

Pasi Espo

PIENEN MYYMÄLÄN
HIILIDIOKSIDIKYLMÄN
LÄMMÖNTALTEENOTTO

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 5.5.2014	
Tekijä(t) Pasi Espo	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Pienen myymälän hiilidioksidikylmän lämmöntalteenotto		
Tiivistelmä Työssä pyrittiin määrittelemään hiilidioksidi kylmän ja siihen lisätyn lauhdelämmön talteenoton kannattavuutta. Työssä oli myös tavoitteena määritellä ja avata joitakin hiilidioksidi jäähtyäkseen ja lauhdelämmön talteenotossa huomioitavia asioita. Työssä apuna käytettiin kahta Kymen Seudun Osuuskaupan myymälää Sale Husula ja Sale Poitsila. Teoriaa ja pohjatietoa työhön haettiin aikaisemmista julkaisuista, joissa aiheita käsiteltiin. Työssä suoritettiin myös IDA ICE-ohjelman avulla energia simulaatio kohteesta "Sale Husula". Kohteissa suoritettiin myös työn aikana lyhyt seurantamittaus. Mittauksessa tarkkailtiin lämmitysjärjestelmän, kylmäkoneikon ja kylmälaitteiden energiankulutusta. Lisäksi seurattiin lauhdelämmöstä talteen saatavaa energiaa erillisillä energiamittareilla, sekä useita lämpötiloja järjestelmien toiminnassa. Mittausten pohjalta arvioitiin ja määriteltiin järjestelmässä huomionarvoisia asioita. Mittaus tuloksiin pohjautuen laskettiin myös järjestelmien uusimisen kautta saatua taloudellista hyötyä. Saadun säästön avulla laskettiin myös yksinkertainen takaisinmaksuaika järjestelmä investoinnille. Laskettujen tulosten pohjalta arvioitiin järjestelmien ja investointien kannattavuus. Tämän työn osalta hiilidioksidi kylmälaitteisto osoittautui taloudellisesti melko kannattamattomaksi sijoitukseksi, mutta kylmäaineen valinta olikin perustunut määräyksiin ja ympäristöystävällisyyteen. Myös lisätyt kylmälaitteet väärivät tuloksia alkuperäisistä Lauhdelämmön talteenottojärjestelmä tulosten perusteella osoittautui kannattavaksi sijoitukseksi. Lämpötilatasoltaan matala talteen saatu energia tarvitsee kuitenkin tehokkaan hyödyntämiskohteen. Esimerkiksi lattialämmitys voidaan työn osalta todeta erittäin hyväksi vaihtoehdoksi energian käyttöön.		
Asiasanat (avainsanat) Myymälät, hiilidioksidi, kylmälaitokset, kylmätekniikka, lämmön talteenotto, lämmitys, energiankulutus		
Sivumäärä 59+50	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Kymen Seudun Osuuskauppa	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 5.5.2014
Author(s) Pasi Espo		Degree programme and option HVAC-engineering
Name of the bachelor's thesis The heat recovery of a small commercial refrigeration unit		
Abstract The goal of this thesis was to determine the cost efficiency of a carbon dioxide refrigeration unit and a condensation heat recovery system build into it. Finding and figuring out some noteworthy factors when dealing with similar systems, was also a major part of the thesis. Two convenience stores owned by Kymen Seudun Osuuskassa were used in this thesis. Stores Sale Husula and Sale Poitsila had their heating, ventilation and refrigeration systems renewed in the fall of 2013. Both stores have a condensation heat recovery system in them. Basis and basic theory behind the thesis was acquired from previous research and studies. An energy consumption simulation of Sale Husula was made using program "IDA ICE". Also a short monitoring measurement was conducted in both stores. Heating systems, refrigeration units and refrigeration devices energy consumption was monitored among other things like energy recovered from condensation and various temperatures. On the basis of measurements, several noteworthy subjects were thought upon. From the energy consumptions we were also able to determine the operating cost reduction compared to the old systems. The acquired savings from the new systems were used to calculate a simple reimbursement times for the investments. Savings earned by using condensation heat recovery were also considered. Reimbursement time was calculated for condensation heat recovery using the energy price of several forms. On the basis of the calculations performed in this thesis, an assessment of the systems installed in the stores was made. Also the need for future research about the subject was discussed. On the grounds of this research, carbon dioxide refrigeration is relatively low on cost efficiency in convenience stores. The main reasons for choosing CO ₂ do lye in environment friendliness and keeping up with the current and future legislations regarding refrigerants'. Heat recovery from condensation was stated to be quite cost efficient by this research. The challenge with condensation heat recovery is its low temperature level. Therefore it is critical to design the system with the use of low level heat in mind. For example floor heating solutions could be considered as an excellent choice when using condensation heat recovery.		
Subject headings, (keywords) Commercial refrigeration, carbon dioxide, heating, heat recovery, energy consumption		
Pages 59+50	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Veuro		Bachelor's thesis assigned by Kymen Seudun Osuuskassa

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HIILIDIOKSIDI KYLMÄAINEENA	2
2.1	Ympäristöhaitat.....	2
2.2	Fysikaaliset ominaisuudet.....	4
2.3	Käyttöturvallisuus.....	4
2.4	Prosessit	5
2.4.1	Alikriittinen prosessi.....	5
2.4.2	Transkriittillinen prosessi.....	6
2.5	Kytkenät.....	7
2.5.1	Erilliskoneistot (suora ja välillinen).....	7
2.5.2	Kaskadikytkeä.....	9
2.5.3	Kaskadikoneisto.....	10
2.5.4	Kaksiportainen koneisto.....	11
2.5.5	Transkriittillinen CO ₂ -koneisto.....	12
2.5.6	Booster-koneisto	14
2.6	Putket ja komponentit	15
2.6.1	Putket	15
2.6.2	Kompressorit.....	16
2.6.3	Pumput	16
2.6.4	Lämmönsiirtimet.....	16
2.6.5	Säätö- ja varolaitteet	17
3	LAUHDELÄMPÖ	17
4	LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN	18
4.1	Lämpökaivojen varaaminen.....	20
4.2	Lauhdelämmön talteenoton esimerkkikytkeä.....	20
4.2.1	Kytkeä A	21
4.2.2	Kytkeä B	22
4.2.3	Kytkeä C	23
4.2.4	Kytkeä D	24
5	ESIMERKKIKOhteet.....	25
6	IDA-MALLINNUS KOhteesta	27

7	MITTAUSJÄRJESTELY	29
8	MITTAUSTULOKSET	30
8.1	Mittausten johtopäätökset	39
9	ENERGIAN KULUTUS.....	41
9.1	Husulan Sale	41
9.2	Poitsilan Sale	42
9.3	Lauhdelämmön talteenotto	43
9.4	Verrattuna IDA ICE simulaatioon	43
10	KANNATTAVUUS.....	44
10.1	Sale Husula	45
10.2	Sale Poitsila	47
10.3	Vertailut	50
11	YHTEENVETO	53
	LÄHTEET	56

LIITTEET

- 1 Yksinkertainen malli Salejen kylmälaitekytkennästä
- 2 IDA ICE tulokset Sale Husula
- 3 IDA ICE tulokset Vertailurakennus
- 4 Salejen lauhdelämmön energiamittareiden sijainti
- 5 Husula imulämpötilat
- 6 Husula lauhtumislämpötilat
- 7 Husula LTO meno ja paluu lämpötilat (kylmäainepuoli)
- 8 Husula LTO varaajan lämpötila
- 9 Poitsila imulämpötilat
- 10 Poitsila lauhtumislämpötilat
- 11 Poitsila LTO meno ja paluu lämpötilat (kylmäainepuoli)
- 12 Poitsila LTO varaajan lämpötila
- 13 Mittauspöytäkirja Sale Husula
- 14 Mittauspöytäkirja Sale Poitsila

1 JOHDANTO

Työn toimeksiantajana on Kymen Seudun Osuuskauppa ja avustavana tahona Insinööri-toimisto Linos Oy. Opinnäytetyössä perehdytään kaupan hiilidioksidikylmäjärjestelmiin ja niistä saatavaan lauhdelämpöön. Tavoitteena on selvittää lauhdelämmön talteenoton kannattavuutta hiilidioksidikylmäjärjestelmän yhteydessä. Työssä pyritään myös selvittämään lauhdelämmön toimintalämpötiloja, talteen saadun energian määrää sekä määrittelemään huomioitavia asioita lauhdelämmön talteenottojärjestelmää toteutettaessa.

Työssä käytettiin esimerkkeinä kahta Kymen Seudun Osuuskaupan Sale myymälää, Sale Husula ja Sale Poitsila. Kohteisiin oli uusittu syksyn 2013 aikana muun muassa kylmälaitteisto. Laitteiston uusimisen yhteydessä uudeksi kylmäaineeksi valittiin hiilidioksidi. Laitteistoon liitettiin myös lauhdelämmön talteenotto, jolla toivottiin saata-
van säästöjä rakennusten lämmityskustannuksiin.

Hiilidioksidikylmän ja lauhdelämmön teoriaan perehdyttiin aikaisempien aiheisiin liittyvien julkaisujen avulla, tavoitteena oli käydä lyhyesti mutta kattavasti aiheita lävitse. Asioiden yhteydessä esiteltiin myös joitakin kytkentäesimerkkejä ja huomion arvoisia asioita järjestelmiin liittyen.

Kohteesta Sale Husula tehtiin myös IDA ICE-ohjelmalla energiasimulaatio. Simulaatiota käytettiin rakennuksen vertailuun sekä yleisen kuvan luomiseksi rakennuksesta. Rakennusta vertailtiin samankokoiseen rakennusmääräyskokoelman mukaiseen vertailurakennukseen.

Saleissa suoritettiin myös seurantamittauksia. Seurattiin lämmitysjärjestelmien, kylmäkoneikkojen ja kylmälaitteiden energiankulutusta kohteissa. Myös lauhdelämmöstä saatua energiaa tarkasteltiin energiamittareiden avulla. Kylmäjärjestelmän lämpötiloja seurattiin mittauksien aikana.

Näiden mittausten pohjalta todettiin huomioitavia asioita vastaavanlaisia järjestelmiä toteutettaessa. Suoritettiin myös vertailu vanhojen järjestelmien ja uusien järjestelmien energiankulutuksen osalta.

Energiamittauksien pohjalta voitiin laskea saatuja taloudellisia säästöjä. Lauhdelämmön talteenotolla saatu säästö laskettiin eri energialähteiden mukaan. Säästöjen kautta saatiin myös laskettua yksinkertainen takaisinmaksuaika, jonka avulla arvioitiin sijoitusten kannattavuutta.

2 HIILIDIOKSIDI KYLMÄAINEENA

Hiilidioksidi on viime vuosina nostanut voimakkaasti suosiotaan kylmäaineena suuremmissa sekä pienemmissä kylmälaitoksissa. Tähän suurimpina syinä voidaan pitää hiilidioksidin ympäristöystävällisyyttä verrattuna perinteisiin kylmäaineisiin sekä määräykset, jotka kieltävät ”perinteisten” kylmäaineiden käytön kokonaan tai osittain (esimerkiksi Suomessa HCFC-aineiden kieltö 1.1.2015 alkaen) [16; 20; 22]. Hiilidioksidi poikkeaa kuitenkin joiltakin osin muista kylmäaineista ja edellyttää tiettyjen asioiden huomioon ottamista järjestelmän suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä. [7; 8; 9; 10;18.]

2.1 Ympäristöhaitat

Hiilidioksidi on merkittävin ihmisen tuottama kasvihuonekaasu, mutta se on silti erittäin ympäristöystävällinen kylmäaine.

Kylmäaineiden yhteydessä niiden ympäristöhaitallisuutta mitataan kolmella eri arvolla: GWP, ODP ja TEWI. GWP-arvolla kuvataan kylmäaineen ilmaston lämpenemisaikutusta esimerkiksi sadan vuoden aikajaksolla (yleisin käytetty aika), ja se tulee sanoista Global Warming Potential. GWP-arvoa verrataan aina hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen (GWP-arvo on 1), eli 1610 GWP-arvoltaan oleva kylmäaine R407C vastaa ilmastonlämmittävyydeltään 1610 kg hiilidioksidia. [16.]

Toinen arvo kylmäaineiden ympäristöhaitan mittaamiseksi on ODP, mikä tulee sanoista Ozone Depletion Potential. ODP-arvo kuvastaa kylmäaineen otsonin tuhoamisvaikutusta stratosfäärissä. ODP-asteikko on suhteutettu aineeseen R11, jonka ODP-arvo on 1. ODP-asteikko on väliltä 0-1. [16.]

TEWI-arvolla kuvataan koko kylmälaitteiston ympäristöhaittaa eli kylmäaineen ympäristöhaittaa sekä laitteiston energian kulutuksen kautta tullutta ympäristöhaittaa kg:na hiilidioksidia 100 vuoden ajanjaksolle. TEWI tulee sanoista Total Equivalent Warming Impact. Mitä suurempi TEWI-arvo, sitä haitallisempi järjestelmä on ympäristölle. TEWI-asteikon pienin mahdollinen arvo on nolla. [16.]

Taulukossa 1 on esitetty joidenkin kylmäaineiden GWP- ja ODP-arvoja.

TAULUKKO 1. Kylmäaineiden GWP ja ODP arvoja [23]

Aine	Tunnus	Tyyppi	GWP (100 vuotta)	ODP
Hiilidioksidi	R744	Luonnollinen	1	0
Ammoniakki	R717	Luonnollinen	0	0
Kloorifluorimetaani	R22	HCFC	1700	0,05
Tetrafluorietaani	R-134a	HFC	1300	0
Vetyfluorihilisekoitus	R407C	HFC-sekoitus	1610	0
Propani	R290	HC	3	0
Vetyfluorihilisekoitus	R404A	HFC-sekoitus	3,92	0

Taulukosta 1 on selvästi huomattavissa hiilidioksidin ympäristöystävällisyys kylmäaineena. Mutta myös ammoniakki ja hiilivedyt, kuten propaani, ovat hyvin ympäristöystävällisiä. Ongelmana ammoniakissa on kuitenkin sen myrkyllisyys ja kyky muodostaa palava seos ilman kanssa. Hiilivedyt puolestaan ovat paloherkkiä kylmäaineita, joka aiheuttaa myös omat vaikeutensa kylmälaitoksen suunnittelussa ja toteutuksessa. [16.]

Kylmäjärjestelmät eivät ole aivan tiiviitä, ja pieniä vuotoja sattuu aina, myös isomman vuodon yhteydessä kylmäaineiden ympäristöhaitallisuudella on merkityksensä. Kylmäprosessissa käytettävä hiilidioksidi voidaan lisäksi ottaa lähteistä, joissa se muuten pääsisi ilmakehään [1]. Hiilidioksidi on myös tehokkuudeltaan kylmäaineena hyvä, usein päästään joko vastaaviin tehokkuusluokkiin kuin muilla kylmäaineilla tai jopa hieman parempiin.

Ympäristöystävällisyyden noustua eräänlaiseksi imagokysymykseksi ovat yritykset usein halukkaita sijoittamaan ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin.

2.2 Fysikaaliset ominaisuudet

Hiilidioksidi on hyvä lämmönsiirtoneste lämmönsiirtokapasiteettinsa ja tilavuustuotonsa vuoksi. Hiilidioksidin yhteydessä on kuitenkin muistettava sen alhainen kriittinen lämpötila, mutta korkea kriittinen paine. Taulukossa 2 onkin esitetty joidenkin kylmäaineiden kriittisen lämpötilan ja paineen arvoja. Taulukosta käy hyvin ilmi hiilidioksidin kriittisen lämpötilan alhaisuus sekä korkeahko kriittinen paine. [15.]

TAULUKKO 2. Kylmäaineiden kriittisiä arvoja [15]

Aine	Kriittinen lämpötila	Kriittinen paine
R744, Hiilidioksidi	31,0 °C	73,8 bar
R717, Ammoniakki	132,3 °C	113,3 bar
R404A	72,0 °C	37,3 bar
R134a	101,1 °C	40,6 bar

2.3 Käyttöturvallisuus

Hiilidioksidi on täysin hajutonta sekä väritöntä, ja näin ollen sitä ei voida havaita ihmisäistien. Hiilidioksidipitoisuuden noustessa riittävän korkealle on hiilidioksidi myös ihmiselle vaarallista. Näinpä tilat, joissa on riski hiilidioksidivuodolle, tulee varustaa hiilidioksidi-ilmaisimilla sekä riittävällä tuuletuksella.

Hiilidioksidipitoisuuden tulee kuitenkin olla todella korkea, ennen kuin todellista riskiä aiheutuu (50 000 ppm). Yleinen hiilidioksidi pitoisuus ulkoilmassa on 350 - 400 ppm. Hiilidioksidi kuuluukin kylmäaineiden turvallisuusluokituksessa A1-luokkaan. Tämä tarkoittaa, että hiilidioksidi on käytännössä myrkytön eikä myöskään kykene muodostamaan palavaa seosta ilman kanssa. Tämän johdosta hiilidioksidi soveltuu myös suoraan jäähdytykseen. [16.]

Hiilidioksidin fysikaalisten ominaisuuksien johdosta järjestelmän painetaso tulee olemaan korkea, ja tämä aiheuttaa omat vaatimuksensa järjestelmälle. Toisaalta hiilidioksidin suuren tiheyden johdosta kylmäainetilavuus tulee olemaan pienempi. Täten ei järjestelmässä kuitenkaan ole suurta ”räjähdysvoimaa”. [1.]

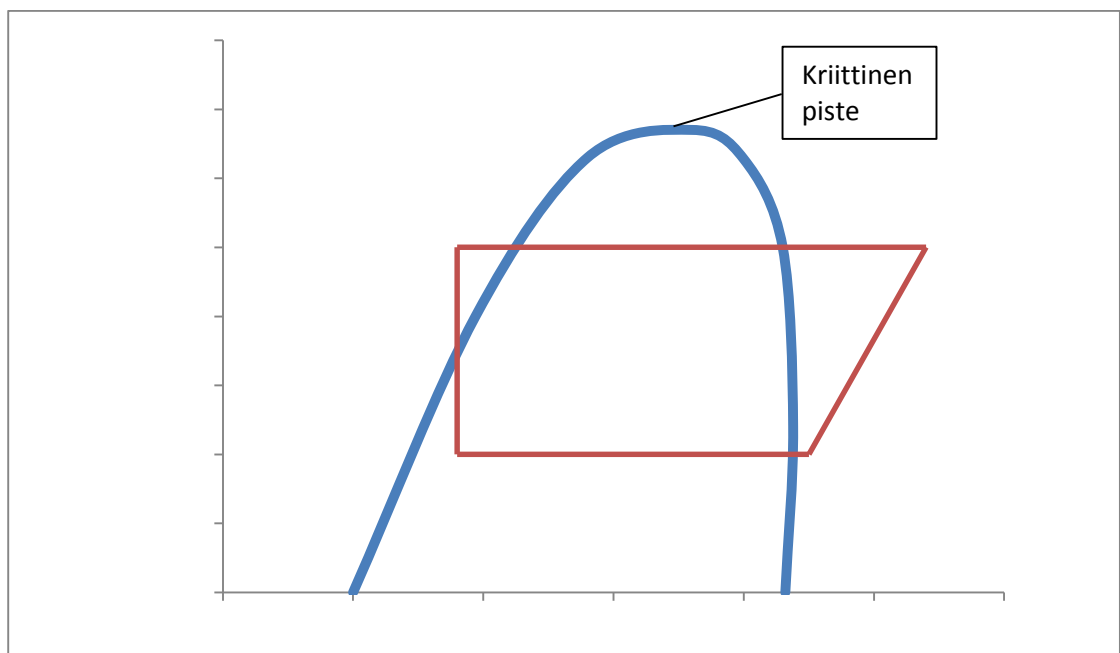
2.4 Prosessit

2.4.1 Alikriittinen prosessi

Alikriittinen kylmäprosessi on kriittisen pisteen alapuolella toimiva prosessi, jossa lauhdelämmön luovutus tapahtuu kylmäaineen lauhtuessa. Alikriittinen prosessi sopii hyvin käytettäväksi pakastuslaitoksiin ja pakkasvarastoihin hiilidioksidia käytettäessä. Kaikki perinteiset kylmäprosessit ovat alikriittisiä perinteisten kylmäaineiden kriittisen pisteen paine- ja lämpötilatason korkeuden johdosta. [1.]

Alikriittisen prosessin etuina voidaan pitää matalaa painetasoa ja sen mukanaan tuomia etuja, esimerkiksi laitteiden paineenkestovaatimukset. Alikriittisellä prosessilla toimivan kylmälaitoksen investointikustannukset ovat yleisesti pienemmät kuin transkriittillisen (eli ylikriittillisen).

Kuvassa 1 on esitetty alikriittisen prosessin perusmalli $\log p, h$ -piirroksessa.



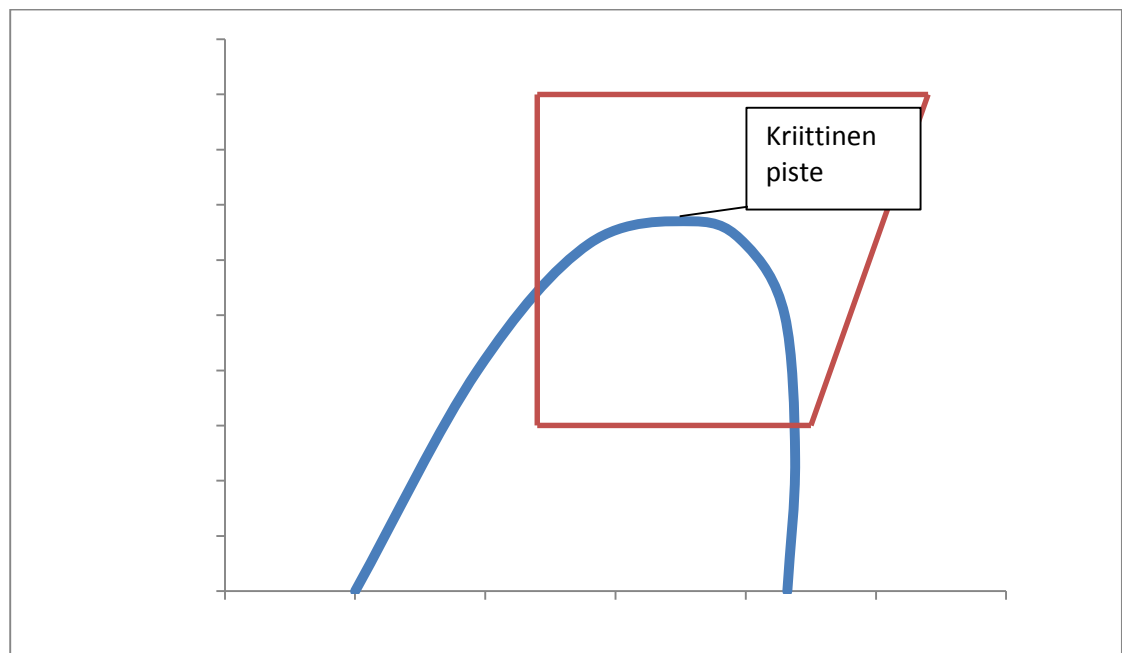
KUVA 1. Alikriittinen prosessi $\log p, h$ -piirroksessa

2.4.2 Transkriittillinen prosessi

Transkriittillisessä, kutsutaan myös ylikriittilliseksi, prosessissa korkeapuolen paine ja lämpötila ovat kriittistä pistettä suurempia. Kylmäaine on kriittisen pisteen yläpuolella niin sanottua transkriittillistä (ylikriittillistä) fluidia. Tästä syystä ei korkeapainepuolella tapahdu lauhtumista vaan ainoastaan jäähtymistä. Höyrystyminen tapahtuu transkriittillisessäkin prosessissa kriittisen pisteen alapuolella. Käytettävä korkeapainepuolen painetaso tulee valita kohdekohtaisesti. [1; 14.]

Transkriittillisen prosessin huonoina puolina ovat korkeat painetasot. Nämä vaativat erityistä huomiota järjestelmän suunnittelussa, toteutuksessa sekä käytössä, esimerkiksi järjestelmän eri laitteilta vaaditaan korkeaa paineenkestokykyä.

Kuvassa 2 on esitetty miltä yksinkertaistettu transkriittillinen prosessi näyttää log p, h -piirroksessa.



KUVA 2. Transkriittillinen prosessi log p, h -piirroksessa

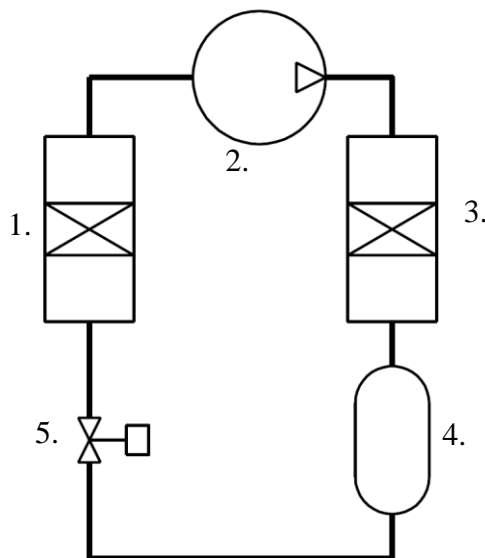
2.5 Kytkenät

Hiilidioksidikylmälle on olemassa erilaisia kytkentävaihtoehtoja, näihin lukeutuvat muun muassa seuraavassa esitetyt kytkennät. Jokaisen kytkennän toiminta periaate on käyty lävitse kytkennän yksinkertaisen kytkentäkuvan yhteydessä.

2.5.1 Erilliskoneistot (suora ja välillinen)

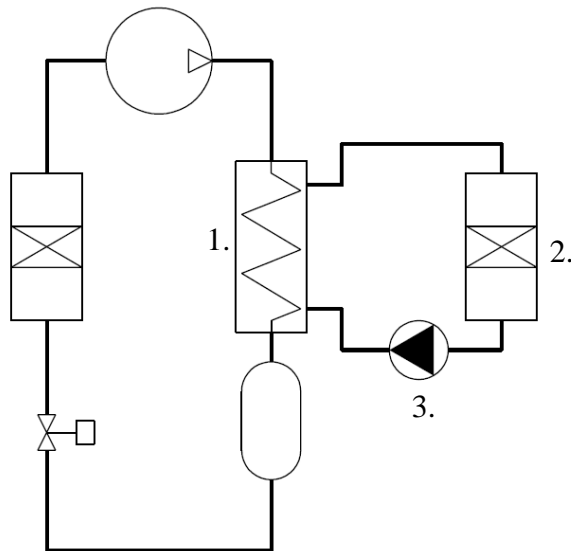
Erilliskoneistokytkennällä tarkoitetaan kytkentää, jossa on erilliset matala- ja korkea-lämpötilapiirit (kaupan kylmässä myös nimellä pakkas- ja kylmäpiirit). Piirit voivat olla joko suoria tai välillisiä sekä lauhdutukseltaan että höyrystykseltäänkin. [1.]

Kuvassa 3 on esitetty suoralla lauhdutuksella oleva erilliskoneisto ja kuvassa 4 puolestaan välillisellä lauhdutuksella oleva erilliskoneisto.



KUVA 3. Erilliskoneisto matalalämpötilapiiri [1]

Kuvassa 3 kylmäaine höyrystyy höyrystimessä (1.), jonka jälkeen siirtyy kompressorille (2.), jossa kylmäaineen painetasoa nostetaan. Tämän jälkeen kylmäaine lauhdetaan lauhduttimessa (3.). Lauhtunut kylmäaine virtaa nestesäiliölle (4.), minkä jälkeen kylmäaineen painetaso pudotetaan paisuntaventtiilin (5.) avulla. Tästä kylmäaine palaa takasin höyrystimelle (1.) ja aloittaa uuden kiertokulun.



KUVA 4. Erilliskoneisto matalalämpötilapiiri välillisellä lauhdutuksella [1]

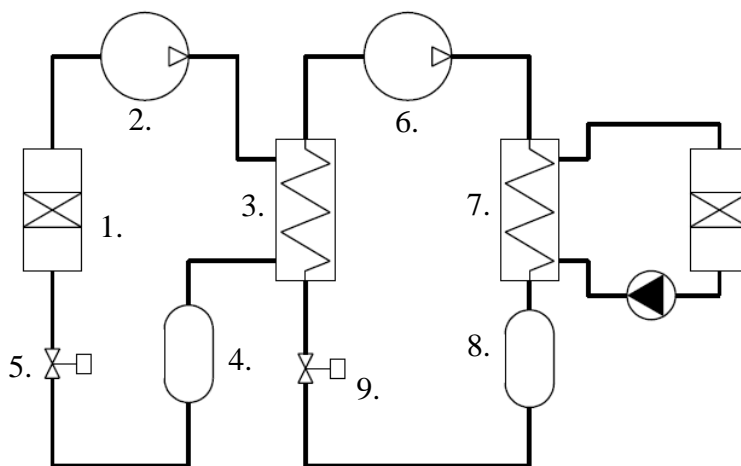
Kuvan 4 kytkentä on vastaavanlainen kuin kuvan 1. mutta toimii välillisellä lauhdutuksella. Eli lauhdutukseen käytetään omaa väliainetta, esimerkiksi vesi-glykoli seos. Kuvassa 2. oleva lämmönsiirrin (1.) siirtää lauhdelämmön kylmäainepiiristä erilliseen lauhdutuspiiriin. Tästä lauhdutusväliaine siirtää lämmön nestejäähdyttimelle (2.). Välillisen lauhdepiiriä nestettä pyörittää erillinen piirissä oleva pumppu (3.).

Välillinen ratkaisu voidaan toteuttaa myös höyrystyspuolelle. Tällöin kylmälaitteissa kiertää eri väliaine kuin itse kylmäprosessissa.

2.5.2 Kaskadikytkentä

Kaskadijärjestelmässä matalalämpöpiirissä kiertää hiilidioksidi kylmäaineena, joka lauhtuu kaskadilämmönsiirtimessä samalla höyrystäen korkealämpötilakylmäaineen. Suosittu kylmäaineyhdistelmä on matalalämpötilapuolella hiilidioksidi ja korkealämpötilapuolella ammoniakki. Kaskadijärjestelmä on suosittu menetelmä kylmän tuottamiseksi tänä päivänä. Kaskadikytkentää käytetään usein pakastejärjestelmissä. [1.]

Kuvassa 5 on esitetty kytkentäkuva kaskadikytkennästä välillisellä lauhdutuksella.



KUVA 5. Kaskadikytkentä [1]

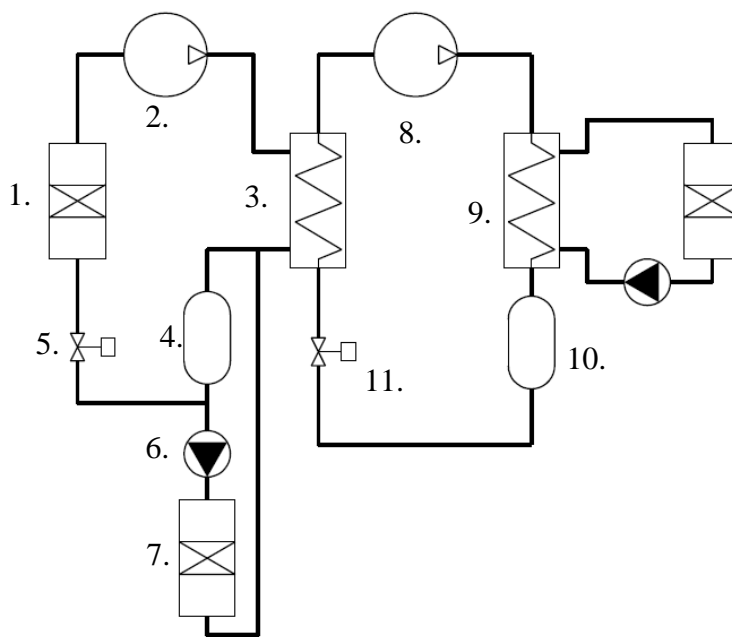
Kuvan 5 kaskadikytkennässä matalalämpötila piirin höyrystimessä (1.) matalalämpötila piirin kylmäaine höyrystyy. Tästä kylmäaine siirtyy kompressorille (2.), jossa kylmäaineen painetasoa nostetaan. Seuraavaksi matalalämpötila piirin kylmäaine lauhdutetaan ns. kaskadilämmönsiirtimellä (3.), joka samalla toimii korkealämpötila puolen kylmäaineen höyrystimenä. Lauhduttuaan matalalämpötilapiirin neste siirtyy nestesäiliön (4.) kautta paisuntaventtiilille (5.), ja tämän jälkeen aloittaa uuden kylmäprosessi-kierron.

Korkealämpötilapiirin kylmäaineen höyrystyttyä kaskadilämmönsiirtimessä (3.) sen painetasoa nostetaan kompressorilla (6.). Seuraavaksi kylmäaine siirtyy lauhdutettavaksi välillisen lauhdutuksen lämmönsiirtimelle (7.), jonka jälkeen kylmäaine kiertää nestesäiliön (8.) kautta paisuntaventtiilille (9.). Tämän jälkeen väliaine palaa kaskadilämmönsiirtimelle ja aloittaa uuden kierron. Välillinen lauhdutus toimii kaskadikytkennässä, kuten erilliskoneistossa kuvan 4 mukaan.

2.5.3 Kaskadikoneisto

Kaskadikoneistokytkenässä on matalalämpötila puolella sekä pakkas- että kylmäpiiri, jonka kylmäaineena toimii hiilidioksidi, sekä korkealämpötilapiiri jossa voidaan käyttää kylmäaineena esimerkiksi ammoniakia. Kylmä tuotetaan lauhtuneen hiilidioksidin avulla ja pakkasteho hiilidioksidilla, jonka painetasoa lasketaan paisuntaventtiilillä. [1; 18.]

Kuvassa 6 on esitetty kytkentäkuva kaskadikoneistosta.



KUVA 6. Kaskadikoneisto [1]

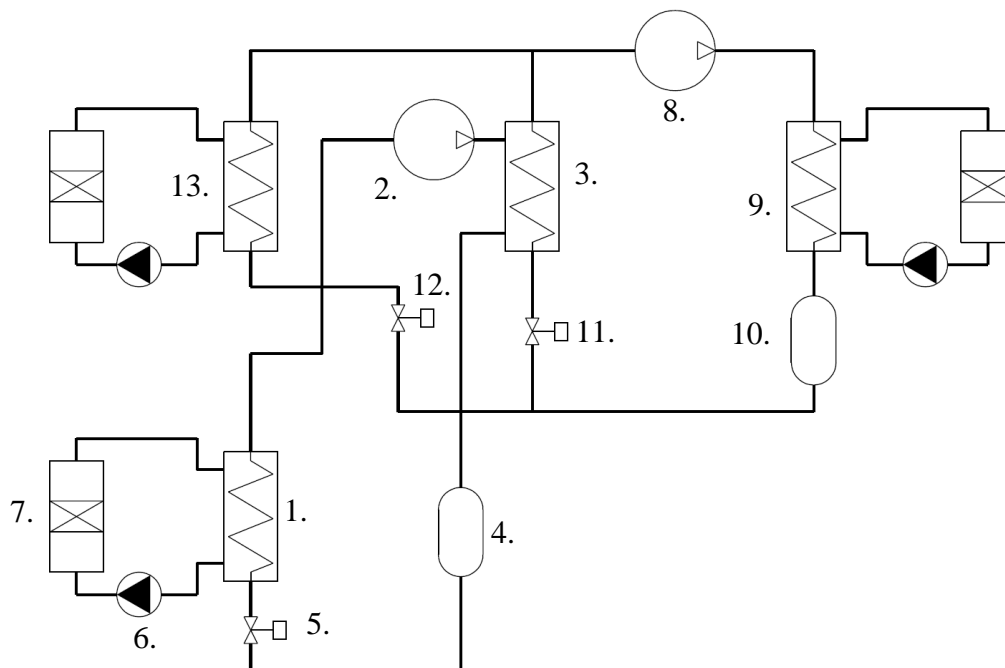
Kuvan 6 kaskadikoneistossa matalalämpöpiirin pakkasosuus tuotetaan laskemalla nestesäiliöltä (4.) tulevan nesteen painetasoa paisuntaventtiilillä(5.), tämä johtaa kylmempään lämpötilatasoon. Tämä neste höyrystetään höyrystimessä (1.) ja sen paine nostetaan kompressorilla (2.). Tämän jälkeen höyry lauhtutetaan kaskadilämmönsiirtimessä (3.), josta kylmäaine virtaa nestesäiliölle (4.). Nestesäiliöltä kylmäaine jatkaa joko edellä mainitusti pakkasosuudelle tai kylmäosuudelle. Kylmäosuus prosessissa tuotetaan pumpun (6.), joka kierrättää kylmäainetta, ja höyrystimen (7.) avulla. Höyrystimeltä poistuessaan kylmäaine palaa nestesäiliölle ja sekoittuu kaskadilämmönsiirtimeltä tulevaan kylmäaine nesteeseen.

Korkealämpötilapiirin kylmäaine höyrystyy kaskadilämmönsiirtimessä (3.) kuvan 5 kaskadikytkennän tavoin. Myös kompressor (8.), välillisen lauhtuksen lämmönsiirtin (9.), nestesäiliö (10.) ja paisuntaventtiili (11.) toimivat kuvassa 3 esitetyn kaskadikytkennän tavoin.

2.5.4 Kaksiportainen koneisto

Kaksiportaisessa koneistossa on matalalämpötilakaskadipiiri välillisellä höyrystyksellä. Myös korkealämpötila piiri sekä lauhtus ovat välillisiä. Matalalämpötilapiirissä kylmäaineena voidaan käyttää esimerkiksi hiilidioksidia ja korkealämpötilapiirissä ammoniakia. [1].

Kuvassa 7 on esitetty kytkentäkuva kaksiportaisesta koneistosta.



KUVA 7. Kaksiportainen koneisto [1]

Kuvan 7 mukaisessa kaksiportaisessa koneistossa matalalämpötilapiirin kylmäaine höyrystyy välillisen höyrystyksen lämmönsiirtimessä (1.). Lämpö tähän siirtimeen tuodaan höyrystimen (7.) ja pumpun (6.) avulla. Siirtimeltä (1.) kylmäaine jatkaa kompressorille (2.), jossa kylmäaineen painetaso nostetaan. Tästä kylmäaine siirtyy kaskadilämmönsiirtimelle jossa se lauhtuu ja samalla höyrystää korkealämpötilapiirin kylmäainetta. Lauhduttuaan matalalämpötilapiirin kylmäaine menee nestesäiliön (4.)

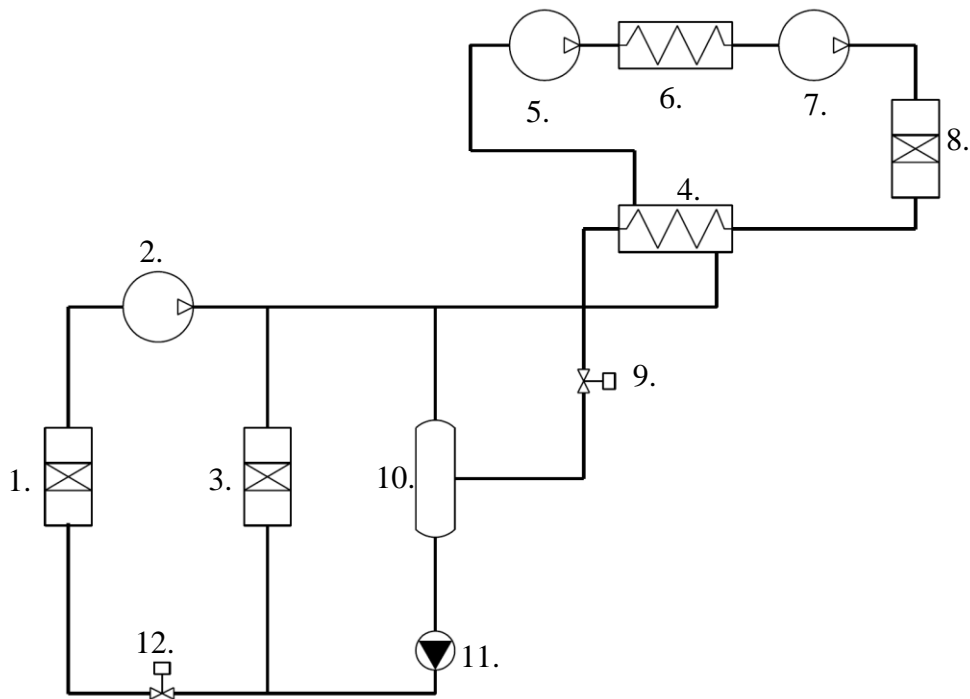
kautta paisuntaventtiilille (5.), jossa painetaso lasketaan. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaine aloittaa uuden kierron.

Höyrystyttyään kaskadilämmönsiirtimessä korkealämpötilapuolen kylmäaine kulkee kompressorille (8.), jossa painetasoa nostetaan. Tämän jälkeen kylmäaine lauhdetaan välillisen lauhdutuksen lämmönsiirtimessä (9.) ja lauhtunut neste siirretään nestesäiliölle (10.) Nestesäiliöltä kylmäaineesta osa kääntyy kaskadilämmönsiirrintä edeltävälle paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen painetta lasketaan, jotta saadaan matalalämpötilapiirin kylmäainetta lauhdutettua kaskadilämmönsiirtimellä. Osa taas korkealämpötilapiirin kylmäaineesta jatkaa paisuntaventtiilille (12.), josta matalapaineinen kylmäaine siirtyy höyrystymään välillisen höyrystyksen lämmönsiirtimelle (13.). Höyrystyttyään kylmäaine kulkeutuu kompressorille (8.) samalla yhtyen kaskadilämmönsiirtimeltä (3.) tulevaan höyryvirtaan.

2.5.5 Transkriittillinen CO₂-koneisto

Transkriittillinen CO₂-koneisto on kytkentä, jossa hiilidioksidi toimii koko järjestelmän väliaineena. Hiilidioksidi puristetaan kaksiportaisesti. Tämän jälkeen hiilidioksidi lauhdutetaan nestesäiliössä ja pumpataan seuraavaksi kylmäverkostoon. Pakkasiiri toteutetaan alempaan paineeseen kuristetulla hiilidioksidilla. Nimensä mukaisesti tässä kytkennässä hiilidioksidi toimii osittain kriittisen pisteen yläpuolella. [1; 14; 15; 18].

Kuvassa 8 on esitetty kytkentäkuva transkriittillisestä CO₂-koneistosta.



KUVA 8. Transkriittillinen CO₂-koneisto [1]

Kuvan 8 transkriittillisessä koneistossa matalalämpötilapiirin kylmäaine (joka sama kuin muussakin järjestelmässä) höyrystyy höyrystimessä (1.). Höyrystimeltä tulevan kylmäaineen painetasoa nostetaan kompressorilla (2.). Korkealämpötilapiirin höyrystimellä (3.) höyrystynyt kylmäaine yhtyy kompressorilta tulevaan kylmäainevirtaan. Tähän virtaan liittyy myös kylmäainevaraajalta mahdollisesti tuleva kylmäaine höyry. Höyry jatkaa matkaansa regeneraatiolämmönsiirtimelle (4.) (vrt. sis. lämmönsiirrin), jossa kylmäainehöyry tulistuu lauhduttimelta (8.) tulevan kuumen kylmäainehöyryn avulla.

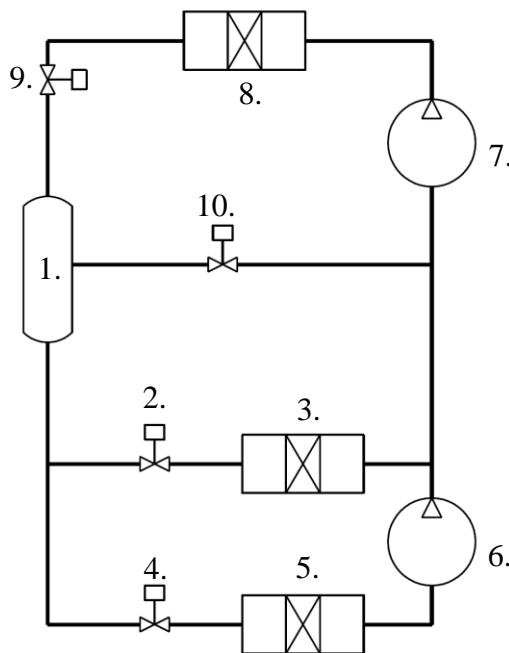
Regeneraatiolämmönsiirtimeltä kylmäaine siirtyy kompressorille (5.) jossa höyryn painetasoa nostetaan. Seuraavaksi korkeapaineinen höyry siirretään välijäähdyttimen (6.) kautta toiselle kompressorille (7.), jossa höyryn painetta nostetaan entisestään. Tämä todella korkeapaineinen höyry (ylikriittinen) johdetaan ”lauhdukselle” (8.), jossa höyryn lämpötilaa lasketaan, mutta höyry ei lauhdu. Tämän jälkeen höyrystä siirretään lämpöä kompressorille (5.) tulevaan höyryyn regeneraatiolämmönsiirtimen (4.) avulla. Lauhduttuaan lämmönsiirtimessä kylmäaine siirtyy paisuntaventtiilille (9.), jossa sen painetaso laskee ja osa nesteestä muuttuu takaisin höyryksi. Tämä neste ja höyry seos johdetaan kylmäainevaraajalle (10.) josta höyryn osuus siirtyy kylmäpiireistä tulevaan kylmäainehöyryyn ja neste pysyy varaajassa.

Varaajalta kylmäainenesettä siirretään pumpulla (11.) joko korkealämpötila höyrystimelle (3.) tai matalalämpötilapiirin paisuntaventtiilille (12.). Paisuntaventtiilin paineenalennuksen avulla kylmäaine saadaan matalammalle lämpötilatasolle kuin korkealämpötilapiirin kylmäaine. Paineenalennuksen jälkeen kylmäaine aloittaa jälleen uuden kierroksen.

2.5.6 Booster-koneisto

Booster-koneistokytkenässä on kolme eri painetasoa: korkea-, keski- ja matalapainetaso. Matalapainetasolla tuotetaan kaupan pakkaskylmä ja keskipainetasolla kylmä/plussateho. Booster-kytkennän etuna on sen tehokkuus muihin kytkentöihin verrattuna. Booster-koneistokytettä voidaan myös käyttää sekä yli- että alikriittisesti. Kytkentä ei ole yhtä suosittu kuin transkriittillinen kytkentä käytettäessä hiilidioksidia kylmäaineena. [11.]

Kuvassa 9 on esitetty yksinkertainen booster-koneistokytettä.



KUVA 9. Booster-koneisto [24]

Kuvassa 9 nestevaraajalla (1.) oleva kylmäaineneste virtaa matalapainepiiriin paisuntaventtiilin (4.) kautta, minkä avulla päästään haluttuun lämpötilatasoon. Venttiililtä kylmäaine virtaa höyrystimen (5.) (kalusteet) kautta kompressorille (6.), jossa sen painetaso nostetaan keskipainetasoa vastaavalle tasolle. Vaihtoehtoisesti kylmäaine kulkee nestevaraajalta kylmätason höyrystimelle (3.) paisuntaventtiilin (2.) kautta. Tämä kylmäainehöyry yhtyy pakkaspuolen kylmäainehöyryyn. Näihin höyryihin yhtyy nestevaraajalta tuleva kylmäainehöyry kuljettuaan ohitusventtiilin (10.) kautta. Tämä höyryjen seos virtaa korkeapainepuolen kompressorille (7.), jossa sen painetaso nostetaan. Tämän jälkeen höyryä lauhdutetaan lauhduttimella (8.). Tästä nesteytynyt kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilille (9.), jossa kylmäaineen painetaso lasketaan keskipainetasoon. Osa kylmäaineesta höyrystyy paineenlaskun yhteydessä, höyry johdetaan ohitusventtiilille (10.), kun taas kylmäaineneste pakkas- ja kylmäpiireihin. [24.]

2.6 Putket ja komponentit

2.6.1 Putket

Hiilidioksidi tuo haasteensa putkituksia tehdessä. Materiaalin ja liitosten tulee kestää rajuja lämpötiloja ja paineita. Tästä syystä hiilidioksidille onkin suunniteltu jopa omia putkivaihtoehtojaan, esimerkiksi Cuporin 221 Ref korkeapaineiseen jäähdytystarkoitukseen tarkoitetut kupariputket.

Etunaan hiilidioksidi puolestaan tuo suuren tiheyden ja hyvän tilavuustuoton, minkä johdosta hiilidioksidilla voidaan käyttää usein pienempiä putkikokoja kuin muilla kylmäaineilla, etenkin matalapainepuolella.

2.6.2 Kompressorit

Suurin ongelma hiilidioksidikylmän osalta kompressoreissa on voitelu. Hiilidioksidikylmän olosuhteet tekevät öljyvoitelusta hankalaa. Näinpä perinteiset öljyt eivät sovellu käytettäväksi CO₂-kylmän kanssa, esimerkiksi polyoliesteri POE ja polyvinyylietteri PVE öljyt eivät sovellu käytettäväksi hiilidioksidin kanssa. Joitakin vaihtoehtoisia öljyjä on jo kehitetty, ja myös jotkin ammoniakkin kanssa käytetyt öljyt soveltuvat käytettäväksi. Esimerkiksi polyalkyleeniglykolipohjaiset voiteluaineet sopivat osittain hiilidioksidin kanssa käytettäväksi.

Hiilidioksidin pieni painesuhde tekee siitä ystävällisen kylmäaineen kompressorille. Toisaalta paine- ja lämpötilaerot ovat suuria. On myös kehitetty ja on kehitteillä erilaisia kompressorityyppejä, jotka soveltuisivat paremmin hiilidioksidin kanssa käytettäväksi, esim. 2-portaiset kompressorit. [1.]

2.6.3 Pumput

Hiilidioksidia pumpattaessa on vaarana kavitaatio-ilmiö, sillä hiilidioksidi höyrystyy helposti pumpattaessa lämpötilan ja paineen vaikutuksesta. Tämän vuoksi tuleekin huolehtia hiilidioksidin suojaus ylimääräiseltä lämpötilan nousulta pumpattaessa sekä tarpeettomalta paineen nostolta. [1.] Ongelmana on myös ollut luoda tiivisteitä, jotka kestäisivät hiilidioksidin olosuhteet.

Nykyään on myös saatavilla pumppuja, joilla voidaan ongelmitta pumpata hiilidioksidia sekä yli- että alikriittisissä tapauksissa. Myös tiivisteiden sopimattomuus hiilidioksidiolosuhteissa on näissä pumpuissa ratkaistu.

2.6.4 Lämmönsiirtimet

Myös lämmönsiirtimet joutuvat haasteen eteen hiilidioksidin kanssa. Niiden tulee kestää korkeita painetasoja ja/tai alhaisia lämpötiloja. Vaikka painekestoltaan riittäviä siirtimiä onkin tarjolla, eivät ne ole vielä täysin hiilidioksidille optimoituja. Tärkeää siirrintä mietittäessä onkin niiden nesteen syöttö, sen tulee olla oikea, jottei siirtimeen kertyisi liikaa nestettä. [1.]

2.6.5 Sääto- ja varolaitteet

Sääto- ja varolaitteissa tulee kiinnittää huomiota niiden sijoitteluun (esim. varoventtiili aina kaasupuolelle). Myös järjestelmän olosuhteet muodostavat ongelmia esim. venttiileille. Ongelmia ovat mm. voitelun puute, eroosio, matala lämpötila ja korkea paine. Joitakin optimoituja laitteita kylläkin jo löytyy etenkin alikriittiselle alueelle prosessia. [1.]

3 LAUHDELÄMPÖ

Lauhdelämpö on lämpöenergia, joka syntyy osana kylmäprosessia. Yleisesti sanalla lauhdelämpö käsitetään itse lauhtumisesta vapautuvaa lämpöä, mutta jäähditys- ja kylmätekniikassa sillä voidaan myös tarkoittaa tulistuslämmön, lauhtumislämmön ja alijäähdityksen yhteisvaikutusta. [11.]

Lauhdelämmön lämpötilataso on täysin riippuvainen kylmäaineesta, kohteeseen valitusta kylmäprosessista ja kohteen vaatimuksista kylmän tai jäähdityksen osalta (kuten lämpötilatasot). Tyypillisenä lämpötilatasona voidaan kuitenkin pitää 30-17 °C. Lämpötilatasoa voidaan nostaa lisäämällä kompressorin työtä, mutta tämä on usein epätaloudellista, sillä tämä laskee kylmäprosessin COP-arvoa (vain yhden asteen lämpötilan nosto voi laskea kylmäkerrointa jopa 1%). Jos otetaan erikseen talteen tulistuslämpö, voi tämän lämpötilataso olla jopa 45 - 35 °C, riippuen muun muassa kylmäaineesta ja prosessista. [6.]

Lauhdelämpö voidaan siis jakaa kolmeen eri osaan: tulistuslämpö, lauhtumislämpö ja alijäähditys.

Tulistuslämmöllä tarkoitetaan lämpöä, joka voidaan poistaa kylmäainehöyrystä ilman, että itse höyry alkaisi lauhtua nesteeksi, eli vain höyryn lämpötila laskee. Tulistuslämmön osuus lauhdelämmöstä yleisesti 10 - 20 %. Tulistuslämmön lämpötilataso on puolestaan korkeampi kuin lauhtumislämmöllä tai alijäähdityksellä.

Lauhtumislämpö puolestaan on nimensä mukaisesti höyryn lauhtumisesta nesteeksi vapautuvaa lämpöenergiaa, tämän osuus kokonaislauhdelämmöstä on yleensä 80-90 %. Lauhtumislämmön suuri osuus johtuu suuresta energiamäärästä, mikä sitoutuu tai vapautuu faasimuutoksen yhteydessä.

Alijäähdytys on nesteeksi lauhtuneen kylmäaineen jäädyttämistä, eli lasketaan kylmäainenesteen lämpötilaa. Alijäähdytyksen osuus lauhdelämmöstä on yleisesti vain 0-5 %. Alijäähdytys voidaan esimerkiksi toteuttaa kylmäprosessin sisäisellä lämmönsiirtimellä, jonka avulla höyryä voidaan tulistaa ennen kompressoria. Tavoitteena tällaisella siirtimellä on varmistaa, että kompressorille tulee vain höyryä. [2.]

Lauhduttimet tai välillisen lauhtuksen lämmönsiirtimet voidaan kytkeä joko sarjaan tai rinnan. Sarjaan kytkettäessä ongelmaksi muodostuu painehäviö, joka vaikeuttaa järjestelmän säätömahdollisuuksia. Rinnankytkennällä saavutetaan pienempi painehäviö, mutta ongelmana ovat lauhtuspaineiden erot lauhduttimissa molempien toimiessa samanaikaisesti.

Käytettäessä omia siirtimiä jokaiselle eri lauhdelämmön osalle (tulistus, lauhtuminen ja alijäähdytys), tulee näiden siirtimien mitoituksessa huomioida kunkin lämmön osuus kokonaislauhdelämmöstä. Esimerkiksi tulistuslämmönsiirrintä mitoittaessa tulee käyttää vain 10 - 20 % osuutta kokonaislauhdelämmöstä. [2.]

4 LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

Lauhdelämpöä on pidetty kylmäntuoton sivutuotteena; niinpä siitä onkin vain pyritty pääsemään helposti eroon. Tyypillisesti lauhdelämpö on ajettu ulos ilmalauhduttimen avulla sen hyödyntämisen sijaan. Ympäristöystävällisyyden merkityksen korostuessa ja energiahintojen nousun myötä ovat lauhdelämmön talteenottoratkaisut yleistyneet. Tärkeää lauhdelämmön hyödyntämisessä on, ettei vaaranneta itse kylmäprosessia lämmön tuottamiseksi. [2.]

Lämpöpumput (esim. maalämpöpumppu) ovat suosittu tapa hyödyntää lauhteesta saatavaa energiaa. Näissä laitteissa käytetään kylmäprosessia, mutta itse kylmän hyödyntämisen sijasta hyödynnetään lauhdelämpöä, jolla tuotetaan esimerkiksi rakennuksen

lämmitysenergia. Lämpöpumpun kylmän tuottokykyä voidaan myös hyödyntää jäähdytystarpeen kattamiseen, etenkin jos on samanaikaista jäähdytyksen ja lämmityksen tarvetta (esim. kesällä jäähdytys ja käyttöveden lämmitys).

Elintarvikemyymälät soveltuvat hyvin käyttämään lauhdelämpöä lämmitykseen niiden lämmitystarpeen vuoksi. Lämmitystarve tulee kylmälaitteiden vaikutuksesta. Lämmön tuomista asiakkaalle ilman kylmälaitteen toiminnan häiriintymistä onkin pidetty vaikeana. Nykyisten kannellisten yms. kylmälaitteiden myötä lämmitystarve on laskenut, mutta on silti merkittävä tekijä myymälän lämmityksessä. [2.]

Lauhdelämmön lämpötila taso on yleensä alhainen. Tästä syystä parhaimpina sovel-
luskohteina pidetäänkin ilmastoinnin tuloilman esilämmitystä, kiertoilmakojeita, lat-
tialämmitystä, käyttöveden esilämmitystä tai sulana pitoa. On myös olemassa tapa,
jossa lauhdelämpö tuodaan itse kylmäkalusteiden alapuolelta kalustealueelle ja näin
kylmälaitetta häiritsemättömästi. [2.]

Lauhdelämmön talteenottosiirtimen mitoitus joudutaan tekemään aina kohdekohtai-
sesti. Mitoitukseen vaikuttaa haluttu talteenottolämpötila, käytettävä kylmäaine sekä
itse kylmäprosessi. Esimerkiksi käytettäessä alhaisempia paine/lämpötilatasoja on
talteenottosiirtimen mitoituksessa tämä huomioitava mitoituslämpötiloissa. Pitää kui-
tenkin muistaa varmistaa siirtimen painetason kesto etenkin hiilidioksidin yhteydessä.
[26.]

Lauhdelämmön saanti ei ole tasaista, sillä se riippuu suoraan kylmän tarpeesta. Koska
lauhdelämpöä saadaan vain kun kompressorit tuottavat kylmää, onkin suositeltavaa ja
pakollista käyttää varaajaa lauhdelämpöä hyödynnettäessä. Varaajan lämpötilataso on
riippuvainen kylmäaineesta ja kylmäprosessista. Varaajan koon määrittämiseksi tulee
huomioida lauhdelämmön hyödyntämisteho ja järjestelmän tilavuus.

Lauhdelämmön talteenoton lämmönsiirrin tulisi myös varustaa erillisellä ohituksella,
jotta taataan kylmäjärjestelmän hyvä toiminta. Tällä keinoin vältetään muun muassa
seuraavat ongelmat: lämmöntarpeen loppuminen tai koneikoiden kuorman ollessa
pieni on riski kylmäaineen liiasta nesteytymisestä lämmönsiirtimessä, joka puolestaan
huonontaa kylmäprosessin suoritusarvoja.

4.1 Lämpökaivojen varaaminen

Suomessa pohjaveden lämpötilataso on väliltä 2 - 10 °C, tämä vastaa myös porakaivon lämpötilaa. Koska tätä lämpöä käytetään maalämmön tuottamiseen, kuluu lämpöä kaivosta, joskin hitaasti. Kaivoa voitaisiinkin ladata esimerkiksi kesällä, jolloin lämmitystarve on vähäinen tai olematon. Lauhdelämpö kylmäprosessista sopisikin varastoitavaksi maahan ja näin lämpökaivojen elvytykseen.

Lämpö ajettaisiin erilliseen porakaivoon, joka olisi maalämpöpumpun lämmönottoon nähden pohjaveden liikkumisen ylävirrassa. Näin ollen lämpö siirtyisi kohti lämmön kulutusta kesän/syksyn aikana. Toisaalta erillisten porakaivojen poraaminen lämmön varastoinniseksi ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Etenkin suurissa kohteissa on ennen järjestelmän toteutusta suositeltavaa suorittaa terminen vastetesti (TRT = Thermal Response Test), jonka avulla määritetään kyseisen kohteen maa-/kallioperän lämmönjohtavuusominaisuudet. Testi suoritetaan myös usein suuremmissa maalämpökohteissa oikean kaivokentän suunnittelun takaamiseksi.

Energian on kuitenkin todettu säilyvän sitä pidempään maassa, mitä suurempi porakaivokenttä on kyseessä. Tällöin kaivokenttä muodostaa oman lämpöalueensa, jossa lämpö pysyy hyvin kun sitä ladataan ja tyhjennetään säännöllisesti. [25.]

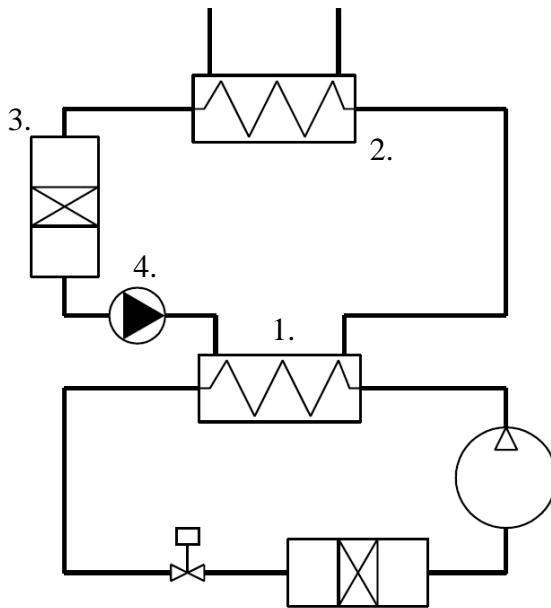
Ongelmana lämmön maahan varastoinnissa on esimerkki- ja kokeilukohteiden puute etenkin Suomessa. Esimerkiksi Ruotsissa on tehty jo joitakin kokeiluja lämmön varastoinniseksi maahan porakaivoja käyttäen ja saadut tulokset vaikuttavat lupaavilta. Vaikka Ruotsi vastaakin olosuhteiltaan hyvin pitkälti Suomea, kaivattaisiin kokeiluja varastoinnismenetelmästä. [21.]

4.2 Lauhdelämmön talteenoton esimerkkikytkentöjä

Seuraavassa on esitetty joitakin yksinkertaistettuja lauhdelämmön talteenottokytkentävaihtoehtoja. Kytkennät B-D soveltuvat käytettäväksi, kun hiilidioksidi on kylmäaineena, koska kyseiset kytkennät toimivat hyvin alhaisen lauhtumislämpötilan kanssa. [31.]

4.2.1 KytKentä A

Tässä kytKessä on välillinen lauhdutuspiiri, josta lämpöä otetaan talteen ja ylitsejäävä lämpö poistetaan esimerkiksi ulkoilma lauhduttimella. Haluttu lämpötilataso saavutetaan nostamalla lauhtumispainetta. KytKentä ei sovellu hyvin käytettäväksi hiilidioksidilaitoksissa, koska kytKentä vaatii melko korkeaa lauhtumislämpötilaa toimiakseen. Seuraavassa kuvassa 10 on esitetty yksinkertainen kytKentämalli tällaiseen kytKentään. [31.]

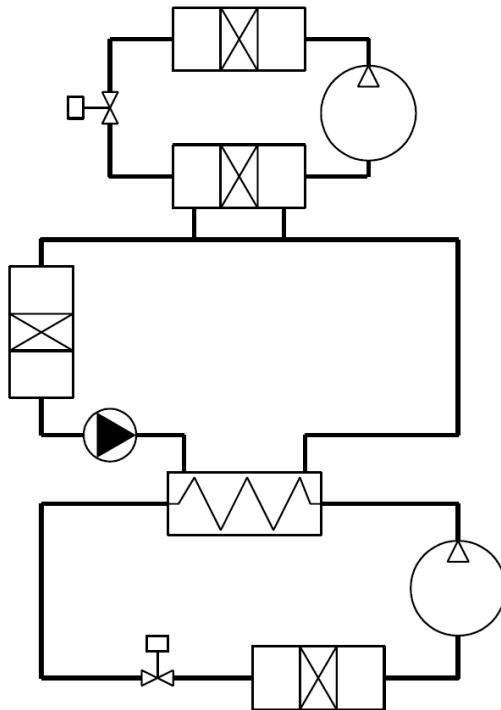


KUVA 10. KytKentämalli A kytKestä [31]

Kuvassa 10 lauhdutuslämmönsiirtimessä (1.) kylmäprosessin kylmäaine lauhtuu. Samalla lämpö kylmäaineesta siirtyy välilliseen lauhdepiiriin, jossa siitä ensin hyödynnetään osa siirtämällä lämpöä talteen LTO-siirtimellä (2.). Loput lämmöstä ajetaan esimerkiksi ulos nestejäähdyttimen (3.) avulla. Välillinen lauhdepiiri tarvitsee pumpun (4.) toimiakseen.

4.2.2 KytKentä B

KytKennässä B on välillinen lauhdutuspiiri, johon on kytketty lämpöpumppu jonka kylmäaine höyrystetään lauhdutuspiirin lämpötilalla. Etuna ratkaisussa on, ettei lauhdutuspainetta tarvitse nostaa korkean lämmön saamiseksi. Kuvassa 11 on esitetty yksinkertainen kytKentämalli tällaisesta kytKennästä. [31.]

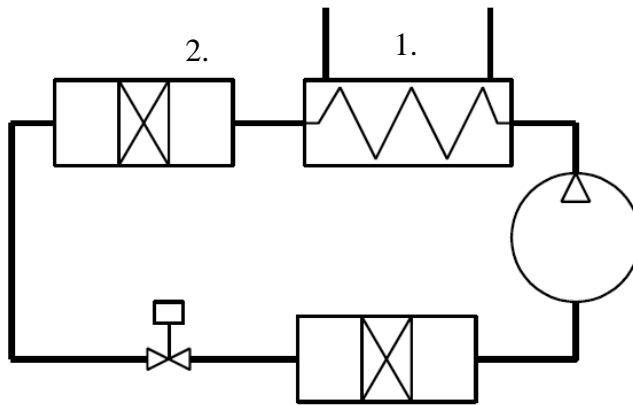


KUVA 11. KytKentämalli B kytKennästä [31]

Kuvassa 11 esitetty kytKentä vastaa kuvan 10 kytKentää kaikin puolin paitsi LTO-siirrin joka toimiikin lämpöpumpun kylmäaineen höyrystyslämmön tuottajana.

4.2.3 KytKentä C

Tulistuslämpö saadaan talteen muun muassa seuraavanlaisella kytkennällä. Lämmönsiirrin kompressoreiden jälkeen siirtää tulistumislämmön hyödynnettäväksi toisaalle. Loput lämmöstä poistetaan esimerkiksi ulkoilmaan lauhduttimella. Ratkaisu sopii hyvin käytettäväksi kylmäaineiden kanssa, joilla on korkea lämpötila kompressorilta tullessaan. Yksinkertainen malli tästä kytkennästä on esitetty kuvassa 12. [31.]

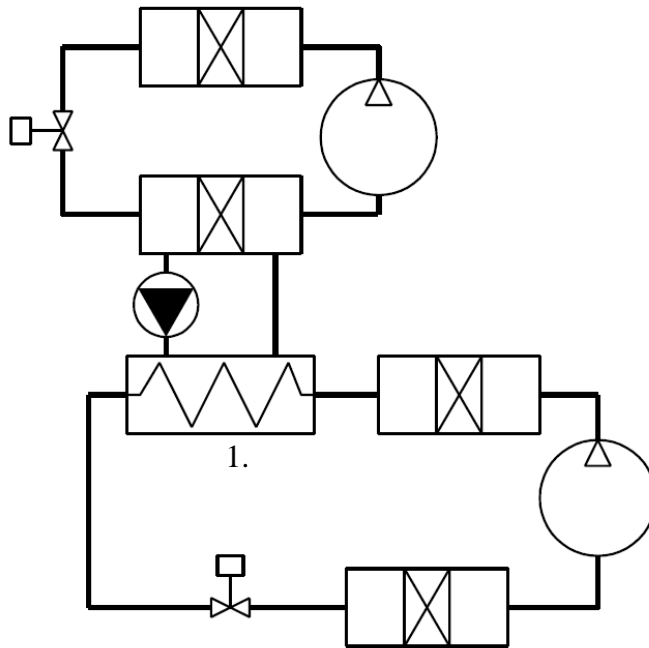


KUVA 12. KytKentämalli C kytkennästä [31]

Kuvassa 12 olevassa kytkennässä lämpö otetaan talteen tulistussiirtimellä (1.). Tulistusta poistettaessa kylmäaineen lämpötila laskee mutta lauhdumista ei tapahdu. Lauhdutus tapahtuu esimerkiksi rakennuksen ulkopuolelle sijoitetulla lauhduttimella (2.).

4.2.4 KytKentä D

KytKennässä D on alijäähditys, jonka lämpö käytetään lämpöpumpun kylmäaineen höyrystämiseksi. Tulistus ja lauhdelämpö ajetaan esimerkiksi ulos. Tällä ratkaisulla voidaan usein nostaa kylmäprosessin COP-arvoa alijäähdytyksen takia. Kuvassa 13 on esitetty yksinkertainen malli tästä kytKennästä. [31.]



KUVA 13. KytKentämalli D kytKennästä [31]

Kuvassa 13 olevassa kytKennässä on alijäähdytin (1.) jonka siirtämä lämpö toimii lämpöpumpun höyrystyslämpönä. Lauhdutus tapahtuu esimerkiksi ulkoilmalauhdutteisesti.

5 ESIMERKKIKOhteet

Tarkastelun kohteena oli kaksi Kymen Seudun Osuuskaupan myymälää: Sale Poitsila ja Sale Husula. Kohteet sijaitsevat Haminassa, molempiin kohteisiin oli syksyn aikana uusittu kylmä-, lämmitys- ja IV-laitteisto. Kohteet ovat kokoluokaltaan pieniä elintarvikeliikkeitä. Liitteessä 4 on esitetty molempien kohteiden lauhdelämmön talteenottojärjestelmän kytkentä. Kytkentä on lähes identtinen kummassakin kohteessa.

Kylmäjärjestelmä on molemmissa rakennuksissa hiilidioksidia kylmäaineena käyttävä booster-koneisto nestevaraajalla. Koneiston on toimittanut ja asentanut kylmäalan yritys Huurre Oy. Kylmälaitteisto pyrkii toimimaan aina alikriittisellä alueella, mutta kesätilanteessa, jolloin kylmätarve on suurimmillaan ja ulkolämpötila korkea, saattaa järjestelmä paikoittain joutua toimimaan myös ylikriittisesti saavuttaakseen tarvittavan kylmätehon. Liitteessä 1 on esitetty yksinkertainen kytkentäkuva Salejen kylmälaitteistosta. Molempiin Saleihin lisättiin myös kylmäkalusteita järjestelmien uusimisen yhteydessä, sekä vanhat kalusteet vaihdettiin uusiin. Tämän johdosta Salejen kylmätehon tarve on myös kasvanut hiukan. [26.]

Sale Poitsilassa lämmityslähteeksi uusittiin maalämpö, maalämpöpumppuja on kaksi kappaletta ja niiden teho on 16 kW/kpl. Lämpöpumput ovat Gebwellin T15 mallia ja pumppujen kylmäaineena toimii R407C. Kohteessa on 2 kpl lämpökaivoja, joissa kummassakin kaksi porareikää. Porareikien syvyys on 220 metriä. Maalämmölle on varattu 1000 litran tulistusvaraaja, jonka sähkövastuksilla tuotetaan tarvittu lisäenergia. Talteen otettua lauhdelämpöä käytetään Poitsilassa IV-koneen esilämmityspatterilla, joka sijaitsee IV-koneessa pyörivän lämmöntalteenoton ja tuloilma puhaltimen jälkeen. Mikäli tuloilman lämpötilaa ei saada riittävälle tasolle lauhdelämmöllä, tuotetaan tarvittava lisälämpö maalämpöpumpulla ja sähkövastuksilla. Lauhdelämpöä käytetään myös myymälätilan lämmitykseen kiertoilmakojeilla, jotka lisättiin muun urakan yhteydessä. Sale Poitsilan kanssa samassa rakennuksessa sijaitsee myös baari, baarin pinta-ala on 85 m². Baarin lämmitykseen käytetään vain maalämpöpumppua.

Sale Husulassa lämmönlähteeksi uusittiin maakaasu. Kohteessa oleva uusi maakaasukondenssikattila on teholtaan 65 kW. Talteen otettua lauhdelämpöä käytetään Husulassa IV-koneen esilämmityspatterilla, mikäli tuloilmaa ei saada lämmöntalteenotolla ja lauhdelämmöllä haluttuun lämpötilatasoon voidaan ilmaa lämmittää vielä maakaasu

kattilan avulla. Myymälätilaa lämmitetään myös kiertoilmakojeilla, joissa käytetään lauhdelämmöstä saatua lämpöä. Kiertoilmakojeet uusittiin urakan yhteydessä.

Seuraavassa taulukossa 3 on esitetty tietoja molemmista kohteista.

TAULUKKO 3. Tietoja kohteista

	Sale Poitsila	Sale Husula
Ala	585 m ²	481 m ²
Lämmin myymälä alue	362 m ²	317 m ²
Lämmönlähteiden teho	2 x 16,0 kW	65,0 kW
Pakkasteho	10,5 kW	10,6 kW
Plussateho	33,0 kW	34,2 kW
Kylmäkalustemetrit	34,8 m	33 m
Kylmäaine täyttö	140,0 kg	140,0 kg
LTO verkoston tilavuus	2,2 m ³	2,2 m ³
LTO varaajan tilavuus	2,0 m ³	2,0 m ³
LTO varaajan asetuslämpötila ¹	70 °C	70 °C
Kompressorien tehot, LT ²	1: 2,40 kW 2: 2,40 kW	1: 1,62 kW 2: 1,35 kW
Kompressorien tehot, MT ²	1: 12,90 kW 2: 12,90 kW	1: 11,93 kW 2: 11,93 kW

LT = Matalalämpötila (Low Temperature) (pakkaspuolen) piirin kompressorit (Pakkasteho)

MT = Korkealämpötila (Medium Temperature) (plussapuoli) piirin kompressorit (Kylmäteho)

¹ LTO varaajan asetuslämpötila on asetuslämpötila tarkoittaa arvoa, johon asti varaajaan ajetaan lauhteesta saatavaa lämpöä. Tätä tehdään niin kauan, kunnes varaaja saavuttaa lämpötilatason 70 °C. Tämän jälkeen lämpö ajetaan varaajan sijaan ulos lauhduttimilla.

² Kompressorien tehot ovat kompressoreiden ottamia sähkötehoja.

Kuten taulukosta 3 voidaan huomata, ovat kohteet hyvinkin samankaltaisia. Tämän johdosta kohteet soveltuvatkin hyvin vertailtaviksi keskenään. Tämä helpottaa myös selvittämään tuloksissa mahdollisesti esiintyviä poikkeamia.

TAULUKKO 4. Kohteiden vanhat sähköenergian kulutukset

	Sale Poitsila	Sale Husula
Sähköenergian kulutus 2012	271 MWh	184,8 MWh
Arvio kylmän tuottamiseen kuluneesta sähköenergiasta	127,6 MWh	86,9 MWh

Taulukon 4 ”sähköenergian kulutus 2012” tarkoittaa koko kiinteistön sähköenergian-kulutusta vuonna 2012. Arvio kylmän tuottamiseen kuluneesta sähköenergiasta jouduttiin tekemään aiempaan tutkimustietoon perustuen tarkemman tiedon puuttuessa. Arvio luku saatiin arvioimalla kylmän tuottoon sähkön osuuden olevan 35 – 50 % koko kiinteistön sähkönkulutuksesta (käytettiin 47 %, koska ajateltu laitteiston olevan vanhahkoa) [6; 7].

Salejen kylmälaitteet ajavat lauhdelämmön talteenoton kautta vain, kun kompresso-reilla on riittävän suuri kuorma. Tällä taataan kylmäjärjestelmän toiminta moitteetta, joka tilanteessa. Tämä toisaalta tarkoittaa sitä, että aivan kaikkea lämpöä ei todelli-suudessa saada kylmäprosessista talteen.

6 IDA-MALLINNUS KOHTEESTA

IDA ICE on simulointiohjelma, joka mallintaa matemaattisesti erilaisia rakennuksen olosuhteita ja luo näiden pohjalta tuloksia esim. rakennuksen energian kulutuksesta. Rakennuksen Sale Husula mukainen simulointi tehtiin IDA ICE:n versiolla 4.5.1 ja lokalisointitiedoston versiolla 4.51.

Sale Husulan mukainen rakennus mallinnettiin IDA ICE ohjelmaan käyttämällä avuk-si arkkitehtipiirustuksia. Rakennuksen rakenteet ja järjestelmät syötettiin vastaamaan rakennuksessa olemassa olevia. Rakennuksen rakenteiden U-arvot saatiin rakenne-suunnittelijalta.

Sale Husulan mallinnuksen tuloksia verrattiin samankokoiseen rakennukseen, jossa syöttöarvoina käytettiin rakennusmääräysten mukaisia liikerakennuksen arvoja. Tällä saavutettiin kuva rakennuksen tasosta nykymääräyksiin mukaisiin rakennuksiin nähden.

Taulukossa 5 on esitelty simuloinnissa käytettyjä arvoja.

TAULUKKO 5. Simuloinnin alkutietoja

Aihe	Sale Husula	Vertailurakennus
Rakennusluokka	Liikerakennus	Liikerakennus
Pinta-ala	432 m ²	432 m ²
Tilavuus	1210 m ³	1210 m ³
U-arvoja		
- yläpohja	0,18 W/(m ² K)	0,09 W/(m ² K)
- ulkoseinä	0,3 W/(m ² K)	0,17 W/(m ² K)
- alapohja	0,26 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)
- ikkunat	2,7 W/(m ² K)	1,0 W/(m ² K)
Kattilan hyötysuhde	1,01	0,9
IV LTO:n lämpötilasuhde	0,8	0,6
IV-koneen SFP-luku	1,98	2,0
Kylmäkalusteista aiheutuva lisälämmitystarve	12 kW	12 kW

Seuraavassa taulukossa 6 on esitetty IDA ICE mallinnuksella saatuja tuloksia. IDA ICE-ohjelmasta saadut tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 2,3 ja 4. Jäähdytystä ei ole laskelmissa huomioitu. Tarvittava jäähdytys on arvioitu toteutuvan kaupan kylmälaitteiden toimesta.

TAULUKKO 6. IDA ICE simuloinnin tuloksia

	Sale Husula	Vertailurakennus
Lämmitysjärjestelmän huippu- tehontarve	31,6 kW	37,1 kW
Lämmitysenergiankulutus vuodessa	93,8 MWh	131,4 MWh

Simuloinneissa on käytetty rakennusvaipan ilmanvuotolukua $4 \text{ m}^3/(\text{h}, \text{m}^2)$ (tarkempaa tietoa ei ole), joka on todennäköisesti todellista lukua huonompi, täten tuottaen hieman suuremman lämmitystarpeen.

Kuten taulukon 6 arvoista voidaan huomata, on Sale Husula energia tehokkaampi kuin vastaavan kokoinen rakennusmääräyskokoelman vertailuarvoilla toteutettu kohde. Erot tulevat kondenssikattilan tehokkuudesta ja hyvästä ilmanvaihdon LTO:sta.

7 MITTAUSJÄRJESTELY

Seurantamittauksilla esimerkkikohteissa saatiin selvitettyä järjestelmän toimintaa, sen käyntiarvoja sekä saatua energiaa säästöjä todellisuudessa.

Kohteisiin Sale Poitsila ja Sale Husula kylmäjärjestelmää uusittaessa asennettiin etäluettava mittarointi osaksi kylmäjärjestelmää. Mittaroinnin avulla voidaan etäseurata kylmälaitteiston toimintaa ja tarvittaessa tehdä säätöjä laitteiston toimintaan. Kylmäkoneikkojen energia ja lämpötilaseuranta tehtiin Huurteen HuurreHot -palvelun avulla. Palvelun käyttäminen vaati käyttäjätunnukset, jotka Huurteelta saatiin mittausten ajaksi.

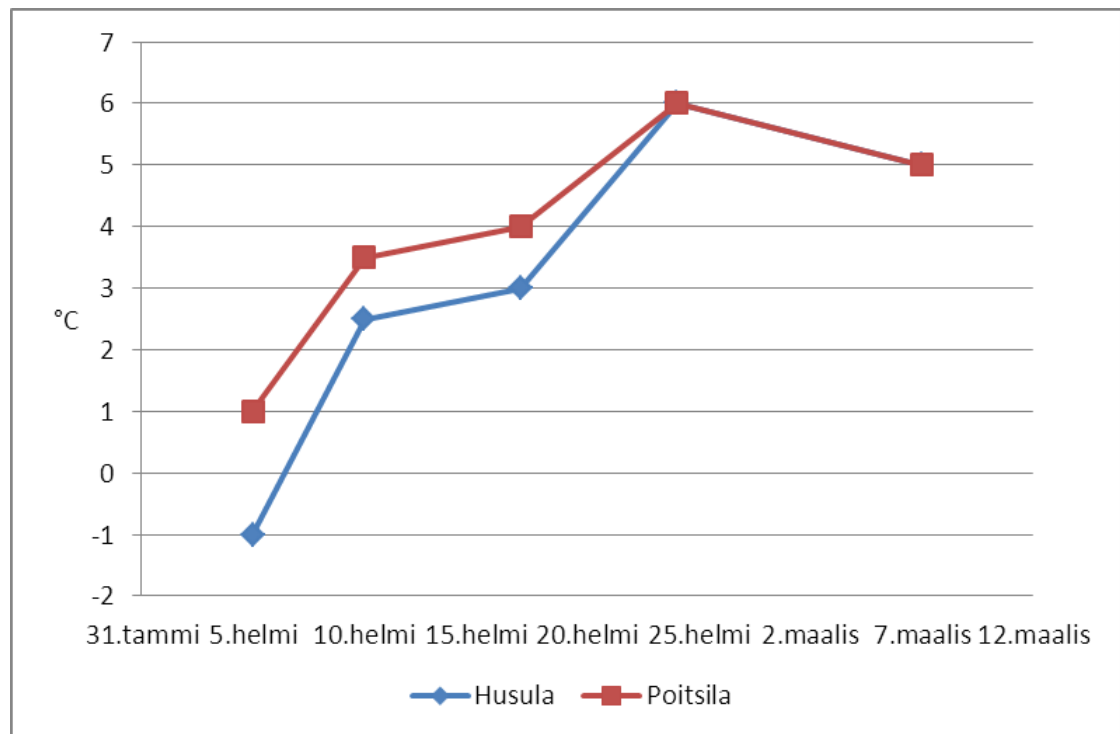
Saleihin lisättiin energiamittarit LTO-verkostoon, jotta saataisiin selville talteen otetun energian määrä. Mittarit sijaitsevat kohteissa kylmäkoneikossa olevan lämmön siirtimen ja LTO-varaaajan välillä. Tarkemmin mittareiden sijainti on esitetty liitteessä 4, jossa mittareiden sijainti on merkitty kytkentäkaavioon. Energiamittarit LTO-verkossa olivat merkiltään Kamstrup ja malliltaan Multical 402. Mittari saa mitattua energiaa mittaamalla virtaaman itse mittarin kohdalta (ultraäänen avulla) sekä lämpötilaeron meno- ja paluuputken välillä.

Energiamittaukset LTO-verkostosta aloitettiin 5.2.2014 ja päätettiin 7.3.2014. Myös kylmälaitteiston sähköenergiankulutuksen sekä lämpötilojen seuranta aloitettiin ja päätettiin tällöin. Myös maakaasun kulutusta Sale Husulassa seurattiin tällä aikajak-solla, näin saatiin selville lisäenergian tarve. Lisäenergialle katettiin lämpimän käyttöveden, lisälämmityksen sekä IV lisälämmityksen tarve. Työn osalta ei pystytty seuraamaan Sale Poitsilassa olevan maalämpöpumpun energiankulutusta.

8 MITTAUSTULOKSET

Kohteissa Sale Husula ja Sale Poitsila suoritetuissa mittauksissa saatuja tuloksia on esitetty seuraavissa taulukoissa ja kuvaajissa.

Kuvaajassa 1 on esitetty ulkolämpötilan vaihtelua mittausjakson aikana. Kuvaajasta voidaan todeta helmikuun sään olleen poikkeuksellisen lämmin verrattuna ”normaali-vuoden” helmikuuhun. Tämä on vaikuttanut mittauksissa lämmöntarpeeseen sekä mahdollisesti pienissä määrin kylmäkoneikon sähkönkulutukseen ja sitä kautta talteen saatuun lauhdelämmönmäärään.



KUVAAJA 1. Ulkolämpötilat mittareiden luentapäivinä

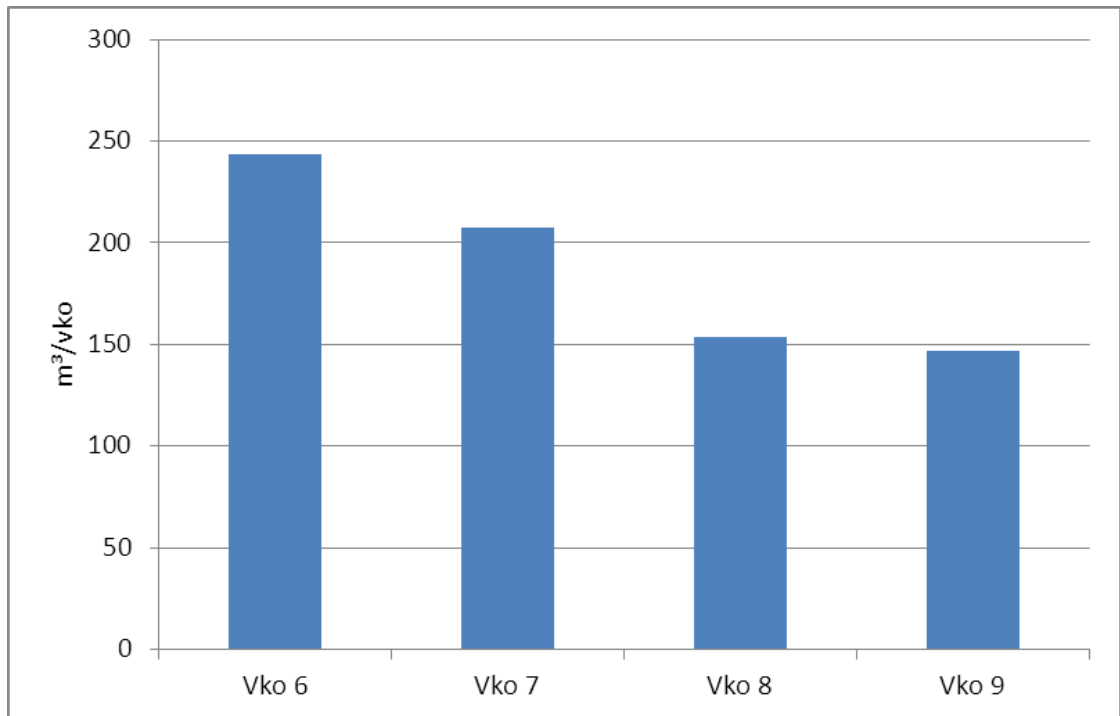
Seuraavassa taulukossa 7 on esitetty maakaasun kulutus Sale Husulassa mittausjakson aikana sekä sen pohjalta tehdyn arvion vuoden kulutuksesta. Arvion luomiseen käytettiin lämmöntarvelukuja. Sale Poitsilasta ei saatu maalämpöpumpun energiankulutus tietoja, joten alla olevaan taulukkoon on esitetty maalämpöpumpun ajotunnit mittausjakson päättyttyä. Esitetty arvo on kuitenkin koko maalämpöpumpun mittauksen päättymisaikaan asti olevat käyntitunnit. Näin ollen arvosta ei voida tulkita juurikaan lämmön tarpeesta.

TAULUKKO 7. Husulan lämmitysjärjestelmän energiankulutus

	Helmikuu 2014	Kulutus vuodessa (arvio)
Maakaasun kulutus	800 m ³	6 240 m ³
Kulutus energiana	7,9 MWh	60,7 MWh

Taulukkoa luettaessa tulee muistaa että vuotuinen kulutus on vain arvio, tietoja uuden järjestelmän vuotuisesta kulutuksesta ei ole. Myös leudohko talvi vääristää saatuja tuloksia tyypillisestä vuodesta.

Maakaasun kulutus mittareiden luentapäivien välillä (viikko) on esitetty kuvaajassa 2. Kuvaajasta ei voida tehdä juurikaan johtopäätöksiä seurantajakson lyhyden ja poikkeuksellisen lämpötilan vuoksi.



KUVAAJA 2. Maakaasun kulutus päivien välillä (viikko)

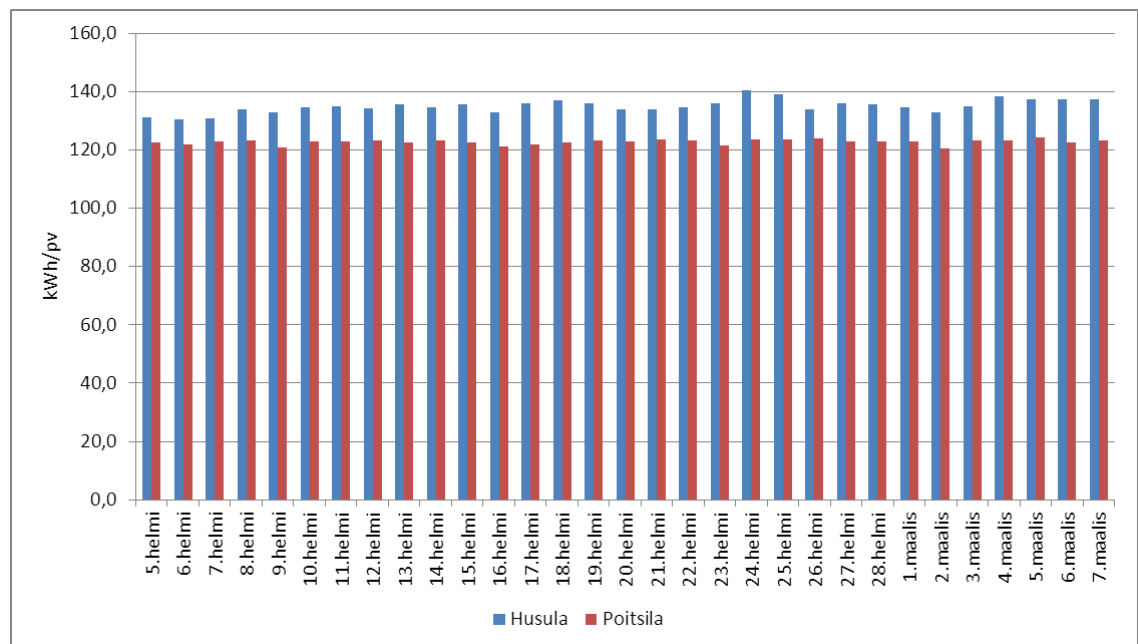
Seuraavassa taulukossa 8 on esitelty kylmäkoneikkojen energiankulutus kohteessa mittausjakson aikana sekä niiden pohjalta tehty ennuste koko vuoden energiankulutuksesta.

TAULUKKO 8. Kohteiden kylmäkoneikon energiankulutus

Kohde	Helmikuu 2014	Kulutus vuodessa (arvio)
Husula	4,2 MWh	55 MWh
Poitsila	3,8 MWh	50 MWh

Sale Poitsilan ja Husulan järjestelmien välillä on huomattavissa pientä eroa koneikoiden sähköenergiankulutuksessa, ero ei kuitenkaan ole kovinkaan merkittävä ja selittyy kohteiden sijainnin, rakenteen, rakennuksen muodon ja kylmälaitteiden sijainnin mukaan.

Koneikoiden energiankulutus on myös esitettyä seuraavassa kuvaajassa 3. Kuvaajassa on esitetty mittausjakson aikana kunkin päivän koneikon sähkönkulutus molemmissa kohteissa. Tiedot saatiin Huurteen HuurreHot -palvelusta.



KUVAAJA 3. Koneikoiden energiankulutus

Kuvaajasta on helposti huomattavissa pieni ero koneikoiden energiankulutuksessa, vaikka kylmäntarve ja koneikot ovatkin lähestulkoon identtiset. Ero selittyy pienillä eroilla kohteissa, hieman erilaiset kylmäkalusteiden sijainnit, rakenteiden erot ja muut erot rakennuksissa.

Kylmäkalusteiden energiankulutus mittauksen aikana on esitetty taulukossa 9. Kalusteiden kuluttamaan energiaan sisältyy muun muassa kalusteiden valot, sulatukset ja karmilämmitykset. Seuraavassa on esitetty parin kylmäkalusteen tehontarpeen jakautuminen kylmäkalusteissa. Kuvassa 14 on esitetty kylmäjärjestelmän energiankulutuksen jakautuminen. [35.]

Esim. 1 ovellinen kylmäkaluste

- puhaltimet 48 W

- valaistus 162 W

Vuorokautinen käyntiaika yleensä 14-18 h ja valaistus noudattaa kaupan aukioloaikoja.

Esim. 2 pakastekaappi

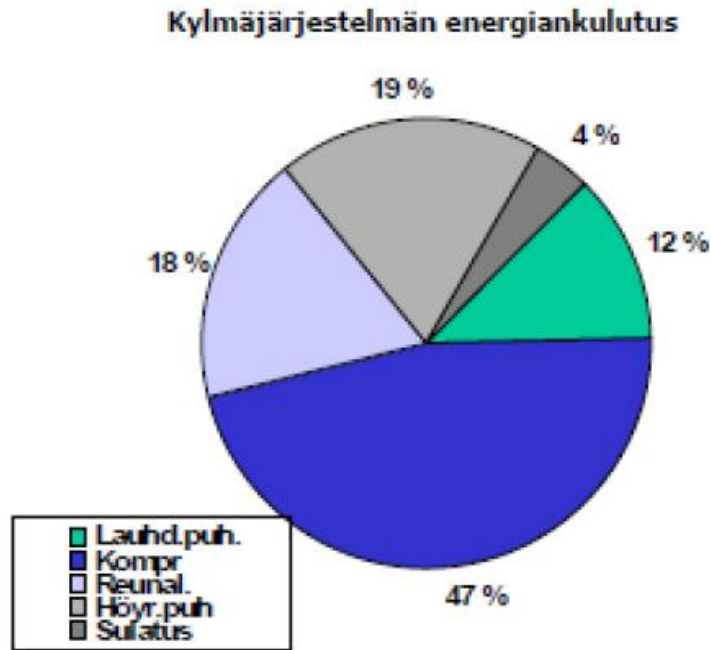
- puhaltimet 60 W

- valaistus 420 W

- sulatusvastukset 4500 W

- karmivastukset 1321 W

Sulatukset kestävät yleisesti alle 45 min (usein 15-20 min), ja ne suoritetaan maksimissaan 2 kertaa vuorokaudessa. Karmivastukset puolestaan ovat oletuksena aina päällä, mutta vastuksia voidaan myös pulssittaa ilmankosteuden salliessa. Pulssituksen tavoitteena on säästää energiaa. [35.]



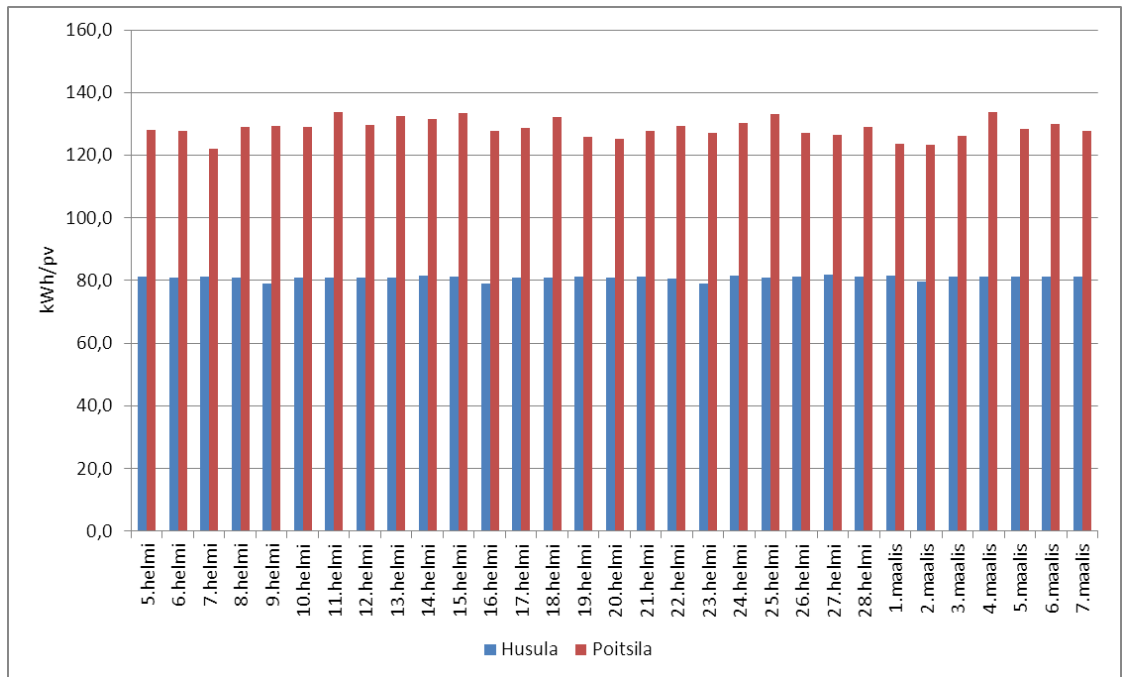
KUVA 14. Kylmäjärjestelmän energiankulutuksen jakautuminen myymälöissä [35]

TAULUKKO 9. Kylmäkalusteiden energiankulutus

Kohde	Helmikuu 2014	Kulutus vuodessa (arvio)
Husula	2,5 MWh	35 MWh
Poitsila	4,0 MWh	50 MWh

Taulukosta ilmenee selvä kylmäkalusteiden kulutusero Salejen välillä. Sale Poitsilassa on hieman enemmän kylmäkalustemetrejä, mutta ero ei pelkästään selity tämän johdosta. Syynä on myös osittain erilainen kylmäkalusteiden sijoittelu, erot kohteiden rakenteissa ja rakennuksen muodossa.

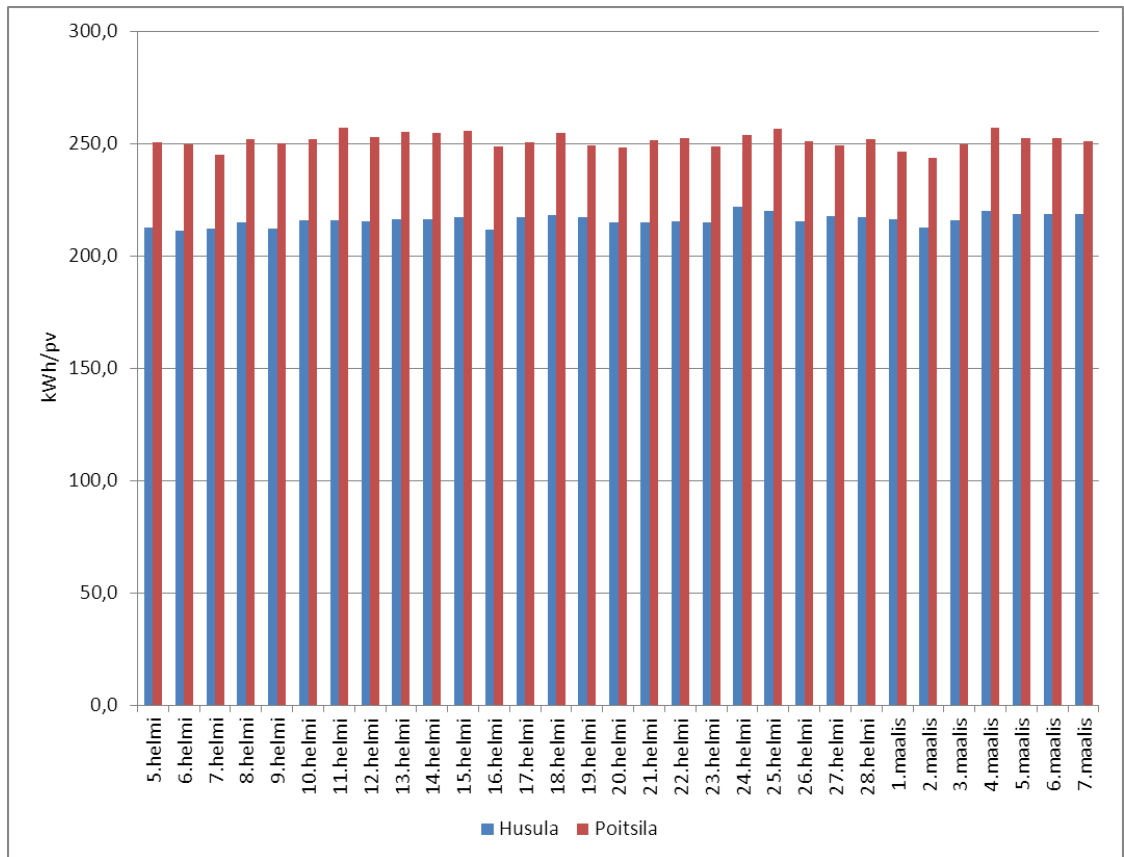
Seuraavassa kuvaajassa 4 on esitetty päivittäinen kylmäkalusteiden energiankulutus mittausjakson aikana.



KUVAAJA 4. Kylmäkalusteiden energiankulutus

Kuvaajasta 4 on myös helposti havaittavissa selvä ero kohteiden kylmäkalusteiden energiankulutuksen osalta. Merkille pantavaa on myös laitteiden päivittäin kulu, Poitsilassa kylmäkoneikko kulutti vähemmän sähköenergiaa, kun puolestaan Husulassa kylmäkalusteisiin kului vähemmän energiaa.

Kuvaajassa 5 on esitetty kylmäkoneikon ja kylmäkalusteiden yhteinen energiankulutus. Vaikka Poitsilan koneikon sähköenergian kulutus olikin merkittävästi pienempi kuin Husulan, oli kylmäkalusteiden kulutuksissa niin suuri ero, että kokonaiskulutuksessa Poitsilan Salessa kuluu enemmän energiaa koko kylmäjärjestelmään.



KUVAAJA 5. Kylmäkalusteiden ja koneikoiden yhteisenergiankulutus

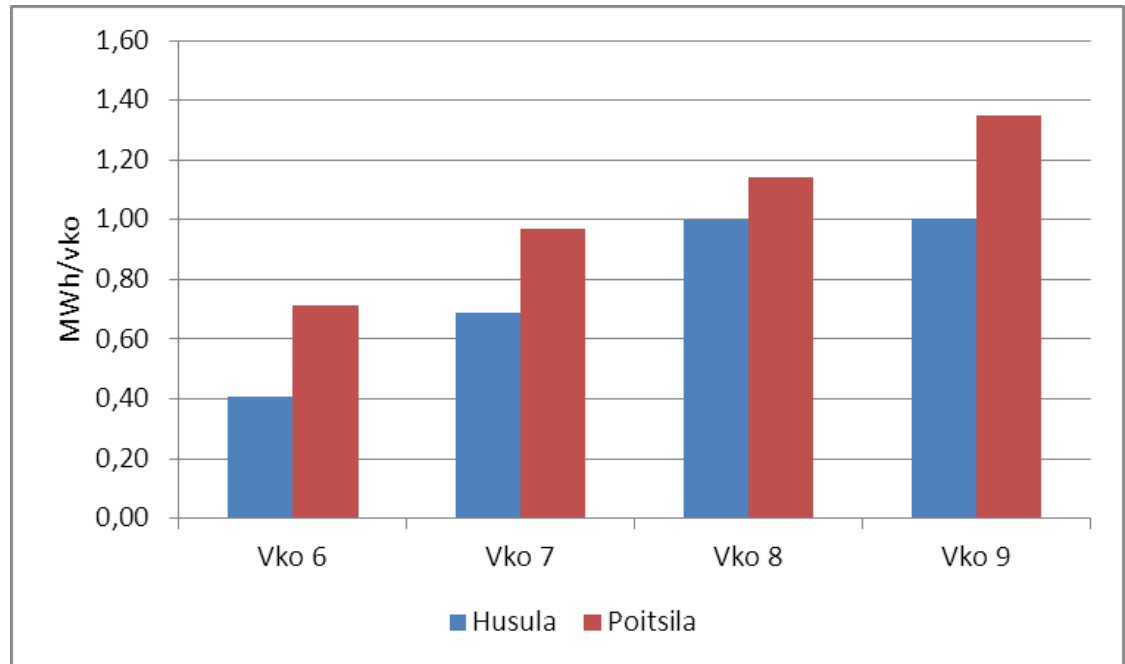
Taulukossa 10 on esitetty lauhdelämmön talteenotolla talteen saatu energia kussakin kohteessa sekä mittauksien pohjalta tehtyihin arvioihin koko vuodelta talteen saatavasta energiasta.

TAULUKKO 10. Kohteiden lauhdelämmön talteenotosta saatu energia

Kohde	Kuukaudessa	Vuodessa (arvio)
Husula	3,6 MWh	35,0 MWh
Poitsila	4,8 MWh	50,0 MWh

Taulukosta 10 voidaan huomata, että kohteista talteen saatu energia voi muodostua merkittäväksikin osaksi kohteen lämmitystä, joka tukee hyvin rakennuksen primääri-
lämmitysjärjestelmää. Lauhdelämmöstä talteen saatava energia vuodessa on teoreettinen arvo, kesällä lämmön hyödyntäminen voi olla haastavaa myymälärakennuksissa. Todellisemmat arvot, jotka kuvastavat hyödynnettävissä olevan lämmön määrää ovat esitetty taulukossa 13.

Kuvaajassa 6 on esitetty talteen saatu lauhde-energia aina mittareiden luentapäivien välillä.



KUVAAJA 6. Mittareiden luentapäivien välillä talteen saatu energia

Vaikka viimeinen mittareiden luentaväli olikin hiukan pidempi, on mittaus tuloksissa selvä merkki talteen saadun energianmäärän kasvusta. Syynä tähän saattaa olla järjestelmän toiminnassa tai antureissa ilmennyt käyntivirhe.

Seuraavassa taulukossa 11 esitetään erilaisia lämpötila-arvoja kohteiden kylmä- ja LTO-prosesseihin liittyen.

TAULUKKO 11. Lämpötiloja järjestelmästä mittausjakson aikana

	Husula	Poitsila
Imulämpötila, pakkaspuolella	Min: -37,2 °C Max: -28,8 °C	Min: -38,8 °C Max: -23,5 °C
Imulämpötila, pluspuolella	Min: -13,2 °C Max: -4,1 °C	Min: -11,9 °C Max: -3,8 °C
Kompressoreilta ulos tulevan lämpötila	Min: 64,8 °C Max: 95,7 °C	Min: 65,4 °C Max: 102,2 °C
Lämpötila LTO:n jälkeen	Min: 23,7 °C Max: 76,1 °C	Min: 19,7 °C Max: 57,6 °C
Ulkolauhduttimen jälkeen	Min: 2,9 °C Max: 21,4 °C	Min: 2,8 °C Max: 22,0 °C
LTO:n lataus (kylmäainepuoli) meno	Min: 26,5 °C Max: 47,1 °C	Min: 22,2 °C Max: 34,4 °C
LTO:n lataus (kylmäainepuoli) paluu	Min: 26,2 °C Max: 46,2 °C	Min: 21,6 °C Max: 32,7 °C
Lauhde LTO varaaajan lämpötila	Min: 27,1 °C Max: 42,0 °C	Min: 23,2 °C Max: 33,8 °C

Taulukossa on esitetty minimi ja maksimi lämpötila-arvoja, jotka järjestelmässä on esiintynyt mittausjakson aikana. Lämpötilat saatiin Huurteen HuurreHot -palvelun avulla. Kuvaajat lämpötilaseurannoista löytyvät liitteistä. Seuraavassa on kerrottu, missä liitteessä mikäkin lämpötilakäyrä on esitetty.

Liitteissä 7 ja 11 on esitetty LTO lämmönsiirtimeen menevän ja palaavan veden lämpötila mittausjakson aikana, talteen saatu lämpö siirretään LTO-varaajaan. Husulan lämpötilat ovat liitteessä 7 ja Poitsilan liitteessä 11. Husulan sekä Poitsilan Saleissa on molemmissa huomattavissa merkittäviä vaihteluita lauhdelämmön talteenoton latauksessa. Syynä saattaa olla anturivirhe tai järjestelmän toiminnassa ilmennyt virhe.

Liitteessä 5 on Husulan kompressoreiden imulämpötilat mittausjakson aikana (pakkas- ja pluspiiri). Vastaavat arvot Sale Poitsilalle löytyvät liitteestä 9. Yleisesti voidaan kuvaajien perusteella sanoa kompressorille tulevan kylmäaineen lämpötilan (imulämpötila) olleen tasainen. Pakkaspuolen lämpötila kuitenkin vaihtelee Sale Poitsilassa enemmän kuin Sale Husulassa. Syynä ovat todennäköisesti erot rakennuksien muodoissa, rakenteissa ja kylmälaitteiden sijoituksissa.

Husulan Salen lauhtumislämpötilat on esitetty liitteessä 6 ja Poitsilan omat liitteessä 10. Tasaisimpana lämpötila on pysynyt ulkolauhduttimen jälkeisellä osuudella, tulos on tältä osuudelta odotettu. Korkealämpötilapuolen kompressoreilta tulevan kylmäaineen lämpötilassa on tapahtunut joitakin vaihteluita, mutta lämpötila on kuitenkin pysynyt kohtalaisen tasaisena. Lauhdelämmön talteenoton jälkeisessä kylmäaineen lämpötilassa on ollut joitakin vaihteluita. Syynä todennäköisesti... Piikit lauhdelämmön osalta tulevat hetkittäisistä kuormista, jolloin lauhdelämpöä ei oteta talteen kylmäprosessin tehokkaan toiminnan varmistamiseksi.

LTO-varaajan lämpötilan vaihtelu mittauksen aikana on esitetty liitteissä 8 ja 12. Liitteessä 8 on Husulan lämpötilan vaihtelu ja liitteessä 12 Poitsilan varaajan lämpötilan vaihtelut. Varaajien lämpötilan seurannalla saatuja kuvaajia tarkasteltaessa on huomattavissa selkeitä eroja varaajan lämpötilassa. Molemmissa Saleissa varaajan lämpötila on kuitenkin muuttunut tasaisemmaksi loppua kohden.

8.1 Mittauksien johtopäätökset

Mittaustulosten perusteella mittauksien voidaan todeta onnistuneen. Toisaalta tuloksissa ilmenee joitakin odottamattomia poikkeuksia, joihin olisi tarpeellista saada ratkaisu. Ongelmana mittauksissa oli mittausjakson lyhyys. Tuloksien luotettavuus olisi parantunut pidemmän mittausjakson myötä. Myös poikkeuksellisen lämmin sää vääristää tuloksia tyypillisestä helmikuisesta tuloksesta.

Seuraavassa taulukossa 12 on esitetty lämmitysjärjestelmän energiankulutus lämmitystarveluvulla painotettuna sekä mittauksien perusteella saadut energiankulutukset. Energian kulutus Sale Husulassa saatiin laskemalla maakaasun lämpöarvoa avuksi käyttäen. Koska Sale Poitsilasta ei ollut energian kulutustietoja saatavilla, ei kulutustietoja esitetä taulukossa. Mitatusta lämmitysenergiasta on poistettu Suomen raken-

nusmääräyskokoelman osan D3 mukainen käyttöveden osuus myymälärakennuksessa paremman tiedon puuttuessa.

TAULUKKO 12. Sale Husulan lämmitysenergiankulutus normitettuna

	Helmikuu 2014	Kulutus vuodessa (arvio)
Husula (mittaus)	8,0 MWh	60,7 MWh
Husula (lämmitystarveluku)	10,5 MWh	67,3 MWh

Taulukon pohjalta voidaan todeta poikkeuksellisten sääolojen vaikuttaneen mittaustuloksiin.

Taulukossa 13 on esitetty kohteiden Sale Husula ja Poitsila lauhdelämmöstä saadusta energiasta hyödynnettävissä oleva. Nämä arviot kuvastavat siis hyödynnettävissä olevan lämmön osuutta, kesällä ei kohteissa lauhdelämmölle ole juurikaan käyttöä.

TAULUKKO 13. Kohteiden hyödynnettävissä oleva lauhdelämpö

Kohde	Vuodessa hyödynnettävissä oleva lämpöenergia (arvio)
Husula	30 MWh
Poitsila	45 MWh

LTO-siirtimen suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota lämpötilatasoihin. Siirrin tulee suunnitella niin, että tiedetään jo ennestään talteen halutun lämmön lämpötilataso. Näin saavutetaan suunniteltu lämpötilan taso ja taataan järjestelmän toiminta.

Sopivaa lämpötilatasoa LTO-siirtimen mitoittamiseksi ei ole suoraan. Lämpötilataso on kohdekohtainen, ja siihen vaikuttavat muun muassa kylmäprosessi, kylmäaine, kompressorit ja haluttu lauhtumis-lämpötila/-paine. Aikaisempien tutkimusten perusteella tulistuslämpöä hyödyntäen voidaan hiilidioksidi laitoksesta saada talteenotolla päästä noin 30 - 40 °C lämpötiloihin. Tällöin prosessi on joko ylikriittillinen tai talteen otettu lämpö on tulistuslämpöä. Tämän lämpötilatason lämpö soveltuu jo useaan eri lämmitysmenetelmään.

Lauhtumislämpöä hyödyntäen (vaatii alikriittisen prosessin) lämpötilataso, jota hiilidioksidilaitoksessa voidaan saada, jää alle 30 °C. Toisaalta lauhtumisesta talteen saatava energian määrä on suurempi kuin esimerkiksi tulistuksesta saatava energia, vaikka lämpötilataso onkin matalampi. Tämän lämpötilatason omaavana voitaisiin lauhdeesta saatavaa lämpöä soveltaa erinomaisesti lattialämmitykseen, mutta koska tämä ei ole mahdollista jokaisessa kohteessa tarvitaan lämmölle muitakin käyttökohteita. Tärkeintä on järjestelmän suunnittelu matalalle lämpötilatasolle toiminnan takaamiseksi.

LTO-varaajan tilavuutta mietittäessä tulee huomioida järjestelmän tilavuus ja ns. tehon varastointi. Kannattaa toisaalta myös muistaa varaajan viemä tila. Itse varaajan mitoittamisessa ei ole eroa tavalliseen varaajamitoitukseen kuin matalampi nesteen lämpötila.

Näiden mittauksien perusteella lauhdelämpö sopii erinomaisesti erilaisiin matalalämpöä käyttäviin ratkaisuihin. Lattialämmitykseen ja sulana pitoon lämmön soveltaminen olisi järkevää ja helppoa. Lauhdelämpö sopisi lämpötilatasoltaan myös erinomaisesti käyttöveden esilämmittämiseen, mutta koska myymälärakennuksissa käyttöveden tarve on vähäinen, ei käyttöveden lämmittäminen ole varteen otettava vaihtoehto näissä kohteissa.

9 ENERGIAN KULUTUS

Seuraavissa kappaleissa on esitettyä energiasäästöjä (tai tappioita) joita järjestelmien uusimisesta on aiheutunut vanhoihin järjestelmiin verrattuna Husulan ja Poitsilan Saleissa sekä vertailukohteessa. Laskelmat suoritettiin Microsoft Officen Exceltaulukkolaskentaohjelmaa käyttäen.

9.1 Husulan Sale

Taulukossa 14 on esitettyä Sale Husulan lämmitysjärjestelmän sekä kylmäjärjestelmän energian kulutus ennen ja jälkeen uusimisen. Kulutukset ovat vuotuisia kulutuksia ja uuden osalta arvio vuotuisesta kulutuksesta. Vanha kylmäkoneikon kulutus on arvioitu sähkön kokonaiskulutuksesta ja kylmän tuottamiseen kuluvasta sähkön osuudesta.

TAULUKKO 14. Husulan Salen energian kulutukset ennen ja jälkeen

Husula	Lämmitysjärjestelmä	Kylmäjärjestelmä
Vanha	170 MWh	85 MWh
Uusi	61 MWh	81 MWh
Hyöty	109 MWh	4 MWh

Husulan Salessa energian käyttö kylmälaitteiston osalta on hieman pienentynyt vanhan järjestelmän kulutuksesta. Kylmäkoneikon uusimista voidaan pitää syynä saavutettuihin säästöihin energiankulutuksessa. Lämmitysjärjestelmässä muutos puolestaan oli todella merkittävä. Uusi kattila tuottaa huomattavia säästöjä energiankulutuksessa vanhaan verrattuna. Toisaalta tulosta vääristää lauhdelämmön talteenoton vaikutus, joka laskee tarvittavaa lämmitysenergian määrää.

9.2 Poitsilan Sale

Seuraavassa taulukossa on esitetty Poitsilan Salen kylmäjärjestelmän energian kulutus ennen ja jälkeen järjestelmien uusimisen. Lämmitysjärjestelmän arvoja ei voitu tämän työn osalta esittää. Taulukossa esitetyt arvot ovat vuosi kulutuksia ja uuden järjestelmän osalta arvio vuosikulutuksesta. Vanha kylmäkoneikon kulutus on arvioitu sähkön kokonaiskulutuksesta ja kylmän tuottamiseen kuluva sähkön osuudesta.

TAULUKKO 15. Poitsilan Salen energian kulutukset ennen ja jälkeen

Poitsila	Kylmäjärjestelmä
Vanha	125 MWh
Uusi	94 MWh
Hyöty	31 MWh

Taulukon 15 mukaan Poitsilan Salessa kylmäjärjestelmän energiankulutus on vähentynyt uuden järjestelmän myötä. Syynä on uuden kylmälaitteiston parempi optimointi ja yleisesti laitteiston uutuus.

9.3 Lauhdelämmön talteenotto

Lauhdelämmön talteenotolla talteen saatua energiaa, lämmitysjärjestelmän kulutusta ja kylmälaitteiston kulutusta Saleissa on esitetty taulukossa 16. Kaikki arvot ovat mittausjakson aikana saavutettuja. Esitetty kylmäjärjestelmän kulutus sisältää sekä koneikon että kylmäkalusteiden kulutuksen.

TAULUKKO 16. Lauhdelämmön energia sekä kylmä- ja lämmitysjärjestelmien kulutus

Kohde	Talteen saatu lauhdelämpö [MWh]	Lämmitysjärjestelmän energiankulutus [MWh]	Kylmälaitteiden kulutus [MWh]
Sale Husula	3,6	8,0	6,7
Sale Poitsila	4,8	---	7,8

Kuten taulukosta 16 voidaan todeta, on lauhteesta talteen saatavilla huomattava määrä energiaa. Huomion arvoista taulukossa on se, että lauhteesta talteen saatava energia on teoreettinen arvo. Arvo kuvastaa energian määrää, joka lauhteesta olisi saatavilla, mikäli kaikki lämpöenergia pystyttäisiin hyödyntämään kohteessa. Tärkeintä lauhdelämmön talteenotossa onkin, että lämpö pystytään tehokkaasti ja järkevästi hyödyntämään kohteessa.

Salejen lauhdelämmön talteenotosta saatavissa energioissa on eroa, vaikka järjestelmät ovat lähes identtiset. Syytä tähän ei tämän työn osalta pystytty varmasti määrittämään, ja tämä vaatisikin lisä-/jatkotutkimuksia, mutta koska kylmätehoon ja sitä kautta talteen saatuun lämpöön vaikuttavat useat eri muuttujat on tulosten eroavaisuus luonnollista.

9.4 Verrattuna IDA ICE simulaatioon

Mittaustulosten avulla selvitettiin lämmitysenergian tarve kohteessa Sale Husula. Tästä saatua tulosta verrattiin IDA ICE simulaatiolla saatuun. Tulokset ovat esitetty seuraavassa taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Mittaus ja IDA ICE lämmitysenergian kulutus

	Lämmitysenergia
Mittaukset Sale Husula	102 MWh
IDA ICE Sale Husula	94 MWh

”Mittaukset Sale Husula” arvoon sisältyy sekä maakaasun kulutuksen kautta saatu energian määrä sekä lauhdelämmöstä saatu energia. Maakaasun osalta käytettiin myös normitettua energiantarvetta, jotta päädyttäisiin lähemmäs todellista kulutusta ”normivuotena”. Kuten voidaan taulukon 17 avulla todeta, ovat energiankulutukset kohtalaisen lähellä toisiaan.

10 KANNATTAVUUS

Saatujen ja mitattujen energia- ja kulutustietojen avulla voitiin laskea taloudellinen hyöty, joka järjestelmien uusimisesta ja lauhdelämmön talteenotosta saadaan. Laskelmat suoritettiin Microsoft Officen Excel-taulukkolaskentaohjelmaa käyttäen.

Laskelmissa käytettiin seuraavassa taulukossa 18 esitettyjä energiahintoja.

TAULUKKO 18. Laskelmissa käytetyt energiahinnat

	Hinta
Sähkö	0,12 €/kWh
Maakaasu	0,0955 €/kWh
Öljy	0,1222 €/kWh
Kaukolämpö	0,0999 €/kWh

Maakaasun ja öljyn energiahinta laskettiin kunkin energia lähteen lämpösisällön ja ”yleisen” kattilan hyötysuhteen avulla. Hyötysuhteena maakaasulle käytettiin 0,95 ja öljylle 0,90.

10.1 Sale Husula

Seuraavassa taulukossa 19 on esitetty Sale Husulan uusien sekä vanhojen järjestelmien taloudellinen kulutus kuukaudessa ja vuodessa (arvio).

TAULUKKO 19. Sale Husulan taloudelliset hyödyt

	Lämmitysjärjestelmä	Kylmäjärjestelmä
Vanhan hinta helmikuussa	2 830 €	726 €
Uuden hinta helmikuussa	750 €	737 €
Saatu säästö helmikuussa	2 080 €	-11 €
Vanhan hinta vuodessa	16 203 €	9 350 €
Uuden hinta vuodessa	5 793 €	8 910 €
Saatu säästö vuodessa	10 410 €	440 €

Kuten taulukosta 19 voidaan todeta, saavutetaan uudella lämmitysjärjestelmällä huomattavia säästöjä. Tuloksia kuitenkin vääristää erityisen lauha helmikuinen sää sekä uuden järjestelmän kulutuksesta puuttuu lauhdelämmöllä tuotettu osuus.

Kylmäjärjestelmällä ei Sale Husulassa saada juurikaan vuotuisia säästöjä verrattuna vanhaan järjestelmään.

Seuraavassa taulukossa 20 on esitetty Husulan Salessa lauhdelämmön talteen otolla saatuja säästöjä. Lämpöpumppua on laskelmissa tarkasteltu vain yksinkertaisesti käyttäen kahta eri COP-arvoa 2 ja 3. Tarkempia laskelmia ei lämpöpumppujen osalta suoritettu tässä työssä. Vaikka Husulassa onkin maakaasu pääenergialähteenä, on taulukossa myös esitetty eri energialähteiden mukaan satuja säästöjä vertailukohtien saamiseksi.

TAULUKKO 20. Husulan Salen lauhdelämmön talteenotolla saatu säästö energiamuodosta riippuen

	Rahallinen hyöty kuukaudessa	Rahallinen hyöty vuodessa
Sähkö	434 €	4 200 €
Maakaasu	346 €	3 342 €
Öljy	442 €	4 270 €
Kaukolämpö	361 €	3 495 €
Maalämpö		
- Parempi	145 €	1 400 €
- Huonompi	217 €	2 100 €

Taloudelliset säästöt lauhdelämmön talteenotolla saatuna Sale Husulassa ovat kohtalaisen pieniä. Huomattavaa kuitenkin on, että säästöt perustuvat teoreettiseen talteenotolla saatuun energiamäärään. Jos otetaan huomioon, että kaikkea energiaa ei kohteissa pystytä kesällä hyödyntämään, jää tämän johdosta vuotuinen säästö todellisuudessa pienemmäksi.

Seuraavassa taulukossa 21 on esitetty lämmitys- sekä kylmäjärjestelmän osuuden kokonaiskustannus, säästö sekä näiden pohjalta laskettu takaisinmaksuaika investoinnille.

TAULUKKO 21. Sale Husulan lämmitys- ja kylmäkoneikon takaisinmaksuaika

	Lämmitysjärjestelmä	Kylmäjärjestelmä
Investointi	16 000 €	150 000 €
Säästö vuodessa	10 410 €/v	440 €/v
Takaisinmaksuaika	1,5 vuotta	341 vuotta

Kylmäjärjestelmän investointikustannuksiin ei sisälly sähkö-, automaatio- tai rakennustöitä tai näiden materiaalikuluja.

Lämmitysjärjestelmän uusiminen voidaan todeta kannattavaksi ratkaisuksi. Järjestelmä tulee maksamaan nopeasti itsensä takaisin. Kannattavuutta toisaalta vääristää lauhdelämmön talteenoton avulla saadut säästöt, jotka suurentavat vuotuisia säästöjä.

Taulukosta 21 on selvästi huomattavissa kylmäjärjestelmän uusimisen kannattamattomuus, mutta kylmälaitosta uusittaessa hiilidioksidiksi ei järjestelmän uusimisen pääpaino ole sijoituksen kannattavuudella. Koska hiilidioksidi on niin ympäristöystävällinen kylmäaine, on järjestelmään sijoitus silti kannattava.

Taulukossa 22 on esitetty lauhdelämmön talteenoton investointi ja säästö energian muodosta, johon sitä verrataan laskettuna.

TAULUKKO 22. Lauhdelämmön talteenoton takaisinmaksuaika Husula

	Investointi	Säästö vuodessa	Takaisinmaksuaika
Sähkö	13 000 €	4 200 €	3,1 vuotta
Maakaasu	13 000 €	3 342 €	3,9 vuotta
Öljy	13 000 €	4 270 €	3,0 vuotta
Kaukolämpö	13 000 €	3 495 €	3,7 vuotta
Maalämpö			
- Parempi	13 000 €	1 400 €	9,3 vuotta
- Huonompi	13 000 €	2 100 €	6,2 vuotta

Taulukon 22 pohjalta voidaan todeta lauhdelämmön talteenottojärjestelmä järkeväksi sijoitukseksi. Sijoitus tulisi olemaan kannattava vielä, vaikka investointikustannukset olisivat suuremmatkin. Takaisinmaksuajat ovat myös todellisuudessa pidempiä, sillä laskennassa käytetyt energiamäärät ovat teoreettisia, koska kesällä kaikkea talteen saatua energiaa ei pystytä hyödyntämään.

10.2 Sale Poitsila

Seuraavassa taulukossa 23 on esitetty Sale Poitsilan uusien sekä vanhojen järjestelmien taloudellinen kulutus kuukaudessa ja vuodessa (arvio).

TAULUKKO 23. Sale Poitsilan kylmälaitteiston taloudelliset hyödyt

	Kylmäjärjestelmä
Vanhan hinta helmikuussa	1 045 €
Uuden hinta helmikuussa	858 €
Saatu säästö helmikuussa	187 €
Vanhan hinta vuodessa	13 700 €
Uuden hinta vuodessa	10 340 €
Saatu säästö vuodessa	3 410 €

Lämmitysjärjestelmän vaihdolla saatuja säästöjä ei pystytty tämän työn osalta selvittämään Sale Poitsilassa kulutustietojen puutteen vuoksi. Vanha öljylämmitysjärjestelmä vaihdettiin maalämpöön, näin ollen voidaan sijoituksen olettaa olleen kannattava. Kylmälaitteistolla saadaan säästöjä Sale Poitsilassa. Säästöjen taso ei ole kuitenkaan kovinkaan merkittävä.

Seuraavassa taulukossa 24 on esitetty Poitsilan Salessa lauhdelämmön talteenotolla saatuja säästöjä. Poitsilassa on maalämpö pääenergiälähteenä, mutta taulukossa on esitetty myös muiden energialähteiden avulla saatavia säästöjä vertailukohtien saamiseksi.

TAULUKKO 24. Poitsilan Salen lauhdelämmön talteenotolla saatu säästö energiamuodosta riippuen

	Rahallinen hyöty kuukaudessa	Rahallinen hyöty vuodessa
Sähkö	581 €	6 000 €
Maakaasu	462 €	4 774 €
Öljy	590 €	6 100 €
Kaukolämpö	483 €	4 993 €
Maalämpö		
- Parempi	194 €	2 000 €
- Huonompi	290 €	3 000 €

Kuten voidaan taulukosta 24 huomata, saadut säästöt eivät ole kovinkaan suuria. Mutta voivat silti muodostua merkittäviksi etenkin useamman vuoden jälkeen. Huomattavaa kuitenkin on, että säästöt perustuvat teoreettiseen talteenotolla saatuun energia

määrään. Jos otetaan huomioon, että kaikkea energiaa ei kohteissa pystytä kesällä hyödyntämään, jää tämän johdosta vuotuinen säästö todellisuudessa pienemmäksi.

Seuraavassa taulukossa 25 on esitetty lämmitys- sekä kylmäjärjestelmän osuuden kokonaiskustannus, säästö sekä näiden pohjalta laskettu takaisinmaksuaika investoinnille.

TAULUKKO 25. Sale Poitsilan kylmäjärjestelmän takaisinmaksuaika

	Kylmäjärjestelmä
Investointi	157 000 €
Säästö vuodessa	3 410 €
Takaisinmaksuaika	46 vuotta

Kuten voidaan taulukon 25 pohjalta huomata, ei kylmäjärjestelmä ole kannattava sijoitus taloudellisesti kummassakaan kohteessa. Kylmäjärjestelmän investointikustannuksiin ei sisälly sähkö-, automaatio- tai rakennustöitä tai näiden materiaalikuluja.

Taulukossa 26 on esitetty lauhdelämmön talteenoton investointi ja säästö energian muodosta, johon sitä verrataan laskettuna.

TAULUKKO 26. Lauhdelämmön talteenoton takaisinmaksuaika Poitsila

	Investointi	Säästö vuodessa	Takaisinmaksuaika
Sähkö	13 000 €	6 000 €	2,2 vuotta
Maakaasu	13 000 €	4 774 €	2,7 vuotta
Öljy	13 000 €	6 100 €	2,1 vuotta
Kaukolämpö	13 000 €	4 993 €	2,6 vuotta
Maalämpö			
- Parempi	13 000 €	2 000 €	6,5 vuotta
- Huonompi	13 000 €	3 000 €	4,3 vuotta

Taulukon 26 pohjalta voidaankin todeta investoinnin olleen kannattava Sale Poitsilan osalta. Järjestelmä maksaa itsensä nopeasti takaisin, vaikka investointikustannus olisi suurempikin. Takaisinmaksuajat ovat myös todellisuudessa pidempiä, sillä laskennassa käytetyt energiamäärät ovat teoreettisia, koska kesällä kaikkea talteen saatua energiaa ei pystytä hyödyntämään.

10.3 Vertailut

Seuraavissa taulukoissa esitetään Salejen Husula ja Poitsila lämmitys-, kylmä- ja LTO-järjestelmien investointikustannukset, säästö vuodessa ja takaisinmaksuaika. Sale Poitsilasta ei tietoja saatu lämmityksen osalta tämän työn osalta, joten vertailua kohteiden välillä ei pystytä suorittamaan.

Seuraavassa taulukossa 27 on esitetty eri kohteiden investointikustannukset lämmitys-järjestelmän osalta, saatu säästö vuodessa ja kuukaudessa sekä takaisinmaksuaika järjestelmille.

TAULUKKO 27. Eri kohteiden investoinnit, säästöt ja takaisinmaksuajat lämmitys-järjestelmän osalta

	Sale Husula	Sale Poitsila
Investointi	16 000 €	---
Säästö vuodessa	10 410 €/vuosi	---
Takaisinmaksuaika	1,5 vuotta	---

Koska Sale Poitsilasta ei saatu kulutustietoja maalämmön osalta, ei kulutuksia pystytty vertaamaan keskenään. Sale Husulassa maakaasukattila investointi oli toisaalta kannattava.

Seuraavassa taulukossa 28 on esitetty eri kohteiden investointikustannukset kylmäjärjestelmän osalta, saatu säästö vuodessa ja kuukaudessa sekä takaisinmaksuaika järjestelmille.

TAULUKKO 28. Eri kohteiden investoinnit, säästöt ja takaisinmaksuajat kylmäjärjestelmän osalta

	Sale Husula	Sale Poitsila
Investointi	150 000 €	157 000 €
Säästö vuodessa	440 €/vuosi	3 410 €/vuosi
Takaisinmaksuaika	341 vuotta	46 vuotta

Taulukosta 28 ilmenee, että kohteiden kylmäjärjestelmien sijoituksista kannattavin oli Sale Poitsila ja epäkannattavin Sale Husula. Huomioitavaa on kuitenkin molempien kohteiden kylmäjärjestelmien epäkannattavuus taloudellisesta näkökulmasta. Hiilidi-

oksiidiin siirryttäessä ei kuitenkaan usein haeta taloudellisia säästöjä, vaan pääpaino on siirtyä ympäristöystävällisempään sekä määräyksien suosimaan kylmäaineeseen.

Seuraavassa taulukossa 29 on esitetty lauhdelämmön talteenotolla saatuja säästöjä Husulassa ja Poitsilassa.

TAULUKKO 29. Säästöt ja investointi kohteissa Poitsila ja Husula

	Sale Husula	Sale Poitsila
Investointi	13 000 €	13 000 €
Sähkö		
- kuukaudessa	434 €	581 €
- vuodessa	4 800 €	6 480 €
Maakaasu		
- kuukaudessa	346 €	462 €
- vuodessa	3 819 €	5 156 €
Öljy		
- kuukaudessa	442 €	590 €
- vuodessa	4 880 €	6 588 €
Kaukolämpö		
- kuukaudessa	361 €	483 €
- vuodessa	3 994 €	5 392 €
Maalämpö (Parempi)		
- kuukaudessa	145 €	194 €
- vuodessa	1 600 €	2 160 €
Maalämpö (Huonompi)		
- kuukaudessa	217 €	290 €
- vuodessa	2 400 €	3 240 €

Taulukosta käy ilmi selvä ero myös saaduista säästöistä lauhdelämmön talteenotolla, etenkin vuositasolla. Erot saaduissa säästöissä vaikuttivatkin suoraan ja merkittävästi takaisinmaksuaikaan LTO-järjestelmän osalta, tulokset näihin on esitetty seuraavassa taulukossa.

Näiden säästöjen avulla on laskettu takaisinmaksuaika LTO-järjestelmälle. Takaisinmaksuaika laskettiin ns. yksinkertaista mallia käyttäen. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 30.

TAULUKKO 30. Lauhdelämmön talteenottojärjestelmän takaisinmaksuaika energiamuodosta riippuen

	Sale Husula	Sale Poitsila
Sähkö	2,7 vuotta	2,0 vuotta
Maakaasu	3,4 vuotta	2,5 vuotta
Öljy	2,7 vuotta	2,0 vuotta
Kaukolämpö	3,3 vuotta	2,4 vuotta
Maalämpö (Parempi)	8,1 vuotta	6,0 vuotta
Maalämpö (Huonompi)	5,4 vuotta	4,0 vuotta

Taulukon 30 perusteella voidaan todeta lauhdelämmön talteenottojärjestelmän olevan järkevä sijoitus. Taulukossa 32 esitetyt arvot ei kuitenkaan vastaa todellisia vaan ovat niin sanotusti teoreettisia. Arvot vastaavat lukemia, jolloin kaikki lauhteesta saatava energia pystyttäisiin hyödyntämään. Seuraavassa taulukossa 33 on huomioitu lämmön käyttökohteiden puute kesällä.

Taulukossa 31 esitetään LTO-järjestelmien takaisinmaksuaika, jos otetaan huomioon lämpöenergian hyödyntämättömyys kesällä.

TAULUKKO 31. Lämpö ja LTO yhteinen takaisinmaksuaika, realistinen

	Sale Husula	Sale Poitsila
Sähkö	4,5 vuotta	3,1 vuotta
Maakaasu	5,7 vuotta	3,9 vuotta
Öljy	4,4 vuotta	3,0 vuotta
Kaukolämpö	5,4 vuotta	3,7 vuotta
Maalämpö (Parempi)	13,5 vuotta	9,3 vuotta
Maalämpö (Huonompi)	9,0 vuotta	6,2 vuotta

Kuten taulukosta voidaan lukea, LTO-järjestelmät olivat kannattavia, vaikka kaikkea energiaa ei pystytkään hyödyntämään kesällä. Ratkaisuna lämmön hyödyntämiseen kesällä voisi olla esimerkiksi lämmön varaaminen lämpökaivoihin. Lämpökaivojen varaaminen ei pienissä kohteissa ole taloudellisesti suoraan kannattavaa, mutta jos

kesällä lauhteesta saatua lämpöä ei muuten pystytä hyödyntämään, voitaisiin se ajaa lämpökaivoon. Näin taattaisiin tarvittava lauhtuminen kylmäprosessille ja saataisiin ainekin jossain määrin elvytettyä lämpökaivoa. [34.]

11 YHTEENVETO

Lämmitysjärjestelmän uusiminen kohteessa Sale Husula osoittautui erittäin kannattavaksi. Sale Poitsilasta ei saatu tähän mittaukseen maalämmön kulutustietoja, joten laskelmia järjestelmän kannattavuudesta ei voitu suorittaa. On kuitenkin perusteltua olettaa, että maalämpöjärjestelmä on taloudellisempi kuin vanha öljylämmitys.

Hiilidioksidikylmälaitos ei osoittautunut kovinkaan energiatehokkaaksi kummassakaan esimerkkikohteessa verrattuna vanhoihin järjestelmiin. Siirryttäessä hiilidioksidikylmäjärjestelmään pääpaino on kuitenkin ympäristöystävällisyydellä ja turvallisuudella. Saleihin lisättiin myös kylmäkalusteita remontin yhteydessä. Tämä omalta osaltaan nostaa kylmäjärjestelmän energiankulutusta ja vääristää tuloksia epäkannattaviksi. Hiilidioksidikylmäjärjestelmää on myös suositeltavaa käyttää alikriittisenä niin paljon kuin mahdollista, sillä tällöin taataan mahdollisimman suuri energiatehokkuus.

Hiilidioksidi kylmäaineena on energiatehokkuudeltaan vain kohtalainen ja vaatii huolellista järjestelmän suunnittelua ja toteutusta ollakseen tehokas, mutta useissa tapauksissa sen ympäristöystävällisyys sekä käyttöturvallisuus tekevät siitä hyvän vaihtoehdon järjestelmien uusinnan tai uusien järjestelmien tapauksessa. Myös uudet ja tulevat kylmäaine määräykset ajavat käyttäjiä aina enemmän luonnollisten kylmäaineiden (kuten CO₂) puoleen.

Lauhdelämmön talteenottojärjestelmä osoittautui kannattavaksi molemmissa esimerkkikohteissa. Järjestelmällä saatiin merkittävä määrä energiaa talteen ja järjestelmä maksaa itsensä takaisin kohtuullisessa ajassa. Järjestelmä maksaa itsensä nopeasti takaisin, vaikka alkuinvestointi olisi suurempikin. Merkittävää on myös LTO-järjestelmän pitkäikäisyys ja varmatoimisuus.

Suurin ongelma lauhdelämmön hyödyntämisessä on sen matalalämpötilataso (ei tulislämpö). Matala lämpö vaatiikin oikeanlaista järjestelmän suunnittelua ja oikeita lämmön hyödyntämisen tapoja. Tämän työn pohjalta voidaan todeta lattialämmitys-,

sulanapito-, tuloilman esilämmitys ja matalalämpötila lämmitysratkaisut kannattaviksi vaihtoehtoiksi lauhdelämpöä hyödynnettäessä.

Lauhteesta saadun energian määrä on suoraan tekemisissä kylmän tarpeen kanssa. Näin ollen saadaan talteen enemmän energiaa kylmäntarpeen ollessa suurempi. Toisaalta energian tarve kasvaa myös kylmän tarpeen kasvaessa.

Lauhdelämmön talteenotolla voidaan saada merkittäviä säästöjä, mutta näiden saavuttamiseksi tulee kylmäsuunnittelijoiden, LVI-suunnittelijoiden ja automaatio/sähkösuunnittelijoiden toimia läheisessä yhteistyössä, jotta optimaalisiin säästöihin päästään.

Mittausjakson alussa saatiin talteen vain pieni määrä lauhdelämmön energiasta, tulokset kuitenkin paranivat mittauksen jatkuessa. Normaaliallempi talteen saadun energiamäärä saattoi johtua anturivirheestä tai järjestelmän virheellisestä käynnistä. Epäilyksen kohteena oli myös LTO-piirissä olleen pumpun toiminta. Näin ollen lauhdelämmön talteenotto järjestelmällä saadut säästöt voivat olla suuremmat, kuin mitä tämän työn osalta saatiin.

Järjestelmän seurantamittauksen jakson pituus jäi myös lyhyeksi, yhden kuukauden mittaus edustaa huonosti koko vuoden tilannetta. Mittauksen jatkaminen/tekeminen kesällä antaisi tämän mittauksen ohella parempaa kuvaa koko järjestelmän kannattavuudesta. Motivan lauhdelämmön laskentaohjeen mukaan kesä- ja talvitulanteilla olisi merkittävä ero. [6].

Vaikka lauhdelämmön ajaminen lämpökaivoon ei ole taloudellisesti kannattavaa Salen kokoisessa kiinteistössä on huomioitava kuitenkin se, että mikäli lämmölle ei kesäaikaan löydy muuta sijoituskohdetta, nousee lämpökaivo varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Tämä takaisi myös kylmälaitteiston tehokkaan toiminnan, koska tarvittava jäähtyminen/lauhtuminen olisi aina taattu. Lämpökaivojen varaamisella voitaisiin myös paikata pientä lämpökaivojen alimitoittamista. Lämpökaivojen varaaminen on suunniteltava kohdekohtaisesti ja tarkkuutta noudattaen, jotta taataan varastoinnin optimaalinen toiminta. [34.]

Lauhtumispaineen nostaminen, jotta saataisiin korkeampaa lämpöä talteen, on usein epäkannattavaa, ja onkin suositeltavaa ainoastaan käytettäessä sähkölämmitystä. [36.]

Huolella suunniteltu ja toteutettu lauhdelämmön talteenottojärjestelmä hiilidioksidikylmän yhteydessä tuottaa säästöjä ja on kannattava investointi, niinpä tämän työn osalta voidaan suositella lauhdelämmön talteenottojärjestelmien toteuttamista ja jatkotutkimista.

LÄHTEET

1. Aittomäki, Antero & Karkiainen, Sasu & Kianta, Jani. Hiilidioksidi kylmälaitoksissa. Käyttökohteet, hyödyt ja tutkimustarve. Tampere:Tampereen teknillinen yliopisto Energia- ja prosessitekniikan laitos 2003.
2. Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus, 2005.
3. Aittomäki, Antero (toim.). Kylmätekniikka. Helsinki: Kylmätuki KYT Oy, 1996.
4. Peltola, Tuomo 2013. Hiilidioksidia kylmäaineena käyttävien markettien lämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201304265167>.
5. Suuronen, Henry 2012. Lauhdelämmön hyödyntäminen kaupan kylmäkoneistoista. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012090513392>.
6. Motiva 2012. Kaupan kylmälaitteiden ja -järjestelmien lauhdelämmön talteenotto – Laskentaohje. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan_kylmalaitteiden_ja_jarjestelmien_lauhdelammon_talteenotto_Laskentaohje.pdf. Luettu 7.12.2013
7. Sawalha, Samer & Chen Yang, 2010. Royal Institute of Technology (KTH). Investigations of heat recovery in different refrigeration system solutions in supermarkets, Effsys2 project final report. PDF-dokumentti. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:481369/FULLTEXT01>. Julkaistu 30.6.2010. Luettu 27.12.2013.
8. Karampour, Mazyar & Sawalha, Samer & Chen Yang, 2012. Kungliga Tekniska Högskolan. CO₂ Supermarket refrigeration and heat recovery, Utvärdering av CO₂ för butikskyla – fältmätning och modellering. PDF-dokumentti. http://www.kvforetagen.se/download/102751/Lilla_4_Utvardering_CO2_system_i_livsmedlesbutiker.pdf. Julkaistu 19.9.20012. Luettu 29.12.2013.
9. Sawalha, Samer. ASHRAE Journal; Aug 2005; 8; ProQuest Central; pg. 26. Using CO₂ in supermarket refrigeration. PDF-dokumentti. <http://bookstore.ashrae.biz/journal/download.php?file=26155sawalha.pdf>. Julkaistu 9.2005. Luettu 21.12.2013.

10. Pearson, Andy & Campbell, Andy. ASHRAE Journal, February 2010. Using CO₂ in supermarkets. PDF-dokumentti.
<https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/eNewsletters/pearson-022010-031413feature.pdf> Julkaistu 2.2010. Luettu 22.12.2013.
11. Sawalha, Samer, 2011. Department of energy technology, Kungliga tekniska högskola. Evaluation of refrigeration and heating systems in supermarkets, Field measurements and modeling. PDF-dokumentti. http://effsysplus.se/wp-content/uploads/2011/02/EFFSYSdagen-2011-Samer_Sawalha.pdf. Luettu 4.1.2014.
12. Suomen Kylmäliikkeiden Liitto ry, 2010. Kylmä Extra, Kylmäalan julkaisu 2010. PDF-dokumentti. http://www.ejulkaisu.fi/skll/ke10/pdf/KE10_WEB_II.pdf. Luettu 8.1.2014.
13. Motiva, 2009. Kylmää tehokkaasti päivittäistavarakaupalle.
http://www.motiva.fi/files/2889/Kylmaa_tehokkaasti_paivittaistavarakaupalle.pdf. Luettu 8.1.2014.
14. Danfoss, 2010. Maailman suurin transkriittinen CO₂ kylmäjärjestelmä. WWW-sivu.
<http://www.danfoss.com/Finland/NewsAndEvents/Archive/Refrigeration+News/2010/Maailman-suurin-transkriittinen-CO2-kylmajarjestelma/0A391A79-294A-4D4F-91C4-1A5377039660.html>. Julkaistu 26.4.2010. Luettu 8.1.2014.
15. Danfoss. Transcritical Refrigeration Systems with Carbon Dioxide (CO₂), How to design and operate a small-capacity (< 10 kW) transcritical CO₂ system. WWW-artikkeli.
http://www.danfoss.com/United_Kingdom/BusinessAreas/Refrigeration+and+Air+Conditioning/News/How-to-Design-and-Operate-a-Small-Capacity-Transcritical-CO2-System/4EAE4CEF-7919-405F-B82E-299E9ADCC722.html. Julkaistu 28.7.2008. Luettu 9.1.2014.
16. Kianta, Jani, 2008. Suomen kylmäyhdistys ry. Kylmäainetilanne 2008. PDF-dokumentti. <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>. Julkaistu 25.5.2008. Luettu 9.1.2014.
17. Suomen Kylmäliikkeiden Liitto ry, 2013. Kylmä Extra, Suomen Kylmäliikkeiden liiton julkaisu 2/2013. PDF-dokumentti.
<http://www.skll.fi/www/att.php?type=2&id=238>. Luettu 10.1.2014.
18. Shecco publications, 2014. Guide 2014: Natural refrigerants continued growth & innovation in Europe. PDF-dokumentti.
<http://publications.shecco.com/publications/view/2014-guide-natural-refrigerants-europe>. Julkaistu 13.1.2014. Luettu 16.1.2014.

19. WWW-artikkeli. Luettu 27.1.2014.
http://www.r744.com/articles/new_european_map_shows_co_sub_2_sub_transcritical_supermarkets_more_than_double_in_two_years.
20. Euroopan Komissio. Ehdotus, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, fluoratuista kasvihuonekaasuista. <http://www.skll.fi/www/att.php?type=2&id=209>. Julkaistu 7.11.2012. Luettu 13.1.2014.
21. Alanen, Raili & Koljonen, Tiina & Hukari, Sirpa & Saari, Pekka, 2003. Energian varastoinnin nykytila. Espoo: VTT. PDF-dokumentti.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>. Luettu 20.1.2014.
22. Suomen Ympäristökeskus, 2013. HCFC-yhdisteet, ohjeita kiinteistön omistajalle. WWW-julkaisu. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Otsonikerroksen_suojelu/Otsonikerrosta_heikentavia_aineita_koskevat_rajotukset/HCFCyhdisteet_ohjeita_kiinteistojen_omistajille. Päivitetty 18.12.2013. Luettu 6.1.2014.
23. The Engineering Toolbox. Refrigerants - Environmental Properties. WWW-sivu. http://www.engineeringtoolbox.com/refrigerants-properties-d_145.html. Luettu 6.1.2014.
24. Danfoss, 2010. Transcritical CO₂ booster system, How to control the system. PDF-dokumentti.
http://www.r744.com/web/assets/companybrochure/file/Transcritical_CO2_booster_system.pdf. Luettu 9.1.2014.
25. Huusko, Asmo. Sähköpostikeskustelu (7.2.2014). Geologinen tutkimuskeskus GTK. Erikoisasantuntija.
26. Juvonen, Simo. Sähköpostikeskustelu (10.1 – 24.3.2014). Huurre Finland Oy. Suunnittelija.
27. Kohteen Sale Poitsila LVI-suunnitelmat. Insinööritoimisto Linos Oy.
28. Kohteen Sale Husula LVI-suunnitelmat. Insinööritoimisto Linos Oy.
29. Kohteen Sale Poitsila kylmälaittepiirroksat ja suunnitelmat. Huurre Finland Oy.
30. Kohteen Sale Husula kylmälaittepiirroksat ja suunnitelmat. Huurre Finland Oy.
31. Sawalha, Samer 2003. International Journal of Refrigeration. Investigation of heat recovery in CO₂ trans-critical solution for supermarket refrigeration.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700712002800>. Luettu 1.2.2014
32. Kohteen Sale Poitsila kylmäkoneikon sähkösuunnitelmat. Huurre Finland Oy.
33. Kohteen Sale Husula kylmäkoneikon sähkösuunnitelmat. Huurre Finland Oy.

34. Manner, Kaijaleena 2013. Hiilidioksidikylmälaitoksen ja maalämpöjärjestelmän optimointi liikennemyymäläkiinteistössä. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22040/Manner.pdf?sequence=3>
35. Hellman, Jukka & Heikkilä, Heli. Sähköpostikeskustelu (1.3 – 30.3.2014).
Huurre Finland Oy
36. Eerikäinen, Matti. Puhelinkeskustelu (14.4.2014). SOK. Kylmäsuunnittelija.

IDA Indoor Climate and Energy vers. 4.51

License: IDA40:13SEP/I2Q6I (Koelisenssi)
 Simulated by Pasi Espo
 Date 16.4.2014 07:46:03 [63]



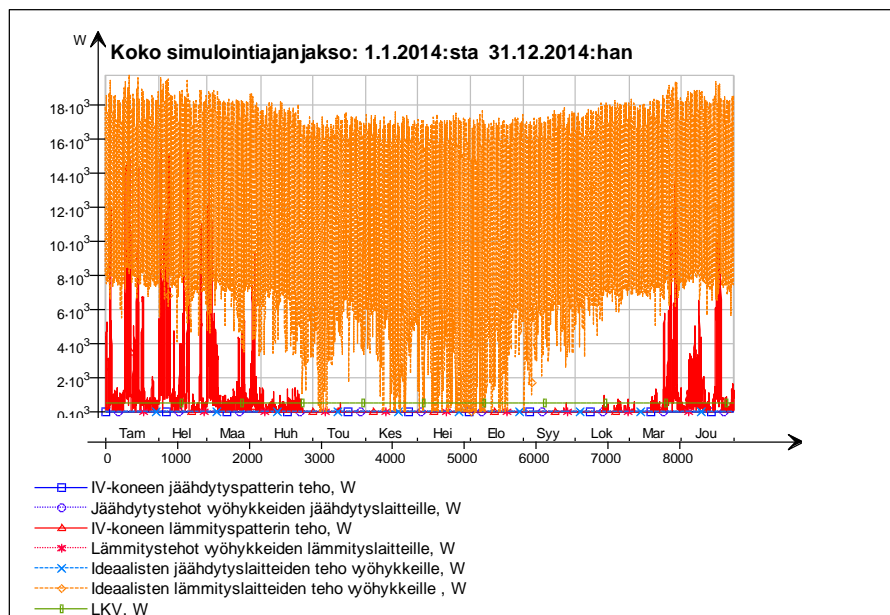
SIMULATION TECHNOLOGY GROUP

Projektin tiedot

Project name	Husula_kylmälaitteilla
Customer	Kymen Seudun Osuuskauppa
Description	
Location	Helsinki (Ref 2012)
Climate	Säätiedosto HKi-Vantaa_Ref_2012
Simulation type	Vuoden energiakulutuksen simulointi
Simulation period	1.1.2014 - 31.12.2014

Simulation results

Primäärijärjestelmän lämmitys-/jäähdytystehot



Energiaraportti

Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden tuntien osuus, kun operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	12 %
Niiden tuntien osuus, kun operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	3 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	10 %

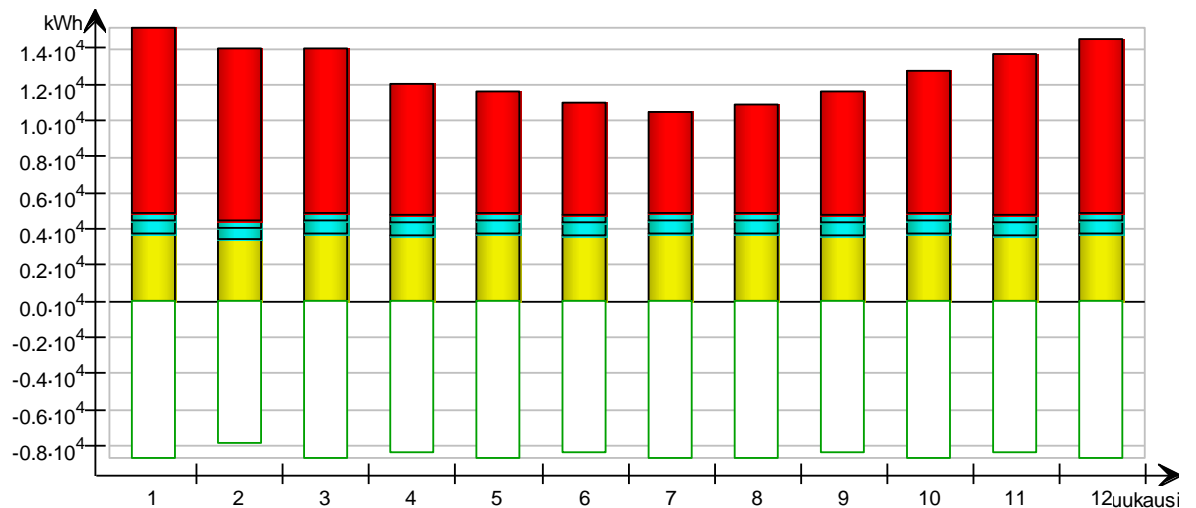
Ostoenergiankulutusraportti

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	43922	101.7	8.21	74667	172.8
Jäähdytys	0	0.0	0.0	0	0.0
LVI sähkö	8305	19.2	1.4	14118	32.7
Yhteensä, Kiinteistösähkö	52227	120.9		88785	205.5
LKV, polttoaine	4832	11.2	0.55	4832	11.2
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	4832	11.2		4832	11.2
Lämmitys	93762	217.0	31.61	65633	151.9
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	93762	217.0		65633	151.9
Yhteensä	150821	349.1		159250	368.6
Laitteet, asukas	-102898	-238.2	-11.58	-174927	-404.9
Yhteensä, Asukkaan sähkö	-102898	-238.2		-174927	-404.9
Yhteensä	47923	110.9		-15677	-36.3

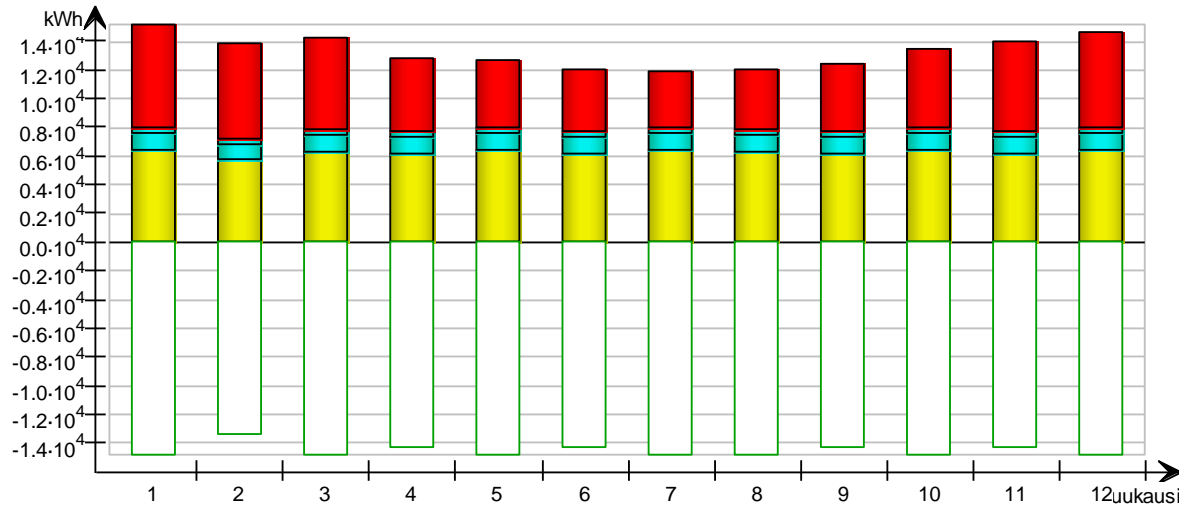
*Lämpöarvo

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausittainen kokonaisenergia

IDA ICE simulaatio tulokset Husula



Kuu- kausi	Kiinteistösähkö						Kiinteistö polttoaine (Lämpöarvo)		Kiinteistö- kaukolämpö		Asukkaan säh- kö		
	Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		LVI sähkö		LKV, poltto- aine		Lämmitys		Laitteet, asu- kas		
	(kWh)	Kokonais- energia (kWh)	(kW h)	Kokonais- energia (kWh)	(kW h)	Kokonais- energia (kWh)	(kW h)	Kokonais- energia (kWh)	(kWh)	Kokonais- energia (kWh)	(kWh)	Kokonais- energia (kWh)	
1	3736 .0	6351.2	0.0	0.0	698 .3	1187.1	410 .4	410.4	1026 5.0	7185.5	-	8739. 0	-14856.3
2	3366 .0	5722.2	0.0	0.0	630 .5	1071.8	370 .7	370.7	9523 .0	6666.1	-	7894. 0	-13419.8
3	3719 .0	6322.3	0.0	0.0	695 .7	1182.7	410 .4	410.4	9137 .0	6395.9	-	8740. 0	-14858.0
4	3618 .0	6150.6	0.0	0.0	681 .2	1158.0	397 .2	397.2	7239 .0	5067.3	-	8457. 0	-14376.9
5	3739 .0	6356.3	0.0	0.0	711 .7	1209.9	410 .4	410.4	6760 .0	4732.0	-	8739. 0	-14856.3
6	3596 .0	6113.2	0.0	0.0	688 .8	1171.0	397 .2	397.2	6171 .0	4319.7	-	8458. 0	-14378.6
7	3743 .0	6363.1	0.0	0.0	717 .2	1219.2	410 .4	410.4	5548 .0	3883.6	-	8738. 0	-14854.6
8	3721 .0	6325.7	0.0	0.0	713 .5	1213.0	410 .4	410.4	5995 .0	4196.5	-	8740. 0	-14858.0
9	3615 .0	6145.5	0.0	0.0	688 .0	1169.6	397 .2	397.2	6799 .0	4759.3	-	8457. 0	-14376.9
10	3739 .0	6356.3	0.0	0.0	705 .7	1199.7	410 .4	410.4	7816 .0	5471.2	-	8739. 0	-14856.3

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

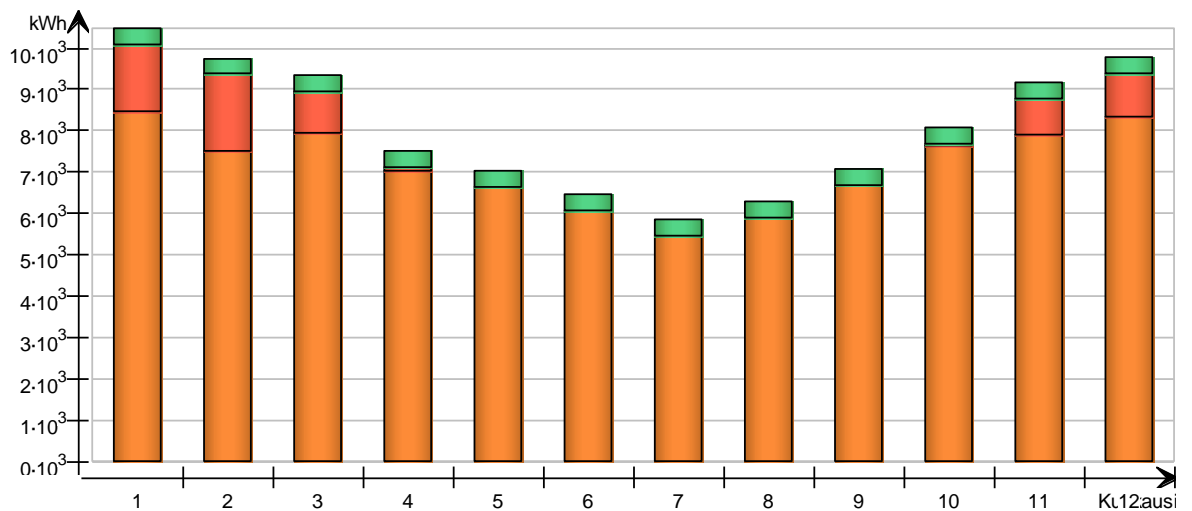
11	3594 .0	6109.8	0.0	0.0	675 .6	1148.5	397 .2	397.2	8923 .0	6246.1	0 - 8458. 0	-14378.6
12	3736 .0	6351.2	0.0	0.0	698 .4	1187.3	410 .4	410.4	9586 .0	6710.2	0 - 8739. 0	-14856.3
Yhteensä	4392 2.0	74667.4	0.0	0.0	830 4.6	14117.8	483 2.3	4832.3	9376 2.0	65633.4	0 - 10289 8.0	-174926.6

Järjestelmien energia

Energiankulutus

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	8443.0	0.0	1614.0	0.0	402.2
2	7476.0	0.0	1854.0	0.0	363.3
3	7929.0	0.0	1022.0	0.0	402.2
4	7002.0	0.0	89.7	0.0	389.3
5	6620.0	0.0	1.4	0.0	402.2
6	6045.0	0.0	0.0	0.0	389.3
7	5435.0	0.0	0.0	0.0	402.2
8	5872.0	0.0	0.0	0.0	402.2
9	6659.0	0.0	1.3	0.0	389.3
10	7629.0	0.0	27.2	0.0	402.2
11	7880.0	0.0	861.7	0.0	389.3
12	8342.0	0.0	1050.0	0.0	402.2
Yhteensä	85332.0	0.0	6521.3	0.0	4735.9



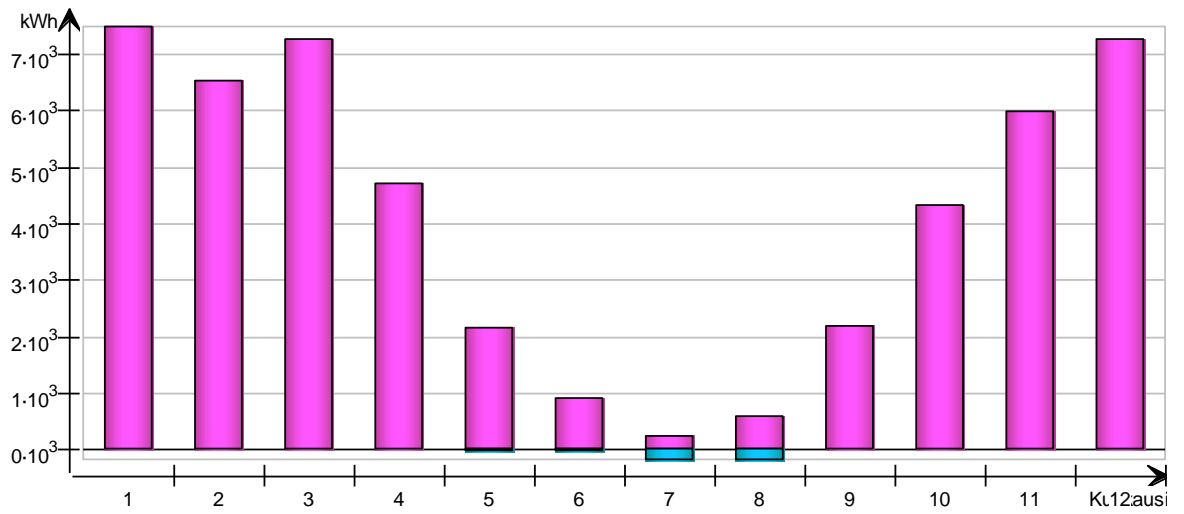
IDA ICE simulaatio tulokset Husula

Talteenotettu ja omavaraisenergia

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuu- kausi	LTO	Ilman- vaihdossa jäähdy- tyksen talteenot- to	Lämmöntal- teenotto, primäärijär- jestelmä	Jäähdytyk- sen talteen- otto, pri- määrijärjes- telmä	Aurinko- lämpö	Maa- lämpö	Maa- jäähdy- tys	UI- koil- ma läm- pö	UI- koil- ma jääh- dytys
1	7482 .0	0.0							
2	6539 .0	0.0							
3	7253 .0	0.0							
4	4709 .0	-0.0							
5	2143 .0	-29.5							
6	894. 6	-36.3							
7	236. 5	-187.0							
8	593. 5	-179.7							
9	2173 .0	-0.0							
10	4310 .0	0.0							
11	5966 .0	0.0							
12	7272 .0	0.0							
Yh- teensä	4957 1.6	-432.5							

IDA ICE simulaatio tulokset Husula



Tuotettu sähköenergia

kWh

Kuukausi	Aurinkosähkö (PV)	Tuuliturbiini	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)
	■	■	■
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Yhteensä			

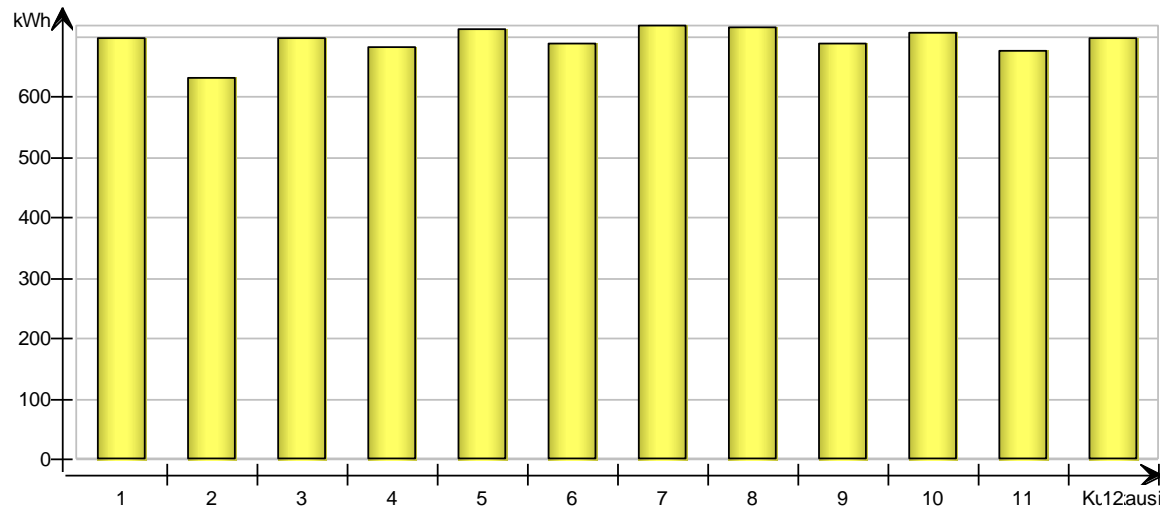
Apulaitteiden energia

kWh

Kuukausi	Kostutus	Puhaltimet	Pumput
	■	■	■
1		697.1	1.2
2		629.2	1.3
3		695.0	0.7
4		681.2	0.1
5		711.7	0.0
6		688.8	0.0
7		717.2	0.0

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

8		713.5	0.0
9		688.0	0.0
10		705.7	0.0
11		675.0	0.6
12		697.7	0.8
Yhteensä		8300.1	4.7



Jakeluhäviöt

kWh

Kuukausi	Lämpimän käyttöveden jakelu	Lämmitys	Jäähdytys*	Ilmanvaihtokanavisto*
1	257.2	1267.0		0.0
2	232.3	1122.0		0.0
3	257.2	1190.0		0.0
4	248.9	1051.0		0.0
5	257.2	993.4		0.0
6	248.9	907.2		0.0
7	257.2	815.6		0.0
8	257.2	881.2		0.0
9	248.9	999.3		0.0
10	257.2	1145.0		0.0
11	248.9	1182.0		0.0
12	257.2	1252.0		0.0
Yhteensä	3028.3	12805.7	0.0	0.0

*Positiivinen häviö, kun johto on viileämpi kuin rakennus

Sisäänsyöttötiedot

Kiinteä vuotoilmamäärä

6.543 l/s

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

Rakennuksen vaippa	Ala [m ²]	U [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	% kokon.
Ulkoseinät	187.29	0.29	53.93	60.12
Katto	0.00	0.00	0.00	0.00
Alapohja	0.00	0.00	0.00	0.00
Ikkunat	9.22	2.63	24.26	27.05
Ulko-ovet	9.60	1.01	9.66	10.77
Kylmäsiilat			1.86	2.07
Summa ¹ /painotettu keskiarvo ²	206.12 ¹	0.44 ²	89.70 ¹	100.00

Kylmäsiilat	Pinta-ala tai pituus	Keskim lämmönjohtuvuus	Summa [W/K]
Ulkoseinä - Välipohja	147.23 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisäseinä	22.40 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Ulkoseinä	13.94 m	0.040 W/(K m)	0.558
Ikkuna ympäröimitta	12.38 m	0.040 W/(K m)	0.495
Ulko-ovi ympäröimitta	25.60 m	0.040 W/(K m)	1.024
Katto - Ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja - Ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Parvekelaatta - Ulkoseinät	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja - Sisäseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Katto - Sisäseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisänurkka	5.54 m	-0.040 W/(K m)	-0.222
Ulkovaippa	206.12 m ²	0.000 W/(K m ²)	0.000
Ylimääräiset häviöt	-	-	-0.000
Summa	-	-	1.855

Ikkunat	Ala [m ²]	U lasi [W/(K m ²)]	U karmi [W/(K m ²)]	U ikkuna [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	g kokonaissäteilyn läpäisykerroin
S	9.22	2.70	2.00	2.63	24.26	0.55
Summa ¹ /painotettu keskiarvo ²	9.22 ¹	2.70 ²	2.00 ²	2.63 ²	24.26 ¹	0.55 ²

Ilmanvaihtokone	Paineenkorotus tulo/poisto [Pa/Pa]	Puhaltimen hyötysuhde tulo/poisto [-/-]	Järjestelmän SFP-luku [kW/(m ³ /s)]	Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde / minimi jäteilmän lämpötila [-/C]
AHU	594.00/594.00	0.60/0.60	0.99/0.99	0.80/1.00

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

LKV	L/(lattia-m ² ,vuosi)	Summa, [l/s]
	68.000	0.001

Läsnäoloaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

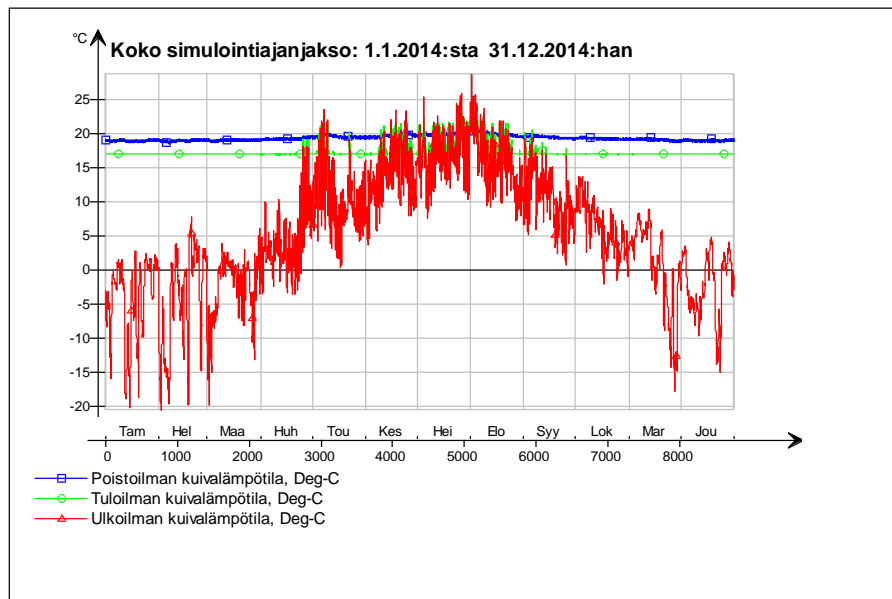
Valaistusaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

Laitaikaataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

Säädön asetusarvot tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

IV-kone

IV-koneen lämpötilat



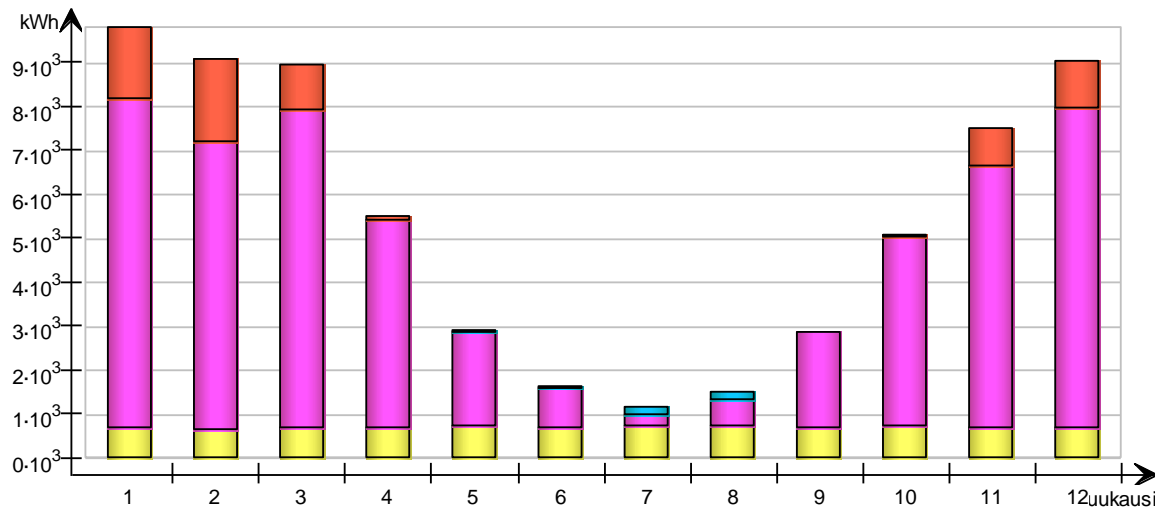
Energiaraportti vyöhykkeelle "IV-kone"

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	1614.0	0.0	7482.0	0.0	0.0	697.1
2	1854.0	0.0	6539.0	0.0	0.0	629.2
3	1022.0	0.0	7253.0	0.0	0.0	695.0
4	89.7	0.0	4709.0	0.0	0.0	681.2
5	1.4	0.0	2143.0	29.5	0.0	711.7

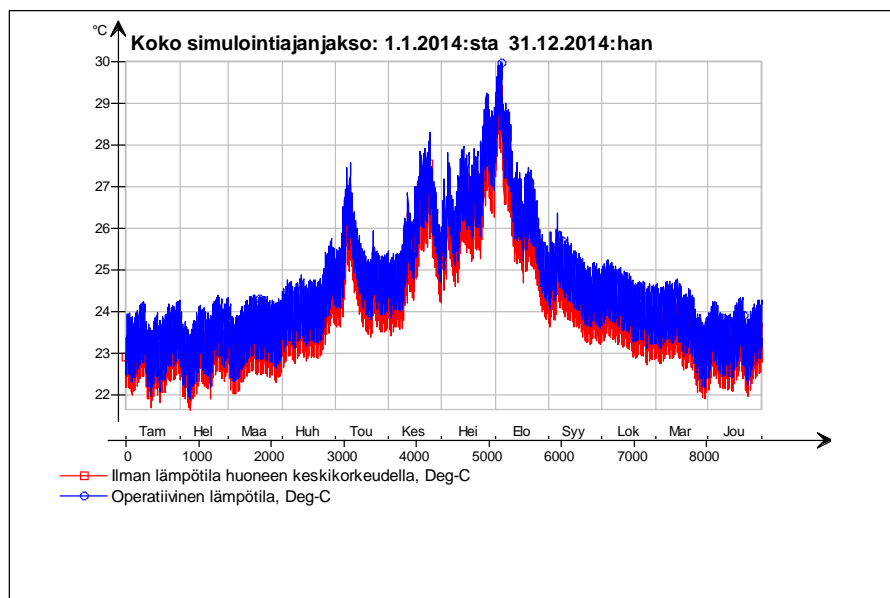
IDA ICE simulaatio tulokset Husula

6	0.0	0.0	894.6	36.3	0.0	688.8
7	0.0	0.0	236.5	187.0	0.0	717.2
8	0.0	0.0	593.5	179.7	0.0	713.5
9	1.3	0.0	2173.0	0.0	0.0	688.0
10	27.2	0.0	4310.0	0.0	0.0	705.7
11	861.7	0.0	5966.0	0.0	0.0	675.0
12	1050.0	0.0	7272.0	0.0	0.0	697.7
Yhteensä	6521.3	0.0	49571.6	432.5	0.0	8300.1



Sos.tilat

Lämpötilat



Vyöhykkeen "Sos.tilat" energia

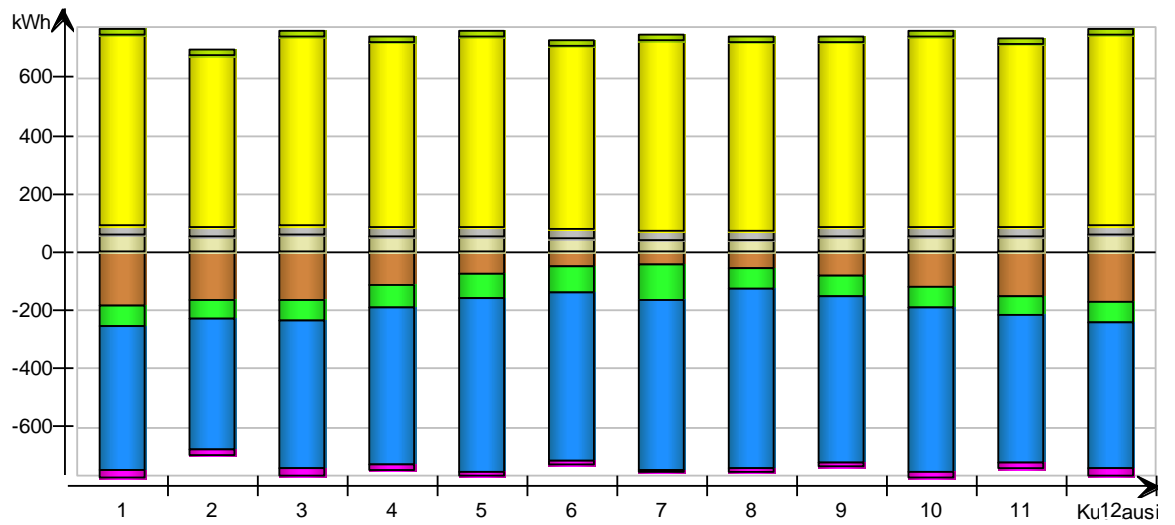
Vyöhykkeen "Sos.tilat" energia

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

kWh (Vain tuntuva)

Kuu- kausi	Vaip- pa ja kyl- mäsil- lat	Sisä- seinät ja mas- sat	Ikkunat & aurin- gonsä- teily	Kon- tu- loil- ma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalli- set jääh- dytyslait- teet	Jake- luhävi- öt
1	-184.9	-69.7	0.0	- 491.9	-23.0	59.0	34.5	655.9	-0.0	0.0	22.6
2	-166.8	-60.0	0.0	- 445.3	-21.2	53.0	31.1	591.0	0.0	0.0	20.4
3	-167.0	-68.1	0.0	- 507.8	-22.0	57.7	34.4	652.9	-0.0	0.0	22.6
4	-111.8	-77.3	0.0	- 536.2	-16.0	53.5	33.4	635.2	-0.0	0.0	21.8
5	-73.9	-79.4	0.0	- 596.5	-12.1	51.3	34.5	656.4	-0.0	0.0	22.6
6	-51.8	-88.6	0.0	- 579.9	-9.4	46.4	33.2	631.3	-0.0	0.0	21.8
7	-40.6	-120.1	0.0	- 584.5	-8.1	42.4	34.6	657.1	-0.0	0.0	22.6
8	-55.0	-69.3	0.0	- 616.3	-9.0	42.7	34.4	653.2	-0.0	0.0	22.6
9	-84.2	-70.2	0.0	- 572.8	-11.6	51.6	33.4	634.7	-0.0	0.0	21.8
10	-121.1	-68.4	0.0	- 562.1	-15.2	55.9	34.5	656.4	0.0	0.0	22.6
11	-153.0	-60.3	0.0	- 506.6	-18.9	55.3	33.2	631.0	-0.0	0.0	21.8
12	-174.7	-71.7	0.0	- 501.1	-21.6	58.6	34.5	655.9	-0.0	0.0	22.6
Yhteen- sä	-1384.7	-903.1	0.0	- 6501. 0	-188.0	627.6	405.8	7711. 0	-0.0	0.0	265.7
Lämmi- tyksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jäähdy- tyksen aikainen	-385.8	-674.7	0.0	- 3461. 1	-60.4	295.6	208.9	3969. 4	0.0	0.0	128.6
Muina aikoina	-998.9	-228.4	0.0	- 3039. 9	-127.6	332.0	196.9	3741. 6	-0.0	0.0	137.1

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

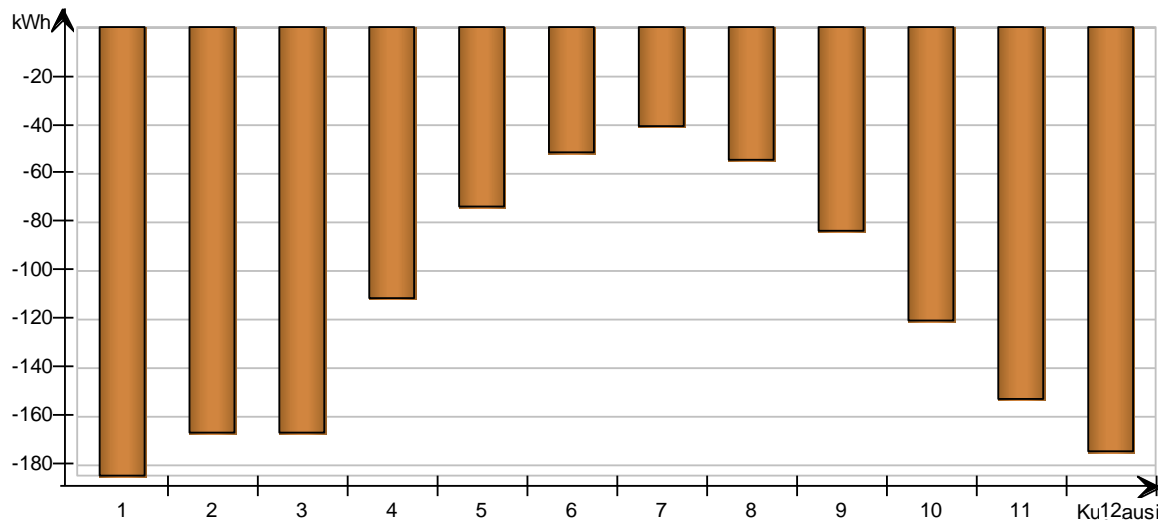


Vaipan johtuminen

kWh

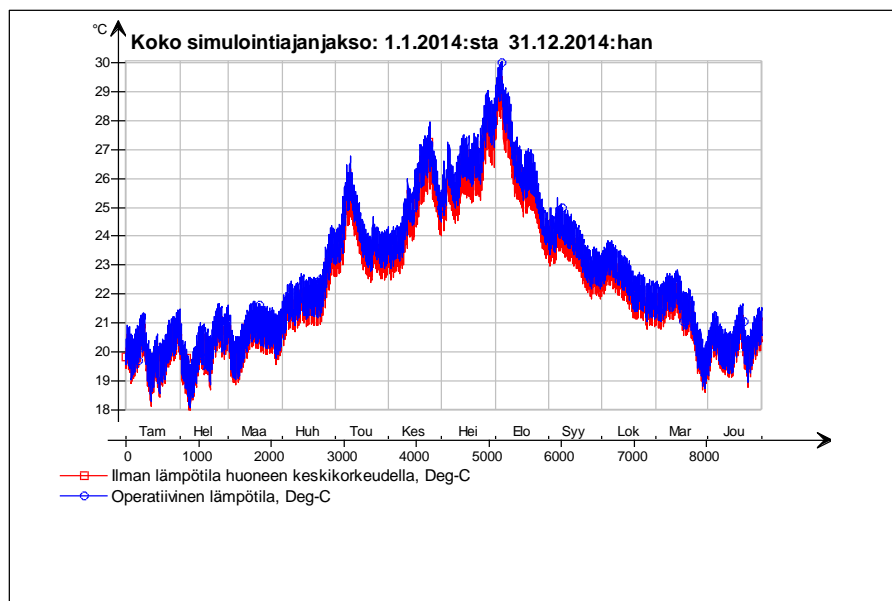
Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat
1	-184.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-166.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	-167.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	-111.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	-73.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	-51.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	-40.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	-55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	-84.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	-121.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	-153.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	-174.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Yhteensä	-1384.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lämmityksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jäähdytyksen aikainen	-385.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Muina aikoina	-998.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

IDA ICE simulaatio tulokset Husula



Vastaanotto

Lämpötilat



Vyöhykkeen "Vastaanotto" energia

Vyöhykkeen "Vastaanotto" energia

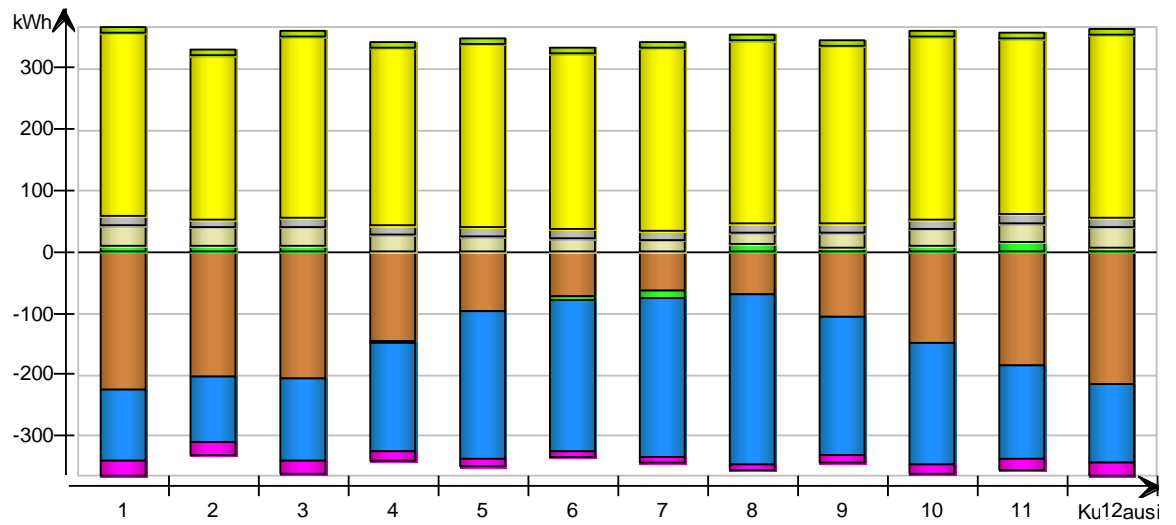
kWh (Vain tuntuva)

Kuu- kausi	Vaip- pa ja kyl- mäsil-	Sisä- seinät ja mas-	Ikkunat & aurin- gonsä- teily	Kon- tu- loil ma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalli- set jääh- dytyslait- teet	Jake- luhävi- öt
---------------	----------------------------------	-------------------------------	--	---------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------	---------------------	---	--	------------------------

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

	lat	sat									
1	-226.6	8.3	0.0	-	-22.6	33.0	15.8	299.2	0.0	0.0	10.3
2	-205.1	9.2	0.0	-	-20.9	29.7	14.2	269.6	0.2	0.0	9.3
3	-207.4	8.6	0.0	-	-21.9	31.9	15.7	297.9	0.0	0.0	10.3
4	-145.9	-3.6	0.0	-	-16.0	28.4	15.3	289.8	0.0	0.0	9.9
5	-97.8	0.6	0.0	-	-12.5	25.5	15.8	299.4	0.0	0.0	10.3
6	-73.6	-5.1	0.0	-	-9.9	22.5	15.2	288.0	0.0	0.0	9.9
7	-64.5	-12.1	0.0	-	-8.8	20.1	15.8	299.8	0.0	0.0	10.3
8	-70.2	13.4	0.0	-	-9.8	19.8	15.7	298.0	-0.0	0.0	10.3
9	-107.6	5.9	0.0	-	-11.9	25.9	15.2	289.5	0.0	0.0	9.9
10	-149.7	8.4	0.0	-	-15.3	29.1	15.8	299.4	0.0	0.0	10.3
11	-185.4	14.3	0.0	-	-18.9	29.8	15.2	287.9	0.0	0.0	9.9
12	-214.7	5.2	0.0	-	-21.2	32.5	15.8	299.2	-0.0	0.0	10.3
Yhteensä	-1748.5	53.2	0.0	-	-189.9	328.2	185.2	3517.7	0.2	0.0	121.3
Lämmityksen aikainen	-42.8	43.0	0.0	-	-6.3	0.9	0.4	7.4	0.2	0.0	2.4
Jäähdytyksen aikainen	-234.3	-28.9	0.0	-	-30.5	71.0	52.5	998.3	0.0	0.0	33.1
Muina aikoina	-1471.4	39.1	0.0	-	-153.1	256.3	132.3	2512.0	-0.0	0.0	85.8

IDA ICE simulaatio tulokset Husula



Vaipan johtuminen

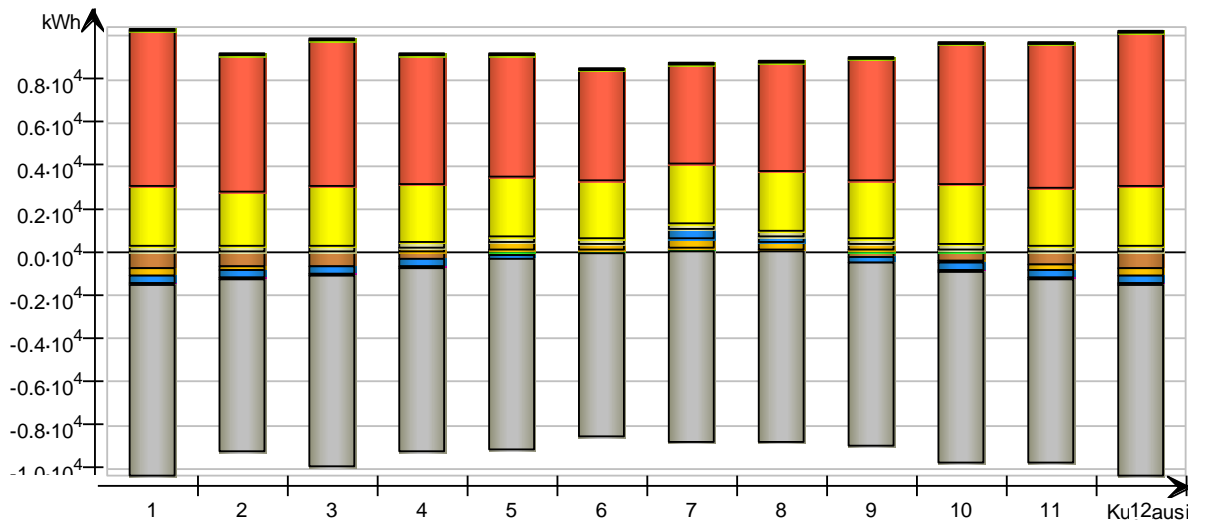
kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat
1	-113.2	0.0	0.0	0.0	-101.7	-11.7
2	-102.0	0.0	0.0	0.0	-92.2	-10.8
3	-103.7	0.0	0.0	0.0	-92.5	-11.3
4	-76.1	0.0	0.0	0.0	-61.5	-8.2
5	-49.8	0.0	0.0	0.0	-41.5	-6.4
6	-37.9	0.0	0.0	0.0	-30.6	-5.1
7	-36.0	0.0	0.0	0.0	-24.1	-4.5
8	-31.5	0.0	0.0	0.0	-33.7	-5.0
9	-53.0	0.0	0.0	0.0	-48.5	-6.1
10	-73.3	0.0	0.0	0.0	-68.6	-7.8
11	-90.0	0.0	0.0	0.0	-85.6	-9.7
12	-107.7	0.0	0.0	0.0	-96.0	-10.9
Yhteensä	-874.2	0.0	0.0	0.0	-776.5	-97.6
Lämmityksen aikainen	-11.2	0.0	0.0	0.0	-28.3	-3.3
Jäähdytyksen aikainen	-126.5	0.0	0.0	0.0	-92.2	-15.6
Muina aikoina	-736.5	0.0	0.0	0.0	-656.0	-78.7

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

	lat	sat									
1	-796.1	38.4	-352.1	- 345.9	-90.1	285.5	8789. 0	2781. 0	7179.0	0.0	95.7
2	-704.1	33.0	-194.6	- 311.8	-83.3	256.7	7939. 0	2506. 0	6357.0	0.0	86.4
3	-671.1	29.8	-22.8	- 344.7	-84.5	282.8	8790. 0	2768. 0	6743.0	0.0	95.7
4	-379.4	45.0	197.6	- 312.6	-53.8	275.1	8505. 0	2693. 0	5954.0	0.0	92.6
5	-160.9	56.3	329.8	- 195.1	-29.1	286.3	8789. 0	2783. 0	5630.0	0.0	95.7
6	-49.7	68.5	304.2	13.1	-13.6	279.7	8506. 0	2677. 0	5141.0	0.0	92.6
7	59.7	76.9	417.6	439.7	2.7	294.9	8789. 0	2786. 0	4622.0	0.0	95.7
8	-16.9	75.7	363.5	226.5	-3.0	292.1	8790. 0	2769. 0	4993.0	0.0	95.7
9	-218.9	52.1	266.6	- 282.3	-29.9	278.0	8506. 0	2691. 0	5662.0	0.0	92.6
10	-439.4	55.2	-80.7	- 345.0	-48.6	287.7	8789. 0	2783. 0	6487.0	0.0	95.7
11	-625.4	41.9	-244.8	- 333.5	-69.5	275.5	8506. 0	2675. 0	6700.0	0.0	92.6
12	-742.1	40.7	-330.2	- 345.9	-82.9	285.6	8789. 0	2781. 0	7093.0	0.0	95.7
Yhteen- sä	-4744.3	613.5	654.1	- 2137. 5	-585.6	3379. 9	- 1034 87.0	32693 .0	72561.0	0.0	1126.8
Lämmi- tyksen aikainen	-4744.4	613.6	654.2	- 2137. 5	-585.6	3380. 6	- 1035 00.0	32694 .4	72555.6	0.0	1126.7
Jäähdy- tyksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Muina aikoina	0.1	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.7	13.0	-1.4	5.4	0.0	0.1

IDA ICE simulaatio tulokset Husula

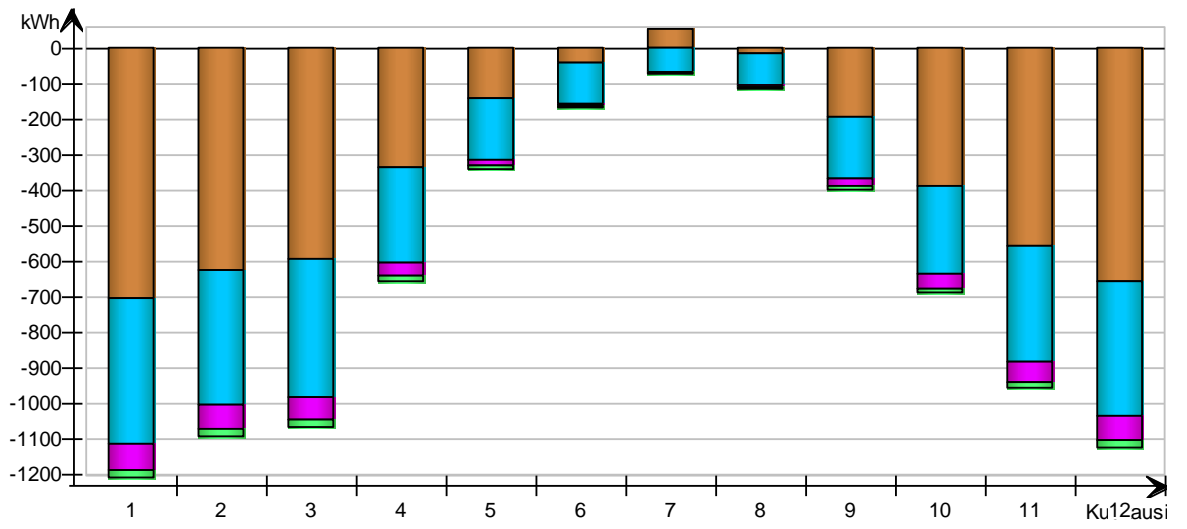


Vaipan johtuminen

kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat
1	-705.1	0.0	0.0	-408.4	-71.4	-19.6
2	-622.2	0.0	0.0	-379.4	-63.8	-18.1
3	-591.8	0.0	0.0	-388.3	-60.9	-18.4
4	-332.9	0.0	0.0	-266.8	-34.9	-11.7
5	-140.0	0.0	0.0	-171.9	-14.5	-6.5
6	-41.0	0.0	0.0	-111.5	-5.4	-3.3
7	55.6	0.0	0.0	-64.0	4.8	-0.7
8	-13.4	0.0	0.0	-85.3	-1.7	-1.8
9	-191.6	0.0	0.0	-170.9	-20.8	-6.5
10	-388.4	0.0	0.0	-242.9	-40.5	-10.5
11	-553.9	0.0	0.0	-324.7	-56.4	-15.1
12	-657.5	0.0	0.0	-379.2	-66.6	-18.0
Yhteensä	-4182.2	0.0	0.0	-2993.3	-432.0	-130.1
Lämmityksen aikainen	-4183.3	0.0	0.0	-2994.4	-431.9	-130.1
Jäähdytyksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Muina aikoina	1.1	0.0	0.0	1.1	-0.1	0.0

IDA ICE simulaatio tulokset Husula



IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

IDA Indoor Climate and Energy vers. 4.51

License: IDA40:13SEP/I2Q6I (Koelisenssi)

Simulated by Pasi Espo

Date 16.4.2014 08:14:28 [47]



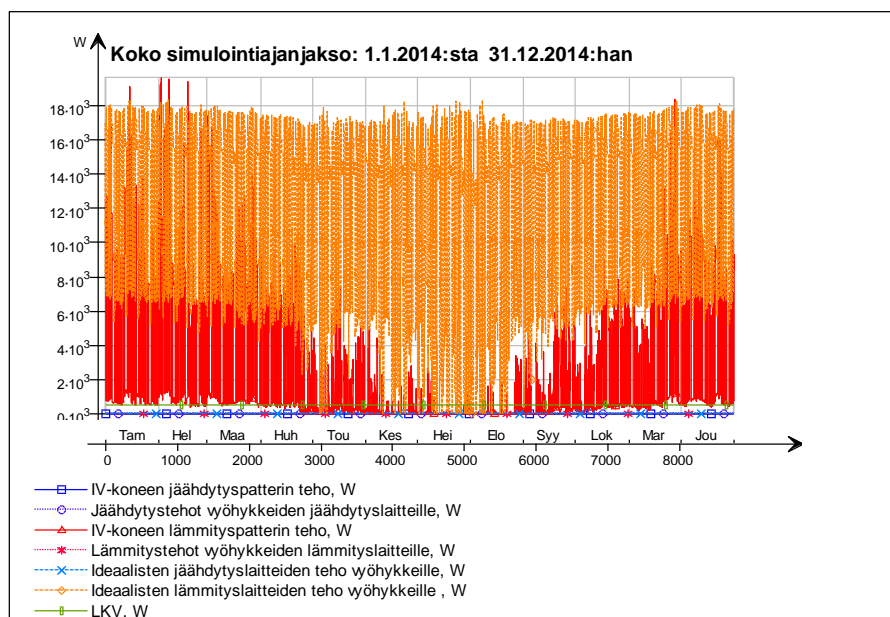
SIMULATION TECHNOLOGY GROUP

Projektin tiedot

Project name	Vertailu
Customer	
Description	
Location	Helsinki (Ref 2012)
Climate	Säätiedosto HKi-Vantaa_Ref_2012
Simulation type	Vuoden energiakulutuksen simulointi
Simulation period	1.1.2014 - 31.12.2014

Simulation results

Primäärijärjestelmän lämmitys-/jäähdytystehot



Energiaraportti

Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden tuntien osuus, kun operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	4 %
Niiden tuntien osuus, kun operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	1 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	8 %

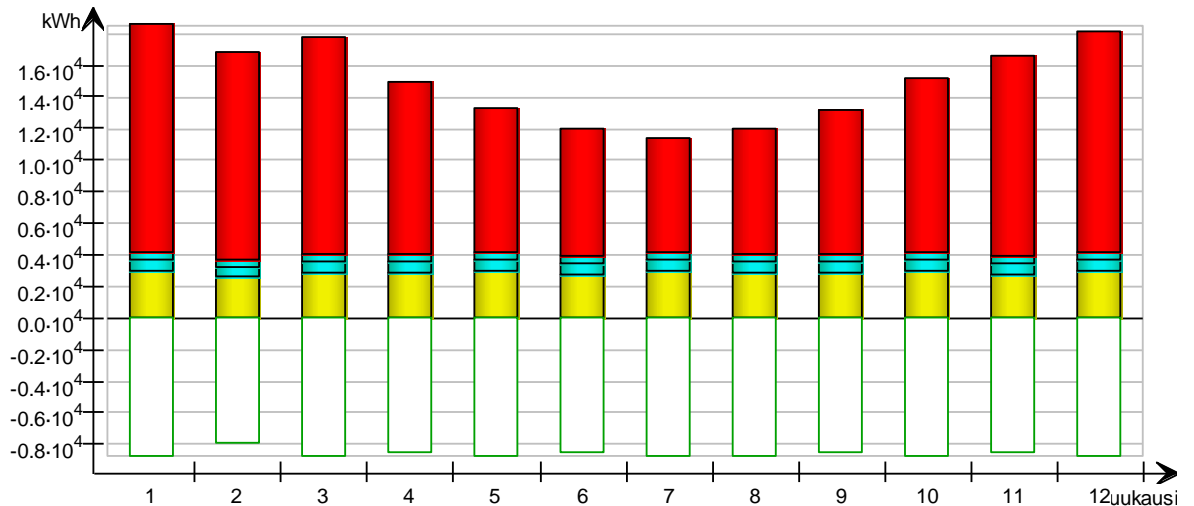
Ostoenergiankulutusraportti

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	33654	77.9	8.31	57212	132.4
Jäähdytys	0	0.0	0.0	0	0.0
LVI sähkö	8035	18.6	1.74	13660	31.6
Yhteensä, Kiinteistösähkö	41689	96.5		70872	164.0
LKV, polttoaine	5264	12.2	0.6	5264	12.2
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	5264	12.2		5264	12.2
Lämmitys	131380	304.0	37.08	91966	212.8
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	131380	304.0		91966	212.8
Yhteensä	178333	412.6		168102	389.0
Laitteet, asukas	-103438	-239.3	-11.57	-175845	-406.9
Yhteensä, Asukkaan sähkö	-103438	-239.3		-175845	-406.9
Yhteensä	74895	173.3		-7743	-17.9

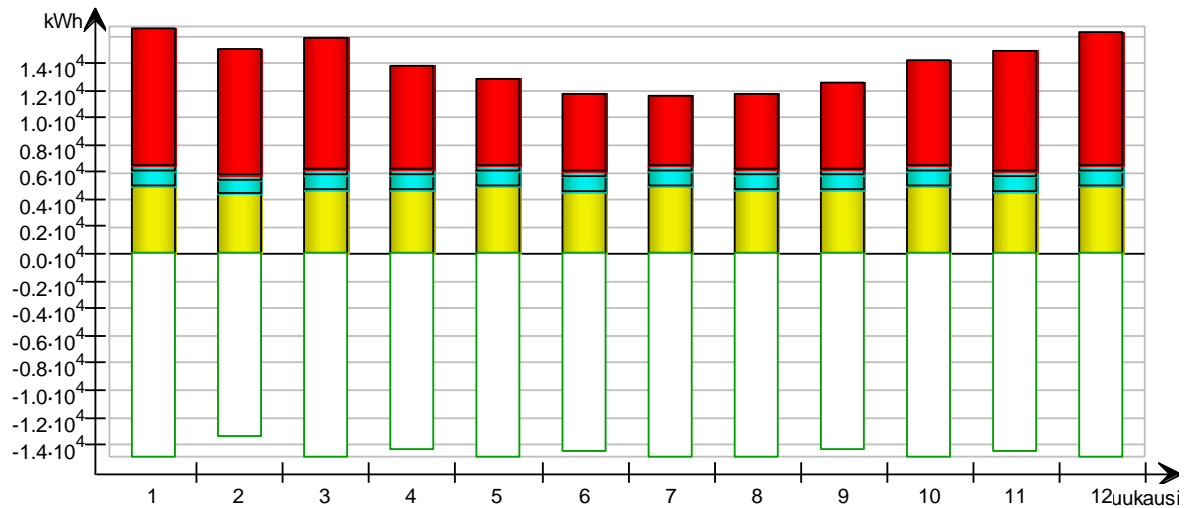
*Lämpöarvo

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausittainen kokonaisenergia

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus



Kuu- kausi	Kiinteistösähkö						Kiinteistö polttoaine (Lämpöarvo)		Kiinteistökau- kolämpö		Asukkaan säh- kö	
	Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		LVI sähkö		LKV, poltto- aine		Lämmitys		Laitteet, asu- kas	
	(kWh)	Kokonais- energia (kWh)	(kW h)	Kokonais- energia (kWh)	(kW h)	Kokonais- energia (kWh)	(kW h)	Kokonais- energia (kWh)	(kWh)	Kokonais- energia (kWh)	(kWh)	Kokonais- energia (kWh)
1	2901 .0	4931.7	0.0	0.0	689 .4	1172.0	447 .1	447.1	1443 7.0	10105.9	-	-14931.1
2	2577 .0	4380.9	0.0	0.0	612 .5	1041.3	403 .9	403.9	1319 6.0	9237.2	-	-13489.5
3	2792 .0	4746.4	0.0	0.0	664 .3	1129.3	447 .1	447.1	1374 9.0	9624.3	-	-14939.6
4	2795 .0	4751.5	0.0	0.0	666 .9	1133.7	432 .7	432.7	1090 0.0	7630.0	-	-14450.0
5	2905 .0	4938.5	0.0	0.0	695 .2	1181.8	447 .1	447.1	9114. 0	6379.8	-	-14931.1
6	2691 .0	4574.7	0.0	0.0	645 .2	1096.8	432 .7	432.7	8062. 0	5643.4	-	-14460.2
7	2905 .0	4938.5	0.0	0.0	698 .2	1186.9	447 .1	447.1	7235. 0	5064.5	-	-14931.1
8	2798 .0	4756.6	0.0	0.0	671 .7	1141.9	447 .1	447.1	7893. 0	5525.1	-	-14939.6
9	2799 .0	4758.3	0.0	0.0	669 .3	1137.8	432 .7	432.7	9105. 0	6373.5	-	-14450.0
10	2904 .0	4936.8	0.0	0.0	692 .9	1177.9	447 .1	447.1	1105 1.0	7735.7	-	-14931.1






IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

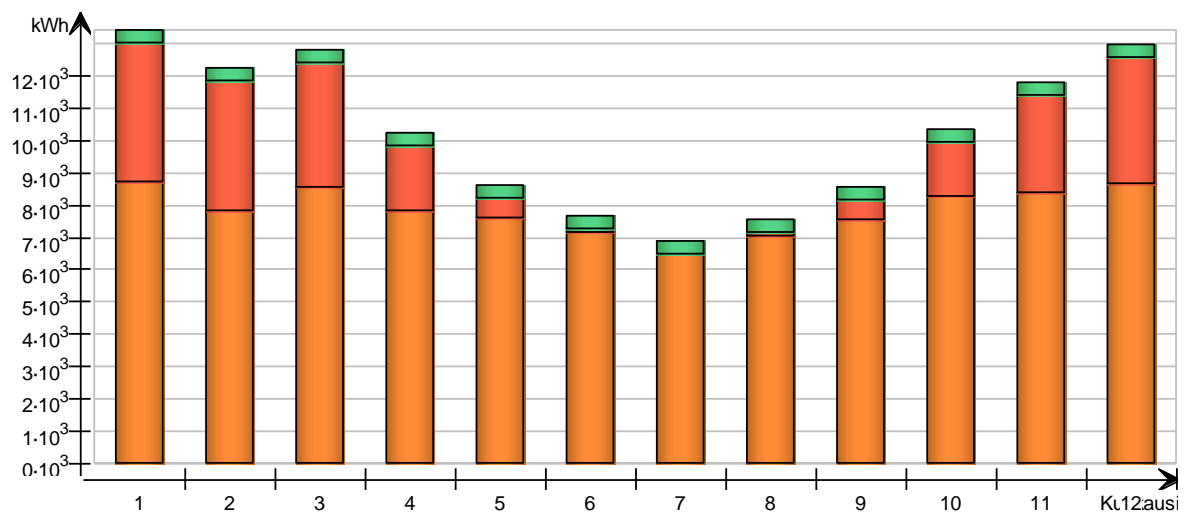
11	2686 .0	4566.2	0.0	0.0	639 .6	1087.3	432 .7	432.7	1269 2.0	8884.4	0 - 8506. 0	-14460.2
12	2901 .0	4931.7	0.0	0.0	689 .9	1172.8	447 .1	447.1	1394 6.0	9762.2	- 8783. 0	-14931.1
Yh- teensä	3365 4.0	57211.8	0.0	0.0	803 5.1	13659.7	526 4.4	5264.4	1313 80.0	91966.0	- 10343 8.0	-175844.6

Järjestelmien energia

Energiankulutus

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV- koneella	Jäähdytys IV- koneella	Lämmin käyttö- vesi
					
1	8709.0	0.0	4281.0	0.0	402.4
2	7832.0	0.0	4041.0	0.0	363.5
3	8536.0	0.0	3835.0	0.0	402.4
4	7799.0	0.0	2008.0	0.0	389.4
5	7567.0	0.0	632.9	0.0	402.4
6	7124.0	0.0	128.5	0.0	389.4
7	6491.0	0.0	17.8	0.0	402.4
8	7016.0	0.0	84.1	0.0	402.4
9	7554.0	0.0	638.1	0.0	389.4
10	8256.0	0.0	1686.0	0.0	402.4
11	8382.0	0.0	3037.0	0.0	389.4
12	8629.0	0.0	3919.0	0.0	402.4
Yhteensä	93895.0	0.0	24308.4	0.0	4737.9



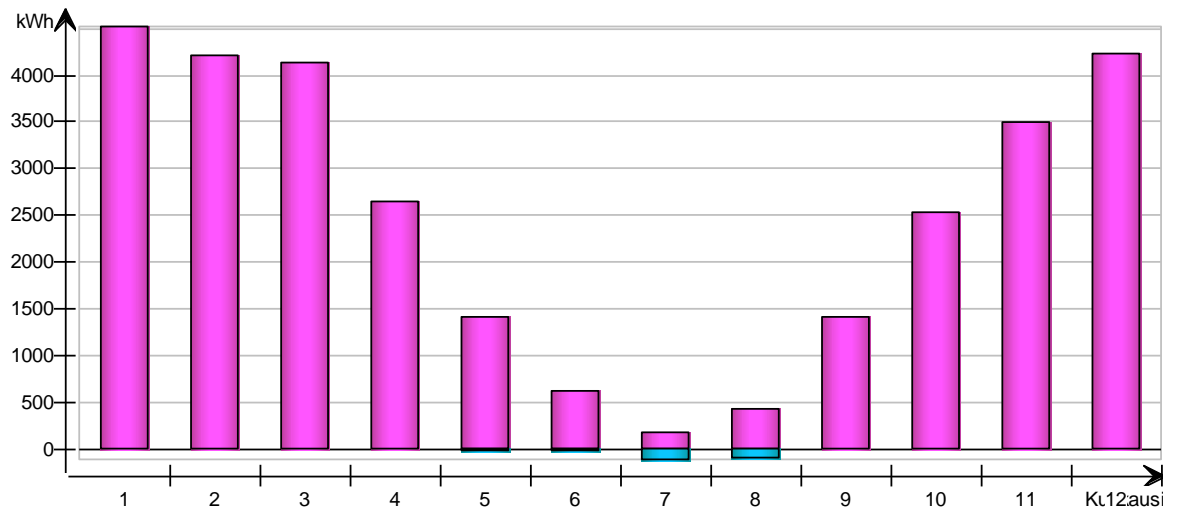
IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

Talteenotettu ja omavaraisenergia

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuu- kausi	LTO	Ilman- vaihdossa jäähdy- tyksen talteenot- to	Lämmöntal- teenotto, primäärijär- jestelmä	Jäähdytyk- sen talteen- otto, pri- määrijärjes- telmä	Aurinko- lämpö	Maa- lämpö	Maa- jäähdy- tys	UI- koil- ma läm- pö	UI- koil- ma jääh- dytys
1	4514 .0	0.0							
2	4199 .0	0.0							
3	4133 .0	0.0							
4	2642 .0	-0.0							
5	1404 .0	-23.9							
6	602. 5	-24.5							
7	166. 6	-124.2							
8	416. 2	-96.1							
9	1400 .0	-0.0							
10	2517 .0	0.0							
11	3484 .0	0.0							
12	4224 .0	0.0							
Yh- teensä	2970 2.3	-268.7							

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus



Tuotettu sähköenergia

kWh

Kuukausi	Aurinkosähkö (PV)	Tuuliturbiini	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)
	■	■	■
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Yhteensä			

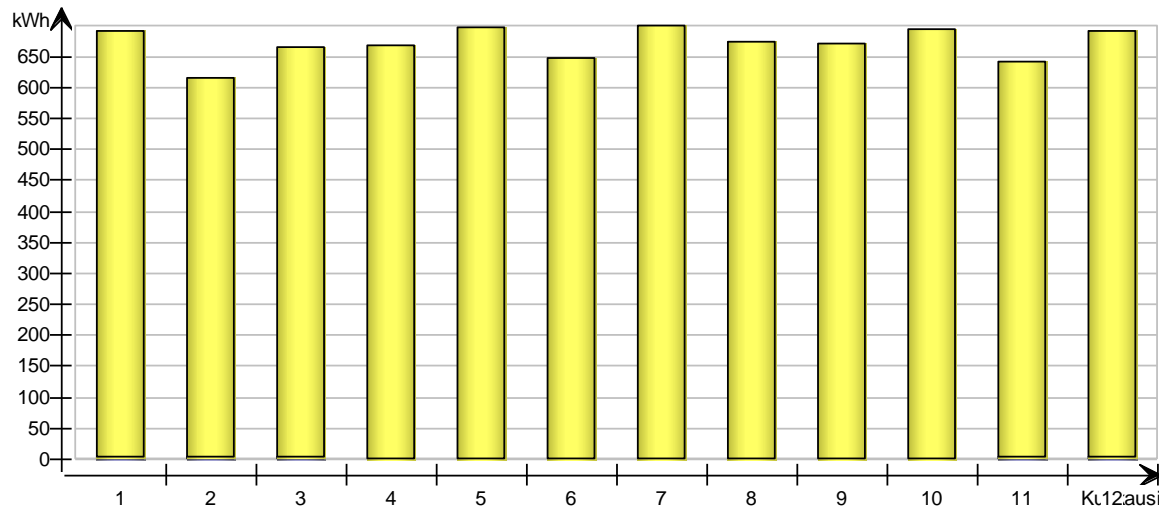
Apulaitteiden energia

kWh

Kuukausi	Kostutus	Puhaltimet	Pumput
	■	■	■
1		686.3	3.1
2		609.6	2.9
3		661.5	2.7
4		665.5	1.5
5		694.7	0.5
6		645.1	0.1
7		698.2	0.0

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

8		671.6	0.1
9		668.8	0.5
10		691.6	1.2
11		637.4	2.2
12		687.1	2.8
Yhteensä		8017.4	17.6



Jakeluhäviöt

kWh

Kuukausi	Lämpimän käyttöveden jakelu	Lämmitys	Jäähdytys*	Ilmanvaihtokanavisto*
1	257.2	1307.0		0.0
2	232.3	1175.0		0.0
3	257.2	1281.0		0.0
4	248.9	1170.0		0.0
5	257.2	1136.0		0.0
6	248.9	1069.0		0.0
7	257.2	974.0		0.0
8	257.2	1053.0		0.0
9	248.9	1133.0		0.0
10	257.2	1239.0		0.0
11	248.9	1258.0		0.0
12	257.2	1295.0		0.0
Yhteensä	3028.3	14090.0	0.0	0.0

*Positiivinen häviö, kun johto on viileämpi kuin rakennus

Sisäänsyöttötiedot

Kiinteä vuotoilmamäärä

7.394 l/s

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

Rakennuksen vaippa	Ala [m ²]	U [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	% kokon.
Ulkoseinät	222.79	0.17	37.83	74.78
Katto	0.00	0.00	0.00	0.00
Alapohja	0.00	0.00	0.00	0.00
Ikkunat	5.40	1.10	5.94	11.74
Ulko-ovet	4.80	1.01	4.83	9.54
Kylmäsiilat			1.99	3.94
Summa ¹ /painotettu keskiarvo ²	232.99 ¹	0.22 ²	50.59 ¹	100.00

Kylmäsiilat	Pinta-ala tai pituus	Keskim lämmönjohtuvuus	Summa [W/K]
Ulkoseinä - Välipohja	166.36 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisäseinä	16.80 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Ulkoseinä	11.20 m	0.060 W/(K m)	0.672
Ikkuna ympärystymitta	16.20 m	0.040 W/(K m)	0.648
Ulko-ovi ympärystymitta	16.80 m	0.040 W/(K m)	0.672
Katto - Ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja - Ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Parvekelaatta - Ulkoseinät	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja - Sisäseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Katto - Sisäseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisänurkka	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkovaippa	232.91 m ²	0.000 W/(K m ²)	0.000
Ylimääräiset häviöt	-	-	0.000
Summa	-	-	1.992

Ikkunat	Ala [m ²]	U lasi [W/(K m ²)]	U karmi [W/(K m ²)]	U ikkuna [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	g kokonaissäteilyn läpäisykerroin
E	1.80	1.00	2.00	1.10	1.98	0.55
S	3.60	1.00	2.00	1.10	3.96	0.55
Summa ¹ /painotettu keskiarvo ²	5.40 ¹	1.00 ²	2.00 ²	1.10 ²	5.94 ¹	0.55 ²

Ilmanvaihtokone	Paineenkorotus tulo/poisto [Pa/Pa]	Puhaltimen hyötysuhde tulo/poisto [-/-]	Järjestelmän SFP-luku [kW/(m ³ /s)]	Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde / minimi jäteilmän lämpötila [-/C]
AHU	600.00/600.00	0.60/0.60	1.00/1.00	0.45/1.00

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

LKV	L/(lattia-m ² ,vuosi)	Summa, [l/s]
	68.000	0.001

Läsnäoloaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

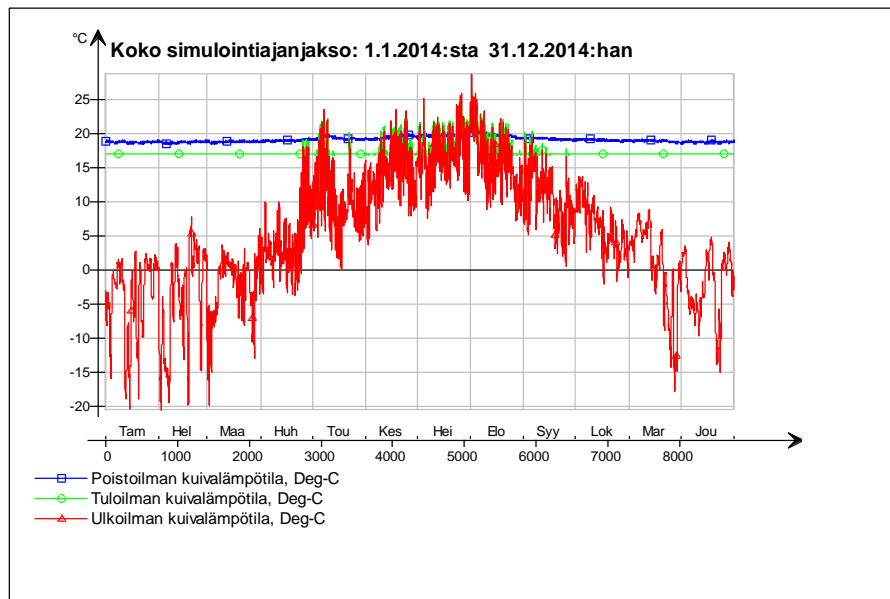
Valaistusaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

Laitaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

Säädön asetusarvot tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

IV-kone

IV-koneen lämpötilat



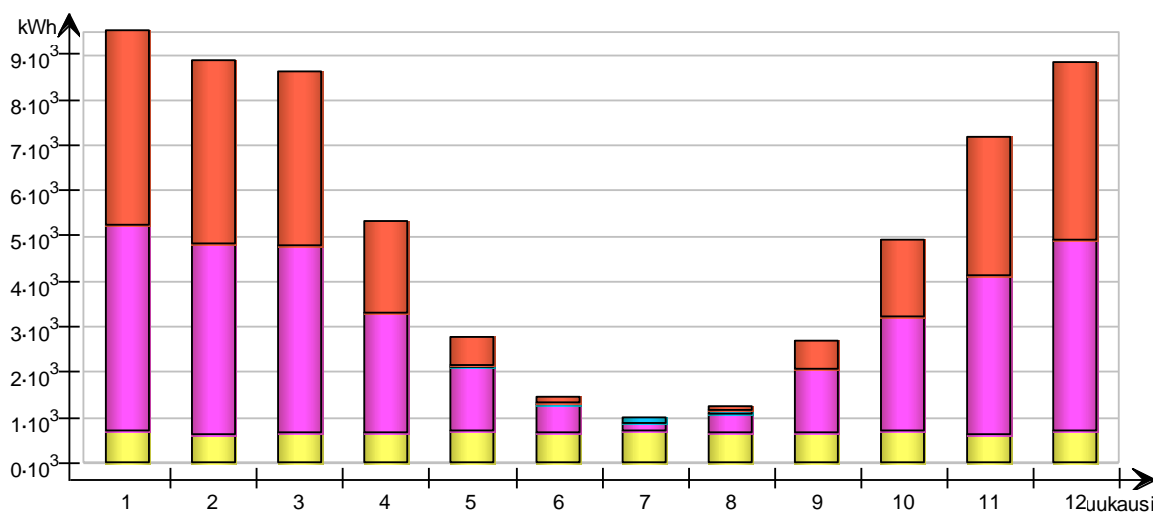
Energiaraportti vyöhykkeelle "IV-kone"

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	4281.0	0.0	4514.0	0.0	0.0	686.3
2	4041.0	0.0	4199.0	0.0	0.0	609.6
3	3835.0	0.0	4133.0	0.0	0.0	661.5
4	2008.0	0.0	2642.0	0.0	0.0	665.5
5	632.9	0.0	1404.0	23.9	0.0	694.7

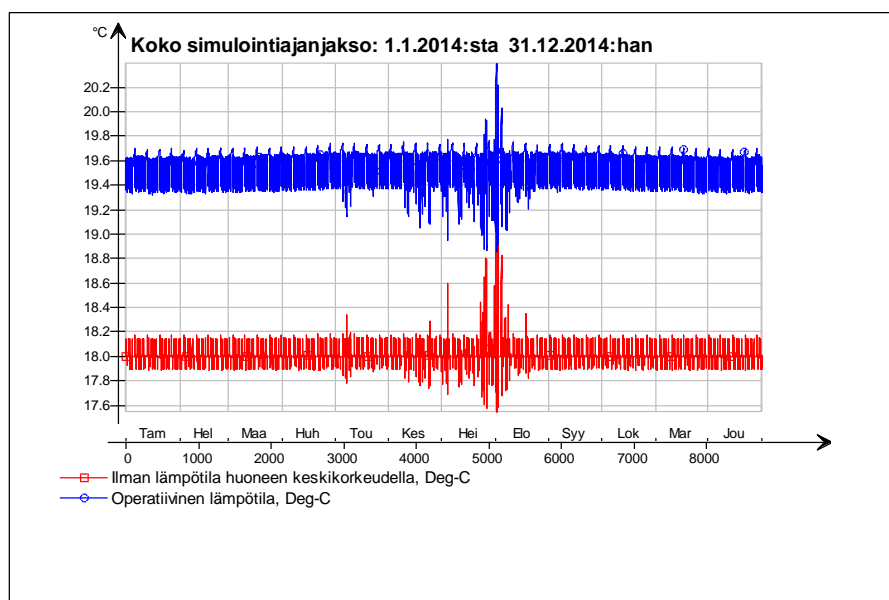
IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

6	128.5	0.0	602.5	24.5	0.0	645.1
7	17.8	0.0	166.6	124.2	0.0	698.2
8	84.1	0.0	416.2	96.1	0.0	671.6
9	638.1	0.0	1400.0	0.0	0.0	668.8
10	1686.0	0.0	2517.0	0.0	0.0	691.6
11	3037.0	0.0	3484.0	0.0	0.0	637.4
12	3919.0	0.0	4224.0	0.0	0.0	687.1
Yhteensä	24308.4	0.0	29702.3	268.7	0.0	8017.4



Vyöhyke 1

Lämpötilat

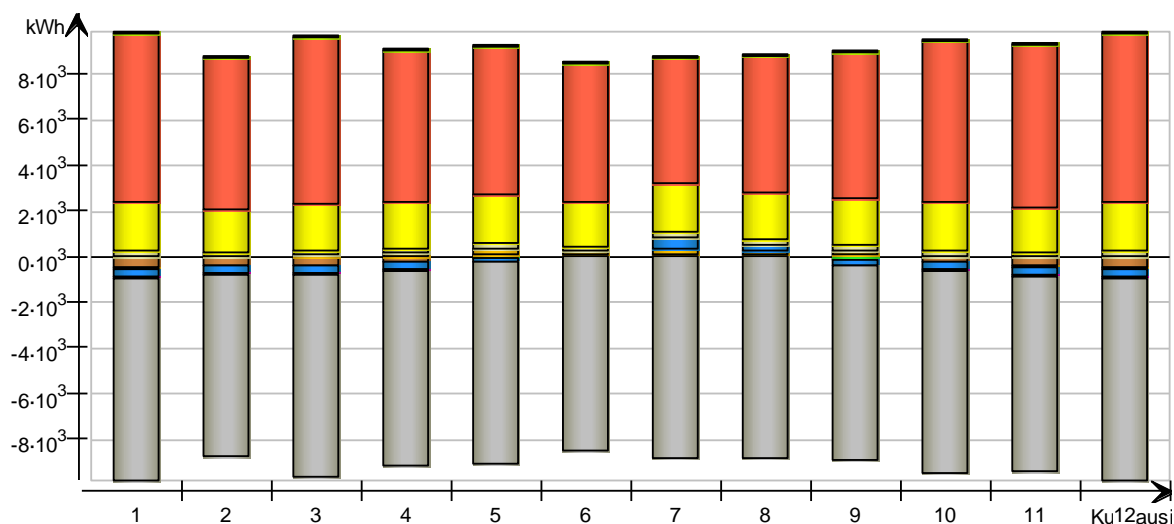


Vyöhykkeen "Vyöhyke 1" energia

Vyöhykkeen "Vyöhyke 1" energia

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

aikainen											
Muina aikoina	-1.6	-10.8	10.4	50.4	1.7	6.4	-122.4	58.6	12.7	0.0	1.1

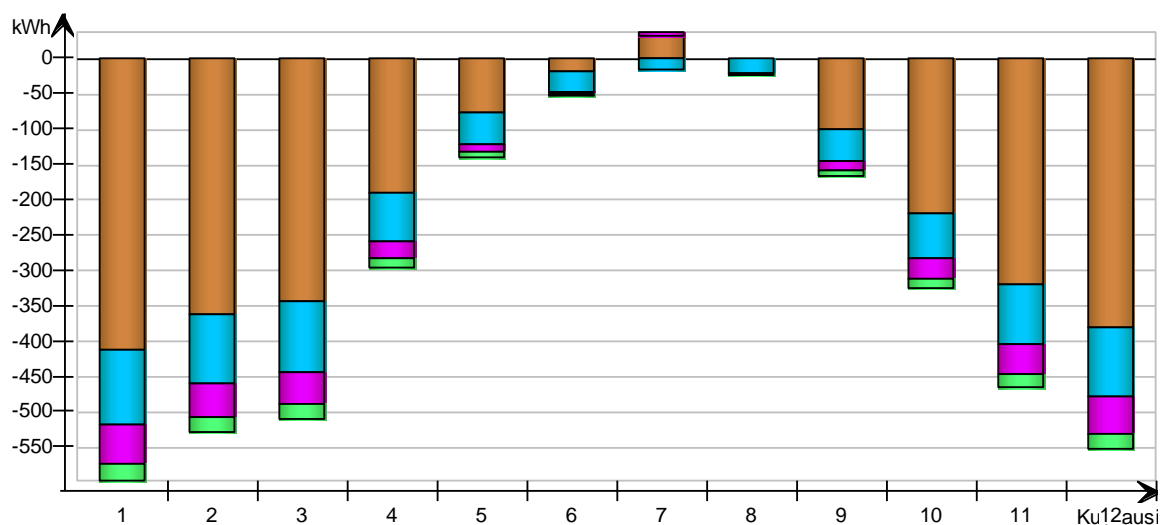


Vaipan johtuminen

kWh

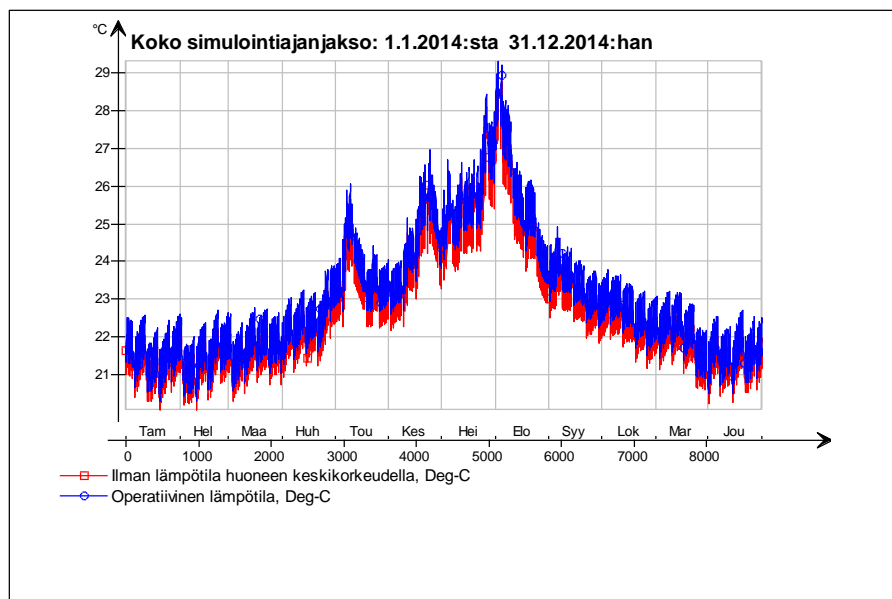
Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat
1	-412.3	0.0	0.0	-106.7	-55.8	-23.4
2	-362.7	0.0	0.0	-98.7	-48.3	-21.6
3	-343.2	0.0	0.0	-101.2	-44.8	-21.9
4	-191.8	0.0	0.0	-69.2	-25.4	-13.9
5	-77.0	0.0	0.0	-44.6	-10.4	-7.7
6	-19.8	0.0	0.0	-28.8	-4.0	-3.9
7	32.5	0.0	0.0	-16.3	4.2	-0.8
8	-1.1	0.0	0.0	-21.9	-0.3	-2.1
9	-102.1	0.0	0.0	-44.3	-12.8	-7.7
10	-220.2	0.0	0.0	-63.9	-30.0	-12.6
11	-321.6	0.0	0.0	-85.1	-43.5	-18.0
12	-381.9	0.0	0.0	-99.2	-52.0	-21.5
Yhteensä	-2401.1	0.0	0.0	-779.9	-323.0	-155.3
Lämmityksen aikainen	-2398.9	0.0	0.0	-780.3	-323.9	-155.4
Jäähdytyksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Muina aikoina	-2.2	0.0	0.0	0.4	0.9	0.1

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus



Vyöhyke 2

Lämpötilat



Vyöhykkeen "Vyöhyke 2" energia

Vyöhykkeen "Vyöhyke 2" energia

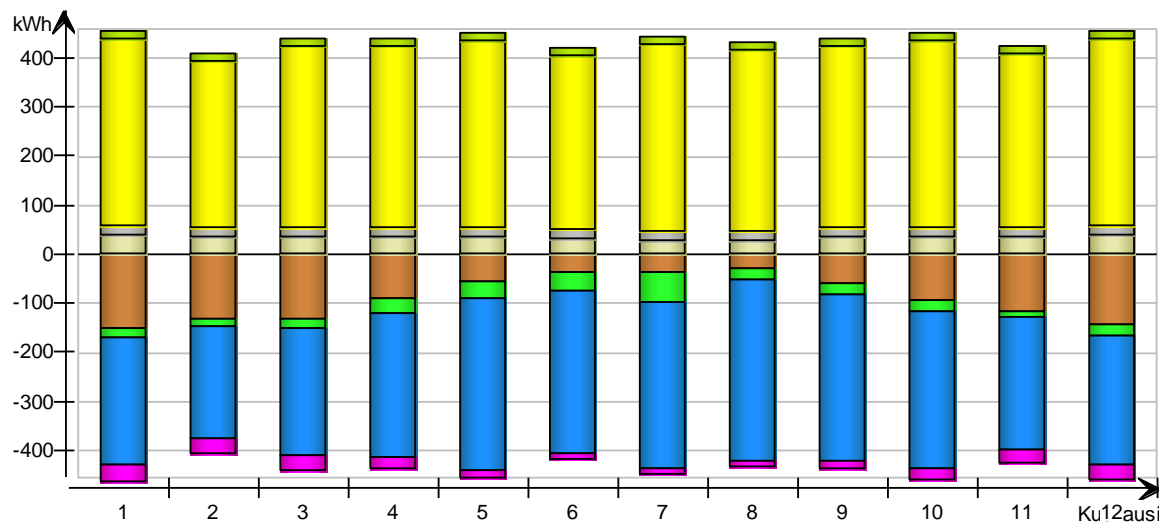
kWh (Vain tuntuva)

Kuu- kausi	Vaip- pa ja kyl- mäsil-	Sisä- seinät ja mas-	Ikkunat & aurin- gonsä- teily	Kon- tu- loil ma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalli- set jääh- dytyslait- teet	Jake- luhävi- öt
---------------	----------------------------------	-------------------------------	--	---------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------	---------------------	---	--	------------------------

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

	lat	sat									
1	-149.8	-17.2	0.0	-	-31.8	38.4	20.1	382.4	0.0	0.0	16.4
2	-134.1	-14.9	0.0	-	-29.2	34.1	17.9	339.7	0.0	0.0	14.8
3	-132.1	-16.6	0.0	-	-30.3	36.4	19.4	368.0	0.0	0.0	16.4
4	-91.7	-31.5	0.0	-	-21.6	35.0	19.4	368.3	0.0	0.0	15.9
5	-55.9	-31.7	0.0	-	-16.1	33.4	20.1	382.9	-0.0	0.0	16.4
6	-37.9	-38.1	0.0	-	-12.3	29.6	18.7	354.6	0.0	0.0	15.9
7	-36.5	-60.0	0.0	-	-10.6	28.6	20.1	382.9	-0.0	0.0	16.4
8	-28.7	-21.6	0.0	-	-12.1	26.9	19.4	368.8	0.0	0.0	16.4
9	-61.1	-23.2	0.0	-	-15.5	33.2	19.4	368.9	-0.0	0.0	15.9
10	-92.8	-21.9	0.0	-	-20.5	36.2	20.1	382.7	-0.0	0.0	16.4
11	-117.1	-10.4	0.0	-	-26.0	34.5	18.6	354.0	-0.0	0.0	15.9
12	-143.1	-22.9	0.0	-	-29.6	38.3	20.1	382.3	-0.0	0.0	16.4
Yhteensä	-1080.8	-309.9	0.0	-	-255.8	404.6	233.4	4435.5	-0.0	0.0	193.5
Lämmityksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jäähdytyksen aikainen	-94.1	-140.1	0.0	-	-29.8	74.3	52.1	991.1	0.0	0.0	43.3
Muina aikoina	-986.7	-169.8	0.0	-	-226.0	330.3	181.3	3444.4	-0.0	0.0	150.2

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

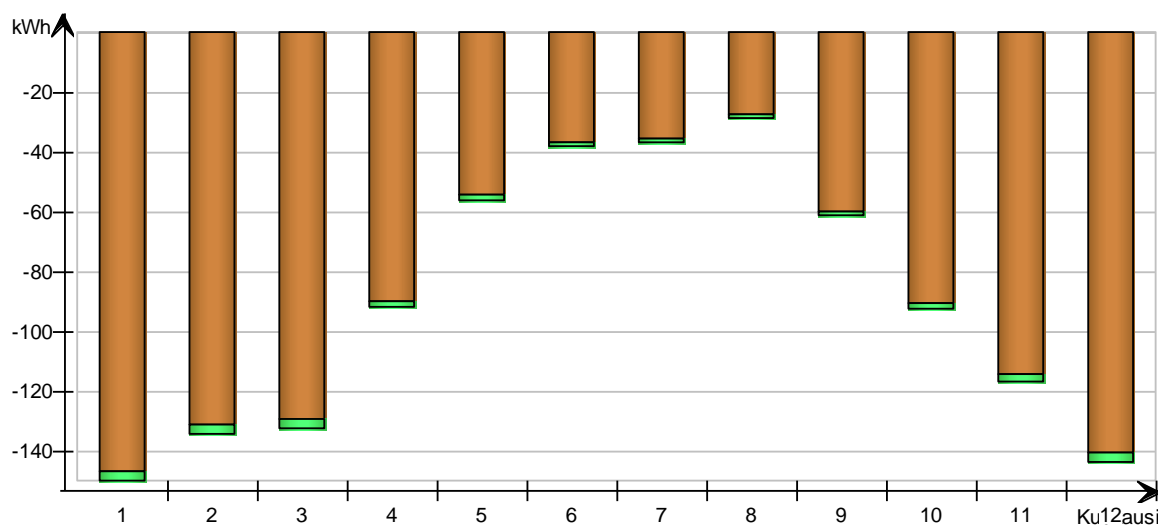


Vaipan johtuminen

kWh

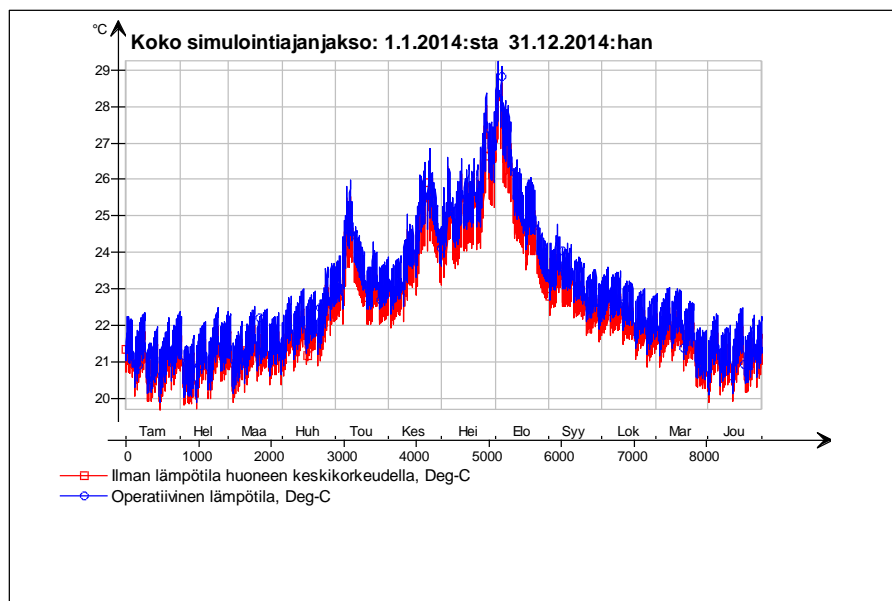
Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat
1	-146.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.2
2	-131.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.9
3	-129.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.0
4	-89.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.1
5	-54.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.6
6	-36.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.2
7	-35.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0
8	-27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.2
9	-59.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.5
10	-90.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.0
11	-114.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.6
12	-140.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.9
Yhteensä	-1055.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-25.4
Lämmityksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jäähdytyksen aikainen	-91.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.9
Muina aikoina	-964.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.5

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus



Vyöhyke 3

Lämpötilat



Vyöhykkeen "Vyöhyke 3" energia

Vyöhykkeen "Vyöhyke 3" energia

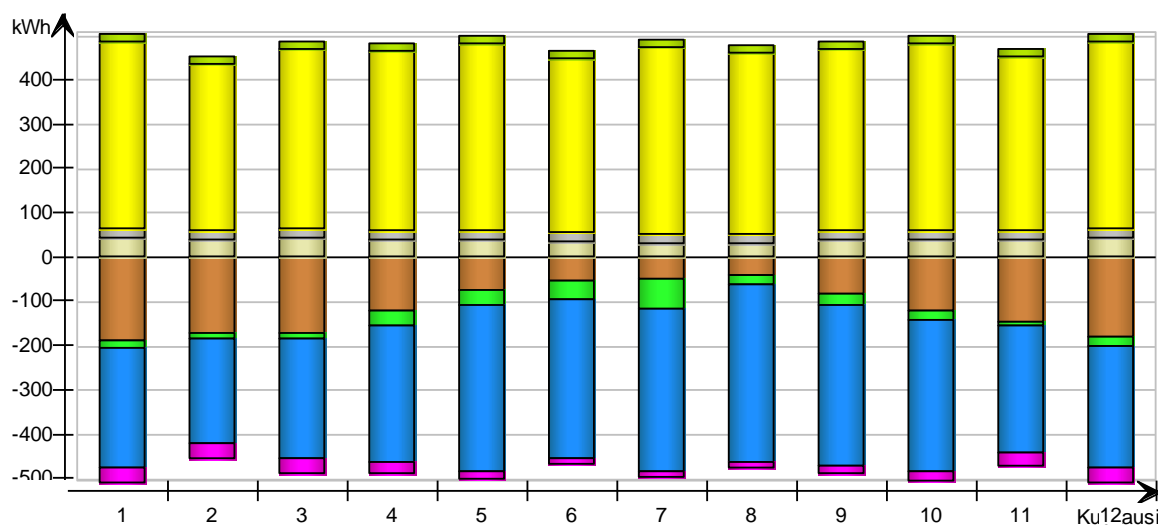
kWh (Vain tuntuva)

Kuu- kausi	Vaip- pa ja kyl- mäsil-	Sisä- seinät ja mas-	Ikkunat & aurin- gonsä- teily	Kon- tu- loil ma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalli- set jääh- dytyslait- teet	Jake- luhävi- öt
---------------	----------------------------------	-------------------------------	--	---------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------	---------------------	---	--	------------------------

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

	lat	sat									
1	-188.7	-15.0	0.0	-	-33.7	43.3	22.3	423.6	-0.0	0.0	18.2
2	-170.7	-12.5	0.0	268.4	-31.0	38.5	19.8	376.3	-0.0	0.0	16.4
3	-170.6	-13.5	0.0	235.7	-32.1	41.1	21.4	407.7	-0.0	0.0	18.2
4	-120.6	-32.2	0.0	270.8	-22.9	39.4	21.5	408.0	0.0	0.0	17.6
5	-75.5	-33.2	0.0	-	-17.1	37.5	22.3	424.1	-0.0	0.0	18.2
6	-52.4	-40.7	0.0	309.2	-13.0	33.2	20.7	392.8	-0.0	0.0	17.6
7	-49.9	-65.7	0.0	-	-11.2	32.2	22.3	424.2	0.0	0.0	18.2
8	-43.5	-22.0	0.0	374.8	-12.8	30.3	21.5	408.5	-0.0	0.0	18.2
9	-82.8	-23.1	0.0	-	-16.4	37.3	21.5	408.6	0.0	0.0	17.6
10	-119.6	-21.6	0.0	356.7	-21.7	40.6	22.3	423.9	0.0	0.0	18.2
11	-148.8	-7.3	0.0	-	-27.6	38.7	20.6	392.2	-0.0	0.0	17.6
12	-179.8	-22.0	0.0	368.2	-31.4	43.1	22.3	423.5	-0.0	0.0	18.2
Yhteensä	-1402.9	-308.6	0.0	-	-270.9	455.2	258.6	4913.4	-0.0	0.0	214.4
Lämmityksen aikainen	0.0	0.0	0.0	3840.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jäähdytyksen aikainen	-121.1	-147.7	0.0	-	-28.7	77.1	53.9	1023.9	0.0	0.0	44.5
Muina aikoina	-1281.8	-160.9	0.0	896.9	-242.2	378.1	204.7	3889.5	-0.0	0.0	169.9

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus

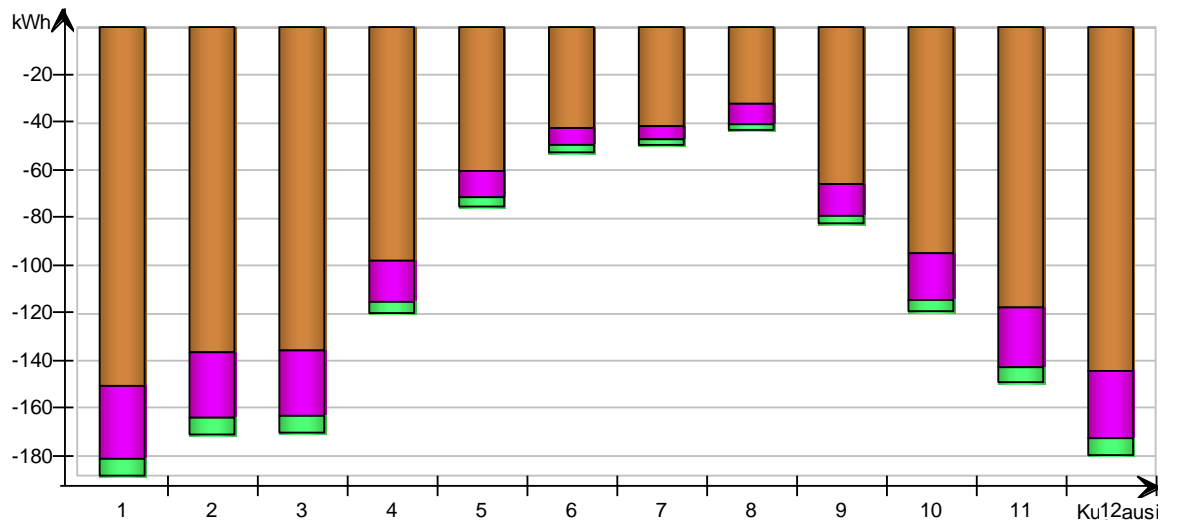


Vaipan johtuminen

kWh

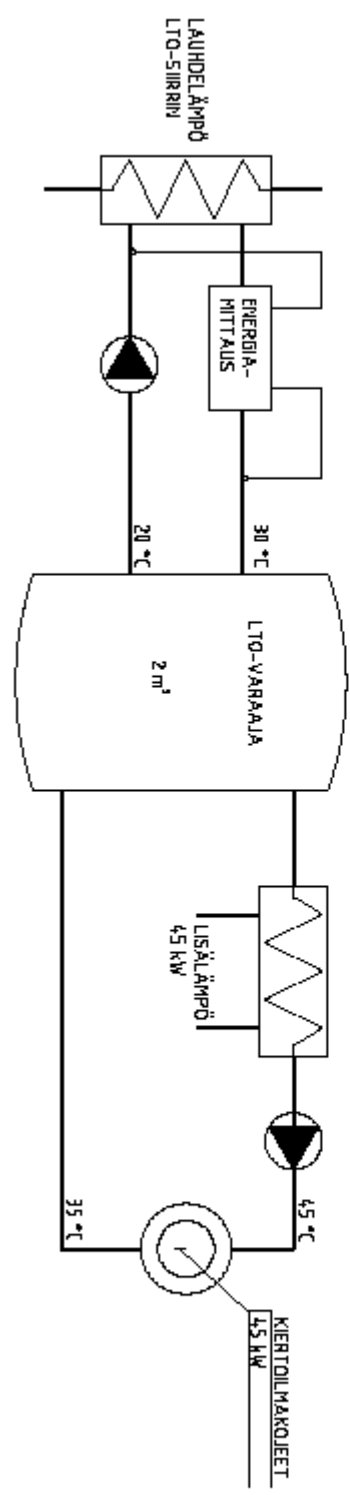
Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsiilat
1	-151.1	0.0	0.0	0.0	-30.3	-7.3
2	-136.6	0.0	0.0	0.0	-27.4	-6.7
3	-136.4	0.0	0.0	0.0	-27.2	-6.9
4	-98.0	0.0	0.0	0.0	-17.6	-4.9
5	-60.9	0.0	0.0	0.0	-11.0	-3.7
6	-42.3	0.0	0.0	0.0	-7.3	-2.8
7	-42.0	0.0	0.0	0.0	-5.5	-2.4
8	-32.3	0.0	0.0	0.0	-8.5	-2.7
9	-66.2	0.0	0.0	0.0	-13.2	-3.5
10	-95.5	0.0	0.0	0.0	-19.5	-4.7
11	-117.8	0.0	0.0	0.0	-25.0	-6.0
12	-144.5	0.0	0.0	0.0	-28.4	-6.8
Yhteensä	-1123.5	0.0	0.0	0.0	-220.9	-58.4
Lämmityksen aikainen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jäähdytyksen aikainen	-99.8	0.0	0.0	0.0	-15.2	-6.1
Muina aikoina	-1023.7	0.0	0.0	0.0	-205.7	-52.3

IDA ICE simulaatio tulokset vertailurakennus



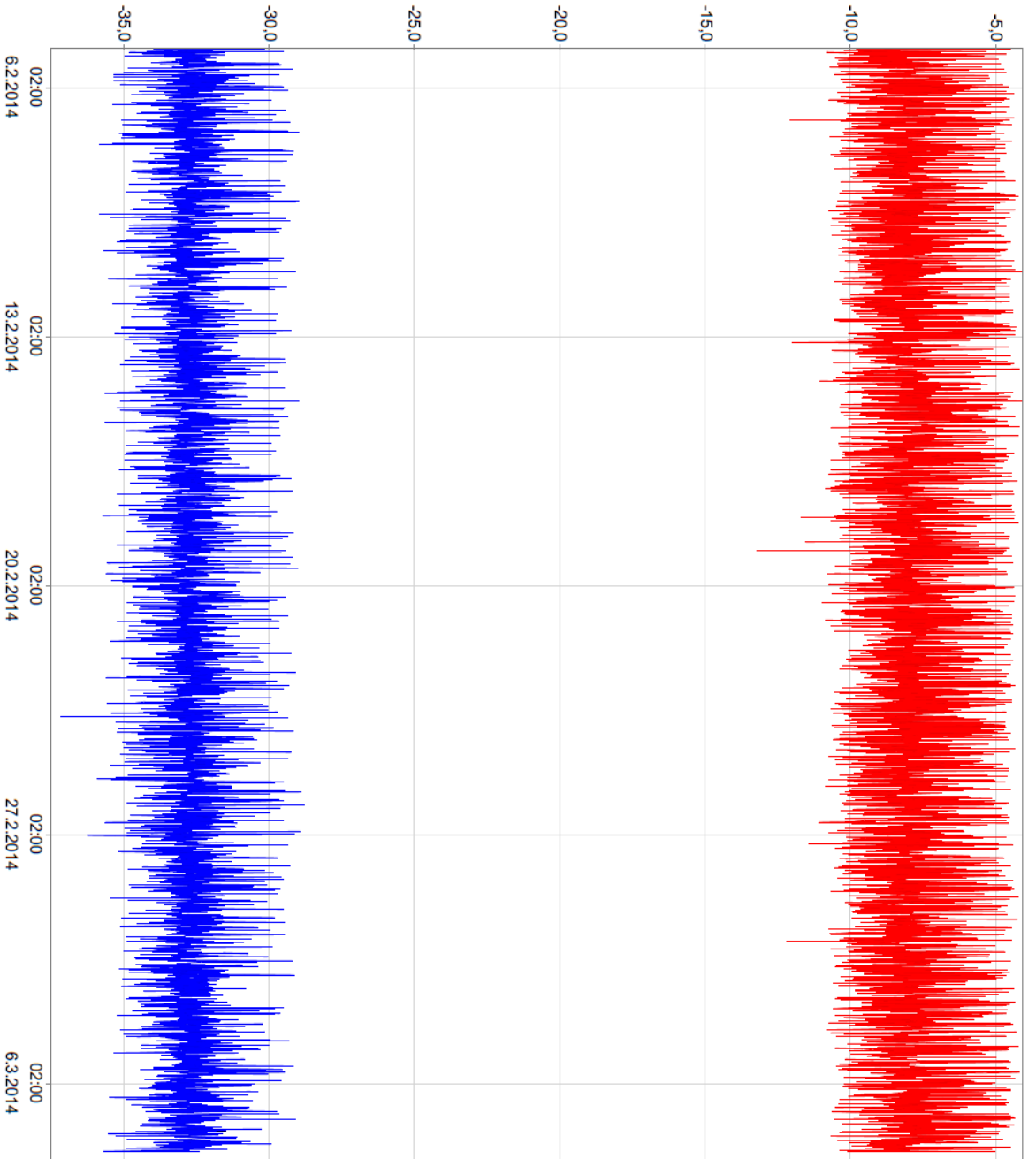
LIITE 4.

Salejen lauhdelämmön energiamittareiden sijainti



LIITE 5.

Husula imulämpötilat



HURRE HOT

Sale Husula

Report time: 10.03.2014 07:21 EET

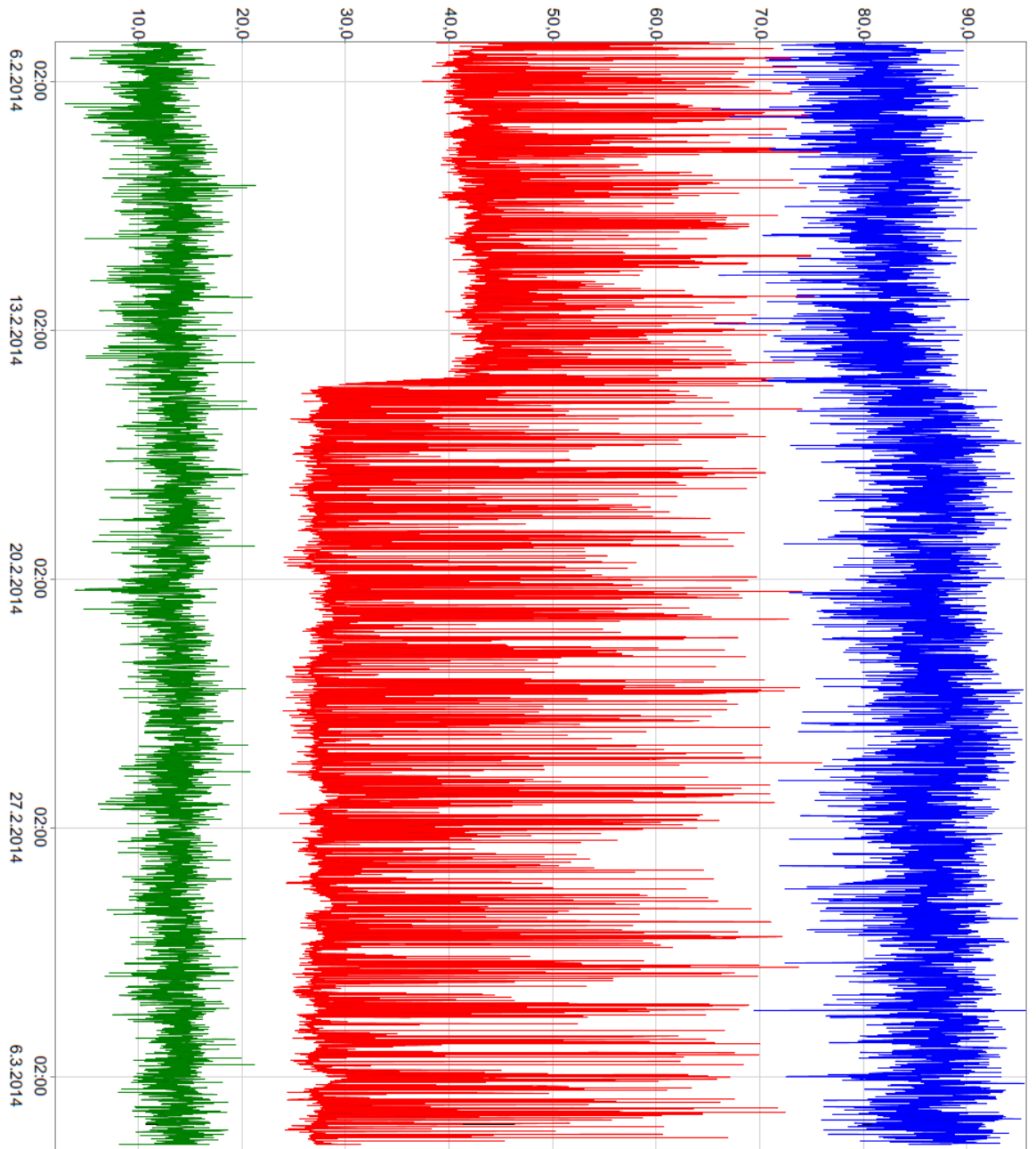
Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
Pakkaspuoli	-37.2	-28.8
Plus-puoli	-13.2	-4.1

LIITE 6.

Husula lauhtumislämpötilat



Sale Husula

Report time: 10.03.2014 07:20 EET

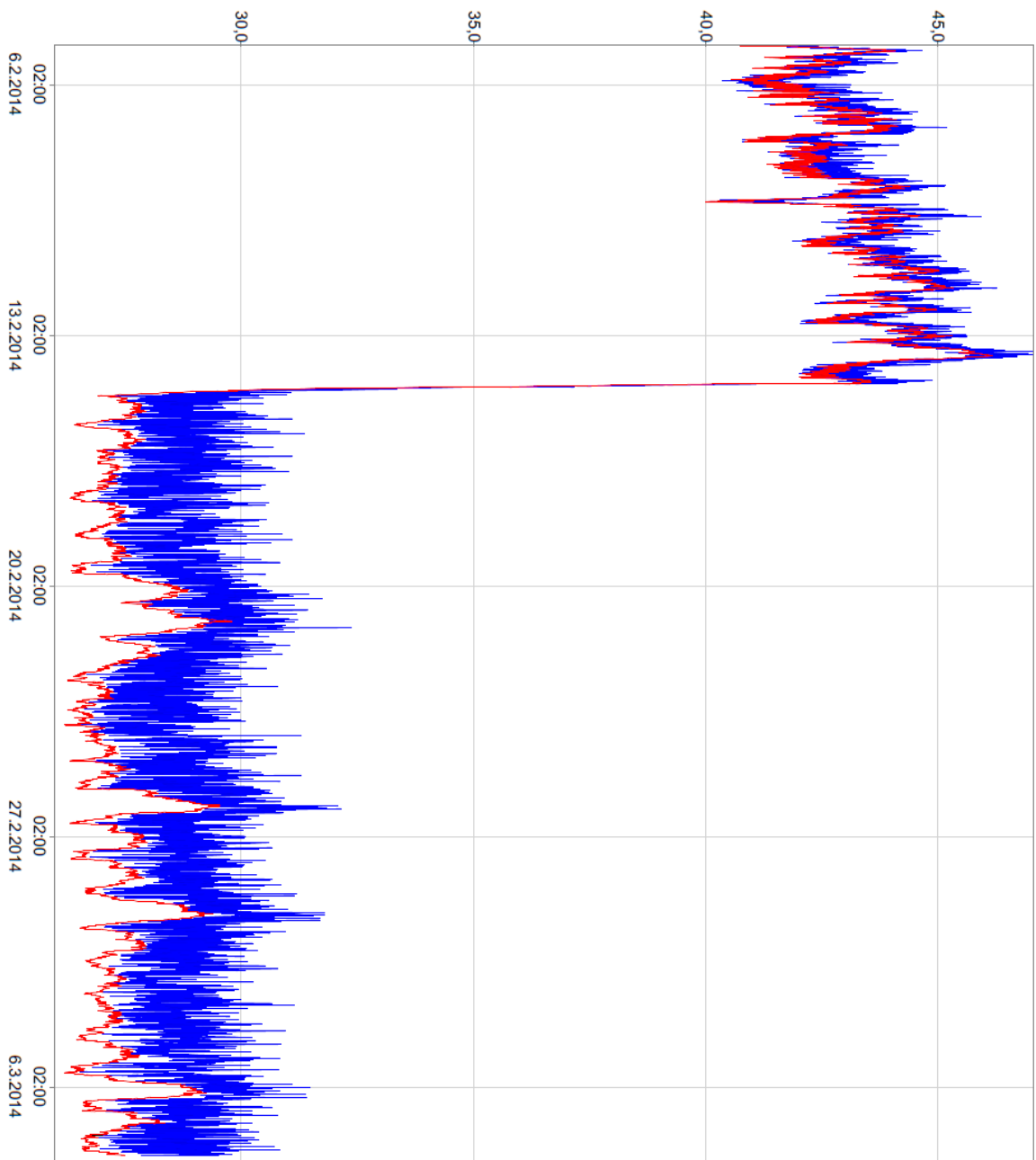
Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
Lämpötila kompressorilla	64,8	95,7
Lämpötila LTO:n jälkeen	23,7	76,1
Ulko-jäähdyttimen jälkeen	2,9	21,4

LIITE 7.

Husula LTO meno ja paluu lämpötilat (kylmäainepuoli)



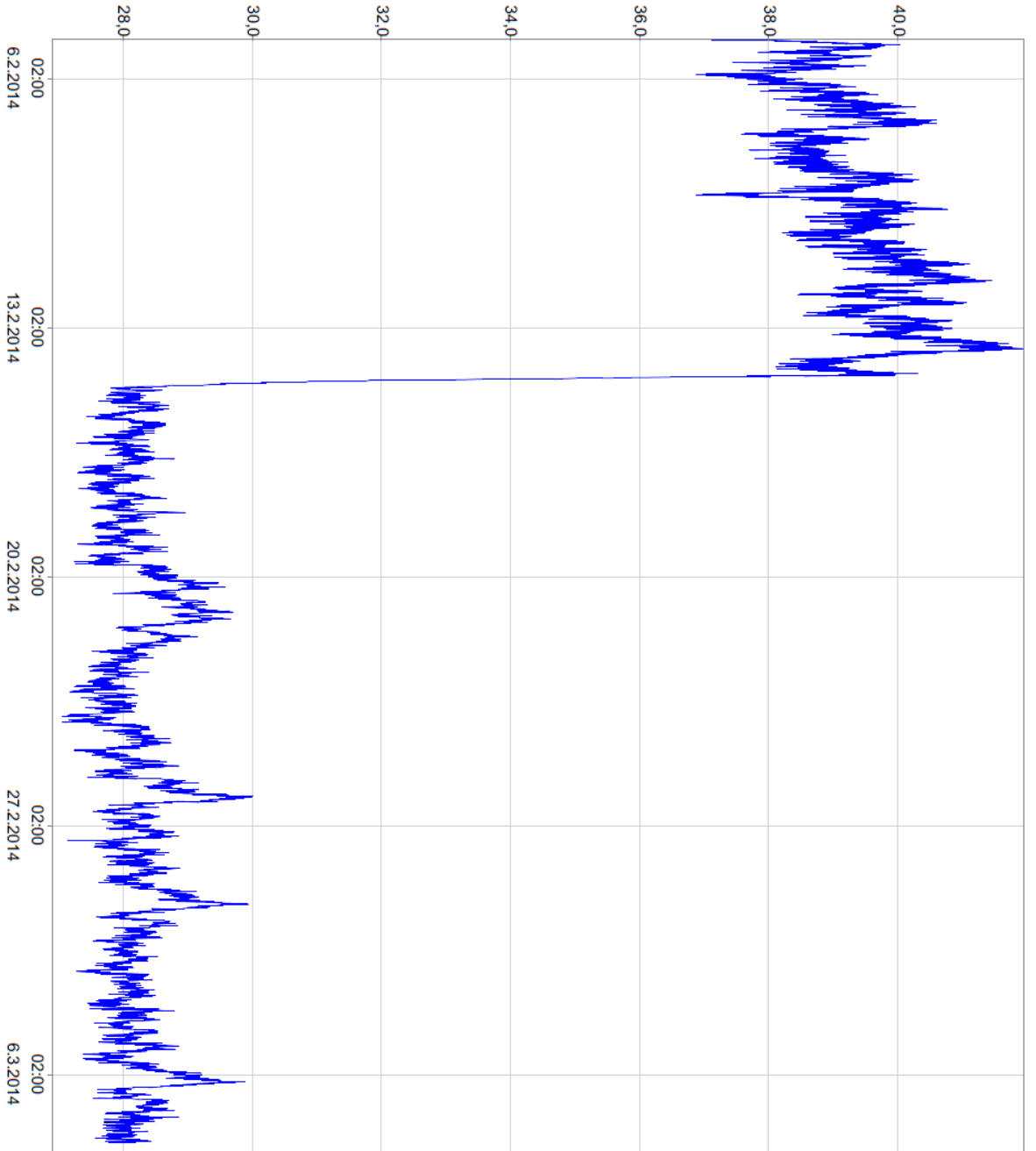
Sale Husula

Report time: 10.03.2014 07:18 EET
 Start time: 05.02.2014 00:00 EET
 End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
LTO-lataus varaajalle	26,5	47,1
LTO-lataus varaajalta	26,2	46,2

LIITE 8.

Husula LTO varaajan lämpötila



HUURRE HOT

Sale Husula

Report time: 10.03.2014 07:22 EET

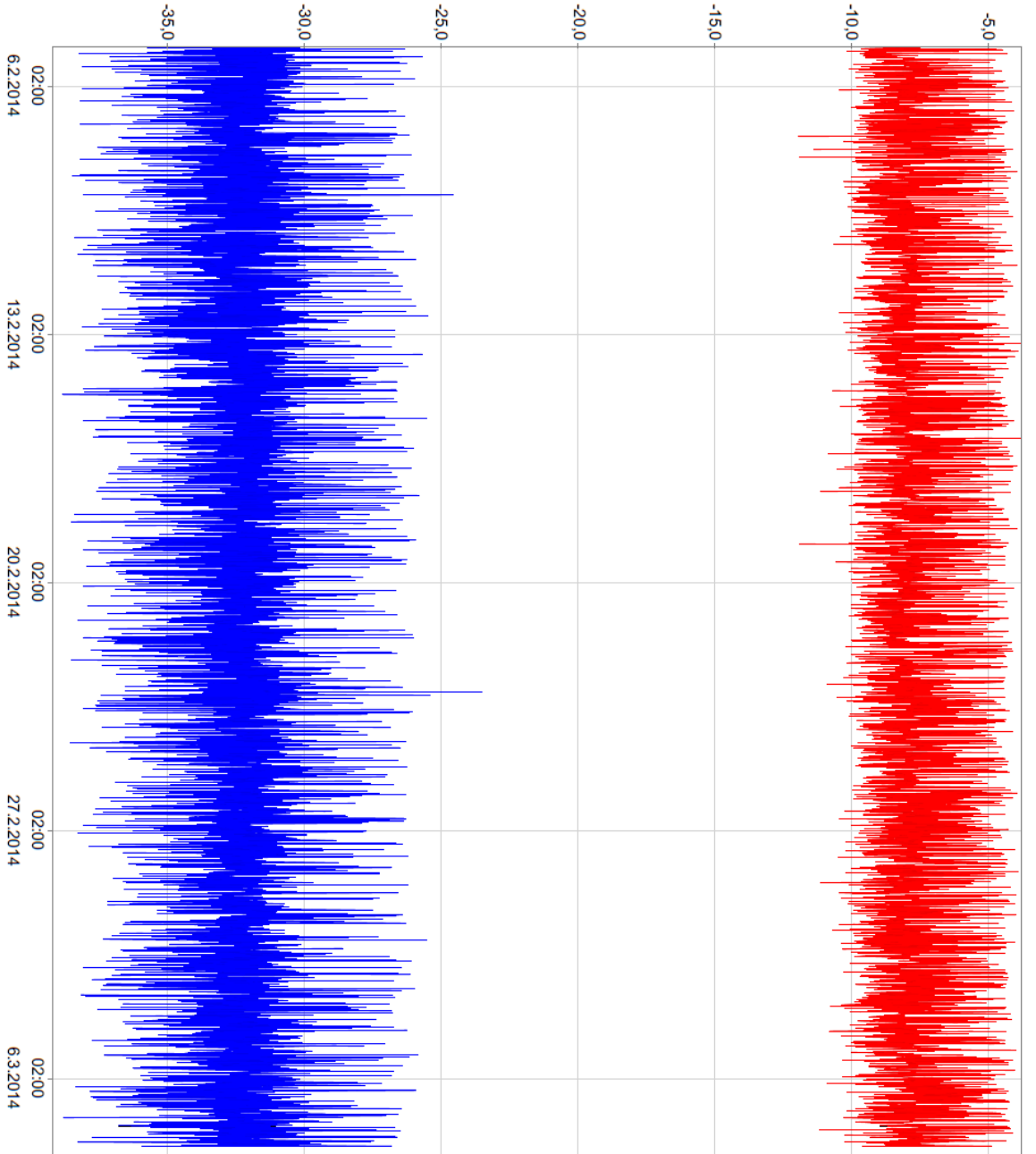
Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
Varaajan lämpötilä	27.1	42.0

LIITE 9.

Poitsila imulämpötilat



HURRE HOT

Sale Poitsila

Report time: 10.03.2014 07:26 EET

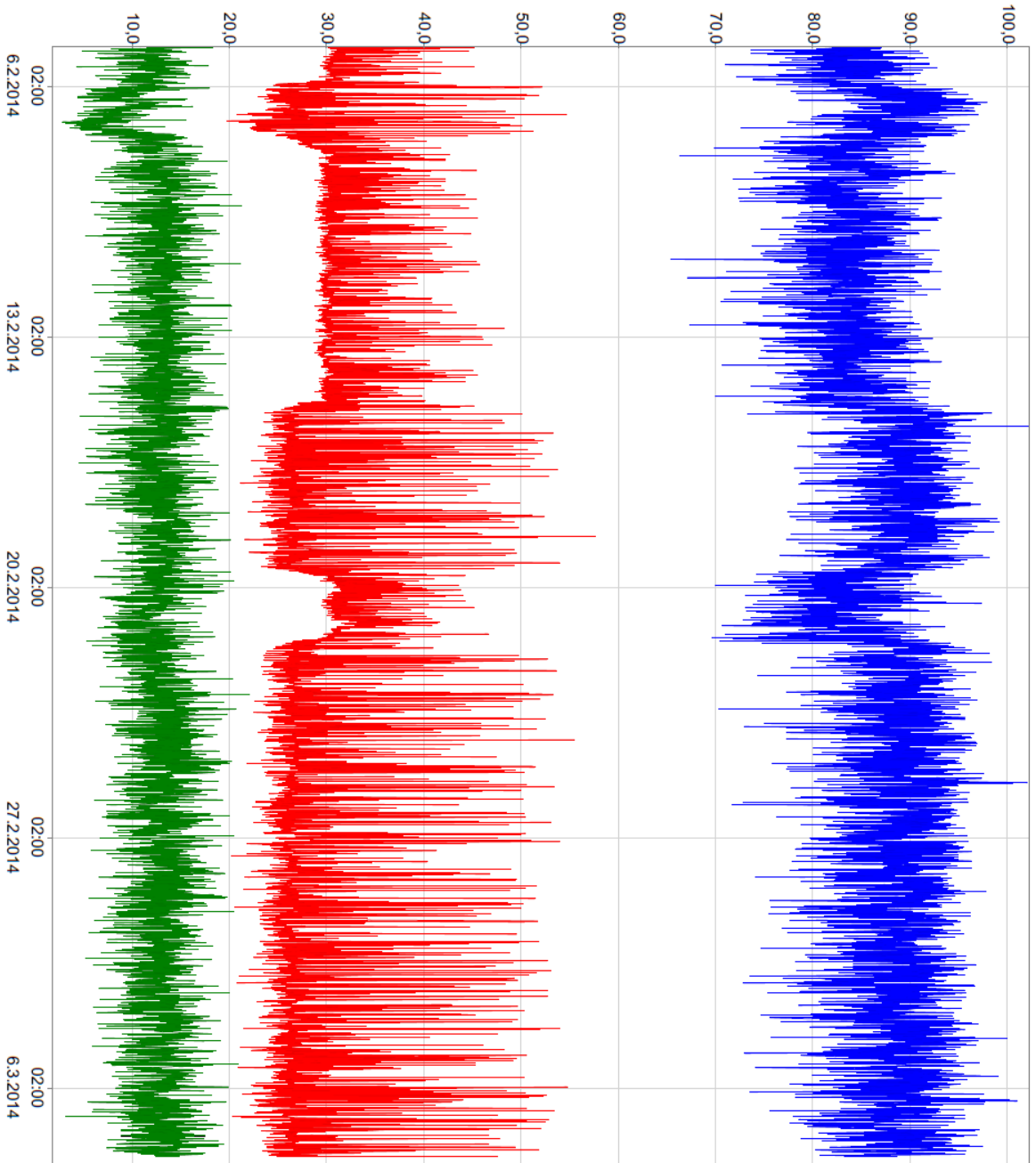
Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
Pakkaspuoli	-38,8	-23,5
Plus-puoli	-11,9	-3,8

LIITE 10.

Poitsila lauhtumislämpötilat



HUURRE HOT

Sale Poitsila

Report time: 10.03.2014 07:25 EET

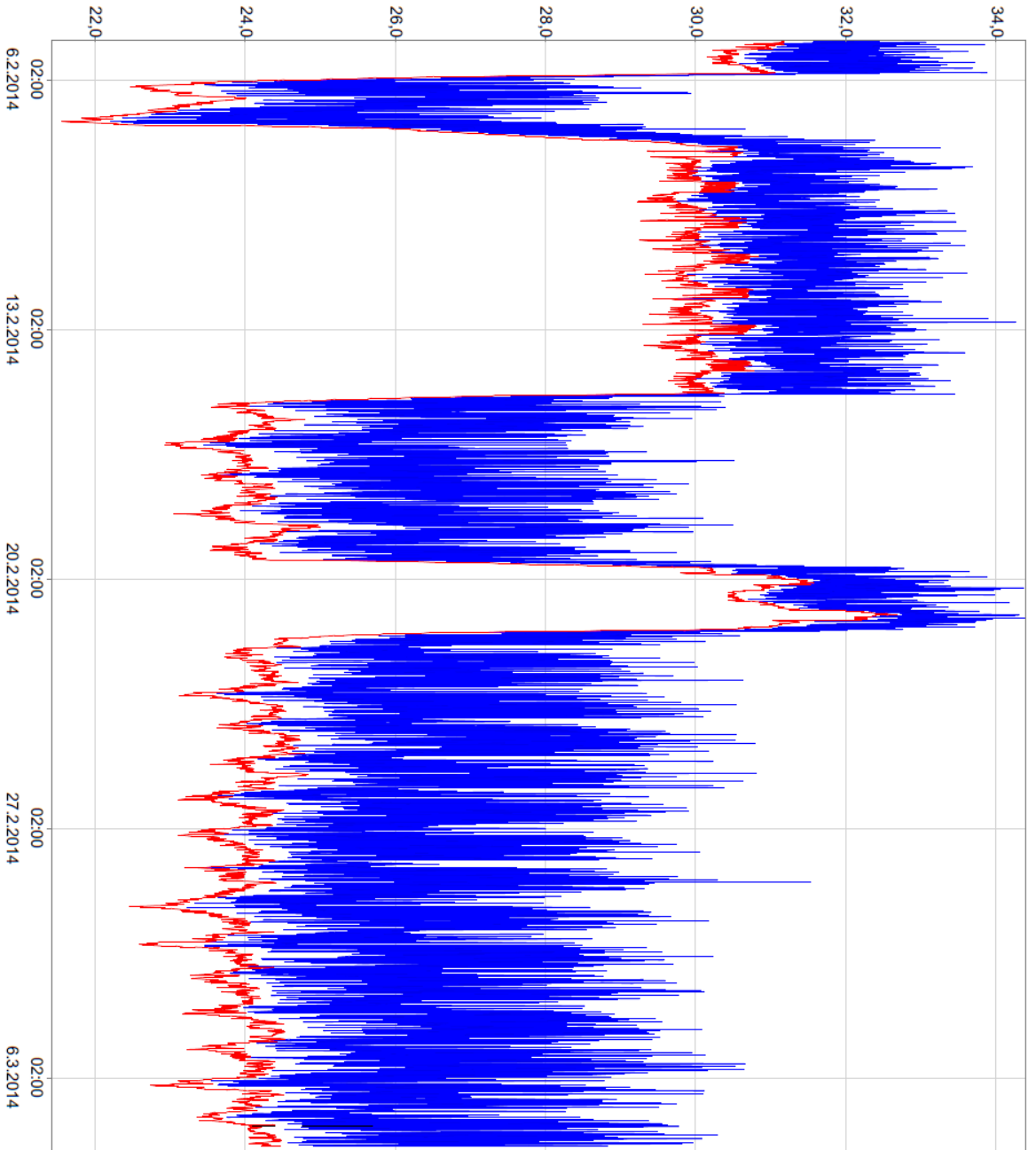
Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
Lämpötila kompressorilla	65.4	102.2
Lämpötila LTON jälkeen	19.7	57.6
Ulko-ikähdytimen jälkeen	2.8	22.0

LIITE 11.

Poitsila LTO meno ja paluu lämpötilat (kylmäainepuoli)



HURRE HOT

Sale Poitsila

Report time: 10.03.2014 07:24 EET

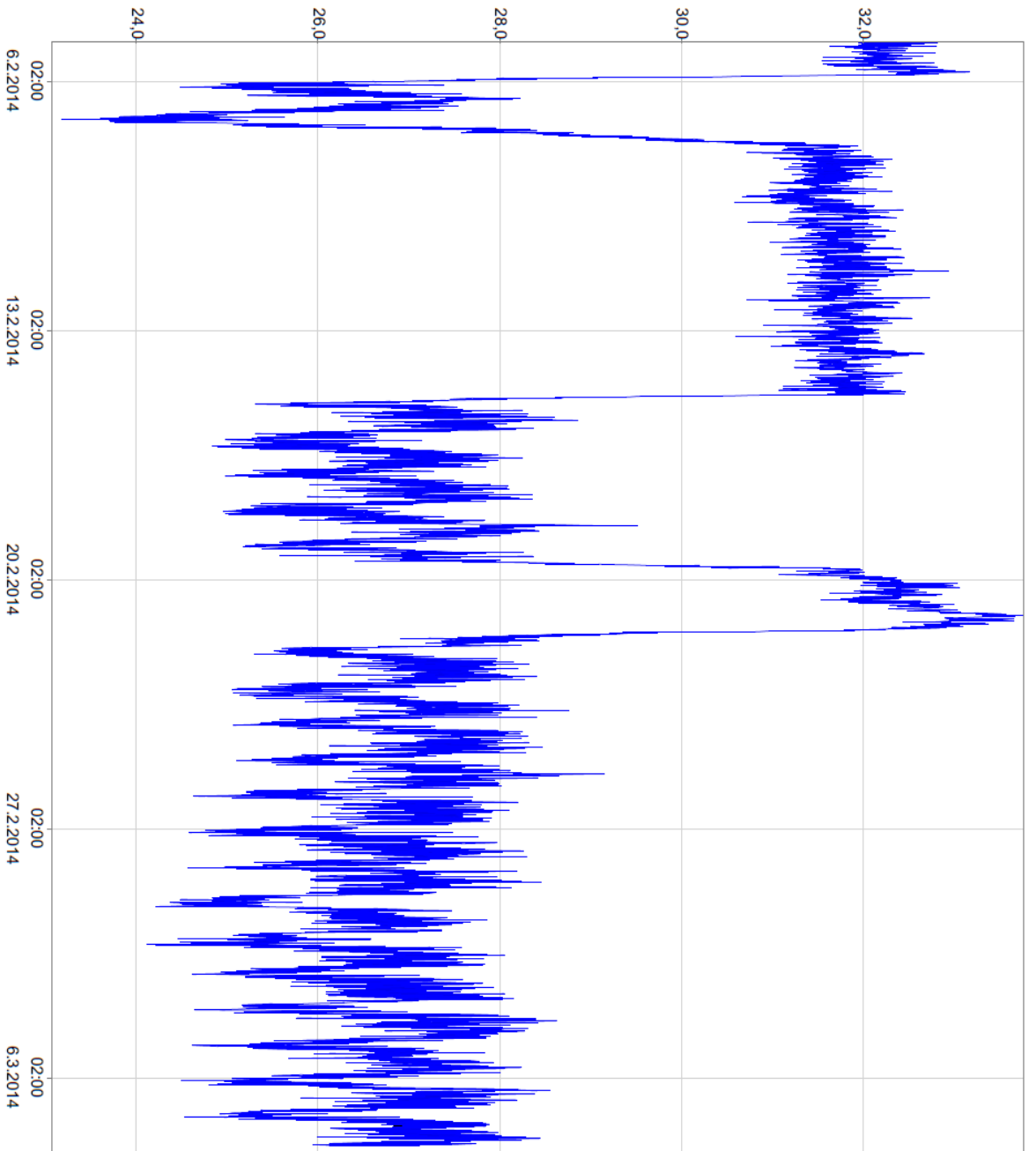
Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
LTO-lataus varaijalle	22.2	34.4
LTO-lataus varaijalta	21.6	32.7

LIITE 12.

Poitsila LTO varaajan lämpötila



HURRE HOT

Sale Poitsila

Report time: 10.03.2014 07:27 EET

Start time: 05.02.2014 00:00 EET

End time: 07.03.2014 23:59 EET

Pos	Min.	Max.
Varaajan lämpötila	23.2	33.8

