

Santeri Väre

# KOTKAN TENNISHALLIEN ENERGIA- TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Opinnäytetyö  
Energiatekniikka

Toukokuu 2016



**KYAMK**  
University of Applied Sciences

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Santeri Väre	Insinööri AMK	Toukokuu 2016
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Kotkan tennishallien energiatehokkuuden parantaminen		65 sivua 27 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Kymenlaakson Mailapelit Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Hannu Sarvelainen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kymenlaakson Mailapelit Oy:n omistaman ylipainetennishallin sekä kiinteärakenteisen tennishallin lämpöenergiansäästöpotentiaali, sekä selvittää lämmitystapamuutoksen kannattavuus kohteisiin. Ylipainehallissa kuluu vuositasolla yli kolme kertaa enemmän kaukolämpöenergiaa kuin tilavuudeltaan lähes yhtä suuressa kiinteärakenteisessa tennishallissa.</p> <p>Tennishallien ilman kerrostuneisuus selvitettiin lämpötilanmittauksilla lämpöhäviöiden kartoittamiseksi. Ylipainehallin vuotoilman määrä mitattiin ilmavirtamittauksella. Hallien rakenteiden lämmöneristyskykyä ja vuotoja tarkasteltiin lämpökamerakuvauksella.</p> <p>Tennishallien lämmitystapamuutoksen kannattavuutta tarkasteltiin vertaamalla nykyistä kaukolämpöjärjestelmää ilma-vesilämpöpumppujärjestelmiin ja maalämpöpumppujärjestelmiin.</p> <p>Ylipainehallin suuri lämpöenergiankulutus johtuu rakenteiden heikosta lämmöneristyskyvystä ja suuresta suunnitteluvuotoilmavirrasta. Ylipainehallin lämpöenergiankulutusta ei voi järkevillä investoinneilla alentaa. Kiinteärakenteisen hallin lämpöenergiankulutusta voi parantaa paikkaamalla seinistä löytyneet vuotokohdat.</p> <p>Lämmitystapamuutos on kannattava investointi molempiin tennishalleihin.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
energiatehokkuus, urheiluhalli, ylipainehalli, lämmitystapamuutos		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Santeri Väre	Bachelor of Engineering	May 2016
<b>Thesis Title</b>		
Improvement of Energy Efficiency of Kotka's Tennis Halls		65 pages 27 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Kymenlaakson Mailapelit Oy		
<b>Supervisor</b>		
Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
<b>Abstract</b>		
<p>The objective of this thesis was to demonstrate the potential energy savings and profitability benefits of upgrades to the heating systems for two tennis halls owned by Kymenlaakson Mailapelit Oy. One of the two tennis halls is an air dome, while the other one is a conventional solid structure tennis hall. The air dome uses annually over three times as much heat energy as the nearly same sized solid structured tennis hall.</p> <p>In order to chart heat losses in the two tennis halls, the stratification of air was investigated by performing temperature measurements. The volume of leakage air from the air dome was measured with an air flow meter. The integrity and heat losses of structures were studied with thermal camera.</p> <p>The profitability of heating system change was examined for both tennis hall by comparing the current district heat system to an air-water heat pump system and a geothermal heat pump system.</p> <p>The results of this study suggests that the large heat energy consumption of the air dome is due to poor thermal insulation of the structure and extensive design air leakage flow. The heat energy consumption of the air dome cannot be lowered with profitable investments. The heat energy consumption of the solid structure tennis hall, however, can be lowered by repairing air leakages found in the walls.</p> <p>Based on the results, it can be concluded that the heating system change is profitable for both tennis halls examined.</p>		
<b>Keywords</b>		
energy efficiency, sports hall, air dome, heating system change		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YLIPAINEHALLIN PERUSTIEDOT JA NYKYTILA .....	7
2.1	Ylipainehallin perustiedot.....	7
2.2	Ylipainehallin paineentuoton nykytila .....	8
2.3	Ylipainehallin lämmitysjärjestelmän nykytila .....	9
2.4	Ylipainehallin rakenteiden nykytila .....	10
3	YLIPAINEHALLIN MITTAUSJÄRJESTELYT, MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU JA KEHITYSKOHTTEET.....	11
3.1	Ylipainehallin mittausjärjestelyt.....	11
3.2	Ilman kerrostuneisuus.....	12
3.3	Ilman kerrostuneisuuden vähentäminen .....	12
3.4	Tuloilman sekoittuminen paluuilmaan.....	16
3.5	Pohdintaa ilman kierrosta .....	17
3.6	Ovet.....	18
3.7	Seinämät .....	19
3.8	Vuotoilman määrittäminen .....	21
3.9	Pohdintaa ylipainehallin energiataloudesta.....	22
3.10	Ylipainehallin puhaltimet .....	26
4	YLIPAINEHALLIN LÄMMITYSTAPAMUUTOKSEN KANNATTAVUUS.....	26
4.1	Tehontarve .....	27
4.2	Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä .....	29
4.3	Maalämpöpumppujärjestelmä.....	35
4.4	Yhteenveto lämmitystapamuutoksen kannattavuudesta ylipainehalliin.....	38
5	YHTEENVETO YLIPAINEHALLIN ENERGIATALOUDESTA SEKÄ EHDOTETUT TOIMENPITEET .....	40
6	KIIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN PERUSTIEDOT JA NYKYTILA .....	41
6.1	Kiinteärakenteisen hallin nykytila .....	41
6.2	Kiinteärakenteisen hallin lämmityksen nykytila .....	42
6.3	Kiinteärakenteisen hallin sähköenergiankulutuksen nykytila .....	44

7	KIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN MITTAUSJÄRJESTELYT, MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU JA KEHITYSKOhteET .....	44
7.1	Kiinteärakenteisen hallin mittausjärjestelyt .....	44
7.2	Ilman kerrostuneisuus.....	45
7.3	Rakenteet .....	45
8	KIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN LÄMMITYSTAPAMUUTOKSEN KANNATTAVUUS	
	48	
8.1	Tehontarve .....	48
8.2	Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä .....	50
8.3	Maalämpöpumppujärjestelmä.....	58
8.4	Yhteenveto lämmitystapamuutoksen kannattavuudesta kiinteärakenteiseen halliin	
	64	
9	YHTEENVETO KIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN ENERGIATALOUDESTA SEKÄ EHDOTETUT TOIMENPITEET .....	65
	LÄHTEET.....	66
	LIITTEET	
	LIITE 1. Ylipainehallin lämpötilamittaukset	
	LIITE 2. Tuloilman sekoittuminen paluuilmaan	
	LIITE 3. Ylipainehallin ovien eristämisen kannattavuuslaskelma	
	LIITE 4. Lämpökamerakuvaukset	
	LIITE 5. Ylipainehallin tuloilmavirtaaman mittaustulokset.	
	LIITE 6. Hallien energiamittarien teholumemapöytäkirja	
	LIITE 7. Ylipainehallin ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän tehon optimointi	
	LIITE 8. Ylipainehallin maalämpöpumppujärjestelmän tehon optimointi	
	LIITE 9. Kiinteärakenteisen hallin sisälämpötilanmittaus	
	LIITE 10. Kiinteärakenteisen hallin kaukolämmön kulutustiedot vuonna 2014	
	LIITE 11. Kiinteärakenteisen hallin ilma-vesilämpöpumppujen investoinnin kannattavuus kappaleittain	
	LIITE 12. Kiinteärakenteisen hallin ilma-vesilämpöpumppujen investoinnin kannattavuus optimoituna	
	LIITE 13. Kiinteärakenteisen hallin maalämpöpumppujen investoinnin kannattavuus	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää lämpöenergiänsäästöpotentiaali ja lämmitystapamuutoksen kannattavuus kahteen Kymenlaakson Mailapelien omistamaan tennishalliin.

Toinen tarkasteltavista halleista on ylipainehalli, jossa lämpöenergiaa kuluu vuotuisesti yli kolme kertaa enemmän kuin viereisessä tilavuudeltaan lähes yhtä suuressa kiinteärakenteisessa tennishallissa.

Tennishallien lämpöenergiankäytön nykytilaa ja käyttötottumuksia tarkasteltiin kahden mittausjakson aikana. Hallien ilman kerrostuneisuutta tarkasteltiin lämpötilanmittauksilla eri korkeuksissa. Hallien rakenteiden tiivyyttä ja lämpöhäviöitä tarkasteltiin lämpökamerakuvauksella. Ylipainehallin vuotoilman määrää arvioitiin virtausmittauksilla.

Opinnäytetyössä keskityttiin tarkemmin ylipainehallin lämpöenergiankulutuksen vähentämiseen johtuen kohteen suuresta lämpöenergiankulutuksesta.

Lämmitystapamuutoksen kannattavuutta suhteessa nykyisiin kaukolämmitysjärjestelmiin arvoitiin molempiin halleihin ilma-vesilämpöpumppujärjestelmillä sekä maalämpöpumppujärjestelmillä.

Opinnäytetyö on jaettu kahteen osaan, ensimmäisessä osassa käsitellään ylipainehallia ja toisessa osassa kiinteärakenteista hallia.

## 2 YLIPAINEHALLIN PERUSTIEDOT JA NYKYTILA

### 2.1 Ylipainehallin perustiedot

Toinen tarkasteltavista halleista on vuonna 2005 rakennettu kangasrakenteinen ylipainehalli. Ylipainehalli on pystytetty kahden massapintaisen tenniskentän päälle. Kentät ovat asiakkaiden vuokrattavissa tenniksen pelaamista varten. Hallissa järjestetään myös Suomen tennisliigan kilpailuja, joissa on paikalla kymmeniä katsojia.

Ylipainehallissa ei ole kangasta paikallaan pitävien vaijerien ja näiden kiinnikkeiden lisäksi kiinteitä tukirakenteita, vaan se pysyy pystyssä hallin sisällä valitsevan ylipaineen ansiosta. Sisäänkäynti halliin tapahtuu pyöröoven kautta, jotta painehäviöt pysyisivät mahdollisimman pieninä.

Pinta- alaltaan neliönmuotoisen hallin sivut ovat pituudeltaan 36,1 metriä. Halli on muodoltaan kaareva, ja korkeus sen lakipisteessä on 9,2 metriä.

Osoite	Mahlamäentie 31, 48300 Kotka
Rakennustyyppi	Kokoontumistila
Rakennuksen valmistumisvuosi	2005
Pinta-ala	1300 m <sup>2</sup>
Tilavuus	9500 m <sup>3</sup>



Kuva 1. Ylipainehalli

## 2.2 Ylipainehallin paineentuoton nykytila

Ylipainehalli pysyy pystyssä hallin sisällä vallitsevan ylipaineen ansiosta. Tarvittavan ylipaineen halliin tuottavat kaksi sähköteholtaan 3 kW tehoista puhallinta, joilla pystytään tuottamaan noin 300 pascalin paine ja 19 000 m<sup>3</sup>/h ilmavirtaus. Tyynellä säällä hallin ylipaineeksi riittää noin 160 pascalia.

Ylipainehallin paineensäätöpiiriä ohjataan ohivirtaussäädöllä. Ylipainehallin puhaltimet toimivat jatkuvasti samalla kierrosnopeudella puhaltuen halliin ilmaa 19 000 m<sup>3</sup>/h. Hallin painetta säädetään servomootorilla toimivalla säätöpellillä jota ohjataan niin että 70 % eli 13 300 m<sup>3</sup>/h puhaltimille tulevasta ilmasta otetaan hallin sisältä. Kun painetta hallin sisällä halutaan kasvattaa, ohjataan säätöpeltiä sulkeutumaan enemmän, jolloin järjestelmän tuottama paine-ero on suurempi.

Johtuen hallissa vallitsevasta ylipaineesta, on ilmavuotojen suuruus noin 20 - 30 % sisäilmasta eli noin 3800 - 5700 m<sup>3</sup>/h. Ylipainehallin poistoilma poistuu yksinomaan vuotojen kautta. Korvausilma imettiin puhallinrakennuksessa sijaitsevan puhallinyksikön säleikköjen lävitse.

Hallissa on lumikuormaa ja voimakasta tuulta havainnoiva tuulianturi. Ohjausjärjestelmä nostaa hallin paineen korotettuun tasoon, noin 300 pascaliiin suuren lumikuorman tai voimakkaan tuulen ajaksi, jottei halli romahda. (Polarhall 2005, 8.)

Hallin katolle kerääntyvän lumen on tarkoitus sulaa hallin seinämateriaalien lämpöhäviöiden johdosta. Mittausjakson aikana, ilman lämpötilan ollessa noin -20 °C lumi ei kuitenkaan sulanut. Käyttäjähastattelun perusteella lauhempien lämpötilojen aikana lumi sulaa. Kerääntyvästä lumesta ei ole koitunut ongelmia. (Ahti 2016.)

Hallin paineensäätöpiiriä ohjataan tuulianturin ja paine-eromittauksen perusteella.

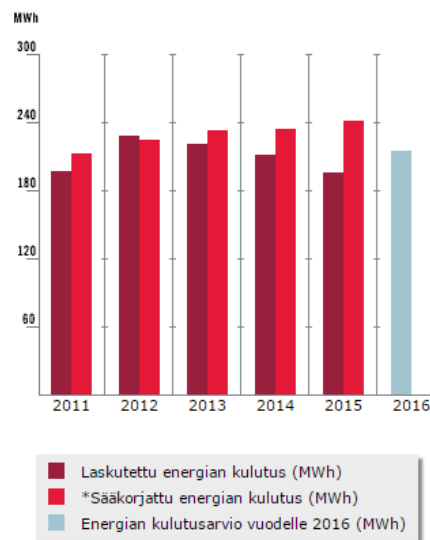
Puhallinjärjestelmän toimittaja on Aeropol.



## 2.3 Ylipainehallin lämmitysjärjestelmän nykytila

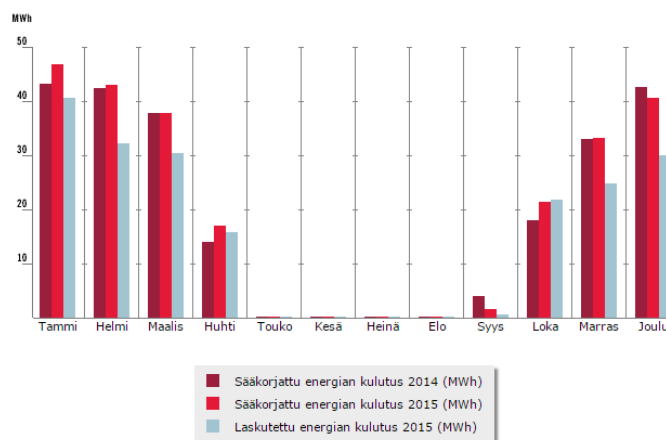
Ylipainehalli lämmitetään sisään puhallettavalla ilmalla, jonka lämpötilaa nostetaan puhallinyksikön lämmityspatterissa. Ilmalämmityspatterin lisäksi muuta lämmitystä ei ole.

Puhallinyksikön ilmanlämmityspatterin teho on 270 kW. Lämmityspatterin lämmönlähteenä toimii kaukolämpö. Kaukolämmön sopimusteho on 200 kW ja sopimusvirtaama 3,44 m<sup>3</sup>/h.



\*) Vuodet vertailukelpoisia energiankulutuksen suhteen (ulkolämpötilat huomioitu)

Kuva 2. Ylipainehallin kaukolämpöenergiankulutus vuosina 2011... 2015 (Kotkan Energia 2016)



Kuva 3. Ylipainehallin kuukausittainen kaukolämpöenergiankulutus vuonna 2015 (Kotkan Energia 2016)

Ylipainehallin lämpötilaa säädetään hallin käytön mukaan. Hallin lämpötilansäätöä voidaan etäohjata matkapuhelimella tai internetin välityksellä. Ylipainehalli lämmitettiin käyttölämpötilaan noin 10 minuuttia ennen kuin päivän ensimmäiset asiakkaat saapuivat. Käyttölämpötilan asetusarvo on 16 °C ja hallin ollessa käyttämättömänä lämpötilan asetusarvo on 4 °C.

Ylipainehallin lämpötilan ohjauksella säästetään lämmitysenergiaa. Käytäntö on energiatehokas.

Hallin lämmityskausi alkaa syyskuun lopulla ja jatkuu toukokuun alkuun. Lämmityskausi määräytyy ulkoilman yölämpötilan perusteella. Kesäaikana hallia ei lämmitetä, vaan sisään tuleva ilma on ulkoilman lämpötilassa. Kierrätettävän sisäilman osuus säilyy kesäaikana samana.

#### 2.4 Ylipainehallin rakenteiden nykytila

Hallin seinämät koostuvat sisemmästä ja uloimmasta PVC-kankaasta, joiden välissä on eristeenä kaksi kerrosta ohutta ilmakuplakalvoa. Rakenne pidetään paikallaan hallin perustukseen ankkuroidulla teräskaapeliverkolla. Kaapeliverkko on paksuudeltaan 12-millimetristä sinkittyä teräskaapelia. (Polarhall 2005, 2.)

Seinämien U-arvoksi on valmistajan toimesta ilmoitettu 1,69 W/m<sup>2</sup>K. (Polarhall 2016.)

Ylipainehallin pohja on Novacrylic-Combination-pinnoitteista massapintaista tenniskenttää. (Kymenlaakson Mailapelit Oy 2016.)



Kuva 4. Ylipainehallin tukirakenne

### 3 YLIPAINEHALLIN MITTAUSJÄRJESTELYT, MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU JA KEHITYSKOHTTEET

#### 3.1 Ylipainehallin mittausjärjestelyt

Ylipainehallissa suoritettiin mittauksia ajanjaksolla 5.1.2016 – 9.1.2016. Mittausten tarkoituksena oli selvittää ylipainehallin lämpötilansäädön toimivuutta, hallin seinämien ilmavuotoja ja lämpöhäviöitä, ilman kerrostuneisuutta hallissa sekä tuloilman mahdollista sekoittumista paluuilmaan.

Ilman kerrostuneisuutta ja lämpötilansäädön toimivuuden selvittämiseksi ylipainehallin keskiosaan asennettiin kolme lämpötilamittausta eri korkeuksiin: 0,5 metriä, 3 metriä ja 6 metriä. Erilliset lämpötilanmittaukset asennettiin lisäksi tulo- ja paluuilmakehanavien suuaukoille tulo- ja poistoilman lämpötilan todentamiseksi. Asennetut mittarit olivat Lutron TM-947SD -mallisia.

Hallin seinämiä tarkasteltiin Fluke TI300 -lämpökameralla sisä- ja ulkopuolelta ilmavuotojen tai huonosti eristettyjen kohtien paikantamiseksi.

Tulo- ja paluuilmavirtausten varmentamiseen käytettiin Fluke 975 -ilmavirtamittaria.

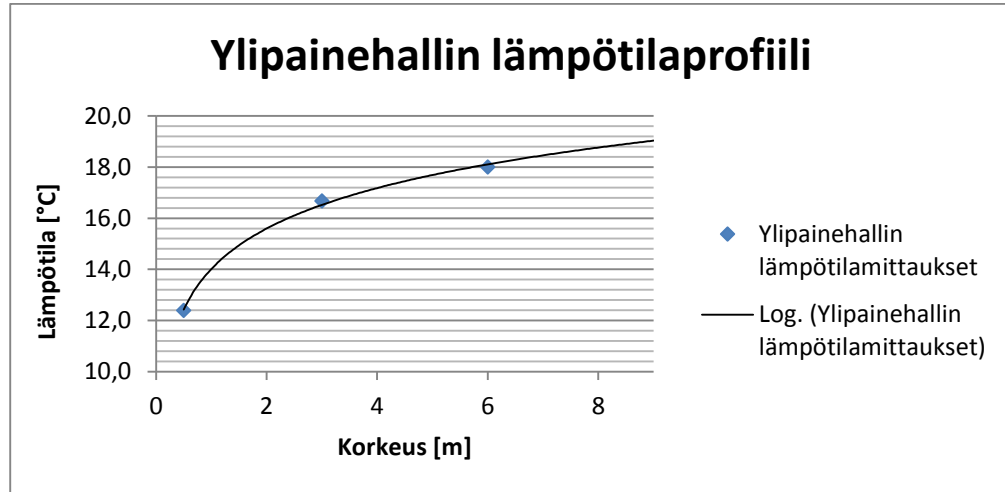


Kuva 5. Mittalaitteet

### 3.2 Ilman kerrostuneisuus

Mittausjakson aikana suoritettujen lämpötilamittausten tuloksista selviää, että lämmityksen ollessa päällä lämpötilaero hallin pohjan ja katon välillä on noin 7 °C (liite 1).

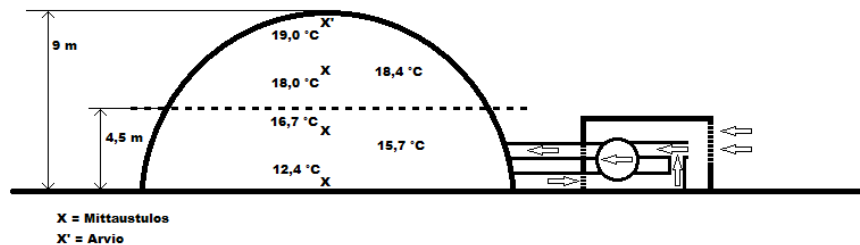
Lämpötilanmittausta ei saatu asennettua välittömästi katonrajaan, joten katonrajan (9 metriä) lämpötila on arvioitu ekstrapoloimalla.



Kuva 6. Ylipainehallin lämpötilaprofiili lämmityksen ollessa korotetulla teholla

### 3.3 Ilman kerrostuneisuuden vähentäminen

Mittauksien perusteella määritetty ylipainehallin lämpötilaprofiili.



Kuva 7. Havainnekuva ylipainehallin lämpötilaprofiilista hallin lämmityksen ollessa korotetulla teholla

Ilman kerrostuneisuutta voidaan pienentää kattoon asennettavilla tuulettimilla, jotka liikuttavat yläosiin kerääntynyttä lämpimämpää ilmaa hallin alaosiin. (Big

ass fans 2016.) Tuuletinten avulla lämpöhäviöt yläosan seinämissä pienenevät lämpötilan alentuessa ja tuloilman lämpötilaa voidaan laskea. Matalampi tuloilman lämpötila johtaisi alentuneisiin kaukolämpöenergiakuluihin.

Tuuletinten avulla saavutettavaa tuloilman lämpötilan laskua on vaikea arvioida tarkasti ilman tietokoneavusteista mallinnusta, johon tätä opinnäytetyötä tehdessä ei ollut mahdollisuutta. Tuuletinten kannattavuutta voidaan kuitenkin arvioida karkeasti seuraavalla laskulla.

Kuvitellaan ylipainehalli tilavuudeltaan yhtä suuressa ylä- ja alaosassa, jotka molemmat ovat korkeudeltaan 4,5 metriä. Yläosan, josta lämmintä ilmaa siirrettäisiin tuulettimilla alaosaan, keskimääräinen korotetun lämmitystehon aikainen lämpötila on 18,4 °C. Alaosassa korotetun lämmitystehon aikainen keskilämpötila oli 15,7 °C.

Ylä- ja alaosissa tarkasteltu lämpötilaero on 2,7 °C. Hallin lattiatason ja katonrajan lämpötilaero on korkeampi, arviolta 6,6 °C.

Tuulettimet kuitenkin vaativat 1...2 metriä varoetäisyyttä katosta (Big ass fans 2016), jolloin tuulettimet voitaisiin asentaa noin 7 metrin korkeuteen.

Realistisen lämpötilanmuutoksen maksimiarvon arvioidaan tuuletinten avulla olevan 1,5 °C. Lämpötilaeroa on mahdoton poistaa kokonaan johtuen hallin lämmitystavasta, jossa yli 50 °C ilmaa puhalletaan halliin.

Tuloilmavirta on suunnattu ohjauspelleillä yläviistoon, kohti hallin kattoa, jottei ilmavirta tai kuumuus haittaisi tenniksen peluuta. Tämä korostaa ilman kerrostumista.

Mittaustulosten perusteella pienemmän lämmitystehon aikana lämpötilaero hallin eri korkeuksissa oli seitsemäsosa lämpimän ajan mittauksista. Tämä tarkoittaa, että matalamman lämmitystehon aikana tuulettimilla saavutettu hyöty on merkityksettömän pieni ja tuulettimet on kannattavaa pitää suljettuna.

Laskua varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma, jolla laskettiin vuodessa säästetty lämpöenergia, kun tuloilman lämpötilaa lasketaan 1,5 °C.

Taulukko 1. ”Ylipainehallin tuuletininvestoinnin kannattavuuslaskelma” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Vuotuinen kaukolämpöenergian säästö on vuoden 2015 säätiedoilla [redacted] kWh. Kaukolämmön hinta asiakkaalle on 61,75€/MWh.

**Lasketaan vuotuinen säästö.**

$$S = K_{KL} * Q_s \quad (1)$$

$$61,75 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * [redacted] * 10^{-3} \text{MWh} = [redacted] \text{€}$$

jossa  $S$  vuotuinen säästö [€/a]

$K_{KL}$	kaukolämmön hinta	[€/MWh]
$Q_s$	lämpöenergiesäästö	[kWh]

### Lasketaan investoinnin takaisinmaksuaika.

Pelkästään tuulettimiin tarvittavan investoinnin hinnaksi arvioidaan

██████████ €.

$$Tma = \frac{I}{S} \quad (2)$$

$$\frac{\text{██████████} \text{ €}}{\text{██████████} \frac{\text{€}}{a}} = \text{██████████} a$$

jossa	$Tma$	takaisinmaksuaika	[a]
	$I$	investointi	[€]
	$S$	vuotuinen säästö	[€/a]

Takaisinmaksuajaksi muodostuu jo ilman lisääntyneen sähkönkulutuksen huomioimista ██████████ vuotta. Voidaan todeta että takaisinmaksuaika on liian pitkä. Kun lisääntyneen sähkönkulutuksen tuomat kustannukset huomioidaan, pitenee takaisinmaksuaika entisestään.

Myös rakenteiden kantokyky saattaa estää asennuksen, sillä yksi tuuletin painaisi vähintään 100 kg. (Big ass fans, 2016.)

Ylipainehallin päällimmäinen suojakalvo täytyy myös 3 - 5 vuoden välein vaihtaa, tällöin halli ei ole pystyssä. Kattotuuletinten asennus vaikeuttaisi myös tätä operaatiota, muttei tekisi sitä mahdottomaksi.

Myös kohteen käyttötavasta koituu laitteiston vaurioitumisen vaara. Tennispallo saattaisivat lentää tuulettimen lapojen väliin vaurioittaen niitä. Tätä riskiä voisi pienentää tuulettimen ympärille asennettavalla suojakehikolla, mutta tämä lisäisi asennuksen painoa entisestään.

Investointi ei ole järkevä.

### 3.4 Tuloilman sekoittuminen paluuilmaan

Tulo- ja paluuilmakehanavien suuaukot sijaitsivat päällekkäin hallin seinällä. Tuloilmakanava sijaitsi paluuilmakehanavan yläpuolella. Suuaukkojen läheisyydestä johtuen epäiltiin että tuloilmaa sekoittuisi suoraan paluuilmaan.



Kuva 8. Ylipainehallin tulo- ja paluuilmakehanavien suuaukot.

Mittaustuloksista voidaan havaita että tuloilmaa sekoittuu paluuilmaan.

Paluuilma oli mittausjakson aikana, jona lämmitys oli alennetulla teholla, lämpimämpää kuin hallin keskiosissa olleiden mittarien antamat arvot, tämä viittaa siihen että tuloilmaa on täytynyt sekoittua paluuilmaan.

Tuloilmaa sekoittui mittausjaksolla paluuilmaan noin 10 % kokonaisilmavirrasta (liite 2).



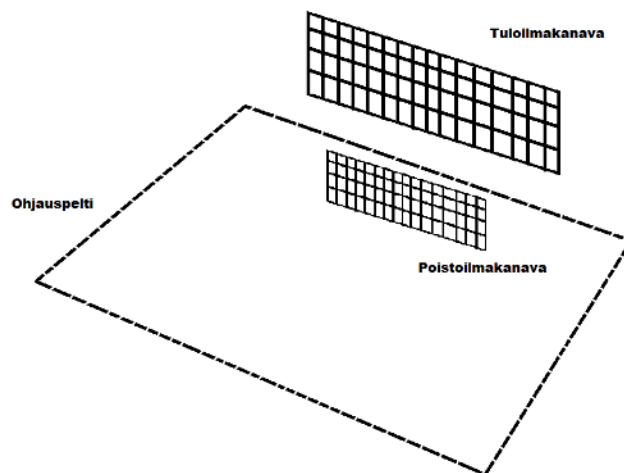
Sekoittumisesta johtuen hallin tavoitelämpötilaa ei aina saavutettu. Automaatiojärjestelmän lämpötila-anturi sijaitsi paluuilmakekanavassa eikä automaatiojärjestelmä saanut todellista sisätilan lämpötilaa. Tästä johtuen sisään puhallettava ilma oli viileämpää kuin tavoitelämpötilan saavuttaminen olisi edellyttänyt.

Minimitavoitelämpötilaksi hallin lämmityksen ollessa alennetulla teholla oli ilmoitettu 4 °C ja mittauksissa huomattiin alhaisimmillaan -0,5 °C lämpötila.

Sekoittumisen pienentämisellä ei säästetä energiaa, vaan päinvastoin. Sekoittumisesta johtuva viileämpi sisälämpötila vähentää lämpöenergiankulutusta hieman.

Mikäli hieman viileämmästä lämpötilasta hallin lattiatasossa koetaan olevan haittaa käyttäjille, voidaan ilman sekoittumista estää sijoittamalla tulo- ja paluuilmakekanavien suuaukkojen väliin ohjauspelti joka pakottaisi paluuilman tulemaan lattiatasosta. Tenniskenttien läheisyys kanavien suuakoista kuitenkin rajoittaa tämänkaltaisen ratkaisun toimeenpanoa.

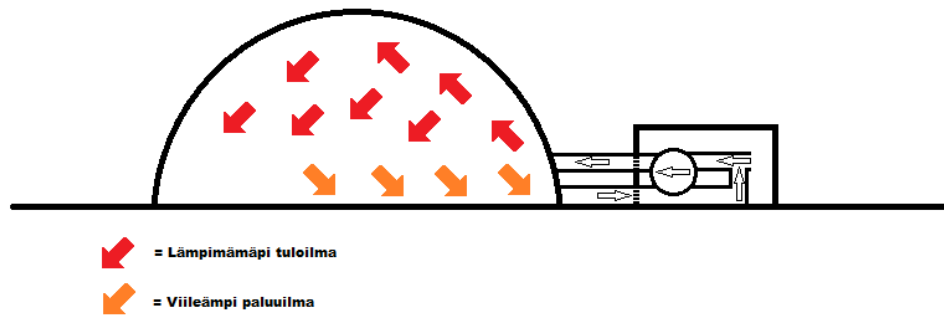
Hallin lämpötilaa voidaan myös kasvattaa säätämällä automaation parametreja niin että tuloilman lämpötila olisi hieman korkeampi. Tämä kuitenkin kasvattaisi energiankulutusta.



Kuva 9. Havainnekuva ohjauspelistä

### 3.5 Pohdintaa ilman kierrosta

Hallin lämpötilaprofiilin optimoimisesta tekee erityisen haastavaa se että hallia lämmittävä tuloilma tulee suunnata yläviistoon käyttöolosuhteista eli tenniksen peluusta johtuen.



Kuva 10. Havainnekuva ylipainehallin ilman kierrosta

Opinnäytetyötä tehdessä harkittiin myös paluilmakanavan pään sijoittamista korkeammalle, jotta paluuilma olisi lämpimämpää. Tämä ratkaisu sotkisi ilman kierron niin että lämmintä ilmaa virtaisi vähän tai lainkaan kenttien tasoon ja kaikki lämmön siirtyminen kenttien tasoon tapahtuisi säteilyn kautta. Tämä johtaisi korkeampaan lämpötilaeroon hallin ylä- ja alaosien välillä ja huonontaisi käyttökokemusta. 16 °C tavoitelämpötilaa ei välttämättä voitaisi enää saavuttaa kenttien tasossa.

Kohteissa, joissa tuloilma voidaan puhaltaa vaakatasossa hallin lattiaan nähdessä ja paluilmakanavan pää sijoittaa katonrajaan saavutetaan matalampi lämpöenergiankulutus. Tällaisissa kohteissa tuulettimet saattaisivat olla myös taloudellisesti kannattava ratkaisu lämpötilaprofiilin tasoittamiseksi.

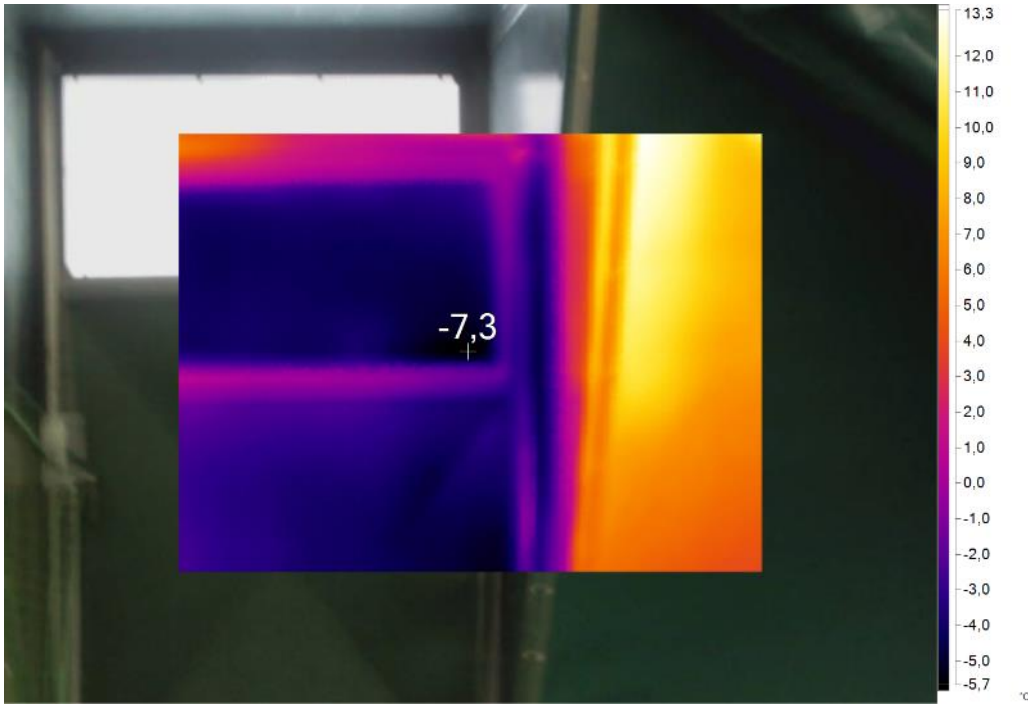
Tarkastellussa ylipainehallissa tuloilma sekoittuu varsin hyvin halliin, eikä lämpötilaeroa taloudellisesti kannattavalla metodilla voida pienentää.

### 3.6 Ovet

Lämpökameramittauksessa nähtiin että tavaraoven lämpöhäviö on muita rakenteita korkeampi, mutta koska oven pinta-ala on vain noin 2 m<sup>2</sup>, on oven osuus kokonaislämpöhäviöistä mitätön.

Lämpöhäviöiden ja eristyksellä saavutettavan hyödyn laskemiseksi laadittiin laskentataulukko (liite 3). Oven U-arvoksi oletettiin 1,4 W/m<sup>2</sup>K (Linne 2012).

Ovien eristäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa



Kuva 11. Lämpökamerakuva ylipainehallin tavaraovesta

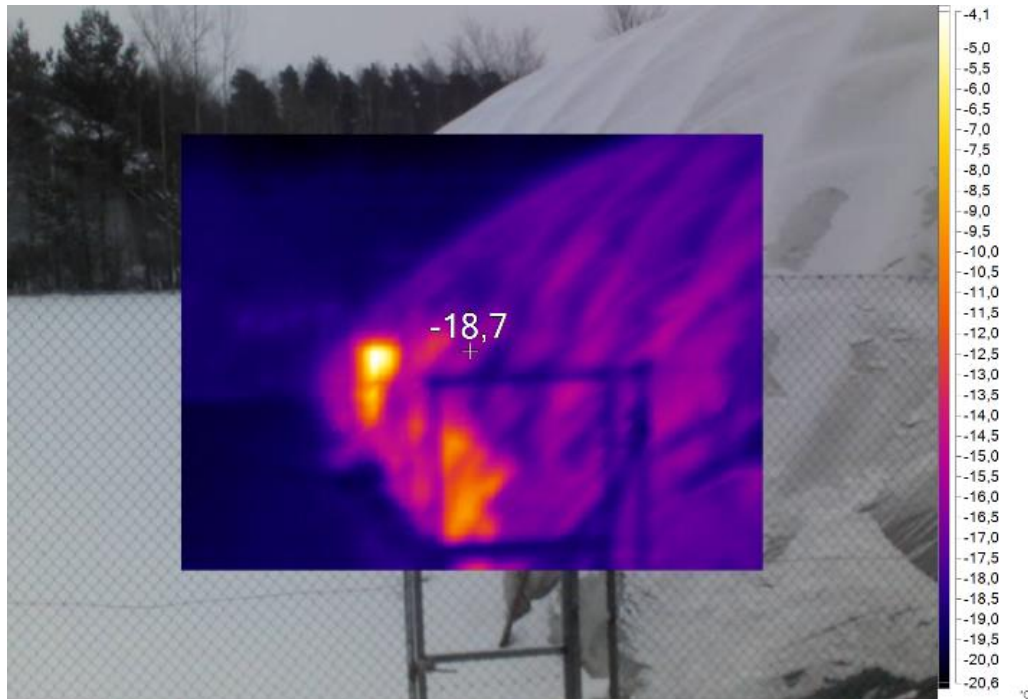
### 3.7 Seinämät

Ylipainehallin seinämiä tarkasteltiin lämpökameralla suurten ilmavuotojen tai lämpöhäviöiden löytämiseksi (liite 4).

Seinämiä tarkasteltiin 5.1.2016. Kuvaushetkellä ulkolämpötila oli noin -20 °C ja hallin sisälämpötila oli normaalissa käyttölämpötilassa, noin 16 asteessa.

Kuvauksissa ei ilmennyt suuria, repeytymiin viittaavia lämpötilapoikkeamia. Repeytymistä ei myöskään löytynyt viitteitä tuloilmavirran varmentamisen yhteydessä. Aiheesta lisää kappaleessa 5.7.

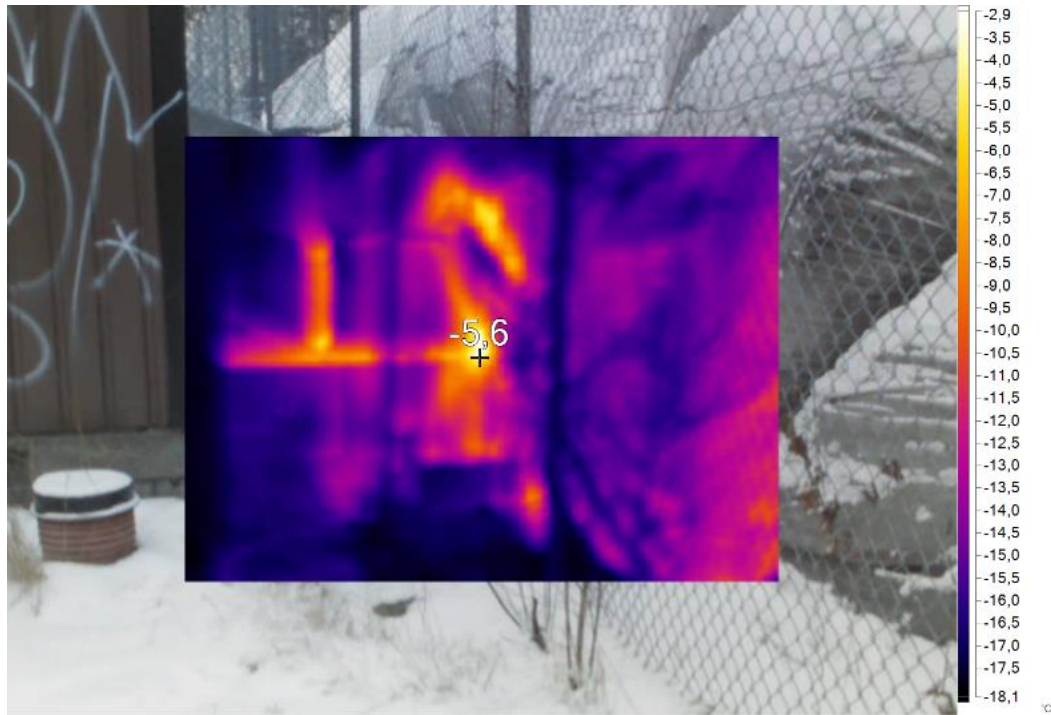
Suurimmat lämpötilaerot löytyivät hallin alaosista, PVC-kankaan helmoista, jossa paineesta johtuvat ilman vuotaminen pääasiassa tapahtuu. Ilman on edullisempaa vuotaa hallin alaosista jossa vuotoilma on viileämpää.



Kuva 12. Lämpökamerakuva tavaraovesta ylipainehallin ulkopuolelta

Kuvasta 12 näkyy selvästi hallin varauloskäynnin olevan lämpimämpi kuin seinämien. Lämpötilaero on noin 10 °C, mutta johtuen oven pienestä pinta-alasta ei lämpöhäviö ole taloudellisesti merkittävä. Oviaukosta tapahtuu todennäköisesti myös osa hallin tarkoituksenmukaista ilmanvaihtoa vuotojen kautta. Kuvassa näkyy myös, että hallin helman lämpötila ulkopuolella on korkeampi kuin seinämien lämpötila korkeammalla. Tämä viittaa myös siihen että ilma- vuodot tapahtuvat hallin helmoista.

Seinämien yläosien laikut lämpökamerakuvassa johtuvat epätasaisesta lumi- kuormasta.



Kuva 13. Lämpökamerakuva ylipainehallin tuloilman läpiviennistä

Kuvassa 13 näkyvän ylemmän kanavan, eli tuloilmakanavan, saumassa sekä läpiviennissä ilmenevät lämpötilaerot viittaavat huonoon eristykseen.

Kuten ovienkin kohdalla, on huonosti eristetty pinta-ala pieni. Joskin lämpötilaerot ovat tuloilmakanavassa merkittävästi hallin sisälämpötilaa korkeammat, ei kanavan heikommasta eristyksestä silti koidu suuria taloudellisia kustannuksia.

### 3.8 Vuotoilman määrittäminen

Ylipainehallin vuotoilman määrä arvioitiin mittaamalla korvausilmavirta. Mittaukset suoritettiin Fluke 975 -ilmavirtamittarilla. Virtausnopeuden ja korvausilmakanavan pinta-alan avulla voitiin laskea tilavuusvirta. Koska korvausilma on ainoa hallin sisälle tuleva ilmavirta ja paineensäätöpiiri pitää ylipaineen hallissa vakiona, on korvausilman tilavuusvirta sama kuin vuotoilman.

Korvausilmavirtaus mitattiin puhallinrakennuksessa. Korvausilma puhaltimille tulee kahden pinta-alaltaan  $0,6 \text{ m}^2$  olevan tuloilmaritilän lävitse. Virtausnopeudeksi mitattiin keskimäärin  $1 \text{ m/s}$  (liite 5).

**Lasketaan tilavuusvirta.**

$$q_v = v * A \quad (3)$$

$$q_v = 1 \frac{m}{s} * 2 * 0,6 m^2$$

$$q_v = 1,2 \frac{m^3}{s} * 3600 \frac{s}{h}$$

$$q_v = 4320 \frac{m^3}{h}$$

jossa	$q_v$	tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
	$v$	virtausnopeus	[m/s]
	$A$	pinta- ala	[m <sup>2</sup> ]

Hallin korvausilman tarpeeksi on suunnitteludokumenteissa ilmoitettu 20 - 30 % paineentuottoon käytettävästä ilmasta, eli 3800 - 5700 m<sup>3</sup>/h.

Kohteen ilmavuotojen määrä johtuu sisällä vallitsevasta ylipaineesta. Painetta ohjattiin lumikuorman ja tuuliolosuhteiden mukaan. Mittauksia tehdessä lunta oli paikoin noin sentin kerros hallin päällä. Hallissa oli siis mittaushetkellä hie- man korotettu paine normaalitilanteeseen nähden.

Mitattu arvo 4320 m<sup>3</sup>/h osuu mitoitusvälille. Tästä voidaan päätellä että hallin vuotoilman määrä on mitoitusarvojen mukainen ja hallissa ei ole ylimääräistä vuotoa.

### 3.9 Pohdintaa ylipainehallin energiataloudesta

Ylipainehallissa kuluu vuosittain huomattavasti enemmän kaukolämpöener- giaa kuin viereisessä kiinteärakenteisessa tennishallissa. Hallit ovat tilavuudel- taan lähes samankokoisia. Ylipainehallin tilavuus on 9500 m<sup>3</sup> ja lämpöenergi- ankulutus vuonna 2014 oli 210,1 MWh. Kiinteärakenteisen hallin tilavuus on 9200 m<sup>3</sup> ja lämpöenergiankulutus vuonna 2014 oli 64,7 MWh.

Ylipainehallin korkea lämmitysenergiantarve johtuu pääasiassa seinämateri- aalien huonosta lämmöneristyskyvystä sekä suuresta vuotoilman määrästä.

Hallin seinämateriaalin U- arvo on 1,69 W/m<sup>2</sup>K. (Polarhall 2016.)

Arvo on suuri, kun sitä verrataan vertailuarvona käytettävään seinän lämmön-  
läpäisykertoimeen 0,17 W/m<sup>2</sup>K. (Ympäristöministeriö 2008, 7.)

Ylipainehallin vuotoilman määrä on suuri johtuen hallin paineistuksesta. Vuotoilman lämpötila on korotetun lämmitystehon aikana 16 °C ja alennetun lämmitystehon aikana 4 °C. Korvausilma joudutaan lämmittämään sisälämpötilaan ulkoilman lämpötilasta. Tähän kuluu paljon lämpöenergiaa.

Ylipainehallin energiankulutukseen voi siis merkittävästi vaikuttaa tehokkaammalla eristyksellä, vuotoilmamäärän vähentämisellä esimerkiksi tiiviimmillä rakenteilla, tai vuotoilman keskittämällä poistoilmakanavaan johon asennettaisiin lämmöntalteenottojärjestelmä, jossa poistoilman lämpöenergia siirrettäisiin korvausilmaan.

Jo rakennetun hallin energiankulutukseen on siis hankala vaikuttaa. Halli täyttyy muutaman vuoden välein laskea alas ja uloimmainen suojakalvo vaihtaa. Mikäli tämän prosessin yhteydessä hallin eristystä voidaan parantaa esimerkiksi eristävämällä uloimmalla kalvolla, tai ylimääräisellä eristekerroksella, on investointi todennäköisesti kannattava. Jos muutostyö tehdään välttämättömän korjaustyön yhteydessä, ei siitä koidu yhtä suurta haittaa hallin käytölle.

Eristystä harkittaessa on huomioitava seinämien massan kasvu, ja siitä mahdollisesti aiheutuva ylimääräinen paineentarve, mikä vääjäämättä johtaa lisääntyviin ilmapuotoihin.

Johtuen käytettyjen materiaalien ja ilmapuodon suuruudesta, ei ylipainehallitekniikka ole energiatehokkuudessaan kilpailukykyinen kiinteärakenteisten rakennusten kanssa.

Talteenottojärjestelmän teoreettista energiansäästöpotentiaalia voidaan arvioida seuraavalla laskulla.

Oletetaan lämmöntalteenottolaitteiston toimivan lämmöntalteenottokiekkoperiaatteella ja lämmöntalteenoton tulohyötysuhteeksi            %.

### Lasketaan korvausilman vaatima keskilämmitysteho.

Käytetään luvussa 5.7 laskettua vuotoilman määrää 4320 m<sup>3</sup>/h. Vuotoilman lämmityskaudenaikaiseksi keskilämpötilaksi on arvioitu [ ] °C, ulkoilman keskilämpötila lämmityskaudella on vertailuvuonna -1,1 °C.

$$\Phi = q_m * C_p * \Delta t \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{[ ] \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}} * [ ] \frac{kg}{m^3} * [ ] \frac{kJ}{kg} \text{ } ^\circ K * ([ ] - (-1,1)) \text{ } ^\circ C = [ ] kW$$

jossa	$\Phi$	lämpöteho	[kW]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$C_p$	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
	$\Delta t$	lämpötilaero	[K]

Korvausilman keskilämmitysteho on samaa kuin vuotoilman keskilämpöhäviö. Vuotoilmasta voidaan edellä mainitulla tekniikalla ottaa talteen [ ] % energiasta johtamalla se korvausilmaan.

### Lasketaan lämmöntalteenoton keskiteho [ ] % hyötysuhteella.

$$\Phi_{LTO} = \Phi * \eta \quad (5)$$

$$\Phi_{LTO} = [ ] kW * [ ] = [ ] kW$$

Jossa	$\Phi_{LTO}$	lämmöntalteenoton teho	[kW]
	$\Phi$	lämpöteho	[kW]
	$\eta$	hyötysuhde	[%]



Lasketaan potentiaalinen vuotuinen energiansäästö lämmöntalteenotto-  
laitteistolla.

$$Q = \phi_{LTO} * t \quad (6)$$

$$Q = \text{[ ]} kW * 210 d * 24 \frac{h}{d} = \text{[ ]} kWh$$

jossa	$Q$	lämpöenergia	[kWh]
	$\phi_{LTO}$	lämmöntalteenoton teho	[kW]
	$t$	aika	[h]

Lasketaan vuotuinen kaukolämpöenergiakustannuksien säästöpotenti-  
aali lämmöntalteenottolaitteistolla.

Kaukolämpöenergian hinta on 61,75 €/ MWh.

$$S = Q * K_{KL} \quad (7)$$

$$S = (\text{[ ]} * 10^{-3}) MWh * 61,75 \frac{\text{€}}{MWh} = \text{[ ]} \text{€}$$

jossa	$S$	säästöt	[€]
	$Q$	lämpöenergia	[kWh]
	$K_{KL}$	kaukolämpöenergian hinta	[€/MWh]

Voidaan todeta, että mikäli vuotoilmalle voitaisiin tehdä lämmöntalteenottojärjestelmä, saavutettaisiin sillä merkittävät vuotuiset kaukolämpöenergian säästöt. Lämmöntalteenottojärjestelmän rakentaminen kuitenkin on hyvin hankalaa jo valmiiseen ylipainehalliin, sillä rakenteiden tiiviyttä pitäisi parantaa merkittävästi.

### 3.10 Ylipainehallin puhaltimet

Ylipainehalliin täytyy tuottaa jatkuvasti riittävä ylipaine jotta rakenteet pysyvät pystyssä.

Hallin ylipaine tuotetaan kahdella sähköteholtaan 3 kW puhaltimella, joilla voidaan tuottaa 19 000 m<sup>3</sup>/h ilmavirtaama ja noin 300 pascalin paine.

Paineentuoton säätötapa on ohivirtaussäätö. Ohivirtaussäätö on halpa toteuttaa, mutta ei ole energiatehokas säätötapa verrattuna esimerkiksi kierroslukusäätöön. Ohivirtaussäädössä osa puhalletusta ilmavirrasta ohjataan takaisin puhaltimelle, ja näin puhaltamiseen käytetty työ muutetaan suoraan häviöksi. (Motiva 2011, 8.)

Energiatehokkaampi säätötapa on kierroslukusäätö. Jotta puhaltimia voitaisiin ohjata kierroslukusäädöllä, tarvitaan taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajainvestointi on hyvin usein kannattava, etenkin kohteissa, joissa puhallus- tai pumpausvirtaamat ovat suuret.

## 4 YLIPAINEHALLIN LÄMMITYSTAPAMUUTOKSEN KANNATTAVUUS

Tarkastellaan onko ylipainehalli taloudellisesti kannattavaa lämmittää muulla lämmitysmuodolla kuin kaukolämmöllä. Suuresta kaukolämpötehosta johtuen on perusmaksun osuus lämpölaskusta hyvin suuri. Ongelma ei välttämättä poistuisi esimerkiksi ilma-vesilämpöpumpun asentamisen myötä, sillä halli olisi kylmimpänä vuodenaikana, jolloin edellä mainitut laitteet eivät enää tuota lämpöenergiaa, pakko lämmittää toisella lämmitysmuodolla. Tällöin esimerkiksi riittävän tehoisiin sähkövastuksiin tarvittaisiin suuri investointi. Lisäksi esimerkiksi maalämpöä tarkasteltaessa kohteen suuresta lämmitystehontarpeesta (200 kW) johtuen investointi kasvaa suureksi maalämpökaivojen porauksesta johtuen.

Kohteen lämmityskäytännöstä johtuen hallin lämmitysteho huojuu myös suuresti kun lämmitys siirtyy kohotetulle teholle. Nykyisellä järjestelmällä huojunta

ei ole ongelmallista, mutta lämpöpumppuratkaisuilla korkea hetkellinen lämmitysteho joudutaan tuottamaan sähkövastuksilla.

#### 4.1 Tehontarve

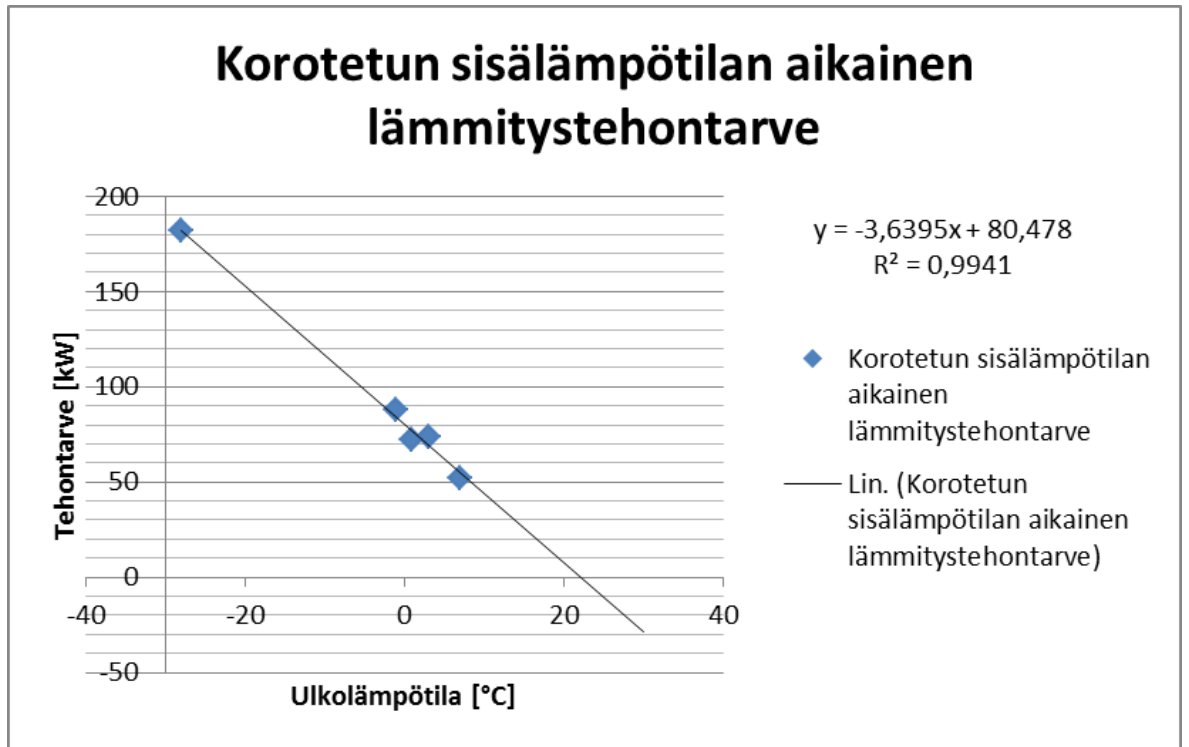
Kohteen kaukolämpötehontarpeeksi on ilmoitettu 200 kW. 17.3.2016 kaukolämpöjärjestelmän energiamittarista tarkistettu vuoden tehohuippu oli 181,8 kW. Lukema on mitä todennäköisimmin kylmältä vuodenajalta hetkeltä, jolloin hallia on alettu nostaa käyttölämpötilaan. Tehontarve on tuolloin suurin. Tarkistuspäivämäärästä vuoden aikainen minimilämpötila oli -28 °C (Ahti 2016), tämä on huomioitu tehontarvelaskussa.

Kohteen kaukolämpöteho tarkistettiin kaukolämpöjärjestelmän energiamittarista eri ulkolämpötiloissa hallin ollessa käyttölämpötilassa, sekä aikana jolloin halli oli alennetussa lämpötilassa. Ulkolämpötilakohtainen tehontarve on laskettu näillä arvoilla (liite 6).

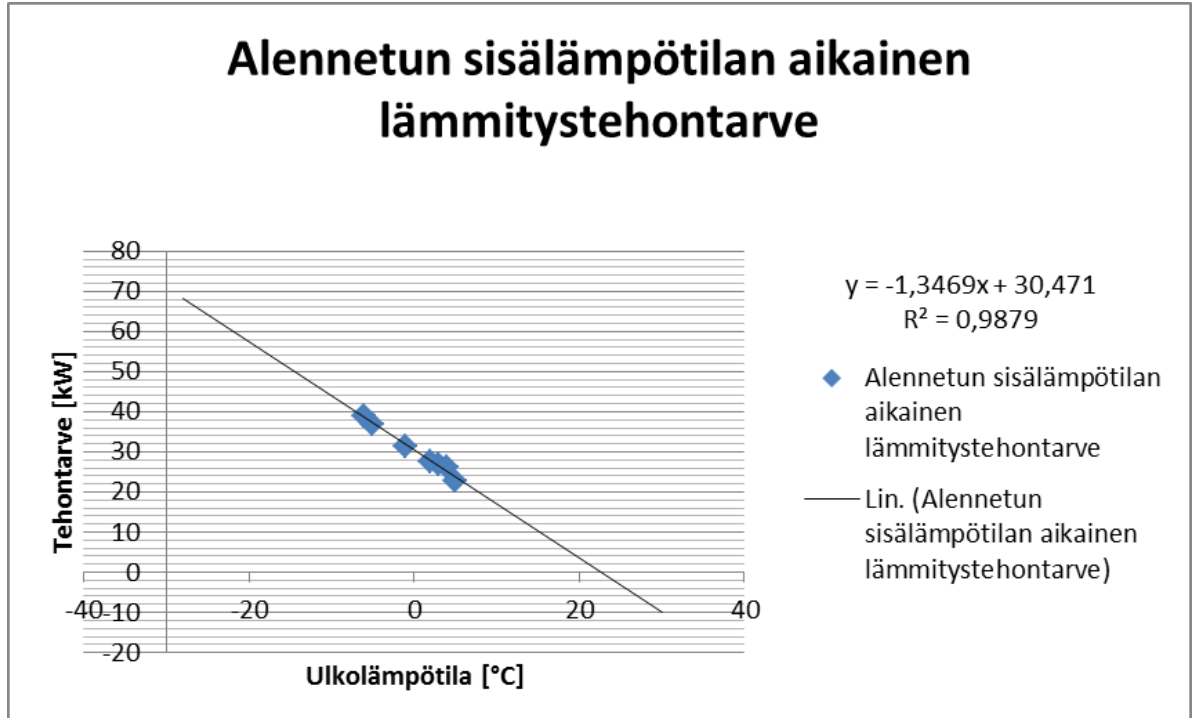
Ylipainehallin tehontarpeeseen vaikuttavat tavanomaista kiinteärakenteista rakennusta enemmän pilvisuus ja tuulisuus. Auringon säteily lämmittää tilaa voimakkaammin koska rakenteiden lämmöneristyskyky on tavanomaista rakennusta heikompi. Tämä tekee ylipainehallin energian- ja tehontarpeen laskemisesta haasteellista, eikä laskuilla päästä yhtäläiseen tarkkuuteen kiinteärakenteisen hallin lämmitystapamuutoslaskujen kanssa. Ylipainehallin korotetun tehontarpeen ajallinen osuus ei ole vakio, vaan lämmitystä säädetään hallin käyttötarpeen mukaan. Laskuissa on käytetty arviota korotetun lämmitystehon ajallisesta osuudesta.

Laskennalliset tehontarvekuvaajat eivät ole todenmukaisia kesäajan korkeammissa lämpötiloissa, jolloin hallin lämmitys suljetaan kokonaan. Laskelmissa on oletettu että lämmitys kytketään pois ulkolämpötilan ollessa 10 °C.

Energiantarvelaskelmissa on käytetty Ilmatieteen laitoksen tuottamaa vuoden 2014 ilmastoalueen II lämpötilan pysyvyyskäyrää. (Ilmatieteenlaitos 2011.)



Kuva 14. Ylipainehallin korotetun sisälämpötilan aikainen lämmitystehontarve



Kuva 15. Ylipainehallin alennetun sisälämpötilan aikainen lämmitystehontarve

## 4.2 Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä

Ilma-vesilämpöpumpun kannattavuutta tarkasteltiin eri tehoisilla ilma-vesilämpöpumppuilla. Investointien hinnat ovat arvioita.

Ilma-vesilämpöpumppu ei kykene tuottamaan lämpöenergiaa yli -15 °C ulkoilmassa. Investoinnin kannattavuutta arvioitiin järjestelmissä, joissa lisäenergia tuotetaan sähkövastuksilla, sekä järjestelmissä joissa lisäenergia tuotetaan jo olemassa olevalla kaukolämpöjärjestelmällä.

Laskuissa on käytetty Viessmann [REDACTED] ilma-vesilämpöpumppumallin teknisiä tietoja. (Viessmann 2016).

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmien kannattavuutta on tarkasteltu taulukoissa 2 ja 3. Vihreällä maalattu alue on takaisinmaksuajaltaan taloudellisin.

Taulukko 2. ”Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän optimointi ylipainehalliin, kun lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Taulukko 3. ”Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän optimointi ylipainehalliin, kun lisäenergia on tuotettu jo olemassa olevalla kaukolämpöjärjestelmällä” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Taulukoista 2 ja 3 nähdään, että järjestelmä jossa lisäenergia tuotetaan kaukolämmöllä, ei ole kilpailukykyinen järjestelmän kanssa, jossa lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla, vaikka kaukolämpöenergian hinta on noin ████████ € halvempaa megawattituntia kohden. Tämä johtuu korkeasta kaukolämmön perusmaksusta, joka vuonna 2015 oli ████████ €.

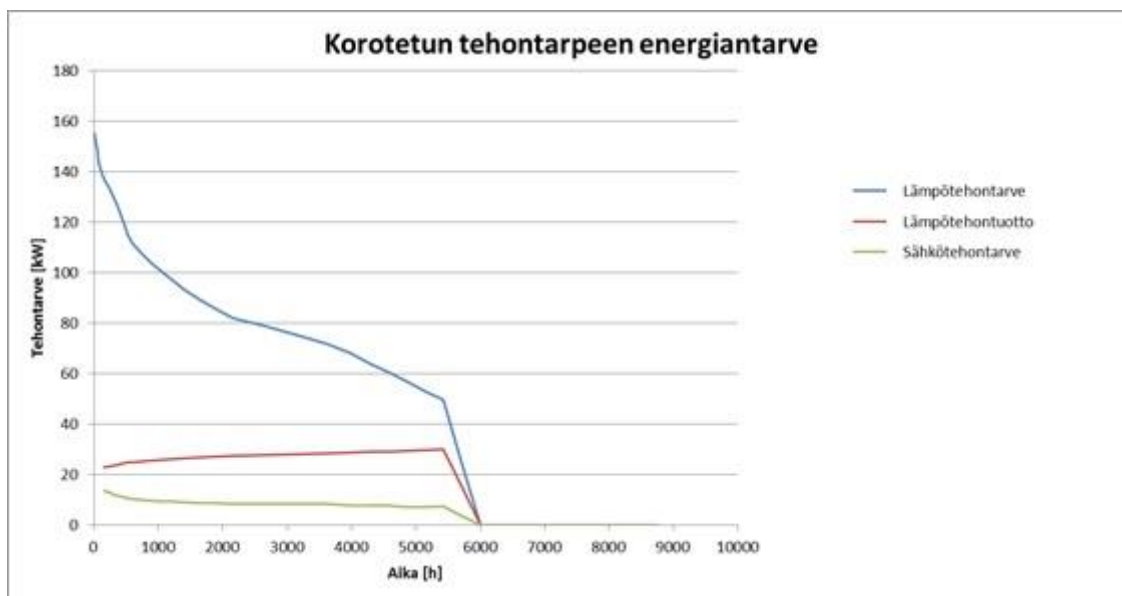
Sähkövastuksilla varustetussa järjestelmässä paras takaisinmaksuaika saavutetaan ████████ kW järjestelmillä. Takaisinmaksuaika on edellä mainituilla tehoilla noin ████████ vuotta. Jos järjestelmän käyttöikä oletetaan ████████ vuotta, saavutetaan järjestelmän uusimiseen mennessä säästöä ████████ - ████████ €.

Yli ████████ kW järjestelmillä saavutetaan ████████ vuoden aikavälillä suuremmat säästöt kuin edellä mainitulla takaisinmaksuajaltaan optimaalisella teholla, mutta investointikustannukset nousevat hyvin korkeiksi.

Jo olemassa olevaa kaukolämpöjärjestelmää hyödyntävässä järjestelmässä parhaisiin takaisinmaksuaikoihin päästään ████████ - ████████ kW järjestelmillä. Takaisinmaksuajaksi muodostuu edellä mainituilla tehoilla noin ████████ vuotta. Takaisinmaksuaika on varsin pitkä, mutta jos järjestelmän käyttöikä oletetaan ████████ vuotta, saavutetaan laitteiston käyttöaikana säästöä ████████ - ████████ €.

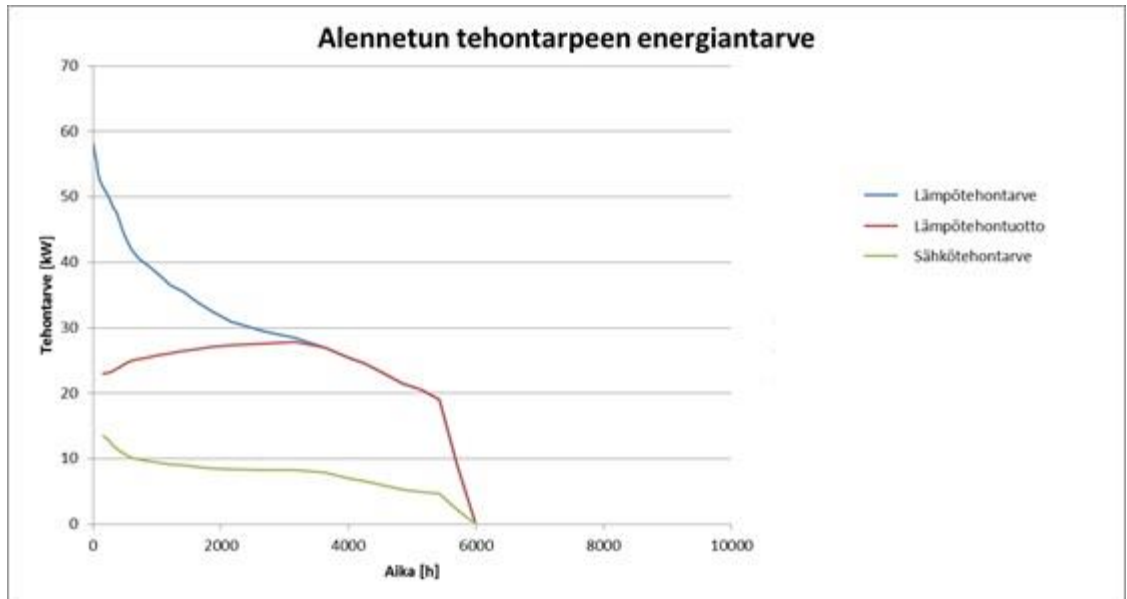
Laskelmia varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 7).

Alla olevissa kuvaajissa näkyy ████████ kW järjestelmän energianpeitto. ████████ kW osuu sekä kaukolämpöä, että sähkövastuksia käyttävän järjestelmän takaisinmaksuajaltaan optimaaliselle alueelle.





Kuva 16. Ylipainehallin korotetun tehontarpeen energianpeitto ■■■ kW ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmällä



Kuva 17. Ylipainehallin alennetun tehontarpeen energianpeitto ■■■ kW ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmällä

Kuva 18. "Ylipainehallin energianpeitto ■■■ kW ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmällä" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

## Yhteenveto

Tuloksia tarkasteltaessa huomataan, että kahdesta verratusta lisäenergian tuottotavasta sähkövastukset ovat kustannustehokkaammat.

Kustannustehokkain järjestelmä on ■■■■ - ■■■■ kW ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä, jossa lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla.

Mikäli kaukolämmön perusmaksua saadaan alennettua vedoten alentuvaan kaukolämpöenergiankulutukseen, saattaa kaukolämpöenergiasta tulla kustannustehokkaampi ratkaisu. Jotta kaukolämpöjärjestelmästä tulisi kannattavampi lisäenergiantuottotapa, tulisi kaukolämmön perusmaksun laskea seuraavan taulukon mukaisiin arvoihin. Taulukossa 4 on esitettyä kaukolämmön perusmaksun aleneman tarve, jotta kaukolämpöjärjestelmällä lisäenergiansa tuottava ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä olisi vuotuisilta säästöiltään yhtäläinen sähkövastuksilla lisäenergiansa tuottavan järjestelmän kanssa.

Arvot ovat laskelmiin perustuvia arvioita.

Taulukko 4. "Kaukolämmön perusmaksun aleneman tarve kannattavuuden saavuttamiseksi" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuten taulukosta 4 huomataan, tulee kaukolämmön perusmaksun laskea merkittävästi, jotta lisäenergian tuottaminen kaukolämmöllä olisi taloudellisesti kilpailukyistä sähkövastusten kanssa.

### 4.3 Maalämpöpumppujärjestelmä

Maalämmön kannattavuutta kohteeseen arvioitiin käyttäen NIBE F1345 maalämpöpumpun teknisiä tietoja. (Nibe 2011, 2.)

Laskelmissa käytetyt investoinnit ovat arvioita. Mikäli maalämpölaitteiston investointia harkitaan, tulee järjestelmän hankinta kilpailuttaa.

Kuten ilma-vesilämpöpumppulaskelmissa, maalämpöinvestoinneissakin pienempitehoinen järjestelmä maksaa itsensä nopeammin takaisin, koska jo pienellä lämpöteholla katetaan suuri osa kohteen lämpöenergiatarpeesta.

Taulukko 5. ”Maalämpöjärjestelmän optimointi ylipainehalliin, kun lisäenergia tuotetaan sähkövastuksilla” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Taulukko 6. ”Maalämpöjärjestelmän optimointi ylipainehalliin, kun lisäenergia tuotetaan kaukolämmöllä” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

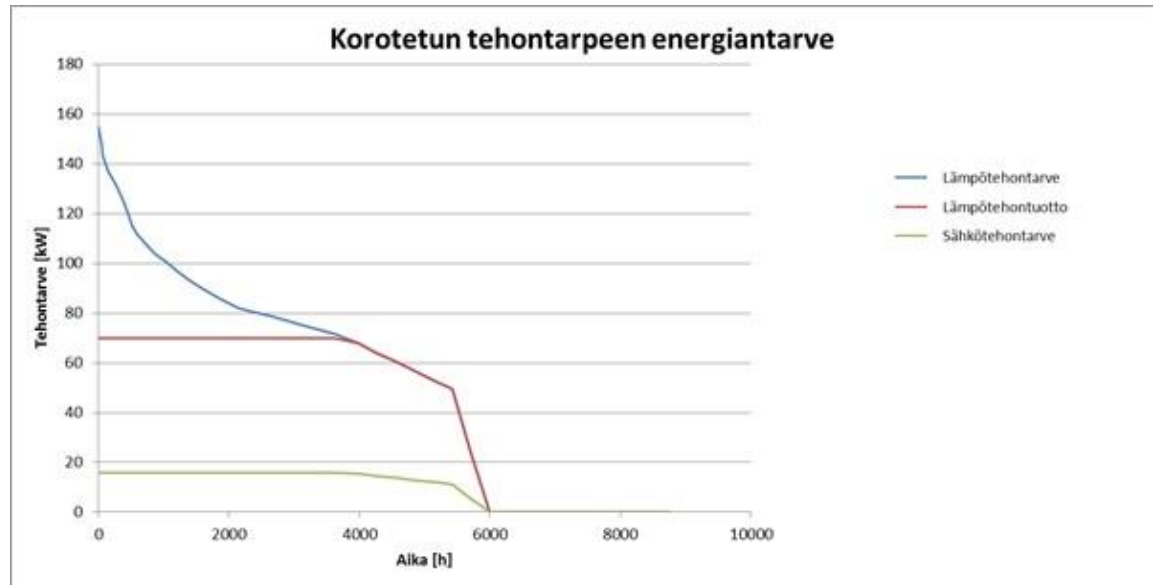
Maalämpöpumppujärjestelmien kannattavuutta tarkastellaan taulukoissa 5 ja 6. Vihreällä maalattu alue on takaisinmaksuajaltaan taloudellisin. Taulukoista nähdään, että järjestelmä, jossa lisäenergia tuotetaan kaukolämmöllä, ei ole kilpailukykyinen järjestelmän kanssa jossa lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla, vaikka kaukolämpöenergian hinta on noin ████████ € halvempaa megawattituntia kohden. Tämä johtuu korkeasta kaukolämmön perusmaksusta, joka vuonna 2015 oli ████████ €.

Sähkövastuksilla varustetussa järjestelmässä paras takaisinmaksuaika saavutetaan █████ - █████ kW järjestelmillä. Takaisinmaksuaika on edellä mainituilla tehoilla noin █████ vuotta. Jos järjestelmän käyttöiäksi oletetaan █████ vuotta, saavutetaan järjestelmän uusimiseen mennessä säästöä █████ - █████ €.

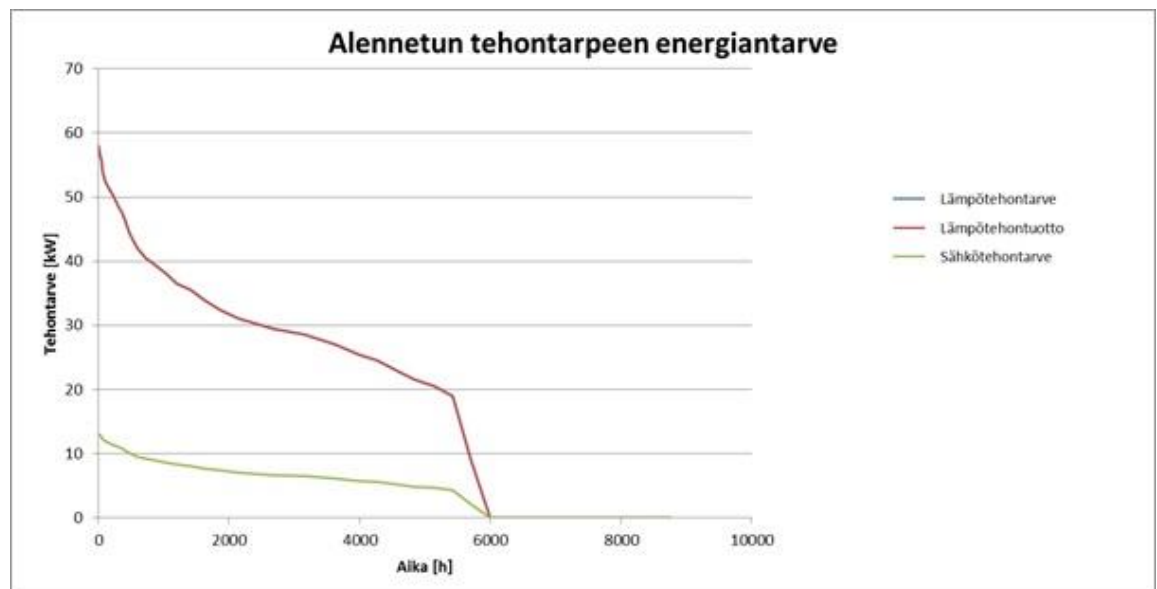
Jo olemassa olevaa kaukolämpöjärjestelmää hyödyntävässä järjestelmässä parhaisiin takaisinmaksuaikoihin päästään █████ - █████ kW järjestelmillä. Takaisinmaksuajaksi muodostuu edellä mainituilla tehoilla noin █████ vuotta. Takaisinmaksuaika on hyvin pitkä. Jos järjestelmän käyttöiäksi oletetaan █████ vuotta, saavutetaan laitteiston käyttöaikana säästöä █████ - █████ €.

Laskelmia varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 8).

Alla olevissa kuvaajissa näkyy ■■■ kW järjestelmän energianpeitto. ■■■ kW on molemmilla lisäenergian tuottotavoilla ■■■ vuoden aikavälillä taloudellisin ratkaisu.



Kuva 19. Ylipainehallin korotetun tehontarpeen energianpeitto ■■■ kW maalämpöpumppujärjestelmällä



Kuva 20. Ylipainehallin alennetun tehontarpeen energianpeitto ■■■ kW maalämpöpumppujärjestelmällä

Kuvasta 20 huomataan että ■■■ kW maalämpöpumppujärjestelmä kattaa alennetun tehontarpeen energiantarpeen täysin.

Kuva 21. ”Ylipainehallin energianpeitto ■■■ kW maalämpöpumppujärjestelmällä” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

### **Yhteenveto**

Tuloksia tarkasteltaessa huomataan että kahdesta verratusta lisäenergiantuototavasta sähkövastukset ovat kustannustehokkaammat.

Maalämpöpumppujärjestelmän tapauksessa käytännössä edes kaukolämmön perusmaksun alennuksella ei kaukolämmöstä saada kannattavampaa vaihtoehtoa. Kaukolämmön perusmaksun tulisi alentua noin tuhanteen euroon vuodessa, mikä on epärealistista.

Kustannustehokkain järjestelmä on ■■■ - ■■■ kW maalämpöjärjestelmä, jossa lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla.

#### 4.4 Yhteenveto lämmitystapamuutoksen kannattavuudesta ylipainehalliin

Verrataan tarkasteltujen lämmitystapojen säästöpotentiaalia suhteessa kaukolämpöön.

Taulukko 7. ”Ylipainehallin lämmitystapamuutoslaskelmien tulosten vertailu”  
on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Takaisinmaksuajaltaan tehokkain järjestelmä on ■■■ - ■■■ kW ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmä, jossa lisäenergia tuotetaan sähkövastuksilla.

■■■ vuoden ajanjaksolla yksikään tarkastelluista järjestelmistä ei ole maksanut itseään takaisin.

■■■ vuoden ajanjaksolla kustannustehokkain järjestelmä on ■■■ - ■■■ kW ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmä, jossa lisäenergia tuotetaan sähkövastuksilla.

■■■ vuoden ajanjaksolla kustannustehokkain järjestelmä on ■■■ kW maalämpöpumpputjärjestelmä, jossa lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla.

■■■ vuoden jälkeen suurimman vuotuisen säästön antavalla järjestelmällä saavutetaan eniten säästöjä energiamaksuissa. Säästöihin vaikuttaa myös laitteiston käyttöikä. Suurimmat säästöt saavutetaan ■■■ kW maalämpöpumpputjärjestelmällä, jossa lisäenergia on tuotettu sähkövastuksilla. Maalämpöjärjestelmällä tuotettava säästö poikkeaa sähkövastuksin varustetun ■■■ kW ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmällä saavutetuista säästöistä vain ■■■■ €. Säästöpotentiaali on käytännössä yhtä suuri, johtuen laskelmien tarkkuudesta.

Lämmitysjärjestelmää hankkiessa ottaa huomioon, että tässä opinnäytetyössä ilmoitetut investoinnit ovat arvioita. Mikäli jokin tarkastelluista järjestelmistä voidaan hankkia huomattavasti oletettua halvemmalla, voi siitä tulla kustannustehokkaampi kuin laskettiin. Tämän takia investoitava lämmitysjärjestelmä kannattaa kilpailuttaa.

Investointia harkitessa tulee myös varmistaa, että kohteen sulakekoko on riittävä sähkövastuksille. Liittymäkoon muuttamisesta koituu lisäkustannuksia ja mahdollisesti korotettu sähkölaskun perusmaksu.

## 5 YHTEENVETO YLIPAINEHALLIN ENERGIATALOUESTA SEKÄ EHDOTETUT TOIMENPITEET

Ylipainehallin lämpöenergiankulutus on suuri verrattuna muihin samankokoisiin rakennuksiin.

Kun ylipainehallin lämpöenergiankulutusta verrataan esimerkiksi viereiseen, tilavuudeltaan lähes yhtä suureen, kiinteärakenteiseen tennishalliin, on ero merkittävä. Vuonna 2014 ylipainehalli kulutti 210,1 MWh kaukolämpöenergiaa.



Kiinteärakenteisessa hallissa kulutettiin 64,7 MWh kaukolämpöenergiaa vuonna 2014.

Ylipainehallin korkea lämpöenergiankulutus johtuu käytännössä täysin seinämateriaalin heikosta lämmöneristyskyvystä ja vuotoilman suuresta määrästä. Kuten luvussa 5.9 todetaan, on seikkoihin vaikea vaikuttaa.

Kuten luvussa 5.2 on esitetty, hallin ilman kierrosta ja kerrostuneisuudesta ei saada taloudellisesti kannattavilla metodeilla säästöjä lämmityskustannuksiin.

Hallin materiaaleista ja rakenteista ei löytynyt lämmönkulutusta lisääviä merkittäviä vuotoja, kuten luvussa 5.7 todetaan.

Hallin käyttötottumukset ovat hyvät, hallia ei pidetä turhaan käyttölämpötilassa mikä säästää lämpöenergiaa. Hallin valaistusta ohjataan yhtä energiatehokkaasti kuin lämmitystäkin.

Säästöjä voidaan saada lämmitysenergian hankintaa päivittämällä. Kuten luvussa 6 todetaan, on ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä, tai maalämpöjärjestelmä taloudellisesti kannattava investointi, vaikka takaisinmaksuajat investoinneille ovatkin pitkät.

Ylipainehallin puhaltimien säätötavan muutoksen mahdollisuus kannattaa selvittää, kuten luvussa 5.9 mainitaan.

Ehdotetaan, että lämmitysratkaisu päivitetään ja puhaltimien säätötavan muutos selvitetään.

## 6 KIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN PERUSTIEDOT JA NYKYTILA

### 6.1 Kiinteärakenteisen hallin nykytila

Toinen tennishalleista on tavanomainen urheiluhalli, jossa on kahden tenniskentän lisäksi pukuhuoneita ja aulatila. Tenniskenttien tila lämmitetään sisään puhallettavalla ilmalla, jota halliin puhalletaan katonrajassa olevista kanavista. Hallissa on kaksi tenniskenttää, joita asiakkaat voivat varata.

Osoite	Mahlamäentie 31, 48300 Kotka
Rakennustyyppi	Kokoontumistila
Rakennuksen valmistumisvuosi	1986

Pinta-ala	1794 m <sup>2</sup>
Tilavuus	9200 m <sup>3</sup>



Kuva 22. Kiinteärakenteinen tennishalli

## 6.2 Kiinteärakenteisen hallin lämmityksen nykytila

Kiinteän hallin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Kaukolämmöllä lämmitetään tennishallirakennuksen halliin puhallettavaa ilmaa, mikä on suuren tilan, jossa käytetään korotettua ja alennettua lämpötilaa, lämmitykseen hyvä ratkaisu. Tavoitelämpötila lämmityksen ollessa päällä oli 16 °C ja tavoitelämpötila alennetulla teholla oli 4 °C.

Hallin lämpötilaa säädetään kierrättämällä paluuilmaa takaisin tuloilman joukkoon, sekä säätämällä lämmityspatterille ohjattavan lämmitysveden virtausta.

Muut huoneet lämmitetään erillisellä patteriverkolla.

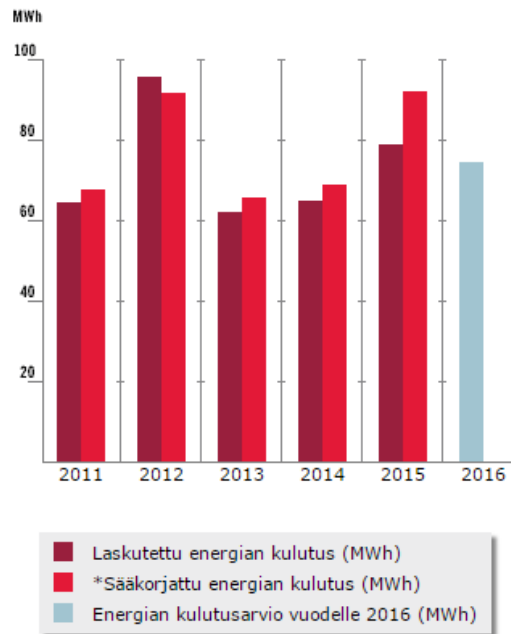
Hallin lämmitys asettuu korotetulle tasolle klo 6:00 aamulla ja laskee alennetulle teholle klo 21:00. Hallin lämmitystä säädetään ajastimella.

Myös kohteen lämpimän käyttöveden lämmitys on ajastettu. Lämmitys kytkeytyy päälle klo 8:00 aamulla ja sulkeutuu klo 24:00.

Rakennuksen koillislaidalla olevat pukuhuoneet, toimisto ja aula lämmitetään lämmityspattereilla. Kohteen lämmin käyttövesi lämmitetään kaukolämmöllä.

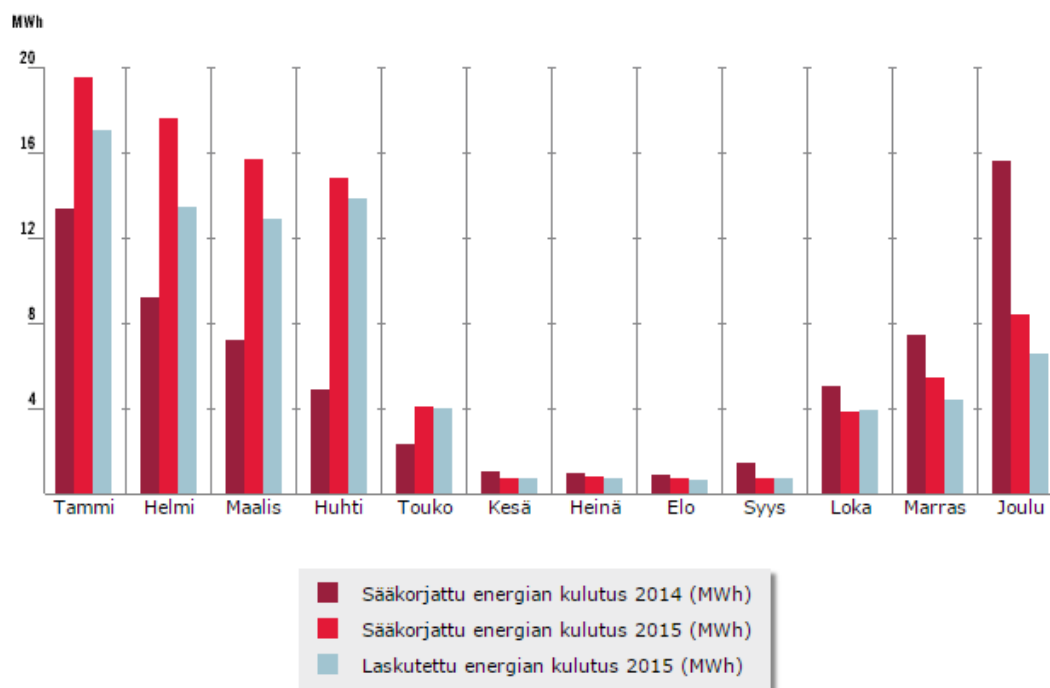
Kaukolämmön sopimusteho on 29 kW ja sopimusvesivirta 0,50 m<sup>3</sup>/h.

Kohteen kaukolämpövaihdin oli opinnäytetyötä tehdessä 10 vuotta yli käyttöikänsä ja kesällä 2016 on tarkoitus vaihtaa tai uudistaa lämmitysjärjestelmä.



\*) Vuodet vertailukelpoisia energiankulutuksen suhteen(ulkolämpötilat huomioitu)

Kuva 23. Kiinteän hallin kaukolämpöenergiankulutus vuosina 2011 - 2015 (Kotkan Energia 2016)



Kuva 24. Kiinteän hallin kuukausittainen kaukolämpöenergiankulutus vuonna 2015 (Kotkan Energia 2016)

### 6.3 Kiinteärakenteisen hallin sähköenergiankulutuksen nykytila

Kiinteärakenteisen tennishallin suurin sähköenergiankäyttökohde on tennishallien valaistus. Valaistusta ohjataan etäkäyttöisesti hallin käyttötarpeen mukaan. Kun asiakas varaa vuoron tennishalliin sytytetään valot varatulle tenniskentälle. Mikäli toinen kentistä on käyttämättömänä, ei valaistus ole kyseisellä kentällä päällä. Käytäntö on energiatehokas.

Kiinteärakenteisen hallin valaistukseen ja sähkönkäyttöön ei keskitytty tarkemmin tässä opinnäytetyössä.

## 7 KIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN MITTAUSJÄRJESTELYT, MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU JA KEHITYSKOhteet

### 7.1 Kiinteärakenteisen hallin mittausjärjestelyt

Kiinteän hallin mittaukset suoritettiin 6.3.2016 – 12.3.2016.

Hallin lämpötilaprofiili mitattiin Lutron TM-947SD -lämpötilamittarilla. Halliin asennettiin kolme mittausta eri korkeuksiin. Lisäksi hallin lämmitysjärjestelmän ilmapuhaltimien lämpötilaa mitattiin lämpömittarilla.

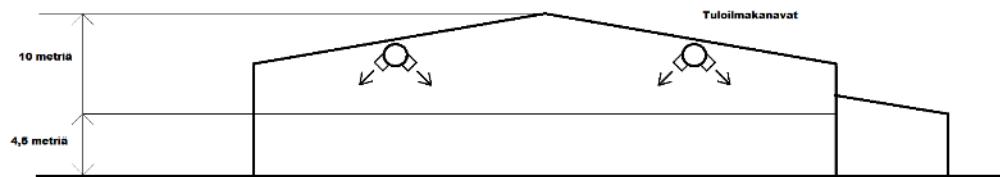
Hallin seinämien ilmapuotoja ja lämmöneristävyyttä tarkasteltiin Fluke TI300 -lämpökameralla sisä- ja ulkopuolelta.

## 7.2 Ilman kerrostuneisuus

Lämpötilanmittauksista selviää, että alle 4,5 metrin korkeudella esiintyvä lämpötilaero on hyvin pientä. Tämä tarkoittaa, että kiinteän hallin ilma ei ole juurikaan kerrostunutta.

Lämpötilaero alimman mittauksen (0,5 metriä) ja korkeimman mittauksen (4,5 metriä) välillä ei noussut mittausjakson aikana kertaakaan yli 1 asteen (liite 9).

Samanlaista lämpötilaeroa kuin ylipainehallissa ei esiinny, sillä halliin puhallettavan ilman lämpötila ei ylitä 20 °C. Lisäksi tuloilma puhalletaan hallin katossa olevista kanavista alaspäin 45° kulmassa kattoon nähden.



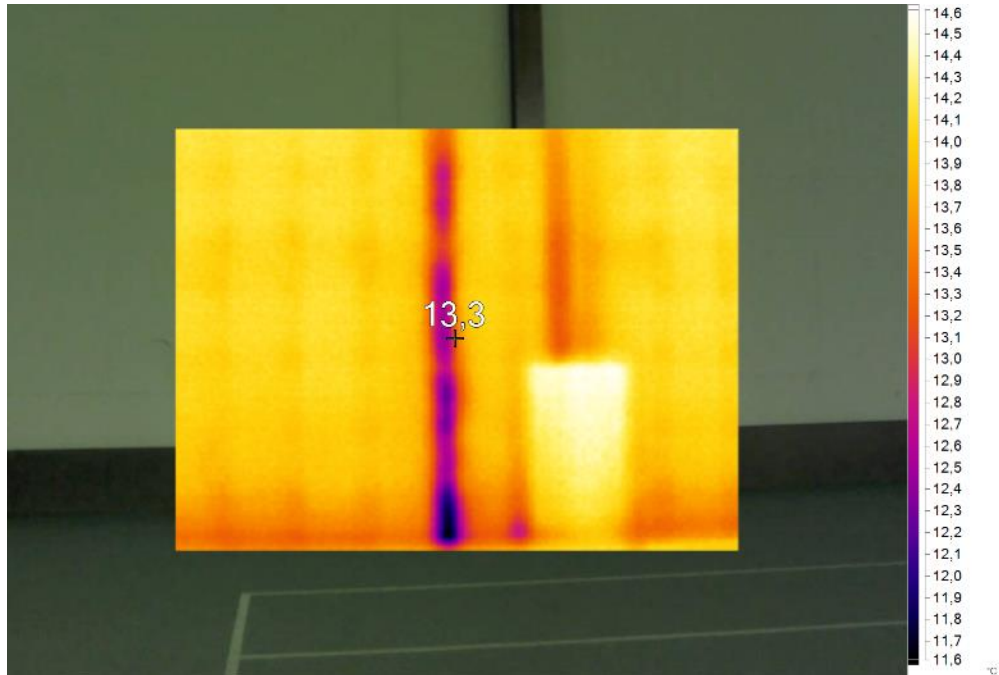
Kuva 25. Havainnekuva, kiinteärakenteinen halli

## 7.3 Rakenteet

Kiinteän hallin seinämiä kuvattiin lämpökameralla 6.3.2016. Ulkolämpötila mitaushetkellä oli noin -1 °C.

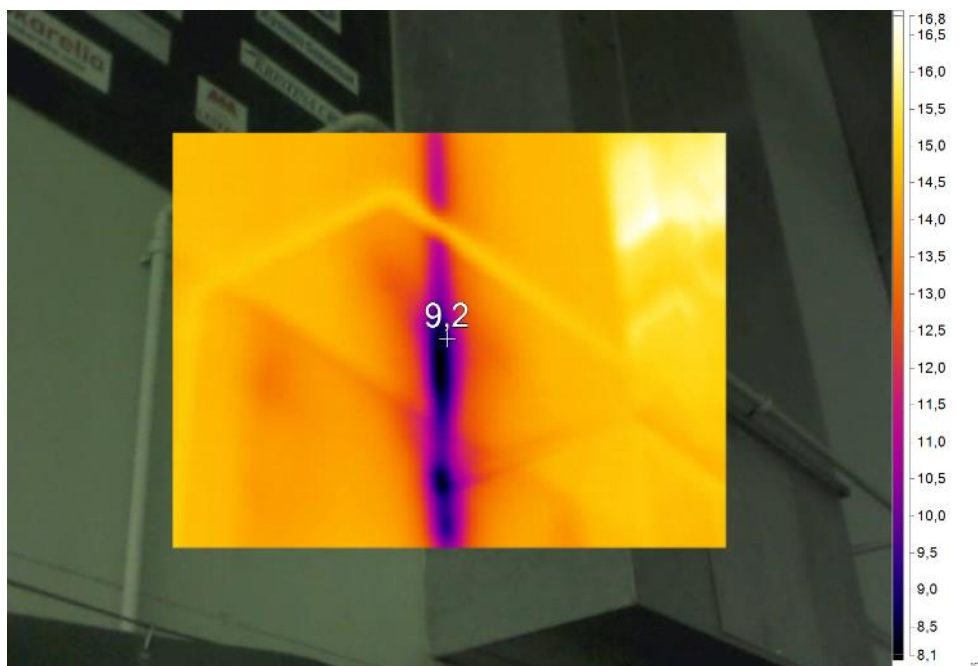
Hallin sisäpuolen ulkoseinissä ilmeni useita kylmiä kohtia (liite 4), jotka viittaavat huonoon paikalliseen eristykseen, lämpösiltaan tai ilmapuotoon. Koska hallin ulkopuolelta mitattuna ei seinämissä näkynyt merkkejä korkeammasta lämpötilasta, ovat kohteet vuotoja.

Käyttjähaastattelun mukaan hallin koillisnurkassa on koettu vedon tunnetta. Lämpökamerakuvat tukevat tätä havaintoa. (Ahti 2016.)



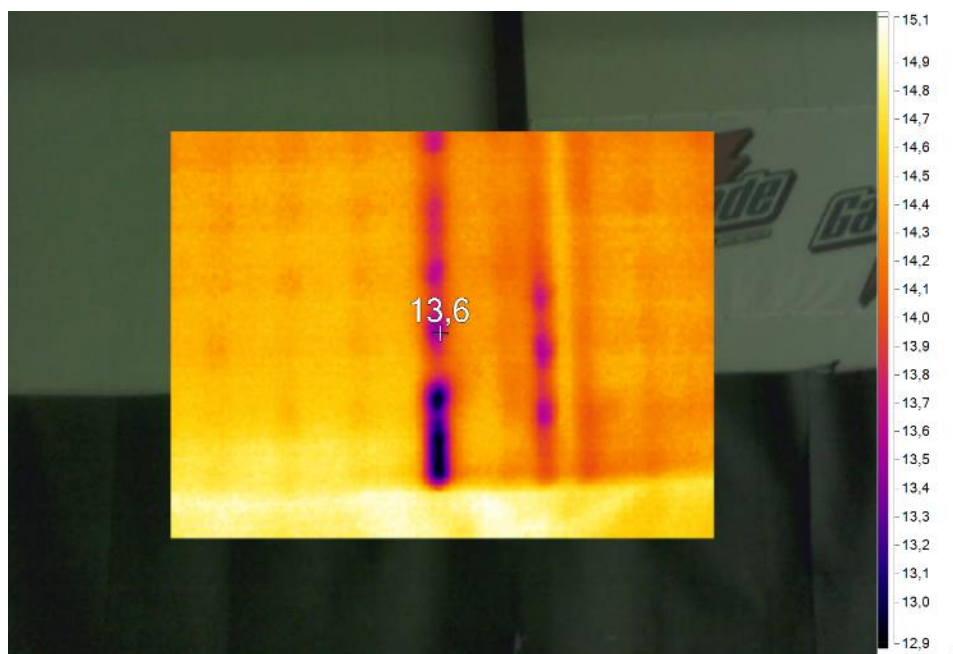
Kuva 26. Lämpökamerakuva kiinteärakenteisen hallin kaakkoisseinästä

Kuvassa 26 näkyy kuinka hallin sisäseinässä on muuta seinää kylmempi alue. Kuvan kylmimmässä pisteessä lämpötila on 11,7 °C. Seinän yleinen lämpötila kuvassa on 14 °C.



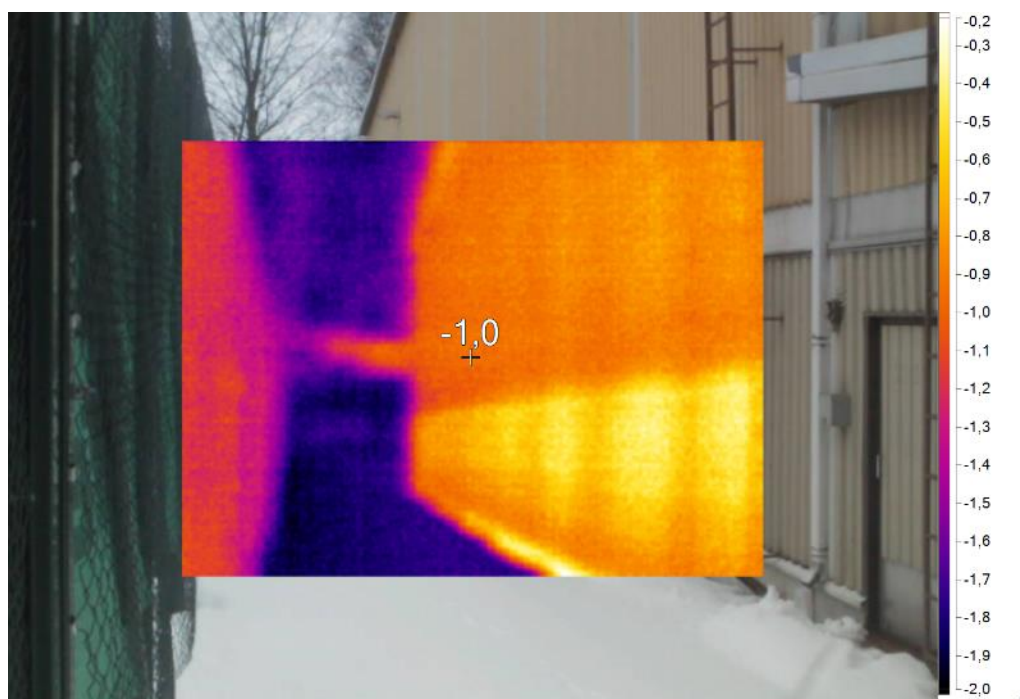
Kuva 27. Lämpökamerakuva kiinteärakenteisen hallin koillisseinästä

Kuvassa 27 näkyy hallin paluuilmanakanavan reunassa ilmenevä lämpötilaero. Kuvan kylmimmässä pisteessä lämpötila, kanavan kulmassa lämpötila on 8,1 °C. Vasemmanpuoleisen seinäalueen lämpötila on noin 14,5 °C.



Kuva 28. Lämpökamerakuva kiinteärakenteisen hallin lounaisseinästä

Kuvassa 28 näkyy kuinka hallin sisäseinässä on muuta seinää kylmempi alue.



Kuva 29. Lämpökamerakuva kiinteärakenteisen hallin ulkoseinästä.

Kuvassa 29 näkyy kuvan 26 alue hallin ulkopuolelta. Ulkoapäin kuvattuna lämpötilaeroa ei voi havaita. Tämä viittaa ilmavuotoon.

## 8 KIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN LÄMMITYSTAPAMUUTOKSEN KANNATTAVUUS

Kiinteärakenteisen hallin kaukolämpövaihdin oli tätä opinnäytetyötä tehdessä 10 vuotta yliajalla ja lämmitysjärjestelmä oli tarkoitus päivittää kesällä 2016.

Tavoitteena oli selvittää energiatehokkain lämmitysmuoto kohteelle. Tarkasteltavat vaihtoehdot olivat: kaukolämpö, maalämpöpumppujärjestelmä sekä ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä.

Ilma-vesilämpöpumpun laskelmat on suoritettu Kotkan Tennishallien Viessmann Oy:lta saaman tarjouksen laitteiden teknisiä tietoja käyttäen (Luoma 2016). Tarjouksen ilmalämpöpumppu on Viessmann [REDACTED].

Maalämpöjärjestelmän kannattavuuslaskuissa on käytetty Nibe F1345 -laitteiston teknisiä tietoja (Nibe 2011). Järjestelmän hinnat ovat arvioita. Mikäli maalämpöjärjestelmä päätetään hankkia, tulee järjestelmä kilpailuttaa.

Kaukolämpöenergia hintana on laskuissa käytetty 2015 vuoden arvoa 61,75 €/ MWh ja perusmaksun hintana vuoden 2015 maksua [REDACTED] €.

Sähköenergian hintana on käytetty [REDACTED] snt/ kWh.

Laskelmissa on oletettu perusmaksujen ja energian hinnan pysyvän vakiona.

### 8.1 Tehontarve

Kohteen kaukolämpötehoksi oli ilmoitettu 29 kW. 17.3.2016 tarkistettu vuoden tehohuippu oli 39,7 kW. Tehohuipun ajankohtaa ei voitu tarkistaa, mutta sen voidaan päätellä ilmenneen kylmänä vuodenaikana hallin alkulämmityksen aikana. Halli siirtyy yöajaksi alennettuun lämpötilaan ja aamulla automaatiojärjestelmä kytkee lämmityksen korotetulle tasolle. Tämän vuoksi hetkellinen tehontarve huojuu, kun sisään puhallettavan ilman lämpötilan asetusarvo muuttuu.

Kohteen tehon- ja energiankulutusta tarkkailtiin kaukolämpöjärjestelmän energiamittarista tehonkulutusta arvioidessa (liite 6). Johtuen kohteen lämmitystavasta, jossa yöaikaan hallia pidetään kylmempänä, laadittiin kaksi tehontar-



peen kuvaajaa – yksi korotetun tehontarpeen ajalle ja toinen alennetun tehontarpeen ajalle. Alennettu tehontarve on arvioitu mittausjakson aikana suoritettun hallin sisälämpötilan mittauksen perusteella. Hallin lämpötila laski noin 2 °C yöajaksi, joten alennetun tehontarpeen lämpötilaeroksi on oletettu olevan 2 °C vähemmän. Tehontarpeen muutos ei ole suuri, vain noin ■■■■ kW.

Koska kohteen kaukolämpötehonkulutushistoriaa ei ollut saatavilla tuntitason tarkkuudella, vaan ainoastaan kuukausitasolla, on tehontarvetta arvioitu kuukausitason ja kuukausien keskilämpötilan perusteella. Koska lämpötehon tarve on lähes lineaarinen suhteessa ulkolämpötilaan, päästään laskuilla riittävään tarkkuuteen. Kiinteärakenteisen hallin hetkellisiä tehontarpeita tarkastettiin kaukolämpöyhtiön energiamittarista, mutta johtuen lämmitystehon huojunnasta johtuen päästiin tarkempiin tuloksiin käyttämällä kuukausitason kaukolämmönkulutustietoja.

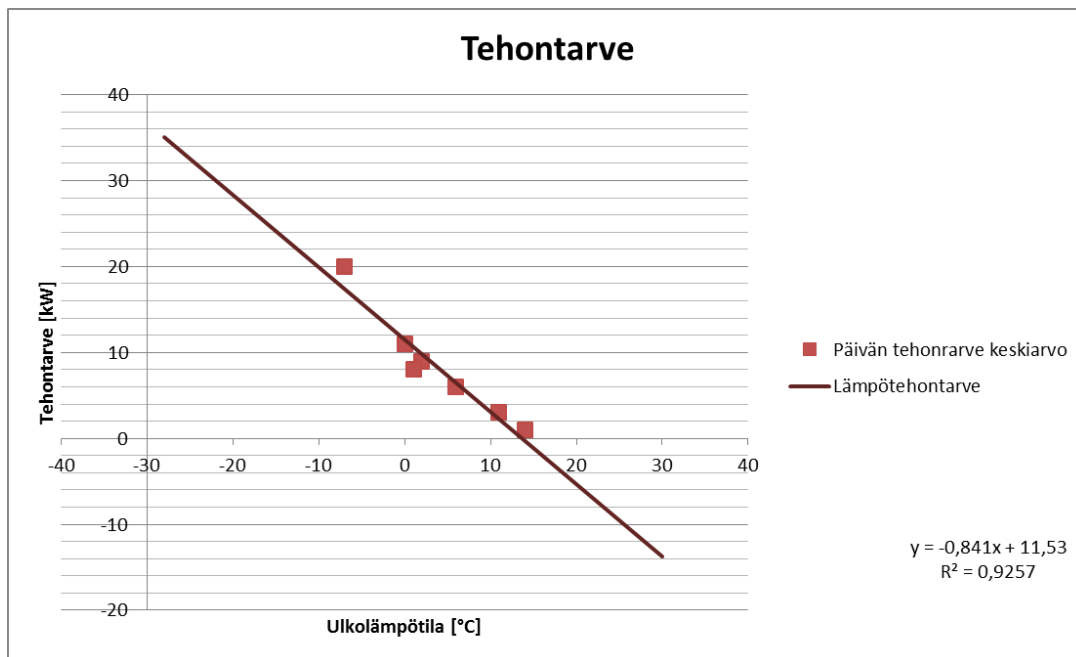
Laskuissa on käytetty Ilmatieteen laitoksen tuottamaa vuoden 2011 ilmastoalueen II lämpötilan pysyvyyskäyrää. (Ilmatieteenlaitos 2011.)

Huojuntailmiö huomataan kun tarkastellaan energiankulutusta. 22.3.2016 energiankulutus mitattiin kello 9:50 ja 13:40 ja tästä laskettu keskiarvo lämmitysteholle oli 17 kW. Ulkolämpötila oli keskimäärin 4 °C.

24.3.2016 energiankulutus tarkastettiin klo 9:47 ja 20:10. Laskettu tehontarpeen keskiarvo oli 10 kW. Ulkolämpötilan ollessa 3 °C

Lisäksi tehontarvetta tarkasteltaessa huomattiin, että hetkellinen lämmitysteho oli ulkolämpötilasta riippumatta myöhäisempänä ajankohtana aina pienempi. Hallin ilma lämpeni ja ilmanvaihtokoneen lämmityspatterille tuleva ilma oli jo valmiiksi lämpimämpää.

Laskelmissa on käytetty kiinteärakenteisen hallin vuoden 2014 kuukausitason energiankulutustietoja (liite 10).



Kuva 30. Kiinteärakenteisen hallin päivän keskilämpötehontarpeen kuvaaja

## 8.2 Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä

Ilma-vesilämpöpumpun kannattavuutta tarkasteltiin 1 ja 2 tarjotun pumpun järjestelmillä, kappaleen lopussa on myös suoritettu pumpun tehon optimointi.

Laskuissa on käytetty Kotkan tennishalleille tarjotun Viessmann [REDACTED] ilma-vesilämpöpumppumallin teknisiä tietoja. (Luoma 2016.)

Ilma-vesilämpöpumppu ei kykene tuottamaan lämpöenergiaa yli -15 °C ulkoilmassa. Tarvittava lisäenergia tuotetaan sähkövastuksilla.

Laskuissa teholla tarkoitetaan alimmassa toimintalämpötilassa tuotettavaa lämpötehoa.

### **Yksi ilma-vesilämpöpumppu**

Laadittiin kuvaajat korotetun ja alennetun tehontarpeen energianpeitosta, jotta voitaisiin laskea ilma-vesilämpöpumpun vuodessa tuottama lämpöenergiamäärä ja sen tuottamiseen kuluva sähköenergia. Tuotetun energian perusteella voitiin laskea vuotuinen lisäenergiantarve.

Laskuja varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 11).

Kuvassa 31 on esitetty tarvittava lämpöteho, yhdellä ilma-vesilämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia, sekä ilma-vesilämpöpumpun ottoenergia.

Punaisen ja vihreän viivan väliin jäävä alue on tuotettu energia. Punaisen ja sinisen viivan väliin jäävä alue on sähkövastuksilla tuotettavan lisäenergian tarve.

X-akselilla on ilmoitettu vuotuiset tunnit kutakin tehontarvetta vastaavassa lämpötilassa.

Kuva 31. "Korotetun tehontarpeen energianpeitto yhdellä ilma-vesilämpöpumpulla kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuvaaja 32. "Alennetun tehontarpeen energianpeitto yhdellä ilma-vesilämpöpumpulla kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 33. "1 ilma-vesilämpöpumpun energiaperitto kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Vuotuisena energiantarpeena käytetään vuoden 2014 kaukolämpöenergiankulutusta 64,7 MWh. Vuotta 2014 oli lähivuosista lähimpänä normaalia vuotta lämpötilojen suhteen. Vuoden 2015 kulutusta vääristää maaliskuussa 2015 tapahtunut säätölaitehäiriö, joka aiheutti lisäkulutusta. Vika on sittemmin korjattu.

Laskelmien mukaan ilma-vesilämpöpumpulla voidaan tuottaa [REDACTED] MWh lämpöenergiaa. Tämän tuottamiseen tarvitaan [REDACTED] MWh sähköenergiaa.

Lisäenergiaa tarvitaan [REDACTED] MWh ja se tuotettaisiin sähkövastuksilla. Näin kokonaissähköenergiantarpeeksi saadaan [REDACTED] MWh.

Laskuissa käytettiin sähkön hintaa [REDACTED] snt/ kWh. Vuotuisiksi kustannuksiksi muodostuu näin ollen [REDACTED] €.

Nykyisellä kaukolämpöenergian hinnalla kaukolämpölaitteiston vuotuinen kustannusarvio keskivertovuonna on [REDACTED] €.

Näin ollen vuotuiset lämmityskustannussäästöt ovat [REDACTED] €.

1 ilma-vesilämpöpumpulaitteiston investoinniksi arvioidaan [REDACTED] €. Kohteeseen on joka tapauksessa investoitava vähintään uuden kaukolämpövaihtimen kulut [REDACTED] €.

Takaisinmaksuaika on siis laskettu verrattuna välttämättömään kaukolämpöinvestointiin.

**Lasketaan takaisinmaksuaika.**

$$T_{ma} = \frac{I_{IVLP} - I_{KL}}{S} \quad (8)$$

$$\frac{\text{[redacted]} \text{ €} - \text{[redacted]} \text{ €}}{\text{[redacted]} \frac{\text{€}}{\text{a}}} = \text{[redacted]} \text{ a}$$

jossa	$T_{ma}$	takaisinmaksuaika	[a]
	$I_{IVLP}$	Ilma-vesilämpöpumppuinvestointi	[€]
	$I_{KL}$	Kaukolämpöinvestointi	[€]
	$S$	vuotuinen säästö	[€/a]

Takaisinmaksuaika investoinnille on [redacted] vuotta.

### **Kaksi ilma-vesilämpöpumppua**

Lasketaan 2 ilma-vesilämpöpumpulla tuotettava energia edellisen luvun metodilla, mutta huomioidaan korkeampi tehontuottopotentiali ja korkeampi sähkötehonkulutuspotentiali.

Kuva 34. "Korotetun tehontarpeen energianpeitto kahdella ilma-vesilämpöpumpulla kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 35. "Alennetun tehontarpeen energianpeitto kahdella ilma-vesilämpöpumpulla kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 36. "2 ilma-vesilämpöpumpun energiapeitto kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Vuotuisena energiantarpeena käytetään vuoden 2014 kaukolämpöenergiankulutusta 64,7 MWh.

Laskelmien mukaan ilma-vesilämpöpumpulla voidaan tuottaa ■■■■■ MWh lämpöenergiaa. Tämän tuottamiseen tarvitaan ■■■■■ MWh sähköenergiaa.

Lisäenergiaa tarvitaan ■■■■■ MWh ja se tuotettaisiin sähkövastuksilla. Näin kokonaissähköenergiantarpeeksi saadaan ■■■■■ MWh.

Laskuissa käytettiin sähkön hintaa ■■■■■ snt/ kWh. Vuotuisiksi kustannuksiksi muodostuu näin ollen ■■■■■ €.

Nykyisellä kaukolämpöenergian hinnalla kaukolämpölaitteiston vuotuinen kustannusarvio keskivertovuonna on ■■■■■ €.

Näin ollen vuotuiset lämmityskustannussäästöt ovat ■■■■■ €.

2 ilma-vesilämpöpumppulaitteiston investointi on ■■■■■ €. Kohteeseen on joka tapauksessa investoitava vähintään uuden kaukolämpövaihtimen kulut ■■■■■ €.

Takaisinmaksuaika on siis laskettu verrattuna välttämättömään kaukolämpöinvestointiin.

**Lasketaan takaisinmaksuaika.**

$$Tma = \frac{I_{IVLP} - I_{KL}}{S} \quad (9)$$

$$\frac{\text{[redacted]} \text{ €} - \text{[redacted]} \text{ €}}{\text{[redacted]} \frac{\text{€}}{a}} = \text{[redacted]} a$$

jossa	$Tma$	takaisinmaksuaika	[a]
	$I_{IVLP}$	Ilma-vesilämpöpumppuinvestointi	[€]
	$I_{KL}$	Kaukolämpöinvestointi	[€]
	$S$	vuotuinen säästö	[€/a]

Takaisinmaksuaika investoinnille on [redacted] vuotta.

Laskuja varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 11).

### **Optimoitu ilma-vesilämpöpumpputeho**

Selvitetään taloudellisesti optimaalinen ilma-vesilämpöpumpputeho.

Pienempitehoinen lämpöpumppu maksaa itsensä aina nopeammin takaisin, mutta suuremmalla lämmitysteholla tuotetaan pidemmällä aikavälillä enemmän säästöjä.

Mielekkääseen investointiin vaikuttaa siis myös tilaajan pitkäjänteisyys takaisinmaksuajan suhteen.

Laskuissa teholla tarkoitetaan alimmassa toimintalämpötilassa tuotettavaa lämpötehoa.



Taulukko 8. ”Ilma-vesilämpöpumpun optimointi kiinteärakenteiseen halliin” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Laskuja varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 12).

Takaisinmaksuaikoja laskettaessa on otettu huomioon, että kohteeseen on vähintään investoitava uuden kaukolämpövaihtimen kulut ██████████ €. Takaisinmaksuaika on siis laskettu investointien erotuksen perusteella.

Laskelmista nähdään tehoa vastaava takaisinmaksuaika, vuotuinen säästö sekä ██████, ██████ ja ██████ vuoden ajalta kertyvä säästö.

████████, ██████ ja ██████ vuoden aikaiset säästöt on laskettu normivuoden perusteella. Todellisuudessa vuosien keskilämpötilat ja kylmät jaksot vaihtelevat merkittävästi. Näin ollen tuloksia pitää ajatella suuntaa antavina arvoina.

Vuotuisen energiamaksuissa syntyvän säästön nähdään kasvavan sitä vähemmän kilowattia kohden, mitä suurempitehoiseen järjestelmään siirrytään.

Kuva 37. ”Vuotuinen säästö matalimman toimintalämpötilan tehon funktiona kiinteärakenteisessa hallissa” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Taulukosta 8. Nähdään että ■■■■ vuoden ajanjaksolla suurimmat säästöt saavutetaan ■■■■ - ■■■■ kW laitteistolla.

■■■■ vuoden aikavälillä taloudellisesti kannattavin laitteisto on teholtaan ■■■■... ■■■■ kW.

■■■■ vuoden aikavälillä suurimmat säästöt saavutetaan ■■■■ - ■■■■ kW laitteistolla.

Optimaalisen lämmitystehon valinnassa täytyy siis ottaa huomioon kuinka pitkäjänteisesti säästöjä voidaan tavoitella, ja kuinka suureen investointiin ollaan valmiita. Myös hankittavan laitteiston käyttöikä tulee huomioida, sekä se kuinka pitkiä huoltosopimuksia laitteistolle voidaan tarjota.

Kun laitteiston käyttöikäksi oletetaan ■■■■ vuotta, voidaan todeta että ■■■■ - ■■■■ kW on taloudellisesti optimaalinen alue.

### 8.3 Maalämpöpumppujärjestelmä

Maalämmön kannattavuutta kohteeseen arvioitiin käyttäen NIBE F1345 -maalämpöpumpun teknisiä tietoja. (Nibe 2011, 2.) Maalämmön kannattavuutta arvioitiin ■■■■ ja ■■■■ kW järjestelmillä.

Laskelmissa käytetyt investoinnit ovat arvioita. Mikäli maalämpölaitteiston investointia harkitaan, tulee järjestelmän hankinta kilpailuttaa.

Kuten ilma-vesilämpöpumppulaskelmissa, maalämpöinvestoinneissakin pienempitehoinen järjestelmä maksaa itsensä nopeammin takaisin, koska jo pienellä lämpöteholla katetaan suuri osa kohteen lämpöenergiantarpeesta.

### **Maalämpöjärjestelmä (■■■■■ kW)**

Laadittiin kuvaajat korotetun ja alennetun tehontarpeen energianpeitosta, jotta voitaisiin laskea ilma-vesilämpöpumpun vuodessa tuottama lämpöenergiämäärä ja sen tuottamiseen kuluva sähköenergia. Tuotetun energian perusteella voitiin laskea vuotuinen lisäenergiantarve.

Laskuja varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 13).

Kuvassa 38 on esitetty tarvittava lämpöteho, maalämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia, sekä ilma-vesilämpöpumpun tarvitsema ottoenergia.

Punaisen ja vihreän viivan väliin jäävä alue on tuotettu energia. Punaisen ja sinisen viivan väliin jäävä alue on sähkövastuksilla tuotettavan lisäenergian tarve.

X-akselilla on ilmoitettu vuotuiset tunnit kutakin tehontarvetta vastaavassa lämpötilassa.

Kuva 38. "Korotetun tehontarpeen energianpeitto ■■■■■ kW maalämpöjärjestelmällä kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 39. ”Alennetun tehontarpeen energianpeitto [REDACTED] kW maalämpöjärjestelmällä kiinteärakenteisessa hallissa” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 40. ”Maalämpöjärjestelmän energiapeitto kiinteärakenteisessa hallissa ([REDACTED] kW)” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Vuotuiseksi energiantarpeena käytetään vuoden 2014 kaukolämpöenergiankulutusta 64,7 MWh.

Laskelmien mukaan [REDACTED] kW maalämpöpumpulla voidaan tuottaa [REDACTED] MWh lämpöenergiaa. Tämän tuottamiseen tarvitaan [REDACTED] MWh sähköenergiaa.

Lisäenergiaa tarvitaan [REDACTED] MWh ja se tuotettaisiin sähkövastuksilla. Näin kokonaissähköenergiantarpeeksi saadaan [REDACTED] MWh.

Laskuissa käytettiin sähkön hintaa [REDACTED] snt/ kWh. Vuotuisiksi kustannuksiksi muodostuu näin ollen [REDACTED] €.

Nykyisellä kaukolämpöenergian hinnalla kaukolämpölaitteiston vuotuinen kustannusarvio keskivertovuonna on [REDACTED] €.

Näin ollen vuotuiset lämmityskustannussäästöt ovat [REDACTED] €.

[REDACTED] kW maalämpöjärjestelmän investoinniksi arvioidaan [REDACTED] €.

Kohteeseen on joka tapauksessa investoitava vähintään uuden kaukolämpövaihtimen kulut [REDACTED] €.

Takaisinmaksuaika on siis laskettu verrattuna välttämättömään kaukolämpöinvestointiin.

#### Lasketaan takaisinmaksuaika.

$$Tma = \frac{I_{MLP} - I_{KL}}{S} \quad (10)$$

$$\frac{[REDACTED] \text{ €} - [REDACTED] \text{ €}}{[REDACTED] \frac{\text{€}}{a}} = [REDACTED] a$$

jossa	$Tma$	takaisinmaksuaika	[a]
	$I_{MLP}$	Ilma-vesilämpöpumppuinvestointi	[€]
	$I_{KL}$	Kaukolämpöinvestointi	[€]
	$S$	vuotuinen säästö	[€/a]

Takaisinmaksuaika investoinnille on [REDACTED] vuotta.

**Maalämpöjärjestelmä (■■■■■ kW)**

Lasketaan ■■■■■ kW maalämpöjärjestelmän tuotettava energia edellisen luvun metodilla, mutta huomioidaan korkeampi tehontuottopotentiaali ja korkeampi sähkötehonkulutuspotentiaali.

Kuva 41. "Korotetun tehontarpeen energianpeitto ■■■■■ kW maalämpöjärjestelmällä kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 42. "Alennetun tehontarpeen energianpeitto ■■■■■ kW maalämpöjärjestelmällä kiinteärakenteisessa hallissa" on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Kuva 43. ”Maalämpöjärjestelmän energiapeitto kiinteärakenteisessa hallissa (■■■■■ KW)” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

Vuotuisena energiantarpeena käytetään vuoden 2014 kaukolämpöenergiankulutusta 64,7 MWh.

Laskelmien mukaan ■■■■■ kW maalämpöpumppujärjestelmällä voidaan tuottaa ■■■■■ MWh lämpöenergiaa. Tämän tuottamiseen tarvitaan ■■■■■ MWh sähköenergiaa.

Lisäenergiaa tarvitaan ■■■■■ MWh ja se tuotettaisiin sähkövastuksilla. Näin kokonaissähköenergiantarpeeksi saadaan ■■■■■ MWh.

Laskuissa käytettiin sähkön hintaa ■■■■■ snt/ kWh. Vuotuisiksi kustannuksiksi muodostuu näin ollen ■■■■■ €.

Nykyisellä kaukolämpöenergian hinnalla kaukolämpölaitteiston vuotuinen kustannusarvio keskivertovuonna on ■■■■■ €.

Näin ollen vuotuiset lämmityskustannussäästöt ovat ■■■■■ €.

■■■■■ kW maalämpöpumppujärjestelmän investoinniksi arvioidaan ■■■■■ €. Kohteeseen on joka tapauksessa investoitava vähintään uuden kaukolämpövaihtimen kulut ■■■■■ €.

Takaisinmaksuaika on siis laskettu verrattuna välttämättömään kaukolämpöinvestointiin.

**Lasketaan takaisinmaksuaika.**

$$Tma = \frac{I_{MLP} - I_{KL}}{S} \quad (11)$$

$$\frac{\text{[redacted]} \text{ €} - \text{[redacted]} \text{ €}}{\text{[redacted]} \frac{\text{€}}{a}} = \text{[redacted]} a$$

jossa	$Tma$	takaisinmaksuaika	[a]
	$I_{MLP}$	Ilma-vesilämpöpumppuinvestointi	[€]
	$I_{KL}$	Kaukolämpöinvestointi	[€]
	$S$	vuotuinen säästö	[€/a]

Takaisinmaksuaika investoinnille on [redacted] vuotta.

Laskuja varten laadittiin taulukkolaskentaohjelma (liite 13).

#### 8.4 Yhteenveto lämmitystapamuutoksen kannattavuudesta kiinteärakenteiseen halliin

Verrataan tarkasteltujen lämmitystapojen säästöpotentiaalia suhteessa kaukolämpöön.

Taulukko 9. "Lämmitysjärjestelmien vertailu kiinteään halliin" on salattu ja poistettu tästä versiosta.



Taulukosta 9 nähdään että [REDACTED] vuoden aikavälillä [REDACTED] on kustannustehokkain vaihtoehto normivuosisilaskuilla. Taulukon 9 tiedoissa \* tarkoittaa investoinnin olevan arvio.

[REDACTED] vuoden jälkeen [REDACTED] on taloudellisesti kannattavin vaihtoehto.

Maalämpöpumppujärjestelmä ei ole arvioiduilla investoinneilla kilpailukykyinen ilma-vesilämpöpumppujärjestelmää vastaan.

Kaikki tarkastellut järjestelmät olivat tarjottua kaukolämpösopimusta kustannustehokkaampia.

## 9 YHTEENVETO KIIINTEÄRAKENTEISEN HALLIN ENERGIATALOUESTA SEKÄ EHDOTETUT TOIMENPITEET

Kiinteärakenteisen hallin lämpöenergiankulutus on hyvä.

Kuten luvussa 11.1 todetaan, hallin ilman kierrosta ja kerrostuneisuudesta ei saada taloudellisesti kannattavilla metodeilla säästöjä lämmityskustannuksiin.

Hallin seinistä paikannettiin lämpökamerakuvauksissa vuotoja, joihin puuttamalla lämpöenergiankulutusta voidaan alentaa, kuten luvussa 11.2 mainitaan.

Hallin käyttötottumukset ovat hyvät. Hallia ei pidetä turhaan käyttölämpötilassa, mikä säästää lämpöenergiaa. Hallin valaistusta ohjataan yhtä hyvin kuin lämmitystä. Hallin käyttötottumukset ovat energiatehokkaat.

Säästöjä voidaan saada lämmitysenergian hankintaa päivittämällä. Kuten luvussa 12 todetaan, on ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä, tai maalämpöjärjestelmä taloudellisesti kannattava investointi.

Ehdotetaan että lämmitysratkaisu kilpailutetaan ja hallin seinien vuotokohdat korjaus selvitetään.

## LÄHTEET

Ahti, P. 2016. Toimitusjohtaja. Keskustelu. Kymenlaakson Mailapelit Oy.

Big Ass Fans Ltd. 2016. Case study, American airlines. Saatavissa: <http://www.bigassfans.com/case-studies/american-airlines/> [viitattu 22.2.2016].

Big Ass Fans Ltd. 2016. Powerfoil X3.0 Technical specifications. Ei saatavissa [viitattu 22.2.2016].

Ilmatieteenlaitos. 2012. Ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvot, vyöhyke I ja II. Saatavissa: [http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=aa04206f-1c99-4e62-a44d-fec3d25a3118&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=aa04206f-1c99-4e62-a44d-fec3d25a3118&groupId=30106) [viitattu 22.1.2016].

Kotkan Energia. 2016. Kaukolämpöenergian kulutustiedot. Ei saatavissa. [viitattu 4.1.2016]

Kymenlaakson Mailapelit Oy. 2016. Saatavissa: <https://www.slsystems.fi/kotkantennis/> [viitattu 15.1.2016].

Linne S. 2012. Julkisivun energiakorjaus. Julkisivuyhdistys. Saatavissa: [http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/Ajankohtaista\\_Tilaisuudet/JSY\\_vuosikokousseminaari08052012/Linne.pdf](http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/Ajankohtaista_Tilaisuudet/JSY_vuosikokousseminaari08052012/Linne.pdf) [viitattu 20.4.2016].

Luoma, M. 2016. TDT. Sähköpostikeskustelu. Viessmann Oy.

Motiva. 2011. Energiatehokkaat pumput. Saatavilla: [http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat\\_pumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf) [viitattu 26.4.2016]

Nibe. 2011. F1345 maalämpöpumpun tekniset tiedot. Saatavilla: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/11772/M11147-2.pdf> [viitattu 12.2.2016].

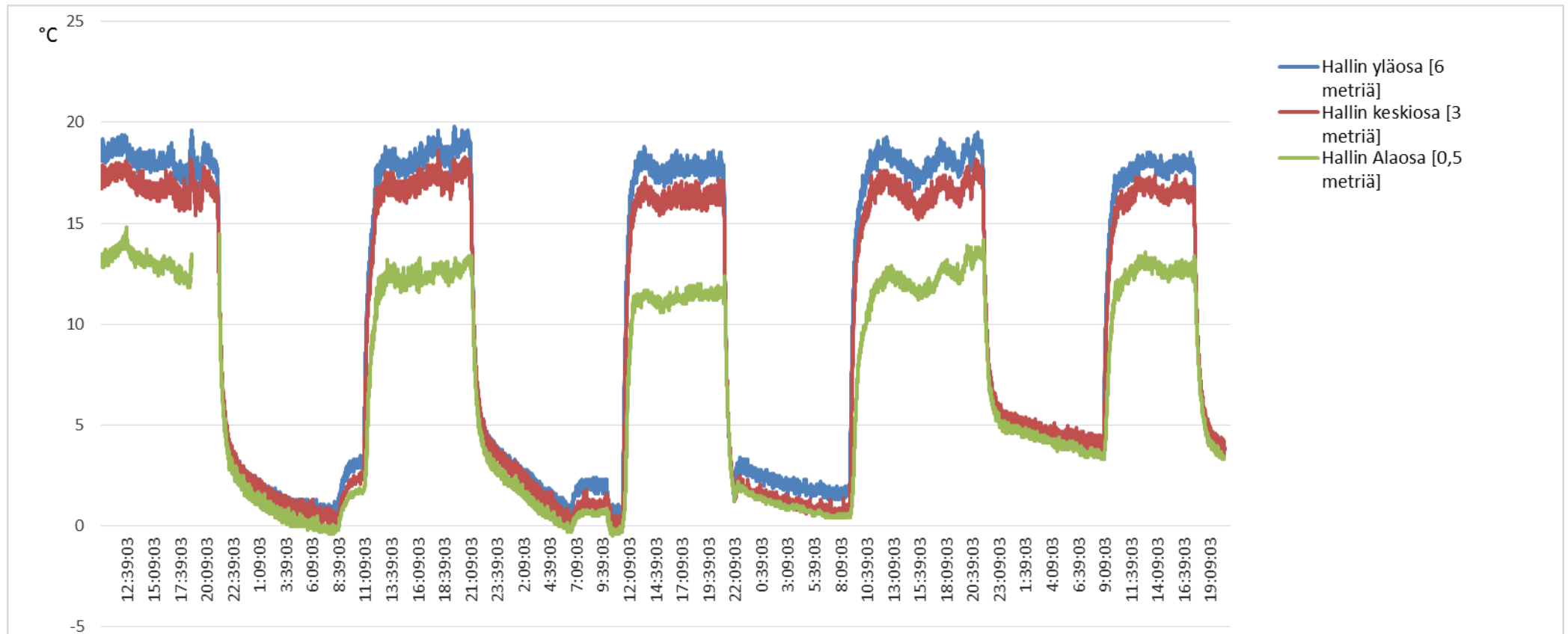
Polarhall. <http://www.polarhall.fi/> [viitattu 15.2.2016].

Polarhall. 2005. Ohjekirja. Ei saatavissa.

Viessmann. 2016. [REDACTED] tekniset tiedot. [REDACTED]

Ympäristöministeriö. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten lämmöneristys. Saatavissa: [file:///C:/Users/Santeri/Downloads/34163-C3-2010\\_suomi\\_221208.pdf](file:///C:/Users/Santeri/Downloads/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf) [viitattu 26.4.2016]

## LIITE 1. Ylipainehallin lämpötilamittaukset

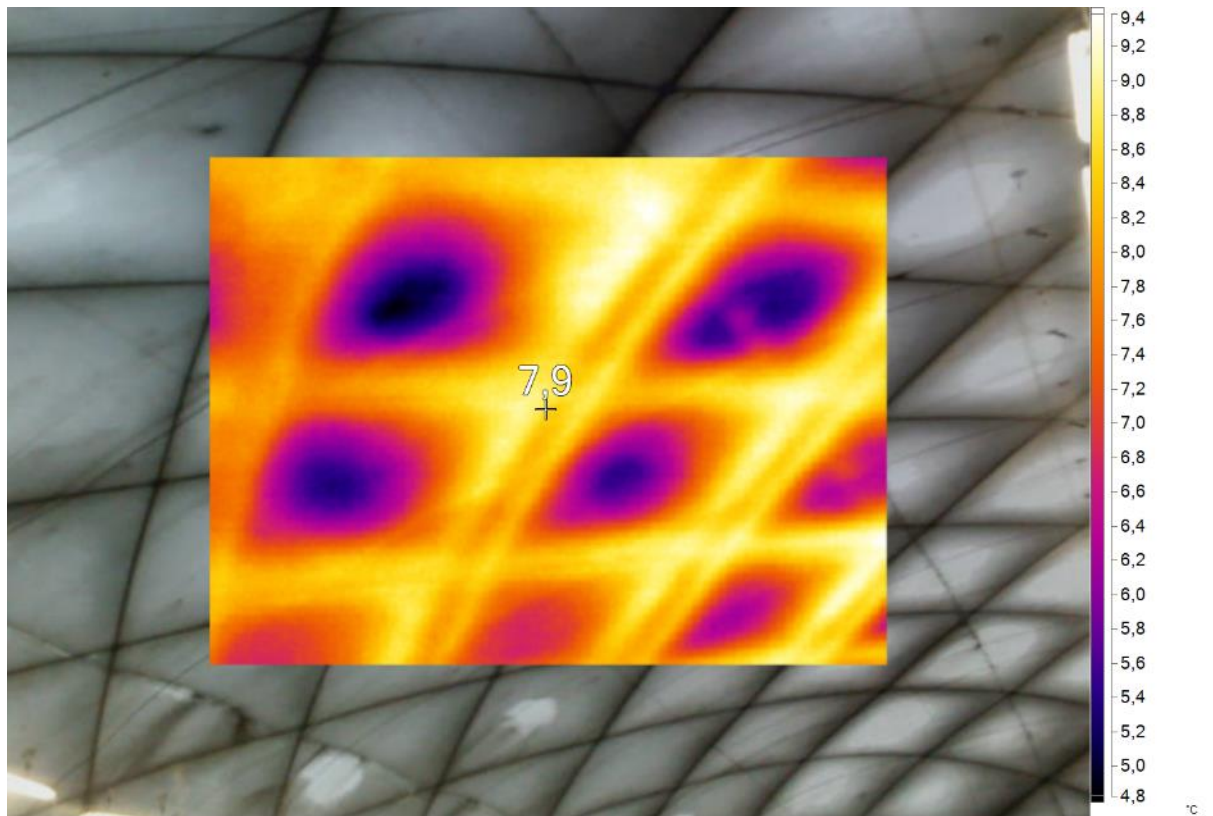


## LIITE 2. Tuloilman sekoittuminen paluuilmaan

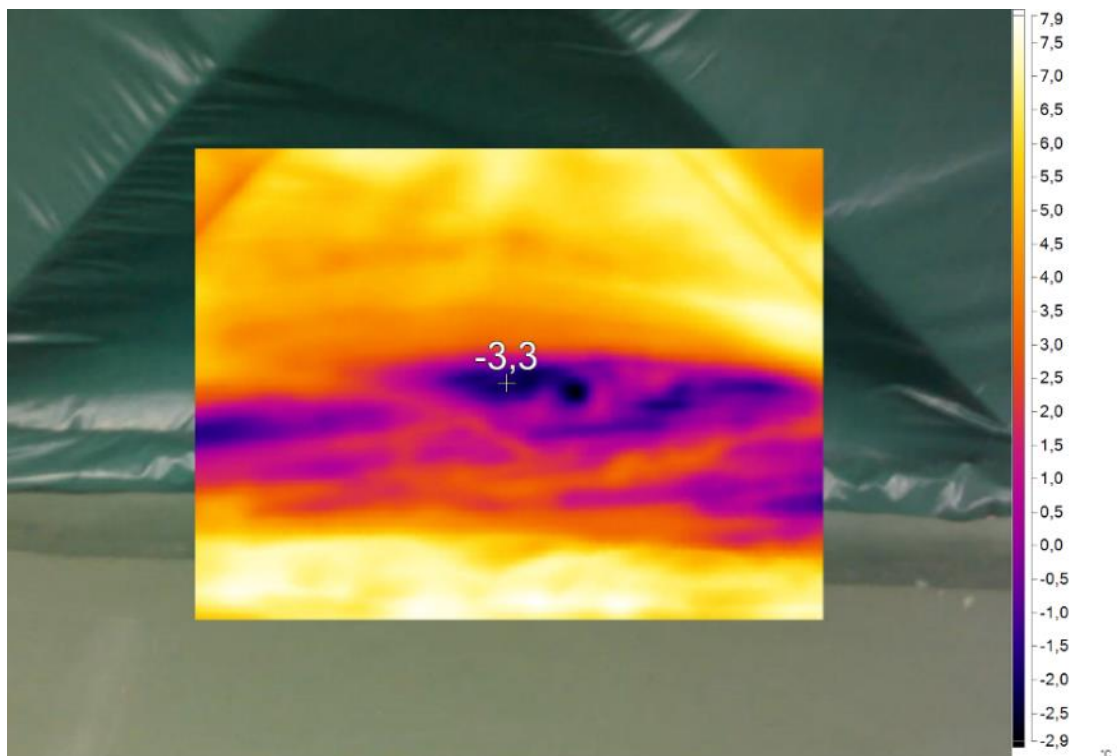
Pvm.	Klo.	Paluuilma [°C]	Tuloilma [°C]	Hallin lämpötila 6 metrissä [°C]	Hallin lämpötila 3 metrissä [°C]	Hallin lämpötila lattiatasossa [°C]	Tuloilman sekoittuminen paluuilmaan suhteessa lattiataason ilman lämpötilaan
5.1.2016	0:00:00	2,5	10,1	2,4	2,3	1,6	0,11 %
6.1.2016	1:00:00	2,3	10,3	2,1	2,1	1,6	0,08 %
6.1.2016	2:00:00	2,3	9,9	1,8	1,6	1,2	0,13 %
6.1.2016	3:00:00	1,8	9,9	1,3	1,2	0,5	0,14 %
6.1.2016	4:00:00	1,5	9,5	1,3	1,2	0,1	0,15 %
6.1.2016	5:00:00	1,5	10	1,3	0,8	0,3	0,12 %
6.1.2016	6:00:00	1,4	10,8	0,9	0,5	0	0,13 %
6.1.2016	7:00:00	1,4	10,1	1	0,2	-0,1	0,15 %
6.1.2016	8:00:00	1,1	10,1	0,9	0,1	-0,3	0,13 %
6.1.2016	9:00:00	2,6	16,8	2,2	1,3	0,9	0,11 %
6.1.2016	10:00:00	3,7	18,1	3	2,2	1,5	0,13 %
6.1.2016	11:00:00	3,2	17,9	2,9	2,5	1,7	0,09 %
6.1.2016	12:00:00	13,3	54,9	15,6	14,4	9,6	0,08 %
6.1.2016	13:00:00	14,7	56,4	18,3	16,5	11,7	0,07 %
6.1.2016	14:00:00	13,9	54,5	17,9	16,8	12,2	0,04 %
6.1.2016	15:00:00	15,2	54,4	17,6	16,7	11,9	0,08 %
6.1.2016	16:00:00	15	55	18	16,9	12,5	0,06 %
6.1.2016	17:00:00	15,6	55,2	18,5	17,1	12,1	0,08 %
6.1.2016	18:00:00	16,3	56	18,9	17,2	12,9	0,08 %
6.1.2016	19:00:00	16,4	52,8	18,2	17,3	12,7	0,09 %
6.1.2016	20:00:00	16,8	55,1	18,7	17,7	12,4	0,10 %
6.1.2016	21:00:00	15,9	51,7	19,2	17,9	13,1	0,07 %
6.1.2016	22:00:00	6,1	13,3	5,8	5,7	4,9	0,14 %
6.1.2016	23:00:00	4,2	12,2	4,1	4,1	3,2	0,11 %
<b>Keskiarvo:</b>							<b>0,10 %</b>

LIITE 3. ”Ylipainehallin ovien eristämisen kannattavuuslaskelma” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

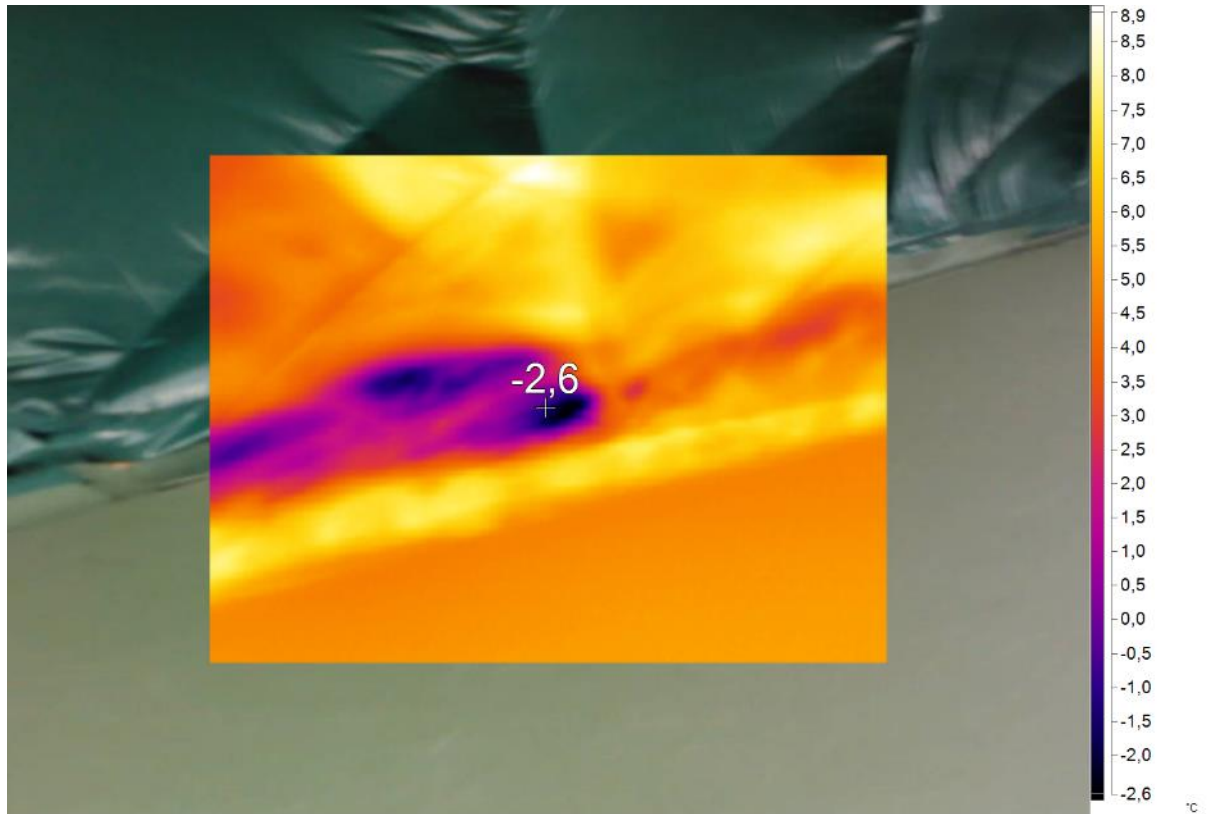
## LIITE 4. Lämpökamerakuvaukset



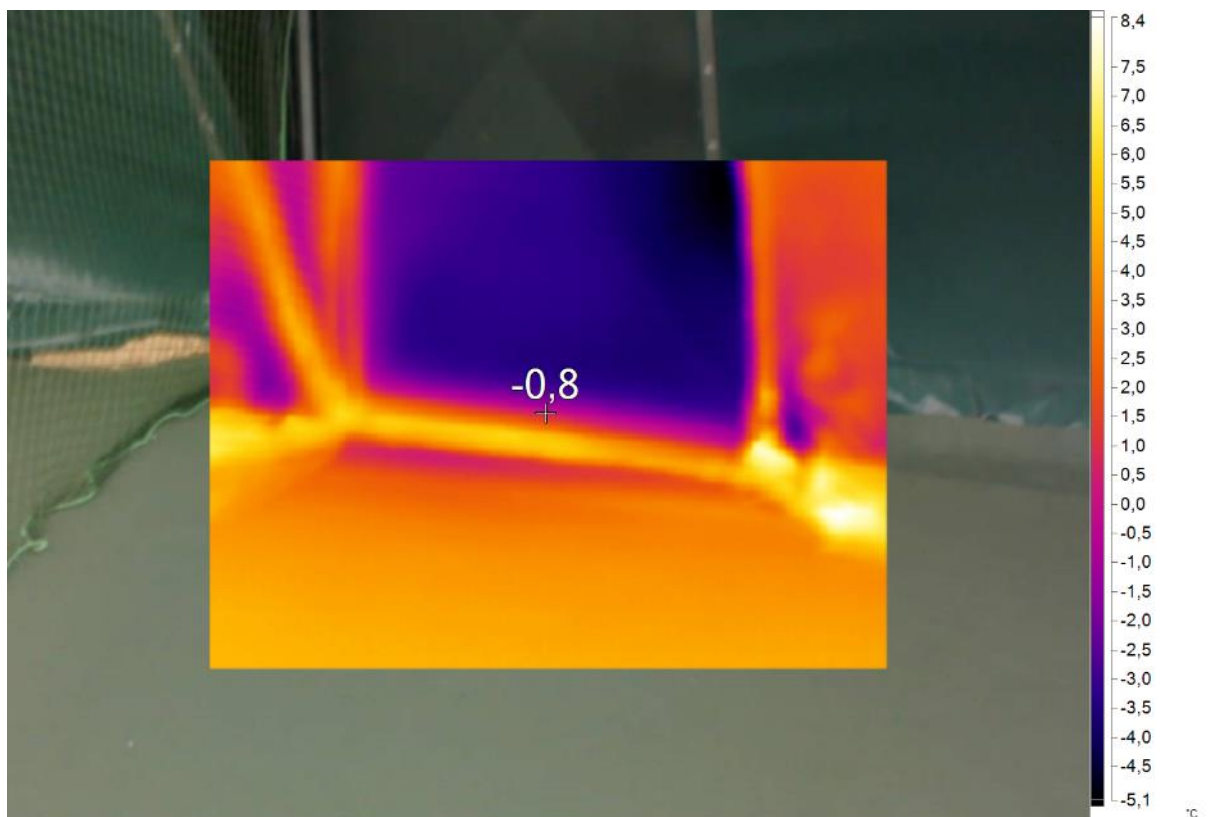
Ylipainehallin katto, lämpökamerakuva.



Ylipainehallin helma, lämpökamerakuva

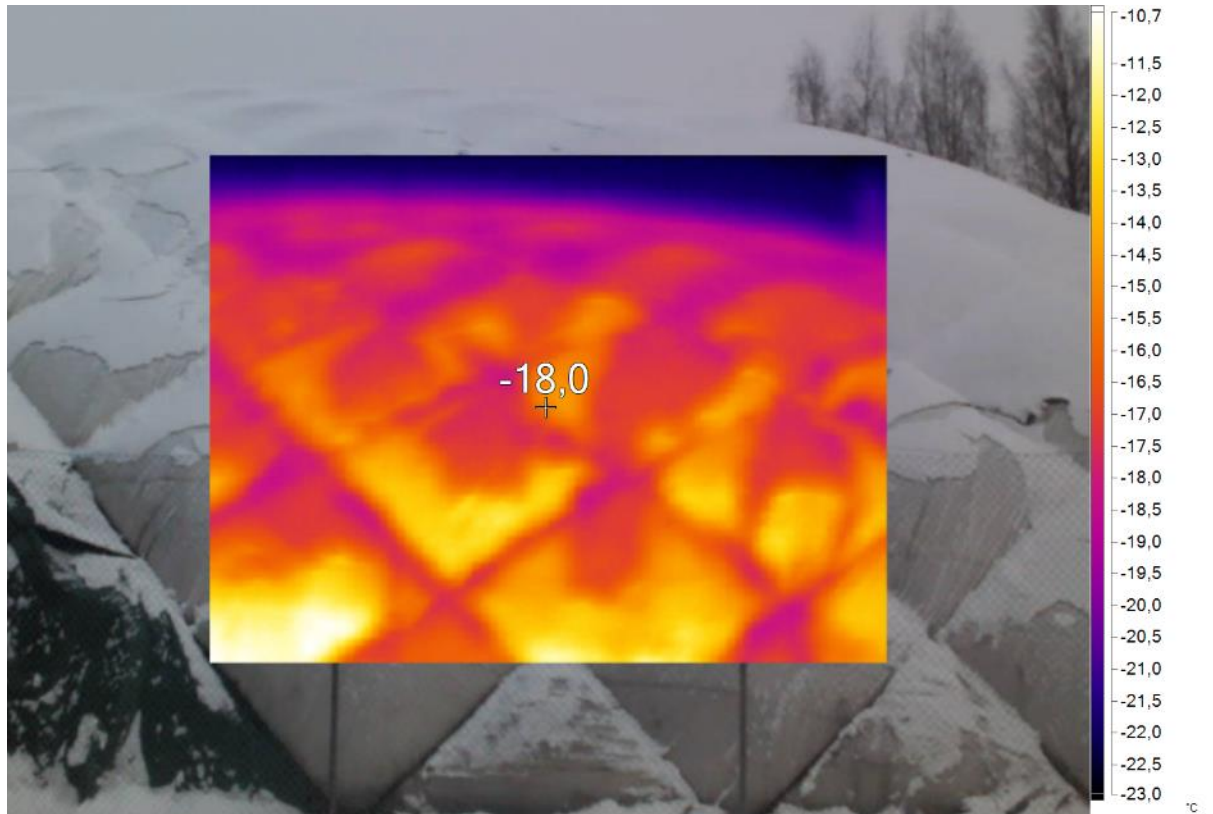


Ylipainehallin helma, lämpökamerakuva

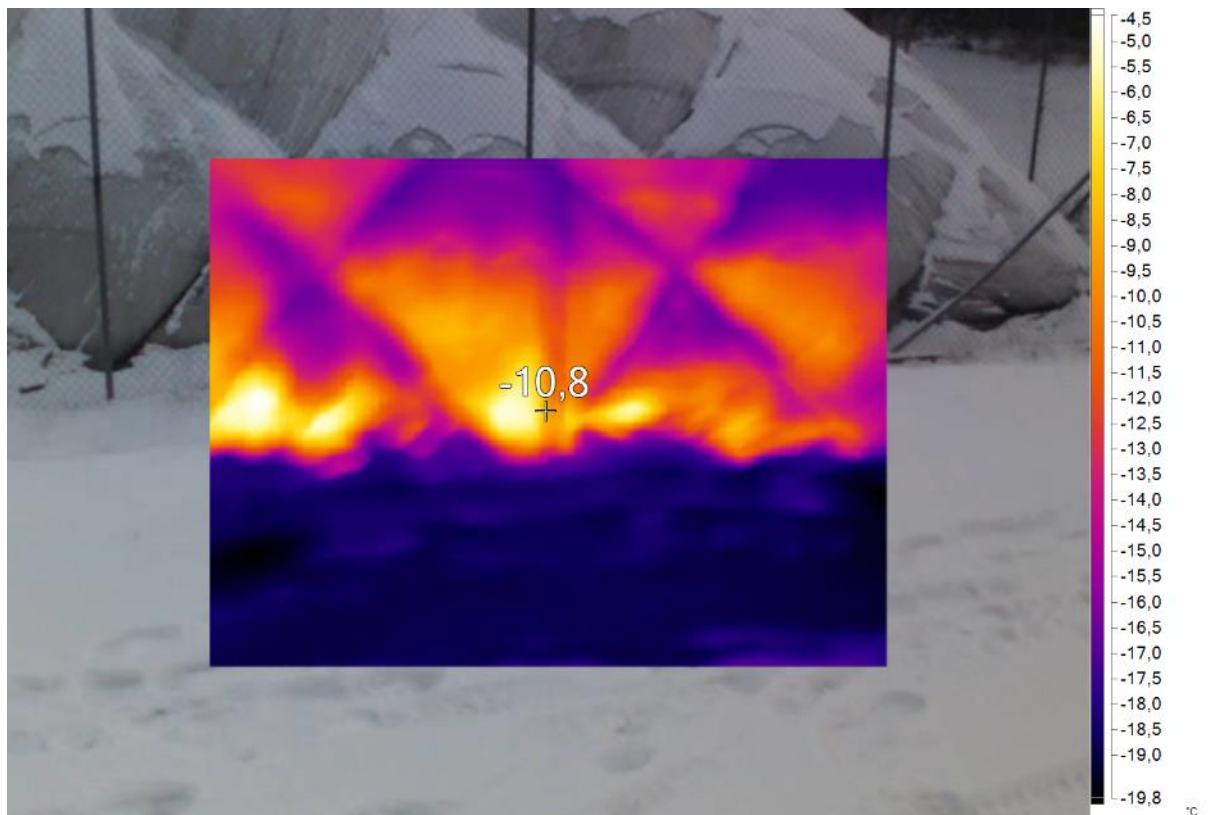


Ylipainehallin tavaraovi, lämpökamerakuva



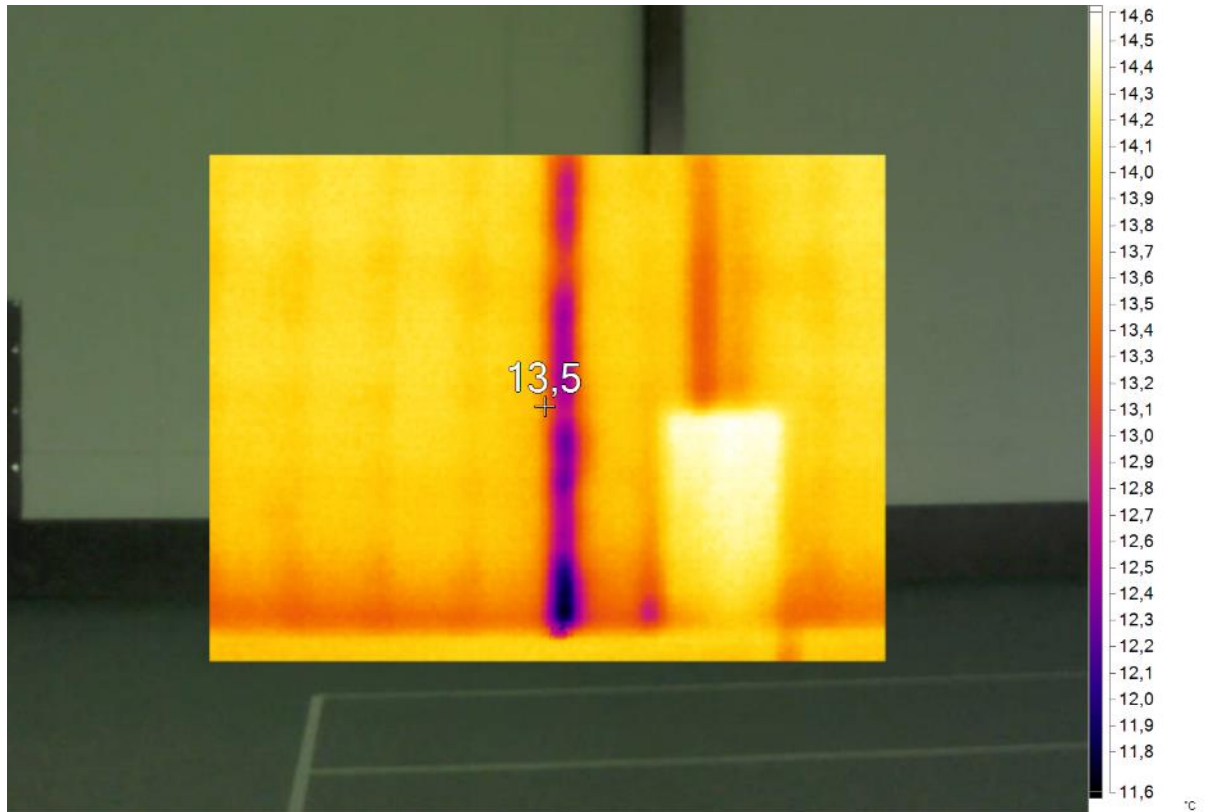


Ylipainehallin ulkoseinämän yläosa, lämpökamerakuva

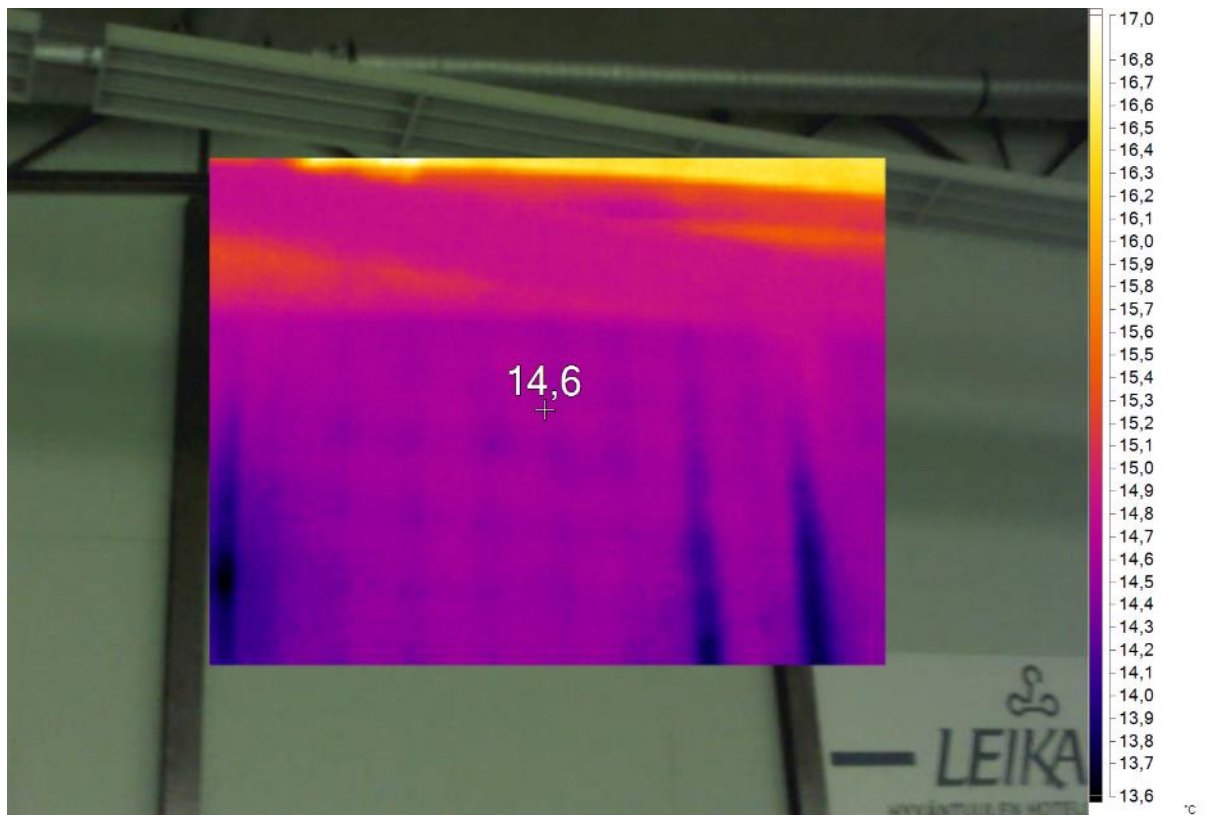


Ylipainehallin ulkoseinämän alaosa, lämpökamerakuva

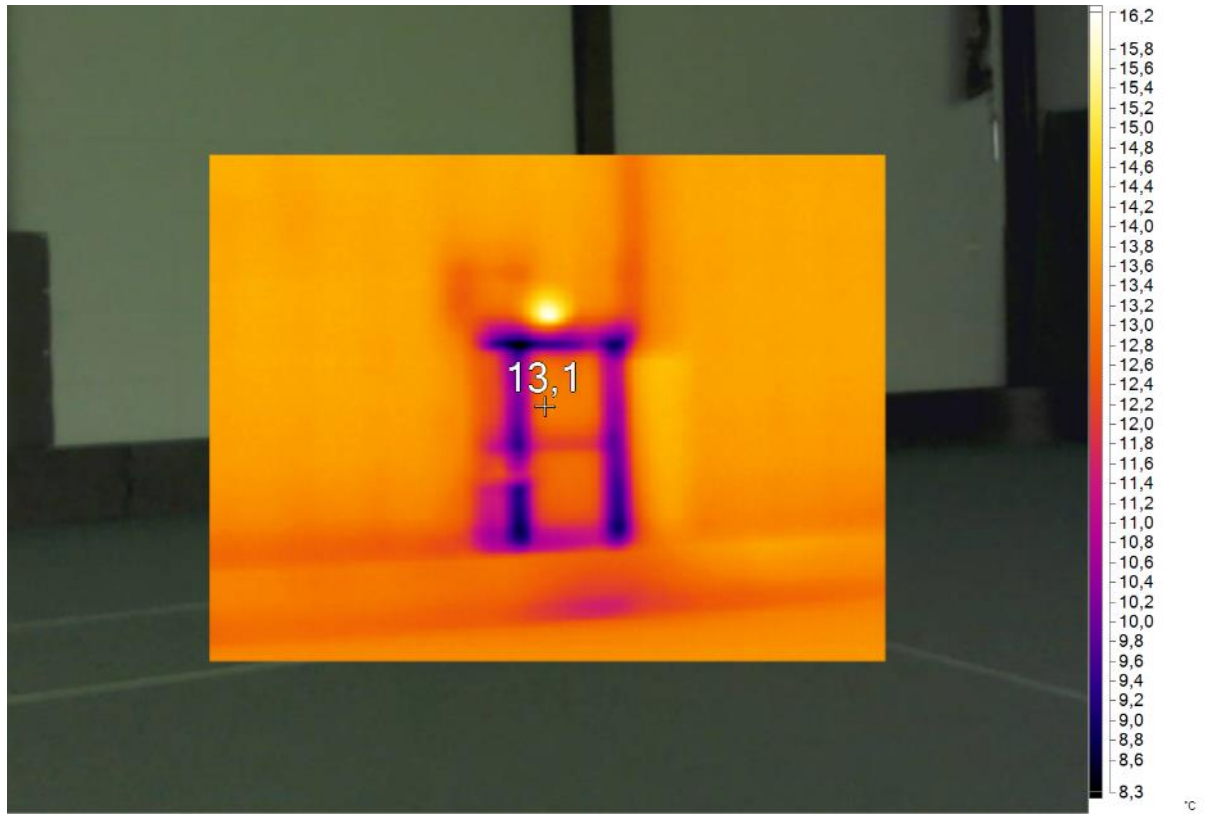




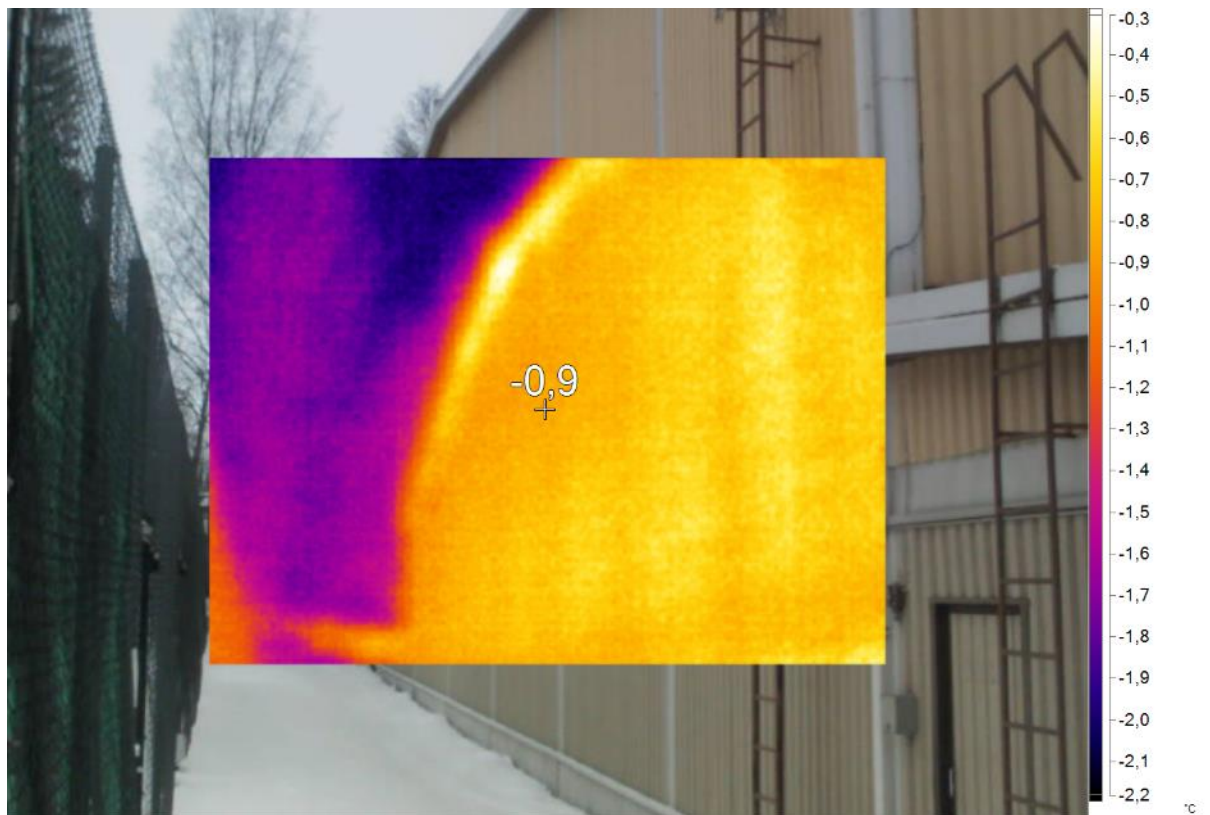
Kiinteärakenteisen hallin kaakkoisseinä, lämpökamerakuva



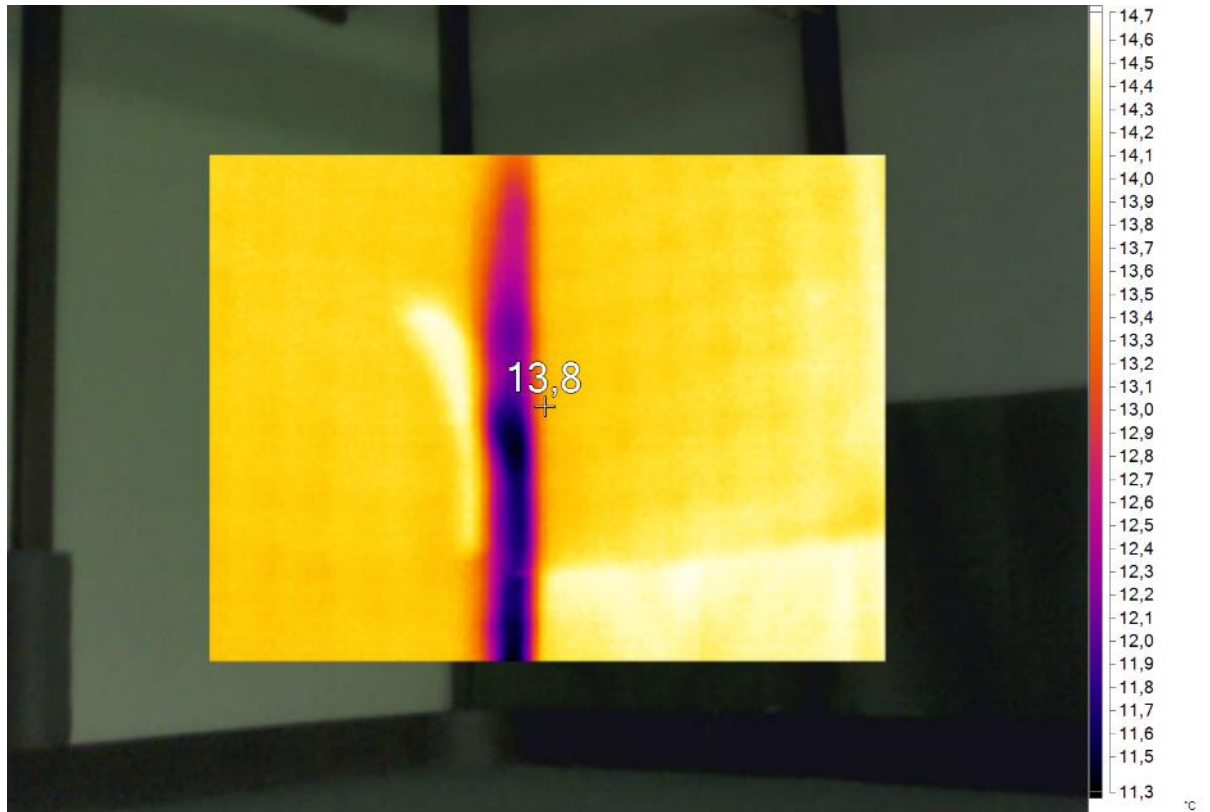
Kiinteärakenteisen hallin kaakkoisseinä, lämpökamerakuva



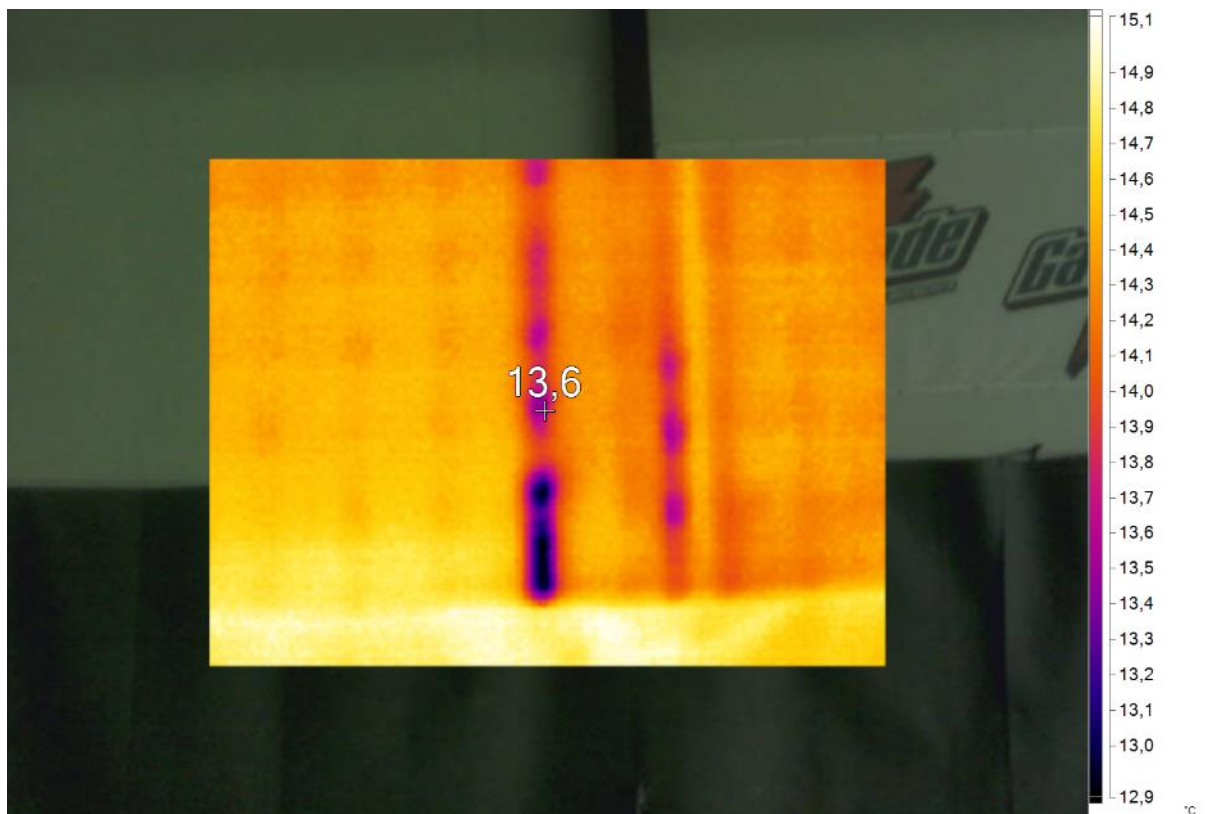
Kiinteärakenteisen hallin kaakkoisseinä, lämpökamerakuva



Kiinteärakenteisen hallin kaakkoisseinä ulkopuolelta, lämpökamerakuva

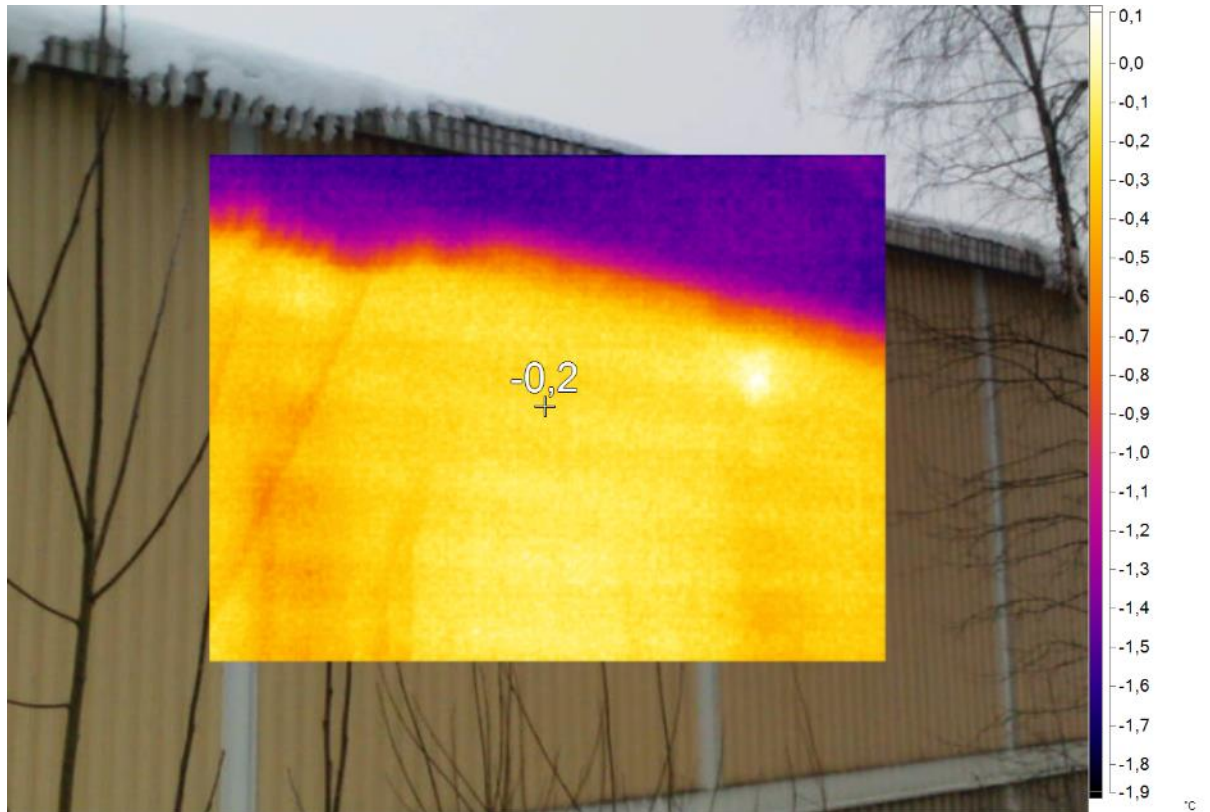


Kiinteärakenteisen hallin kaakkois- ja lounaisseinien nurkka, lämpökamera-kuva



Kiinteärakenteisen hallin lounaisseinä, lämpökamerakuva

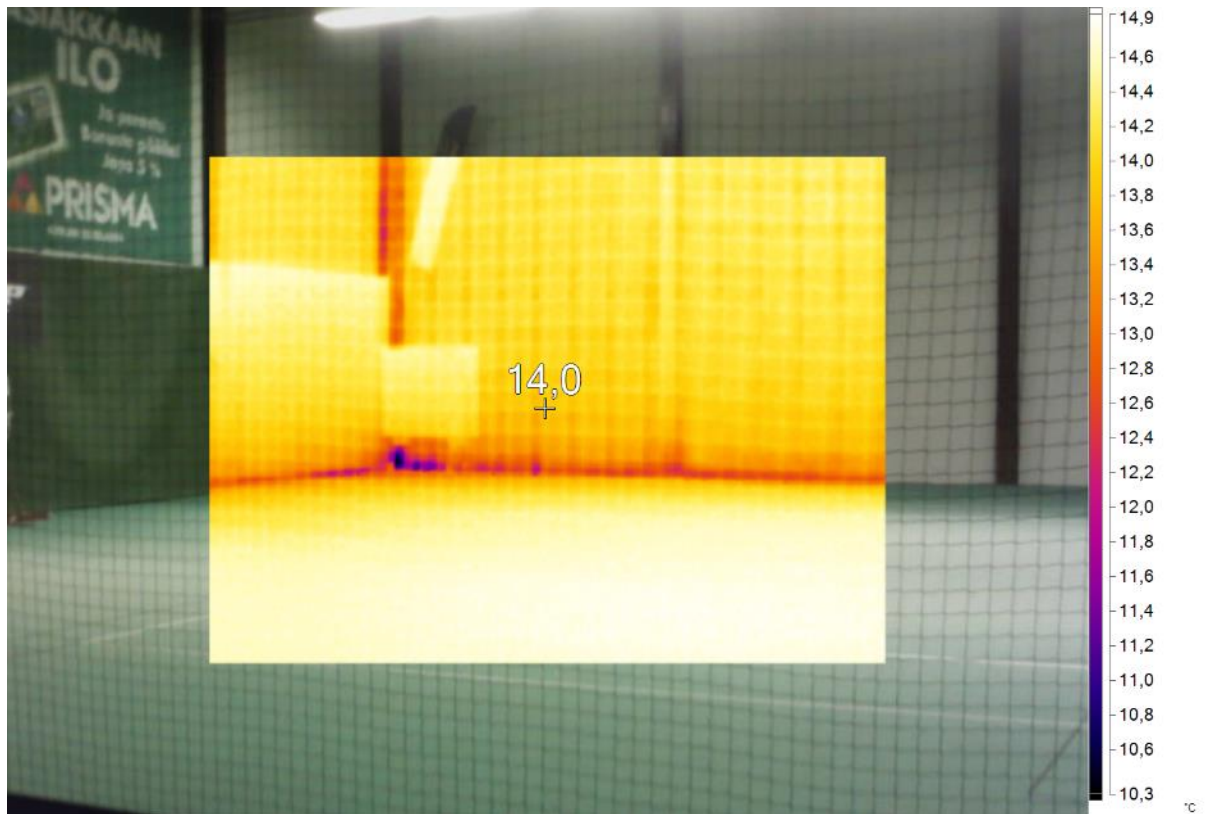




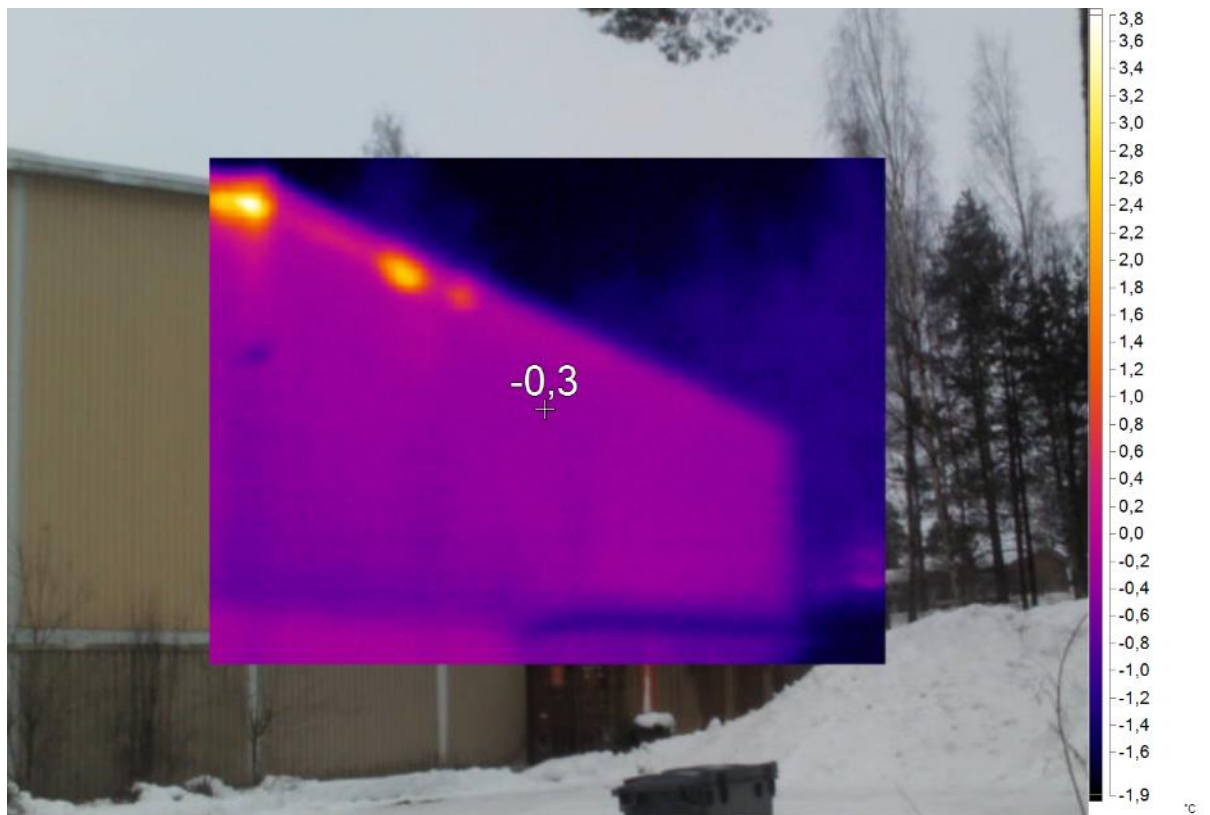
Kiinteärakenteisen hallin lounaisseinä ulkopuolelta, lämpökamerakuva



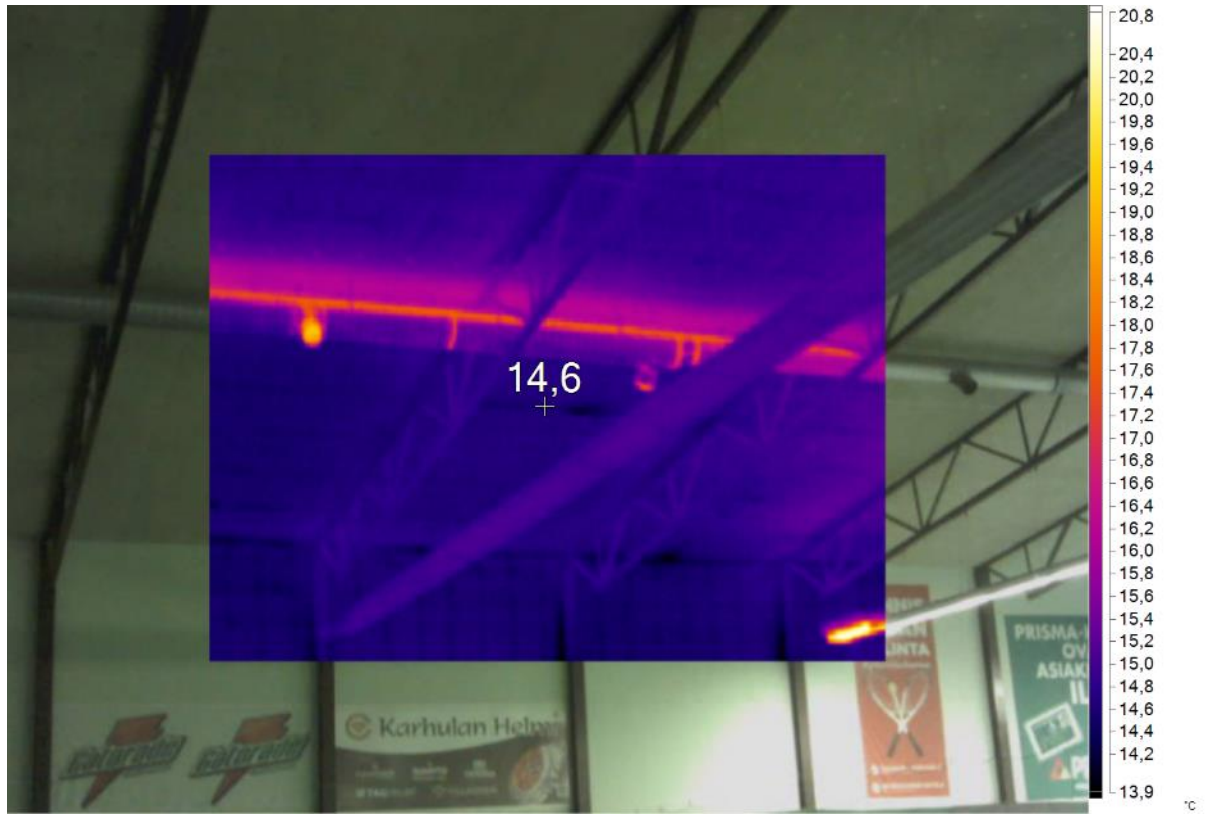
Kiinteärakenteisen hallin lounaisseinä, lämpökamerakuva



Kiinteärakenteisen hallin luoteisseinä, lämpökamerakuva



Kiinteärakenteisen hallin luoteisseinä ulkopuolelta, lämpökamerakuva



Kiinteärakenteisen hallin katto, lämpökamerakuva

## LIITE 5. Ylipainehallin tuloilmavirtaaman mittaustulokset.

Ylipainehallin tuloilmavirtaaman mittaustulokset						
1,3		1,0		1,1		1,1
	1,0				1,1	
1,1		0,7		0,8		0,9
Keskiarvo = 1 m/s				Keskiarvo = 1 m/s		

## LIITE 6. Hallien energiamittarien teholumepöytäkirja

Kiinteä Halli						Ylipainehalli					
Pvm	Ulkolämpötila	Kellonaika	Energiamittarin lukema [MWh]	Teho [kW]	Huomioita	Pvm	Ulkolämpötila	Kellonaika	Energiamittarin lukema [MWh]	Teho [kW]	Hallin käyttötilanne lukemanottohetkellä
17.3.2016	7	16:14	646,096	3		17.3.2016	7	16:21	2304,525	52,1	Lämmin
18.3.2016	-3,5	17:50	646,385	6		18.3.2016					
19.3.2016	-6	22:54	646,896	19	LKV?	19.3.2016	-6	23:05	2306,841	38,9	Kylmä
20.3.2016	-2	17:00	647,261	7		20.3.2016					
20.3.2016	-5	22:12	647,3	19	LKV?	20.3.2016	-5	22:23	2307,883	37	Kylmä
21.3.2016	-1	12:27	647,548	4		21.3.2016	-1	12:30	2308,562	31,4	Kylmä
22.3.2016	2	9:50	647,873	18		22.3.2016	2	9:50	2309,673	32,8	Kylmä
22.3.2016	5	13:40	647,939	17		22.3.2016	5	13:40	2309,832	22,9	Kylmä
23.3.2016	-5	8:15	648,25	16		23.3.2016	-5	8:15	2310,864	38	Kylmä
23.3.2016	-1	19:19	648,392	6		23.3.2016	-1	19:22	2311,352	88	Lämmin
24.3.2016	4	9:47	648,616	12		24.3.2016	4	9:49	2311,933	26,2	Kylmä
24.3.2016	1	20:10	648,718	12		24.3.2016	1	20:07	2312,424	72,3	Lämmin
25.3.2016	2	8:26	648,878	15		25.3.2016	2	8:23	2312,854	80,8	Lämpöamisvaiheessa
25.3.2016	3	20:38	648,968	4		25.3.2016	3	20:32	2313,621	73,7	Lämmin
26.3.2016	3	8:13	649,123	15		26.3.2016	3	8:11	2313,942	26,8	Kylmä
26.3.2016	2	20:23	649,257	8		26.3.2016	2	20:21	2314,465	27,4	Kylmä



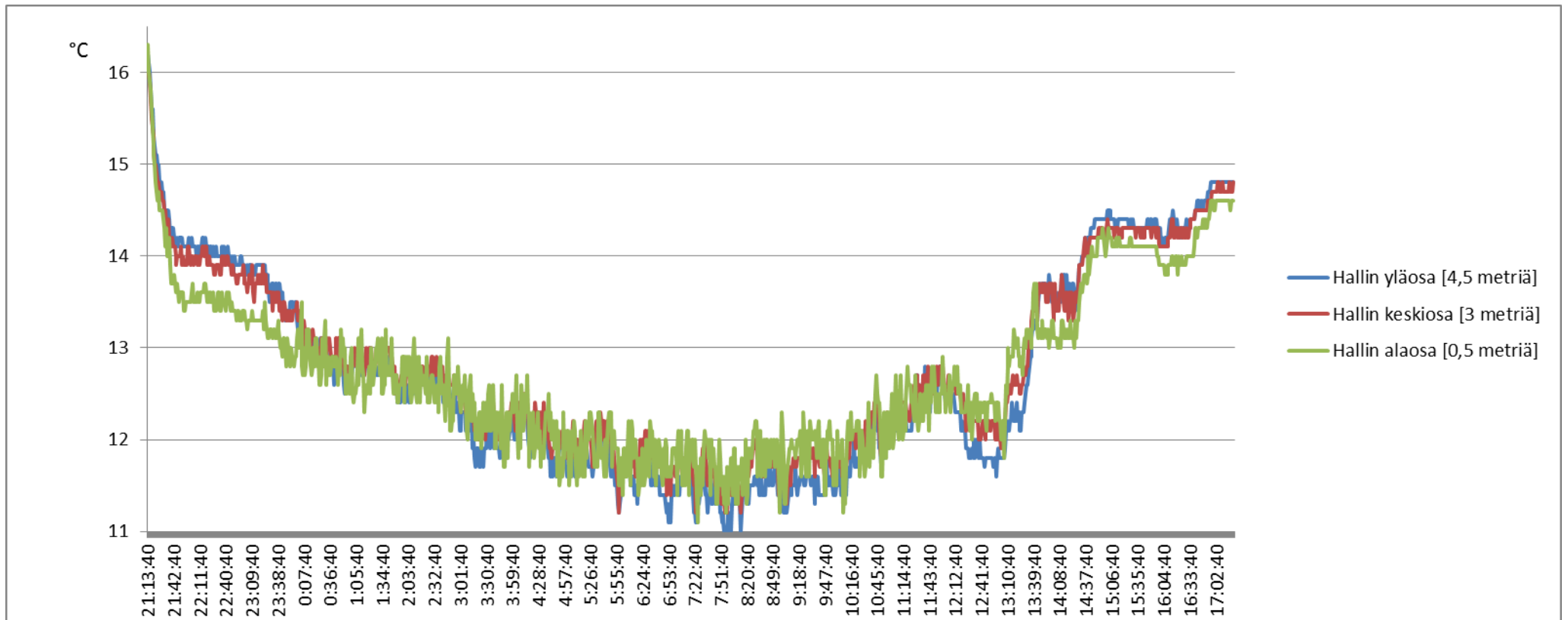
LIITE 7. ”Ylipainehallin ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmän tehon optimointi” on salattu ja poistettu tästä versiosta.



LIITE 8. ”Ylipainehallin maalämpöpumppujärjestelmän tehon optimointi” on salattu ja poistettu tästä versiosta.



## LIITE 9. Kiinteärakenteisen hallin sisälämpötilanmittaus



LIITE 10. ”Kiinteärakenteisen hallin kaukolämmön kulutustiedot vuonna 2014” on salattu ja poistettu tästä versiosta.

LIITE 11. "Kiinteärakenteisen hallin ilma-vesilämpöpumppujen investoinnin kannattavuus kappaleittain" on salattu ja poistettu tästä versiosta.





LIITE 12. "Kiinteärakenteisen hallin ilma-vesilämpöpumppujen investoinnin kannattavuus optimoituna" on salattu ja poistettu tästä versiosta.



LIITE 13. "Kiinteärakenteisen hallin maalämpöpumppujen investoinnin kannattavuus" on salattu ja poistettu tästä versiosta.





