

Jarmo Orava

# YKSIPATTERISEN IV-KOJEEN ENERGIATEHOKKUUS

Opinnäytetyö  
Talotekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 30.04.2014	
<b>Tekijä(t)</b> Jarmo Orava	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikan koulutusohjelma	
<b>Nimeke</b> Yksipatterisen iv-kojeen energiatehokkuus		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tehtävänä opinnäytetyössä oli tutkia Mikkelin kauppakeskus Stellan kahden eri yksipatterisen iv-kojeen energiatehokkuutta. Tutkimuksessa tarkasteltiin energiatehokkuuden lisäksi myös sitä, kuinka iv-kojeet oikeasti toimivat. Lähes samankaltaisten iv-kojeiden vertailu antoi varmuutta niiden toimivuudesta ja energiatehokkuudesta. Iv-kojeissa lämmöntalteenotto poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu pyörivillä lämmönsiirtimillä ja lämmityspattereissa hyödynnetään lauhdelämpöä, joka syntyy kaupan kylmäjärjestelmästä.</p> <p>Tutkimuksen toimeksiantajana oli Rejlers Oy. Työn suorittamisen ajaksi oli järjestetty Rejlers Oy:n Mikkelin toimipisteeseen työtilat, ja käytössä oli kaikki tarvittavat työkalut suunnitelmista mittalaitteisiin. Tutkimuksen ajaksi oli myös järjestetty etäkäyttöyhteys kyseisen kohteen rakennusautomaatioon. Rakennusautomaation historiatietojen analysoimisen ja kenttämittauksien avulla työssä tutkittiin, kuinka energiatehokkaita iv-kojeet ovat ja kuinka kokonaislämmitysenergian tuottaminen jakautui LTO:n, lauhdeenergian ja lämmityksen (kaukolämpö) osalta.</p> <p>Tutkimuksen perusteella voitiin todeta, että tutkittavien iv-kojeiden kokonaislämmitysenergian tuottaminen tapahtuu pääasiassa iv-kojeiden pyörivillä lämmönsiirtimillä eikä lauhdeesta saatavaa lauhdeenergiaa lämmitykseen juurikaan tarvittu. Toinen merkittävä huomio tutkimuksessa oli se, että molemmat iv-kojeet käyttävät erittäin vähän sähköä verrattuna siirrettäviin ilmamääriin.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Ilmanvaihto, energiatehokkuus, lämmitys, lämmön talteenotto		
<b>Sivumäärä</b> 36 + 9	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Veuro	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Rejlers Oy	

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  30.04.2014
<b>Author(s)</b> Jarmo Orava		<b>Degree programme and option</b> Building Services Engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Energy efficiency of one-coil ventilation unit		
<b>Abstract</b>  <p>The task in this thesis was to research the energy efficiency of two different one-coil ventilation unit in shopping mall Stella, Mikkeli. The research also views how the ventilation units really works. Comparison with the almost similar ventilation units gave assurance of their functionality and energy efficiency. Heat recovery in ventilation units from extract air to supply air happens with rotary heat exchanger and condensation heat is used in heating coil. Condensation heat forms in the refrigerating system of the shop.</p> <p>The client of the thesis was Rejlers Oy. For the research working space and all the needed tools were arranged from the plan to the measurement devices to the Rejlers Oy office. While the research, also remote access was arranged to the building automation system to the shopping mall Stella. By analysis of the history of the building automation system and measurement, the thesis researched how energy efficient ventilation units are and how the production of the total heating energy divided for the rotary heat exchanger, condensation energy and district heating.</p> <p>Thesis noted that the total heating energy production happens principally on rotary heat exchangers of ventilation units. Condensation heat was not needed much. Another important notice in research was that the both ventilation units use very little electricity compared to movable air volume.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Ventilation, energy efficiency, heating, heat recovery		
<b>Pages</b> 36 + 9	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Martti Veuro		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Rejlers Oy

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ILMANVAIHDON ENERGIA TEHOKKUUS .....	2
2.1	SFP-luku .....	3
2.2	Pyörivä lämmönsiirrin .....	4
2.3	Lauhdelämpö .....	6
2.4	Lauhdelämmön talteenotto .....	7
3	TUTKITTAVA KOHDE JA JÄRJESTELMÄ.....	7
3.1	Kauppa-keskus Stella .....	7
3.2	Yksipatteriset Iv-kojeet.....	8
3.3	Kauppa- kylmälaitte .....	10
3.4	Rakennusautomaatio ja sen ohjaustavat .....	10
3.4.1	Fidelix FX-Net .....	11
3.4.2	Ohjaustavat .....	11
4	IV-KOJEIDEN TOIMINTA .....	14
4.1	LTO:n tehokkuus .....	15
4.2	Kylmälaitteiden lauhde-energian käyttö.....	18
4.3	Sähkön käytön tehokkuus .....	19
4.3.1	TSI DP-Calc 5825.....	20
4.3.2	SFP-luvun laskenta .....	21
4.3.3	Sähkönkulutus ajanjaksoilla 1 ja 2.....	22
4.4	Lämpöenergioiden käyttö .....	23
4.5	Jäähdytysenergioiden käyttö.....	23
5	KAUPPAKYLMIÄN LAUHTUMISENERGIAN MUODOSTUMINEN JA RIITTÄVYYS.....	24
5.1	Lauhdetehon muodostuminen.....	24
5.2	Lauhdetehon riittävyys .....	26
6	TULOKSET .....	27
6.1	Tulosten analysointi.....	31
6.2	Vertailu perinteiseen iv-kojeeseen.....	32
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	33
8	LÄHTEET .....	36

## LIITTEET

- 1 PTK10 iv-kojeen toimintakuva, Fidelix FX-Net
- 2 Iv-kojeiden toiminta ajanjaksoilla 1 ja 2
- 3 PTK11 iv-kojeen tilavuusvirrat ja SFP-luvut
- 4 Iv-kojeiden sähkönkulutukset ajanjaksolla 1
- 5 Iv-kojeen PTK11 lauhteen käyttö 18.01.2014

## 1 JOHDANTO

Tehtävänä opinnäytetyössä on tutkia Mikkelin kauppakeskus Stellan kahden eri yksipatterisen iv-kojeen energiatehokkuutta. Tutkimus painottuu energiatehokkuuden tarkastelun myötä myös vahvasti siihen, kuinka iv-kojeet oikeasti toimivat. Tutkittavat iv-kojeet ovat lähes samankaltaisia, mutta niiden vertailu antaa varmuutta siihen, ovatko iv-kojeet energiatehokkaita. Iv-kojeissa lämmöntalteenotto poistoilmasta tuuloilmaan tapahtuu pyörivillä lämmönsiirtimillä ja lämmityspattereissa hyödynnetään lauhdelämpöä, joka syntyy kaupan kylmäjärjestelmästä.

Iv-kojeiden toimintaa ja energiatehokkuutta tarkastellaan LTO:n tehokkuuden, kylmälaitteiden lauhde-energian käytön, sähkön käytön sekä lämmitys- ja jäähdytysenergioiden käytön kannalta. Edellä mainittujen tutkimisen avuksi on saatavissa mittaustietoa kyseessä olevan kiinteistön rakennusautomaation historiasta. Niiden analysointi ja käsittely antaa tietoa siitä, kuinka energiatehokkaita tutkittavat iv-kojeet ovat.

Tutkimus suoritettiin Rejlers Oy:lle, jonka suorittamisen ajaksi Mikkelin toimipisteeseen järjestettiin työtila. Käytössä oli kaikki työhön liittyvät työkalut aina suunnitelmista mittalaitteisiin. Tutkimuksen ajaksi järjestettiin etäkäyttöyhteys suoraan kyseessä olevan kiinteistön rakennusautomaatioon. Työpisteeltä käsin pystyttiin käsittelemään ja analysoimaan rakennusautomaatiosta saatavia mittaustietoja.

Tavoitteena on saada selville, millaisia iv-kojeet ovat oikeasti energiatehokkuudeltaan ja kuinka niiden kokonaislämmitysenergian tuottaminen jakautuu. Samalla todettiin, onko ollut järkevää investoida järjestelmään, jossa voidaan hyödyntää lauhdelämmöstä saatavaa lauhde-energiaa.

## 2 ILMANVAIHDON ENERGIATEHOKKUUS

Tällä hetkellä sähkön hinta on jo melko korkealla ja tulevaisuudessa se tulee todennäköisesti nousemaan koko ajan. Tämän takia energiatehokkaat ja mahdollisimman taloudelliset ratkaisut ovat jatkuvasti yleistyneet. Sähkön kulutusta pyritään minimoimaan ja lämpöä yritetään kaikin mahdollisin keinoin ottaa talteen ja hyödyntämään sitä uudestaan. Toisin sanoen pyritään siihen, että saadaan tuotettua tarvittava energiamäärä mahdollisimman pienillä käyttökustannuksilla ja investoinneilla.

Yksi iso tekijä energiatehokkuudessa on siis sähkönkulutus ja sillä on suuri merkitys, kun puhutaan energiatehokkuudesta. SFP-luvun eli ilmanvaihtojärjestelmän ominais-sähkötehon määrityksen avulla pystytään ilmanvaihtojärjestelmien osalta paremmin hallitsemaan sähkön käyttöä. Sähkökulutuksen määrittämisen ja tämän avulla sähkönkäytön minimoimisen lisäksi on erittäin tärkeää, että lämpöä otetaan talteen mahdollisimman tehokkaasti. Tähän on mahdollista vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmässä valitsemalla ilmanvaihtokojeksiin jonkinlainen lämmöntalteenotto-laite. Jos onnistutaan suunnittelemaan ilmanvaihtojärjestelmä niin, että ilmanvaihtokojeen SFP-luku on mahdollisimman pieni ja lämmöntalteenotto toimii korkealla hyötysuhteella, on hyvät lähtökohdat saavuttaa energiatehokas järjestelmä ja siltä osin pienentää käyttökustannuksia. /1;2./

Yhtenä käyttötaloutta parantavana keinona voidaan pitää myös kylmälaitoksen kylmäprosessissa syntyvän muutoin hukkaan menevän lauhdelämmön talteen ottamista. Rakennuksessa, jossa tämänkaltainen energiatehokas ja taloudellinen ratkaisu on järkevää toteuttaa, on oltava suuret jäähdytysenergian tarpeet sekä tämän lisäksi lähes ympärivuotinen lämmitysenergian tarve. Lauhdelämmön hyödyntäminen rakennuksen lämmittämiseen vähentää varsinaisten ulkolauhduttimien kuormitusta sekä säästää energiakustannuksissa esimerkiksi lauhduttimien puhaltimien osalta. /1;2./

Energiatehokkaita ratkaisuja ja järjestelmiä on olemassa lukuisia erilaisia. Sen takia tässä osiossa keskitytään vain muutamiin merkittäviin tekijöihin, jotka ovat merkityksellisessä asemassa energiatehokkuuden kannalta. Aiheet, joita tarkastellaan, ovat SFP-luku, pyörivä lämmönsiirrin sekä lauhdelämpö ja sen hyödyntäminen.

## 2.1 SFP-luku

SFP -lyhenne tulee sanoista Specific Fan Power. SFP-luku tarkoittaa ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa. Käytännössä luku kertoo, kuinka paljon sähkötehoa kilowateissa tarvitaan liikuttamaan yhtä ilmakeuutiota ilmaa sekunnissa ilmanvaihtolaitoksessa ( $\text{kW} / (\text{m}^3/\text{s})$ ). SFP-luvun voi laskea joko koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle tai yksittäiselle koneelle tai puhaltimelle. /3;4./

Koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho saadaan yhtälöstä

$$SFP = \frac{P_{\text{tuloilmapuhaltimet}} + P_{\text{poistoilmapuhaltimet}}}{q_{\text{max}}} \quad (1)$$

jossa,

SFP	=ilmankäsittelyjärjestelmän ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
$P_{\text{tuloilmapuhaltimet}}$	=tulopuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW
$P_{\text{poistoilmapuhaltimet}}$	=poistopuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW
$q_{\text{max}}$	=suurempi mitoittava ilmavirta (jäte- tai ulkoilma), $\text{m}^3/\text{s}$

Laskentaan mukaan otetaan vain puhallinmoottorien verkosta ottama sähköteho sekä mahdolliset taajuusmuuttajan tai muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehot. Ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsemat lämmityspatterin- ja talteenottopiirin pumput sekä moottorit jätetään laskuista pois. /4./

Yksittäisen ilmankäsittelykoneen, joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen, ominaissähköteho saadaan yhtälöstä

$$SFP = \frac{P_{\text{tulo}} + P_{\text{poisto}}}{q_{\text{max}}} \quad (2)$$

jossa,

SFP	=ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
$P_{\text{tulo}}$	=tulopuhaltimen ottama sähköteho, kW
$P_{\text{poisto}}$	=poistopuhaltimen ottama sähköteho, kW
$q_{\text{max}}$	=koneen ilmavirroista suurempi, $\text{m}^3/\text{s}$



Sähköteho, jonka puhallin ottaa sähköverkosta, sisältää puhaltimen moottorin lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan tai muun tehonsäätölaitteen sähkötehon /4/.

Yksittäisen puhaltimen ominaissähköteho saadaan yhtälöstä

$$SFP = \frac{P_{\text{puhallin}}}{q} \quad (3)$$

jossa,

SFP = puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m<sup>3</sup>/s)

P<sub>puhallin</sub> = puhaltimen ottama sähköteho, kW

q = puhaltimen ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

Yksittäisen puhaltimen ottama sähköteho sisältää samalla tavalla puhaltimen moottorin lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan tai muun tehonsäätölaitteen sähkötehon kuin yksittäisen ilmanvaihtokojeen tapauksessa /4/.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 vuodelta 2010 antaa ”tavalliselle ilmanvaihtojärjestelmälle” ohjeen, jonka mukaan ominaissähkötehon tulee olla yleensä alle 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) /5/.

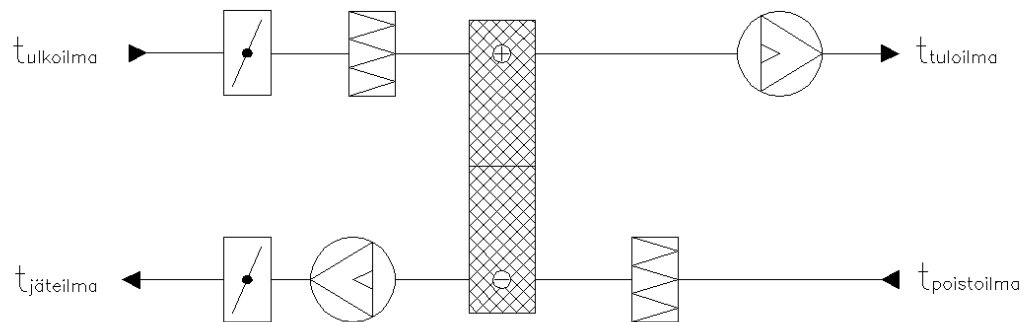
Kun halutaan ilmankäsittelyjärjestelmästä mahdollisimman paljon taloudellista hyötyä, on SFP-luvun määrittäminen tärkeää. Samalla SFP-luvun määrittäminen luo helpon ja tehokkaan työkalun energiatehokkaaseen ilmanvaihdon mitoitukseen. Mutta on muistettava, että kun pyritään suunnittelussa mahdollisimman pieneen sähkön kulu- tukseen, niin esimerkiksi sisäilmanlaatu tai rakennuksen muu energiatehokkuus ei saa kärsiä tämän takia. Sähkötehokkuuden suunnittelussa on siis pysyttävä koko ajan muun suunnittelun rinnalla. /4./

## 2.2 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin koostuu pääasiassa roottorista (kiekko), vaipasta ja käyttö- ja säätölaitteistosta. Roottorissa on kolmion muotoisia virtauskanavia, jotka muodostavat kennomaisen rakenteen. Kanavat ovat yleensä hyvin pieniä ja tehty ohuesta alumiini-

levystä tai keraamisesta materiaalista, jotta saadaan aikaiseksi mahdollisimman hyvä lämmön siirtyminen. /3;6./

Lämmönsiirtymisen lisäksi pyörivässä lämmönsiirtimessä voi siirtyä myös kosteutta tai epäpuhtauksia ilmavirrasta toiseen. Lämmön siirtyminen tapahtuu pyörivän kiekon avulla. Poistoilma virtaa kiekon läpi lämmittäen sitä. Lämmennyt osa kiekosta pyörähtää tuloilman puolelle ja kun ulkoilma virtaa kiekon läpi niin ilma lämpiää. Eli poistoilma jäähtyy ja tuloilma lämpenee. Kuvassa 1 on esitetty pelkistetty kytkentäkaavio ilmanvaihtojärjestelmästä, jossa on LTO:na pyörivä lämmönsiirrin. /3;6./



**KUVA 1. Ilmanvaihtojärjestelmän LTO:na pyörivä lämmönsiirrin**

Muihin lämmönsiirtimiin kuten esimerkiksi levylämmönsiirtimeen tai nestekiertoiseen lämmönsiirtimeen verrattuna pyörivällä lämmönsiirtimellä on korkein lämpötilasuhte, jopa 80% /3;6/.

Pyörivän lämmönsiirtimen energiatehokkuutta voidaan arvioida esimerkiksi tulo- ja poistoilman lämpötilasuhteella. Tulo- ja poistoilman lämpötilasuhte tarkoittaa sitä, kuinka paljon LTO pystyy siirtämään lämpöä eri ilmavirtojen välillä. Tuloilman lämpötilasuhte saadaan yhtälöllä

$$n_t = \frac{t_{tuloilma} - t_{ulkoilma}}{t_{poistoilma} - t_{ulkoilma}} * 100 \quad (4)$$

jossa,

$n_t$  = tuloilman lämpötilasuhde

$t_{tuloilma}$  = tuloilman lämpötila

$t_{ulkoilma}$  = ulkoilman lämpötila

$t_{poistoilma}$  = poistoilman lämpötila

Vastaavasti poistoilman lämpötilasuhde saadaan yhtälöllä

$$n_p = \frac{t_{poistoilma} - t_{jäteilma}}{t_{poistoilma} - t_{ulkoilma}} * 100 \quad (5)$$

jossa,

$n_p$  = poistoilman lämpötilasuhde

$t_{poistoilma}$  = poistoilman lämpötila

$t_{jäteilma}$  = jäteilman lämpötila

$t_{ulkoilma}$  = ulkoilman lämpötila

### 2.3 Lauhdelämpö

Lauhdelämpö voidaan jakaa kolmeen osatekijään. Ensimmäinen osatekijä on tulistuslämpö, jonka osuus lauhdelämmöstä on noin 10-20 %. Toinen ja merkittävin osatekijä on varsinainen lauhdelämpö, jonka osuus on noin 80-90 % ja kolmantena on alijäähdytys, jonka osuus on noin 0-5 %. Osatekijöiden osuudet hieman vaihtelevat riippuen kylmälaitoksesta. /1;7./

Varsinaisen lauhdelämmön osuuden ollessa näin suuri, jää lauhdelämmön lämpötilataso tämän takia melko matalaksi. Lauhtumislämpötilan noston järkevyyttä kannattaa miettiä tarkkaan, sillä on muistettava, että kylmäkerroin on riippuvainen lauhtumislämpötilasta siinä määrin, että yhden asteen nosto lauhtumislämpötilassa heikentää samalla järjestelmän kylmäkerrointa noin 3 %. /1;7./

## 2.4 Lauhdelämmön talteenotto

Kun lauhdelämpöä otetaan talteen, niin tärkeimpänä perussääntönä pidetään sitä, että toteutettavan järjestelmän on oltava varmatoiminen eikä se missään vaiheessa saa vaarantaa toimintavarmuutta itse kylmälaitoksessa. Lauhdelämmön hyödyntämisen ongelmana on saatavan energian matala lämpötilataso. Uusissa rakennuksissa voidaan soveltaa lauhdelämmön talteenottoa kylmälaitoksen sekä LVI-suunnitelmien osalta saneerauskohteita paremmin, sillä vanhoissa saneerattavissa rakennuksissa sopivaa lauhdelämmön hyödyntämisen kohdetta on vaikeampi löytää. Kannattavuuden arviointi on aina tapauskohtainen. /1;7./

## 3 TUTKITTAVA KOHDE JA JÄRJESTELMÄ

Varsinainen tutkimustyö alkoi kohteen ja sen järjestelmiin perehtymisellä. Tutkimuksen onnistumisen kannalta on tärkeää tietää ja ymmärtää, minkälaiseen tarkoitukseen kohde on rakennettu sekä miten se missäkin tilanteissa ja olosuhteissa toimii ja käytäytyy.

Tässä osiossa tarkastelu kohdistuu kohteen esittelyn lisäksi mm. siihen, mitä yksipatterin iv-koje käytännössä tarkoittaa. Osiossa perehdytään myös hieman kylmäkoneikoon sekä rakennusautomaatioon ja sen ohjaustapoihin.

### 3.1 Kauppakeskus Stella

Stella on Osuuskauppa Suur-Savon omistama uuden ajan kauppakeskus, joka sijaitsee aivan Mikkelin keskustassa, torin laidalla. Kauppakeskus Stella on valmistunut vuonna 2011 ja kauppakeskuksen avajaiset oli tarkalleen 11.11.2011 klo 11.11. Stellassa on noin 40 toimijaa kolmessa kerroksessa. Kokonaispinta-alaltaan kauppakeskus on noin 30 000 neliometriä (m<sup>2</sup>). Kauppakeskuksen suuruudesta hyvänä esimerkkinä on myös se, että vuonna 2013 sähkönkulutus oli noin 22 000 MWh/vuosi ja kaukolämmön kulutus 5 500 MWh/vuosi. Kauppakeskus Stellan yhteydessä on myös toriparkki, joka sijaitsee kellarikeskuksessa, sieltä löytyy pysäköintitilaa 620 autolle. Tutkittavien



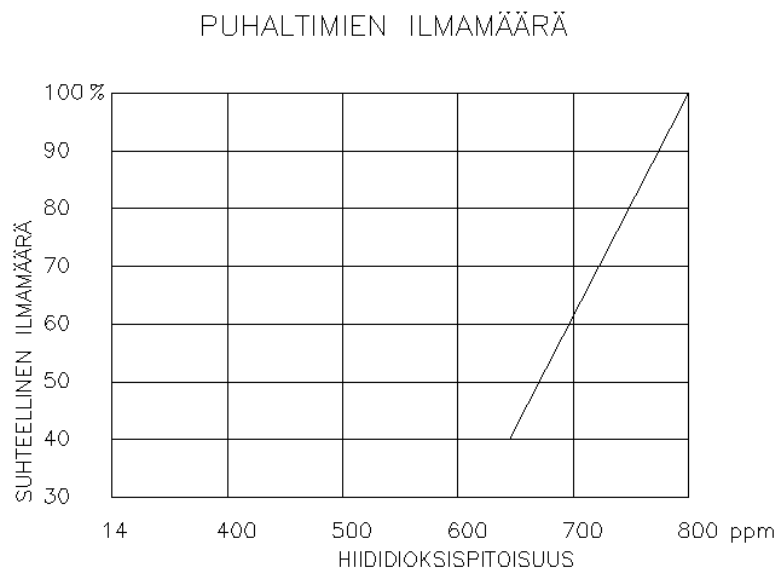
### TAULUKKO 1. Iv-kojeiden palvelualueet ja ilmamäärät

Iv-koje	Palvelualueet	ilmamäärät ( m <sup>3</sup> /s )
PTK10	SOKOS 1. krs	+7,5 / -7,3
PTK11	SOKOS 2. krs	+5,5 / -5,5

Molemmat iv-kojeet ovat aikaohjattu ja niiden ilmamäärän säätö perustuu CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittaukseen. Puhaltimien ilmavirransäätö tehdään korkeimman mitatun pitoisuuden mukaisesti. Iv-kojeiden käyntiajat on esitetty taulukossa 2 ja puhaltimien ilmamäärän säätö kuvassa 3.

### TAULUKKO 2. Iv-kojeiden käyntiajat

Iv-koje	arkisin	la	su
PTK10	7.00-21.30	7.00-18.30	11.30-18.30
PTK11	7.00-21.30	7.00-18.30	11.30-18.30



### KUVA 3. Iv-kojeiden puhaltimien ilmamäärän säätö

Iv-kojeissa on ilman lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen käytössä pyörivän lämmönsiirtimen lisäksi patteri, johon voidaan erillisen piirin avulla syöttää joko lämmittävää tai jäähdyttävää liuosta. Jäähdytykseen tarvittavaa jäähdytysvettä tehdään vedenjääh-

dytyskoneilla. Lämminvesi patterille tuotetaan lauhdelämmöstä saatavalla lämmöllä. Lisälämpöä patterille on tarvittaessa saatavissa suoraan lämmitysverkostosta (kaukolämpö).

### **3.3 Kaupan kylmäkoneikko**

Kauppakeskus Stellan alakerroksessa on päivittäistavarakauppa S-Market. Kaupassa on runsaasti kylmälaitteita ja -kaappeja sekä pakastehuoneita ja -kalusteita. Ns. pluspuolen jäähdyttämisen ja pakkaspuolen pakastamisen hoitavat erilliset kylmäkoneikot. Kylmäkoneikot ovat sijoitettu Stellan alakertaan. Järjestelmä on toteutettu rinnankytketyillä kompressorikoneikoilla. Pakkaspuolen ja pluspuolen jäähdytyskohteille on kummallekin omat kylmäkoneikot. Kylmäprosessissa syntyy lauhdelämpöä, joka lauhdutetaan levylämmönsiirtimien kautta liuoskiertoon. Liuoskierron avulla lauhdelämpö hyödynnetään muutamissa iv-kojeissa sekä käyttövedessä ja lattialämmityksessä.

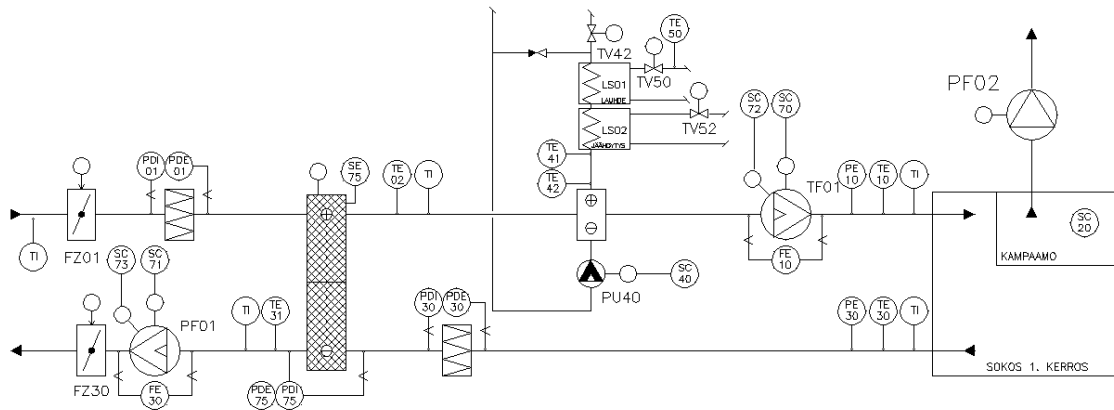
### **3.4 Rakennusautomaatio ja sen ohjaustavat**

Rakennusautomaation tehtävänä on valvoa, analysoida, ohjata sekä optimoida hallittavaa järjestelmää. Automaatiolla on keskeinen asema, kun puhutaan rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta. Saatavia hyötyjä ovat mm. mahdollisuus kustannusten säästöön ja hallintaan, parempi sisäilman laatu, huolto ja kunnossapito, keskitetty valvonta sekä turvallisuus. Rakennusautomaation avulla siis pystytään käytännössä hallitsemaan miltei koko rakennusta. Esimerkiksi lämpötilaa, ilmanvaihtoa sekä valaistusta pystytään ohjaamaan käyttötilanteen mukaan. Näiden ohjaaminen edesauttaa sitä, että energiankulutus voidaan saada helpommin hallintaan. /8./

Rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu tyypillisesti kolmesta eri tasosta. Näitä ovat valvomotaso, alakeskus/prosessiyksikkötaso ja kenttälaitetaso. Alakeskuksissa muokataan kenttälaitetasolta kerätty mittaus-, hälytys- ja ohjausinformaatio ja lähetetään valvomoon, jossa tieto muokataan käyttäjille helposti ymmärrettävään muotoon hyödyntäen esimerkiksi grafiikkaa. /6./





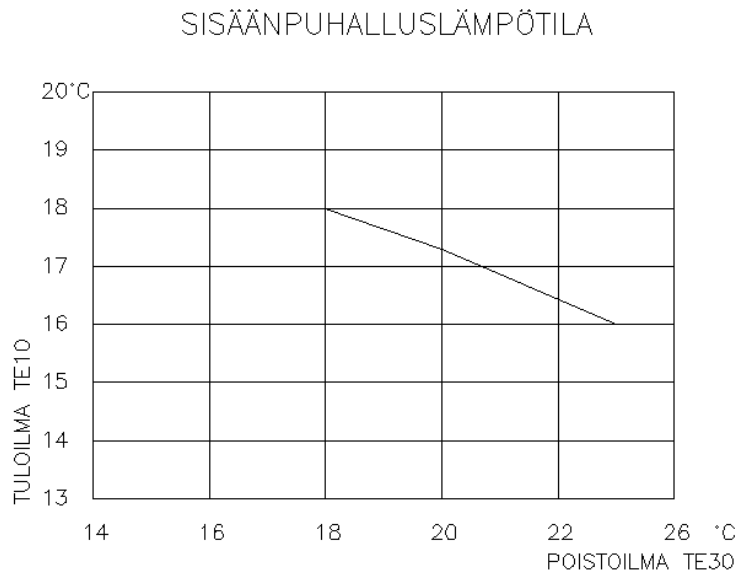


**KUVA 5. Iv-kojeiden kytkentäkaavio**

PTK10 ja PTK11 iv-kojeet ovat aikaohjattuja ja rakennusautomaation valvontajärjestelmän aikaohjelma määrää niiden vuorokautiset käyntiajat (taulukko 2, s. 9). Poistoilmapuhaltimen PF01 käynti on lukittu tuloilmapuhaltimen TF01 käyntiin. LTO:n käynti on lukittu sekä tuloilmapuhaltimen että lämmönsäätöpiiriin siten, että roottori pyörii vain silloin, kun LTO-säätöporras on käytössä. Lämmitys-/jäähdytyspatterin kiertopumppu PU40 käy jatkuvasti.

Kojeen käynnistyessä ensimmäisenä käynnistyvät tulo- ja poistoilmapuhaltimet sekä raitis- ja poistoilmapellit alkavat avautua ja LTO käynnistyy.

Sisäänpuhallusilman lämpötila säädetään asetusarvoonsa mittausanturin TE10 mukaan ohjaamalla sarjassa jäähdytys- ja lämmitystehoportaita kuvan 4 mukaisesti. TE10:n asetusarvoa muutetaan suhteessa poistoilman lämpötilaan (TE30) kuvan 6 mukaisesti. Lämmityspatterin paluuvesisäädin/jäätymissuojatermostaatti toimii jatkuvasti paluuvien minimilämpötilan (+5°C) rajoittimena.



### KUVA 6. Sisäänpuhallusilman lämpötilan säätäminen

Jäähdytystilanteessa lämmitysventtiili TV42 ja lauhdeventtiili TV50 ovat kiinni ja pumppu PU40 pyörii minimikierrosluvulla. Kun jäähdytystarve kasvaa, alkaa jäähdytysventtiili TV52 avautua. TV52:n ollessa täysin auki ja jos edelleen tarvitaan jäähdytystä, nostetaan pumpun PU40 kierrosnopeutta kunnes haluttu sisäänpuhallusilman lämpötila saavutetaan. Jäähdytystilanteessa patterin paluueden lämpötila ei saa laskea alle +7 asteen, muuten TV52 aukioloa rajoitetaan. Jos ulkoilman lämpötila on poistoilman lämpötilaa korkeampi, käynnistyy LTO:n roottori täydelle teholla, jolloin voidaan hyödyntää jäähdytyksen talteenottoa.

Lämmitystilanteessa jäähdytysventtiili TV52 on kiinni ja pumppu PU40 pyörii minimikierrosluvulla. Kun tuloilman lämmitystarve kasvaa, käynnistyy LTO-roottori. LTO-roottorin pyöriessä täydellä teholla ja edelleen tarvitaan lämmitystä, alkaa lauhdeventtiili TV50 aukeamaan. Mikäli TV50 on täysin auki ja edelleen tarvitaan lämmitys, nostetaan seuraavana tehonsäätöportana pumpun PU40 kierroslukua. Jos lämmitystarve vieläkin jatkaa kasvuaan, niin seuraavaksi alkaa lämmitysventtiili TV42 aukeamaan. Jotta lämmitystilanteessa voidaan varmistaa, että patterin paluueden TE41 lämpötila pysyy jatkuvasti vähintään 2 astetta alempana kuin tulevan lauhteen TE50 lämpötila, rajoitetaan pumpun PU40 kierrosnopeutta tarvittaessa.

#### 4 IV-KOJEIDEN TOIMINTA

Iv-kojeiden toimintojen tarkastelu koostuu pääasiassa LTO:n tehokkuudesta, kylmälaitteiden lauhde-energian käytöstä, sähkön käytön tehokkuudesta ja SFP-luvun mittauksesta sekä lämpö- ja jäähdytysenergioiden käytöstä.

Jotta toimintaa voitaisiin tarkastella, otettiin vertailuun muutamia ajanjaksoja, jolloin oli erilaiset ulkoilman lämpötilat. Tutkittavan järjestelmän kannalta ainakin toisella ajanjaksolla tuli olla pakkasta, jotta iv-kojeen LTO sekä patteri toimisivat samanaikaisesti. Ajanjaksoihin sisältyi myös muutama viikonloppu, jolloin kuluttajien/käyttäjien määrä oli mahdollisimman suurta.

Talvi 2013-2014 oli erittäin hankala pakkasten osalta, mutta onneksi tutkimusta ajatellen talven aikana oli yksi pidempi pakkasjakso. Yhdeksi ajankohdaksi valittiin talven 2013-2014 kylmin ajankohta, joka oli tammikuun 2014 lopussa. Tarkka ajankohta on 10.01.2014-27.01.2014. Jakson pituus on 18 kokonaista päivää sisältäen kaksi kokonaista viikkoa ja kolme viikonloppua. Rakennusautomaation mukaan ulkolämpötila oli tuolloin alhaisimmillaan  $-25,4\text{ °C}$  ja lämpimillään oli  $+1,9\text{ °C}$ . Lämpötilan keskiarvo ajanjaksolla oli  $-13,95\text{ °C}$ .

Koska rakennusautomaatiosta ei ollut mahdollista saada viime kesälle ulottuvia tietoja, niin toiseksi ajanjaksoksi valittiin ajanjakso maaliskuun alkupuolelta. Tarkka ajankohta on 28.2.2014-17.3.2014, ja jakso oli samanpituisen ensimmäisen ajanjakson kanssa. Ajanjakso oli tutkimusta ajatellen riittävän leuto ja tarkastelussa saatiin riittäviä eroja. Rakennusautomaation mukaan ulkolämpötila oli tuolloin alhaisimmillaan  $-12,4\text{ °C}$  ja lämpimillään oli  $+11,0\text{ °C}$ . Lämpötilan keskiarvo ajanjaksolla oli  $+1,2\text{ °C}$  eli huomattavasti lämpimämpi kuin ensimmäinen jakso.

Työn tarkastelun osalta ilmeni myös ongelmia, sillä rakennusautomaatiojärjestelmän oma sähkönkulutusmittaus oli ollut epäkunnossa, eikä tämän vuoksi ensimmäiseltä ajanjaksolta saatu suoraan sähkönkulutusta. Sähkönkulutus jouduttiin laskemaan ja arvioimaan rakennusautomaation keräämien puhaltimien pyörimisnopeuksien avulla. Rakennusautomaatio ilmoitti pyörimisnopeudet prosenttilukuina. Ennen toisen ajanjakson alkua ongelma oli saatu korjattua ja sähkönkulutus pystyttiin lukemaan suoraan rakennusautomaation historiatiedoista.

#### 4.1 LTO:n tehokkuus

Pyörivä lämmönsiirrin on erittäin tehokas lämmön talteenotossa. Lämpötilasuhde on riippuvainen poistoilman lämpötilasta ja ilmavirran määrästä sekä roottorin pyörimisnopeudesta. Tarkasteltavissa iv-kojeissa on LTO:n roottorina ei-hygroskooppinen roottori, eli kosteuden siirtyminen on hyvin pientä. Rakennusautomaatio ilmoittaa hetkellistä tuloilman lämpötilasuhdetta, jonka se laskee yhtälön neljä (4) mukaisesti. Liitteessä 2 olevissa kuvissa on esitetty LTO:ten toiminnat eri ulkoilman lämpötiloissa molempien iv-kojeiden ja ajanjaksojen osalta. LTO:n toiminta näkyy kuvassa lilan värisenä.

LTO:n tehokkuuden määrittäminen tehtiin laskemalla ensin molemmilta ajanjaksoilta kokonaislämmitysenergian (Q) kulutus kilowattitunteina (kWh). Tämän jälkeen kokonaislämmitysenergian kulutuksesta laskettiin, mitä lämmitysmuotoa on käytetty ja kuinka paljon. Tarkasteluun valittiin muutamia eri ulkolämpötiloja, joille laskettiin tuntitasolla keskimääräisillä tilavuusilmavirroilla, poistoilman lämpötiloilla ja ulkolämpötiloilla keskimääräinen kokonaislämmitysenergian kulutus. Valitulta ulkolämpötilalta saatiin kokonaislämmitysenergian kulutus yhtälöllä

$$Q = t * \emptyset \quad (6)$$

jossa,

Q = Kokonaislämmitysenergian kulutus, kWh

t = Aika, h

$\emptyset$  = Kokonaisteho, kW

Keskimääräisen kokonaistehon ( $\emptyset$ ) laskemiseen tarvitsee tietää keskimääräinen tilavuusvirta ( $q_v$ ), ominaislämpökapasiteetti ( $c_p$ ), tiheys ( $\rho$ ) sekä ulkoilman ja tuloilman keskimääräinen lämpötilaero ( $\Delta t$ ). Kokonaisteho saatiin laskettua yhtälöllä

$$\dot{Q} = q_v * c_p * \rho * \Delta t \quad (7)$$

jossa,

$\dot{Q}$	= Kokonaisteho, kW
$q_v$	= Keskimääräinen tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /s
$c_p$	= Ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kg°C (ilma)
$\rho$	= Tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup> (ilma)
$\Delta t$	= Keskimääräinen lämpötilaero, °C

Valituille ulkolämpötiloille saatiin tuntikohtaisesti tilavuusvirran keskiarvo ja ulkoilman ja sisäänpuhallusilman lämpötilaero rakennusautomaatiosta. Tämän avulla saatiin laskemalla selville, mikä on valittujen ulkolämpötilojen sen hetkinen keskimääräinen kokonaislämmitysenergian kulutus. Seuraavaksi selvitettiin ja laskettiin rakennusautomaation tietojen perusteella, miten lämmitys oli tuotettu eli oliko käytössä ollut vain LTO vai oliko lisänä ollut lauhdeventtiili auki vai oliko lämmityksen säätöportaan viimeinenkin porrassäätö eli kaukolämpö (ostoenergia) ollut käytössä.

Laskuesimerkkinä on PTK10 iv-kojeen osalta ensimmäiseltä ajanjaksolta keskimääräisen kokonaislämmitysenergian kulutus, kun ulkolämpötila on -15 °C. Tuolloin oli keskimääräinen tilavuusvirta 3,47 m<sup>3</sup>/s ja keskimääräinen lämpötilaero 31,3°C. Ensin laskettiin kokonaisteho yhtälöllä 7.

$$\dot{Q} = 3,47 \frac{m^3}{s} * 1,0 \frac{kJ}{kg^\circ C} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 31,3^\circ C \quad (7)$$

$$\dot{Q} = 130,5 kW$$

Tiedot, joista kokonaisteho saatiin laskettua, olivat yhden tunnin (h) keskiarvoja, joten keskimääräinen kokonaislämmitysenergian (Q) kulutus tuntitasolla saatiin kertomalla keskimääräinen kokonaisteho yhdellä tunnilla. Kokonaislämmitysenergian kulutus edellä mainitulla ajalla saatiin yhtälöllä 6.

$$Q = 1,0h * 130,5 kW \quad (6)$$

$$Q = 130,5 kWh$$

Kun keskimääräinen kokonaislämmitysenergian kulutus oli saatu selville, niin seuraavaksi voitiin laskea kuinka kokonaislämmitysenergian kulutus oli jakautunut. Iv-kojeissa ensimmäisenä lämmityksen säätöportaana on LTO. LTO:n osuuden selvittämiseksi kokonaislämmitysenergian kulutuksesta jouduttiin ensimmäiseksi selvittämään, mikä on lämpötila LTO:n jälkeen ennen patteria, sillä sitä ei ollut saatavissa rakennusautomaation historiasta. Lämpötila saatiin laskettua yhtälön 8 mukaisesti tuloilman lämpötilasuhde kaavaa 4 soveltaen. Lämpötilahyötysuhteena ( $n_t$ ) käytettiin valmistajan mitoituksessa käyttämää 80 % ja koska historiasta ei ollut saatavissa myöskään poistoilman lämpötilaa, käytettiin arvioihin perustuvaa poistoilman lämpötilaa  $21,5^\circ\text{C}$ .

$$n_t = \frac{t_{tuloilma} - t_{ulkoilma}}{t_{poistoilma} - t_{ulkoilma}} * 100 \quad (4)$$

$$t_{tuloilma} = n_t * (t_{poistoilma} - t_{ulkoilma}) + t_{ulkoilma} \quad (8)$$

$$t_{tuloilma} = 0,8 * (21,5^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C})) + (-15^\circ\text{C})$$

$$t_{tuloilma} = 14,2^\circ\text{C}$$

Kun LTO:n jälkeen oleva lämpötila saatiin selville, voitiin seuraavaksi laskea, kuinka paljon oli LTO:n teho edellä mainittuna ulkolämpötilan hetkellä. Lämpötilaero oli  $29,2^\circ\text{C}$  ( $14,2^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C})$ ). LTO:n teho saatiin yhtälöllä 7.

$$\dot{Q} = 3,47 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 29,2^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$\dot{Q} = 121,6 \text{ kW}$$

Tiedot, joista LTO:n teho on laskettu, ovat siis tietyn ulkolämpötilan yhden tunnin keskiarvoja, joten LTO:n keskimääräinen lämmitysenergian kulutus saatiin kertomalla LTO:n teho yhdellä tunnilla. Eli LTO:n osuus ( $Q_{\text{LTO}}$ ) kokonaislämmitysenergian kulutuksesta ( $Q_{\text{kok}} = 130,5 \text{ kWh}$ ) on  $121,6 \text{ kWh}$ .

Iv-kojeiden keskimääräiset kokonaislämmitysenergian tarpeet tuntitasolla valittujen ulkolämpötilojen osalta on koottu ja esitetty pylväsdiagrammeina osiossa tulokset.

## 4.2 Kylmälaitteiden lauhde-energian käyttö

Tutkittavissa iv-kojeissa, PTK10 ja PTK11 kylmälaitteiden lauhde-energian käyttö lämmitykseen tulee säätöportaassa seuraavaksi LTO:n jälkeen. Kun LTO pyörii täysillä kierroksilla ja edelleen tarvitaan lisälämpöä, jotta saavutettaisiin säädetty puhallusilman lämpötila, alkaa lauhdeventtiili TV50 avautua ja iv-kojeessa oleva patteri saa siirtimen kautta lämmintä vettä. Kun sisäänpuhallusilman lämpötila on asetusarvon mukaan oikea, niin automaatio rajoittaa ja säätää lauhdeventtiilin TV50 aukioloa sen mukaan. Liitteessä 2 olevissa kuvissa on esitetty lauhde-energian käyttö molempien iv-kojeiden ja ajanjaksojen osalta. Lauhde-energian käyttö näkyy kuvissa vaaleansinisen värisenä.

Kyseessä olevat iv-kojeet eivät ole rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ainoat kojeet, joissa on mahdollista käyttää lauhdelämpöä. Iv-koje PTK06, joka ei kuulu tutkimukseen, käyttää pääasiassa ensimmäisenä lauhdelämmön. Jos iv-koje PTK06 ei tarvitse lauhdelämpöä tai sitä jää yli eikä muut iv-kojeet sitä tarvitse, niin on mahdollista ohjata ns. ”ylimääräinen” lauhdelämpö suoraan rakennuksen katolla sijaitseville nestejäähdyttimille, joista lämpö voidaan puhaltaa ulkoilmaan. Tämänkaltainen tilanne tulee usein kesällä, kun rakennuksen lämmitystarve on hyvin pieni ja samanaikaisesti kuitenkin kylmälaitteiden kylmäntarve suurista lämpökuormista johtuen on suurta.

Lauhde-energian käytön esimerkkinä käytetään samaa iv-kojetta PTK10 ja samaa mitaushetkeä kuin LTO:n tehokkuuden määrittämisessä. Lauhteesta saatavan keskimääräisen lämmitysenergian osuuden laskeminen on helppoa, sillä kyseisen ulkolämpötilan aikana muita lämmityksen portaita ei ollut käytössä kuin LTO ja lauhde. Joten lauhdeesta saatavan keskimääräisen lämmitysenergian osuus ( $Q_{lauh}$ ) on yksinkertaisesti se erotus, joka jää, kun vähennetään keskimääräisestä kokonaislämmitysenergiasta LTO:n osuus, eli yhtälön 9 mukaisesti

$$Q_{lauh} = Q_{kok} - Q_{LTO} \quad (9)$$

$$Q_{lauh} = 130,5 \text{ kWh} - 121,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{lauh} = 8,9 \text{ kWh}$$

PTK11 iv-kojeessa ei lauhdeesta saatavaa energiaa tarvittu pääasiallisesti edes mitatun ajanjakson kylmimmillä hetkillä. Ainoastaan ajanjakson yhtenä lauuantaina

(18.01.2014) oli lauhdeventtiili TV50 auennut muutamaksi tunniksi, kun pakkasta oli  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tällöin olivat kojeet käynnistyneet aikaohjatusti klo 7:00, mutta pääosa liikkeistä aukesi vasta klo 9:00. Rakennuksen sisäiset lämpökuormat olivat hyvin vähäistä, eikä LTO kyennyt pitämään sisäänpuhallusilman lämpötilaa asetusarvossaan vaan rakennusautomaatio ohjasi säätöportaiden mukaisesti seuraavan portaan käyttöön. Liitteessä 5 esitetystä kuvasta voi hyvin havaita, kuinka rakennuksen sisäisten lämpökuormien lisääntyminen vaikuttaa saatavaan energiamäärään sekä lauhde-energian käyttöön. Kuvasta nähdään, kuinka liikkeiden auetessaan klo 9:00 tulee asiakkaita kauppakeskukseen ja sisäiset lämpökuormat alkavat kasvamaan ja samalla lauhde-energian käyttö pienenee nopeasti.

### 4.3 Sähkön käytön tehokkuus

Sähkön kulutukseen iv-kojeiden osalta vaikuttavat kaikki järjestelmän komponentit. Ilmankäsittelykojeen lisäksi vaikuttavia komponentteja ovat ulkosäleikkö, tulo- ja poistoilmakanavisto kojeen imu- ja painepuolella sekä päätelaitteet. Ilmankäsittelykojeen valinnan merkitys on suuri, sillä se muodostaa suurimman osan järjestelmän kokonaispainehäviöstä. /4./

Ominais sähkötehoa laskettaessa ainoastaan puhaltimien (sisältäen mahdollisen taajuusmuuttajan) verkosta ottama sähköteho otetaan huomioon. Muut sähköä kuluttavat osat, kuten esimerkiksi pumput ja LTO jätetään huomioimatta. /4./

SFP-luvun laskenta tehtiin molemmille kojeille neljällä eri pyörimisnopeudella. Kojien puhaltimien pyörimisnopeuksien muutokset tehtiin taajuusmuuttajien valikoista käsiajolla. Taajuusmuuttajasta pystyi lukemaan jokaisella eri pyörimisnopeudella olevat arvot, joita voitiin pitää tätä tutkimusta ajatellen tarpeeksi tarkkoina ja luotettavina. Lukemat, jotka kirjattiin muistiin pyörimisnopeuden lisäksi, olivat käyntitaajuus, -virta, -jännite ja -teho sekä molempien puhaltimien sen hetkinen paine-ero tilavuusvirran laskemista varten.



### 4.3.1 TSI DP-Calc 5825

Paine-eron mittaukseen käytettiin TSI DP-Calc 5825 paine-eromittaria. Mittarilla on mahdollista mitata muutakin kuin paine-eroa, kuten mm. ilman nopeutta, tilavuusvirtaa, kosteutta ja ilman lämpötilaa. Mittarin tarkkuus on  $\pm 1\%$  lukemasta.

Iv-kojeen omista paine-eromittareissa on valmistajan mukaan melko suuri mittausvirhe, joten tämän takia paine-eromittaukseen käytettiin erillistä mittaria. Valmistaja (KOJA) ilmoittaa koko menetelmälle virheeksi  $\pm 10\%$  ja analogisille mittareille  $\pm 4\%$ . Koska mittauksessa käytettävä TSI paine-eromittari on huomattavasti tarkempi kuin iv-kojeiden omat mittarit, voitiin tulokset saada luotettavimmiksi.

Mittari asennettiin iv-kojeiden paine-eromittareiden letkuihin kiinni. Mittarin kytkentä on esitetty kuvassa 7.



**KUVA 7. Paine-eromittarin kytkentätapa**

### 4.3.2 SFP-luvun laskenta

SFP-luvun lasku esimerkkinä on PTK10 iv-kojeen SFP-luku maksimipyörimisnopeudella 750 1/min. Taajuusmuuttajasta saadut arvot sekä SFP-luvut muilla pyörimisnopeuksilla PTK10 iv-kojeen osalta löytyvät kohdasta tulokset ja PTK11 iv-kojeen osalta liitteestä 3.

Ensin laskettiin paine-eromittarilla mitatun suuremman (tulo/poisto) paine-eron avulla tilavuusvirta, joka saadaan yhtälöstä

$$q_v = k - \text{kerroin} * \sqrt{\Delta p} \quad (10)$$

jossa,

$$q_v = \text{tilavuusvirta, m}^3/\text{s}$$

$$k\text{-kerroin} = \text{puhallin valmistajan ilmoittama kerroin}$$

$$\Delta p = \text{puhaltimen paine-ero, Pa}$$

PTK10 iv-kojeen tilavuusvirta oli pyörimisnopeudella 750 1/min, jossa k-kerroin oli 0,2775 ja mitattu paine-ero oli 975 Pa (suurempi paine-ero)

$$q_v = 0,2775 * \sqrt{975 \text{ Pa}} \quad (10)$$

$$q_v = 8,665 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tämän jälkeen voitiin laskea iv-kojeelle SFP-luku yhtälön 2 mukaisesti. PTK10 iv-kojeen SFP-luku pyörimisnopeudella 750 1/min, tilavuusvirta 8,67 m<sup>3</sup>/s, tulopuhaltimen käyntiteho 7,35 kW ja poistopuhaltimen käyntiteho 7,00 kW

$$SFP = \frac{7,35 \text{ kW} + 7,00 \text{ kW}}{8,67 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (2)$$

$$SFP = 1,66$$

### 4.3.3 Sähkönkulutus ajanjaksoilla 1 ja 2

Molempien iv-kojeiden sähkönkulutus laskettiin rakennusautomaatiosta saatavien tietojen mukaan. Sähkönkulutus koostuu pääosin tulo- ja poistopuhaltimien patteripiirin pumpun PU40 sähkökäytöstä.

Ensimmäisellä ajanjaksolla oli sähkömittauksen osalta automaatiojärjestelmässä vika, joten sähkönkulutus jouduttiin arvioimaan rakennusautomaatiosta saatavien tulo- ja poistopuhaltimien pyörimisnopeuksien avulla. Puhaltimen pyöriessä täydellä teholla (100%) käyntitaajuus on 50 Hz ja vastaavasti puhaltimen pyöriessä esimerkiksi 40 %:lla käyntitaajuus on tällöin 20 Hz. Tämä tarkoittaa sitä, että kun rakennusautomaation ilmoittaman puhaltimen pyörimisnopeuden prosenttimäärän jakaa kahdella saadaan käyntitaajuus Herzeinä (Hz). Kun käyntitaajuus oli selvillä, voitiin seuraavaksi arvioida puhaltimien sähkökäyttö SFP-luvun mittauksessa saatujen käyntitaajuuksien ja käyntitehojen avulla (esimerkki, taulukko 4, s. 30). Sähkönkulutukseen lisättiin myös pumpun PU40 arvioitu sähkökäyttö kyseisen ajanjakson aikana seuraavalla tavalla. Pumpun PU40 mitoitusilavuusvirran sekä nostokorkeuden avulla selvitettiin kyseisen pumpun täysteho sekä puoliteho (50%). Tehot saatiin selville valmistajan ilmoittamien pumpun ominaiskäyrien avulla. Ajanjakson mukaan arvioitiin, että pumppu pyörii keskimäärin puolella teholla. Sähkönkulutukseen lisättiin pumpun sähkökäyttö puoliteholla, jotta saataisiin tuloksesta tarpeeksi todellinen. Ensimmäisen ajanjakson tulokset ovat esitetty molempien iv-kojeiden osalta liitteessä 4.

Toiselle ajanjaksolle oli saatavissa rakennusautomaatiosta suoraan iv-kojeiden sähkönkulutukset. Rakennusautomaatio keräsi mittaustietoa sähkönkulutuksesta 15 minuutin välein ja siitä saatiin laskemalla selville, paljonko iv-kojeet käyttävät sähköä kilowattitunteina (kWh). Seuraavaksi laskettiin, kuinka paljon on iv-kojeiden sähkönkulutus päivässä ja siitä tehtiin ajanjaksolle pylväsdiagrammi. Tulokset toiselta ajanjaksolta molempien iv-kojeiden osalta ovat esitetty osiossa tulokset.

Arvioitua sähkönkulutusta ensimmäiseltä ajanjaksolta sekä rakennusautomaation mittaamaa sähkönkulutusta toiselta ajanjaksolta vertailtiin ja päästiin lähes saamaan tulokseen. Tämän avulla voitiin todeta, että arviolaskelmat ovat tätä tutkimusta ajatellen riittävän tarkkoja.

#### 4.4 Lämpöenergioiden käyttö

Lämmityksen säätöportaan viimeisenä portana on lämmitysventtiili TV42. Lämmin vesi tuotetaan kaukolämmöllä, eli se on ns. ”ostoenergiaa”. Kun LTO pyörii täysillä ja lauhdeventtiili TV50 on täysin auki, niin kaukolämmöstä saatavaa lämpöä käytetään, jotta asetusarvon mukainen sisäänpuhallusilman lämpötila saavutetaan. Lämmitysventtiili TV42 aukeaa tarvittavaan aukioloasentoon ja rakennusautomaatio säättää sitä tarpeen mukaan. Kun iv-kojeet ovat aikaohjatusti pois päältä eli öisin, niin patterin jäätyksen estämiseksi rakennusautomaatio ohjaa lämmitysventtiilin TV42 aukioloasentoon, että patterin paluuv veden lämpötila pysyy asetusarvon mukaisena (jäätymsuoja).

Lämpöenergiasta ei ole laskuesimerkkiä, koska lämpöenergiaa ei kummallakaan ajanjaksolla tarvittu käyttää tutkittavissa iv-kojeissa. Tästä voitiin päätellä, että kyseessä olevien iv-kojeiden ei juurikaan tarvitse käyttää ostoenergiaa, vaan haluttu sisäänpuhallusilman lämpötila saadaan pidettyä oikeana pelkästään LTO:lla sekä tarvittaessa lauhteesta saatavalla lämmöllä.

#### 4.5 Jäähdytysenergioiden käyttö

Jäähdytystä rakennuksessa käytetään pääasiassa kesäisin, kun ulkolämpötilat ovat reilusti plussan puolella. Tarvittavaan jäähdytyksen määrään vaikuttaa pääasiassa kaksi tekijää, ensimmäinen on edellä mainittu ulkoilmassa vallitseva ulkolämpötila ja toisena tekijänä ovat rakennuksen sisäiset lämpökuormat. Tutkittavien iv-kojeiden palvelualueilla, Sokoksen tiloissa, on runsaasti sisäisiä lämpökuormien muodostuen pääasiassa valaistuksesta ja ihmisistä. Periaatteessa jäähdytysenergioiden käytöltään tutkittavat iv-kojeet PTK10 ja PTK11 ovat samanlaiset, eikä niissä käytännössä jäähdytyksen osalta ole eroja. Iv-kojeiden tyypit eivät siis vaikuta jäähdytyksen määrään. Jäähdytysenergioiden käytöstä ei valitettavasti ollut saatavissa tutkimukseen kunnollista mittaustietoa, sillä rakennusautomaation historiatieto ei ylety viime kesälle saakka, jolloin ulkolämpötilat olivat sitä luokkaa, että jäähdytystä tarvittiin.

## 5 KAUPPAKYLMÄN LAUHTUMISENERGIAN MUODOSTUMINEN JA RIITTÄVYYS

Kauppakylmäprosessissa syntyvää tulistuslämpöä saadaan huomattavasti lauhdelämpöä vähemmän. Tulistuslämmön etu on sen korkea lämpötilataso, mutta huono puoli on sen pieni osuus koko prosessissa syntyvästä lämmöstä. Tässä kohteessa tulistuslämpö ohjataan varaajaan, jossa sen teho käytetään rakennuksen käyttöveteen sekä S-marketin lattialämmitykseen.

Varsinainen lauhdelämpö pyritään käyttämään rakennuksen iv-kojeissa, joissa on lauhdelämmön talteenoton mahdollisuus. Lauhdetehon hyödyntäminen on yhtenä osana tutkittavissa iv-kojeissa. Lauhdetehon muodostuminen on esitetty seuraavassa osiossa.

### 5.1 Lauhdetehon muodostuminen

Kyseessä olevan kohteen rakennusautomaatio ilmoittaa reaaliaikaisesti käytettävissä olevan lauhdetehon. Lauhdetehto muodostuu kolmesta eri osatekijästä, lauhdepumpun PU60/61 virtaamasta, lauhdutuksen meno- ja paluuliuoksen lämpötilaerosta sekä kerroimesta 3,9. Kerroin on muodostettu virtaavan liuoksen tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin mukaan. Lauhdetehto saadaan yhtälöstä

$$\emptyset = q_v * \Delta t * 3,9 \quad (11)$$

jossa,

$\emptyset$  =lauhdetehto, kW

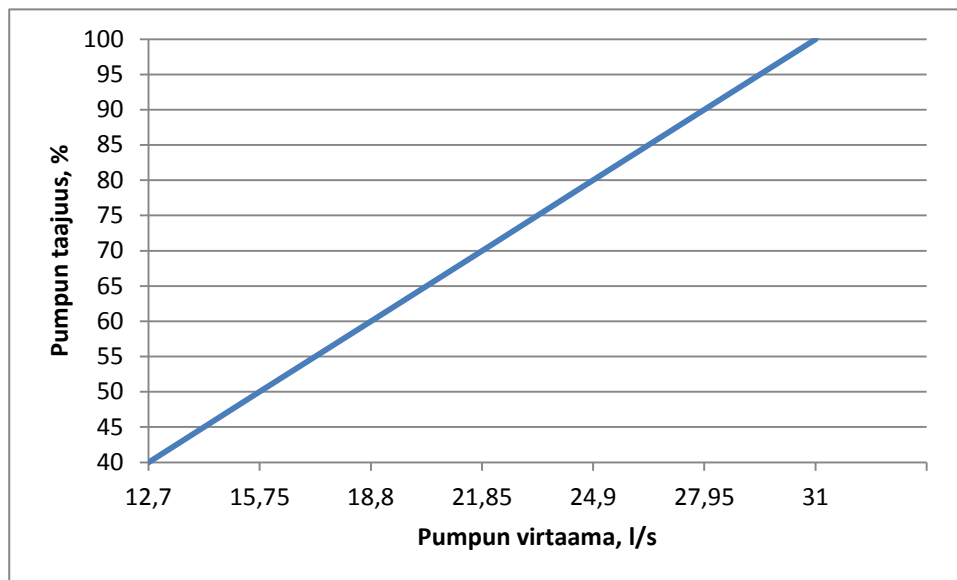
$q_v$  =pumpun PU60 tai PU61 virtaama, l/s (riippuen kumpi pumppu käytössä)

$\Delta t$  =meno- ja paluuliuoksen lämpötilaero, K

3,9 =kerroin (muodostettu liuoksen tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin mukaan)

Pumppuja on järjestelmässä kaksi kappaletta, PU60 ja PU61, jotka käyvät vuorotellen. Tällä varmistetaan järjestelmän käyttövarmuus tältä osin, ja jos toista pumppua joudutaan huoltamaan, niin järjestelmää ei tarvitse huoltotyön vuoksi pysäyttää.

Pumppujen virtaamien määrittämiseksi rakennusautomaatioon on asetettu kaksi taajuuden arvoa prosentteina, minimi- ja maksimi taajuus. Näiden arvojen mukaan on piirretty suora, jonka mukaan pumpun virtaama lasketaan. Virtaama minimitaajuudella (40 %) on 12,7 l/s ja maksimi taajuudella (100 %) 31 l/s. Pumpun virtaaman muodostuminen on esitetty kuvassa 8. Laskelmien ja tarkasteluiden mukaan pumppujen virtaamissa voi olla noin 3 % heittoja.



**KUVA 8. Pumpun PU60/61 virtaama taulukko**

Laskuesimerkissä pumpun virtaama, taulukosta katsottuna, on pumpun minimi taajuudella (40 %) 12,7 l/s. Tuolloin rakennusautomaation mukaan keskimääräinen lämpötila ero on noin 2 astetta ja kertoimena edellä mainittu 3,9. Yhtälöllä 11 saadaan näin ollen sen hetkiseksi lauhdetehoksi

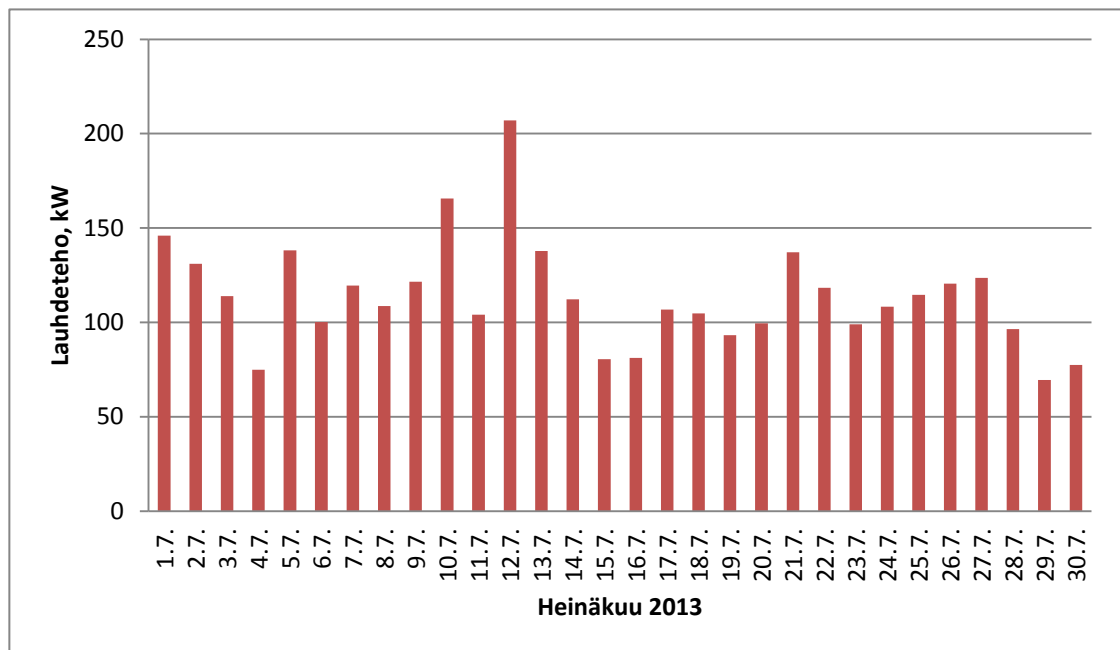
$$\dot{Q} = 12,7 \frac{l}{s} * 2,0K * 3,9 \quad (11)$$

$$\dot{Q} = 99,06 \text{ kW}$$

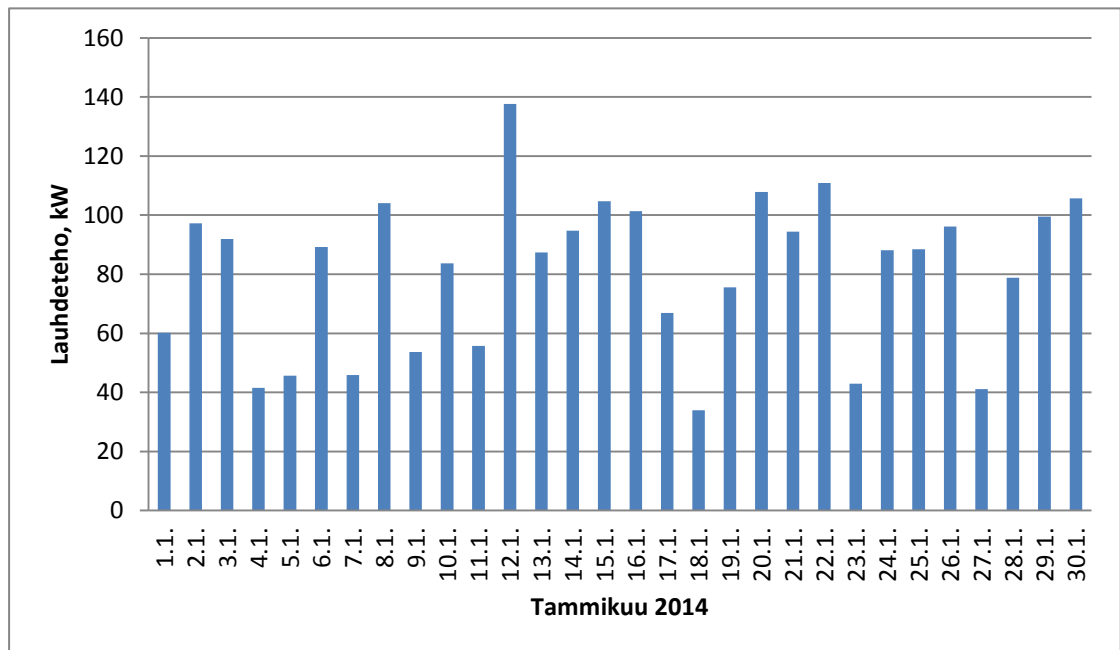
## 5.2 Lauhdetehon riittävyys

Kauppakylmän lauhteen tuotto on riippuvainen ulkolämpötilasta ja kulloinkin tarvittavasta kylmätehosta. Lauhdetehon tuotto riippuu myös siitä, onko kylmäkalusteet kannellisia tai ovellisia ja kuinka paljon asiakkaat niitä aukovat. Kesällä lämpökuormaa on enemmän ja näin ollen lauhteen tuotto talveen verrattuna on jonkin verran suurempaa. /7./

Kesä- ja talvijakson lauhdutustehot ovat esitetty kuvissa 9 ja 10 pylväsdiagrammeina. Ajanjakson jokaiselle päivälle on laskettu keskimääräinen lauhdetehto. Kesäjakson ajaksi on valittu heinäkuu, joka oli vuoden 2013 lämpimin kuukausi. Talvijakson ajaksi on valittu tammikuu, joka oli talven 2013-2014 kylmin kuukausi.



**KUVA 9. Kesäjakson lauhdetehto, heinäkuu 2013**



**KUVA 10. Talvijakson lauhdeteho, tammikuu 2014**

Lauhdeteho on laskettu rakennusautomaation keräämien tietojen perusteella. Koko heinäkuun keskimääräinen lauhdeteho rakennusautomaation historian mukaan oli n. 127 kW ja koko tammikuun keskimääräinen lauhdeteho oli n. 96 kW.

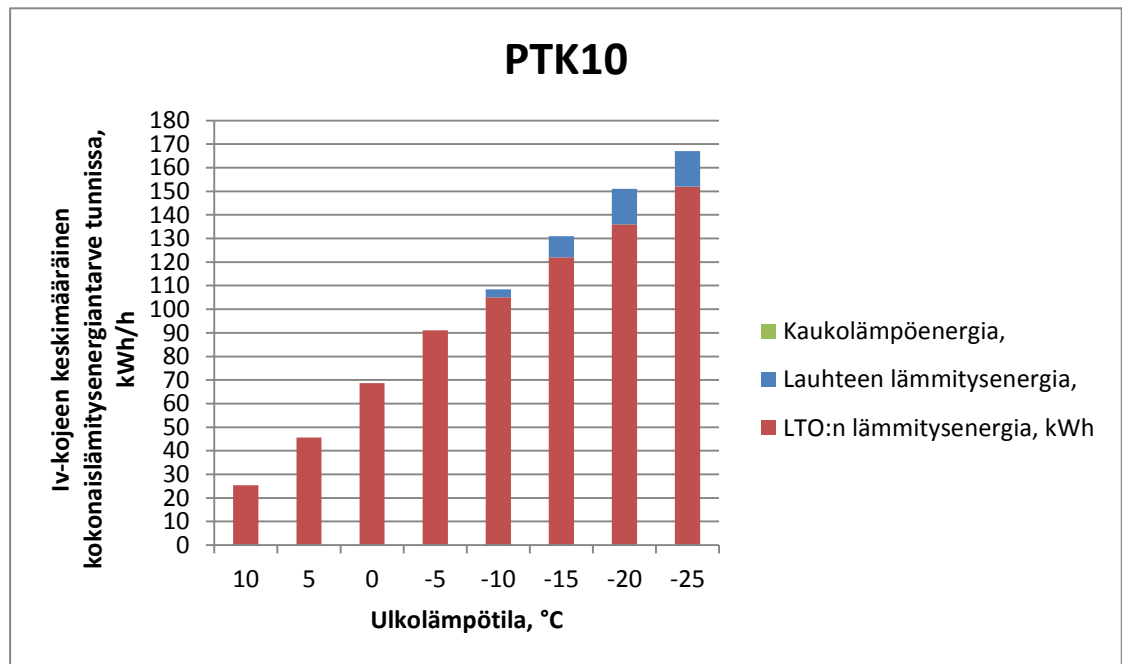
## 6 TULOKSET

Tulokset osiossa käsitellään mm. iv-kojeiden PTK10 ja PTK11 valittujen ulkolämpötilojen osalta keskimääräisen kokonaislämmitysenergiantarvetta ja jakautumista tunnissa sekä iv-kojeen PTK10 osalta tilavuusvirta ja SFP-lukulaskelmia. Näiden lisäksi osiossa käsitellään molempien iv-kojeiden sähkönkulutusta toisen ajanjakson osalta. Tulokset ovat esitetty joko taulukoina tai kuvien muodossa, ja niihin liittyy myös pieni selostus taulukosta/kuvasta niiden yläpuolella. Tulokset osion lopusta löytyvät tarkemmat analysoinnit kohdasta tulosten analysointi ja lopusta löytyy myös PTK10 iv-kojeen vertailu perinteiseen iv-kojeeseen.

Kuvassa 11 on esitetty iv-kojeen PTK10 valittujen ulkolämpötilojen osalta pylväsdiagrammina, kuinka keskimääräinen kokonaislämmitysenergiantarve jakautuu LTO:n ja lauhteen lämmitysenergioiden sekä kaukolämpöenergian osalta tuntitasolla. Kuvan pylväissä näkyy punaisella LTO:n lämmitysenergian osuus, sinisellä lauhteen lämmi-

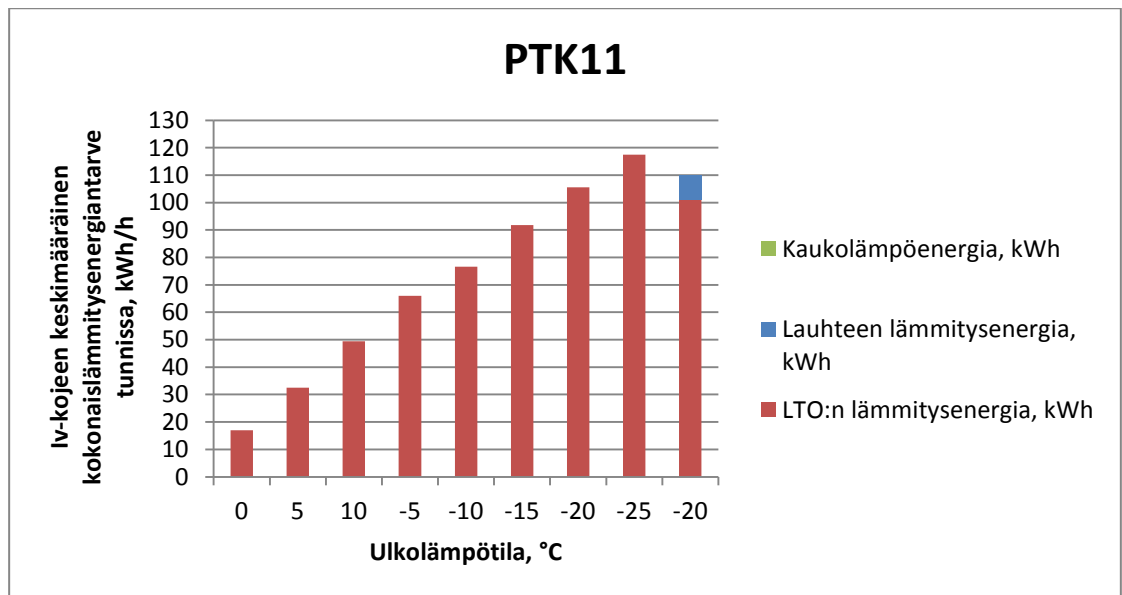


tysenergian osuus ja vihreällä kaukolämpöenergian osuus. Y-akselilla näkyy kyseisen iv-kojeen keskimääräinen kokonaislämmitysenergian tarve tunnissa. Iv-kojeen keskimääräinen kokonaislämmitysenergian tarve on laskettu valittujen keskimääräisten ulkolämpötilojen osalta keskimääräisillä tilavuusvirroilla.



**KUVA 11. PTK10 iv-kojeen keskimääräinen kokonaislämmitysenergian tarve tunnissa valituilla ulkolämpötiloilla**

Kuvassa 12 on esitetty iv-kojeen PTK11 valittujen ulkolämpötilojen osalta pylväsdiaagrammina kuinka keskimääräinen kokonaislämmitysenergian tarve jakautuu LTO:n ja lauhteen lämmitysenergioiden sekä kaukolämpöenergian osalta tuntitasolla. Kuvan pylväissä näkyy punaisella LTO:n lämmitysenergian osuus, sinisellä lauhteen lämmitysenergian osuus ja vihreällä kaukolämpöenergian osuus. Y-akselilla näkyy kyseisen iv-kojeen keskimääräinen kokonaislämmitysenergian tarve tunnissa. Iv-kojeen keskimääräinen kokonaislämmitysenergian tarve on laskettu valittujen keskimääräisten ulkolämpötilojen osalta keskimääräisillä tilavuusvirroilla. Kuvassa näkyvistä pylväistä oikean puoleisimmassa (-20°C) näkyy vertailun vuoksi osiossa kylmälaitteiden lauhde-energian käyttö mainitun lauhteen (18.01.2014) tilanne, jolloin lauhdeventtiili oli auennut.



**KUVA 12. PTK11 iv-kojeen keskimääräinen kokonaislämmitysenergiatarve tunnissa valituilla ulkolämpötiloilla**

Taulukossa 3 on laskettu tilavuusvirrat tulo- ja poistoilmalle eri puhaltimien pyörimisnopeuksilla. SFP-luvun laskennassa käytetään suurempaa tilavuusvirran arvoa (tulo/poisto) ja ne näkyvät taulukossa lihavoituna. PTK11 iv-kojeen tilavuusvirrat ovat laskettu samalla tavalla, ja niiden tulokset ovat liitteessä 3.

**TAULUKKO 3. PTK10 iv-kojeen tilavuusvirtalaskelmat**

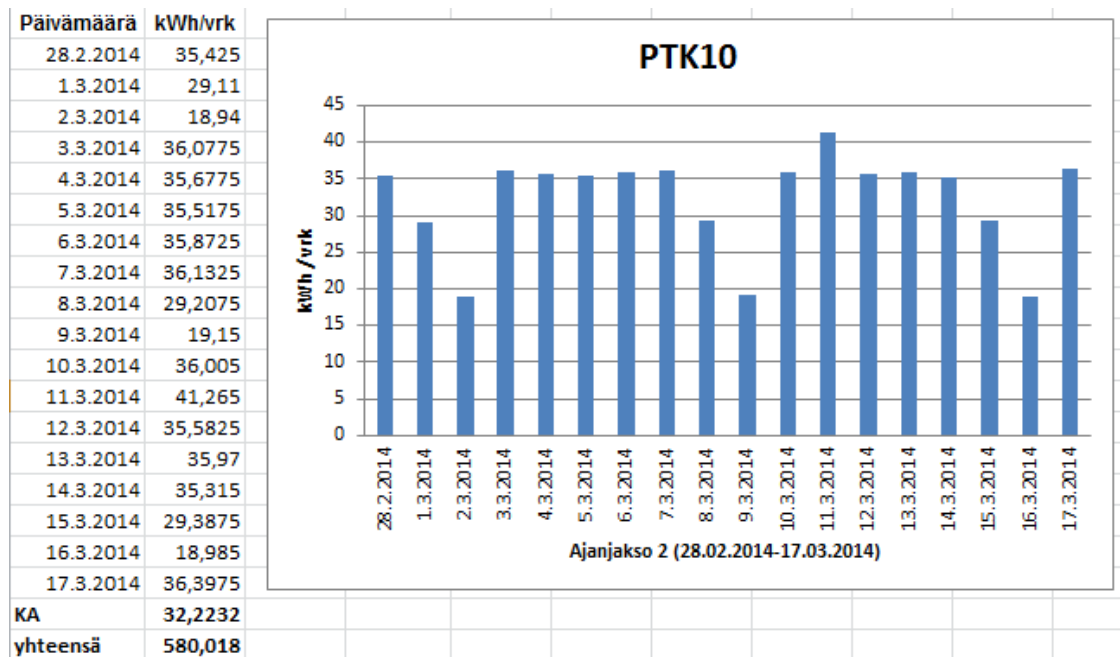
PTK10, $q_v$					
Pyörimisnopeus	K-kerroin	Paine-ero, tulo	Paine-ero, poisto	Tilavuusvirta, tulo	Tilavuusvirta, poisto
1/min		Pa	Pa	$m^3/s$	$m^3/s$
300	0,2775	115	110	<b>2,976</b>	2,910
450	0,2775	300	290	<b>4,806</b>	4,726
600	0,2775	565	590	6,596	<b>6,740</b>
750	0,2775	905	975	8,348	<b>8,665</b>

Taulukossa 4 on laskettu SFP-luvut eri puhaltimien pyörimisnopeuksilla ja ne näkyvät lihavoituna. PTK11 iv-kojeen SFP-luvut ovat laskettu samalla tavalla ja niiden tulokset ovat liitteessä 3.

TAULUKKO 4. PTK10 iv-kojeen SFP-luvun laskelmat

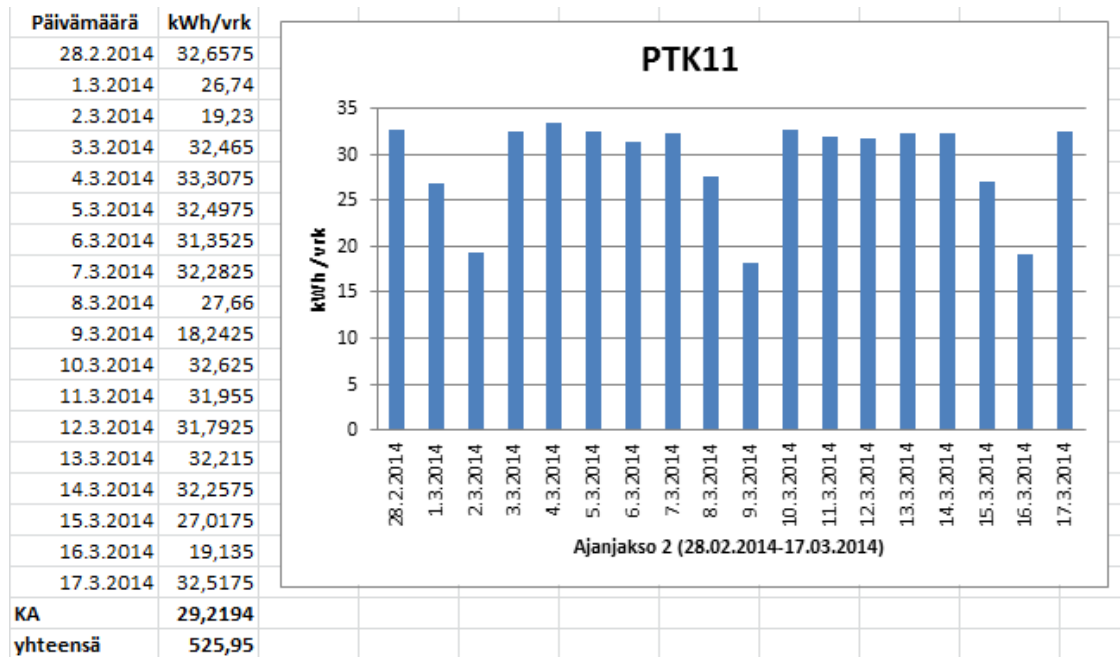
PTK10, SFP							
Pyöri- misno- peus	Käyn- titaa- juus	Tilavuus- virta, suurempi	Käyn- tivirta	Käynti- teho, tulo	Käynti- teho, poisto	Käynti- teho, yhteen- sä	SFP
1/min	Hz	m <sup>3</sup> /s	A	kW	kW	kW	kW / (m <sup>3</sup> /s)
300	20	2,976	13,9	0,61	0,5	1,11	<b>0,373</b>
450	30	4,806	19,9	1,72	1,58	3,3	<b>0,687</b>
600	40	6,74	27,4	3,88	3,62	7,5	<b>1,113</b>
750	50	8,665	35,7	7,35	7	14,35	<b>1,656</b>

Kuvassa 13 on laskettu ajanjaksolta 2 iv-kojeen PTK10 päivittäinen sähkönkulutus. Ajanjakson ensimmäinen päivä (28.02.2014) on perjantai ja viimeinen päivä (17.03.2014) on maanantai. Kuvan vasemmassa reunassa ovat päiväkohtaiset sähkönkulutukset lukuarvoina ja oikealla ovat samat tiedot pylväsdiagrammin muodossa. Iv-kojeen sähkönkulutus ensimmäiseltä ajanjaksolta löytyy liitteestä 4.



KUVA 13. PTK10 iv-kojeen sähkönkulutus ajanjaksolla 2

Kuvassa 14 on laskettu ajanjaksolta 2 iv-kojeen PTK11 päivittäinen sähkönkulutus. Samoin kuten edellisessä ajanjakson ensimmäinen päivä (28.02.2014) on perjantai ja viimeinen päivä (17.03.2014) on maanantai. Kuvan vasemmassa reunassa ovat päiväkohtaiset sähkönkulutukset lukuarvoina ja oikealla ovat samat tiedot pylväsdiagrammin muodossa. Iv-kojeen sähkönkulutus ensimmäiseltä ajanjaksolta löytyy liitteestä 4.



**KUVA 14. PTK11 iv-kojeen sähkönkulutus ajanjaksolla 2**

## 6.1 Tulosten analysointi

Laskelmien mukaan tehdystä pylväsdiagrammista voidaan havaita, että PTK10 iv-kojeen LTO pystyy pääasiallisesti tuottamaan lähes kaiken tarvittavan lämmitysenergian. Kuvasta voidaan myös havaita, että lauhteesta saatavaa lämmitysenergiaa tarvitaan hyvin vähän.

PTK11 iv-kojeen kokonaislämmitysenergian tarpeen määrittämisen avulla voidaan todeta, että kojeessa pyörivä lämmönsiirrin on erittäin tehokas, varsinkin kun ilmavirrat ovat mitoitusilmavirtoja pienemmät. Pyörivä lämmönsiirrin kykenee pitämään sisäänpuhallusilman lämpötilan haluttuna vaikka ulkolämpötila olisi reilusti pakkasen puolella. Kummankaan ajanjakson aikana lauhteesta saatavaa lämmitysenergiaa ei kyseisessä iv-kojeessa PTK11 juurikaan tarvittu.

SFP-lukua laskettaessa mittausvirheet on otettu huomioon, ja laskutapa on tätä tutkimusta ajatellen ollut oikea ja riittävän tarkka. Tulokset kertovat vahvasti siitä, että molempien iv-kojeiden SFP-luku on erittäin pieni.

Sähkönkulutus diagrammista voidaan havaita käyntiaikojen vaikutus iv-kojeiden sähkönkulutukseen. Arkisin kojeet ovat käynnissä 14,5 h, lauantaisin 11,5 h ja sunnuntaina kojeet pyörivät vain 7,0 h. Viikonlopun sähkönkulutus vuorokaudessa on huomattavasti pienempi kuin arkipäivinä. Sähkönkulutus on siis suoraan riippuvainen käyntiajoista. Molempien iv-kojeiden sähkönkulutusdiagrammit ovat muodoltaan hyvin samankaltaiset, ja tämän takia voidaan laskelmia pitää onnistuneina.

## 6.2 Vertailu perinteiseen iv-kojeeseen

Vertailussa keskityttiin pelkästään perinteisen iv-kojeen ja PTK10 iv-kojeen vertailuun SFP-luvun sekä hinnan osalta. Vertailu tehtiin FläktWoodsin Acon-mitoitusohjelmalla. Jotta SFP-luku saatiin selville, mitoitusohjelmaan rakennettiin mahdollisimman samankaltainen iv-koje kuin PTK10 iv-koje ja syötettiin valmistajan antamien mittaustulosten perusteella oikeat toiminta-arvot ohjelmaan. Tämän pohjalta rakennettiin perinteinen iv-koje ja syötettiin ohjelmaan samat toiminta-arvot. Näin saatiin SFP-luku myös perinteiselle iv-kojeelle. Iv-kojeet ovat rakenteeltaan melkein samanlaiset, ainoa ero on, että perinteisessä iv-kojeessa on yksi patteri (jäähdytyspatteri) enemmän kuin PTK10 iv-kojeessa.

Kun iv-kojeet oli saatu mallinnettua ja oikeat tiedot syötettyä, tämän jälkeen ohjelma antoi SFP-luvut molemmille iv-kojeille. Acon-mitoitusohjelman mukaan PTK10 iv-kojeen SFP-luku oli  $2,08 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  ja puolestaan perinteisen iv-kojeen SFP-luku oli hieman korkeampi,  $2,13 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Mitoitusohjelman antamat tulokset eivät aivan täsmää todellisuutta, mutta iv-kojeiden SFP-lukujen suhde on melko oikea.

Hintavertailun apuna käytettiin Talonrakennuksen kustannustieto 2005 –kirjaa. Kirjasta löytyy hintataulukko, jonka mukaan voidaan laskea iv-kojeille hinta /9/. Iv-kojeiden hinnat ovat koottu taulukkoon 5.

**TAULUKKO 5. Iv-kojeiden hinnat**

<b>Iv-koje</b>	<b>Hinta (€)</b>
PTK10	46 450
Perinteinen	50 550
<b>Hintaero</b>	4 100

PTK10 iv-kojeen hinta muodostuu peruskojeesta (sisältäen suodatuksen, lämmityksen ja valmiudet LTO- ja kiertoilman käytölle), poistoilmakojeesta, LTO:sta (pyörivä) sekä erillisistä lämmönsiirtimistä.

Perinteisen iv-kojeen hinta muodostuu puolestaan itse peruskojeesta (sisältäen suodatuksen, lämmityksen ja valmiudet LTO- ja kiertoilman käytölle), poistoilmakojeesta LTO:sta (pyörivä) sekä jäähdytyspatterista pumppuryhmineen.

**7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Iv-kojeiden energiatehokkuuden määrittämiseksi käytettiin tutkimuksessa rakennusautomaatiosta saatavia historiatietoja. Historiatietojen perusteella käyttäen erilaisia lasikutapoja saatiin selville, millaisia iv-kojeet ovat energiatehokkuuksiltaan. Historiasta oli mahdollista saada tietoa esimerkiksi siitä, kuinka kyseisissä iv-kojeissa oli käytetty lämmityksen tuottamisessa LTO:ta, lauhteesta saatavaa lämmitysenergiaa tai os-toenergiaa sekä oli mahdollista saada myös tietoa esimerkiksi siitä, kuinka kylmäprosessista syntynyttä lauhde-energiaa oli milläkin hetkellä käytössä. Kenttämittauksia tutkimuksessa oli iv-kojeiden SFP-lukujen määrittämisen osalta.

Pääasiassa tutkittavissa iv-kojeissa kokonaislämmitysenergian tarve on tuotettu pyörivällä LTO:lla. Iv-kojeissa pystytään käyttämään lauhteesta saatavaa lauhde-energiaa lämmitykseen erillisten siirtimien ja patterin avulla. PTK11 iv-kojeessa ei lauhdetta käytännössä tarvittu lainkaan eikä PTK10 iv-kojeessakaan lauhteesta saatavan lämmitysenergian osuus ollut suuri. Yhtenä tärkeänä johtopäätöksenä voidaan pitää sitä, että lauhde-energian käyttö jäi hyvin vähäiseksi, eikä ainakaan tämän tutkimuksen perusteella ollut järkevää rakentaa tämänkaltaisia järjestelmiä kyseisiin iv-kojeisiin. Alun perin oli suunnitelmisakin ollut, että vain yhteen iv-kojeeseen (PTK06) rakennetta-

siin järjestelmä, jossa lauhdetta voidaan hyödyntää, mutta tilaajan toiveesta samankaltaisia järjestelmiä tuli useampaan iv-kojeeseen.

LTO:n lämpötilasuhde on riippuvainen poistoilman lämpötilasta. Kyseisessä kohteessa on runsaasti sähköllä tuotettua lämpökuormaa, kuten valaistusta. Tämän lämpökuorman hyödyntäminen on hyvin tärkeää, ja sen takia poistoilmasta on pyrittävä ottamaan tuloilmaan mahdollisimman paljon lämpöä talteen. On siis järkevintä käyttää ensimmäisenä tuloilman lämmittämiseen pyörivää LTO:ta kuin esimerkiksi lauhteesta saatavaa lauhde-energiaa tai kaukolämpöä (ostoenergiaa). Koska kyseisissä iv-kojeissa on erittäin tehokkaat pyörivät lämmöntalteenottimet, oli turhaa rakentaa järjestelmiin kaksi erillistä lämmöntalteenottomahdollisuutta.

Lauhteen tuotto on riippuvainen kylmälaitteiden ympärillä olevista lämpökuormista sekä kylmälaitteiden käytöstä. Kesällä lauhteen tuotto on kuvien perusteella noin 30 % suurempaa kuin talvella johtuen juurikin suuremmista lämpökuormista. Kun asiakkaita on vähän ja kylmälaitteiden käyttö tämän takia vähäistä, myös lauhtetehon määräkin on pienempi. Tutkimuksen perusteella voidaan johtopäätöksenä pitää myös sitä, että lauhteesta saatava lauhde-energian määrä on niin pieni, että se ei riittäisi kattamaan monen eri iv-kojeen lämmitysenergian tarvetta.

Jo alkuvaiheessa tutkittavien iv-kojeiden suunnitteluissa pyrittiin mahdollisimman pieniin SFP-lukuihin. Tämä tavoite voidaan pitää saavutettuna, sillä SFP-luvun määrittämisen avulla voidaan todeta se, että molemmat iv-kojeet käyttävät siirrettävään ilmamäärän nähden hyvin vähän sähköä. Taulukoista voidaan todeta, että iv-kojeiden SFP-luvut pysyvät hyvin pieninä riippumatta siitä, mitkä ovat puhaltimien kierrosnopeudet.

Tutkittavat iv-järjestelmät on ns. "väljästi" mitoitettuja. Tästä johtuu esimerkiksi se, että rakennusautomaation historiasta saatavissa kuvissa näkyy paljon ns. "pomppuja" eli mittausvirheitä. Iv-kojeissa on hyvin pienet ilmavirrat, eikä rakennusautomaatio tämän takia ehdi säätöön mukaan. Näistä mittausvirheistä huolimatta kokonaisuudessaan järjestelmä toimii tasaisesti. Esimerkiksi haluttu sisäänpuhallusilman lämpötila pysyy koko ajan hyvin tasaisena.

Tutkimuksen aikana myös ilmeni yksi hyvä esimerkki siitä, kuinka tärkeää lämpötila-anturin sijoittaminen ja asentaminen on. Kun katsoo ja vertaa rakennusautomaatiosta LTO:n jälkeistä lämpötilaa tutkittavien iv-kojeiden välillä, niiden lämpötiloissa on muutaman asteen ero. Molemmissa iv-kojeissa on keskiarvoanturi, joka on sijoitettu heti LTO:n jälkeen ja asennettu iv-kojeen toisen laidan yläreunasta vinosti toisen laidan alareunaan. Muutaman asteen ero johtuu siitä, että LTO-kiekot pyörivät eri suuntiin ja toisessa iv-kojeessa anturi on niin sanotusti pidemmän aikaa kiekon lämpimämmällä puolella.

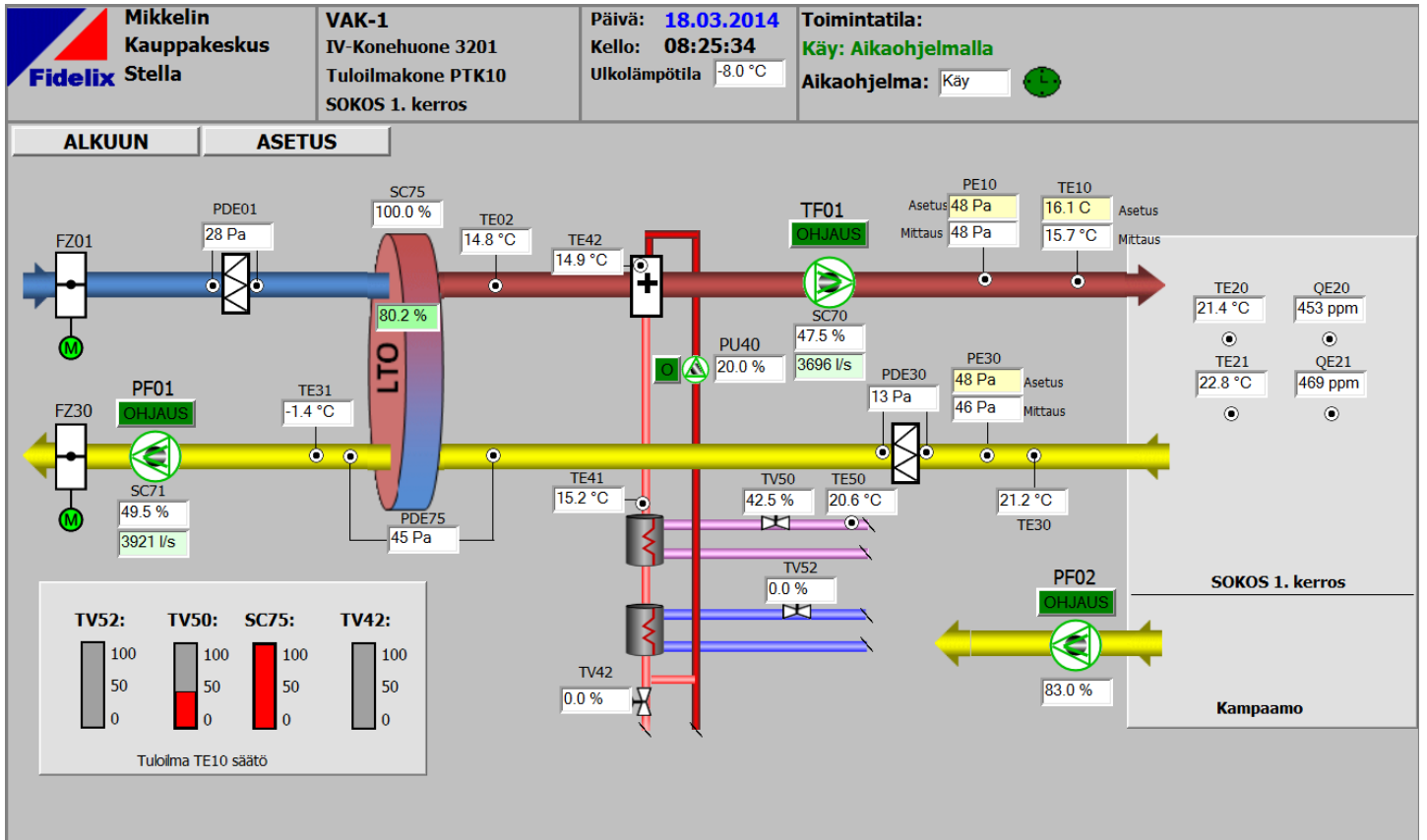
Perinteisen iv-kojeen ja PTK10 iv-kojeen vertailun perusteella voidaan todeta, että iv-kojeet ovat kustannustietokirjan mukaan hinnaltaan samaa luokkaa. SFP-luku on kuitenkin pienempi PTK10 iv-kojeessa, joten sähkökäytöltään PTK10 on perinteistä iv-kojetta taloudellisempi. Vertailun tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, ja todellisuudessa hintaero saattaisi olla hieman erilainen sekä SFP-luku olisi luultavasti PTK10 iv-kojeessa teoritietojen perusteella laskettua lukua vieläkin pienempi.

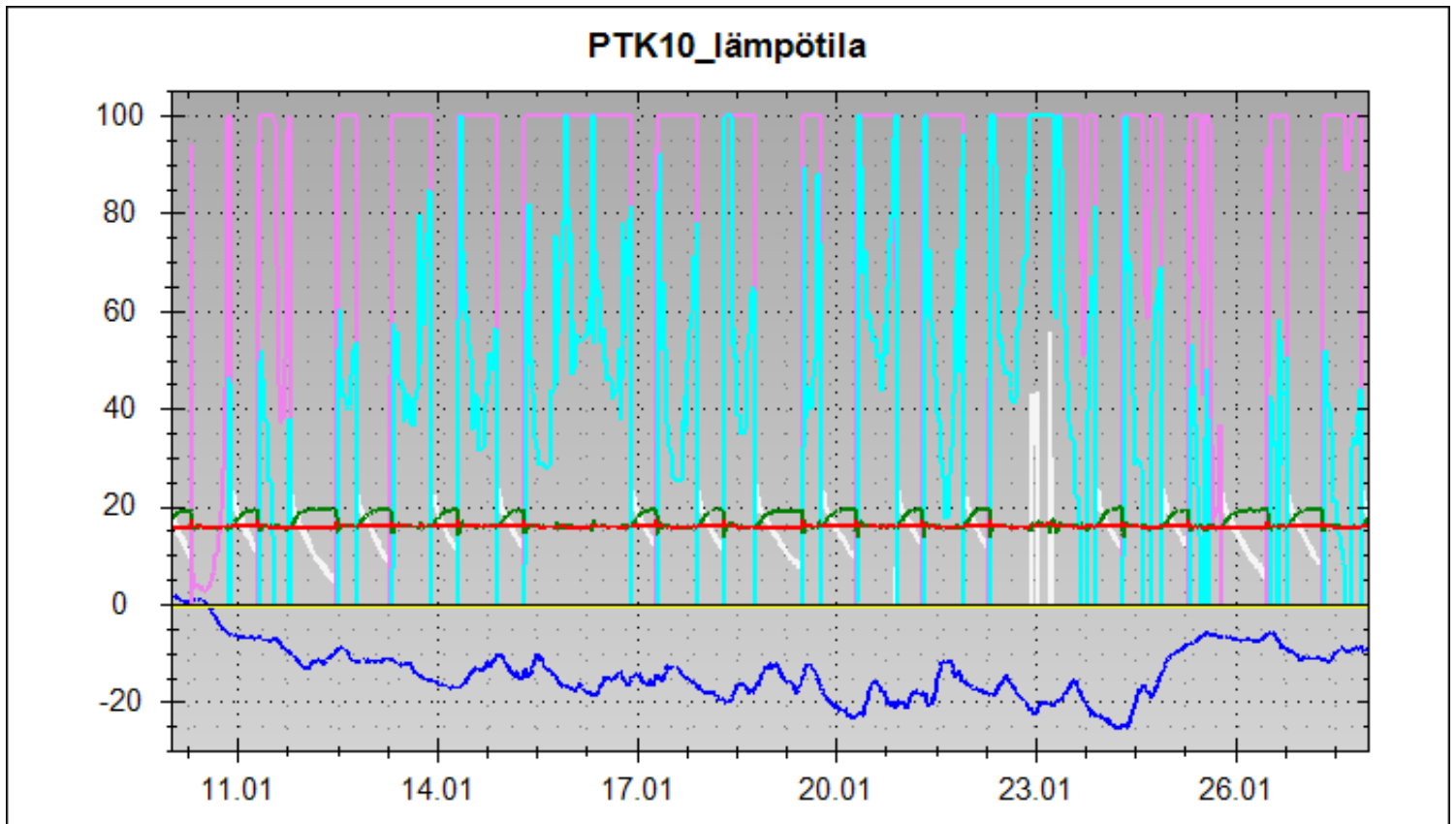


## 8 LÄHTEET

- /1/ Hakala, Pertti & Kaappola, Esko 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu, 1. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 268 s. ISBN 952-13-2297-7
- /2/ Aittomäki, Antero 2012. Kylmäteknikka, 4. painos. Porvoo: Bookwell Oy. 413 s. ISBN 978-951-96449-7-4
- /3/ Fläktwoods. Tekninen käsikirja, ilmapuhaltimet.
- /4/ Fläktwoods 2014. SFP-opas. Www-dokumentti.  
<http://www.flaktwoods.fi/476d6be3-be6e-42e9-bd82-6152ff71a7aa>. Päivitetty 22.01.2004. Luettu 15.01.2014.
- /5/ Ympäristöministeriö 2014. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2010. Pdf-dokumentti.  
[http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010\\_suomi\\_22-12-2008.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf). Luettu 20.01.2014
- /6/ Seppänen, Olli 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy. 427 s. ISBN 952-91-6896-9
- /7/ Motiva 2014. Kaupan kylmälaitteiden ja -järjestelmien lauhdelämmön talteenotto. Laskentaohje 04/2012. Pdf-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan\\_kylmalaitteiden\\_ja\\_jarjestelmien\\_lauhdellammon\\_talteenotto\\_Laskentaohje.pdf](http://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan_kylmalaitteiden_ja_jarjestelmien_lauhdellammon_talteenotto_Laskentaohje.pdf). Päivitetty 10.05.2012. Luettu 14.01.2014
- /8/ Fidelix 2014. Automaatio- ja turvallisuusratkaisut tehokkaaseen kiinteistöhallintaan. Pdf-dokumentti.  
[http://www.fidelix.fi/documents/FI/Fidelix\\_yleisesite\\_v4.5\\_12.09.2012\\_FIN\\_WEB.pdf](http://www.fidelix.fi/documents/FI/Fidelix_yleisesite_v4.5_12.09.2012_FIN_WEB.pdf). Päivitetty 12.09.2012. Luettu 16.01.2014
- /9/ Hahtela, Yrjänä & Kiiras, Juhani 2005. Talonrakennuksen kustannustieto. Tampere 2005: Tammer-Paino Oy. 388 s. ISBN 952-5403-06-8

PTK10 iv-kojeen toimintakuva, Fidelix FX-Net





**LTO (lila)**

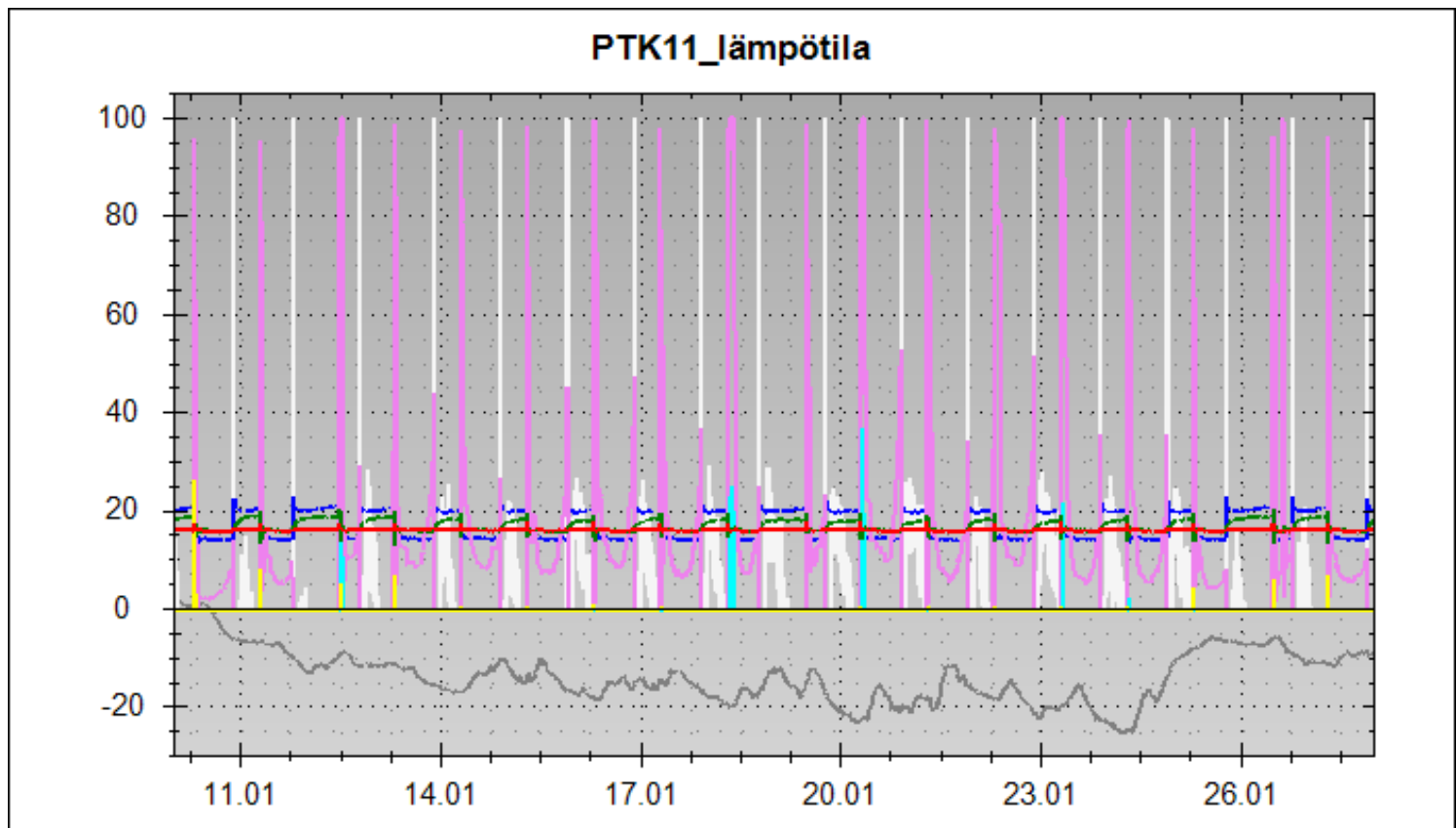
**Lauhdeventtiili TV50 (vaalean sininen)**

**Lämmitysventtiili TV42 valkoisella (valkoinen)**

**Tuloilman lämpötila (vihreä)**

**Ulkoilman lämpötila (sininen)**

**Jäähdytysventtiili TV52 (keltainen)**



**LTO (lila)**

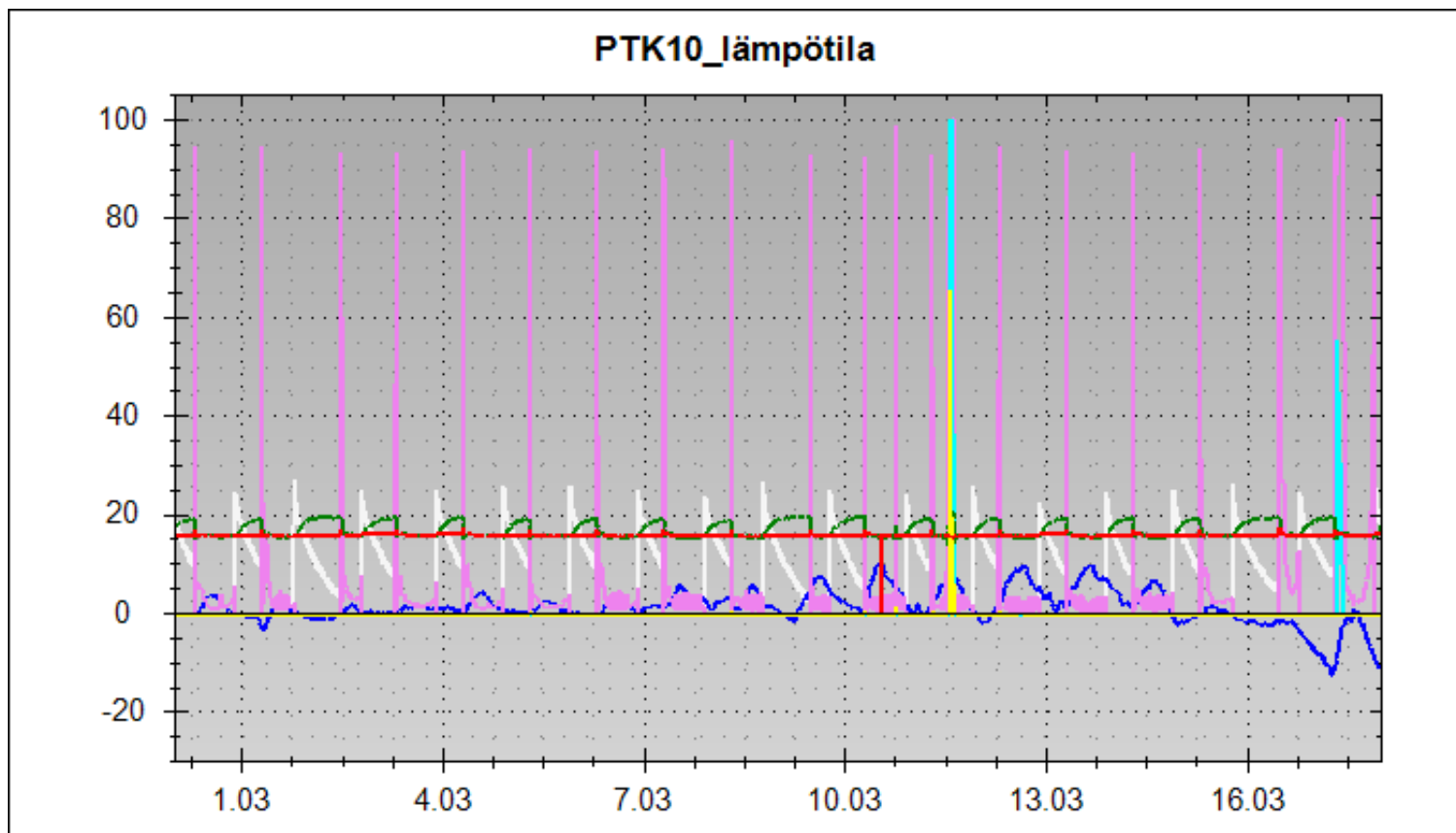
**Lauhdeventtiili TV50 (vaalean sininen)**

**Lämmitysventtiili TV42 valkoisella (valkoinen)**

**Tuloilman lämpötila (vihreä)**

**Ulkoilman lämpötila (harmaa)**

**Jäähdytysventtiili TV 52 (keltainen)**



**LTO (lila)**

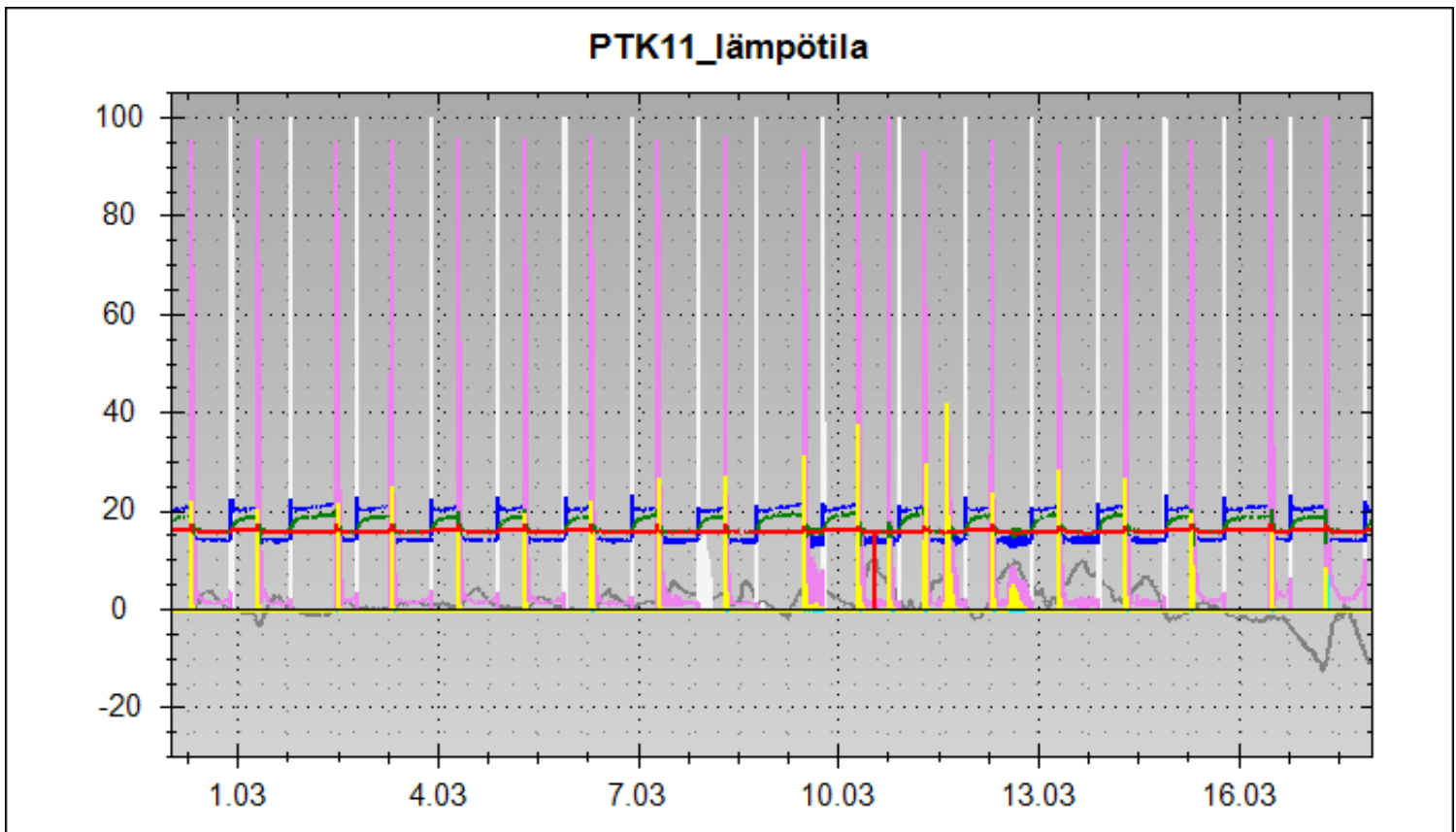
**Lauhdeventtiili TV50 (vaalean sininen)**

**Lämmitysventtiili TV42 valkoisella (valkoinen)**

**Tuloilman lämpötila (vihreä)**

**Ulkoilman lämpötila (sininen)**

**Jäähdytysventtiili TV52 (keltainen)**



**LTO (lila)**

**Lauhdeventtiili TV50 (vaalean sininen)**

**Lämmitysventtiili TV42 valkoisella (valkoinen)**

**Tuloilman lämpötila (vihreä)**

**Ulkoilman lämpötila (harmaa)**

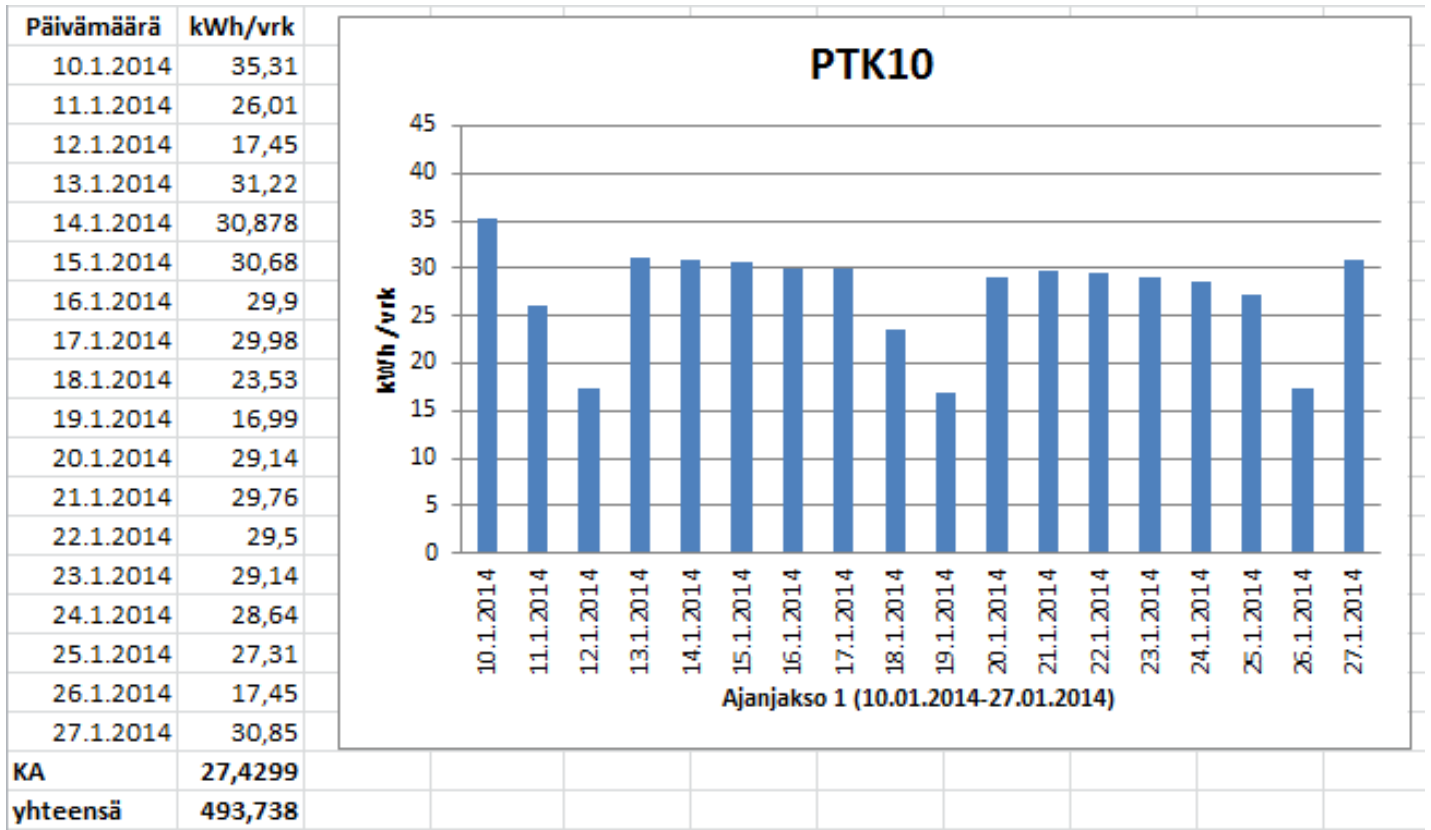
**Jäähdytysventtiili TV52 (keltainen)**

## PTK11 iv-kojeen tilavuusvirrat ja SFP-luvut

Stella PTK11 qv					
Pyöri- misno- peus	K- ker- roin	Paine-ero, tulo	Paine- ero, pois- to	Tilavuusvirta, tulo	Tilavuusvirta, poisto
1/min		Pa	Pa	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
300	0,172 2	125	160	1,925	<b>2,178</b>
450	0,172 2	350	385	3,222	<b>3,379</b>
600	0,172 2	705	740	4,572	<b>4,684</b>
750	0,172 2	1195	1200	5,953	<b>5,965</b>

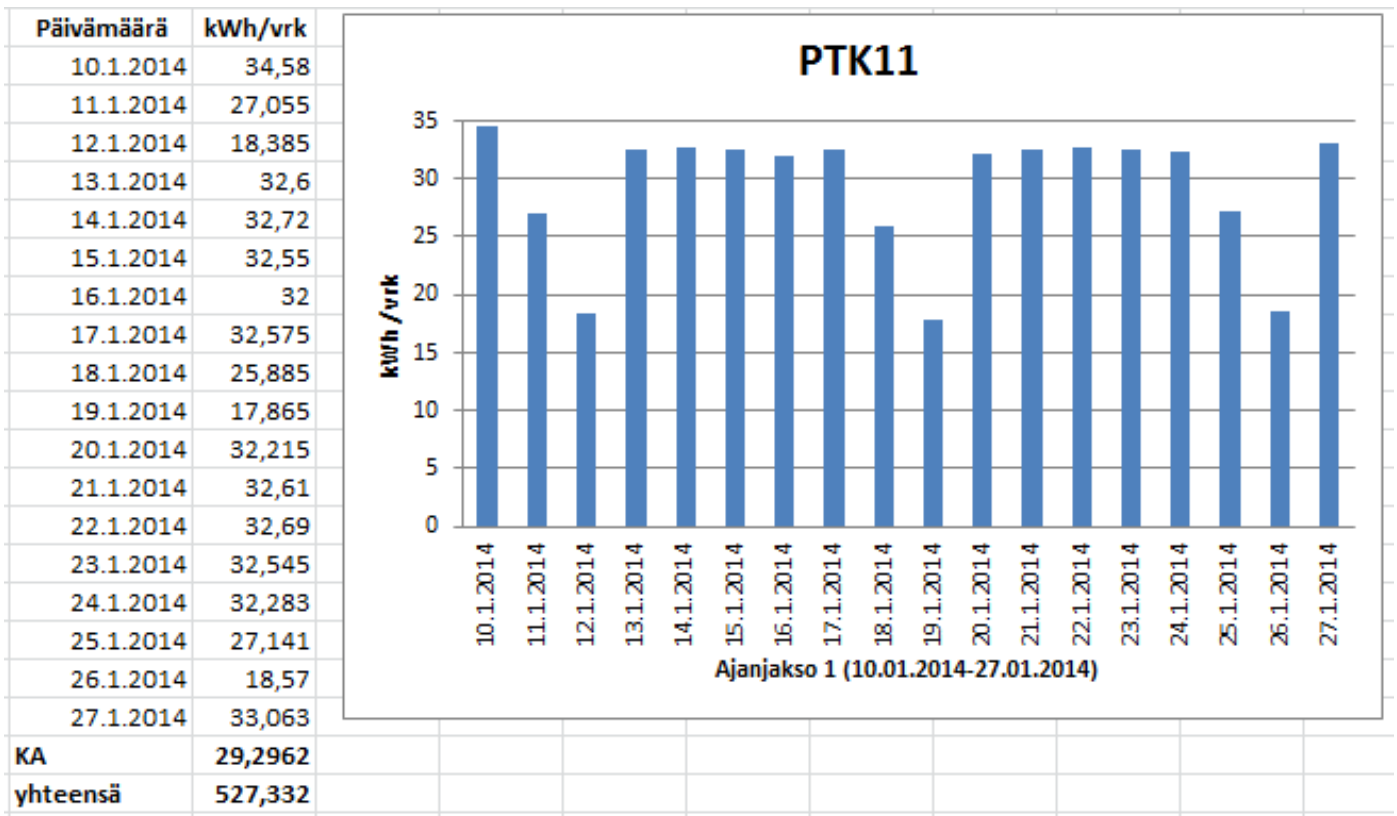
Stella PTK11 SFP							
Pyöri- misno- peus	Käyn- titaa- juus	Tilavuus- virta, suurempi	Käyn- tivirta	Käynti- teho, tulo	Käynti- teho, poisto	Käynti- teho, yhteen- sä	SFP
1/min	Hz	m <sup>3</sup> /s	A	kW	kW	kW	kW / (m <sup>3</sup> /s)
300	20	2,178	9,24	0,38	0,36	0,74	<b>0,340</b>
450	30	3,379	14,45	1,15	1,18	2,33	<b>0,690</b>
600	40	4,684	19,47	2,65	2,67	5,32	<b>1,136</b>
750	50	5,965	25,2	5,01	5,1	10,11	<b>1,695</b>

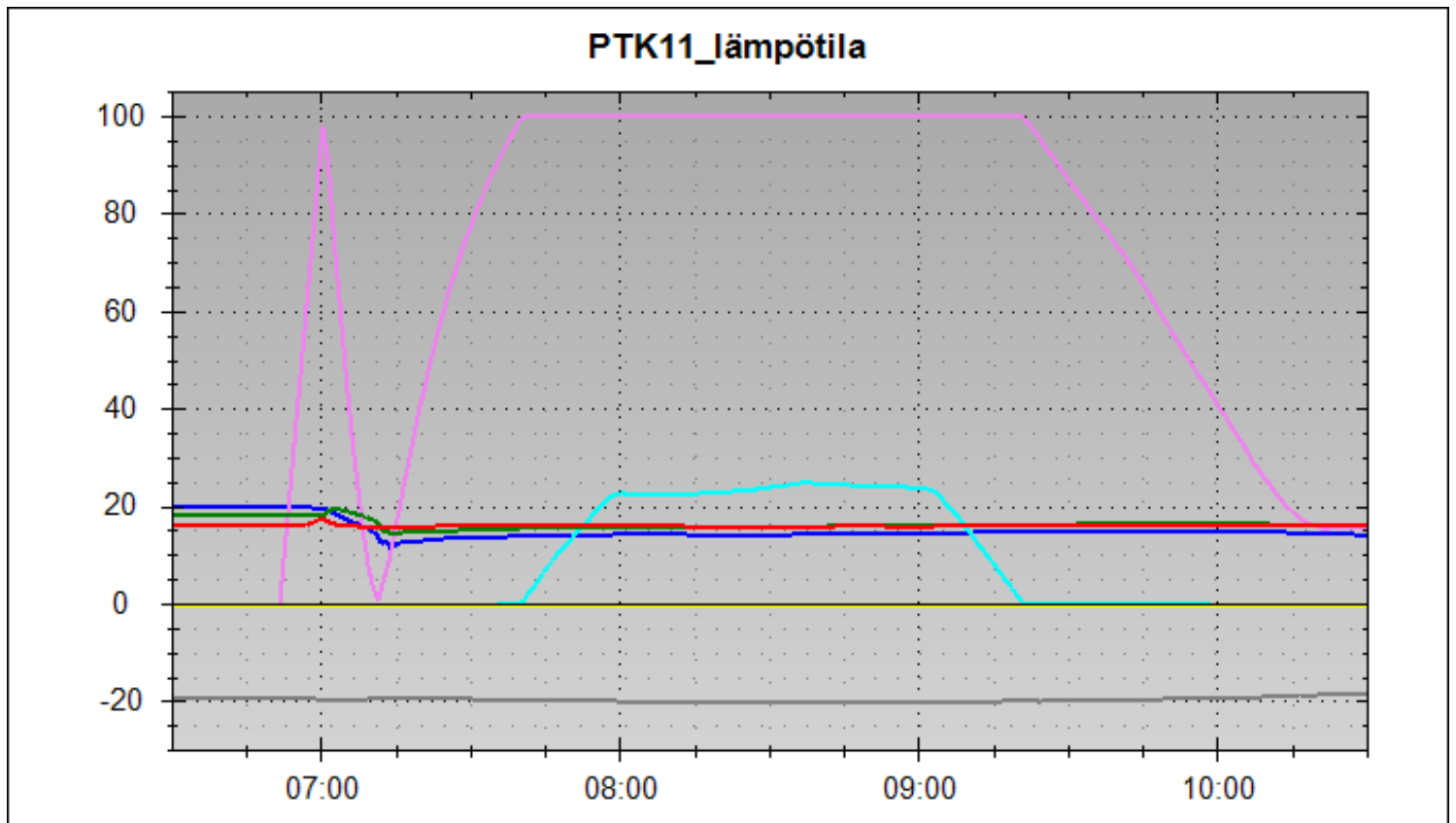
## Iv-kojeiden sähkönkulutukset ajanjaksolla 1





## Iv-kojeiden sähkönkulutukset ajanjaksolla 1





**LTO (lila)**

**Lauhdeventtiili TV50 (vaalean sininen)**

**Ulkoilman lämpötila (harmaa)**