

Markku Manner

Lämpöpumppujärjestelmien sähköasennukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

24.1.2017

Tekijä Otsikko	Markku Manner Lämpöpumppujärjestelmien sähköasennukset
Sivumäärä Aika	38 sivua + 2 liitettä 4.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Vesa Sippola
<p>Opinnäytetyö on tehty Senera Oy:lle. Senera Oy on yksi Suomen suurimpia lämpöpumppujärjestelmiä urakoiva yritys.</p> <p>Lämpöpumppujärjestelmien määrä Suomessa kasvaa jatkuvasti ja niiden rooli rakennusten lämmityslaitteina kasvaa jatkuvasti. Lämpöpumpun lämmitystehosta noin yksi kolmasosa muodostuu sähkötehosta. Tämän vuoksi sähkön käyttö ja sähköasennukset muodostavat merkittävän kokonaisuuden lämpöpumppujärjestelmissä.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoitus on kuvata lämpöpumpun toimintaperiaate, lämpöpumppu sähkölaitteena sekä lämpöpumppujärjestelmän sähköasennustöitä. Lisäksi käsitellään erilaisia menetelmiä mitata ja säätää lämpöpumppujärjestelmän sähkötehon kulutusta sekä loistehon kulutuksen vähentämistä lämpöpumppujärjestelmissä.</p> <p>Lämpöpumppujärjestelmän loistehon kompensoinnin taloudellista kannattavuutta arvioitiin käyttämällä esimerkkinä Hämeenlinnassa olevaa asuinkerrostalon lämpöpumppujärjestelmää. Loistehon kompensoinnin kannattavuutta tarkasteltiin nettonykyarvomenetelmällä.</p> <p>Esimerkkinä lämpöpumppujärjestelmän sähköasennustöistä esiteltiin Etelä-Suomessa Kaarinassa sijaitsevaan kerrostaloon asennetun lämpöpumppujärjestelmän sähköasennustyöt.</p> <p>Opinnäytetyön perusteella lämpöpumppujärjestelmän kuluttaman loistehon kompensointi on taloudellisesti kannattavaa. Asennettaessa lämpöpumppujärjestelmää olemassa olevaan rakennukseen toisen lämmitysjärjestelmän tilalle on erityisen tärkeää tehdä ennen lämpöpumppujärjestelmän sähköasennustöitä huolellinen kartoitus. Kartoituksen perusteella varmistetaan sähköasennustöiden onnistuminen ja lämpöpumppujärjestelmän hyvä toiminta.</p>	
Avainsanat	Lämpöpumppu, lämpöpumppujärjestelmä, sähköasennustyöt

Author(s) Title	Markku Manner Electricity installations in Heat Pump Systems
Number of Pages Date	38 pages + 2 appendices 4 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical power engineering
Instructor(s)	Vesa Sippola, Senior Lecturer
<p>This thesis was done to Senera Oy which is one of the biggest heat pump installation companies in Finland. Senera Oy installs mainly ground / rock heat pump systems.</p> <p>Heat pumps play more and more significant role as heating system in Finnish buildings. The amount of heat pumps is increasing strongly. Approximately one third of heating power of heat pump consist of electric power. Because of this electric power and electric installations play significant role in heat pump systems.</p> <p>The purpose of this study was to introduce the working principle of heat pump, heat pump as electric device, electric installation of heat pumps systems and methods to measure and control electric power consumption of heat pump systems. In addition, reactive power reduction was investigated from economic the point of view.</p> <p>Economic profitability of reactive power reduction is introduced in this thesis by using as an example installed heat pump system in Hämeenlinna town in southern Finland. The economical profitability was calculated by using net present value -method.</p> <p>As an example of electric installations of a heat pump system was system which was installed in 2016 to apartment building in southern Finland in Kaarina town.</p> <p>Based on this thesis, reduction of reactive power in heat pump system seems to be very profitable from the economic point of view. When heat pump systems replace some other heating system in apartment houses, it is very important to make careful survey of the existing electric features. This ensures that the electric installations will succeed and heat pump systems will run well.</p>	
Keywords	heat pump, heat pump systems, electric installations

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämpöpumpun toiminta	2
2.1	Lämpöpumppu sähkölaitteena	4
2.2	Pehmokäynnistimen käyttö lämpöpumpussa	5
2.3	Taajuusmuuttajakäyttöiset lämpöpumput	9
3	Lämpöpumppujärjestelmän sähköasennukset	11
3.1	Lämpöpumppujärjestelmän sähköasennusten suunnitteluperusteet	12
3.2	Lämpöpumppujärjestelmän sähkösuunnittelun perustiedot	12
3.3	Rakennuksen olemassa olevan sähkölaitteiston kartoitus	13
3.4	Lämpöpumppulaitteiston vaatimien muutosten määrittäminen rakennuksen sähkölaitteistoihin	15
4	Virranvalvontalaitteiden käyttö lämpöpumppujärjestelmissä	16
4.1	Virranvalvontarele	16
4.2	Sähkökattilan sisäänrakennettu kuormitusvahti	17
4.3	Verkkoanalysointilaitteen käyttö virranvalvonnassa	19
5	Lämpöpumppujärjestelmän energiamittaukset	19
5.1	Lämpöpumppujärjestelmän sähköenergiamittaukset	20
5.2	Lämpöpumppujärjestelmän tuotetun energian mittaukset	22
5.3	Energiamittareiden ja rakennusautomaation välinen tiedonsiirto	22
6	Loistehon kompensointi lämpöpumppujärjestelmässä	23
6.1	Loistehon kulutus lämpöpumppujärjestelmässä	24
6.2	Loistehon kompensointi, esimerkkikohde	25

6.3	Loistehon kompensoinnin kannattavuus	esimerkkikohteen	
	lämpöpumppujärjestelmässä		26
7	Lämpöpumppujärjestelmän sähköistäminen, esimerkkitoetus		29
7.1	Taustatiedot		29
7.2	Lämpöpumppulaitteiston aiheuttamat muutostarpeet sähkölaitteistoihin	olemassa oleviin	30
7.3	Lämpöpumppulaitoksen sähkösuunnittelu		31
7.4	Lämpöpumppulaitoksen sähköasennustyöt		32
	7.4.1 Virranvalvontareleen käyttö esimerkkikohteessa		33
8	Yhteenveto ja johtopäätökset		34
	Lähteet		36

1 Johdanto

Lämpöpumppujärjestelmät lisääntyvät jatkuvasti rakennusten lämmityslaitteistoina tai osana sitä. Lämpöpumppujen lisääntymistä tukevat niiden taloudellisuus lämmityslaitteistoina sekä ympäristöystävällisyys. Lämpöpumpuilla voidaan useissa tapauksissa vähentää merkittävästi rakennusten lämmityskustannuksia ja lämpöpumpuilla voidaan vähentää merkittävästi rakennusten lämmittämisen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä.

Erilaisista lämpöpumpputyypeistä lukumääräisesti Suomeen on asennettu eniten ilma-
lämpöpumppuja n. 450 000 kpl. Seuraavaksi eniten on asennettu maa- ja kalliolämpöpumppuja noin 100 000 kpl. Tällä hetkellä Suomessa lämpöpumpuilla tuotettavan vuosittaisen energian määrä on noin 5 TWh ja vuosittain tuotettavan energian määrä kasvaa jatkuvasti uusien lämpöpumppuasennusten myötä. [1;2.]

Lämpöpumppujärjestelmiä asennetaan lämmityslaitteistoiksi omakotitaloista suuriin kiinteistöihin. Suurimman osuuden lämpöpumpuilla rakennusten lämmitysjärjestelmiin tuotettavasta lämmitysenergian määrästä tuotetaan maa- / kalliolämpöpumpuilla. Lämpöpumppuja voidaan hyödyntää myös ratkaisussa, joissa on tarjolla lämpöenergiaa, joka muuten jäisi hyödyntämättä. Lämpöpumpulla tätä hukkaan menevää lämpöenergiaa voidaan ottaa hyötykäyttöön. Tästä esimerkkinä toimii Helsingin Energia Oy:n Katri Valan lämpöpumppulaitos, jossa lämpöä tuotetaan lämpöpumpulla 90 MW:n teholla kaukolämpöverkkoon ottamalla jäteveden lämpöenergiaa talteen. [3.]

Lämpöpumppujärjestelmä tarvitsee sähköenergiaa toiminnassaan. Lämpöpumpun tuottamasta lämpöenergian määrästä muodostuu noin kolmannes sähköenergiasta ja kaksi kolmannesta lämmönlähteestä lämpöpumpulla kerätystä lämpöenergiasta. Lämpöpumpussa sähköenergiaa tarvitaan pääasiassa kompressorin käyttöön. Kompressorin käytön lisäksi sähköä tarvitaan lämpöpumpun toiminnassa pumppujen ym. oheislaitteiden toimintaan.

Insinööriyö on tehty Senera Oy:ssä. Senera Oy on suomalainen lämpöpumppujärjestelmiä urakoiva yritys. Senera Oy:n toteuttamissa urakoissa sähköasennustyöt muodostavat merkittävän osa-alueen kokonaisurakasta. Oikein tehdyt sähköasennustyöt mahdollistavat laitteiston toiminnan ja varmistavat laitteiston pitkäaikaisen käytön.

Insinööriyön tarkoituksena on kartoittaa ja kuvata lämpöpumppujärjestelmän asentamisessa tarvittavat sähköasennustyöt. Työssä keskitytään pääasiassa suurempien esimerkiksi asuinkerrostaloihin asennettavien lämpöpumppujärjestelmien sähköasennuksiin. Työssä tehtävä lämpöpumppujärjestelmien sähköasennustöiden kuvaaminen mahdollistaa sähköasennustöiden paremman suunnittelun, seurannan ja kehittämisen.

Senera Oy

Senera Oy on vuonna 2008 perustettu yhtiö, jonka toimipaikka sijaitsee Vantaalla. Senera -konserniin kuuluu myös lämpöpumppujärjestelmiä urakoiva Tom Allen Oy. Senera Oy:n liikevaihto vuonna 2015 oli noin 14 milj. euroa ja työntekijöitä Senera Oy:ssä on noin 60. Koko konsernin henkilöstömäärä huomioiden Tom Allen Oy:n työntekijät on n. 100 kpl. Senera Oy urakoi lämpöpumppujärjestelmiä pääasiassa Etelä-Suomen alueella.

Senera Oy on keskittynyt liiketoiminnassaan maa- ja kalliolämpöpumppujärjestelmien urakointiin. Senera Oy:n toteuttamien lämpöpumppujärjestelmien lämmitystekot vaihtelevat pienistä omakotitalojen maa- tai kalliolämpöpumpuista (lämpöpumpun lämmitystekho esimerkiksi 5 kW) suurempiin useampia lämpöpumppuja muodostaviin järjestelmiin (lämpöpumppujen lämmitystekho esimerkiksi 300 kW). Senera Oy urakoi suurempia lämpöpumppujärjestelmiä pääasiassa asuinkerrostaloista muodostuviin asunto-osakeyhtiöihin. Asuinkerrostaloihin asennettaviin lämpöpumppujärjestelmiin asennetaan useimmissa tapauksissa myös poistoilman lämmön talteenottojärjestelmä. Tässä järjestelmässä rakennuksesta poistettavan ilman lämpö siirretään lämpöpumppujärjestelmän lämmönkeruunesteeseen, jota kautta poistoilman lämpöenergia kierrätetään lämpöpumpulla rakennuksen lämmitysjärjestelmässä hyödynnettäväksi. Poistoilman lämmön talteenottojärjestelmässä vanhan poistoilman rakennuksesta suoraan ulos puhaltavan puhaltimen tilalle asennetaan nestepatterilla varustettu poistoilmapuhallin. Poistoilman lämpöenergia siirtyy nestepatterissa kiertävään lämmönkeruunesteeseen.

2 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppu on laite, joka siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä olosuhteesta lämpimämpään. Lämpöpumpun pääkomponentit ovat: kompressori, lauhdutin lämmönsiirrin, paisuntaventtiili ja höyrystin lämmönsiirrin. Edellä mainittuja lisäksi etenkin maa- ja kalliolämpöpumpuissa tarvitaan lämpöpumpun toimintaan vähintään kaksi kiertopumppua,

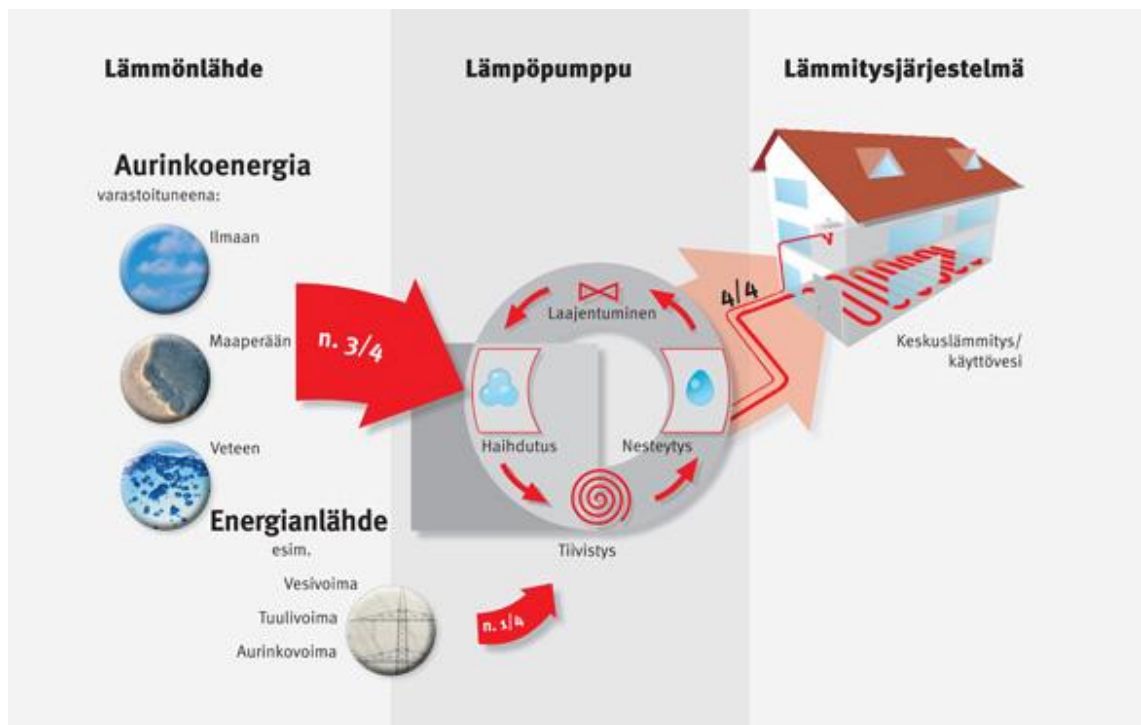
joista toisella tuodaan lämpöpumpun höyrystin-lämmönsiirtimelle talteen otettavaa lämpöenergiaa ja toisella pumpulla viedään lauhdutin-lämmönsiirtimeltä lämpöpumpun tuottamaa lämpöenergiaa käyttökohteeseen. Lämpöpumpun toimintaperiaate perustuu ranskalaisen insinöörin Sadi Carnot'n vuonna 1824 keksimään prosessiin. [4, s.17.]

Kun lämpöpumppu käy, oikosulkusähkömoottorilla pyöritettävä kompressori puristaa kylmäainehöyryä suurempaan paineeseen. Kun kylmäainehöyryä puristetaan korkeampaan paineeseen, sen lämpötila nousee. Lämpöpumpun kompressorissa kylmäainehöyryn painetta korotetaan esim. noin 6 barin paineesta noin 30 barin paineeseen. Mitä korkeampaa lämpötilaa lämpöpumpulla tehdään, sitä korkeampaan paineeseen kylmäainehöyryn paine korotetaan. Suurimmassa osassa asuinrakennuksien lämmitysjärjestelmiin asennettavista lämpöpumpuissa käytetään kylmäaineina R407C- ja R410A-kylmäaineita.

Kompressorista ulos tuleva kuumentunut kylmäainehöyry siirtyy lauhdutin -lämmönsiirtimeen, jossa kylmäaineen sisältämä lämpöenergia siirtyy lämmitettävään lämmönsiirtoaineeseen. Lauhdutin -lämmönsiirtimessä kylmäainehöyry lauhtuu nesteeksi. Lämmönsiirtoaine on tyypillisesti vettä, jolla rakennusten lämmitysjärjestelmissä lämmitetään rakennuksen lämmitysverkkoa tai lämmintä käyttövettä. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämmönsiirtoaineena kiertävä vesi lämpenee 7-10 K.

Lauhdutin -lämmönsiirtimestä kylmäaine johdetaan paisuntaventtiiliin. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine laskee noin viiden barin paineeseen ja sen lämpötila laskee esim. -5 °C:n lämpötilaan. Paisuntaventtiilistä kylmäaine siirtyy höyrystin -lämmönsiirtimeen, jossa kylmäaine höyrystyy. Höyrystin -lämmönsiirtimessä kylmäaine höyrystetään lämmönkeruunesteellä, joka maa- ja kalliolämpöpumppuratkaisuissa muodostuu ympäristöystävällisestä noin 30 %:n vesi-etanoliliuoksesta. Lämmönkeruuneste jäähtyy höyrystimen läpi virratessaan noin 2-5 K. Maa- ja kalliolämpöpumppuratkaisuissa lämmönkeruuneste on kerännyt lämpönsä maaperästä tai peruskallioon poratuista lämpökaivoista. Lämmönkeruunesteen lämmönlähteinä voivat olla myös esim. ilmanvaihdon jäteilmän sisältämä lämpöenergia tai jäteveden lämpö.

Kun kylmäaine on höyrystynyt höyrystin-lämmönsiirtimessä, se siirtyy jälleen kompressoriin paineen korotukseen ja kierto alkaa jälleen alusta. Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Lämpöpumpun toimintaperiaate. [5.]

2.1 Lämpöpumppu sähkölaitteena

Lämpöpumppu sähkölaitteena muodostuu pääosin oikosulkumoottorista, joka pyörittää kompressoria sekä kahdesta kiertopumpusta, jotka kierrättävät lämmitettävää vettä ja lämmönkeruunestettä lämpöpumpun lämmönsiirtimien läpi. Edellä mainittujen lisäksi lämpöpumpussa on ohjauskeskus, joka sisältää varolaitteet ja ohjaa lämpöpumpun toimintaa.

Maalämpöpumppujen kompressoreja käytetään enimmäkseen on/off –periaatteella siten, että kompressorit ja näin ollen niiden sähkömoottorit pyörivät käydessään vakionopeudella. Asuinrakennuksissa käytettävien lämpöpumppujen kompressoreissa käytetään kaksinapaista oikosulkumoottoria, jolloin kompressorin pyörimisnopeus on noin 2850 kierrosta minuutissa. [6 s. 23.] Lämpöpumpun kompressorin todellinen pyörimisnopeus riippuu sähkömoottorin kuormituksesta, suuremmalla kuormalla, lämpöpumpussa korkeammalla lämpötilatasolla, kompressorin pyörimisnopeus laskee hieman, koska oikosulkumoottorin jättämä kasvaa.

Oikosulkumoottorin käynnistysvirta on tyypillisesti 4-8 kertainen moottorin nimellisvirtaan nähden. [7, s. 43.] Aikaisemmin oli yleistä, että lämpöpumppujen kompressorit käynnistettiin suoralla kontaktorikytkennällä myös suuremmissa asuinrakennuksiin tarkoitetuissa lämpöpumpuissa. Suoraa kontaktorikytkentää käytetään edelleenkin pienissä esim. omakotikokoluokan lämpöpumpuissa. Suuremmissa lämpöpumpuissa kompressorin suoran käynnistämisen aiheuttama virtapiikki on niin suuri, että se aiheuttaa sähköverkossa jännitteen aleneman. Jännitteen alenema voi aiheuttaa esim. rakennuksen valaisimissa lyhytkestoisien välähdyksen, joka etenkin asuinrakennuksissa koetaan epämiellyttävänä. Valojen välähtämisen kompressorin suoran käynnistykseen aiheuttama jännitteenalenema voi aiheuttaa myös häiriöitä herkemmissä elektronisissa laitteissa. Suora käynnistys aiheuttaa myös mekaanista rasitusta kompressorin kiinnitysrakenteisiin ja kylmäaineputkistoon.

2.2 Pehmokäynnistimen käyttö lämpöpumpussa

Lämpöpumpun kompressorin käynnistykseen aiheuttamaa sähköverkon jännitteenalenemaa voidaan pienentää varustamalla lämpöpumppu pehmokäynnistimellä tai taajuusmuuttajalla. Pehmokäynnistimessä on vastarinnan kytketty tyristoripari, jolla voidaan rajoittaa kytkeytyvän jännitteen tehollisarvoa käynnistykseen aikana joustavasti. [7, s. 48.] Sähkömoottorin käynnistykseen lisäksi useimmilla pehmokäynnistimillä voidaan myös suorittaa moottorin pysäyttäminen hidastetusti.

Pehmokäynnistimellä sähkömoottorin käynnistysvirta on noin kolmasosa suoran käynnistykseen käynnistysvirrasta. Pehmokäynnistintä käytettäessä voidaan vähentää lämpöpumpun suoran käynnistykseen aiheuttamaa valojen välkkymistä sekä mekaanisia käynnistystärähdyksiä. Lämpöpumppukäytössä kompressoria pyörittävän sähkömoottorin käynnistysajaksi säädetään pehmokäynnistinkäytössä noin yksi sekunti.

Pehmokäynnistimien yleisyys lämpöpumppujen vakiovarusteena vaihtelee lämpöpumppuvalmistajittain. Osalla valmistajista kaikki lämpöpumput varustetaan pehmokäynnistimillä jo tehtaalla, kun taas toisilla valmistajilla pehmokäynnistin on hankittava lisävarusteena myös suurempiin lämpöpumppuihin. Selkeää sääntöä tai ohjeistusta pehmokäynnistimien käytöstä ei ole tarjolla lämpöpumppuvalmistajilta, jolloin niiden käyttö pitää harvita tapauskohtaisesti. Käytäntö on osoittanut, että kaikkiin yli 35 A:n syötön vaativiin lämpöpumppuihin kannattaa asentaa pehmokäynnistin.

Koska pehmokäynnistin on asennettu tai voidaan asentaa kompressoria ohjaavan kontaktorin paikalle, kompressorin moottorisuojakytkin tai lämpösuoja on asennettu erilleen pehmokäynnistimestä. Moottorisuojakytkimen tai lämpösuojan asennustapa vaihtelee lämpöpumpussa käytettävän kompressorityypin mukaan. Kompressorin lämpösuoja voi olla asennettu kompressorin kyljessä olevaan kytkentärasiaan. Mikäli kompressorin kytkentärasiaan ei ole tehdasasennettuna asennettu lämpösuojaa, asennetaan erillinen moottorisuojakytkin kompressorin sähkönsyöttöön lämpöpumpun kokoonpanovaiheessa tehtaalla.

Pehmokäynnistimen sähkökytkennät

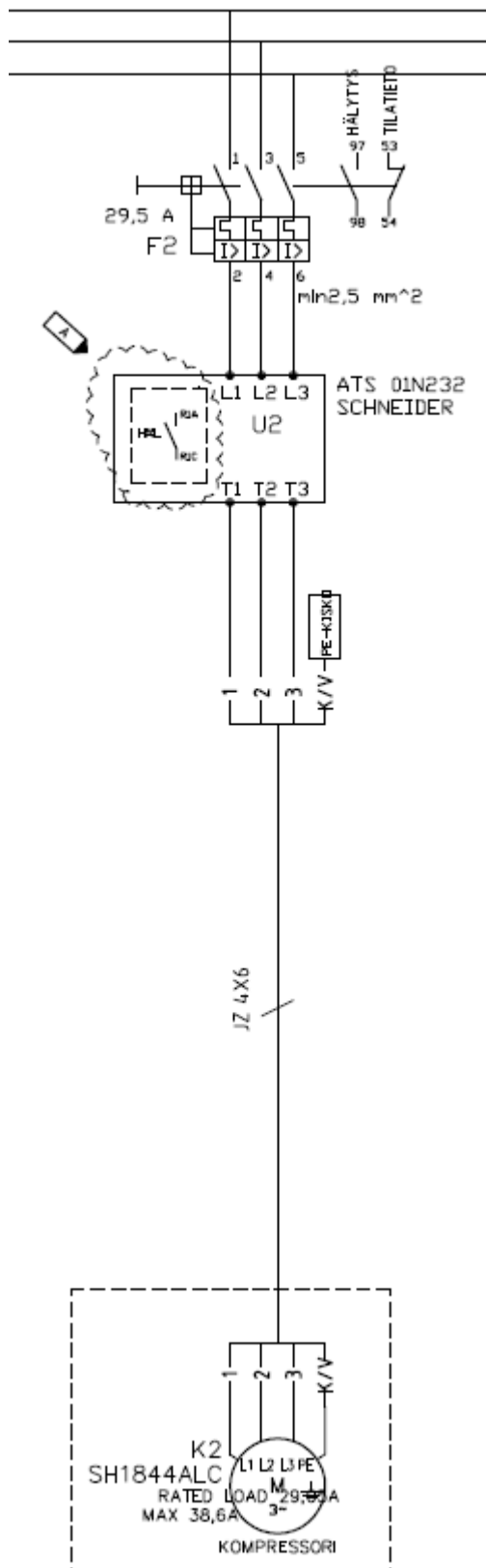
Pehmokäynnistin asennetaan yleensä lämpöpumpun ohjaus- / sähkökeskukseen. Useimmissa suuremmissa esim. asuinkerrostaloihin asennettavissa lämpöpumpuissa pehmokäynnistin on asennettu laitteeseen jo tehtaalla. Mikäli pehmokäynnistintä ei ole asennettu lämpöpumpuun tehtaalla, voidaan se useimmissa tapauksissa asentaa jälkeinpäin lisävarusteena kompressoria ohjaavan kontaktorin tilalle. Pehmokäynnistin voidaan asentaa lämpöpumpuun jälkeinpäin esimerkiksi silloin, kun lämpöpumpu on asennettu rakennukseen, jossa sähköliittymän oikosulkuvirta on pieni. Tämä tilanne voi esiintyä esimerkiksi maaseudulla. Tällaisessa tilanteessa suora kontaktorilla tapahtuva käynnistys aiheuttaisi häiritsevää valojen vilkkumista, jota voidaan merkittävästi vähentää pehmokäynnistimellä.

Pehmokäynnistimen sähkökytkentä vastaa hyvin pitkälti kontaktorin sähkökytkentää. Pehmokäynnistimen ensiöpuolelle kytketään sähkön syötön vaihejohtimet. Pehmokäynnistimen toisiopuolelle kytketään lämpöpumpun kompressorin syöttökaapelit. Pehmokäynnistin käynnistää kompressorin, kun sen ohjauspiiriin syötetään 230 V:n jännite. Jännitteellä tapahtuvan ohjauksen sijaan, voidaan pehmokäynnistintä ohjata myös potentiaalivapaalla kosketintiedolla. Käytettävä ohjaustapa vaihtelee riippuen pehmokäynnistimen valmistajasta. Kuvassa 2 on esimerkki lämpöpumpussa käytettävästä pehmokäynnistimestä.



Kuva 2. Esimerkki lämpöpumpussa käytettävästä pehmokäynnistimestä. [8.]

Kuvassa 3 on esimerkki lämpöpumpussa käytettävän pehmokäynnistimen ohjaus- ja sähkökytkennöistä.



Kuva 3. Esimerkki lämpöpumpun pehmokäynnistimen sähkökytkennästä. [9.]

2.3 Taajuusmuuttajakäyttöiset lämpöpumput

Taajuusmuuttajakäyttöisillä kompressoreilla varustettujen maa- tai kalliolämpöpumppujen tarjonta lisääntyy jatkuvasti. Taajuusmuuttajalla varustettuja ilmalämpöpumppuja on ollut markkinoilla pidempään kuin taajuusmuuttajalla varustettuja maa- tai kalliolämpöpumppuja. Taajuusmuuttajan avulla lämpöpumpun kompressorin käynnistäminen voidaan suorittaa nousevasti alkaen matalasta kierrosnopeudesta, jolloin vältetään suoran käynnistämisen aiheuttamat jännitteen alenemat sähköverkossa sekä kompressorin mekaaninen rasitus käynnistystilanteessa.

Taajuusmuuttaja mahdollistaa kompressorin ajamisen portaattomasti lämpöpumpulta vaaditun lämmitystehon tarpeen mukaisesti, jolloin lämmitysverkon lämpötilan säätäminen tapahtuu tarkemmin kuin on/off –tyyppisillä kompressoreilla varustetuilla lämpöpumpuilla.

Lämpöpumpun kompressorin käynnistystilanteessa kestää hetken aikaa ennen kuin kompressorin voitelu alkaa toimia. Kun voitelu ei toimi, kompressorin laakereihin ym. mekaanisiin rakenteisiin kohdistuu rasitusta, joka lyhentää kompressorin elinkaarta. Taajuusmuuttajalla varustetun lämpöpumpun kompressori on rakennuksen lämmityskauden aikana käytännössä jatkuvasti käynnissä, jolloin taajuusmuuttajakäyttöisessä lämpöpumpussa kompressorin käynnistyskertoja on merkittävästi vähemmän kuin on/off –periaatteella toimivissa lämpöpumpuissa. Taajuusmuuttaja käytön myötä kompressorin elinkaaren voi odottaa olevan pidempi. Taajuusmuuttajakäyttöisiä maa- tai kalliolämpöpumppuja on ollut vielä suhteellisen vähän aikaa markkinoilla, jonka vuoksi tietoa niiden kompressoreiden kestävydestä verrattuna on/off –tyyppisiin lämpöpumppeihin on vähän tarjolla.

Taajuusmuuttajakäyttöisessä lämpöpumpussa on mahdollista ajaa kompressoria verkon taajuutta suuremmalla taajuudella. Mitä suuremmalla taajuudella, eli pyörimisnopeudella lämpöpumpun kompressoria ajetaan, sitä suurempi sen lämmitysteho on. Kun kompressoria voidaan ajaa sähköverkon taajuutta suuremmalla taajuudella, voidaan taajuusmuuttajakäyttöiseen lämpöpumppuun valita pienempi kompressori kuin sähköverkon taajuudella toimivaan lämpöpumppuun. Tämän myötä lämpöpumpun komponenttikustannus kompressorin osalta on alhaisempi tavanomaiseen lämpöpumppuun verrattuna. Kun lämpöpumpun kompressoria ajetaan taajuusmuuttajalla, on kompressorin oltava

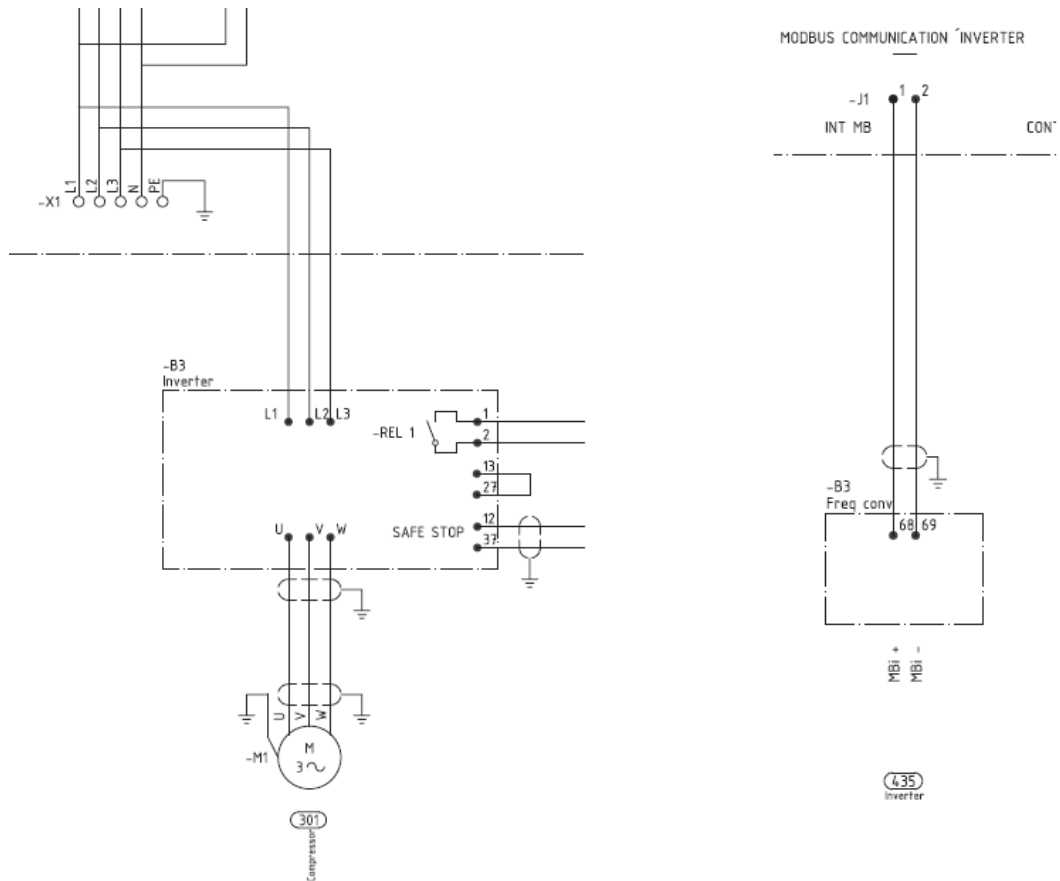
taajuusmuuttajakäyttöön suunniteltu. Taajuusmuuttajan käyttäminen parantaa lämpöpumpun käytettävyyttä ja ominaisuuksia, jonka vuoksi on oletettavaa, että tulevaisuudessa lähes kaikki lämpöpumput varustetaan taajuusmuuttajilla.

Taajuusmuuttajina lämpöpumpuissa käytetään yleensä tavanomaisia markkinoilla olevia taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttaja voidaan yhdistää lämpöpumpun automaatiojärjestelmään Modbus tiedonsiirtoväylällä. Väylän avulla lämpöpumpun automatiikka säätelee taajuusmuuttajan toimintaa ja väylän kautta luetaan taajuusmuuttajan toimintatietoja lämpöpumpun ohjaus- ja säätöjärjestelmään. Kuvassa 4 on esimerkki markkinoilla olevasta lämpöpumpusta, jossa kompressorin pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla.



Kuva 4. Taajuusmuuttajakäytöllä varustettu lämpöpumppu, Thermia Mega. [10.]

Kuvassa 5 on esimerkki taajuusmuuttajakäyttöisen lämpöpumpun taajuusmuuttajan ja kompressorin sähkökytkennöistä.



Kuva 5. Esimerkki taajuusmuuttajan sähkökytkennöistä lämpöpumpussa. Vasemmalla sähkön syötön kytkentä taajuusmuuttajaan ja kompressoriin ja oikealla Modbus –väylän kytkentä taajuusmuuttajan säätämiseen. [11, s. 5.]

3 Lämpöpumppujärjestelmän sähköasennukset

Lämpöpumppujärjestelmän kuten muidenkin järjestelmien sähköasennuksien vaatimukset on määritelty sähköturvallisuuslaissa. Laissa määritetään seuraavaa:

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin että:

- 1. Niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2. Niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä; sekä
- 3. Niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. [12.]

3.1 Lämpöpumppujärjestelmän sähköasennusten suunnitteluperusteet

Lämpöpumppujärjestelmän sähköistämisen pääosien suunnittelu perustuu lämpöpumppujärjestelmän mitoituslaskelmaan. Lämpöpumppujärjestelmän mitoituslaskelmassa määritetään lämpöpumppulaitteisto, eli kuinka monta kappaletta minkäkin tehoisia lämpöpumppuja järjestelmään asennetaan. Lämpöpumppujen lisäksi mitoituslaskelmassa määritetään lämpöpumppujen lisäksi lisätehon tarve. Lisätehoa tarvitaan lämmitystehon huipputehotilanteissa, joissa lämpöpumppujen teho ei riitä kattamaan rakennuksen koko lämmitystehon tarvetta. Lisätehon tarve määritetään järjestelmäkohtaisesti, ja se on yleensä lämmityksen kokonaistehontarpeesta 10–30 %. Lisätehon lähteeksi asennetaan useimmissa tapauksissa sähkökattila, mutta lisätehon lähteenä voidaan käyttää myös kaukolämpöä tai öljykattilaa.

Päälaitteiden eli lämpöpumppujen ja lisätehon lähteen lisäksi lämpöpumppujärjestelmään asennetaan yleensä lämpimän käyttöveden lämmitysprosessiin huolto- tai vikatilanteita varten sähkövastukset. Muita laitteita, jotka sähköistetään lämpöpumppujärjestelmän asentamisen yhteydessä ovat muun muassa lämmitysverkon kiertopumppu tai -pumput sekä lämpimän käyttöveden kiertopumppu tai -pumput. Edellä mainittujen pumpujen lisäksi lämpöpumppujärjestelmässä voi olla myös muita pumppuja, jotka on huomioitava sähkösuunnittelussa. Mikäli lämpöpumppujärjestelmään asennetaan poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä, pitää sen laitteistojen vaatimukset myös huomioida sähkösuunnittelussa. Lämmöntalteenottolaitteiden laitteita ovat pääasiassa ilmanvaihtopuhallin sekä kiertopumppu, joka kierrättää lämmönkeruunestettä lämmöntalteenottolaitteen nestepatterissa.

Edellä mainittujen laitteiden lisäksi suuremmissa lämpöpumppujärjestelmissä asennetaan erillinen automaatiojärjestelmä, jolla ohjataan lämpöpumppulaitteistoa kokonaisuutena.

3.2 Lämpöpumppujärjestelmän sähkösuunnittelun perustiedot

Lämpöpumppujärjestelmän laitteiston määrittämisen jälkeen voidaan aloittaa lämpöpumppujärjestelmän sähkösuunnittelu. Sähkösuunnittelussa ensimmäisessä vaiheessa kirjataan lämpöpumppujärjestelmään kuuluvat laitteet ja niiden sähkövirran tarpeet. Yksittäisten lämpöpumppujärjestelmän laitteiden virrantarpeiden määrittämisen jälkeen

lasketaan lämpöpumppujärjestelmän kokonaisvirrantarve. Uudisrakennuskohteissa voidaan tämän jälkeen määrittää lämpöpumppulaitteiston vaatimukset sähköliittymälle ja sähkökeskuksille.

Lämpöpumppujärjestelmän virransyöttökaapelin ja sulakkeiden tai johdonsuoja-automaattien valinta tehdään laitevalmistajien ilmoittamien tietojen perusteella. Lämpöpumppujen, sähkökattiloiden ja sähkövastusten osalta tarvittavat tiedot sulakekoosta ilmenevät laitteiden mukana toimitettavista asennusohjeista. Lämpöpumppujärjestelmän latteiden virransyöttökaapelin poikkipinta-ala määritetään ottaen huomioon mm. kaapeleiden asennustavat. Jotta lämpöpumpun sähkön syötön sulake tai johdonsuoja-automaatti ei laukeaisi lämpöpumpun käynnistysvirtapiikistä on sulakkeena käytettävä hitaita sulakkeita ja johdonsuoja-automaatteina on käytettävä D-ominaiskäyrän johdonsuoja-automaatteja. Suuremmilla lämpöpumpuilla, joilla sulakekoko ylittää 63 A, käytetään sulakkeina kahvasulakkeita.

3.3 Rakennuksen olemassa olevan sähkölaitteiston kartoitus

Mikäli lämpöpumppujärjestelmällä korvataan rakennuksen aikaisempi lämmitysjärjestelmä, on suoritettava rakennuksen olemassa olevan sähkölaitteiston kartoitus. Yleensä lämpöpumppulaitteiston asentaminen olemassa olevaan rakennukseen lisää rakennuksen sähkötehon tarvetta, jolloin olemassa oleviin sähkölaitteistoihin joudutaan tekemään muutoksia.

Olemassa olevan rakennuksen sähkökartoituksessa selvitetään vähintään seuraavat asiat:

- Sähköliittymän syöttökaapelin ominaisuudet.
- Sähköliittymän pääsulakkeiden koko.
- Pääkeskuksen nimellisvirta.
- Lämpöpumppujärjestelmän käyttämän sähkökeskuksen sähkön syötön sulakkeiden koko sähköpääkeskuksessa.
- Lämpöpumppujärjestelmän käyttämän sähkökeskuksen nimellisvirta.

- Lämpöpumppulaitteiston käyttämän sähkökeskuksen vapaat lähdöt. Lämpöpumppulaitteiston käyttämä sähkökeskus on esim. asuinkerrostalossa rakennuksen kiinteistösähkökeskus.

Sähköliittymän syöttökaapeli ominaisuuksien selvittäminen

Rakennuksen sähköliittymän syöttökaapelin kartoituksessa selvitetään kaapelin tyyppi ja poikkipinta-ala. Syöttökaapelin ominaisuuksien selvittäminen on tärkeää, jotta saadaan selville, onko syöttökaapelissa mahdollisuuksia lisätä kuormitusta lämpöpumppulaitteiston vaatiman lisäkuormituksen verran. Sähköliittymän syöttökaapelin ominaisuudet ovat tiedossa usein sähköverkkoyhtiöllä, jolloin syöttökaapelin ominaisuudet selviävät usein sähköverkkoyhtiön asiakaspalvelusta. Mikäli syöttökaapelin tyyppi ei selviä sähköverkkoyhtiön asiakaspalvelusta, sähköliittymän syöttökaapelin ominaisuudet selvitetään paikan päällä kohteessa. Tässä tapauksessa rakennuksen sähköpääkeskuksesta etsitään sähköliittymän syöttökaapeli ja sen tyyppi selvitetään esim. kaapelissa olevista merkinnöistä. Mikäli kaapelin tyyppi ja poikkileikkausläpimitta ovat riittävät, ei kaapelia tarvitse vaihtaa suuremmaksi ja voidaan jatkaa kartoitusta pääsulakkeiden koon selvittämisellä.

Sähköliittymän pääsulakkeen koko ja sähköpääkeskuksen nimellisvirta

Sähköliittymässä liittymän syöttökaapelin suojana ovat sähköliittymän pääsulakkeet. Ennen lämpöpumppujärjestelmän asentamista tehtävässä sähkökartoituksessa selvitetään sähköliittymän pääsulakkeiden koko. Pääsulakkeen koon selvittämisen tarkoituksena on selvittää, onko pääsulake riittävä suuri lämpöpumppujärjestelmän sähkönkuormitusta varten.

Pääsääntöisesti olemassa olevan sähköliittymän pääsulake ei ole riittävän suuri lämpöpumppujärjestelmän tarvitseman sähkökuormituksen lisäämistä varten, jolloin liittymäkoko joudutaan korottamaan.

Mikäli sähköliittymän pääsulakekoko joudutaan korottamaan, on seuraavaksi selvitettävä sähköpääkeskuksen nimellisvirta. Mikäli sähköpääkeskuksen nimellisvirta on riittävä halutun kokoisille uusille pääsulakkeille, ei sähköpääkeskusta tarvitse uusia. Mikäli sähköpääkeskuksen nimellisvirta ei ole riittävä uutta korotettua pääsulakekoko ajatellen, joudutaan sähköpääkeskus uusimaan. Vanha sähköpääkeskus toimii useimmissa

tapauksissa nousukeskuksena muille pääkeskuksen alla oleville keskuksille. Tällöin sähköpääkeskuksen uusimistilanteissa vanha sähköpääkeskus / nousukeskus on taloudellisesti järkevämpää jättää paikalleen kuin uusia koko sähköpääkeskus. Tällöin asennetaan uusi sähköpääkeskus tai nousukeskus, josta asennetaan uusi syöttökaapeli vanhaan sähköpääkeskukseen tai nousukeskukseen, jolloin vanha sähköpääkeskus muuttuu nousukeskukseksi.

Kiinteistökeskuksen kartoittaminen

Olemassa olevissa lämmitysjärjestelmissä lämmönjakohuoneen sähkölaitteiston sähkön syötöt tulevat kiinteistökeskukselta, joka on sähköpääkeskuksen alakeskus. Kiinteistökeskus voi sijaita samassa tilassa sähköpääkeskuksen kanssa tai se voi olla sijoitettuna esim. lämmönjakohuoneeseen. Sähköpääkeskuksessa tai nousukeskuksessa ovat kiinteistökeskuksen noususulakkeet. Mikäli sähköpääkeskuksen selvityksessä on selvinnyt, että uutta sähköpääkeskusta ei tarvita, on seuraavaksi selvitettävä pääkeskuksessa kiinteistökeskuksen syötön sulakkeet ja pääkeskukselta kiinteistökeskukselle menevän syöttökaapelin tyyppi ja poikkileikkauspinta-ala. Lisäksi on selvitettävä kiinteistökeskuksen nimellisvirta.

Mikäli kiinteistönousun sulakkeet pääkeskuksessa, syöttökaapeli ja nimellisvirta ovat riittävät, kiinteistökeskusta ei ole välttämätöntä uusia. Tällöin lämpöpumppulaitteiston sähkön syötöt voidaan ottaa suoraan olemassa olevasta kiinteistökeskuksesta, mikäli siellä on riittävästi vapaita lähtöjä lämpöpumppujärjestelmän laitteita varten. Mikäli kiinteistökeskuksessa ei ole vapaita lähtöjä riittävästi, voidaan olemassa olevalle kiinteistökeskukselle asentaa alakeskus, jossa on riittävästi lähtöjä lämpöpumppujärjestelmän laitteistoja varten.

Yleensä olemassa olevassa kiinteistökeskuksen syöttökaapelissa ja kiinteistökeskuksessa ei ole kapasiteettia lämpöpumppulaitteiston sähköistämiseen.

3.4 Lämpöpumppulaitteiston vaatimien muutosten määrittäminen rakennuksen sähkölaitteistoihin

Rakennuksen olemassa olevan sähkölaitteiden kartoituksen jälkeen sähkösuunnittelijalla on tiedossa vallitseva tilanne rakennuksen olemassa olevista sähkölaitteistoista lämpöpumppujärjestelmän sähkötöiden suunnittelun kannalta. Lämpöpumppulaitteiston

vaatimusten ja olemassa olevien sähkölaitteiden tietojen perusteella sähkösuunnittelija määrittää muutokset, joita on tehtävä rakennuksen sähkölaitteistoihin, jotta lämpöpumpputjärjestelmän vaatimat sähkön voidaan toteuttaa.

4 Virranvalvontalaitteiden käyttö lämpöpumppujärjestelmissä

Lämpöpumppujärjestelmän päälaitteisto muodostuu lämpöpumpusta tai lämpöpumpuista ja lisätehon lähteenä käytettävästä lisäenergian lähteestä. Lisäenergian lähteenä käytetään useimmissa tapauksissa sähkökattilaa tai sähkövastuksia.

Sähköliittymän liittymismaksun suuruus riippuu liittymän pääsulakekoosta. Lämpöpumppujärjestelmän vaatiman sähköliittymän mitoitus voi johtaa tilanteeseen, jossa jouduttaiisiin valitsemaan kahdesta liittymäkokovaihtoehdosta suurempi liittymäkoko vain pienen liittymäkoon ylittävän kuormituksen vuoksi. Esimerkiksi sähköliittymän liittymismaksuissa Caruna Oy:n sähköverkoissa on 3 x 160 A:n ja 3 x 200 A:n liittymäkokojen välillä 4240 euron hintaero (alv 0%) [20], joten pienemmällä liittymäkoolla voidaan saavuttaa merkittävä kustannussäästö liittymismaksussa. Tietyissä tapauksissa voidaan valita kahdesta liittymäkokovaihtoehdosta pienempi liittymäkoko, kun sähköliittymän kuormitusta seuraamaan asennetaan virranvalvontalaite. Virranvalvontalaitteena voidaan käyttää muun muassa virranvalvontarelettä, energia-analysaattoria tai sähkökattilassa olevaa kuormitusvahtia.

4.1 Virranvalvontarele

Virranvalvontarele mittaa sähköliittymän tai muun suojeltavan sulakkeen virtaa epäsuorasti virtamuuntajilla. Virranvalvontarele on laite, joka toimii binäärisesti. Kun virranvalvontareleeseen aseteltu virta-raja ylittyy, virranvalvontareleen kosketin vaihtaa tilaa. Tämä kosketintieto voidaan tuoda lämpöpumppujärjestelmän automaatiojärjestelmään, jonka perusteella voidaan ohjata haluttuja toimintoja. Virranvalvontareleeltä saatavan mittaustiedon perusteella kytketään yleensä lämpöpumppujärjestelmän lisätehona toimivan sähkökattilan tai sähkövastuksien tehoa pois päältä siten, että virranvalvontareleen mittauspisteellä (esim. sähköliittymän pääsulakkeilla) sähkövirran suuruus laskee suurimman sallitun raja-arvon alapuolelle. Sähkövastustehon lisäksi voidaan kytkeä esimerkiksi monesta kompressorisyksiköistä muodostuvissa lämpöpumppujärjestelmissä yksi tai

useampi kompressori pois päältä. Virranvalvontareleellä voidaan ohjata myös lämmitys-järjestelmän ulkopuolisia laitteita. Esimerkiksi sähkövirran huippukuormitustilanteessa voidaan kytkeä sähköllä toimiva rakennuksen pihan sulanapitojärjestelmä tms. pois käytöstä.

Lisäenergiana toimivan sähkökattilan tai sähkövastuksien tehon rajoittaminen ei aiheuta ongelmia. Sähköliittymän huippukuormitustilanteet eli tilanteet, joissa sähköliittymän virta on huipussaan, ovat yleensä aikakestoltaan lyhyitä esim. aamulla yhden tunnin aika, jolloin lyhytaikainen lisälämmitystehon leikkaaminen ei aiheuta ongelmaa rakennusten lämmityksessä. Kuvassa 6 on esimerkki virranvalvontareleestä.

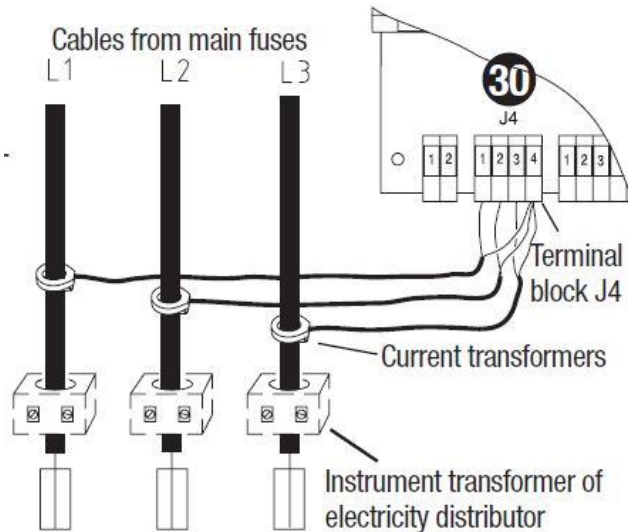


Kuva 6. Esimerkki sähköpääkeskukseen DIN-kiskoon asennettavasta virranvalvontareleestä. [13.]

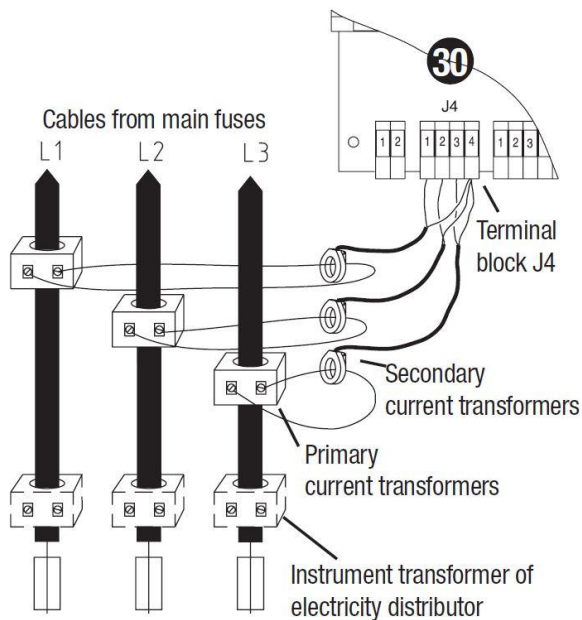
4.2 Sähkökattilan sisäänrakennettu kuormitusvahti

Virranvalvontalaite voi olla suoraan lisätehonlähteenä toimivan sähkökattilan osana ja kytkettynä suoraan sähkökattilan automaatioon, jolloin sähkökattila itsenäisesti säätää tehoaan aseteltujen raja-arvojen puitteissa. Sähkökattila mittaa sähkövirtaa epäsuorasti virtamuuntajilla. Mikäli sähkövirta ylittää sähkökattilaan asetellun suurimman virran asetusarvon, kattilan automatiikka kytkee tehoportaita pois käytöstä niin paljon, että virta mittauspisteellä laskee sallittuun raja-arvoon. Binääriseen virranvalvontareleeseen verrattuna sähkökattilan virranvalvontarele mahdollistaa lisätehona käytettävän sähkötehon

tarkemman säädön. Binäärisellä releellä tehtävällä ohjauksella kytketään aina vakio- määrä tehoa pois, kun taas sähkökattilan omalla kuormitusvahdilla voidaan kytkeä so- piva määrä sähkötehoa pois käytöstä. Kuvissa 7 ja 8 on esimerkit sähkökattilaan integ- roidun kuormitusvahdin virtamuuntajien kytkennöistä.



Kuva 7. Sähkökattilan kuormitusvahdin sähköiset kytkennät. [14, s. 11.]



Kuva 8. Sähkökattilan kuormitusvahdin sähköiset kytkennät, kun kytkennässä käytetään ensiö- ja toisiovirtamuuntajia. [14, s. 11.]

4.3 Verkkoanalysoijan käyttö virranvalvonnassa

Virranvalvontareleeseen ja sähkökattilan oman kuormitusvahdin lisäksi voidaan käyttää sähkövirran säätämiseen verkkoanalysoijaa. Verkkoanalysoijalla voidaan mitata useita erilaisia sähköisiä suureita kuten esim. jännite, vaihevirrat, pätöteho, näennäisteho, loistevoima, virran ja jännitteen välinen vaihe ero, yms.

Verkkoanalysoija mittaa sähkövirran suuruutta virtamuuntajilla. Jännite mitataan kytkemällä vaihejohtimet verkkoanalysoijan jännitemittaustuloihin.

Verkkoanalysoijasta voidaan tuoda lämpöpumppujärjestelmän automaatiojärjestelmään mittaussuureita esimerkiksi modbus-tiedonsiirtoväylän kautta. Virranvalvontatilanteissa voidaan verkkoanalysoijan virranmittaustiedon perusteella säätää lämpöpumppulaitteiston lisätehon määrää siten, että sähkövirran suuruus ei ylitä asetettua arvoa mittauspisteessä. Kuvassa 9 on esimerkki verkkoanalysoijasta, jota voidaan käyttää virranvalvontalaitteena.



Kuva 9. Esimerkki verkkoanalysoijasta: Carlo Gavazzi EM24-verkkoanalysoija [15].

5 Lämpöpumppujärjestelmän energiamittaukset

Lämpöpumppujärjestelmissä mitataan yleensä lämpöpumppujen ja lisäenergiana käytettävän sähkökattilan tai sähkövastusten sähköenergian kulutusta. Kulutetun sähköenergian lisäksi usein halutaan mitata lämpöpumppujärjestelmän tuottaman lämpöener-

gian määrä. Tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian erotus on ns. ilmaisenergian määrä, joka on saatu lämpöpumppujärjestelmän lämmönkeruujärjestelmästä (tyypillisesti lämpökaivot tai poistoilman lämmön talteenotto). Kulutetun sähköenergian määrän ja tuotetun lämpöenergian määrän perusteella voidaan laskea lämpöpumppujärjestelmän hyötysuhdeluku COP, joka on lämpöpumppujärjestelmän tuottama lämpöenergia jaettuna lämpöpumppujärjestelmän sähköenergialla. Hyötysuhdelukua käytetään yleisesti lämpöpumppujärjestelmien markkinoinnissa ja lämpöpumppuvalmistajat pyrkivät jatkuvasti kasvattamaan tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian suhdetta.

5.1 Lämpöpumppujärjestelmän sähköenergiamittaukset

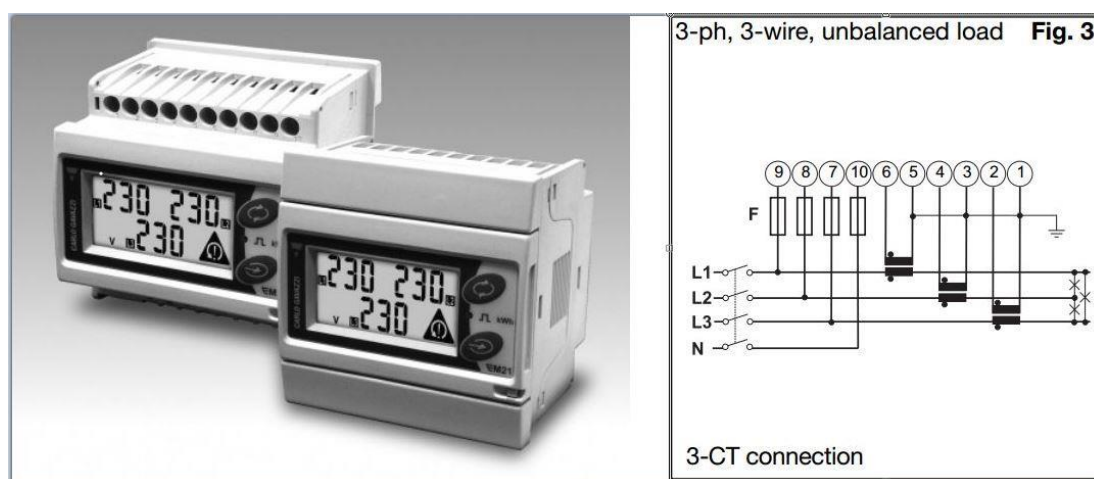
Lämpöpumppujärjestelmässä sähköenergiamittaukset toteutetaan yleensä seuraavasti: Jokaiselle lämpöpumpulle asennetaan oma kWh-mittari ja mikäli lisäenergiana käytetään sähkökattilaa tai sähkövastuksia, asennetaan niille oma kWh-mittari. Sähköenergiamittarit asennetaan yleensä lämpöpumppujärjestelmälle sähköä syöttävään ryhmäkeskukseen. Mittarit voidaan asentaa myös erilliseen ryhmäkeskuksen ulkopuolella olevaan koteloon. Tätä asennustapaa voidaan käyttää esimerkiksi tilanteissa, joissa mittarit asennetaan järjestelmään jälkeinpäin.

Mikäli lämpöpumpun tai sähkökattilan sähkövirran suuruus ei ylitä 63 A:n suuruutta, käytetään yleensä suoraan mittaukseen perustuvia mittareita. Tällöin laitteen syöttökaapelin vaihejohtimet kytketään suoraan sähkömittariin siten, että laitteen käyttämä sähkövirta kulkee mittarin läpi. Suoraan mittaukseen perustuvan mittarin etuja ovat yksinkertainen asennus ja käyttöönotto sekä epäsuoraan mittaukseen perustuvaan mittariin verrattuna edellisempi hankintahinta. Kuvassa 10 on esimerkki suoralla mittauksella toimivasta kWh-mittarista.



Kuva 10. Esimerkki suoraan mittaukseen perustuvasta sähköenergiamittarista (Hager EC350). Mittarin alareunaan kytketään mitattavan kuorman vaihejohtimet. [16.]

Sähköenergian mittauksessa käytetään pääsääntöisesti epäsuoraa mittausta, jos mitattavan sähkölaitteiston virrankulutus on suurempi kuin 63 A. Epäsuorassa mittauksessa sähkövirran suuruus mitataan virtamuuntajilla joiden läpi mitattavat johtimet kulkevat. Epäsuorassa mittauksessa mitattavan sähkövirran suuruus ei ole rajoitettu. Ainoastaan virtamuuntajat on valittava oikeiksi sähkövirran mukaan. Epäsuoraan mittaukseen perustuvassa sähköenergiamittarissa on tärkeää käyttöönoton yhteydessä ohjelmoida virtamuuntajien muuntosuhteet mittariin. Mikäli virtamuuntajien muuntosuhde on ohjelmoitu väärin, mittarin mittaustulokset menevät myöskin väärin. Kuvassa 11 on esimerkki epäsuoralla mittauksella toimivasta kWh-mittarista ja sen virta- ja jännitekytkennöistä.



Kuva 11. Esimerkki epäsuoralla mittauksella toimivasta sähköenergiamittarista sekä tavanomainen epäsuoran mittauksen kytkentä (Carlo Gavazzi EM21). Mittarin yläreunassa kytkentäpaikat virtamuuntajille ja jännitemittauksille. [17.]

5.2 Lämpöpumppujärjestelmän tuotetun energian mittaukset

Lämpöpumppujärjestelmässä tuotetun lämpöenergian mittaaminen suoritetaan järjestelmän lämmittämän veden puolelta. Mittarin toiminta perustuu nesteen virtauksen ja lämpötilaeron mittaukseen, joiden perusteella lasketaan lämpöenergian määrää. Nestevirran mittaaminen suoritetaan energiamittarissa ultraäänitekniikalla tai juoksupyörällä.

Lämpöpumppujärjestelmän sähköasennuksiin liittyen tuotetun lämpöenergian mittareille asennetaan yleensä 230 V:n syöttö. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös 24 V:n vaihtojännitesyöttöä, jolloin mittarin käyttöjännite voidaan ottaa esim. rakennusautomaatiojärjestelmän jännitelähteeltä. Kuvassa 12 on esimerkit kahden eri valmistajan lämpöenergian mittareista.



Kuva 12. Kaksi esimerkkiä lämpöpumppujärjestelmässä käytettävistä lämpöenergiamittareista. Vasemmalla Saint Gobain Sharky 775 ja oikealla Kamstrup Multical 602. [18, 19.]

5.3 Energiamittareiden ja rakennusautomaation välinen tiedonsiirto

Sähköenergiamittareiden ja lämpöenergiamittareiden mittaustietoja tuodaan usein rakennusautomaatiojärjestelmään analysointia ja raportointia varten. Yksinkertaisin tiedonsiirtotapa on tuoda mitatun energian määrä rakennusautomaatiojärjestelmään pulssitietona. Pulssitietoon perustuvassa mittarissa on kytkin, joka sulkeutuu tietyllä taajuus-

della suhteessa mitattuun energiayksikköön. Tämä suhde määritetään rakennusautomaatiojärjestelmän ohjelmassa, jolloin pulssien laskettu määrä voidaan muuttaa energiayksiköiksi. Pulssisuhde voi olla esim. 1, 10 tai 100 pulssia/kWh.

Pulssimittaukseen verrattuna edistyneempi tapa tuoda mittareiden tietoja rakennusautomaatiojärjestelmään on lukea mittareiden mittaussuureita kenttäväylällä. Yleisimmin käytetty väylä rakennusautomaatiojärjestelmissä on Modbus–väylä. Pulssimittaus mahdollistaa vain yhden mittaussuureen tuomisen rakennusautomaatiojärjestelmään, kun väylän kautta voidaan yhdestä mittarista lukea useita eri mittaussuureita. Esimerkiksi sähköenergiamittarista voidaan lukea kulutettu pätö-, lois- ja näennäisenergia. Energian lisäksi voidaan myös lukea vastaavat tehosuureet. Tuotetun lämpöenergian mittarista voidaan lukea muun muassa lämpöenergiämäärä, hetkellinen teho ja virtaus sekä lämpötilatietoja. Väylän kautta luettavien tietojen perusteella voidaan esimerkiksi laskea muun muassa lämpöpumppujärjestelmän reaaliaikainen COP-arvo.

6 Loistehon kompensointi lämpöpumppujärjestelmässä

Loisteho on jännitteen ja sähkövirran välinen vaihe-ero. Loistehon yksikkö on vari. Loisteho aiheuttaa virran kasvua sähkön syöttöjärjestelmissä. Suurempi virta aiheuttaa enemmän häviöitä ja tarvitsee suuremman johtimen poikkipinnan sekä vaatii suuremmat muuntajat ja syöttävät generaattorit. Loistehon siirrosta voi sähköverkkoyhtiö periä myös maksuja. Loistehoa, joka ei tee varsinaista työtä, ei kannata kuljettaa sähköverkossa ja sen takia se kannattaa pyrkiä kompensoimaan kulutuspisteiden lähellä. Useimmiten loisteho on induktiivista ja kompensointiin käytetään induktanssin vastaista reaktiivista kuormitusta eli kapasitanssia sisältäviä kondensaattoreita. [20.]

Suomessa sähköverkkoyhtiöt veloittavat loistehon kulutuksesta eri tavoin. Yleisimmin loistehosta veloitetaan, kun sähköliittymän pääsulakkeen koko ylittää 63 A ja loistehon kulutus ylittää sähköverkkoyhtiön määrittämän rajan. Loistehomaksu esim. Caruna Oy:n sähköverkossa lasketaan kuukausittaisen pätötehomaksimin perusteella. Tällöin kuukausittain mitatusta pätötehomaksimista lasketaan 20 %:n osuus, joka vähennetään kuukausittaisesta loistehomaksimista. Jäljelle jäävälle loistehon osalle on tietty euromääräinen hinta. Vuonna 2016 Caruna Oy:n sähköverkossa loistehon hinta oli 4,61 e/kVar (alv 0 %). [21.] Helsingissä toimivan sähköverkkoyhtiö Helen Sähköverkot Oy:n alueella loistehosta laskutus perustuu kuukauden suurimpaan mitattuun loistehon ottotohon,

josta on vähennetty joko 40 % saman kuukauden suurimmasta mitatusta pätötehosta tai vähintään 50 kvar. [25.] Helen Sähköverkot Oy:n alueella voidaan käyttää huomattavasti enemmän loistehoa verrattuna Caruna Oy:n sähköverkkoon ennen kuin siitä laskutetaan.

Sähkölaitteiston omistajalle muodostuu kustannuksia loistehomaksujen muodossa. Loistehon muodostama sähkövirta lisää myös sähköjohtojen kuormitusta, joka voi johtaa liittymiskaapelin ja sähköpääkeskuksen uusimiseen. Edellä mainittujen syiden vuoksi loistehon kompensointi vähentää sähköenergian käytöstä aiheutuvia kustannuksia sekä mahdollisia investointikustannuksia syöttökaapeliin ja sähköpääkeskukseen.

Loistehon kompensointia suoritetaan kompensointikondensaattoreilla. Kompensointikondensaattoriksi voidaan valita joko tavallinen kompensointikondensaattoriyksikkö, estokelalla varustettu kompensointiyksikkö tai yliaaltosuodatuksella varustettu kompensointiyksikkö. Hankintahinnaltaan edullisin on tavallinen kompensointikondensaattoriyksikkö.

Nykyisissä siirtoverkoissa esiintyy huomattava määrä yliaaltovirtoja johtuen yhä lisääntyvistä epälineaarista kuormista kuten tasasuuntaajista, tyristorikäytöistä ja tehovalaisimista. Tällaisen verkon kompensointiin on suunniteltu estokelaparistot, jotka ovat viritetty verkossa esiintymättömälle taajuudelle. Yleisimmin Suomessa käytetyt viritystaajuudet ovat 189 Hz, 141 Hz ja 134 Hz. Muidenkin taajuuksien käyttö on mahdollista. Estokelaparisto toimii kuten tavallinen automaattiparisto koostuen mikroprosessorisäätimestä ja joko saman suuruista tai erisuuruista portaista. Tämän vuoksi suositeltavin kondensaattoriparisto nykyisin järjestelmiin on estokelaparisto. [22.]

6.1 Loistehon kulutus lämpöpumppujärjestelmässä

Lämpöpumpussa oikosulkumoottori pyörittää lämpöpumpun kompressorin. Oikosulkumoottori kuluttaa loistehoa. Riippuen lämpöpumppulaitoksen koosta ja sähköverkkoyhtiön ehdoista loistehomaksuille, voi lämpöpumppujärjestelmän omistajalle tulla kustannuksia loistehomaksujen muodossa. Tällä hetkellä markkinoilla olevissa asuinrakennuksiin suunnitelluissa lämpöpumpuissa ei ole loistehon kompensointilaitteistoja valmiiksi asennettuina eikä loistehon kompensointilaitteita saa niihin edes lisävarusteina. Tämän

vuoksi lämpöpumppujärjestelmien loistehon kompensoinnissa käytetään erillisiä loistehon kompensointilaitteistoja, jotka kytketään lämpöpumppujärjestelmään sähköä syöttävän sähkökeskuksen rinnalle. Tällöin kompensointilaitteisto osallistuu myös muun kuin lämpöpumpuista aiheutuvan loistehon kompensointiin. Yliaaltovirtojen ja rinnakkaisresonanssin välttämiseksi Senera Oy:n asennuksissa on varmuuden vuoksi käytetty esto-
kelaparistoja loistehon kompensoinnissa niiden kalliimmasta hankintahinnasta huolimatta.

Esimerkki: Lämpöpumppujärjestelmä on toteutettu lämmitysteholtaan noin 90 kW:n lämpöpumpulla. Tällöin lämpöpumpussa on oikosulkumoottori, jonka käydessä maksimivirta on valmistajan teknisten tietojen mukaan noin 62 A ja tehokerroin $\cos(\Phi)$ 0,84. Tehokerroimesta 0,84 saadaan kulmaksi 0,574 rad, josta $\sin(\Phi)$ on 0,54. Loistehon laskenta-
kaava on seuraava:

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin(\phi)$$

Jossa Q on loisteho (Var), U jännite (V), I virta (A), $\sin(\Phi)$ vaihe-eron sini.

Esimerkin lämpöpumpun loistehon suuruudeksi saadaan:

$$Q = \sqrt{3} * 400 \text{ V} * 62 \text{ A} * 0,57 = 23,2 \text{ kVar.}$$

Tästä lukemasta vähennetään pätötehon mitatusta maksimiarvosta 20 %, niin esim. 50 kW:n pätötehomaksimilla, saadaan laskutettavaksi loistehon määräksi 13,2 kVar (23,2 kVar – 50 kW * 20 % = 13,2 kVar). Caruna Oy:n vuoden 2016 hinnaston perusteella loistehomaksun suuruus on 4,61 e / kVar. [21.] Tällöin loistehomaksun suuruudeksi olisi tullut 13,2 kVar:n loisteholla 60,80 euroa / kk. Kyseinen lukema edustaa lämpöpumppujärjestelmän talvikuukauden tyypillistä lukemaa. Mikäli lämpöpumppuja on enemmän, luonnollisesti loistehon määrä ja siten myöskin loistehomaksu ovat suuremmat.

6.2 Loistehon kompensointi, esimerkkikohte

Tarkasteluun valitussa esimerkkikohteessa lämpöpumppulaitteisto muodostuu yhdestä nimellislämmitysteholtaan noin 90 kW:n lämpöpumpusta. Lisälämmitystehona lämpö-

pumpun lisäksi on sähkövastuksia yhteensä 27 kW (3 kpl 9 kW sähkövastukset). Lämpöpumppulaitteiston lämmönkeruu on toteutettu lämpökaivoilla ja lämmön talteenotto-patterilla varustetulla poistoilmapuhaltimella. Lämpöpumppulaitteisto on asennettu hämeenlinnalaiseen asuinkerrostaloon. Sähköverkkoyhtiönä alueella toimii Elenia Oy.

6.3 Loistehon kompensoinnin kannattavuus esimerkkikohteen lämpöpumppujärjestelmässä

Tässä loistehon kompensoinnin taloudellisuustarkastelussa tarkastelu tehdään nettonykyarvomenetelmällä. Mikäli nettonykyarvomenetelmällä saadaan investoinnin nettonykyarvoksi positiivinen arvo, investointi on kannattava valitulla korkokannalla. Tällöin tulovirta korot huomioiden on ollut arvokkaampi kuin menovirta. Haasteena nettonykyarvomenetelmässä on korkokannan valinta. Tässä esimerkkilaskelmassa korkokantana käytetään 5 %:n korkokantaa ja vuotuisena kustannusten nousutasona 2 %:a. Tarkasteluaikajaksoksi valitaan 20 vuotta. Tarkasteluaikajakson aikana kompensointiparistolle tehdään yksi huolto 10 vuoden kohdalla, jonka hinnaksi oletetaan 700 euroa.

Lämpöpumppujärjestelmän kuluttaman loistehon kompensointiin tarvitaan loistehon kompensointilaitteisto. Loistehon kompensoinnissa käytetään loistehon kompensointiparistoja. Kaikkea kulutettua loistehoa ei ole tarvetta kompensoida, koska sähköverkkoyhtiöillä on loisteholle ilmaisosuus, joka vaihtelee sähköverkkoyhtiöittäin. Yhden lämmitysteholtaan 90 kW:n lämpöpumppujärjestelmässä syntyvän loistehon maksimimäärä on noin 23 kVar, jolloin voidaan estokelapariston tehoksi valita 23 kVar:n tehoa pienempi estokelaparisto, huomioiden sähköverkkoyhtiön ilmaisosuuden loisteholle.

Tässä esimerkkitapauksessa valitaan estokelaparistoksi esimerkiksi Nokian Capacitorsin DW22/3+6+12-400-50/189-0812 – estokelaparisto, jossa kompensointiteho on 21,9 kVar. Kompensointiteho muodostuu tässä laitteessa 3 kVar:n, 6,25 kVar:n ja 12,5 kVar:n portaista, jotka laitteen säädin automaattisesti valitsee käyttöön tarpeen mukaan. Laitteen automatiikka mittaa kompensoitavan kuormituspisteen virtaa ja jännitettä. Virran ja jännitteen välisen vaihe-eron perusteella kompensointilaitteiston automatiikka kytkee käyttöön sopivan kompensointitehon. [23, s. 5.]

Nokian Capacitorsin DW22/3+6+12-400-50/189-0812 –estokelapariston OVH -hintaa on 2300 euroa (alv 0 %). Lisäksi voidaan arvioida, että laitteiston asentamisesta muodostuu

kustannuksia noin 1000 euroa (alv 0 %). Tällöin laitteen hankintahinta asennettuna olisi yhteensä noin 3300 euroa.

Taulukossa 1 on hämeenlinnalaisen esimerkkikohteen pätöenergian kulutus, laskutettavan loistehon suuruus ja laskutettavan loistehon euromääräinen arvo. Sähköverkkoyhtiö Elenia Oy:n alueella loistehon kulutuksesta laskutetaan seuraavasti: Kuukausittaisesta tuntimittaukseen perustuvasta pätötehohuipusta lasketaan 16 %:n osuus. Saatu tulos vähennetään kuukausittaisesta tuntimittaukseen perustuvasta mitatusta loistehohuipusta. Saatu tulos kerrotaan loistehomaksulla, joka lokakuussa 2016 oli Elenia Oy:llä 4,77 euroa / kVar. [24, s.17, 25, s.4.]

Esimerkkikohteen kompensointilaitteiston nettonykyarvolaskennassa käytetään seuraavia lähtöarvoja: 1. Laitteiston hankinta- ja asennuskustannus yhteensä 3300 eur, käyttöaika 20 vuotta, jäännösarvo 0 eur, korkokanta 5 %, vuotuinen kustannusten nousu 2 %. Lisäksi 10 vuoden kohdalla tehdään 700 euron huoltotoimenpide kompensointilaitteistolle.

Taulukko 1. Esimerkkikohteen kuukausittainen pätöenergian kulutus, laskutettava loisteho ja sen kustannus aikavälillä syyskuu 2015 – elokuu 2016.

Kuukausi	Pätöenergian kulutus (kWh)	Laskutettava loisteho (kVar)	Laskutettava loisteho, eur
Syyskuu 2015	6225	6	26,16
Lokakuu 2015	9740	11	47,96
Marraskuu 2015	10489	11	47,96
Joulukuu 2015	13152	15	65,4
Tammikuu 2016	26358	16,075	70,09
Helmikuu 2016	13775	11,95	52,22
Maaliskuu 2016	13067	12,076	52,62
Huhtikuu 2016	9203	6,78	32,32
Toukokuu 2016	5922	9,18	43,81
Kesäkuu 2016	5185	3,85	18,37
Heinäkuu 2016	4450	5,18	24,73
Elokuu 2016	5437	1,58	7,56
	123003		489,2

Taulukossa 2 on esimerkkikohteen loisteholaitteiston investoinnin kassavirtalaskelma. Menoina ovat loistehon kompensointilaitteiston hankintahinta sekä 10 vuoden kohdalla tehtävä 700 euron arvoinen huolto laitteistolle. Tuloina ovat säästöt loistehomaksuissa. Säästöissä on huomioitu vuotuinen 2 %:n kustannusten nousutaso, jonka vuoksi tulot / säästöt kasvavat 2 % edelliseen vuoteen verrattuna.

Taulukko 2. Loistehon kompensointilaitteiston kassavirta 20 vuoden investointijaksolle.

Vuosi	Menot	Tulot (säästö loistehomaksuissa)	Tulot - menot
0	3300	0,00	- 3300,00
1		490,00	490,00
2		499,80	499,80
3		509,80	509,80
4		519,99	519,99
5		530,39	530,39
6		541,00	541,00
7		551,82	551,82
8		562,86	562,86
9		574,11	574,11
10	700	585,60	-114,40
11		597,31	597,31
12		609,25	609,25
13		621,44	621,44
14		633,87	633,87
15		646,54	646,54
16		659,48	659,48
17		672,66	672,66
18		686,12	686,12
19		686,12	686,12
20		699,84	699,84

Investoinnin nettonykyarvo laskettiin käyttämällä Excel –taulukkolaskentaohjelman nettonykyarvo funktiota. Taulukkolaskentaohjelmalla laskettuna tämän investoinnin nettonykyarvoksi tulee noin 4849 euroa. Investointi on siis kannattava 5 %:n pääomakustannuksella.

Investoinnin sisäinen korkokanta tälle investoinnille olisi noin 15 %. Tämä tarkoittaa sitä, korkokantaa, jolla investoinnin nettonykyarvoksi muodostuu 0 euroa. Toisin sanoen, jos tätä investointia varten otetaan lainaa suuremmalla kuin 15 %:n korolla tai jos jostakin saadaan suurempi kuin 15 %:n tuotto pääomalle, tätä investointia ei kannata tehdä.

Edellä esitetyn esimerkkikohteen osalta ja yleisemminkin loistehon kompensointi on taloudellisesti kannattava hanke. Mikäli lämpöpumppulaitteistoon ei asenneta loistehon kompensointilaitteistoa käyttöönottoaiheessa, olisi järkevää varustaa lämpöpumppulaitteiston sähkökeskus loistehon kompensointilaitteiston lähdoilla. Tällöin kompensointilaitteiston asentaminen olisi yksinkertaista myöhemmin, mikäli esim. mittausten perusteella todetaan loistehon kompensointi tarpeelliseksi.

7 Lämpöpumppujärjestelmän sähköistäminen, esimerkkitoteutus

Tässä kappaleessa esitetään lämpöpumppujärjestelmän sähköistäminen kartoitusvaiheesta lopulliseen toteuttamiseen. Kohteena on Varsinais-Suomessa Kaarinassa sijaitseva kahdesta asuinkerrostalosta muodostuva asunto-osakeyhtiö, jonka lämmitysjärjestelmä muutettiin kaukolämmöstä lämpöpumppujärjestelmään, joka hyödyntää kalliopeirässä olevan lämpöenergian lisäksi poistoilman lämpöenergiaa. Kohteeseen ei asennettu lämpöpumppujärjestelmän urakoinnin yhteydessä loistehon kompensointilaitteistoa.

7.1 Taustatiedot

Yleistä tietoa rakennuksesta

Esimerkkikohteena on kahdesta samanlaisesta asuinkerrostalosta muodostuva asunto-osakeyhtiö. Lämmitettävää pinta-alaa rakennuksissa on yhteensä 5280 neliometriä, jotka jakaantuvat tasan molempien rakennusten välillä. Rakennuksissa on kahdeksan kerrosta ja asuntoja on yhteensä 81. Tilojen lämmitys ja lämpimän käyttöveden lämmitys suoritettiin aikaisemmin kaukolämpöjärjestelmällä. Kaukolämmön energiankulutus oli vuosittain noin 626 MWh. Kohteessa ei ole asuntokohtaisia saunoja, jolloin asuntokohtainen sähkötehon maksimi ei ole kovin suuri.

Lämmitysjärjestelmän uusimisurakassa kaukolämpöjärjestelmä vaihdettiin lämpöpumppujärjestelmään. Lämpöpumppujärjestelmän lämmönkeruu tapahtuu seitsemästä 280 metriä syvästä lämpökaivosta sekä neljästä poistoilman lämmön talteen ottavasta poistoilmapuhaltimesta. Poistoilmapuhaltimia on molemmissa rakennuksessa 2 kpl.

Lämpöpumppu-urakkaa edeltänyt tilanne kiinteistön sähkölaitteistossa

Esimerkkikohteen vanha sähköliittymä ennen lämpöpumppu-urakkaa oli 3 x 160 A. Sähköliittymän syöttökaapeli oli AMCMK 3 x 120 + 41 ja vanhan sähköpääkeskuksen nimellivirta oli 200 A. Vanhassa pääkeskuksessa oli kiinteistökeskukselle 3 x 100 A:n lähdöt ja vanhan kiinteistökeskuksen nimellivirta oli 160 A. Kiinteistökeskuksen kautta on sähköistetty kaikki sähkölaitteet, jotka eivät kuulu rakennuksessa asuntokohtaisiin sähkölaitteistoihin. Näitä laitteita ovat mm. ulkovalot, auton lämmitystolpat, hissit, saunat ja rakennusten yleisten tilojen valaisimet, lämmitys- ja IV -laitteistot.

7.2 Lämpöpumppulaitteiston aiheuttamat muutostarpeet olemassa oleviin sähkölaitteistoihin

Lämpöpumppulaitteiston mitoituslaskelman perusteella lämpöpumppulaitteistoksi määritettiin laitteisto, johon kuuluu 2 kpl lämmitysteholtaan noin 85 kW:n lämpöpumppua. Lämpöpumppujen lisäksi lämmitysverkostoon asennettiin lisätehoksi huipputeho- ja huoltotilanteita varten 54 kW sähkövastustehoa. Lämpimän käyttöveden lämmitysprosessiin asennettiin 36 kW sähkövastustehoa lämpimän veden kulutushuippujen ja huolto- / häiriötilanteiden varalle.

Lämpöpumppulaitteiston virrantarve muodostui seuraavasti: Yhden lämpöpumpun maksimivirrankulutus 62 A, jolloin lämpöpumppujen kokonaisvirrantarve on yhteensä 124 A. Sähkövastuksien virrantarve yhteensä on yhteensä noin 130 A. Maalämpöpumppujen ja sähkövastuksien yhdessä kuluttama suurin virrankulutus on yhteensä 224 A.

Edellä mainittujen laitteiden lisäksi lämpöpumppulaitteistoon kuuluvat lämmitysverkon ja lämpimän käyttöveden kiertopumput. Koska vanhassa kaukolämpöjärjestelmässä oli myöskin nämä pumput, niiden osalta ei lämpöpumppujärjestelmän virrankulutus ole enemmän kuin kaukolämpöjärjestelmän aikana. Lämpöpumppu-urakassa uusittiin molempien rakennusten poistoilmapuhaltimet. Uusissa puhaltimissa on EC-moottorit, jolloin niiden pyörimisnopeuden säätäminen on tarkempaa kuin vanhojen kaksinopeusmoottorilla varustettujen puhaltimien. Uudemman tekniikan mahdollistaman tarkemman säädön myötä uusien ilmanvaihtokoneiden energiankulutus on todennäköisesti vähäisempää kuin vanhojen ilmanvaihtokoneiden.

Lämpöpumppulaitteiston aiheuttaman virran kulutuksen kasvun seurauksena esimerkki-kohteen sähköliittymää korotettiin 3 x 250 A:n kokoon. Vanha syöttökaapeli ei olisi mahdollistanut liittymän korottamista 3 x 250 A:n kokoon, jonka vuoksi kiinteistölle asennettiin uusi syöttökaapeli läheisellä kadulla olevalta katujakokaapista. Uudeksi syöttökaapeliksi asennettiin AXMK 4 X 185.

Vanhan sähköpääkeskuksen nimellisvirta ei ollut riittävä lämpöpumppulaitteiston asentamisen myötä kasvaneeseen virrantarpeeseen. Tämän vuoksi kiinteistöön asennettiin uusi pää- / nousukeskus. Uusi sähköliittymän syöttökaapeli kytkettiin uuteen pää- / nousukeskukseen. Tästä keskuksesta vedettiin uusi syöttökaapeli vanhalle sähköpääkeskukselle rakennuksen sisällä. Uusi nousukeskus toimii lämpöpumppulaitteistoon kuuluvien laitteiden ryhmäkeskuksena, jonka vuoksi tähän keskukseseen suunniteltiin lämpöpumppulaitteiston tarvitsemat ryhmälähdöt.

Koska lämpöpumppulaitteiston kokonaisvirrankulutus kaikkien laitteistoon kuuluvien laitteiden ollessa päällä olisi noin 254 A, asennettiin sähköliittymän pääsulakkeiden suojaksi virranvalvontarele. Virranvalvontarele mittaa liittymän syöttökaapelin sähkövirtaa. Virranvalvontarele kytkettiin lämpöpumppujärjestelmää ohjaavaan taloautomaatiojärjestelmään siten, että virranvalvontareleen toimiessa sähkövastustehoa kytketään ylikuormitustilanteen ajaksi pois käytöstä siten, että pääsulakkeen kuormitus ei ylity.

7.3 Lämpöpumppulaitoksen sähkösuunnittelu

Sähköliittymän korotuksen suunnittelun ja mitoituksen jälkeen määritettiin uuteen nousu- / ryhmäkeskukseen tarvittavat lähdöt. Tämän määrittämisen jälkeen keskukselta vaadittavat tiedot lähetettiin keskusvalmistajalle. Keskukseseen määritettiin ennalta tiedossa olevien ryhmien lisäksi lähtöjä mahdollisia muutoksia ja lisälaitteita varten. Näihin varalla oleviin ryhmiin voidaan kytkeä esim. lämmönjakohuoneen valaistusta yms. Keskuksen kuvat ja lämpöpumppujärjestelmän sähköasennuksien tasokuvat on esitetty liitteissä.

Kun lämpöpumppulaitteiston vaatimukset sähkölaitteistolle ja liittymälle olivat tiedossa, ilmoitettiin sähköverkko-yhtiölle arvioitu uuden liittymäkaapelin kytkentätarve ja sen suunniteltu kytkentäajankohta.

7.4 Lämpöpumppulaitoksen sähköasennustyöt

Lämpöpumppulaitteiston sähköasennustyöt aloitettiin asentamalla uusi nousu- / ryhmäkeskus. Keskukseen asennuksen jälkeen keskuksen kytkettiin uusi sähköliittymän liittymäkaapeli. Sähköliittymän syöttökaapelin asennuksen jälkeen asennettiin uusi syöttökaapeli uudesta nousu- / ryhmäkeskuksesta vanhalle sähköpääkeskukselle. Koska sähköliittymän uusi syöttökaapeli ei ollut vielä kytketty sähköverkkoyhtiön puolesta katuja-kokaapille, ei myöskään vanhan pääkeskuksen syöttökaapelia voitu kytkeä käyttöön.

Uuden liittymäkaapelin ja sähköpääkeskuksen syöttökaapelin asennuksen jälkeen asennettiin kaapelireitit tarvittaville sähkökaapeleille lämmönjakohuoneeseen. Kaapelireitteinä käytettiin pääasiassa tikapuuhylyjä. Tikapuuhylyjen lisäksi kaapeliteinä käytettiin lankahylyjä ja alumiiniputkia.

Kaapeliteiden asentamisen jälkeen asennettiin lämpöpumppujärjestelmän sähkölaitteiden syöttökaapelit suunnitelman mukaisesti. Kaapelit kiinnitettiin kaapeliteihin nippusiteillä. Lämpöpumppujen, sähkökattilan ja sähkövastuksien läheisyyteen asennettiin kaapelihylyihin turvakytkimet huoltotilanteita varten. Turvakytkimien lisäksi lämpöpumppujärjestelmän laitteet on mahdollista kytkeä jännitteettömäksi ryhmäkeskuksessa olevilla kytkinvarokkeilta ja johdonsuoja-automaateilta.

Sähkölaitteiden syöttökaapeleiden jälkeen asennettiin lämpöpumppujärjestelmän automaatiojärjestelmän vaatimat kaapelit. Automaatiojärjestelmän kaapeliteinä käytettiin pääasiassa samoja kaapeliteitä kuin sähkönsyöttökaapeleilla.

Kun uusi sähköliittymän syöttökaapeli kytkettiin käyttöön sähköverkkoyhtiön toimesta, voitiin vanhan pääkeskuksen syöttökaapeli kytkeä käyttöön uudessa nousu- / ryhmäkeskuksessa. Uuden syöttökaapelin käyttöönoton jälkeen voitiin myöskin lämpöpumppujärjestelmä ottaa käyttöön.

Sähköasennustöiden valmistumisen jälkeen suoritettiin lämpöpumppujärjestelmän käyttöönototarkastus. Aistinvaraisen tarkastuksen jälkeen tehtiin käyttöönottomittaukset. Käyttöönototarkastus suoritettiin sähköturvallisuuslain edellyttämällä tavalla.

7.4.1 Virranvalvontareleen käyttö esimerkkikohteessa

Lämpöpumpputeikon asentamisen yhteydessä esimerkkikohteen uuteen nousu- / ryhmäkeskukseen asennettiin virranvalvontarele valvomaan sähköliittymän kuormitusta. Virranvalvontareleen virran mittaussuuntajat asennettiin sähköliittymän syöttökaapelin vaihejohtimiin pääsulakkeiden yhteyteen. Virranvalvontareleen aktivoituessa virranvalvontareleen kosketintieto viettää lämpöpumputeikon automaatiojärjestelmään. Automaatiojärjestelmässä määritetään, kuinka paljon lisätehona toimivaa sähkövastustehoa kytketään pois käytöstä virranvalvontareleen aktivoituessa.

Lämpöpumputeikon automaatiojärjestelmäksi asennettiin Ouman Ouflex -rakennusautomaatiojärjestelmä. Rakennuksessa oli ennen lämpöpumputeikon asentamista jo olemassa oleva Honeywell -merkinen automaatiojärjestelmä, jolla ohjattiin ulkovalaistusta, ovilukituksia ja saunoja. Vanhan automaatiojärjestelmän toiminnot siirrettiin uuteen lämpöpumputeikon asentamisen yhteydessä asennettuun rakennusautomaatiojärjestelmään. Uusi lämpöpumputeikon automaatiojärjestelmä on vapaasti ohjelmoitava ja modulaarisesti laajennettava automaatiojärjestelmä, joka mahdollistaa automaatiojärjestelmien räätälöimisen tapauskohtaisesti. Esimerkkikohteessa automaatiojärjestelmällä ohjataan lämpöpumputeikon kuuluvien lämpöpumputeikon, lisätehönlähteiden, lämmön talteenottolaitteiden jne. toimintoja. Automaatiojärjestelmään kytkettiin myös lämpöpumputeikon, lisätehön lähteiden ym. sähköenergiamittarit sekä lämpöpumputeikon tuottaman lämpöenergian mittarit. Sähkö- ja lämpöenergiamittareiden mittaustietojen perusteella voidaan seurata lämpöpumputeikon toimintaa ja mittareiden mittaustietojen perusteella voidaan laskea lämpöpumputeikon hyötysuhdeluku (COP) lämpöpumputeikon ja järjestelmäkohtaisesti.



Kuva 13. Esimerkkikohteeseen asennettu uusi nousu- / ryhmäkeskus.

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä tavoitteena oli kuvata lämpöpumpun toimintaa, lämpöpumppua sähkölaitteena, lämpöpumppujärjestelmää sähkölaitteistona, lämpöpumppulaitteiston ja sen sähköitöiden suunnittelua. Lisäksi tarkasteluun otettiin lämpöpumppujärjestelmän loistehon kompensointi. Lämpöpumppujärjestelmän sähköasennustöiden osalta esimerkiksi otettiin asuinkerrostaloyhtiöön asennettu lämpöpumppujärjestelmä.

Työn aikana korostui, että ennen lämpöpumppujärjestelmän asennustöitä on lämpöpumppujärjestelmän sähköasennuksiin liittyen tehtävä huolellinen kartoitus riittävän ajoissa. Mm. sähköliittymän korottamisen toimitusaika on yleensä useita viikkoja, joten

jos kartoitus / suunnittelu ja siten sähköliittymän korotustilaus tehdään liian myöhään, voi koko lämpöpumppu-urakan valmistuminen myöhästyä sovituista ajankohdista.

Lämpöpumppujärjestelmien urakoinnissa harvoin kiinnitetään huomiota loistehon kompensointiin. Tässä työssä tehdyn lämpöpumppujärjestelmän loistehon kompensoinnin taloudellisuustarkastelun perusteella loistehon kompensointi on taloudellisesti kannattavaa ja loistehon kompensointilaitteisto kannattaisi asentaa kaikkiin lämpöpumppulaitteistoihin, mikäli loistehosta peritään maksua. Tavanomaisesti tämä raja kulkee sähköliittymän sulakekoossa 3 x 63 A. Tätä pienemmillä sulakkeilla ei yleensä laskuteta loistehon käytöstä, jolloin sähkönkäyttäjän kannalta loistehon kompensointiin ei ole taloudellista perustetta.

Tässä insinööriyössä käsiteltiin myös erilaisia tapoja toteuttaa virranvalvontaa ja kuormituksen ohjausta erilaisilla laiteratkaisuilla. Virranvalvontalaitteiden käytöllä voidaan välttää sähköliittymän korottaminen suuremmaksi, joka voi tuoda lämpöpumppulaitteiston hankintavaiheessa merkittäviä kustannussäästöjä. Virranvalvontalaitteiden suhteellisen yksikertaisen asentamistavan vuoksi niiden käyttöä voidaan tietyissä tapauksissa suositella.

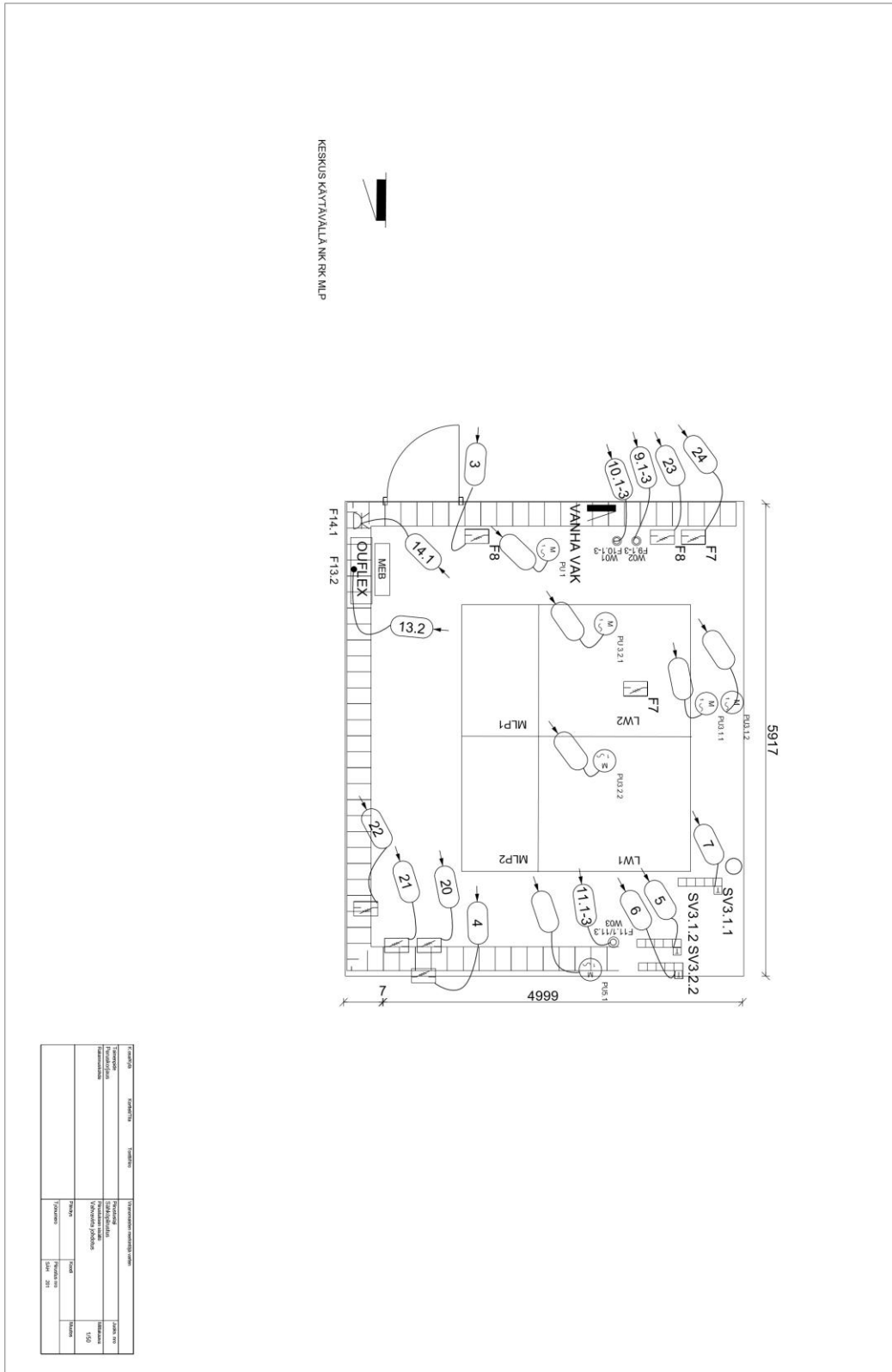
Lähteet

- 1 Lämpöpumpputilastoja. 2016. Verkkodokumentti. Sulpu ry. <<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumpputilastoja-SULPU.pdf>>. Luettu 2.12.2016.
- 2 Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus. 2016. Verkkodokumentti. Sulpu ry. <<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumppujen-merkitys-ja-tulevaisuus-SULPU.pdf>>. Luettu 2.12.2016.
- 3 Katri Valan lämpöpumppulaitos. 2016. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/voimalaitokset/katri-vala/>>. Luettu 2.12.2016.
- 4 Kaappola, E., Hirvelä A., Jokela M., Kianta J., 2015. Kylmätekniiikan perusteet. Opetushallitus.
- 5 Lämpöpumpun toimintaperiaate. 2016. Verkkodokumentti. Alpha Innotec. <[http://www.alpha-innotec.fi/uploads/kaeltekreis_finnisch_583x370_web_\(1\).jpg](http://www.alpha-innotec.fi/uploads/kaeltekreis_finnisch_583x370_web_(1).jpg)>. Luettu 2.12.2016.
- 6 Carrier, 61WG/30WG/30WGA 020-090, Water-Cooled/Condenserless Liquid Chillers/Water-Sourced Heat Pumps with or without Integrated Hydronic Module. Tekninen esite. United Technologies, Carrier 2015.
- 7 Hietalahti, Lauri. Teollisuuden sähkökäytöt. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka. 2013.
- 8 Schneider Electric. Teollisuusautomaatio., Altistart 01. 2016. Verkkodokumentti. Schneider Oy. <<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/ProductGroup.aspx?groupid=33195&navid=25027&navoption=1>>. Luettu 2.12.2016.
- 9 Gebwell Oy. 2016. Taurus, 90kW, Siemens RVS, päävirtapiiri, pehmokäynnistys. Sähköpiirustus.
- 10 Thermia Lämpöpumput / Oy Danfoss Ab. 2016. Tuotteet, Thermia Mega. Tuote-esite. Verkkodokumentti. Danfoss Oy. <<http://www.thermia.fi/tuotteet/thermia-mega.asp>> Luettu 4.12.2016.
- 11 Thermia Lämpöpumput/Oy Danfoss Ab. Sähkökytkentäkaavio. Mega. 2014.
- 12 L 410/1996. Sähköturvallisuuslaki. 5§.
- 13 Tele3-phase current monitoring, G2JM5AL20. 2016. Tuote-esite. Verkkodokumentti. Tele Online. <https://www.tele-online.com/resources/data-sheets/en_g2jm5al20.pdf>. Luettu 2.12.2016.

- 14 Värmebaronen AB. 2011. Installation, operation and care, EP NG series 7 and 15 stage electric boiler 31 - 300 kW. Asennus- ja käyttöohje.
- 15 Bruksanvisning. EM24 DIN Energimätare. Käyttöohje. 2016. Verkkodokumentti. Carlo Gavazzi AB.
<http://www.support-carlogavazzi.se/downloads/-manualer/em24_din_ba_091110.pdf>. Luettu 2.12.2016.
- 16 Technical Properties EC350. 2016. Verkkodokumentti. Hager Group.
<<http://www.hager.co.uk/product-catalogue/energy-distribution/modular-devices/metering/kwh-meters-three-phase/ec350/43584.htm>>. Luettu 2.12.2016.
- 17 Energy Management Energy Meter Type EM21 72D. 2016. Carlo Gavazzi. Verkkodokumentti.
<<https://www.gavazzionline.com/pdf/EM2172DDS.pdf>>. Luettu 2.12.2016.
- 18 Kamstrup MULTICAL® 602. Rajoittamattomalla tiedonsiirrolla varustetut kaukolämpö- ja jäähdytysmittarit. 2016. Datalehti. Verkkodokumentti. Kamstrup A/S Suomen toimisto. <<http://products.kamstrup.com/ajax/download-File.php?uid=512b546225d4b&display=1>>. Luettu 2.12.2016.
- 19 Sharky 775. Ultraäänitoiminen energiamittari DN 15 – DN 100. 2016. Verkkodokumentti. Saint-Gobain Pipe Systems Oy.
<<http://www.sgps.fi/linkkitiedosto.asp?taso=2&id=233&nimi=tiedosto.pdf>>. Luettu 2.12.2016.
- 20 Loisteho. 2014. Verkkodokumentti. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry.
<https://www.stek.fi/kysy_sahkosta/sahkoverkot/fi_FI/loisteho/>. Luettu 2.12.2016.
- 21 Caruna Oy:n alennetut verkkopalveluhinnat 1.3.2016. 2016. Verkkodokumentti. Caruna Oy. <https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/caruna_oy_verkkopalveluhinnat_alennetuilla_perusmaksuilla_1.3.2016.pdf?GijSlvCo75xsFeXf4H53vcQQ1Gjahr3e>. Luettu 2.12.2016.
- 22 Tampereen kondensaattoritehdas, Estokelaparistot. 2016. Verkkodokumentti. Tampereen Kondensaattoritehdas ARNON OY <<http://www.tkf.fi/estokelaparistot.php>>. Luettu 2.12.2016.
- 23 Estokelaparistot (D-, DR- ja DW-sarja) Asennus-, käyttö ja huolto-ohje. 2014. Alstom Grid Oy. 25.8.2014.
- 24 Elenia Oy, Tietoa sähköverkkoon liittymisestä. 2016. Verkkodokumentti. Elenia Oy. <<https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Yleisohje%20s%C3%A4hk%C3%B6urakoitsijalle.pdf>>. Luettu 2.12.2016.

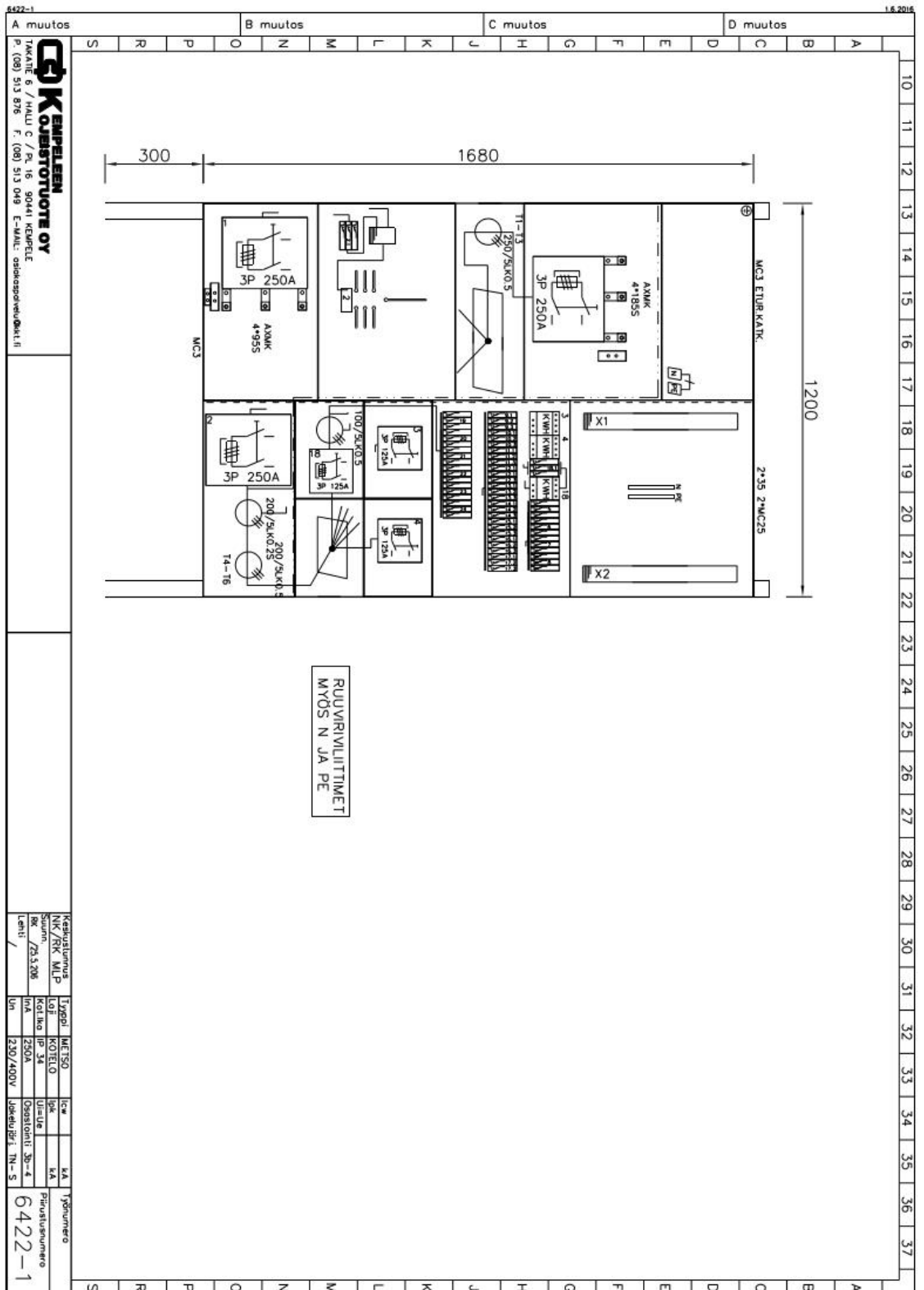
- 25 Elenia Oy, Verkkopalveluhinnasto 1.4.2016. 2016. Verkkodokumentti. Elenia Oy. <http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Verkkopalveluhinnasto_1.4.2016_poistettu_fax_09112016.pdf>. Luettu 2.12.2016.
- 26 Helen Sähköverkko Oy, Sähkön siirtohinasto 1.4.2016. 2016. Verkkodokumentti. Helen sähköverkko Oy <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirtohinasto.pdf>>. Luettu 23.1.2017.

Esimerkkikohteen lämmönjakuhuoneen lämpöpumppulaitteiston sähköasennusten tasokuva



Käyttökohde		Suorittaja		Suoritusajankohta	
Projekti	...	Projekti	...	Alku	...
Yhteyshenkilö	...	Yhteyshenkilö	...	Valmistus	...
Yhteyshenkilön puhelin	...	Yhteyshenkilön puhelin	...	Yhteyshenkilön sähköposti	...
Yhteyshenkilön sähköposti	...	Yhteyshenkilön sähköposti	...	Yhteyshenkilön nimi	...
Yhteyshenkilön nimi	...	Yhteyshenkilön nimi	...	Yhteyshenkilön tili	...
Yhteyshenkilön tili	...	Yhteyshenkilön tili	...	Yhteyshenkilön tili	...

Esimerkkikohteen lämpöpumppujärjestelmän nousu- / ryhmäkeskuksen kuvat



Pääpotentiaalin tasauskisko		Kaavio	Nimitys	Teho [kW]	Varoke/ Poltaja [A]	Johdo [mm ²]
Keskustarvitus Sisänumero:			PÄÄMAADOITUSJOHDIN			CU 16
			PÄÄPOT.TASAUJSJOHDIN, RAKRUNKO			MK 16 KEVI
			PÄÄPOT.TASAUJSJOHDIN, PUTKISTO			MK 16 KEVI
			PÄÄPOT.TASAUJSJOHDIN, IV-KANAVAT			MK 16 KEVI
			ANTENNI			
			PUHELINPÄÄTE			
			PÄÄPOTENTIAALINTASAUJSJOHDIN			
Ennenpäättämisen Mittari: Määrittäjä: Määrittäjä: Mittari:			PÄÄKYTKIN 250 A		250/250	AXMK 4X185
			Tehovahti lisälämpö riviilitimille			
			PÄÄKESKUS NOUSU		125/250	AXMK 4X95
Yhteisä Käsitteistö Syytö: Rivittimet: Näköalut: Merkinnät:			LÄMMÖNJAKOHUONE MITTAUS		160/250	
			kwh mittaus sähkölaitos			
34 Suojakäytävä: Keskustarvitus: Asennuspaikka: Käytävä:			GEBWELL 90 TAURUS	36	63/125	MCMK 4x16+16 S
			kwh mittaus			
			GEBWELL 90 TAURUS	36	63/125	MCMK 4x16+16 S
			kwh mittaus			
400 Nominivirta: Nominivirta: Lämpöteho: Huipputeho:			HUOLTOVASTUS	9.00	C16	MMJ 5X2,5S
			SV 3.1.2			
			HUOLTOVASTUS	9.00	C16	MMJ 5X2,5S
	SV 3.1.1					
	HUOLTOVASTUS	9.00	C16	MMJ 5X2,5S		
	SV 3.2.2					
Päiväys		Sisältö		Työnumero		Muutos
Suunnittelija		NK / RK MLP		Pirstusnumero		Sivu / Sivuja
Tarkistaja		Nousukeskus		301		2 / 6
Hyväksyjä						

			Kaavio	Nimitys	Teho [kW]	Varokes/ Pohja [A]	Johko [mm ²]
D muutos E muutos F muutos	A muutos B muutos C muutos	8		HUOLTOVASTUS SV 3.2.1	9.00	C16	MMJ 5X2,5S
		9.1		KVP PU1		C10	MMJ 3X1,5S
		9.2		KVP PU 3.1.2		C10	MMJ 3X1,5S
		9.3		KVP 3.1.1		C10	MMJ 3X1,5S
		10.1		KVP PU 3.2.2		C10	MMJ 3X1,5S
		10.2		KVP PU 3.2.1		C10	
		10.3		KVP PU 3.3.2		C10	
		11.1		KVP PU 3.3.1		C10	
		11.2		KVP PU 5.1		C10	
		11.3		KVP PU 5.2		C10	
			Päiväys	Sesto	Työnumero		Muutos
			Suunnittelija	NK / RK MLP	Pinnustanumero		Sivu / Sivuja
			Tarkistaja	Nousukeskus	301		3 / 6
			Hyväksyjä				

D muutos			Kaavio	Nimitys	Teho [kW]	Varoka/ Pohja [A]	Johlo [mm²]
E muutos							
F muutos							
A muutos	B muutos	C muutos	12.1	KOJA PF 1.1		C10	
			12.2	KOJA PF 1.2		C10	
			12.3	KOJA PF 2.1		C10	
			13.1	KOJA PF 2.2		C10	
			13.2			C10	
			13.3			C10	
			14.1			C16	
			14.2			C16	
			14.3			C16	
			15.1			C16	
			Päiväys	Sisältö	Työnumero		Muutos
			Suunnittelija	NK / RK MLP	Pöytänumero		Sivu / Sivuja
			Tarkistaja	Nousukeskus	301		4 / 6
			Hyväksyjä				

			Kaavio	Nimitys	Teho [kW]	Varoke/ Pohja [A]	Johdo [mm ²]		
D muutos E muutos F muutos		15.2				C16			
		15.3				C16			
		16.1				C16			
		16.2				C16			
		16.3				C16			
		17.1				C16			
		17.2				C16			
		17.3				C16			
		A muutos B muutos C muutos		18		LISÄLÄMPÖ MITTAUS kwh mittaus		80/125 C10	
				19		LISÄLÄMPÖ VASTUS SV 1.1		C16	MMJ 5X2,5S
			Päiväys	Sisäto	Työnumero		Muutos		
			Suunnittelija	NK / RK MLP					
			Tarkistaja	Nousukeskus	Pilotusnumero		Sivu / Sivuja		
			Hyväksyjä		301		5 / 6		

D muutos		Kaavio	Nimitys	Teho [kW]	Varokke/ Poltaja [A]	Johto [mm ²]				
E muutos	F muutos									
A muutos	B muutos	C muutos		20	LISÄLÄMPÖ VASTUS	C16				
					SV 1.2					
				21	LISÄLÄMPÖ VASTUS	C16	MMJ 5X2,5S			
					SV 1.3					
				22	LISÄLÄMPÖ VASTUS	C16	MMJ 5X2,5S			
					SV 1.4					
				23	LISÄLÄMPÖ VASTUS	C16	MMJ 5X2,5S			
					SV 1.5					
				24	LISÄLÄMPÖ VASTUS	C16	MMJ 5X2,5S			
					SV 1.6					
A muutos		B muutos		C muutos						
D muutos		E muutos		F muutos						
G muutos		H muutos		I muutos						

Päiväys	Sisältö	Työnnumero	Muutos
Suunnittelija	NK / RK MLP	301	Sivu / Sivuja 6 / 6
Tarkistaja	Nousukeskus		
Hyväksyjä			