



■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LOISTEHON KOMPENSOINNIN JA AURINKOSÄHKÖ- JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU KOIVUMÄEN KARTANOLLE

TEKIJÄ: Mikko Ikkala

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Mikko Ikkala			
Työn nimi Loistehon kompensointi ja aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu Koivumäen kartanolle			
Päiväys	14.12.2016	Sivumäärä/Liitteet	41+10
Ohjaaja(t) lehtori Heikki Laininen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kiinteistö Oy Kuopion Henriksnäs, lehtori Harry Dunkel			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli loistehon kompensointi ja aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu Koivumäen kartanolle. Loistehon kompensoinnin kohdalla tutkimuksen kohteena oli Koivumäen kartanon As Oy Henriksnäsin keskus ja sen alaiset keskukset. Kohteessa ei ole esiintynyt yliaaltoja. Aurinkosähköllä oli tarkoitus tuottaa sähköä itse omaan tarkoitukseen, lähinnä ohjata lämminvesivaraajaa kesäisin. Lisäksi oli tarkoitus päivittää ja korjata sähköpiirustuksia.</p> <p>Projekti aloitettiin selvittämällä, miten loistehoa kompensoidaan kiinteistöissä ja mitä vaihtoehtoja kompensointiin on olemassa. Alkuseveltelyjen jälkeen ryhdyttiin keräämään tutkittavasta kohteesta tarvittavia lähtötietoja ennen varsinaisen tutkimustyön aloittamista. Lähtötietoina toimivat toimeksiantajalta saadut sähkönkulutustiedot, joista selvisi pätötehon sekä loistehon kulutukset kuukausittain vuosina 2014 ja 2015. Näiden tietojen perusteella mitoitettiin tarvittava loistehon määrä ja valittiin kompensointilaitteisto, jolla tarvittava määrä tuotettaisiin. Samalla tarkistettiin jännitteenalenemat eri kaapelireiteillä. Kuopion Energialta pyydettiin liittymän muuntamon tiedot, joista saatiin selville oikosulkuvirrat. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu aloitettiin keräämällä yleisesti tietoa järjestelmän suunnittelusta. Kohteessa tehtävät tutkimukset suoritettiin lähes täysin aistinvaraisesti. Tutkimusten jälkeen aloitettiin paneelien, invertterien sekä muiden komponenttien vertailu, järjestelmän mitoitus sekä laitteiden sijoitus. Tarkoituksena oli tuottaa 6 kW tehoa aurinkopaneelilla ja mitoittaa järjestelmä sen mukaan. Sähköpiirustusten päivittämiseen käytettiin CADS Planner -suunnitteluohjelmistoa. Päivitettyjä sähköpiirustuksia olivat nousujohtokaavio sekä kellarin tasopiirustus. Uusina kuvina piirrettiin lv-varaajalle ja invertterille ohjauskaaviot.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua toimiva kompensointilaitteisto. Kompensointi toteutetaan 20 kvarin automatiikkaparistolla. Kompensointitapana käytetään keskitettyä kompensointia eli kompensointilaitteisto sijoitetaan As Oy Henriksnäsin RK1:n yhteyteen. Aurinkosähköjärjestelmään valittiin 20 kappaletta LG:n 300 Wp aurinkopaneelita ja SMA:n 6 kW:n invertteri. Lisäksi järjestelmään valittiin kaapelit, turvakytin invertterille sekä vaihtokytkin lämminvesivaraajan ohjaustavalle. Myös sähköpiirustukset saatiin korjattua nykytilaa vastaaviksi. Kompensointilaitteisto, invertteri, vaihtokytkin sekä turvakytin lisättiin kellarin tasopiirustukseen ja nousujohtokaavio päivitettiin. Invertterille sekä vaihtokytkimelle piirrettiin piirikaaviot. Lisäksi selvisi, että suurien jännitteenalenemien vuoksi joitakin kaapeleita täytyisi vaihtaa isomman poikkipinnan omaaviin kaapeleihin.</p>			
Avainsanat loisteho, kompensointi, kondensaattori, aurinkosähkö, aurinkopaneeli			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Mikko Ikkala			
Title of Thesis Planning a Reactive-Power Compensation and Photovoltaic System at Koivumäki Mansion			
Date	5 December 2016	Pages/Appendices	41+10
Supervisor(s) Mr. Heikki Laininen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Kiinteistö Oy Kuopion Henriksnäs, Mr. Harry Dunkel			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis was the planning of a reactive-power compensation and photovoltaic system for Koivumäki Mansion. The group switchboard of As Oy Henriksnäs rk1 and the switchboards under that group switchboard were the targets in planning the compensation. There have not been harmonic waves. The main purpose of the solar energy system was to produce energy for the property's own use and to control the boiler in summer. In addition to these, the purpose was to update and fix electrical drawings.</p> <p>The project was started by finding out how to plan the reactive-power compensation and what are the options to do the compensation. After that, starting data were collected about the property before starting the research itself. The amount of active power and reactive-power of years 2014 and 2015 was found from the energy consumption data which acted as the basic database. The required amount of reactive-power was planned and the compensation equipment was chosen according to this information. Voltage reductions were revised at every cable route. The short-circuit currents of the distribution substation were inquired from Kuopion Energia. The planning of the photovoltaic system was started by collecting basic information about planning the system. The research was done mostly as a sensory analysis and it was done in place. The comparison of different solar panels, inverters and other components was based on that research. The system was measured and components were positioned. The main purpose was to produce 6 kW of power by solar panels to the boiler. Information about the updating of the electrical drawings was collected by planning the system. The CADS Planner software was used to update the electrical drawings. The distribution circuit of the building and the electrical diagram of the basement were updated. Circuit diagrams for the boiler and inverter are the new electrical drawings.</p> <p>As a result of this thesis, a functional compensation system and solar energy system were planned. The electrical drawings were also updated to correspond the current situation. In addition to those, some cables will have to be replaced to thicker ones because of voltage reductions.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Reactive power, compensation, condensator, solar energy, solar panel</p>			

ESIPUHE

Tein opinnäytetyöni Kiinteistö Oy Kuopion Henriksnäsin hallinnoimaan Koivumäen kartanoon. Aiheena oli suunnitella kartanoon loistehon kompensointia sekä aurinkosähköjärjestelmä.

Haluan kiittää Koivumäen kartanon henkilökuntaa, toimeksiantaja Harry Dunkelia sekä lehtori Heikki Lainista tämän opinnäytetyön mahdollistamisesta. Erityiskiitokset myös perheenjäsenilleni ja muille läheisille avusta, tuesta ja kannustamisesta.

Kuopiossa 14.12.2016

Mikko Ikkala

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEHOT SÄHKÖVERKOSSA	8
2.1	Päätöteho	8
2.2	Loisteho	8
2.3	Näennäisteho	9
3	LOISTEHON KOMPENSOINTI PIENJÄNNITEVERKOISSA	10
3.1	Tehokerroin	12
3.2	Kompensointitavat	12
3.2.1	Laitekohtainen kompensointi	12
3.2.2	Ryhmäkompensointi	13
3.2.3	Keskitetty kompensointi	13
4	KOIVUMÄEN KARTANO	15
4.1	Yleistiedot sähköjärjestelmistä	15
4.2	Lähtökohdat	16
4.3	Kompensointitavan valinta	16
4.4	Kompensoinnin mitoitus	16
4.5	Kompensointitarkastelu kuormitusjakaumalla	19
4.6	Jännitteenalenema	20
4.6.1	Jännitteenalenema asiakkaalla	21
4.6.2	Jännitteenalenema kartanon verkossa	21
4.7	Oikosulkuvirrat kartanolla	22
4.8	Tulokset	23
5	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ	26
5.1	Lainsäädäntö	26
5.2	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	26
5.3	Aurinkokennotyypit	27
5.3.1	Yksikiteinen kenno	27
5.3.2	Monikiteinen kenno	27
5.3.3	Amorfinen kenno	27
5.4	Aurinkopaneelit	28

5.5	Paneelien suuntaus ja sijoitus	29
5.6	Vaihtosuuntaajat.....	32
5.7	Kaapelointi	32
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	34
6.1	Paneelien sijoitus ja kaapelointi	34
6.2	Aurinkopaneelien valinta	35
6.3	Invertterin valinta	36
6.4	Järjestelmän kustannukset	37
6.4.1	Investointi-, asennus- ja käyttökustannukset	37
6.4.2	Aurinkosähköllä saatavat säästöt.....	38
6.4.3	Takaisinmaksuaika	38
7	YHTEENVETO.....	39
8	LÄHTEET	40
9	LIITE 1: TAULUKKO KOMPENSOINTITARPEEN MÄÄRITTÄMISEEN.....	42
10	LIITE 2: JÄNNITTEENALENEMAT NYKYTILANTEESSA	43
11	LIITE 3: JÄNNITTEENALENEMA KOMPENSOINNIN JÄLKEEN.....	44
12	LIITE 3: JÄNNITTEENALENEMA UUSILLA KAAPELIVAIHTOEHDILLA.....	45
13	LIITE 4: AURINKOPANEELIEN VERTAILU.....	46
14	LIITE 4: VAIHTOSUUNTAAJIEN VERTAILU.....	47
15	LIITE 5: PÄIVITETTY NOUSUJOHTOKAAVIO	48
16	LIITE 6: LV-VARAAJAN OHJAUSKAAVIO	49
17	LIITE 7: INVERTTERIN OHJAUSKAAVIO	50
18	LIITE 8: PÄIVITETTY KELLARIN TASOPIIRUSTUS.....	51

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee loistehon kompensointia ja aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua. Tämän lisäksi työhön sisältyy sähköpiirustusten päivittämistä. Työn tilaajana toimii Kuopion eteläpuolella sijaitseva Koivumäen kartano, jonka historia ulottuu aina vuoteen 1792. Juhlapaikkana toimivan kartanon alueella sijaitsee myös ratsastustalli sekä vuokra-asuntoja.

Kartanon sähköjärjestelmässä on esiintynyt huomattava määrä loistehoa, joka kuormittaa siirtojohdot ja keskuksia sekä aiheuttaa ylimääräisiä kuluja sähkönsiirtomaksuun. Tämän takia verkosta saatavan loistehon määrä haluttiin saada Kuopion Energian vaatimusten mukaiseksi eli 20 %:iin pätötehon määrästä. Kartanon järjestelmässä ei ole esiintynyt yliaaltoja, joten niitä ei tutkita tässä työssä. Työ aloitetaan perehtymällä kompensointiin ja sen eri vaihtoehtoihin. Loistehon tarve mitoitetaan kulutustietojen sekä Kuopion Energian vaatimusten mukaan ja tämän perusteella valitaan kompensointilaitteisto.

Kartanon omistaja on harkinnut ideaa tuottaa energiaa omaan käyttöön aurinkosähkön avulla. Uusiutuva energia on nykyaikaa ja Suomenkin leveysasteilla toimiva vaihtoehto. Aurinkopaneelit ovat lisäksi vähäpäästöinen tapa tuottaa sähköä, koska ne tarvitsevat vähän huoltoa ja ovat pitkäikäisiä. Tällä tavalla saataisiin pienennettyä myös sähkölaskun kokonaissummaa. Tarkoituksena on ohjata lämminvesivaraajaa kesäisin. Muutoin lämminvesivaraaja saa energiansa edelleen verkon kautta. Järjestelmä suunnitellaan valitsemalla ja mitoittamalla aurinkopaneelit, invertteri sekä suunnitella niiden kaapelointi ja sijoittaminen.

Timo Nikula on tehnyt vuonna 2013 Koivumäen kartanolle opinnäytetyön, jonka aiheena oli kartanon kuntokartoitus. Hänen raporttinsa ja päivittämänsä sähköpiirustukset ovat suunnittelun apuna.

2 TEHOT SÄHKÖVERKOSSA

2.1 Pätöteho

Pätöteho on vaihtovirran työtä tekevää tehoa. Sitä kuluu käämilangan resistanssissa. Resistiivisessä kuormituksessa, esim. hehkulampuissa tai lämmitysvastuksissa, kuluu vain pätötehoa ja pätövirtaa. Pätötehon yksikkö on watti eli W. Pätöteho saadaan laskettua kaavalla 1: (Mäkinen ja Kallio 2004, 17)

$$P = U * I \text{ ja } P = I^2 * R \quad (1)$$

P=pätöteho (W)

U=käämiin vaikuttava jännite (U)

I=käämiin vaikuttava virta (A)

R=käämilangan resistanssi (Ω)

2.2 Loisteho

Loisteho ei ole pätötehon tapaan työtä tekevää tehoa, vaan se kulkee edestakaisin sähköverkossa. Se on reaktiivitehoa ja sitä kuluu käämin magneettikentän synnyttämiseen. Käämin magneettikenttään varautuu energiaa, kun sen läpi kulkeva vaihtovirta saavuttaa huippuarvonsa. Magneettikenttään varautunut energia palaa takaisin sähköverkkoon vaihtovirran pienetessä nollassa. Sähkölaitteet, jotka sisältävät käämejä eli induktansseja, kuluttavat aina pätötehon lisäksi loistehoa. Tällaisia sähkölaitteita ovat esimerkiksi kuristimet, muuntajat ja sähkömoottorit. Loistehon yksikkö on vari eli var. Loisteho lasketaan kaavalla 2: (Mäkinen ja Kallio 2004, 17-18; ST-kortisto ST 52.15 2014, 1-2)

$$Q = U * I * \sin\varphi \quad (2)$$

Q=loisteho (var)

φ =käämiin vaikuttavan jännitteen (U) ja käämissä kulkevan virran (I) välinen kulma ($^\circ$)

2.3 Näennäisteho

Pätöteho ja loisteho muodostavat yhdessä näennäistehon (S). Sen yksikkö on voltiampeeri eli VA. Näennäisteho lasketaan kaavalla 3: (Mäkinen ja Kallio 2004, 18)

$$S^2 = P^2 + Q^2 \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

S=näennäisteho (kVA)

P=pätöteho (W)

Q=loisteho (var)

Tehonsiirtolaitteisto mitoitetaan näennäistehon mukaan. Kuluttaja maksaa näennäistehosta, minkä vuoksi vain pätöteho on hyödyllistä. (Alstrom Grid: Pienjännitetuotteiden tuoteopas 2015, 3)

3 LOISTEHON KOMPENSOINTI PIENJÄNNITEVERKOISSA

Kompensoinnin suunnittelu kuuluu sähkösuunnitteluun. Suunnittelussa määritellään koko kiinteistön ja mahdollisesti koko jakelumuuntajan käsittämän alueen kompensointiratkaisut. Kuvasta 1 (ks. seur. sivu) nähdään kompensoinnin peruseriaate. (Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori ja Wilén 2006, 81)

Kuluttajan tuottamasta loistehosta peritään loistehomaksua, jonka suuruus vaihtelee verkkoyhtiön mukaan. Määrittelyllä pyritään ohjaamaan kuluttajia hankkimaan kompensointilaitteistoja. Kompensointilaitteistolla saadaan tarvittava loisteho tuotettua itse verkosta ottamisen sijaan, mikä on kompensoinnin suunnittelun yleisperiaate. Loistehon ilmaisosuuden määrä tulee tarkistaa alueen sähköyhtiöltä. Kuopion Energia laskuttaa kuukausittain loistehosta, jonka huippuarvo ylittää 20 % pätötehon määrästä. (Kuopion Energian sähkönsiirtohinnot 2016; Männistö ym 2006, 81; ST-kortisto ST 52.15 2014, 2)

Verkkoon kytketyt sähkölaitteet, kuten moottorit ja kuristimet, aiheuttavat vaihekulman jännitteen ja virran välille. Virrassa esiintyvän vaihesiirron takia tarvitaan enemmän virtaa, jotta saadaan sama määrä pätötehoa. (Alstrom Grid: Pienjännitetuotteiden tuoteopas 2015, 3)

Loistehon vaikutuksia ovat:

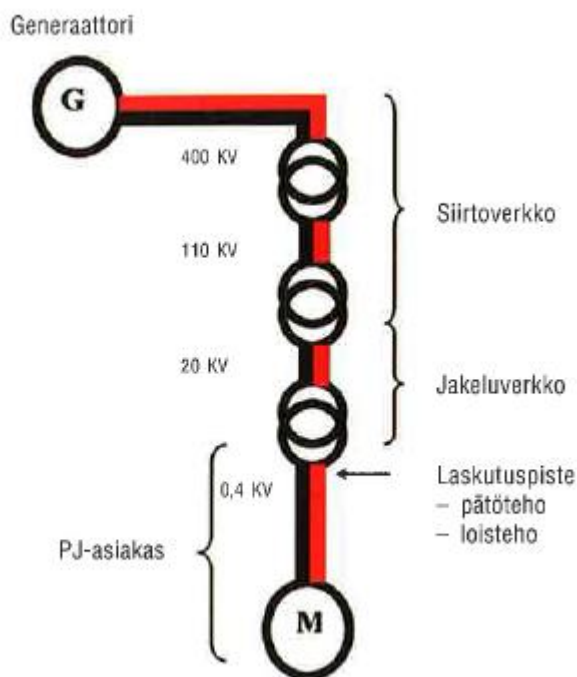
- kasvaneet häviöt verkossa
- suurempi sähkölasku (käytetään pätötehoa, maksetaan näennäistehosta)
- lisämaksu asiakkaalle heikentyneestä tehokertoimesta ($\cos\varphi=0,95$).

(Alstrom Grid: Pienjännitetuotteiden tuoteopas 2015, 3; ST-kortisto ST 52.15 2014, 2)

Kompensoinnilla saavutetaan seuraavia hyötyjä:

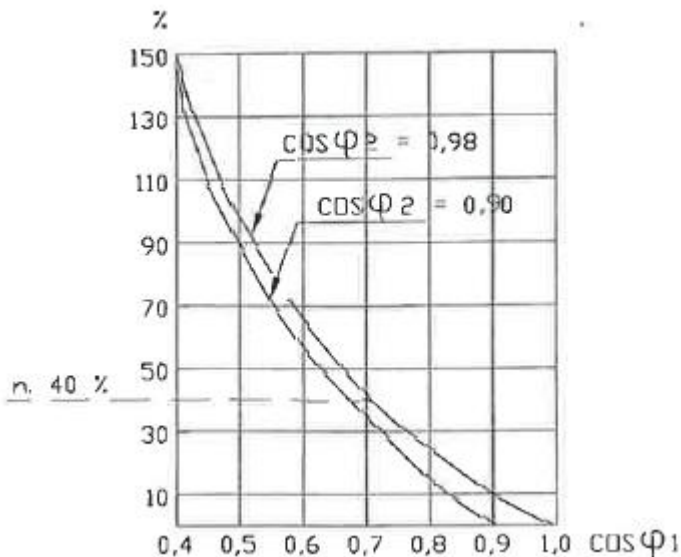
- Kuluttajan ei tarvitse maksaa loistehomaksuja, vaan tarvittava loisteho saadaan tuotettua itse.
- Kokonaisvirran pienetessä häviöt pienenevät ja sähköverkon siirtokyky kasvaa.
- Virran pienetessä myös kaapeleiden, muuntajien ja keskusten lämpötila alenee.
- Sähköverkon jännitteenalenema pienenee.
- Järjestelmä tuottaa vähemmän CO₂ päästöjä eli on ympäristöystävällisempi.

(Mäkinen ja Kallio 2004, 18-20; ST-kortisto ST 52.15 2014, 2 ja 5-6; Alstrom Grid: Pienjännitetuotteiden tuoteopas 2015, 3)



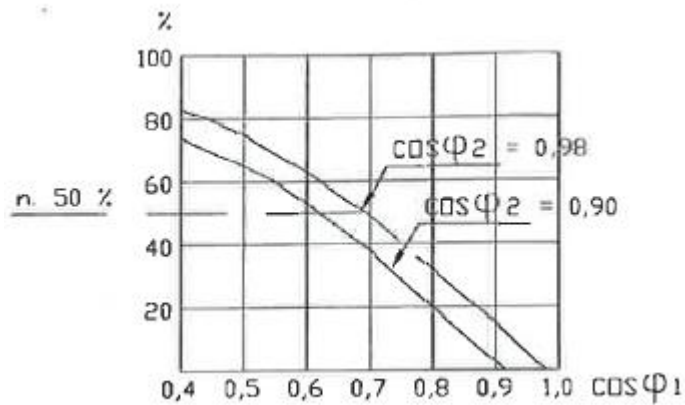
KUVA 1. Kompensoinnin periaate (Männistö ym. 2006, 82.)

Verkon pätötehon siirtokapasiteetti kasvaa, kun sen kuormitusvirrasta saadaan poistettua loiskomponentti. Kuva 2 antaa viitettä siitä, kuinka paljon verkon siirtokyky kasvaa tehokertoimen kasvaessa $\cos\varphi_1$:stä $\cos\varphi_2$:een. Kuvassa 2 $\cos\varphi_1$:n arvo on 0,90 ja $\cos\varphi_2$:n arvo 0,98. (Männistö ym. 2006, 82)



KUVA 2. Kompensoinnin aiheuttama siirtokapasiteetin kasvu (Männistö ym. 2006, 83.)

Kokonaisvirran pienetessä myös pätötehohäviöt (RI^2) pienenevät eli kaapeleiden ym. lämpötila laskee. Kuva 3 (ks. seur. sivu) antaa viitettä siitä, kuinka monta prosenttia häviöt pienenevät tehokertoimen parantuaessa. (Männistö ym. 2006, 82-83)



KUVA 3. Kompensoinnin aiheuttama häivöiden pieneneminen (Männistö ym. 2006, 83.)

3.1 Tehokerroin

Tehokertoimella ($\cos\varphi$) tarkoitetaan pätötehon ja näennäistehon välisen kulman kosinia. Tehokerroin kertoo vaiheensiirtokulman suuruuden. Sillä ilmoitetaan esimerkiksi myös sen tehon suhde näennäistehoon verrattuna, joka voidaan muuttaa moottorin akselista saatavaksi mekaaniseksi työksi. Sama kaavamuodossa (kaava 4): (Mäkinen ja Kallio 2004, 18)

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

$\cos\varphi$ =tehokerroin

P=pätöteho (W)

S=näennäisteho (VA)

3.2 Kompensointitavat

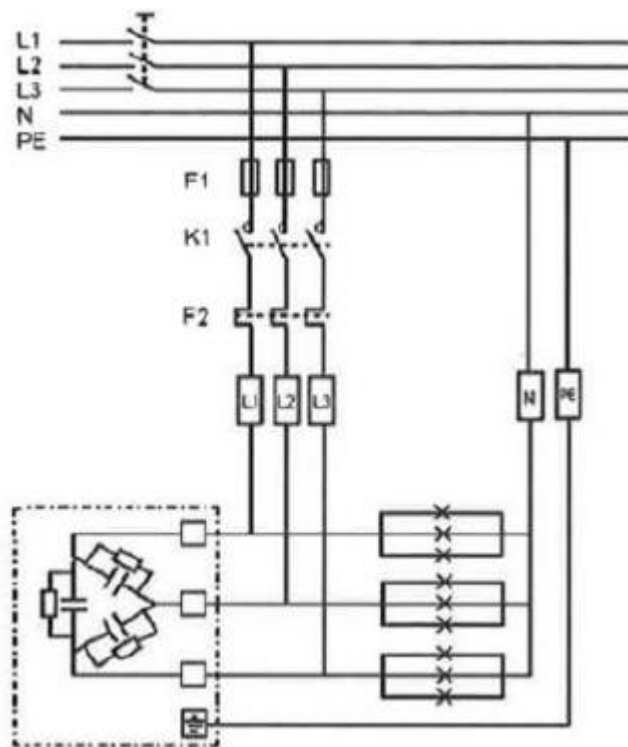
Loistehon tarvetta kuvataan tehokertoimen ($\cos\varphi$) avulla. Tehokertoimen arvon ollessa induktiivinen liittymä ottaa verkosta loistehoa. Kompensoinnilla saadaan muutettua tehokertoimen arvoa lähelle arvoa yksi. Ylikompensointi tarkoittaa sitä, että tehokerroin on kapasitiivinen ja liittymä syöttää verkkoon loistehoa. Kuopion Sähköverkko Oy kieltää loistehon syöttämisen sen verkkoon. Kompensointivaihtoehtoina toimivat laitekohtainen kompensointi, ryhmäkompensointi ja keskitetty kompensointi. (Mäkinen ja Kallio 2004, 18; Tampereen sähkölaitos 2012, 3; Kuopion energian sähkönsiirtohinnat 2016)

3.2.1 Laitekohtainen kompensointi

Laitekohtaista kompensointia käytetään yleensä valaisimien ja moottoreiden kompensointiin. Tällöin kompensointi toteutetaan asentamalla rinnakkaiskondensaattoriparisto esim. moottorin lähelle. Asennustavan edellytyksenä on, että loisteho vaihtelee kohteessa vain vähän. Kompensoinnilla säästetään tehosäästöä ja pienennetään kaapeleiden jännitehäviöitä moottorikaapeleiden ollessa pitkiä. Kaapeleiden poikkipintaa saadaan myös pienennettyä kompensoinnin ansiosta. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 89-90; ST-kortisto ST 52.15 2014, 4)

3.2.2 Ryhmäkompensointi

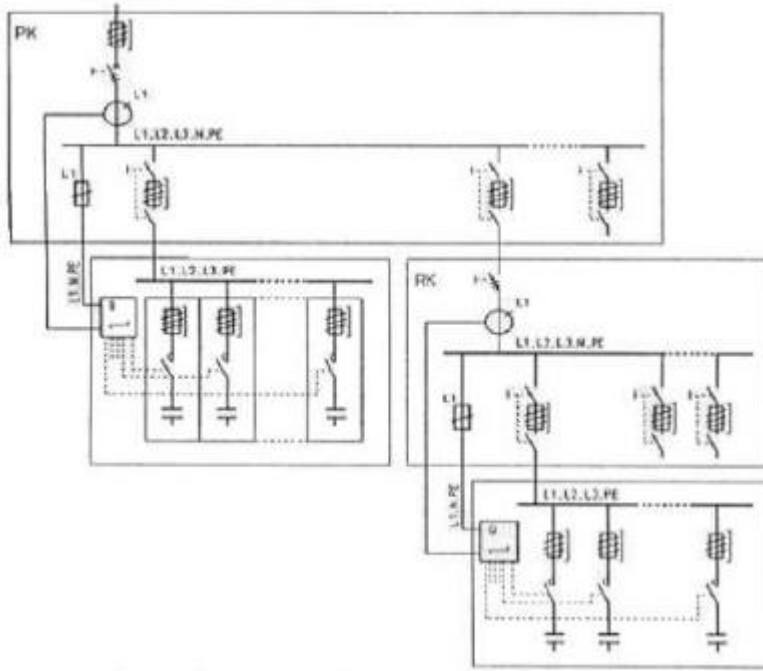
Ryhmäkompensointia käytetään yleisimmin 3-vaiheisten kontaktoriohjattujen valaisinryhmien kompensoinnissa. Kompensointiyksikkö koostuu tässä tapauksessa 3-vaiheisista 400 V:n kondensaattoreista, jotka sijoitetaan valaisinketjuihin. Kompensointiyksikön liitännän on oltava ketjutukseen soveltuva. Jos kompensointiyksikkö asennetaan ryhmäkeskusten yhteyteen tai ryhmäjohton varrelle, niin ryhmäjohtoa suojaavan sulakkeen kautta kulkee mahdollisesti pienempi virta kuin ryhmäjohtossa. Ryhmäkompensoinnin periaatekuva on kuvassa 4. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 90-91; ST-kortisto ST 52.15 2014, 5)



KUVA 4. 3-vaiheisen valaisinryhmän kompensoinnin periaatekuva (Männistö ym. 2006, 92.)

3.2.3 Keskitetty kompensointi

Keskitetyssä kompensoinnissa kondensaattoriparisto asennetaan ryhmäkeskukseen, pääkeskukseen tai muuntajan alajännitepuolen napoihin sulakkeilla suojattuna. Keskitetyllä kompensoinnilla kompensoidaan koko pienjännitejärjestelmä. Tällöin käytetään tietyn kvar-arvon omaavia kondensaattoreita tai automaattikaparistoja. Niissä on oma loistehosäätimensä, joka mittaa jatkuvasti verkon tehokerrointa ja kytkee kondensaattoriportaita päälle tarvittavan loistehokuormituksen mukaan. Kondensaattoripariston koko on yleensä puolet päätötehon huippuarvosta. Keskitetyn kompensoinnin periaatekuva on kuvassa 5 (ks. seur. sivu). (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 88-89; ST-kortisto ST 52.15 2014, 5)



KUVA 5. Keskitetyn kompensoinnin periaatekuva (Männistö ym. 2006, 90.)

4 KOIVUMÄEN KARTANO

Koivumäen kartano on Hiltulanlahdessa, Kuopion eteläpuolella, sijaitseva kokous- ja juhlapaikka. Kartanon historia ulottuu vuoteen 1792. Päärakennus on rakennettu vuonna 1907 (kuva 6). Päärakennuksessa toimii Koivumäen kartanon ravintola ja kahvio. Sieltä löytyy myös asuinhuoneisto sekä saunakabinettitila, joka on vuokrattavissa. Muut rakennukset on rakennettu eri aikakausina ja kaikkia ei ole sähköistetty. Kaiken kaikkiaan rakennuksilla on pinta-alaa n. 2811 m².

Kartanon alueella sijaitsevat ratsastustalli- ja kenttä ovat paikallisen yrittäjän käytössä. Alueella on myös vuokra-asuntoja, varastorakennuksia sekä rantasauna. (Nikula 2013, 14-15)



KUVA 6. Koivumäen kartanon päärakennus, (valokuva Mikko Ikkala.)

4.1 Yleistiedot sähköjärjestelmästä

Kartanon sähköjärjestelmiä on uusittu ja korjattu vuosien saatossa useasti. Viimeisin suurempi muutos on vuodelta 2010, jolloin mm. kartanon pääkeskus uusittiin ja sijoitettiin päärakennukseen. Muutokseen vaikutti kartanon navettarakennuksessa samana vuonna sattunut tulipalo, jossa tuhoutui tallin ullakko. Tulipalo ei päässyt leviämään rakennuksen muihin osiin. Pääkeskus sijaitsi aiemmin juuri navettarakennuksessa.

Kaiken kaikkiaan kartanon alueen rakennuksissa on sähkölaitteita- ja asennuksia useammalta eri vuosikymmeneltä, arviolta 1950-luvulta nykypäivään.

Sähköä syötetään kartanon pääkeskukselle AXMK 4x240 S – liittymiskaapelilla. Sähköliittymä on 3 x 250 A. Kartanon pääkeskus on Norelco Oy:n rakentama keskus. (Nikula 2013, 14-15)

4.2 Lähtökohdat

Loistehon kompensointi rajoitettiin koskemaan As Oy Henriksnäsin sekä sen alaisia keskuksia. Ravintolakeskuksen ja sen alaiset keskukset sekä päärakennuksessa sijaitsevan asunnon keskus eivät kuuluneet työn alaisuuteen, koska kuuluvat eri asiakkaille kuin As Oy Henriksnäsin keskus. Kohteessa ei ole esiintynyt yliaaltoja, joten työssä keskitytään perinteisiin kompensointiratkaisuihin. Tehokerroin $\cos\varphi_1$:nä on käytetty laskuissa arvoa 0,95. Tarkoitus on nostaa $\cos\varphi$:n arvo lähelle lukua yksi. (Tampereen sähkölaitos 2012, 3; Kuopion Energian sähkönsiirtohinnot 2016)

4.3 Kompensointitavan valinta

Laitekohtaisesta kompensoinnista pyritään pääsemään eroon vanhoissa asennuksissa hankalan ylläpidon vuoksi. Uusissa asennuksissa tätä kompensointivaihtoehtoa ei tulisi käyttää ollenkaan. Samoin myös ryhmäkohtaisesta kompensoinnista tulisi pyrkiä eroon vanhoissa asennuksissa. Nekin ovat ratkaisuihin hankalia ylläpitää. Uusissa asennuksissa ryhmäkompensointiakaan ei tulisi käyttää ollenkaan. (ST-kortisto ST 52.15 2014, 4-5)

Kartanolla loistehoa tuottavat eniten lämpöpumppu ja erilaiset IV-koneet. Sekä laite-, että ryhmäkohtainen kompensointi ovat taloudellisesti kannattamattomia eikä niitä muutenkaan suositella käytettävän nykyään. Täten kompensoinnin suunnittelussa keskitytään keskitettyyn kompensointiin hajautetun kompensoinnin sijaan.

4.4 Kompensoinnin mitoitus

Toimeksiantajalta saatiin vuosien 2014 ja 2015 kulutustiedot, joista näkee pätötehon ja loistehon tuntikohtaisesti. Tällä aikavälillä sähkönkulutus on ollut suurimmillaan tammikuussa 2014. Tuolloin myös loistehon määrä on ollut suurin ja tilanne siis pahin.

Pätötehosta ja loistehosta saadaan laskettua kulutuksen näennäisteho S , jonka mukaan verkkoyhtiö velottaa sähkön kulutuksesta. Koska näennäisteho sisältää myös loistehon, siitä saadaan laskettua kuorman ottama kokonaisvirta kaavalla 5: (Männistö ym. 2006, 82)

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (5)$$

I=kokonaisvirta (A)

U=jännite (V)

S=näennäisteho (VA)

P=pätöteho (W)

Q=loisteho (var)

TAULUKKO 1. Sähkön kuukausittainen huippukulutus kuluttajalla

Ajankohta	Kulutus kWh	Lämpötila Celsius	Pätöteho P/kW	Loisteho Qind / kVar	Näennäisteho S/kVA	Kokonaisvirta I/A
tammi.14	36,4	--	36,4	25,8	44,62	64,40
helmi.14	27,6	5,1	27,6	18	32,95	47,56
maalis.14	34,4	9,3	34,4	23,8	41,83	60,38
huhti.14	34	14,6	34	25	42,20	60,91
touko.14	27,8	29	27,8	21,8	35,33	50,99
kesä.14	23,2	28,7	23,2	14,8	27,52	39,72
heinä.14	21	29,8	21	14,4	25,46	36,75
elo.14	25	28,2	25	15,4	29,36	42,38
syys.14	19,8	21	19,8	14	24,25	35,00
loka.14	32,2	12,5	32,2	22,6	39,34	56,78
marras.14	32,2	9,8	32,2	22,4	39,22	56,62
joulu.14	31	4,2	31	22,4	38,25	55,20
tammi.15	26,8	3,3	26,8	19,4	33,08	47,75
helmi.15	22	6,2	22	16,4	27,44	39,61
maalis.15	24	10,2	24	18,2	30,12	43,48
huhti.15	23	11,3	23	17,6	28,96	41,80
touko.15	27,2	18,9	27,2	18	32,62	47,08
kesä.15	25,2	24,5	25,2	14,8	29,22	42,18
heinä.15	19,2	27,5	19,2	12,2	22,75	32,83
elo.15	20,2	24,4	20,2	12,8	23,91	34,52
syys.15	24	18,9	24	15	28,30	40,85
loka.15	28,2	13,2	28,2	20,2	34,69	50,07
marras.15	30,8	11,1	30,8	22	37,85	54,63
joulu.15	34	8,5	34	24,6	41,97	60,57
KA huippuarvoista	27,05	16,10	27,05	18,82	32,95	47,56

Taulukosta 1 nähdään kartanon sekä tehojen että virran huippukulutus kuukausittain. Esimerkiksi tammikuun 2014 todellinen tehonkulutus on ollut 36,4 kWh, mutta sähkönsiirtomaksua on maksettu 44,62 kVA:n edestä. Loistehoa on ollut myös huomattava määrä. Taulukosta 2 (ks. seur. sivu) nähdään loistehon määrä verrattuna Kuopion Energian sallimaan määrään. Siitä selviää myös, kuinka paljon rajan ylittävä loisteho on tuottanut lisäkustannuksia kartanolle. Kuopion Energia veloittaa loistehosta, kun sen määrä on yli 20 % pätötehosta. Ilmaisosuuden kerroin on tämän vuoksi 0,2.

TAULUKKO 2. Loistehon tarpeet ja kuukausittaiset loistehokustannukset

Ajankohta	Pätöteho P/kW	Loisteho Qind / kVar	Qilm / kVar (0,2*P)	Qtarv / kvar	Loistehomaksu €/kvar, kk	20 % ylittävän loistehon arvo €
tammi.14	36,4	25,8	7,28	18,52	2,92	54,08
helmi.14	27,6	18	5,52	12,48	2,92	36,44
maalis.14	34,4	23,8	6,88	16,92	2,92	49,41
huhti.14	34	25	6,8	18,2	2,92	53,14
touko.14	27,8	21,8	5,56	16,24	2,92	47,42
kesä.14	23,2	14,8	4,64	10,16	2,92	29,67
heinä.14	21	14,4	4,2	10,2	2,92	29,78
elo.14	25	15,4	5	10,4	2,92	30,37
syys.14	19,8	14	3,96	10,04	2,92	29,32
loka.14	32,2	22,6	6,44	16,16	2,92	47,19
marras.14	32,2	22,4	6,44	15,96	2,92	46,60
joulu.14	31	22,4	6,2	16,2	2,92	47,30
tammi.15	26,8	19,4	5,36	14,04	2,92	41,00
helmi.15	22	16,4	4,4	12	2,92	35,04
maalis.15	24	18,2	4,8	13,4	2,92	39,13
huhti.15	23	17,6	4,6	13	2,92	37,96
touko.15	27,2	18	5,44	12,56	2,92	36,68
kesä.15	25,2	14,8	5,04	9,76	2,92	28,50
heinä.15	19,2	12,2	3,84	8,36	2,92	24,41
elo.15	20,2	12,8	4,04	8,76	2,92	25,58
syys.15	24	15	4,8	10,2	2,92	29,78
loka.15	28,2	20,2	5,64	14,56	2,92	42,52
marras.15	30,8	22	6,16	15,84	2,92	46,25
joulu.15	34	24,6	6,8	17,8	2,92	51,98
KA huippuarvoista	27,05	18,82	5,41	13,41	2,92	39,15
Summa						939,54

Ylimääräisestä loistehosta on maksettu keskimäärin 39 €/kk eli lähes tuhat euroa koko kahden vuoden tarkastelujaksolla. Tarvittava loistehon määrä on 18,52 kvar (tammikuu 2014), ja vähintään tämä määrä pitää tuottaa kondensaattorilla.

Seuraavaksi selvitettiin kompensoinnin aiheuttama $\cos\varphi_2$:sen määrä. Tähän käytettiin kaavoja 6, 7 ja 8:

$$Q_1 = P * \tan\varphi_1 \quad (6)$$

$$Q_2 = P * \tan\varphi_2 \quad (7)$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \rightarrow P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (8)$$

P=kompensoimaton pätöteho (W)

Q₁=loisteho (var)

Q₂=loistehon ilmaisosuuden suuruus (var)

Q_c=kompensointiteho (var)

Kaavoista ratkaistiin $\tan\varphi_2$, jolla laskettiin $\cos\varphi_2$. $\cos\varphi_2$:n arvoksi saatiin 0,98. Tällä arvolla saadaan laskettua verkon siirtokyvyn kasvu, johon käytetään kaavaa 9:

$$P_2 = \frac{P_1 * \cos\varphi_2}{\cos\varphi_1} \quad (9)$$

P_1 =kompensoitamaton pätöteho (W)

P_2 =kompensoitu pätöteho (W)

$\cos\varphi_1$ =tehokerroin ennen kompensointia

$\cos\varphi_2$ =tehokerroin kompensoinnin jälkeen

Sähkösiiirtokyky saadaan nostettua näillä arvoilla 37,55 kW:iin. Tällä pätötehon arvolla voidaan laskea uudet, kompensoinnin jälkeiset arvot sähkönkulutukselle (Taulukko 7, s. 25).

4.5 Kompensointitarkastelu kuormitusjakaumalla

Loistehon tarve tarkastettiin myös kuormitusjakauman mukaan. Liitäntätehoksi saadaan 50 kW As Oy Henriksnäs RK1:sen nimellisvirran ollessa 125 A ja nimellijännitteen 400 V. Moottorien loistehon tarve saadaan laskettua kaavalla 10: (ST-kortisto ST 52.15 2014, 4)

$$P = S * \cos\varphi_1 \quad (10)$$

P =pätöteho (W)

S =näennäisteho (VA)

$\cos\varphi_1$ =tehokerroin ennen kompensointia

Alla on esimerkkinä kiinteistön lämpöpumpun huippukulutus keskuksen nimellisarvoilla laskettuna (kaava 11):

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \rightarrow \sqrt{3} * 400 * 63 * 0,7 = 30,5 \text{ kW} \quad (11)$$

Kuormitusjakaumalaskuissa näennäisteho jaetaan kunkin kuormituslaitteiston prosenttiluvulla. Esimerkeissä on käytetty satunnaisesti eri prosenttilukuja. Taulukossa 3 on tämän laskutavan esimerkijakaumat:

TAULUKKO 3. Esimerkkejä kuormien määristä eri kuormitusjakaumilla laskettuna

Esimerkki nr	Moottorit (%)	Valaistus (%)	Lämpökuorma (%)	Moottori (VA)	Valaistus (VA)	Lämpökuorma (VA)
1	50 %	20 %	30 %	25000	10000	15000
2	60 %	15 %	25 %	30000	7500	12500
3	70 %	10 %	20 %	35000	5000	10000
4	85 %	5 %	10 %	42500	2500	5000

Tämän jälkeen moottoreiden $\cos\varphi_1$ (0,7) kompensoitiin $\cos\varphi_2$:een (0,98) ja katsottiin liitteen 1 taulukosta tälle kerroin, joka on 0,82. Moottoreiden loistehon tarve lasketaan kaavalla 12:

$$Q_m = P_m * 0,82 \quad (12)$$

Valaistuksen $\cos\varphi_1$ on 0,5 ja se kompensoidaan $\cos\varphi_2$:een (0,95). Sille liitteen 1 taulukko antaa kertoimeksi 1,4. Valaistuksen loistehon tarve lasketaan kaavalla 13:

$$Q_v = P_v * 1,4 \quad (13)$$

Lämpökuorma ei tarvitse loistehoa, koska se on resistiivistä. Sen kerroin on siis 1,0. Kokonaisloistehon tarve lasketaan kaavalla 14:

$$Q = Q_m + Q_v \quad (14)$$

(ST-kortisto ST 52.15 2014, 4)

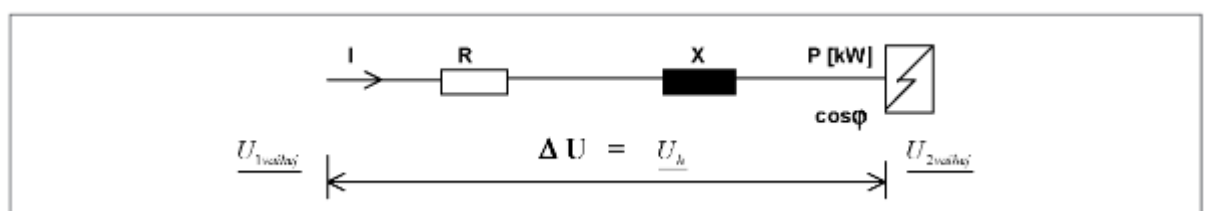
TAULUKKO 4. Kuormitusjakauilla lasketut arvot loistehon tarpeelle

Cosfii1=0,7		Cosfii2= 0,98		Cosfii1=0,5		Cosfii2= 0,95	
Moottoreiden teho (W)	Kerroin	Qm (var)	Valaistuksen teho (W)	Kerroin	Qv (var)	Q=Qm+Qv (var)	
17500	0,82	14350	5000	1,4	7000	21350	
21000	0,82	17220	3750	1,4	5250	22470	
24500	0,82	20090	2500	1,4	3500	23590	
29750	0,82	24395	1250	1,4	1750	26145	

Kuormituskertoimilla saadut tulokset näkyvät taulukossa 4. Ne on laskettu näennäisarvoilla, minkä vuoksi arvot ovat suurempia kuin tarkemmilla arvoilla laskettu 18,52 kvaria. Tuloksia saadaan muokattua prosenttiosuuksia vaihtelemalla.

4.6 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalla tarkoitetaan johdon alku- ja loppupään jännitteiden itseisarvojen erotusta. Sitä voidaan kuvata periaatteella, joka näkyy kuvassa 7. Siinä johtimen impedanssi kuvataan resistanssin ja reaktanssin sarjakytkennällä. Tässä esimerkissä johtimen kapasitanssi ja konduktanssi ovat merkityksettömän pienet. Johdon loppupäässä sijaitsee kuorma, jonka pätöteho on P ja tehokerroin $\cos\varphi$. (ST-kortisto ST 52.51.02 2006, 1)



KUVA 7. Jännitteenaleneman periaate (ST-kortisto ST 52.51.02 2006, 2.)

Kaavalla 15 saadaan laskettua riittävän tarkat jännitteenalenematarvot vaihejännitteelle: (ST-kortisto ST 52.51.02 2006, 1-2)

$$\delta U = I * \cos\varphi * r * l + I * \sin\varphi * x * l \quad (15)$$

$$= l * (I_p * r + I_q * x)$$

$$= I * l * (r * \cos\varphi + x * \sin\varphi)$$

I=kuormitusvirta (A)

I_p=kuormitusvirran pätökomponentti=pätövirta (A)

I_q=kuormitusvirran loiskomponentti=loisvirta (A)

R=johtimen resistanssi (Ω)

X=johtimen reaktanssi (Ω)

l=johtimen pituus (km)

cosφ=tehokerroin

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan laskettua kaavalla 16: (ST-kortisto ST 52.51.02 2006, 1-2)

$$\delta u = \frac{\delta U}{U_n} * 100 \% \quad (16)$$

δU=jännitteenalenema (V)

U_n=nimellisjännite (V)

4.6.1 Jännitteenalenema asiakkaalla

Jännitteen suuruudella on suuri merkitys sähkön laatuun. Laite ei välttämättä toimi kunnolla, jos sen jännitetaso on liian alhainen tai vastaavasti liian korkea. Merkitys korostuu siis lähellä sähkönkäyttäjää. Jakeluverkkolaskuissa kiinnostaa yleensä eniten johdon loppupään maksimikuormituksella vallitseva jännite sekä johdon jännitteenalenema. Kiinteistössä valaistuksen jännitteenalenema saa olla enintään 3 % ja moottoreiden 5 %. (Lakervi ja Partanen 2009, 38-39; Verkostosuositus SA2:08 2008, 29)

4.6.2 Jännitteenalenema kartanon verkossa

Loistehon kompensointi vaikuttaa jännitteenalenemaan. Jännitteen laadussa on ollut ongelmia kartanolla. Vesimittarikeskuksen takana oleva sulake on joskus lauennut, jos pistorasiaan on kytketty liikaa kuormaa. Sulake on lauennut esimerkiksi, kun sekä lohkolämmitin että puhallin on ollut talvella samaan aikaan traktoria lämmittämässä. (Dunkel 18.11.2016)

Laskenta aloitettiin laskemalla jännitteenalemat nykyisillä kaapeleilla ja kulutustiedoilla ennen kompensointia. Kaapeleiden pituudet ovat arvioituja, koska tarkkoja tietoja ei ollut saatavilla. Kaapelien

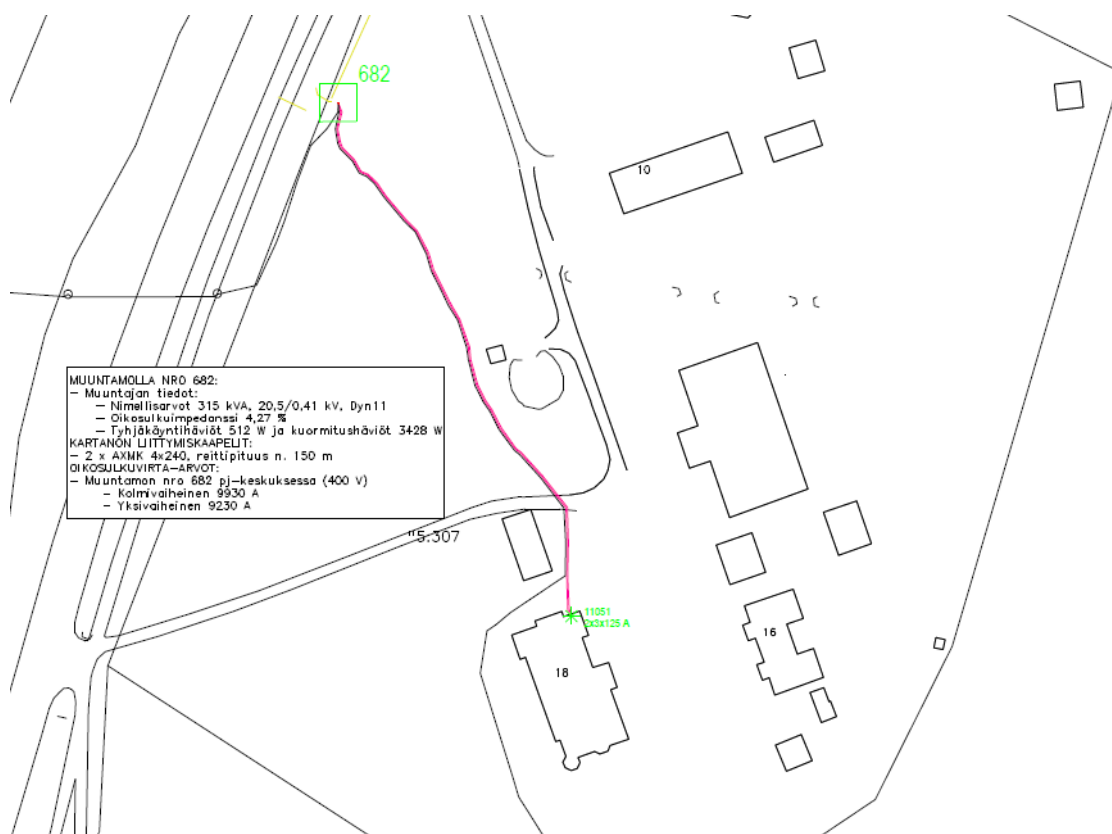
pituuksille laskettiin resistanssi R sekä reaktanssi X sekä näiden perusteella saatiin matkalle jännitteenalenema. Tämän jälkeen laskettiin jännitteenalenemat kompensoiduilla arvoilla ja lopuksi vielä uusilla kaapelivaihtoehdoilla.

Nykyisessä tilanteessa virta-arvona käytettiin tammikuun 2014 huippuvirtaa 64,4 A. $\cos\phi$ oli 0,96 ja tästä laskettu $\sin\phi$ 0,28. Tammikuun 2014 kompensoitu huippuvirta oli 55,21 A. $\cos\phi$ ja $\sin\phi$ pysyivät samoina. Kompensoituja arvoja käytettiin myös kolmannessa jännitteenalenemalaskussa, vain kaapeleita ja niiden tietoja muutettiin.

Tämän hetken jännitteenalenemat on esitetty liitteessä 2. Lukemat ovat huomattavan suuria usealla kaapelireitillä. Nämä laskettiin seuraavaksi kompensoinnin jälkeisillä arvoilla. Tulokset näkyvät liitteessä 3. Kompensoiduilla arvoilla jännitteenalenemia saatiin pienennettyä 1-3 prosenttiyksiköllä. Tästä huolimatta jännitteenalenemille on tehtävä lisää muutoksia. Seuraavaksi tarkasteltiin kaapelikokojen muuttamista, jotta saataisiin jännitteenalenemat joka pisteessä 3 %:iin. Tulokset ja uudet kaapelit näkyvät liitteessä 4. Kaikissa laskuissa täytyy huomioida, että kaapelien pituudet ovat arvioita, joten ne saattavat erota todellisista pituuksista.

4.7 Oikosulkuvirrat kartanolla

Seuraavaksi selvitettiin kartanon oikosulkuvirrat ja näiden sopivuus kiinteistön pääsulakkeisiin. Nämä saatiin kysytyä suoraan Kuopion Energialta. Sähköliittymän muuntamolla on 315 kVA:n muuntaja, jonka tarkemmat tiedot ovat kuvassa 8. Sähköverkon 3-vaiheinen oikosulkuvirta on 9930 A ja pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta 9230 A pääkeskuksessa.



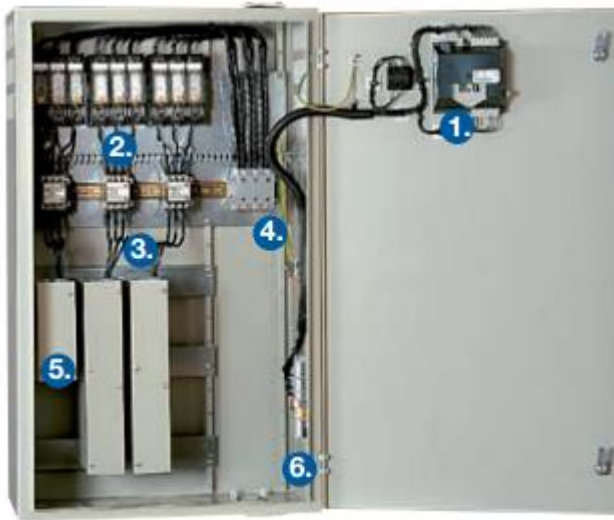
KUVA 8. Muuntajan tiedot ja oikosulkuvirrat (Kuopion Energia 2016.)

4.8 Tulokset

Kompensointi toteutetaan yhdellä suurella kompensointiyksiköllä As Oy Henriksnäsin RK1:n keskuk- sessa. Loistehon tarpeeksi saatiin 18,52 kvaria. Jotta vältetään ylikompensoinnilta, niin kompensoin- tilaitteen tehon on oltava mahdollisimman lähellä loistehontarvetta. Tässä projektissa päädyttiin No- kia Capacitorsin 20 kvarin automatiikkaparistoon, jossa on kolme säätöporrasta (kuva 9, ks seur. si- vu; taulukko 5; taulukko 6, ks seur. sivu). Vaikka näennäisarvoilla lasketuilla kuormitusjakaumilla saatiin 20 - 25 kvarin arvoja loistehon tarpeelle, niin todellisuudessa suurin loisteholukema on ollut 18,52 kvaria. Tämän takia ei suotta valita 25 kvarin kompensointilaitteistoa.

TAULUKKO 5. Kompensointilaitteen tekniset tiedot (Nokia Capacitorsin pienjännitetuotteiden tuote- opas, 6)

Nimellisjännite	400 V...690 V
Nimellistaajuus	50 Hz tai 60 Hz
Nimellisteho	15 kvar...100 kvar
Tehoportaiden määrä	1...5
Kapasit. toleranssit	-5/+10%
Viritystaajuus	-
Eristys taso	3 kV
Sallittu jatkuva ylijännite	1.1 x Un
Sallittu jatkuva ylivirta	1.3 x In
Häviöteho	< 1.3 W/kvar
Asennusolosuhteet	sisäasennus
Kotelointiluokka	IP30
Lämpötilaluokka	0°C...+40°C
	Keskiarvo 24h: +35°C
	Keskiarvo 1 vuosi: +25°C
Mitat (levysyvyyskorkeus)	600 x 300 x 1000 mm
Paino	45 kg...65 kg
Väri	RAL7032 (vaalean harmaa)
Normi	IEC 60831 – 1&2, EN 60439-1



KUVA 9. Nokia Capacitorsin seinämallinen automatiikkaparisto (Nokia Capacitorsin pienjänniteteut-
teiden tuote-opas, 6.)

Kuvassa 9 on Nokia Capacitorsin seinämallinen automatiikkaparisto. Kompensointilaitteen kom-
ponentit ovat seuraavat:

1. Loistehonsäädin
2. Sulakkeet
3. Kontaktorit
4. Kaapeliliitäntä
5. Kondensaattoriyksiköt
6. Ohjauskaapelienviviliittimet

TAULUKKO 6. Valittu kompensointilaite on taulukon 20 kvarin automatiikkaparisto (Nokia Capacitor-
sin pienjänniteteutteen tuote-opas, 7)

SSTL-nro.	TYYPPI	TEHO KVAR	PORTAAT KVAR	PAINO KG	NIMELLIS- VIRTA IN/A	LAAJENNUS- VARA / KVAR
57 051 21	2N15	15	5+10	45	22	2*25
57 051 22	3N20	20	2x5+10	51	29	20
57 051 23	3N25	25	5+2x10	51	36	20
57 051 24	3N30	30	5+10+15	54	43	25
57 051 25	3N35	35	5+10+20	54	51	20
57 051 26	3N40	40	5+10+25	54	58	20
57 051 28	3N50	50	10+2x20	57	72	20
57 051 30	4N60	60	10+20+30	60	87	-
57 051 67	4N70	70	10+20+40	62	101	-
57 051 68	4N80	80	10+20+2x25	62	116	-
57 051 70	4N87,5	87,5	12,5+25+50	62	126	-
57 051 72	4N100	100	2x12,5+25+50	65	145	-

Tehojen kulutuksissa tapahtuvat muutokset näkyvät taulukossa 7. Sähkönsiirtokykyä saatiin nostettua 37,55 kW:iin. Samalla näennäistehon arvoksi muotoutui 38,25 kVA eli yli 6 kVA vähemmän, kuin tammikuun 2014 huippulukema. Myös kokonaisvirta laskee huomattavasti loiskuorman pienennettyä. Tammikuussa 2014 kokonaisvirraksi saatiin 64,40 A, kun taas kompensoinnilla päästäisiin 55,21 A. Tällä tavoin saadaan kaapeleiden lämpötilaa pienennettyä.

TAULUKKO 7. Kompensoinnin jälkeiset kulutusarvot

Pätöteho	37,55	kW
Loisteho	7,28	kvar
Näennäisteho	38,25	kVA
Kokonaisvirta	55,21	A

Jännitteenalenemat ovat monessa pisteessä huomattavan suuria ja tämän takia kaapelien kokoa täytyy kasvattaa. Hevostalli B:n kaapeli voidaan pitää nykyisellään, kunhan vain jatkosta edeltävä kaapeli vaihdetaan suuremmaksi. Kaapelien vaihtaminen tulee olemaan hintava ratkaisu, joten tämä olisi järkevää suorittaa vaiheittain. Tärkeintä olisi vaihtaa erityisesti As Oy Henriksnäsin RK1:ltä vesimittarikeskukselle menevä kaapeli sekä pääkeskukselta hevostalli B:n jatkokselle menevä kaapeli. Isompien poikkipintojen MCMK-voimakaapelit tulee vaihtaa AMCMK-alumiinivoimakaapeliin niiden edullisemman hinnan vuoksi. Liitoskohtiin ja keskuksiin tulee asentaa alumiinikaapeleille liittimet.

Liittymän ja pääkeskuksen välinen jännitteenalenema oli n. 1 %, mikä on riittävä. Samoin oikosulkuvirtojen sulakesuojaus on riittävä.

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

5.1 Lainsäädäntö

Aurinkosähkösuunnittelussa on otettava huomioon tiettyjä sääntöjä ja lakeja, jotka liittyvät paneelien asentamiseen, sähkötöihin ja järjestelmän kytkemisen verkkoon. Sähköturvallisuuslain mukaan sähkölaitteet ja –laitteistot (mukaan lukien aurinkosähköjärjestelmät) eivät saa aiheuttaa vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. Vain lakia noudattavat laitteet saa tuoda markkinoille.

Aurinkopaneelien kennojen ominaisuudet määrittelee standardi SFS-EN 61215. Liitäntäkotelon ja järjestelmän jakokeskuksen on oltava standardin SFS-EN 60439-1 mukaisia. Aurinkosähköjärjestelmien standardit valmistelee IEC-komitea TC 82 ja asennusvaatimusten standardeja IEC-komitea TC 64. Standardien mukaisille aurinkosähköjärjestelmän komponenteille on olemassa PV GAP (Global Approval Program for Photovoltaics) –merkintä, mutta se on vapaaehtoinen eikä sitä edellytetä esimerkiksi Suomen markkinoilla. (ST-Kortisto ST 55.33 2013, 3)

Verkkoon kytketyille laitteille tulee suorittaa käyttöönottotarkastus turvallisuuden varmistamiseksi. Tämän suorittaa yleensä sähköasennuksista vastannut sähköurakoitsija. Pientuotantolaitteiden (esim. aurinkosähköinvertterit) verkkoon liittämisen suojauksista on useita standardeja ja suosituksia. Näistä Suomessa päteviä ovat mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, pienjännitesähköasennuksia koskeva standardi SFS 6000, saksalainen VDE-AR-N 4105 sekä Energiateollisuus ry:n omat suositukset. (Motiva Aurinkoenergia 2016)

Sähkömarkkinalain mukaan sähköverkon haltijalla on myös sähkön pientuotantoa koskevat liittämiselvollisuus ja siirtovelvollisuus. Verkon haltijan täytyy pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää toiminta-alueellaan olevat ja tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset. Sähköntuotannon siirtomaksu eli verkkopalvelumaksu ei saa olla keskimäärin yli 0,07 c/kWh vuodessa. (Motiva Aurinkoenergia 2016)

5.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Paneelien mitoitus on syytä tehdä huolellisesti parhaan mahdollisen hyödyn saavuttamiseksi. Aurinkosähköllä korvataan ostosähköä ja tuotettu energia kulutetaan itse. Ylimitoittaminen ei ole kannattavaa. Ylimitoituksen vuoksi takaisinmaksuaika pitenee, koska ylijäämä sähkö joudutaan syöttämään yleiseen sähköverkkoon, joko ilmaiseksi tai markkinahintaista korvausta vastaan. Markkinahintainen korvaus on n. kolmasosa ostosähkön hinnasta, koska ostosähkön hintaan sisältyy pelkän sähkön lisäksi myös sähkönsiirtomaksu sekä verot. (Motiva Aurinkoenergia 2016; Isojunno 2014, 14)

Mitoitus kannattaa suorittaa kiinteistön pohjakuorman mukaan. Näin aurinkopaneeleilla saadaan tasoitettua kiinteistön sähkönkulutusta. Pohjakuorma tarkoittaa kiinteätä sähkönkulutuksen osaa, joka minimissään kuluu rakennuksessa vuorokauden ajasta riippumatta. (Isojunno 2014, 14-15)

5.3 Aurinkokennotyytit

Aurinkopaneelien kennot valmistetaan yleensä kiteisestä, monikiteisestä tai amorfisesta piistä. Piistä valmistettujen kennojen teoreettinen hyösuhteen maksimiarvo on n. 30 %. Aurinkokennojen hyötysuhdetta voidaan vertailla esimerkiksi auton ottomoottoriin, jonka hyötysuhde jää 10 - 25 % välille. (Isojunno 2014, 8)

Aurinkokenno on kooltaan yleensä 10 cm x 10 cm ja paksuudeltaan 0,1 - 0,4 mm kennon tyypistä riippumatta. Monikiteisestä ja amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat edullisempia valmistaa kuin yksikiteisestä piistä valmistetut kennot. Markkoinoiden suosituin kennotyyppi on monikiteinen piikkenno. (Erat ym 2008, 124)

5.3.1 Yksikiteinen kenno

Yksikiteisen kennon piikiteet valmistetaan tankomuotoon niin, että kiderakenteen atomit menevät tietyntylaiseen järjestykseen. Valmistuksen haastavuus nostaa kustannuksia. Laboratorio-olosuhteissa on päästy yli 25 % hyötysuhteisiin. Markkinoilla olevien kennojen todellinen hyötysuhde jää kuitenkin alle 20 %:n. Yksikiteisissä piikkennoissa on pyöristetetyt reunat ja ne ovat väriltään mustia. (Erat ym 2008, 124)

5.3.2 Monikiteinen kenno

Monikiteinen kenno on teknisiltä ominaisuuksiltaan lähes samanlainen kuin yksikiteinen kenno. Sen valmistaminen on tosin edullisempaa, sillä sen valmistusprosessi ei ole niin vaativa. Monikitekennot valmistetaan valamalla, minkä vuoksi syntyy monikiteinen rakenne. Monikiteisessä kennossa atomien paikat ovat epämääräisemmässä järjestyksessä kuin yksikiteisessä kennossa, mikä hyötysuhdetta. Laboratorio-olosuhteissa päästään 20 %:n hyötysuhteeseen, mutta markkinoilla olevien kennojen hyötysuhde on n. 15 %:n luokkaa. Muodoltaan monikiteiset kennot ovat suorakulmaisia ja ne ovat väriltään sinertäviä. (Erat yms 2008, 124)

5.3.3 Amorfinen kenno

Amorfista piitä käytetään ohutkalvoisten paneelien valmistukseen. Amorfisessa kennossa atomit ovat täysin epämääräisessä järjestyksessä. Kennot ovat ohuempia kuin kiderakenteiset kennot, joten niiden valmistuksessa tarvitaan vähemmän piitä. Kalvopaneelit tosin tarvitsevat paljon enemmän asennuspinta-alaa kuin yhtä tehokkaat kiderakenteiset paneelit, koska niiden hyötysuhde on 10 % luokkaa. Amorfisten paneelien etuna on tosin se, että niitä voidaan valmistaa erivärisinä ja muotoisina. Amorfisia paneeleita voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennuksien julkisivumateriaaleissa. (Erat ym 2008, 124–125)

5.4 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli on kokonaisuus, joka sisältää sarjaan kytkettävät kennot, alumiinikehyksen, kennoja suojaavan lasilevyn ja kapselointifolion. Aurinkopaneeli on kennojen tapaan tasavirtalähde, mutta sen hyötysuhde jää 1 - 2 % pienemmäksi kytkentöjen tuottamien häviöiden takia. (Erat ym 2008, 125–126)

Paneelien nimellistehot vaihtelevat sovelluksen mukaan, mutta kiinteistöasennuksissa niiden nimellistehot ovat yleensä välillä $150 W_p - 260 W_p$. Nimellisteholla tarkoitetaan paneelin tuottamaa huipputehoa, joka pystytään saavuttamaan laboratorio-olosuhteissa.

Useita paneeleita sisältävää kokonaisuutta kutsutaan aurinkopaneelistoksi, johon sisältyy kaikki järjestelmään kuuluvat aurinkopaneelit. Haluttu teho- ja jännitetaso toteutetaan kytkemällä paneeleita halutun sovelluksen mukaan sarjan ja rinnan. Paneelien parhaita ominaisuuksia on niiden muokattavuus. Samalla aurinkopaneelilla voidaan rakentaa pieni tuotantolaitos tai usean megawatin voimala yleiseen jakeluverkkoon. (Erat ym 2008, 126–127)

Paneelin maksimisähköteho voidaan laskea oikosulkuvirran, tyhjäkäyntijännitteen ja täytekertoimen f avulla (kaava 17). Täytekertoimen arvo on aina alle yksi. Kiteisellä piillä käytetään yleensä arvoa välillä 0,7 - 0,75 ja amorfisella piillä arvoa välillä 0,5 - 0,6. (Isojunno 2014, 13)

$$f = \frac{P_{max}}{V_{oc} * A_{sc}} < - > P_{max} = f * V_{oc} * A_{sc} \quad (17)$$

f =täytekertoimen

V_{oc} =tyhjäkäyntijännite (V)

A_{sc} =oikosulkuvirta (A)

Aurinkopaneelien hyötysuhde η lasketaan sähkötehon P_{min} ja aurinkopaneelin pinnalle osuvan säteilytehon GA suhteena (kaava 18): (Isojunno 2014, 13)

$$\eta = \frac{P_{max}}{G * A} \quad (18)$$

η =hyötysuhde

P_{max} =paneelin huipputeho

G =säteilyteho

A =paneelin pinta-ala

Aurinkopaneelin energiantuoton arvioinnissa pitää tietää paikallisen ilmaston olosuhteet, koska vuodenaika ja säätila vaikuttavat paneelien sähköntuottoon merkittävästi. Hyvällä arvioinnilla pystytään määrittämään aurinkosähköjärjestelmälle vuotuinen huipunkäyttöaika t_h . Tällä tarkoitetaan tuntimäärää, jolla järjestelmä tuottaa energiaa nimellisteholtaan vuoden aikana. Huipunkäyttöaika t_h

määritellään vuotuisen energiantuoton W_a ja paneeliston nimellistehon P_{nim} mukaan (kaava 19). (Isojunno 2014, 13)

$$t_h = \frac{W_a}{P_{nim}} \quad (19)$$

t_h =huipunkäyttöaika

W_a =vuotuinen energiantuotto

P_{nim} =paneeliston nimellisteho

Aurinkoisena kevät- ja kesäpäivänä saadaan huipunkäyttöajan ylärajaksi Etelä-Suomessa n. 6,5 tuntia. Pilvisinä päivinä jäädään n. 4,5 tuntiin. Syys- ja talvipäivinä huipunkäyttöaika rajoittuu 0,15 ja 1,1 tunnin välille auringon näkyvyyden mukaan. Huipunkäyttöaika ei ota huomioon tehoelektronikkakomponenttien häviöitä. Lisäksi paneeliston oletetaan toimivan kokoajan maksimitehollaan. Huipunkäyttötunteja kertyy Suomessa 800 ja 1000 tunnin välillä. Etelä-Suomessa päästään n. 920 tunnin vuosituottoon. Muistisääntönä voidaan pitää sitä, että 100 W_p paneeli tuottaa Etelä-Suomessa parhaimmillaan n. 100 kWh energiaa vuodessa. (Isojunno 2014, 14)

5.5 Paneelien suuntaus ja sijoitus

Parhaan energiantuoton saavuttamiseksi paneelit olisi sijoitettava niin, että aurinko paistaa mahdollisimman pitkään ja esteettömästi niiden pinnalle. Optimaaliseen energiantuotantoon vaikuttaa merkittävästi kolme eri asiaa: sijainti, kallistuskulma sekä suuntaus. (Isojunno 2014, 16)

Paneelin sisään tulevan säteilyn ja pinnan välinen kulma eli auringonsäteilyn tulokulma, on kallistuskulman vaikuttava tekijä. Säteilyn tulokulma on 0° , kun säteily osuu paneelin pintaan kohtisuorasti. Tulokulmalla 0° saadaan suurin mahdollinen määrä energiaa. Tulokulmaa saadaan säädettyä muuttamalla paneelin kallistuskulmaa asennuspinnan suhteen. (Isojunno 2014, 16)

Paneelin kallistuskulman valintaan vaikuttaa auringon korkeuden ja horisontin suhde. Suomessa optimaalisimmat kulmat ovat 30 ja 90 asteen välillä vuodenajan mukaan. Paneeleita ei pystytä aina asentamaan optimikulmaan. Alle 15° kallistuskulmia pitäisi välttää, jottei likaa, pölyä tai lunta pääse kertymään paneelien pinnoille. Kulmaa määrittäessä tulee ottaa huomioon myös paneeleiden toisilleen aiheuttamat varjot. Suomessa optimaalisin kulma on n. 45° . Jos painopiste on kesällä saatavalla energialla, niin kulma voi olla loivempi. Paneelien toisilleen asettamia varjoja voidaan välttää laskeamalla kaavan avulla paneeleille minimietäisyydet (kaava 20). (Isojunno 2014, 16; Ahjoenergia 2014)

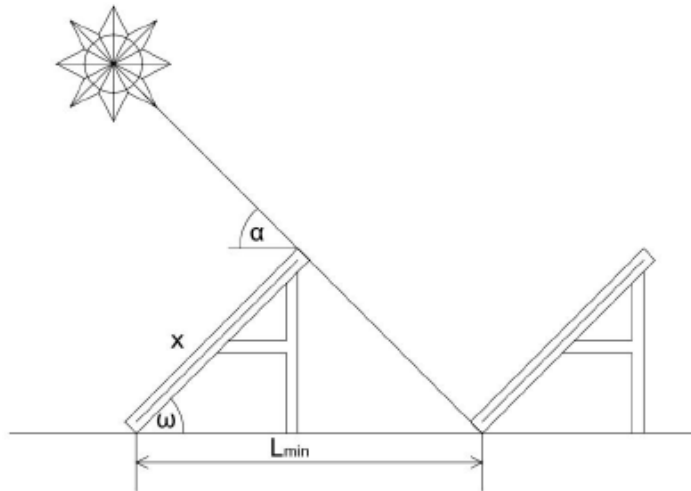
$$L_{min} = x * \frac{\sin\omega}{\tan\alpha} + \cos\omega \quad (20)$$

L_{min} = paneelien välinen etäisyys (m)

ω =paneelin kallistuskulma ($^\circ$)

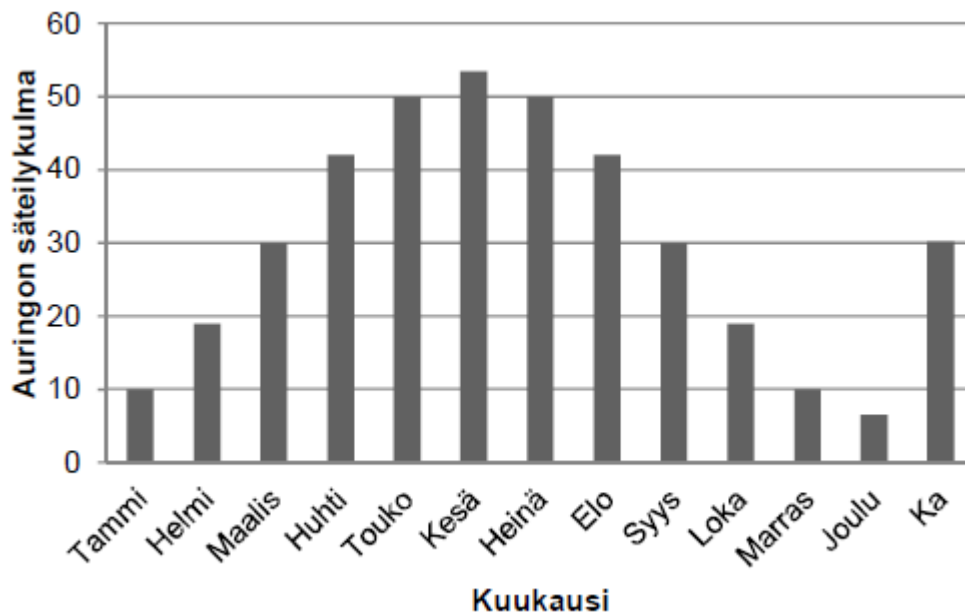
α =auringonsäteilyn tulokulma ($^{\circ}$)

x =paneelien pituus (m)



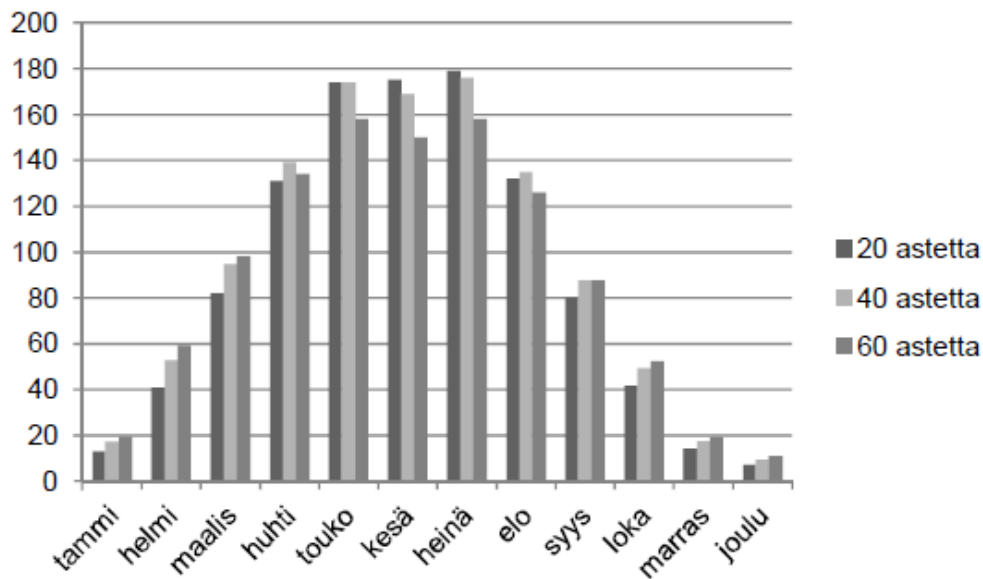
KUVA 10. Paneelien kallistuskulmien vaikutus varjostumiseen (Isojunno 2014, 16.)

Suomessa auringonsäteilyn tulokulmana (α) käytetään 30° , joka on Helsingin vuotuinen keskiarvo (kuvio 1). Muualla päin Suomea toimivat samat arvot kuin Helsingissä.



KUVIO 1. Säteilyn tulokulmat Helsingissä (Isojunno 2014, 17.)

Talvitaikaan auringon paistaessa matalalta, jyrkin 60° kallistuskulma on tuottoisin (kuvio 2, ks. seur. sivu). Kesäisin aurinko paistaa korkealta ja tällöin tehokkain kallistuskulma on 20° . Kompromissina 40° kallistuskulma on toimivin (taulukko 8, ks. seur. sivu). Todellisuudessa paneeleihin osuvan säteilyn määrä ei ole aivan symmetrinen vuodenaikojen mukaan, koska varsinkin talvella ja alkukeväällä lumen kertymä paneeleilla vaikuttaa mittaustuloksiin alentavasti. (Isojunno 2014, 17)



KUVIO 2. Säteilyn määrä Helsingissä eri kallistuskulmissa (Isojunno 2014, 18.)

TAULUKKO 8. Eri säteilykulmien vaikutus säteilyn kokonaisenergiämäärään Helsingissä (Isojunno 2014, 17)

Kallistuskulma	kWh/a
20°	1071
40°	1122
60°	1073

Atsimuuttikulma määritellään ilmansuuntien mukaan. Etelän kulma on 0°, lännen +90° ja idän -90°. Auringonsäteily osuu jatkuvasti eri kulmista paneeliin maapallon pyöriessä akselinsa ympäri. Pohjoisella pallonpuoliskolla aurinko säteilee etelästä korkeimmalla, joten suuntausta etelään pidetään parhaana mahdollisena. Kallistuskulman mitoittaminen tarkasti on parhaan energiantuoton kannalta tärkeämpää kuin atsimuuttikulman määrittäminen. (Erat ym 2008, 15-16; Isojunno 2014, 18)

Paneelien asennus kiinteään kulmaan on yleisintä, koska asennustapa on sekä luotettava että taloudellinen. Kiinteään asennustavan heikkona puolena on se, että paneelit eivät pysty keräämään optimaalisesti kaikkea säteilyä säteilyn tulokulman vaihtelun takia. Seurantalaitteen asentaminen paneeliin on mahdollista, mutta tuottaa lisää investointikustannuksia ja huoltokuluja järjestelmään. Tällä tavoin paneeli saadaan kumminkin seuraamaan auringon liikkeitä ja saadaan kerättyä paremmin säteilyä kuin kiinteällä asennuksella. (Isojunno 2014, 19)

Kiinteistön kattoa pidetään hyvänä sijoituspaikkana, jolloin vältytään suurilta varjojen ja likaantumisen aiheuttajilta. Paneelit eivät tällöin tarvitse ylimääräistä rakennuspinta-alaa. Lumenmäärä pitää myös ottaa huomioon sijoittamisessa ja asentaa paneelin alareuna tarpeeksi korkealle, jottei lumi kasaannu paneelien eteen. Turvallinen huolto ja kunnossapito täytyy tehdä katolle asennettaessa mahdolliseksi. Paneelit tulisi varustaa myös lumiesteillä niissä tilanteissa, joissa lumi pääsee liuku-

maan vapaasti paneelia pitkin katolta alas. Lumiesteet eivät saa kuitenkaan tehdä paneelien pinnoille isoja varjoja. (Erat ym 2008, 145; Isojunno 2014, 20-21)

5.6 Vaihtosuuntaajat

Paneelien jälkeen toiseksi tärkein komponentti aurinkosähkön tuotannossa on vaihtosuuntaaja eli invertteri. Invertterin tarkoitus on muuttaa aurinkopaneelien keräämä tasasähkö vaihtosähköksi. Invertterit kytketään yksi- tai kolmivaiheisesti rakennuksen sähkökeskukseen. Kapasiteetiltaan pieni järjestelmä kytketään yleensä yksivaiheisesti. Yli 3,7 kW_p:n järjestelmät tulee kytkeä aina kolmivaiheisesti. Inverttereitä on sekä yksi- että kolmivaiheisina. Epäsymmetrisyyden välttämiseksi invertterien välillä on tehtävä tehon jako kuormien tasaamiseksi useamman useamman suuritehoisen yksivaiheisen invertterin syöttäessä erillisiä vaiheita. (ST-kortisto ST 55.33 2013, 3; Isojunno 2014, 23)

Aurinkopaneelien kytkennät tehdään ennen liitäntäkotelossa, ennen vaihtosuuntaajaa. Sinne voidaan sijoittaa myös suojalaitteita, kuten ylijännitesuojaukset. Liitäntäkotelot liitetään tasajännitekaapelilla vaihtosuuntaajaan, joka taasen kytketään rakennuksen sähköjakelujärjestelmään mahdollisesti mitatapiteen kautta. Liitäntäkotelot tulee varustaa varoituskilvillä, joista ilmenee, että rasian osat voivat olla jännitteisiä vielä erotuslaitteiden avaamisen jälkeenkin. (ST-kortisto ST 55.33 2013, 3)

Suurissa järjestelmissä käytetään yleensä useita vaihtosuuntaajia. Tämä on kustannustehokkaampaa kuin yhden suuren vaihtosuuntaajan asentaminen. Mahdollisissa vikatilanteissa saadaan lisäksi osa järjestelmästä kytkettyä pois ja osan jättää toimimaan. Vaihtosuuntaajan asennuspaikalla ei ole pienissä järjestelmissä juuri merkitystä. Se voidaan asentaa joko paneelien välittömään läheisyyteen ulos, pääkeskuksen lähettyville sisälle tai sitten näiden välille muihin tiloihin. Suurissa järjestelmissä on suositeltavaa asentaa vaihtosuuntaajat paneelien läheisyyteen suurien kaapelikustannuksien pienentämiseksi. (ST-kortisto ST 55.33 2013, 3)

5.7 Kaapelointi

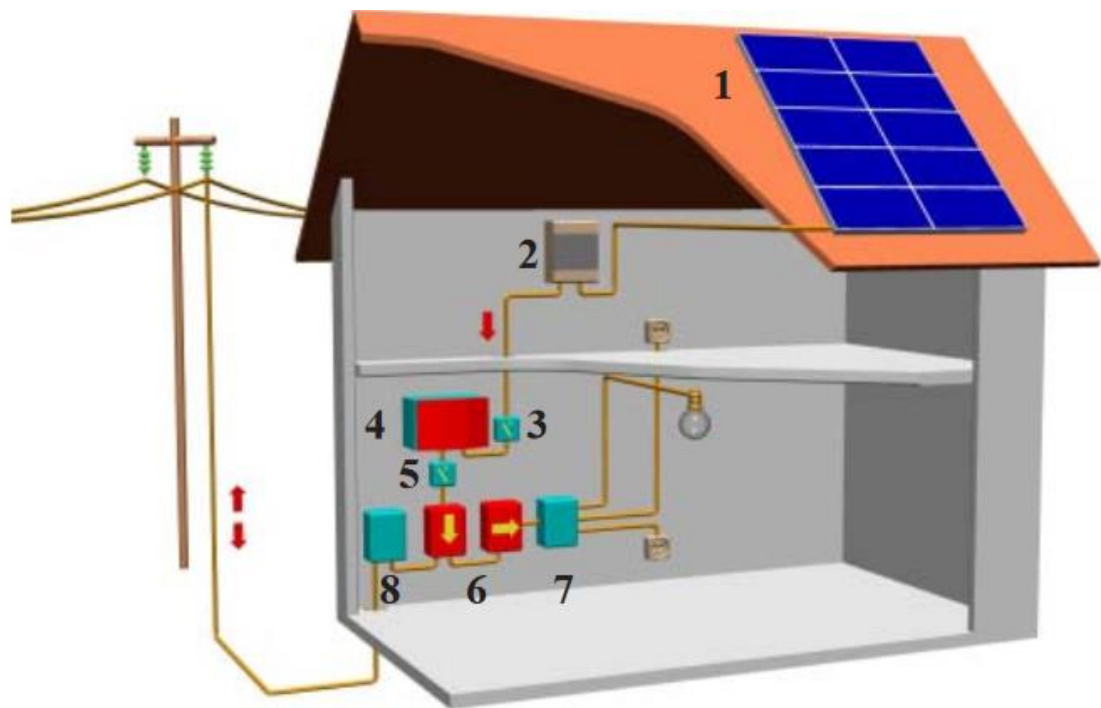
Aurinkopaneelien ja liitäntäkotelon välissä käytetään kaksoiseristettyä 6mm² PV1-F aurinkosähkökaapelia, jossa on plus (+) – ja miinus (-) -navat. Tämä kaapeli ei saisi ylittää pituudeltaan 40 metriä, mutta pidemmille etäisyyksille voidaan kasvattaa kaapelin läpimittaa. (Aurinkovirta – verkkoinvertterit 2016)

Invertteriltä sähkökeskukseen tulee joko 5x2,5mm² MMJ-asennuskaapeli tai saman poikkipintainen MCMK-maakaapeli. Aurinkopaneelilta tulee lisäksi pääpotentiaaliskoon joko 6mm² tai 16mm² kelta-vihreä potentiaalintasauskaapeli. Invertterin ja sähkökeskuksen väliseen kaapeliin tulee asentaa verkonhaltijan vaatimusten mukainen AC-turvakytkin sellaiseen paikkaan, johon verkonhaltijalla on vapaa pääsy, esim. ulos. Näin saadaan tasa- ja vaihtosähkösiot erotettua mahdollisten huolto- ja vikatilanteiden ajaksi. (ST-kortisto ST 55.33 2013, 3; Aurinkovirta – verkkoinvertterit 2016)

Nämä suosituskapelivahvuudet soveltuvat tilanteeseen, jossa 5kW_p invertteri sijoitetaan enintään 40 metrin etäisyydelle aurinkopaneeleista ja invertteri on muutaman metrin etäisyydellä sähkökeskuksesta. (Aurinkovirta – verkkoinvertterit 2016)

Kuvassa 11 on kaaviokuva aurinkosähköjärjestelmästä omakotitalossa. Kuvan komponentit ovat:

1. Aurinkopaneelisto
2. Kytöntäkotelo
3. Tasasähkökytkin (valinnainen)
4. Invertteri eli vaihtosuuntaaja
5. Vaihtosähkökytkin (valinnainen)
6. Energialaskurit
7. Talon pääkeskus
8. Talon sähköliittymä



KUVA 11. Kaaviokuva aurinkosähköjärjestelmän kytkennästä omakotitaloon (Naps 2016, 2.)

6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Kartanolle haluttiin tarkastella mahdollisuutta tuottaa sähköenergiaa itse omaan käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmällä on tarkoitus ohjata lämminvesivaraajaa kesäisin. Ajankohtina, kun aurinkoenergiaa on vähän saatavilla, lämminvesivaraaja saa energiansa sähköverkosta, kuten tähänkin mennessä. Lämminvesivaraaja on malliltaan Jäspi GTV500-80. Siinä on kolme 2 kW vastusta eli paneeleilla pitäisi tuottaa tehoa yhteensä 6 kW. Tämä määrä toimii tässä tapauksessa pohjakuormana. Vaihtosuuntaaja olisi syytä mitoittaa hiukan yli 6 kW:iin, jotta se kestäisi paneelien syöttämän teoreettisen maksimikuorman. Invertterin liika ylimitoittaminen ei taas kannata, koska invertteri toimii myös suojalaitteena järjestelmälle.

6.1 Paneelien sijoitus ja kaapelointi

Sijoituksen suhteen vertailtiin kolmea vaihtoehtoa. Ensimmäisenä vaihtoehtona suunniteltiin paneelien asentamista hevostallin katolle. Toisena vaihtoehtona suunniteltiin sijoitusta pellon laitaan lähelle päärakennusta. Kolmanneksi vaihtoehdoksi suunniteltiin sijoitusta päärakennukselta järvelle olevaan mäkeen. Vaihtoehdot näkyvät kuvassa 12. Paneelit on tarkoitus suunnata etelään päin 40° kallistuskulmaan.



KUVA 12. Aurinkopaneelien sijoitusvaihtoehdot (Paikkatietoikkuna 2016.)

Hevostallin kohdalla ongelmaksi koettiin pitkä matka sekä lumien pudottaminen. Pellon laitaan pitäisi taas suunnitella telineet paneeleille ja invertterille. Mäelle sijoittaessa invertteri saadaan asennettua kartanorakennukseen, joko ulko- tai sisäpuolelle. Sijoittamiseen vaikuttaa myös jännitteenalenemat, jotka laskettiin jokaiselle vaihtoehdolle (taulukko 10., ks. seur. sivu). Laskuissa laskettiin etäisyys

suurin piirtein keskustilasta sijoituspaikalle, josta vähennettiin 40 m, joka on paneeliston ja liitäntäkotelon välinen maksimietäisyys. Kaapelien pituudet ovat siis liitäntäkotelolta invertterin kautta keskukselle. Kaapelina käytetään MCMK 5x2,5mm² – maakaapelia. Kaapelin impedanssitiedot ovat taulukossa 9.

TAULUKKO 9. MCMK 5x2,5 -voimakaapelin impedanssitiedot (Verkostosuositus SA2:08, 2008)

MCMK 5x2,5	
Rv (Ω/km)	7,992
R0 (Ω/km)	7,992
Xv (Ω/km)	0,115
Xv0 (Ω/km)	0,115
X0 (Ω/km)	-

TAULUKKO 10. Jännitteenalenema kaapelireiteillä

Sijoituspaikka	Kaapelin pituus (km)	Reitin R (Ω)	Reitin X (Ω)	Jännitteenalenema (V)	Alentunut jännite (V)	Suhteellinen alenema
Pelto	0,04	0,31968	0,0046	2,90	227,10	1,26 %
Hevostalli	0,08	0,63936	0,0092	5,79	224,21	2,52 %
Mäelle	0,01	0,07992	0,00115	0,72	229,28	0,31 %

Aurinkopaneelisto päätettiin sijoittaa vaihtoehtoon 3 eli riviin mäelle 40° kulmaan. Matka on tällöin lyhyin ja liitäntäkotelo saadaan asennettua päärakennukseen. Tällöin myös invertteri voidaan sijoittaa keskustilaan. Tässä vaihtoehdossa myös jännitteenalenema on liitäntäkotelon ja keskuksen välinen jännitteenalenema on tällöin pienin.

Aurinkopaneelien ja liitäntäkotelon välillä käytetään 6mm² PV1-F – aurinkosähköpaneelia. Potentiaalintasauksessa käytetään joko 6mm² tai 16mm² kelta-vihreää kaapelia.

6.2 Aurinkopaneelien valinta

Seuraavaksi tarkasteltiin vaihtoehtoja paneeleiksi Europe-solarshop.com – sivustolta. Jotta saataisiin tuotettua 6 kW energiaa, otettiin vertailuun mukaan 240 W, 250 W ja 300 W paneeleita. 240 W Paneeleita tarvittaisiin 25 kappaletta, 250 W 24 kappaletta ja 300 W paneeleita 20 kappaletta. Paneelien tärkeimpinä ominaisuuksina pidetään hyötysuhdetta, maksimisähkötehoa sekä hintaa. Liitteessä 4 on nähtävissä eri aurinkopaneelien vertailu. Maksimisähkötehon laskennassa käytettiin täyteker-toimena arvoa 0,75.

Paneeliksi valittiin LG:n 300 W_p:n paneeli, joita tarvitaan 20 kappaletta 6 kW tuottamiseksi. Sen tuottama maksimisähköteho on lähes 20 % muita paneeleita parempi. Paneeliston kokonaishintaan ei ole paljoa muita vaihtoehtoja kalliimpi. Valittu paneeli on kuvassa 13 (ks. seur. sivu)



KUVA 13. LG:n monikiteinen aurinkopaneeli.

6.3 Invertterin valinta

Seuraavaksi tarkasteltiin invertterivaihtoehtoja Europe-solarshop.com – sivustolta. Vaihtosuuntaajan valinnassa tärkeimmät valintaperusteet olivat hyötysuhde, sen sisältämät suojalaitteet sekä hinta. Invertterin tehon olisi hyvä olla enemmän kuin aurinkopaneeliston nimellisteho 6 kW, mutta ylimittomittamisen välttämiseksi ja suojauksen varmistamiseksi invertteriä ei kannata mitoittaa liian suureksi. Vertailukohteina olleet invertterit olivat ko'oltaan 6,125 – 7,7 kW. Kaikkien invertterivaihtoehtojen Euroopan hyötysuhteet olivat välillä 96,5 – 97,7 %. Vertailu löytyy liitteestä 4. Invertteri sijoitetaan päärakennuksen keskustilaan, jossa ovat As Oy Henriksnäsin RK1:sen keskus sekä lämminvesivaraajan keskus.

Invertteriksi valittiin SMA Sunny Tripowerin 6,125 kW:n vaihtosuuntaajaan sen hyötysuhteen, maksimitehon, suojalaitteiden sekä muokattavuuden takia. Sen hyötysuhde oli samaa tasoa kuin muilla vaihtosuuntaajilla. Se oli hiukan muita kalliimpi, mutta monilla valmistajilla lähin 6 kW vastaava invertteri oli teholtaan jo 7 kW. Sunny Tripowerin vaihtosuuntaajista oli saatavilla hyvät tiedot myös niiden sisäisestä suojauksesta. Valittu Sunny Tripowerin 6 kW:n vaihtosuuntaaja on kuvassa 14 (ks. seur. sivu).

Valittu vaihtosuuntaaja sisältää seuraavat suojalaitteet:

- tasasähköerotin
- maasulkusuoja
- verkonvalvonta
- tasasähkön käänteisnapaisuuden suoja
- oikosulkusuoja
- kaikkien napojen jäännösvirtojen valvontayksikkö.

(SMA Sunny Tripower tuoteopas 2016)



KUVA 14. Sunny Tripowerin 6000 TL-20 -invertteri.

Invertteri sijoitetaan tekniseen tilaan, jossa kiinteistön sähköpääkeskuskin on. Invertterille asennetaan turvakytkin, jotta se saadaan huoltojen ajaksi jännitteettömäksi. Invertteriltä lv-varaajalle asennetaan vaihtokytkin, jolla saadaan vaihdettua ohjausta sähköverkon ja aurinkosähköjärjestelmän välillä auringon paisteen mukaan. Vaihtokytkimen on sisällettävä kaksi erillistä kytkinpakkaa, jotta eri energialähteiden vaiheita ei saada yhdistettyä. Invertterille sekä lv-varaajalle piirrettiin uudet ohjauskaaviokuvat, jotka ovat liitteissä 6 ja 7.

6.4 Järjestelmän kustannukset

6.4.1 Investointi-, asennus- ja käyttökustannukset

SMA:n invertterin hinta oli Europe-solarshopin sivustolla 1747 €. Samalla sivustolla 20 paneelin paneelin hinnaksi tuli 5880 €. Nämä ovat listahintoja, ja niistä on mahdollista pyytää tarjous. Maahan asennettavien telineiden kustannukset ovat arviolta 100–300 €/kpl. Järjestelmän sähköasennukset tulevat maksamaan arviolta 200–300 €. Asentaminen ei tule viemään paljoa aikaa, mutta lisäksi on tehtävä käyttöönottotarkastukset sekä pöytäkirja. Käyttökustannuksia ei järjestelmälle tule ja kiinteistön omistajan tulee huolehtia paneelien puhdistuksesta.

Aurinkosähköjärjestelmän asennustyölle on mahdollista hakea kotitalousvähennystä, jonka suuruus on enintään 2400 €. Omavastuu on 100 € ja tuen määrä 45 % asennuksen kokonaiskustannuksista. Esimerkiksi 300 € maksavasta asennustyöstä saatava hyöty on: $(300 \text{ €} - 100 \text{ €}) * 0,45 = 90 \text{ €}$. Kotitalousvähennyksen lisäksi muuta tukea ei ole saatavilla. (Motiva Aurinkoenergia 2014)

6.4.2 Aurinkosähköllä saatavat säästöt

Vuosittainen tuotto tulee 6 kW:n paneelistolla olemaan 4860 kWh (taulukko 11). Tämä energiamäärä pyritään tuottamaan itse. Laskelma tehtiin JRC Europan simulaatiotyökalulla. Kuopion Energian yleissähkön hinta oli 6,20 snt/kWh. Sähkönsiirron hinta oli 3,42 snt/kWh ja veron määrä 2,794 snt/kWh. Yhteensä sähkölle tulee hintaa 12,414 snt/kWh.

TAULUKKO 11. Aurinkojärjestelmällä saatava tuotto (JRC Europa 2016)

Fixed system: inclination=40°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	2.87	88.8	0.53	16.5
Feb	9.73	273	1.85	51.7
Mar	15.00	465	2.99	92.8
Apr	21.90	657	4.62	139
May	24.10	746	5.27	163
Jun	23.40	701	5.26	158
Jul	23.10	717	5.28	164
Aug	17.40	539	3.89	121
Sep	11.80	354	2.52	75.5
Oct	6.45	200	1.31	40.5
Nov	2.57	77.1	0.50	14.9
Dec	1.45	44.8	0.27	8.41
Yearly average	13.3	405	2.86	87.0
Total for year		4860		1040

Sähkönsiirto- ja energiahinnat ovat yleissopimuksia eli ne pysyvät kiinteinä koko sopimuksen ajan. Oletetaan sähkön hinnan pysyvän 12 snt/kWh. Vuodessa saatava säästö 6 kW_p järjestelmällä tulisi olemaan n. 4860 kWh*0,12 €/kWh=583,2 €. Paneelien hyötysuhde heikkenee vuosien saatossa, mikä vaikuttaa vuosituottoon.

6.4.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika laskettiin FinSolarin kannattavuuslaskurilla. Tämä antoi investoinnin kumulatiiviseksi tuotoksi 5882 € järjestelmän eliniän ollessa 30 vuotta. Takaisinmaksuajaksi saatiin 21 vuotta ja tämän jälkeen järjestelmä tulisi tuottamaan 2427 €. Investointikustannukset on laskettu listahinnoista, joista saa pyydettyä Europe-solarshopista tarjoukset. Sähköasennuksien ja paneelien telineiden hinnat ovat arvioita. Takaisinmaksuaika voi olla siis pienempikin ja 30 vuoden aikana saatu tuotto näin ollen suurempi.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää kompensoitavan loistehon määrä, valita kompensointitapa ja mitoittaa tämän perusteella kompensointilaitteisto. Samalla selvitettiin As Oy Henriksnäs RK1:sen alaisten keskusten jännitteenalenema sekä koko pääkeskuksen oikosulkuvirrat. Lisäksi päivitettiin nousujohdokaavio sekä lisättiin tasopiirustukseen kompensointilaitteisto. Kompensointitarpeen suuruudeksi saatiin 18,52 kvar ja kompensointitavaksi valittiin keskitetty kompensointi, jossa kompensointilaitteisto sijoitetaan As Oy Henriksnäs RK1:sen yhteyteen. Kompensointilaitteeksi valittiin Nokia Capacitorsin 20 kvarin seinämallinen automatiikkaparisto, jossa on kolme loistehon säätöporrasta.

Suurien jännitteenalenemien vuoksi olisi muutamia kaapeleita päivitettävä suurempiin ACMK-toimakaapeleihin. Tärkeimmät vaihdettavat kaapelit ovat As Oy Henriksnäsin RK1:ltä vesimittarikeskukselle menevä kaapeli sekä pääkeskukselta hevostalli B:n jatkokselle menevä kaapeli. Vaihdettaessa alumiinikaapeleihin, on myös hankittava niille sopivat liittimet.

Aurinkopaneelit asennetaan kahteen kymmenen paneelin ryhmään, jotka päätettiin sijoittaa kartanon päärakennuksen eteläpuolella sijaitsevalle mäelle. Paneelit suunnataan osoittamaan etelää. Paneeleiksi valittiin 20 kappaletta LG:n 300 W_p:n aurinkopaneeleita. Paneeliryhmiltä lähtee 6mm² aurinkosähkökaapeli liitântäkoteloon, jossa paneeliryhmät liitetään yhteen. Liitântäkotelo sijoitetaan joko päärakennuksen ulko- tai sisäpuolelle, maksimissaan 40 m päähän paneelistoista. Invertteri sijoitetaan tekniseen tilaan pääkeskushuoneeseen. Invertteriksi valittiin SMA:n 6 kW:n vaihtosuuntaaja. Lv-varaajan ohjausta ohjataan vaihtokytkimellä, jolla saadaan valittua ohjaustapa aurinkosähköjärjestelmän ja sähköverkon välillä. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajaksi tulisi 21 vuotta kappaleessa. Tämän jälkeen tuottoa tulisi noin 2500 € järjestelmän eliniän ollessa 30 vuotta.

8 LÄHTEET

- AHJOENERGIA. 2016. Aurinkopaneelien sijoitus ja asennus. [Viitattu: 2016-11-16]. Saatavissa: <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/sijoitus-ja-asennus>
- ALSTRÖM GRID: Pienjännitetuotteiden tuoteopas. [Viitattu: 2016-11-18]. Saatavissa: <http://docplayer.fi/1859610-Pienjannitetuotteiden-tuoteopas.html>
- AURINKOVIRTA. 2016. Verkkoinvertteri. [Viitattu: 2016-11-18]. Saatavissa: <http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>
- DUNKEL, Harry 2016-11-18. Toimeksiantaja. [Haastattelu]. Kuopio: Koivumäen kartano.
- ERAT, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, NYMAN, Christer, PEIPPO, Kimmo, PELTOLA, Seppo ja SUOKIVI, Hannu. 2008. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- ISOJUNNO, Veikko 2014. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Metropolia-ammattikorkeakoulu Helsinki, sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Sijainti: Helsinki: Metropolia-ammattikorkeakoulu.
- JRC EUROPA. 2016. PV Simulator. [Viitattu: 2016-12-7]. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- KUOPION ENERGIA. 2016. Sähkönsiirtohinnot 2016. [Viitattu: 2016-11-14]. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/tietoa-sahkoverkostamme/sahkonsiirtohinnot/>
- LAKERVI, Erkki ja PARTANEN, Jarmo. 2009. Sähkönjakelutekniikka. Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.
- MOTIVA AURINKOENERGIA. 2016. Aurinkosähkö. [Viitattu: 2016-11-20]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko
- MÄKINEN, Markku ja KALLIO, Raimo. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Otavan kirjapaino Oy.
- MÄNNISTÖ, Matti, HIETALAHTI, Lauri, SEESVUORI, Reino, SEESVUORI, Vesa ja WILÉN, Tarmo. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- NAPS Aurinkosähköjärjestelmät. 2016. NSR-aurinkosähköjärjestelmät omakotitaloihin. [Viitattu: 2016-11-21]. Saatavissa: <http://www.pistoke.fi/sites/default/files/naps-nsr-aurinkosahkojarjestelmat-omakotitaloihin.pdf>
- NIKULA, Timo 2013. Koivumäen kartanon sähköjärjestelmien kuntokartoitus ja sähköpiirustusten päivittäminen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala Kuopio, sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Sijainti: Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Opistotien kampus. Kirjasto.
- NOKIAN CAPACITORS: Pienjännitetuotteiden tuote-opas. [Viitattu: 2016-11-18]. Saatavissa: <http://www.sahkonumerot.fi/5704510/doc/brochure/>
- SMA – Sunny Tripower tuote-opas 2016. [Viitattu: 2016-12-05]. Saatavissa: <http://files.sma.de/dl/17781/STP12000TL-DEN1433W.pdf>
- ST-KORTISTO ST 52.15. 2014. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Sähkötieto ry.
- ST-KORTISTO ST 52.51.02. 2006. Sähkön laatu, jännitteenaleneman minimoiminen. Sähkötieto ry.
- ST-KORTISTO ST 55.33. 2013. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. Sähkötieto ry.

TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS. 2012. Loistehon kompensointi ja hinnoittelu 1.12.2012. [Viitattu: 2016-1-19]. Saatavissa:

https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittyminen/TSV-urakoitsijalle/Documents/Loistehon%20hinnoittelu-%20ja%20kompensointiohje%20TSV_01-12-2012_internet.pdf

VERKOSTOSUOSITUS SA2:08. 2008. Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Energiateollisuus ry.

9 LIITE 1: TAULUKKO KOMPENSOINTITARPEEN MÄÄRITTÄMISEEN

$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$							
	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,80
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,53	1,60	1,46	1,40	1,35	1,27	1,12	0,98	0,85
0,55	1,52	1,38	1,32	1,27	1,19	1,03	0,90	0,77
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,63	1,23	1,09	1,03	0,98	0,90	0,75	0,61	0,48
0,65	1,17	1,03	0,97	0,92	0,84	0,68	0,55	0,42
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,73	0,94	0,79	0,73	0,69	0,61	0,45	0,32	0,19
0,75	0,88	0,74	0,68	0,63	0,55	0,40	0,26	0,13
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,83	0,67	0,53	0,47	0,42	0,34	0,19	0,05	
0,85	0,62	0,48	0,42	0,37	0,29	0,14		
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,87	0,57	0,42	0,36	0,32	0,24	0,08		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,89	0,51	0,37	0,31	0,26	0,18	0,03		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

10 LIITE 2: JÄNNITTEENALENEMAT NYKYTILANTEESSA

Mistä	Mihin	Kaapeli	Pituus(km)	Rv (Ω/km)	R0 (Ω/km)	Xv (Ω/km)	Xv0 (Ω/km)	X0 (Ω/km)	Kaapeliteitin R (Ω)	Kaapeliteitin X (Ω)	Jännitteenalenema (V)	Alentunut jännite (V)	Suhteellinen alenema
Liittymä	SPK	AXMK 4x240S	0,15	0,14	0,14	0,079	0,079	0,079	0,021	0,01185	1,5119832	228,4880168	1%
SPK	RK1	MCMK 4x50/25	0,004	0,419	0,786	0,076	0,076		0,001676	0,000304	0,109098752	228,378918	1%
RK1	RK2	MCMK 4x6+6	0,02	3,322	3,322	0,115	0,115		0,06644	0,00023	4,14906016	224,2298579	3%
RK1	Maaämpökeskus	MMU 5x25 S	0,008	0,786	1,24	0,082	0,082		0,006288	0,000656	0,400578304	227,9783397	1%
RK1	lj. keskus	MMU 5x16 S	0,006	1,24	1,24	0,088	0,088		0,00744	0,000528	0,469491456	227,9094266	1%
RK1	Vesimittarin keskus	MCMK 4x1,5+1,5	0,073	12,1	12,1	0			0,8833	0	54,6091392	173,7697788	24%
SPK	Vuokra-asunto A	MCMK 4x16+16	0,115	1,24	1,24	0,088	0,088		0,1426	0,01012	8,99858624	219,4894306	5%
SPK	Vuokra-asunto B	MCMK 4x6+6	0,105	3,322	3,322	0,115	0,115		0,34881	0,012075	21,78256584	206,705451	10%
SPK	Hevostalli B jatkos	MCMK 4x10+10	0,06	1,974	1,974	0,11	0,11		0,11844	0,0066	7,44144576	221,046571	4%
Hevostalli B jatkos	Hevostalli B	MCMK 4x10+10	0,01	1,974	1,974	0,11	0,11		0,01974	0,0011	1,24024096	219,8063301	4%
Hevostalli B jatkos	Heppahovi	MCMK 4x10+10	0,12	1,974	1,974	0,11	0,11		0,23688	0,0132	14,88289152	206,1636795	10%
Heppahovi	Ilmajohdon jatkos	MMU 5x6 S	0,027	3,322	3,322	0,115	0,115	0,115	0,089694	0,003105	5,601231216	200,5624483	13%
Ilmajohdon jatkos	Jatkos	AMKA 3x16+25	0,025	2,064	1,491	0,108	0,055	0,074	0,0516	0,001375	3,2149124	197,3475359	14%
Jatkos	Kesä hevostalli	MCMK 4x6+6	0,004	3,322	3,322	0,115	0,115		0,013288	0,00046	0,829812032	196,5177239	15%

11 LIITE 3: JÄNNITTEENALENEMA KOMPENSOINNIN JÄLKEEN

Mistä	Mihin	Kaapeli	Pituus(km)	Rv (Ω/km)	Ro (Ω/km)	Xv (Ω/km)	Xv0 (Ω/km)	X0 (Ω/km)	Kaapelitein R (Ω)	Kaapelitein X (Ω)	Jännitealenema (V)	Alentunut jännite (V)	Suhteellinenalenema
Liittymä	SPK	AXMK 4x240 S	0,15	0,14	0,14	0,079	0,079	0,079	0,021	0,01185	1,29622038	228,7037796	1%
SPK	RK1	MCMK 4x50/25	0,003	0,419	0,786	0,076	0,076	0,076	0,001257	0,000228	0,070147618	228,633632	1%
RK1	RK2	MCMK 4x6+6	0,02	3,322	3,322	0,115	0,115	0,115	0,06644	0,0023	3,556981544	225,0766505	2%
RK1	Maalämpökeskus	MMU 5x25 S	0,008	0,786	1,24	0,082	0,082	0,082	0,006288	0,000656	0,343415034	228,290217	1%
RK1	Lj. Keskus	MMU 5x16 S	0,006	1,24	1,24	0,088	0,088	0,088	0,00744	0,000528	0,40249415	228,2311379	1%
RK1	Vesimittarin keskus	MCMK 4x1,5+1,5	0,073	12,1	12,1	0	0	0	0,8833	0	46,81631328	181,8173187	21%
SPK	Vuokra-asunto A	MCMK 4x16+16	0,115	1,24	1,24	0,088	0,088	0,088	0,1426	0,01012	7,714471216	220,9893084	4%
SPK	Vuokra-asunto B	MCMK 4x6+6	0,105	3,322	3,322	0,115	0,115	0,115	0,34881	0,012075	18,67415311	210,0296265	9%
SPK	Hevostalli B jatkos	MCMK 4x10+10	0,06	1,974	1,974	0,11	0,11	0,11	0,11844	0,0066	6,379537584	222,324242	3%
Hevostalli B jatkos	Hevostalli B	MCMK 4x10+10	0,01	1,974	1,974	0,11	0,11	0,11	0,01974	0,0011	1,063256264	221,2609858	4%
Hevostalli B jatkos	Heppahovi	MCMK 4x10+10	0,12	1,974	1,974	0,11	0,11	0,11	0,23688	0,0132	12,75907517	209,5651669	9%
Heppahovi	Ilmajohdon jatkos	MMU 5x6 S	0,027	3,322	3,322	0,115	0,115	0,115	0,089694	0,003105	4,801925084	204,7632418	11%
Ilmajohdon jatkos	Jatkos	AMKA 3x16+25	0,025	2,064	1,491	0,108	0,055	0,074	0,0516	0,0027	2,77662132	201,9866205	12%
Jatkos	Kesähevostalli	MCMK 4x6+6	0,004	3,322	3,322	0,115	0,115	0,115	0,013288	0,00046	0,711396309	197,1846954	14%

12 LIITE 3: JÄNNITTEENALENEMA UUSILLA KAAPELIVAIHTOEHDOLLA

Mistä	Mihin	Kaapeli	Pituus(km)	Rv (Ω/km)	RO (Ω/km)	XV (Ω/km)	XV (Ω/km)	XV (Ω/km)	XO (Ω/km)	Kaapelitein R (Ω)	Kaapelitein X (Ω)	Jännitealenema (V)	Alentunut jännite (V)	Suhteellinen alenema
RK1	Vesimittarin keskus	ANCMK 4x25+10	0,073	1,298	2,06	0,082	0,082	0,082	0,082	0,094754	0,005986	5,14649983	223,518982	3%
SPK	Vuokra-asunto A	ANCMK 4x35+10	0,115	0,939	2,06	0,082	0,082	0,082	0,082	0,107985	0,00943	5,86915426	222,8946254	3%
SPK	Vuokra-asunto B	ANCMK 4x35+10	0,105	0,939	2,06	0,082	0,082	0,082	0,082	0,098595	0,00861	5,35879302	223,3449866	3%
SPK	Hevostalli B jatkos	ANCMK 4x70+21	0,06	0,48	0,936	0,075	0,075	0,075	0,075	0,0288	0,0045	1,59601068	227,1077689	1%
Hevostalli B jatkos	Hevostalli B	MCMK 4x10+10	0,01	1,974	1,974	0,11	0,11	0,11	0,11	0,01974	0,0011	1,063256264	226,0445127	2%
Hevostalli B jatkos	Hepparhovi	ANCMK 4x70+21	0,12	0,48	0,936	0,075	0,075	0,075	0,075	0,0576	0,009	3,19202136	223,9157476	3%
Hepparhovi	Ilmajoen jatkos	ANCMK 4x70+21	0,027	0,48	0,936	0,075	0,075	0,075	0,075	0,01296	0,002025	0,718204806	223,1975428	3%
Ilmajoen jatkos	Jatkos	ANKA 3x50+70	0,025	0,693	0,533	0,101	0,101	0,101	0,045	0,017325	0,002525	0,95786619	222,2402566	3%
Jatkos	Kesähevostalli	ANCMK 4x25+10	0,003	1,298	2,06	0,082	0,082	0,082	0,082	0,008994	0,000246	0,210191095	222,0900655	3%

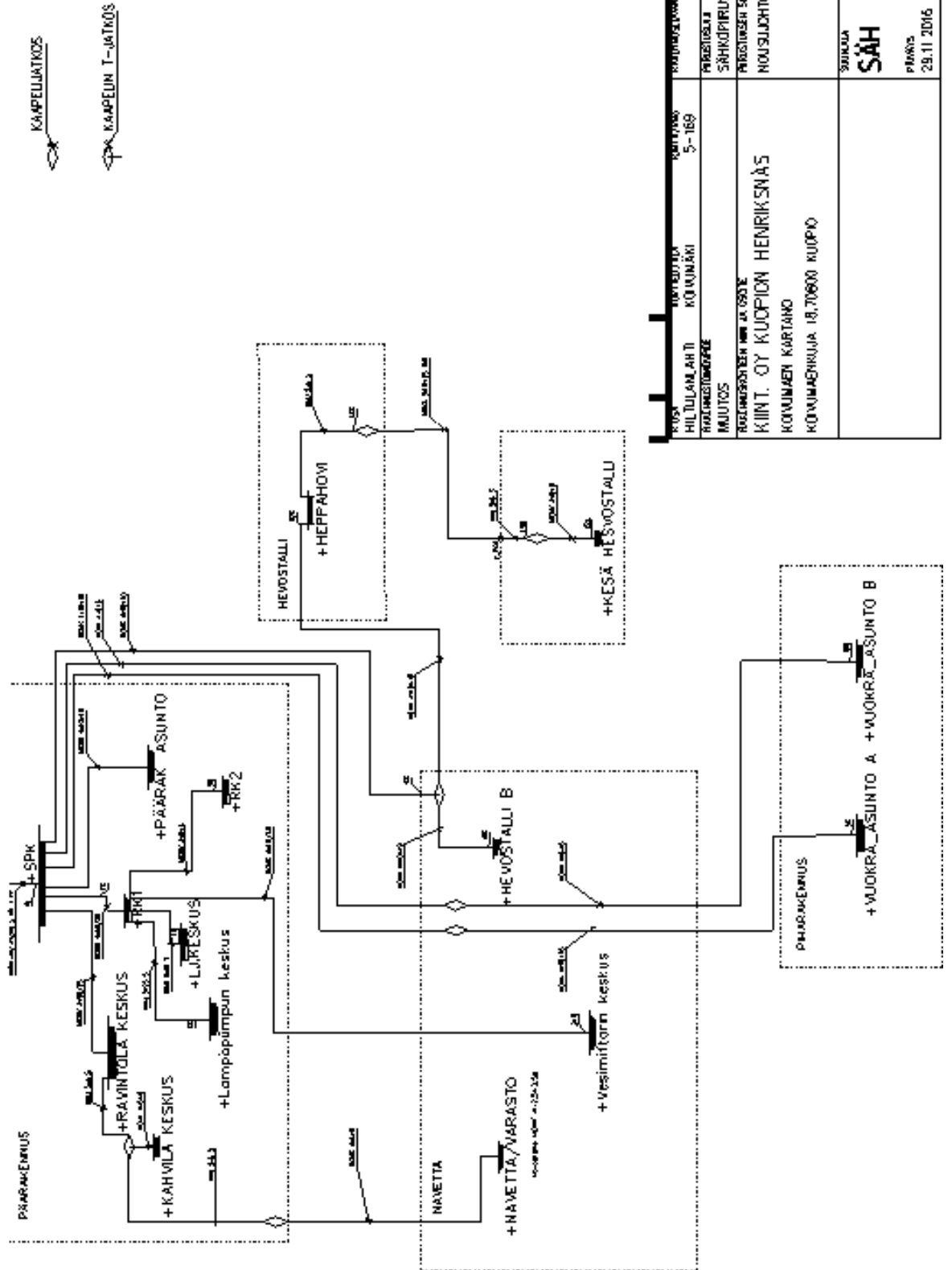
13 LIITE 4: AURINKOPANEELIEN VERTAILU

Valmistaja	Paneelin tyyppi	Teho	Jännite	Virta	Tyhjiäkäyttöjännite	Oikosulkuvirta	Höyrysuunde	IP-luokka	Hinta	Pinta-ala	Paino	Tav. Määrä	Paneeliston huipputeho	Paneeliston pinta-ala	Paneeliston hinta	Paneeliston paino	Takuu	Pmax
Parasonic	Polycrystalline	250	34,9	7,18	43,1	7,73	18		412	1,39	16,5	24	6000	33,36	9888	396	10	249,87
BenQ	Multicrystalline	250	30,6	8,17	37,4	8,69	15,5	67	183	1,61	18,5	24	6000	38,64	4392	444	10	243,75
Yingli	Multicrystalline	250	30,4	8,24	38,4	8,79	15,3	68	189	1,63	19,1	24	6000	39,12	4536	458,4	10	253,15
Sharp	Polycrystalline	250	30,9	8,1	37,6	8,68	15,2		200	1,64	19	24	6000	39,36	4800	456	10	244,78
SolarWorld	Polycrystalline	250	30,5	8,27	37,6	8,81		65	222	1,68	21,2	24	6000	40,32	5328	508,8	10	248,44
Q Cells	Polycrystalline	250	29,9	8,45	37,8	8,94	15		198	1,67	19	24	6000	40,08	4732	456	10	253,45
Kyocera	Polycrystalline	250	29,8	8,39	36,9	9,09	15,1		231	1,65	20	24	6000	39,6	5544	480	10	251,57
LG	Polycrystalline	300	32	9,4	39,8	9,98	18,3	67	294	1,64	16,8	20	6000	32,8	5880	336	10	297,90
Yingli	Multicrystalline	240	29,5	8,14	37,5	8,65	14,7	65	180	1,63	19,1	25	6000	40,75	4500	477,5	10	243,28

14 LIITE 4: VAIHTOSUUNTAJIEN VERTAILU

Malli	Sunny Tripower 6000 TL-20 (string)	Sunny Tripower 7000 TL-20 (string)	Kostal Piko 7.0	Kaco Blueplanet 6.5 TL3	Kaco Blueplanet 7.5 TL3	Fronius Syno 7.0-3.M
Määrä	1	1	1	1	1	1
Input	DC	DC	DC	DC	DC	DC
Max DC power (W)	6125 W	7125 W	7700 W	6700 W	7700 W	7000 W
Max input current (input A / input B)	11 A / 10 A	15 A / 10 A	2x11 A	2x11 A	2x11 A	16 A / 16 A
Max input voltage	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Output	AC	AC	AC	AC	AC	AC
Rated power (@230V, 50Hz)	6000 W	7000 W	7000 W	6500 W	7500 W	7000 W
Nominal AC voltage	3/N/PE: 230 / 400 V	3/N/PE: 230 / 400 V	3/N/PE: 230 / 400 V	3/N/PE: 230 / 400 V	3/N/PE: 230 / 400 V	3/N/PE: 230 / 400 V
Nominal AC voltage range	160...280 V	160...280 V	184...265,5 V			150...280 V
Max output current	8,7 A	10,2 A	10,2 A	3x9,5 A	3x10,9 A	13,5 A
Power factor at rated power	1	1	1			1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited...0.8 underexcited	0.8 overexcited...0.8 underexcited	0.8...1.0...0.8	0.3ind...0.3cap	0.3ind...0.3cap	0.85ind...0.85cap
Feed-in phases / connection phases	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	
Max efficiency / European efficiency	98 % / 97,4 %	98 % / 97,5 %	97,6 % / 96,5 %	98,3 % / 97,6 %	98,3 % / 97,7 %	98,0 % / 97,3 %
Dimensions (W/H/D)	470/730/240 mm	470/730/240 mm	500/385/236 mm	363/522/246 mm	363/522/246 mm	431/645/204 mm
Weight	37 kg	37 kg		30 kg	30 kg	21,9 kg
Operating temperature range	...-25celsius...+60celsius	...-25celsius...+60celsius	...-20celsius...+60celsius	...-25celsius...+60celsius	...-25celsius...+60celsius	...-25celsius...+60celsius
Guarantee	5 years	5 years	5 years	5 years	5 years	5 years
Self-consumption (at night)	1 W	1 W	1,8 W	1,5 W	1,5 W	1 W
Degree of protection	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP55
Max. Noise emission	40 dB	40 dB	52 dB	45 dB	45 dB	
Interface	Bluetooth, speedwire, webconnect	Bluetooth, speedwire, webconnect	2xRS485, RS485, SD, 4xAnalogue inputs, Standard: 2xethernet, USB, RS485, Error relay	Standard: 2xethernet, USB, RS485, Error relay	Standard: 2xethernet, USB, RS485, Error relay	WLAN/Ethernet LAN, 4xUSB, 6inputs or 4 digital in/out, 2xRS
Signalling output			PIKO BA Sensor interface	Optional: 4-DI	Optional: 4-DI	Energy management (potential
Datalogger and webserver						Included
External Input						50-meter interface / input for o
Price	1 747,00 €	1 895,00 €	1 882,00 €	1 332,00 €	1 460,00 €	1 720,00 €

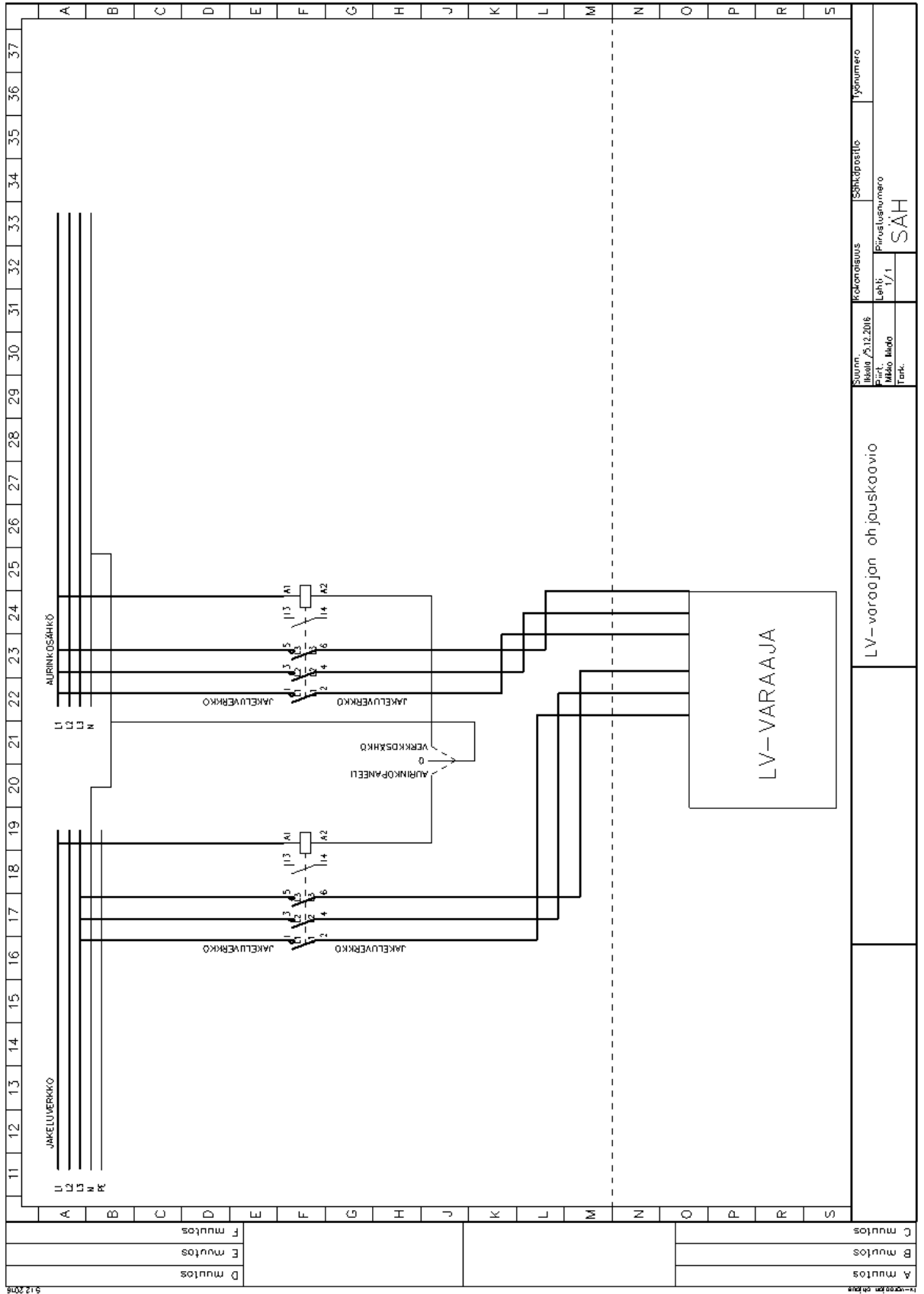
15 LIITE 5: PÄIVITETTY NOUSUJOHTOKAAVIO



KOSKI HILJALANLAHTI KORHONVAARANVAARA KUNTA	KÄYTTÖSUUNNITTELU KOKONAISUUS 5-169	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU
KOSKI HILJALANLAHTI KORHONVAARANVAARA KUNTA	KÄYTTÖSUUNNITTELU KOKONAISUUS 5-169	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU
KOSKI HILJALANLAHTI KORHONVAARANVAARA KUNTA	KÄYTTÖSUUNNITTELU KOKONAISUUS 5-169	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU
KOSKI HILJALANLAHTI KORHONVAARANVAARA KUNTA	KÄYTTÖSUUNNITTELU KOKONAISUUS 5-169	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU
KOSKI HILJALANLAHTI KORHONVAARANVAARA KUNTA	KÄYTTÖSUUNNITTELU KOKONAISUUS 5-169	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU	KÄYTTÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU SÄHKÖSUUNNITTELU KÄYTTÖSUUNNITTELU

29.11.2016
MIKKO KIKALA

16 LIITE 6: LV-VARAAJAN OHJAUSKAAVIO



18 LIITE 8: PÄIVITETTY KELLARIN TASOPIIRUSTUS

PÄIVITETTY KELLARIN TASOPIIRUSTUS
 KORTTELIN MAUNTAUTTAJAN SUUNNITTELU
 MAUNTAUTTAJAN SUUNNITTELU
 KORTTELIN MAUNTAUTTAJAN SUUNNITTELU
 KORTTELIN MAUNTAUTTAJAN SUUNNITTELU
 KORTTELIN MAUNTAUTTAJAN SUUNNITTELU

TARKKAUS 37,5
 PUKKI 17,5
 PESU 18,5
 KEITINKAMARI 51,0
 KELLARI
 24,5
 13,5
 1,0
 6,0
 3,0
 ERO
 ERO
 ERO

Yhteystiedot:
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy

Yhteystiedot:
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy
 Suunnittelija: Maunauttaja Oy