaapille asti kaksinkertaisella AX300 –kaapelilla, mutta siitä eteenpäin noin 30 metrin matka on kaapeloitu vain yhdellä AX300 –kaapelilla. Se kestää muuntamon 1054 eli Halpa-Hallin korvauksen, mutta muuntamon 684 suuntaan

kuorma nousee liian suureksi. Muuntamolta 9 tuleva jakorajakaapeli on kaksinkertainen AX185, minkä kuorma nousee myös liian suureksi jos sen täytyy korvata koko viereinen verkko, koska muuntamon 684 verkossa on suuria kulutuspeisteitä, esimerkiksi hotelleja ja iso virastotalo.

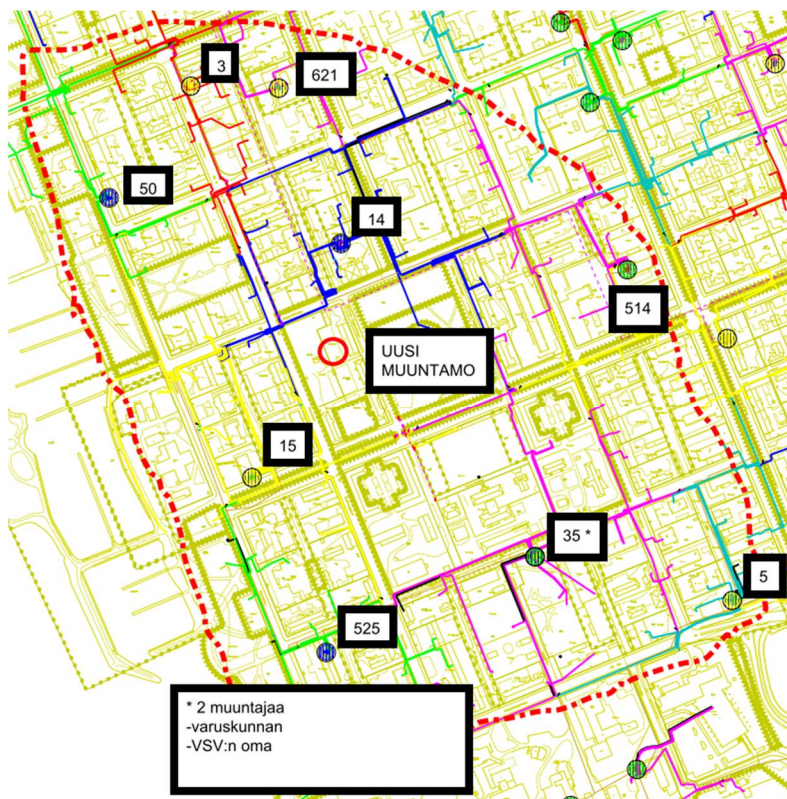
Muuntamoilla 27 ja 897 on suuret verkot, minkä lisäksi niiden ympärillä olevilla muuntamoilla on korkea kuormitusaste. Muuntamon 27 verkossa on paljon PL120 –kaapelia sekä muuntamon kulutuspeisteet ovat suuria, minkä johdosta sen korvaus on erittäin vaikeaa. Viereisellä muuntamolla 897 on myös iso verkko takanaan, ja muuntamo on korkeassa kuormassa. Tämän vuoksi muuntamolta on korvattavissa vain osa sen verkon eteläosasta muuntamolla 1105. Muuntamon 897 alueella on myös pitkiä johtolähtöjä, mitkä varsinkin korvaustilanteessa kasvavat erittäin pitkiksi, koska viereiset muuntamot ovat kaukana, esimerkiksi muuntamolta 27 syötäessä voi etäisyys kasvaa jopa 450 metriin.

Ydinkeskusta-alueella on verkko aika hyvin ajan tasalla, koska siellä on lähivuosina rakennuttu ja uusittu samalla vanhaa verkkoa. Muutamia paikkoja vielä löytyy missä on vanhaa runkoverkkoa, sekä paikkoja missä on tehty omituisia ratkaisuja. Kuten muuntamoiden 684 ja 1054 välinen pätkä AX300 –kaapelia, sen lisäksi muuntamon 27 verkossa on myöhemmin lisätty PL120 –kaapelin rinnalle AXC185 –kaapeli. Keskusta-alueella kaivaminen on kallista, joten olisi hyvä investoida kerralla suunnitelman mukainen kaksinkertainen AX300 –kaapeli. Muuntamon 689 tilanne on ongelmallinen, mutta sinänsä uusille muuntamoille ei ole tarvetta, kun alueella on kunnossa oleva muuntamo kylmänä. Verkkoa voisi mahdollisesti jakaa eri tavalla. Toinen vaihtoehto olisi vaihtaa vieressä oleva muuntamo 37 suuremmaksi jolloin korvaustilanteessa voitaisiin siirtää sen kuorma muuntamolle 609 ja muuntamo 37 voitaisiin siirtää täysin korvaamaan muuntamo 689.

### 6.3.3 Keskustan länsi- ja lounaisosat

Kuviossa 22 esitetyllä alueella ovat muuntamot lähellä niiden maksimikuormitusastetta, minkä vuoksi niiden osallistuminen korvauksiin on pientä tai eivät voi osallistua lainkaan. Alueelle on haettu uutta muuntamoita, minkä suuripiirteinen kohta on merkitty kuvioon 22 punaisella ympyrällä.

Alueella on myös varuskunta-alueella muuntamo 35, missä sijaitsee VSV:n ja kaupungin talotoimen muuntaja. Kaupungin talotoimi omistaa myös niiden muuntajan syöttämän verkon. Liittyminä on entisiä varuskunta-alueen rakennuksia. Verkko on pääosin vanhaa ja uusintatarpeessa olevaa. Varuskunta-alueelle on tehty ja tullaan tekemään katujen saneerauksia, minkä yhteydessä olisi hyvä tehdä myös sähköverkon uusinta. Sitä ennen tulisi tehdä sopimus verkon siirrosta VSV:n omistukseen.



**Kuvio 22.** Kaupungin länsi- ja lounaisosa

621 muuntamosta pystytään korvaamaan osa muuntamolla 13 sekä muuntamolla 35 voidaan korvata osa muuntamosta 525. Muuntamon 5 suuntaan ei 35 muuntamolla pystytä korvaamaan, koska jakorajan yhteys on vanhentunutta AP185 – kaapelia. Muuntamon 35 korvaukseen ei myöskään ole mahdollisuutta koska se on 1000 kVA muuntaja ja sillä on laaja verkko, minkä lisäksi viereiset muuntamot on suuressa kuormassa. Muiden muuntamoiden korvaus on mahdotonta viereisillä muuntamoilla, yksittäisiä kulutusposteitä lukuun ottamatta, koska niillä on korkea kuormitusaste. Vaikka muuntamo 14 on hiljattain vaihdettu suurempaan, ei se pysty korvaustilanteessa auttamaan viereisiä muuntamoitaan, koska sen runko-verkko on laaja ja vanhentunut. Tällöin korvaustilanteessa kuormitukset ja jännitteenalenemat kasvavat.



Alueelle olisi todella tarvetta uudelle muuntamolle, minkä sijoituskohta taitaa olla enemmän uusien rakennuskohteiden ehdoilla. Mutta uuden muuntamon sijoituksen mukaan tulee verkon jakorajoja muuttaa. Lisäksi alueen runkoverkkoa tulisi vahvistaa, sillä alueella on vanhaa PL120 –kaapelia sekä AP185 –kaapelia.

Yli 80 % kuormassa olevissa muuntamoissa: 3, 5, 15, 621 on kaikissa 500 kVA muuntaja. Näitä voisi mahdollisuuksien mukaan suurentaa, jolloin voisi olettaa myös alueen korvattavuuden paranevan, kunhan verkkoa päivitetään myös.

## 7 YHTEENVETO

Keskustan jakeluverkko on hyvällä tasolla varsinkin ydinkeskustassa, missä runkoverkko on vahvaa ja muuntamot eivät ole liian suuressa kuormassa. Ydinkeskustasta pois päin on verkko heikommalla tasolla pois lukien saneeratut kohteet, kuten muuntamot 1, 2 ja 14, missä muuntajan vaihdon yhteydessä on runkoverkkoa vahvistettu samalla. Keskustassa on vielä paljon jakeluverkossa vanhaa ja vähän kuormaa kestäväää kaapelia, mikä aiheuttaa ongelmaa varsinkin korvaustilanteissa. Runkoverkkoa on syytä vahvistaa, koska huippukuormien odotetaan kasvavan jatkossakin.

Muuntajat, joilla on suuri kuormitusaste, ja ovat kooltaan 500 kVA, olisi hyvä vaihtaa 800 kVA:n kokoisiksi. Keskustan lounaisosan tilannetta helpottaisi jos alueelle saadaan uusi muuntamo sekä varuskunnan muuntaja saataisiin VSV:n haltuun, jolloin saataisiin jaettua alueen verkkoa uudestaan. Monella muuntamolla on verkko paisunut liian suureksi.

Kriittisimmät muuntamot sähkönlaadun suhteen ovat muuntamot 5 ja 514. Molemmilla muuntamoilla runkoverkko on vanhentunut ja jännitteenalenema on niiden verkoissa pahimmillaan yli 8 %. Sen lisäksi muuntajan 5 kuormitusaste on 99 %. Se tulisi vaihtaa suurempaan samalla kun muuntamon runkoverkko uusitaan. Muuntamon 514 KJ- ja PJ- keskuksset ovat avoimia ja se tulee vaihtaa samalla jo siitäkin syystä, että nykyinen PJ –keskus on todennäköisesti liian ahdas kaksinkertaiselle AX300 –kaapelilähdölle. Muuntamon runkoverkkoa vahvistaessa voisi edetä Raastuvankadun suuntaisesti mahdollisimman pitkän matkan, koska se on tällä hetkellä suurelta osalta AP185- ja PL120 –kaapelia. Raastuvankadun ja Rauhankadun risteyksen alueelle on tulossa muuntamo, joka tukee verkon vahvistamista.

Opinnäytetyö työ syvensi tietämystä sähköjakelusta ja sähköverkon rakenteesta paljon ja sen tekeminen oli muutenkin mielekästä, koska sai tutustua kotikaupunkiin uudesta näkökulmasta. Työn alussa meni aikansa tutustua uuteen työympäristöön ja VSV:n käyttämään Tekla NIS – verkostosuunnittelu ohjelmaan. Tutustumisen jälkeen tuntui ohjelma paljon käyttäjäystävällisemmältä verrattaessa sitä koulussa käytettyyn ohjelmaan. Työtä tehtäessä joutui etsimään tietoa monesta eri lähteestä ja monelta eri henkilöltä, koska aikaisempi tutustuminen on ollut aika pintapuolista. Materiaalia etsiessä eksyi usein lueskelemaan alaan liittyviä julkaisuja, koska työ sai kiinnostumaan asioista uudella tavalla.

## LÄHDELUETTELO

/6/ Fluke Memobox. Viitattu 26.3.12

[http://www.fluke.eu/comx/show\\_product.aspx?pid=35719&locale=fifi](http://www.fluke.eu/comx/show_product.aspx?pid=35719&locale=fifi)

/11/ SA2:08. Viitattu 21.3.12

/12/ SFS 6000. Viitattu 21.3.

/10/ SFS EN 50160. Viitattu 21.3.12

/7/ Sisäinen lähde

/9/ Lakervi E & Partanen J.2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki. Hakapaino Oy. Viitattu 21.3.12.

/4/ Tekla Solutions. Viitattu 29.2.12.

<http://www.tekla.com/fi/solutions/infrastructure-energy/energy-distribution/electricity-utilities/pages/default.aspx>

/5/ Tekla Verkostolaskenta. Viitattu 29.2.12.

<http://www.tekla.com/fi/solutions/infrastructure-energy/energy-distribution/Pages/tekla-power-system-analysis.aspx>

/3/ Vaasan Sähköverkko Oy:n toimintapolitiikka. Viitattu 28.2.12.

[http://www.vaasansahko.fi/template\\_verkkopage1.asp?sua=5&lang=1&s=1006](http://www.vaasansahko.fi/template_verkkopage1.asp?sua=5&lang=1&s=1006)

/1/ Vaasan Sähköverkko Oy:n vastuualue. Viitattu 28.2.12.

[http://www.vaasansahko.fi/documents/kartta\\_fin\\_v\\_suurennos.gif](http://www.vaasansahko.fi/documents/kartta_fin_v_suurennos.gif)

/8/ Vaasan Sähköverkko Oy - verkostostrategia 2030 – Nykytila-analyysi. Viitattu 21.3.12

/2/Vaasan Sähköverkko Oy:n yritystietoja. Viitattu 28.2.12.

[http://www.vaasansahkoverkko.fi/template\\_verkkopage2.asp?sua=5&lang=1&s=556](http://www.vaasansahkoverkko.fi/template_verkkopage2.asp?sua=5&lang=1&s=556)

KAAPELITYYPPI	KAAPELIN KUORMITETTAVUUS (A)				
	Oikosulkukestävyys L / PEN k A, 1 s	Maassa <sup>1)</sup> yksin kesä	Maassa <sup>2)</sup> 3 rinnan talvi	Maassa <sup>2)</sup> 3 rinnan kesä	Muuntamossa <sup>3)</sup> 3 rinnan
AXMK 4 x 300 S	28,3	430	377	356	362 / 434
AXMK 4 x 240 S	22,6	375	329	311	314 / 376
AXMK 4 x 185 S	17,4	330	290	273	265 / 319
AXMK 4 x 150 S	14,1	280	246	232	232 / 279
AXMK 4 x 120 S	11,3	255	224	211	201 / 242
AXMK 4 x 95 S	8,9	220	193	182	173 / 208
AXMK 4 x 70 S	6,6	185	162	153	143 / 172
AXMK 4 x 50 S	4,7	150	132	124	111 / 134
AXMK 4 x 35 S	3,3				
AXMK 4 x 25 S	2,3				
AXMK 4 x 16 S	1,5				
AURA 3 x 150 + 88 (PEX)	14,2/12,2	280	246	232	232 / 279
AURA 3 x 95 + 57 (PEX)	9,0/7,8	220	193	182	173 / 208
AURA 3 x 50 + 29 (PEX)	4,8/3,9	150	132	124	111 / 134
Valmistus lopetettu Suomessa					
AXCMK 3 x 300 + 88	28,2/17,4	430	377	356	362 / 434
AXCMK 3 x 240 + 72	-	375	329	311	314 / 376
AXCMK 3 x 185 + 57	17,4/11,4	330	290	273	265 / 319
AXCMK 3 x 150 + 41	-	280	246	232	232 / 279
AXCMK 3 x 120 + 41	11,3/8,7	255	224	211	201 / 242
AXCMK 3 x 95 + 29	-	220	193	182	173 / 208
AXCMK 3 x 70 + 21	6,6/4,8	185	162	153	143 / 172
AXCMK 3 x 50 + 15	-	150	132	124	111 / 134
AXCMK 3 x 35 + 10	3,3/1,3				
AXCMK 3 x 25 + 10	2,4/1,3				
AXCMK 3 x 16 + 10	1,5/1,3				
Valmistus lopetettu Suomessa					
APAKM 4 x 240	22,1	375	332	311	284 / 341
APAKM 4 x 185	17,2	330	292	273	241 / 289
APAKM 4 x 120	11,3	255	226	211	183 / 220
APAKM 4 x 70	6,7	185	164	153	130 / 156
APAKM 4 x 35	3,4				
AMCMK 3 x 300 + 88	21,6/12,4	430	388	356	294 / 353
AMCMK 3 x 240 + 72	17,3/10,1	375	338	311	255 / 306
AMCMK 3 x 185 + 57	13,3/8,0	330	298	274	216 / 260
AMCMK 3 x 150 + 41	10,8/5,8	280	253	232	190 / 228
AMCMK 3 x 120 + 41	8,7/5,8	255	230	211	165 / 198
AMCMK 3 x 95 + 29	6,9/4,1	220	199	182	142 / 171
AMCMK 3 x 70 + 21	5,1/3,0	185	167	153	117 / 140
AMCMK 3 x 50 + 16 (15) <sup>4)</sup>	3,6/2,3	150	135	124	92 / 111
AMCMK 3 x 35 + 16 (10)	2,6/2,3				
AMCMK 3 x 25 + 16 (10)	1,9/2,3				
AMCMK 3 x 16 + 10	1,2/1,4				
MCMK 3 x 300 + 150	34,4/19,2	550	496	455	389 / 466
MCMK 3 x 240 + 120	26,3/16,6	480	433	397	337 / 405
MCMK 3 x 185 + 95	20,3/13,4	420	379	348	285 / 342
MCMK 3 x 150 + 70	16,6/9,9	370	334	306	250 / 301
MCMK 3 x 120 + 70	13,2/9,9	325	293	269	216 / 260
MCMK 3 x 95 + 50	10,5/7,0	285	257	236	186 / 224
MCMK 3 x 70 + 35	7,7/4,9	240	217	199	154 / 185
MCMK 3 x 50 + 25	5,6/3,5	190	171	157	121 / 145
MCMK 3 x 35 + 16	3,9/2,3	160	144	132	100 / 119
MCMK 3 x 25 + 16	2,8/2,3				
MCMK 3 x 16 + 16	1,2/2,3				
Valmistus lopetettu Suomessa					
PLKVJ 3 x 120 + 70	17,2	325	288	269	241 / 289
PLKVJ 3 x 95 + 50	13,6	285	252	236	208 / 249
PLKVJ 3 x 50 + 25	7,3	190	168	157	134 / 161
PLKVJ 3 x 25 + 16	3,7				

LIITTYMISKAAPPELI	KUORMITETTAVUUS			
	Yksin <sup>1)</sup> Seinä / Maa (A)	2 rinnan <sup>3)</sup> Seinä / Maa (A)	3 rinnan <sup>3)</sup> Seinä / Maa (A)	4 rinnan <sup>3)</sup> Seinä / Maa (A)
AXMK, AXCМК 300 mm <sup>2</sup>	458 / 430	409 / 384	380 / 339	344 / 307
AXMK, AXCМК 240 mm <sup>2</sup>	397 / 375	354 / 335	329 / 295	313 / 268
AXMK, AXCМК 185 mm <sup>2</sup>	336 / 330	300 / 295	279 / 260	265 / 236
AXMK, AURA, 150 mm <sup>2</sup>	294 / 280	262 / 250	244 / 221	232 / 200
AXMK, AXCМК 120 mm <sup>2</sup>	255 / 255	228 / 228	212 / 201	201 / 182
AXMK, AURA, 95 mm <sup>2</sup>	219 / 220	195 / 196	182 / 173	
AXMK, AXCМК 70 mm <sup>2</sup>	181 / 185	162 / 165		
AXMK, AURA, 50 mm <sup>2</sup>	129 <sup>2)</sup> / 150			
AXMK, AXCМК 35 mm <sup>2</sup>	107 <sup>2)</sup> / 125			
AXMK, AXCМК 25 mm <sup>2</sup>	87 <sup>2)</sup> / 100			
AXMK, AXCМК 16 mm <sup>2</sup>	66 <sup>2)</sup> / 78			
<b>Valmistus lopetettu Suomessa</b>				
APAKM 4 x 240	360 / 375	321 / 335	299 / 295	284 / 268
APAKM 4 x 185	305 / 330	272 / 295	253 / 260	240 / 236
APAKM 4 x 120	232 / 255	207 / 228	192 / 201	183 / 182
APAKM 4 x 70	165 / 185	147 / 165		
APAKM 4 x 35	95 <sup>2)</sup> / 125			
AMCMK 3 x 300 + 88	372 / 430	332 / 384	309 / 339	293 / 307
AMCMK 3 x 240 + 72	323 / 375	288 / 335	268 / 295	254 / 268
AMCMK 3 x 185 + 57	274 / 330	245 / 295	227 / 260	216 / 236
AMCMK 3 x 150 + 41	240 / 280	214 / 250	199 / 221	189 / 200
AMCMK 3 x 120 + 41	209 / 255	187 / 228	173 / 201	165 / 182
AMCMK 3 x 95 + 29	180 / 220	161 / 196	149 / 173	
AMCMK 3 x 70 + 21	148 / 185	132 / 165		
AMCMK 3 x 50 + 16 (15) <sup>4)</sup>	97 <sup>2)</sup> / 150			
AMCMK 3 x 35 + 16 (10) <sup>4)</sup>	82 <sup>2)</sup> / 125			
AMCMK 3 x 25 + 16 (10) <sup>4)</sup>	66 <sup>2)</sup> / 100			
AMCMK 3 x 16 + 10	51 <sup>2)</sup> / 78			
MCMK 3 x 300 + 150	492 / 550	439 / 491	408 / 433	387 / 393
MCMK 3 x 240 + 120	427 / 480	381 / 428	354 / 378	336 / 343
MCMK 3 x 185 + 95	361 / 420	322 / 375	299 / 331	284 / 300
MCMK 3 x 150 + 70	317 / 370	283 / 330	263 / 291	250 / 264
MCMK 3 x 120 + 70	274 / 325	245 / 290	227 / 256	216 / 232
MCMK 3 x 95 + 50	236 / 285	211 / 254	196 / 224	186 / 203
MCMK 3 x 70 + 35	195 / 240	174 / 214	162 / 189	
MCMK 3 x 50 + 25	153 / 190	137 / 170	127 / 160	
MCMK 3 x 35 + 16	105 <sup>2)</sup> / 160	94 / 143		
MCMK 3 x 25 + 16	85 <sup>2)</sup> / 130			
MCMK 3 x 16 + 16	66 <sup>2)</sup> / 100			
MCMK 3 x 10 + 10	49 <sup>2)</sup> / 77			
MCMK 3 x 6 + 6	36 <sup>2)</sup> / 57			
<b>Valmistus lopetettu Suomessa</b>				
PLKVJ 3 x 120 + 70	305 / 325	272 / 290	253 / 256	240 / 232
PLKVJ 3 x 95 + 50	263 / 285	235 / 254	218 / 224	207 / 203
PLKVJ 3 x 50 + 25	170 / 190	152 / 170	141 / 160	
PLKVJ 3 x 25 + 16	97 <sup>2)</sup> / 130			
PLKVJ 3 x 10 + 10	56 <sup>2)</sup> / 77			
PLKVJ 3 x 6 + 6	40 <sup>2)</sup> / 57			

