



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikka

# Rantakylän liikuntahallin energiatehokkuuden optimointi

Eero Nissinen

Opinnäytetyö, helmikuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



OPINNÄYTETYÖ  
Helmikuu 2024  
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)  
Eero Nissinen

Nimeke  
Rantakylän liikuntahallin energiatehokkuuden optimointi

Toimeksiantajayhteisön nimi  
Jippo Oy

#### Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena on tutkia ylipainehallin energiatehokkuutta ja sen fysikaalisia olosuhteita. Tutkimuksessa tarkasteltavan ylipainehallin energiankulutus on ollut merkittävää ja tässä opinnäytetyössä syvennytään siihen, mistä tekijöistä energiankulutus johtuu sekä tuotetaan ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.

Tutkimuksessa selvitettiin ylipainehallin lämpötilakerrostuneisuutta, rakenteen lämmöneristävyyttä sekä lämmön jakautumista hallissa voimassa olevan lämmitystekniikan perusteella. Lämpötilan kerrostuneisuus selvitettiin lämpötilantureilla, rakenteen lämmöneristävyys energiavirtausmittarilla ja lämmön jakautuminen lämpökamerakuvien avulla.

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä kaikki tavoitellut tiedot, kuten lämmönjakautuminen, lämpötilan kerrostuminen ja ylipainehallin lämmöneristävyysominaisuudet. Kesäajan käytölle simuloitiin ideaalinen jäähdytyslaitteen teho hallin sisäilmaolosuhteita parantaen. Opinnäytetyön tulosten perusteella hallin energiatehokkuuden parantamiseksi ei ole selkeästi yhtä suurta selvästi parasta toimenpidettä, mutta työn aikana kuitenkin löydettiin muutama toimenpide-ehdotus, joilla energiatehokkuutta voitaisiin parantaa, kuten tavoitelämpötilan lasku sekä teknisten laitteiden ylläpito ja huolto.

Kieli  
suomi

Sivuja 29  
Liitteet  
Liitesivumäärä

energiatehokkuus, rakennustekniikka, olosuhteet



THESIS  
February 2024  
Degree Programme in Energy and Environmental  
Engineering

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Eero Nissinen

Title  
Optimization of the Energy Efficiency of Rantakylä Sports Hall

Commissioned by  
Jippo Oy

#### Abstract

The aim of the thesis was to study the energy efficiency and physical conditions of a air dome. The energy consumption of the air dome under study has been significant and this thesis will delve into the factors that cause energy consumption and provide suggestions for improving energy efficiency.

The study investigated the thermal stratification of the pressurised hall, the thermal insulation of the structure and the heat distribution in the hall based on the current heating technology. Temperature stratification was determined by temperature sensors, thermal insulation of the structure by an energy flow meter and heat distribution by thermal imaging.

The thesis provided all the information required, such as heat distributions, temperature stratification and thermal insulation properties of the pressurised hall. The ideal cooling unit capacity was simulated for summertime use to improve indoor air conditions in the hall. Based on the results of the study, there is no clear single best practice for improving the energy efficiency of the hall, but the work did identify a few proposed measures that could be taken to improve energy efficiency.

Language  
Finnish

Pages 29  
Appendices  
Pages of Appendices

energy efficiency, construction engineering, conditions

# Sisältö

1	Johdanto .....	1
2	Rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeen laskenta .....	1
2.1	Ylipainehalli.....	1
2.2	Normeeraus ja lämmitystarveluku.....	2
2.2.1	Lämmityksen säätökäyrä .....	3
2.3	Rakennusautomaatio .....	3
2.3.1	Rakennusautomaation rakenne .....	4
2.4	Rakennuksen energiatarve .....	5
2.4.1	Lämmitysenergian nettotarve.....	5
2.5	Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä .....	6
2.5.1	Tuloilmakone .....	6
2.5.2	Ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatteriosien rakenne .....	7
2.5.3	Lämmityspatteri ilmanvaihdossa.....	8
2.6	Olosuhde- ja energiasimulointi.....	8
2.7	IDA-ICE .....	8
2.8	ISO-9869-1 standardi .....	9
3	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät .....	10
4	Rakenteen energiatehokkuus ja lämmön käyttäytyminen .....	10
4.1	Lämpötilakerrostuman tutkiminen ja mittaus.....	10
4.2	Lämpökamera kuvaus .....	12
4.3	Energiavirtausmittaus .....	13
5	Mittausten tulokset .....	13
5.1	Lämpötilakerrostumien tulkinta .....	13
5.2	Normeerattu lämmitysenergian kulutus .....	14
5.3	Lämpökamerakuvien tulkinta .....	16
5.4	Energiavirtausmittarin tulokset.....	20
5.5	Olosuhdesimulointi IDA-ICE .....	22
6	Tulosten arviointi.....	23
	Lähteet.....	25

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on löytää keinoja parantaa ylipainehallin energiatehokkuutta. Työn tavoitteena on saada ylipainehalli mahdollisimman energiatehokkaaksi. Tarkastelussa kulutus normeerataan muihin vastaaviin Suomessa sijaitseviin ylipainehalleihin, jotta saadaan vertailukelpoista tietoa energiankulutuksesta sekä mahdollisesta energiansäästöpotentiaalista.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Jippo Oy. Ylipainehalli sijaitsee Joensuun Rantakylässä. Kohde on urheilu- ja liikuntahalli, joka sisältää täysimittaisen jalkapallokentän, 4 juoksusuoraa ja kuntoilunurkkauksen. Rantakylän liikuntahalli on ylipainehalli, jota käytetään pääsääntöisesti jalkapallon harrastajien tilana. Opinnäytetyön ylipainehalli on DBS Engineering suunnittelema ilmatäytteinen liikuntahalli. Ylipaine luodaan kahdella tuloilmakoneella, jotka ovat hallin ulkopuolella sijaitsevissa omissa konteissa. Hallin koko on 120.4x76.4x21.7 metriä. Halli on liitetty kaukolämpöön ja lämmitys toteutetaan lämmittämällä ilmanvaihtokoneen tuloilmaa.

Opinnäytetyön tilaaja on huomannut ylipainehallissa erittäin suuret lämmitys- sekä sähkökustannukset. Tällä hetkellä seurojen harrastemaksuja on jouduttu nostamaan nousseiden energiakustannusten vuoksi, jotta seuran toimintaa on voitu jatkaa. Opinnäytetyölle on tarvetta, jotta saadaan tietoa mahdollisista energiansäästökohteista.

Opinnäytetyön aihe on rajattu olemassa olevan lämmitysmuodon ja ilmanvaihtokoneiden optimointiin. Työssä simuloidaan hallin olosuhteita IDA-ICE-ohjelmistolla sekä pohditaan mahdollisia muita ratkaisuja tai toimenpiteitä energiankulutuksen vähentämiseksi.

## 2 Rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeen laskenta

### 2.1 Ylipainehalli

Ylipainehalli-nimityksellä tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan ilmatäytteistä kuplan muotoista hallia. Hallirakenne on eräänlainen monikerroksinen muovikalvo, joka koostuu polyesterista, kaksipuoleisesta pvc-pinnoitteesta ja lakasta, myyntinimike POLYPLAN-PVC awning. Ylipainehalli nostetaan muotoonsa ilmalla. Tästä syystä hallia nimitetään myös kuplahalliksi tai liikuntahalliksi. Hallin ilmanpaine on suurempi kuin ulkoilman. Paine-ero toteutetaan koneellisesti ja ilmanpaineen avulla ylipainehalli pitää muotonsa.

## 2.2 Normeeraus ja lämmitystarveluku

Energiankulutuksen seuranta on olennainen osa energian tehokasta käyttöä. Kulutuksen normitus tarjoaa välineitä tarkkailla ja vertailla energiankulutusta eri aikoina ja paikoissa. Erityisesti lämmitysenergian kulutuksen normeeraus on hyödyllistä, koska normitettu kulutus mahdollistaa vertailun rakennusten välillä riippumatta niiden sijainnista tai ilmasto-oloista.

Lämmitystarveluvun käyttö on yksi tapa normeerata lämmitysenergian kulutusta. Tämä mahdollistaa saman rakennuksen toteutuneiden kulutustietojen vertailun eri aikoina sekä eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten välisen vertailun. Lämmitystarveluku perustuu oletukseen, että lämmityksen energiankulutus on suhteessa sisä- ja ulkolämpötilojen eroon. Tämä lähestymistapa tarjoaa standardoidun tavan analysoida ja arvioida rakennusten energiatehokkuutta.

Eri puolilla Suomea sijaitsevien rakennusten kulutusten vertailu lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{norm} = k_2 * \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut} \text{ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin käyttövesi}$$

$Q_{norm}$	Rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
$Q_{kok}$	Rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

$Q_{\text{l\u00e4mmin k\u00e4ytt\u00f6vesi}}$	K\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mmitt\u00e4misen vaatima energia
$S_N$ vpkunta	Normaalivuoden tai -kuukauden (1991-2020) l\u00e4mmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$	Toteutunut l\u00e4mmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla
$k_2$	Paikkakuntaakohtainen korjauskertoimen Jyv\u00e4skyl\u00e4n

(<https://www.motiva.fi/>)

### 2.2.1 L\u00e4mmityksen s\u00e4t\u00f6k\u00e4yr\u00e4

Kiinteist\u00f6n l\u00e4mmityksen s\u00e4t\u00f6k\u00e4yr\u00e4ll\u00e4 tarkoitetaan l\u00e4mmitysverkoston s\u00e4t\u00e4m\u00e4n k\u00e4yr\u00e4\u00e4, jolta luetaan eri ulkol\u00e4mp\u00f6tiloilla l\u00e4mmitysverkoston menoveden l\u00e4mp\u00f6tilat ja nimenomaan juuri t\u00e4lle kiinteist\u00f6lle sopivat arvot. L\u00e4mmityksen s\u00e4t\u00f6k\u00e4yr\u00e4n asennetaan nykyisin mieluiten viisi l\u00e4mp\u00f6tilapistett\u00e4, koska t\u00e4m\u00e4 mahdollistaa s\u00e4t\u00f6k\u00e4yr\u00e4n korjaamisen jatkossa viidest\u00e4 eri kohdasta. (Korkala 2021, 119-121.) L\u00e4mmityksen s\u00e4t\u00f6k\u00e4yr\u00e4\u00e4 voidaan siirt\u00e4\u00e4 tarvittaessa ja vuodenaikojen mukaan. Korkalan mukaan

kev\u00e4isin ja syksyisin saattaa esiinty\u00e4 suuria l\u00e4mp\u00f6tilaeroja p\u00e4iv\u00e4n ja y\u00f6n ulkol\u00e4mp\u00f6tilan v\u00e4lill\u00e4. Hyv\u00e4 s\u00e4t\u00f6j\u00e4rjestelm\u00e4 pystyy huomioimaan n\u00e4m\u00e4. Jos n\u00e4in ei kyseiss\u00e4 kiinteist\u00f6ss\u00e4 ole, tulee harkita p\u00e4iv\u00e4lle ja y\u00f6lle erilaisia pisteit\u00e4, joissa kompensoidaan auringon tai muun syyn vaikutus l\u00e4mmitykseen. (Korkala 2021, 119-121.)

### 2.3 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatioj\u00e4rjestelm\u00e4n p\u00e4\u00e4teht\u00e4v\u00e4n\u00e4 on ker\u00e4t\u00e4 kiinteist\u00f6n toiminnasta kulutus-, olosuhde- ja k\u00e4ytt\u00f6tilainformaatiota. T\u00e4m\u00e4n avulla varmistetaan kiinteist\u00f6n talotekniikan asianmukainen toiminta ja pyrit\u00e4\u00e4n yll\u00e4pit\u00e4m\u00e4\u00e4n energiankulutus mahdollisimman alhaisella tasolla. Erityisesti pyrit\u00e4\u00e4ss\u00e4 parantamaan rakennuksen sis\u00e4ilmaolosuhteita ja energiatehokkuutta ilman, ett\u00e4 sis\u00e4ilman laatu heikkenee, ilmastoinnilla ja

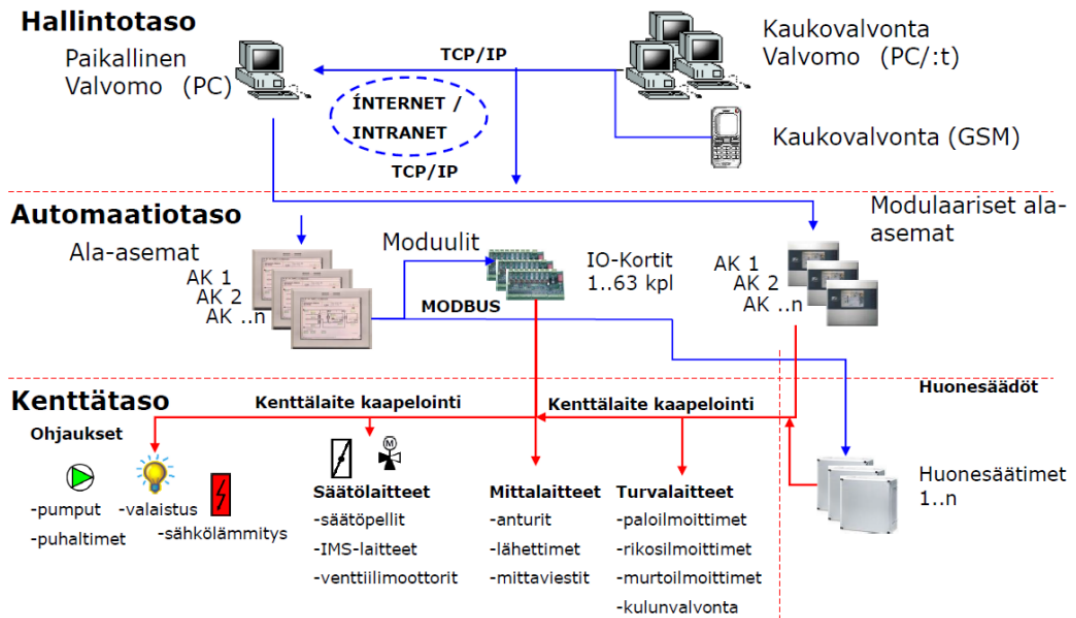
rakennusautomaatiolla on keskeinen rooli tässä prosessissa. Niiden avulla voidaan tehokkaasti säätää ja hallita kiinteistön eri järjestelmiä tavoitteena energiansäästö ja optimaaliset sisäilmaolosuhteet. (Heinonen, 2014, 287).

Ilman toimivaa automaatiolaitteiden käyttöä ohjauksessa ja seurannassa ei käytännössä ole mahdollista hyödyntää muita energiaa tehokkaasti käyttäviä ratkaisuja. Siksi voidaan perustellusti väittää, että rakennusautomaatio muodostaa olennaisen osan rakennuksen talotekniikan käyttöjärjestelmää. Rakennusautomaation avulla saavutetaan tehokas ohjaus ja valvonta eri järjestelmien toiminnassa, mikä puolestaan mahdollistaa energiatehokkuutta edistävien ratkaisujen täyden hyödyntämisen. (Heinonen, 2014, 293).

### **2.3.1 Rakennusautomaation rakenne**

Rakennusautomaatiolla on hierarkkinen rakenne, jossa on kolme päätasoa: hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso. Hallintatason tehtävänä on toimia käyttäjärajapintana järjestelmään päin. Kentältä kerätty mittaus-, hälytys-, ja ohjausinformaatio muokataan alakeskuksissa ja lähetetään valvomoon. Valvomo ja alakeskukset yhdistetään toisiinsa tiedonsiirtoväylällä, jota kutsutaan useilla eri nimillä käytännössä: runkoväylä, alakeskusväylä, alakeskussilmukka, runkokaapeli jne. Kentälaitteita ovat mm. mittausanturin, toimilaitteet ja hälytyslähettimet. Kentälaitteet liittyvät alakeskuksiin kenttäkaapeloinnin välityksellä tyypillisesti analogisina jännite- tai virtaviesteinä. (Heinonen, 2014, 294-295).





Kuva 1. Rakennusautomaation rakenne (Piikkilä 2011).

## 2.4 Rakennuksen energiatarve

Rakennuksen kokonaisenergiatarve koostuu useista osatekijöistä, jotka sisältävät tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitystarpeen, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeen sekä valaistuksen ja laitteiden sähkönkulutuksen. Lämmitysenergian nettotarve kuvaa sitä energiamäärää, joka tarvitaan rakennuksen lämmitysjärjestelmien avulla. Vastaavasti jäähdytysenergian nettotarve kuvaa energiamäärää, joka tarvitaan rakennuksen jäähdytysjärjestelmien avulla. Nämä tekijät ovat keskeisiä rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa ja suunnittelussa. Rakennuksen energiantarpeella pystytään laskemaan lämmityksen ja jäähdytyksen kustannuksia ja sitä kautta saamaan vertailupohjaa mahdollisille energiansäästötoimenpiteille. (Suomen rakentamismääräyskokoelma. D3. 2018.)

### 2.4.1 Lämmitysenergian nettotarve

Lämmitysenergian nettotarve kuvaa lämmitysenergian tarvetta, ja siihen sisältyvät erilaiset vähennykset ja lisäykset. Nettotarve lasketaan vähentämällä lämmitystarpeesta henkilöiden, valaistuksen ja sähkölaitteiden aiheuttamat sisäiset lämpökuormat. Lisäksi siitä vähennetään poistoilmasta, jätevedestä ja muista energiavirroista talteen otettu ja hyväksikäytetty energia sekä auringon säteilyenergia ikkunoiden läpi. Lämmitysenergian nettotarve edustaa lopulta sitä energiamäärää, joka on tuotava lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttövedeen. Nettotarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarpeista. (Suomen rakentamismääräyskokoelma. Energiatohokkuus -Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, 2018, 4.)

## **2.5 Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä**

Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmiä ovat ilmanvaihtojärjestelmät, joissa sekä tulo- että poistoilmavirtoja ohjataan koneellisesti. Toisin sanoen näissä järjestelmissä raitis ulkoilma tuodaan tiloihin ja käytetty ilma poistetaan koneellisesti. Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmissä voidaan lisäksi integroida mahdollisuus jäähdytykseen, mikä mahdollistaa ilmanvaihdon yhteydessä myös tilojen jäähdyttämisen tarpeen mukaan. Näitä järjestelmiä käytetään usein rakennuksissa, joissa halutaan tarkkaa hallintaa sekä ilmanvaihdon että mahdollisen jäähdytyksen suhteen. (Korkala. 2020, 37.)

### **2.5.1 Tuloilmakone**

Tuloilmakoneen päätehtävänä on käsitellä tuloilmaa, jotta saavutetaan halutut ilmastolliset olosuhteet ja tarvittavan ilmanjakelun nopeuden ja paineen tilaan, jossa se jaetaan. Tätä tehtävää varten tuloilmakoneessa on useita erilaisia osia, joiden tyyppi ja määrä vaihtelevat käyttövaatimusten mukaan.

Tuloilmakoneeseen kuuluu yleensä seuraavia osia:

1. Suodattimet: Puhdistavat ilman epäpuhtauksista ja partikkeleista ennen kuin ilma syötetään ilmanvaihtojärjestelmään.
2. Lämmityselementti: Lämmittää tuloilmaa tarvittaessa, jotta saavutetaan haluttu lämpötila.
3. Jäähdytyspatteri: Viilentää tuloilmaa tarvittaessa, mikäli ilmastointi on osa järjestelmää.
4. Ilmankostutin: Kosteuttaa tuloilmaa, jos ilmankosteus on liian alhainen.
5. Puhallin: Tuottaa ilmavirtauksen ja luo tarvittavan paineen ilman liikuttamiseksi järjestelmässä.

Tuloilmakoneet suunnitellaan ja rakennetaan vastaamaan erilaisten tilojen, kuten asuin-, toimisto- tai teollisuusrakennusten, erityisiä tarpeita ja vaatimuksia. (Korkala. 2020, 89.)

### **2.5.2 Ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatteriosien rakenne**

Lämpöpatterit eli lämmönsiirtimet ovat yleisiä ilmankäsittelykoneissa, joissa käytetään ilmaa lämmittäviä tai jäähdyttäviä järjestelmiä. Niiden perusperiaate on lämmönsiirron optimointi mahdollisimman tehokkaasti ja pienellä painehäviöllä. Lämpöpatterin rakenne perustuu tehokkaaseen lämmönsiirtoon ilman ja putkissa virtaavan nesteen välillä. Ilman huonomman lämmönsiirto-ominaisuuden kompensoimiseksi käytetään suurta määrää ohuita levyjä, eli lamelleja. Nämä lamellit asennetaan reikien kautta putkia vasten, ja putket laajennetaan mekaanisesti kiinni lamelleihin. Tämän rakenteen avulla saavutetaan suuri lämmönsiirtopinta-ala, joka mahdollistaa tehokkaan lämmönvaihdon ilman ja nesteen välillä.

Kun ilma kulkee lämpöpatterin läpi, se joutuu kosketuksiin lamellien kanssa, joissa putket sijaitsevat. Näin ilma voi vaihtaa lämpöä putkissa virtaavan veden kanssa, mikä mahdollistaa joko lämmittämisen tai jäähdyttämisen, riippuen käytettävistä lämpötiloista ja jäähdytysaineesta. Tämä tehokas lämmönsiirtojärjestelmä on tärkeä osa ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmiä. (Heinonen, ym. 2014, 170.)

### 2.5.3 Lämmityspatteri ilmanvaihdossa

Lämmityspatterit on suunniteltu ensisijaisesti lämmittämään ilmaa ja muita kaasuja. Niissä käytetään lämmönsiirtoaineena lämmitysvesiverkoston vettä, ja tarvittaessa tähän voidaan lisätä esimerkiksi vesi-glykoliliuosta. Tämä mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirron lämmityspatterin ja kiertävän lämpöaineen välillä. Järjestelmä lämmittää ilmaa tai kaasua, joka virtaa patterin läpi. Vesi-glykoliliuos voi olla mukana jäätymisenestoaineena erityisesti tilanteissa, joissa alhaiset lämpötilat voivat aiheuttaa ongelmia. Siten se varmistaa järjestelmän luotettavan toiminnan. (Heinonen, ym. 2014, 170.)

### 2.6 Olosuhde- ja energiasimulointi

Olosuhdetarkastelut, jäähdytysjärjestelmien mitoitus ja energialaskenta toteutetaan käytännössä hyödyntämällä rakennussimulointiohjelmiä, jotka käsittelevät rakennuksen tietomallia. Simulaatioiden avulla voidaan tarkasti arvioida lämmitys- ja jäähdytystehontarpeita eri lämpötila-alueilla. Simulaatiot tuovat mukanaan syvällistä ymmärrystä rakennuksen energiatehokkuudesta ja sisäolosuhteista.

Tietomallin avulla simulaatiot voivat kattaa monipuolisesti eri tekijöitä, kuten rakennuksen geometrian, eristemateriaalit, ikkunoiden suuntautumisen ja tehokkuuden sekä ilmanvaihdon järjestelmät. Näin saadaan tarkkaa tietoa siitä, miten eri tekijät vaikuttavat lämmitys- ja jäähdytystarpeisiin eri olosuhteissa. Rakennussimulointi tarjoaa kattavan näkemyksen rakennuksen energiatehokkuudesta ja auttaa optimoimaan jäähdytys-, ja lämmitysjärjestelmät vastaamaan tehokkaasti eri sääolosuhteisiin. Suomessa yleisesti käytössä olevat simulointiohjelmat ovat RIUSKA ja IDA-ICE. (Heinonen, ym. 2014, 457.)

### 2.7 IDA-ICE

IDA-ICE – ohjelma on rakennettu Kunglika Tekniska Högskolanin ja Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorion komponenttimallien avulla vastaamaan ja tuottamaan tietoa rakennus- ja talotekniikka-alan tarpeisiin. IDA-ICE simulointiohjelmalla voidaan toteuttaa rakennuksen lämpödynaamista laskentaa, energialaskentaa, sisäilmasto-olosuhdelaskentaa, johon kuuluvat esimerkiksi hiilidioksidipitoisuus ja suhteellinen kosteus, sekä luonnonvalon määrä. (Heinonen, ym. 2014, 457.)

## 2.8 ISO-9869-1 standardi

Standardi ISO 9869-1 käsittelee rakennuselementtien lämmönläpäisykertoimen ja lämmöneristyskyvyn mittaamista. Se sisältää ohjeet menetelmälle, joka tunnetaan nimellä fluxmetrimenetelmä. Se tarjoaa tarkat ohjeet rakennuselementtien lämmönläpäisykertoimen mittaamiseen laboratorio- tai kenttäolosuhteissa. Standardi sisältää myös ohjeet rakennuselementtien rakenteen tarkasteluun, mittausmenetelmien raportointiin ja virheanalyysiin. Lisäksi se käsittelee mittausjärjestelmän tarkkuutta ja muita tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa mittaustuloksiin. Opinnäytetyön energiavirtausmittauksessa käytettiin standardin mukaista mittaustapaa, joka on kuvattu tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Mittauslaitteiston asennus: Mittauslaitteisto asennetaan rakennuselementin pintaan siten, että se kattaa koko elementin pinnan. Mittauslaitteisto koostuu yleensä kahdesta levyistä, jotka on erotettu toisistaan eristeellä.

Lämmönläpäisykertoimen mittaus: Mittauslaitteisto asetetaan lämpötilasteikolla varustettuun huoneeseen, jossa on tunnettu lämpötila. Toinen mittauslaitteisto asetetaan ulkotilaan, jossa on myös tunnettu lämpötila.

Lämmönläpäisykerroin lasketaan mittaamalla lämpötilaero mittauslaitteiston sisä- ja ulkopuolella ja jakamalla se lämpövirtauksella. Mittausolosuhteiden

huomioiminen: Mittaukset on tehtävä olosuhteissa, joissa lämpötila on vakaa ja ilman virtaus on vähäistä. Mittaukset on tehtävä myös olosuhteissa, joissa rakennuselementin lämpötila on vakaa. (ISO-9869-1:2014E.)

### **3 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät**

Opinnäytetyö on tutkimuksellinen tapaustutkimus. Tutkimuksellisessa opinnäytetyössä tavoitteena on toteuttaa tutkimus, jossa opinnäytetyön tekijä ratkaisee määritetyn tutkimuskysymyksen, joka on rajattu tekijän ammattialaan (Karelia ammattikorkeakoulu 2023) eli tässä tapauksessa energiatekniikkaan. Tarkemmin ottaen opinnäytetyö rajautuu energiankäyttöön ja sen optimoimiseen kiinteistössä.

Opinnäytetyössä sovelletaan alan ja aihealueen kirjallisuutta sekä tutkimusta. Tutkimustehtävänä opinnäytetyössä on löytää mahdollisimman energiatehokas toimintamalli teknisten ratkaisujen sekä käyttöolosuhteiden osalta toimeksiantajan ylipainehallille sekä tuottaa tietoa mahdollisista muista teknisistä ratkaisuista, joita ylipainehallissa suositeltaisiin käytettävän.

Tutkimuskysymyksenä opinnäytetyössä on millä toimenpiteillä ylipainehallista saataisiin mahdollisimman energiatehokas ja onko se mahdollista ylipainehallin rakennusmateriaalin takia. Ylipainehallin materiaalista ei ole saatavilla olevaa tietoa esimerkiksi lämmöneristävydestä. Rakenteen lämmöneristävyys tutkitaan opinnäytetyössä.

Aihealueen kirjallisuuteen, säädöksiin ja ohjeistuksiin perehtymällä toteutettiin vaadittava teoriapohja opinnäytetyölle. Tietoperustan analyysin perusteella valittiin ylipainehallin nykyisen energiankulutuksen, lämpötilan ja lämmönläpäisykertoimen kartoittamiseen käytettävät kvantitatiiviset mittausmenetelmät.

## **4 Rakenteen energiatehokkuus ja lämmön käyttäytyminen**

### **4.1 Lämpötilakerrostuman tutkiminen ja mittaus**

Lämpötilakerrostuminen mitattiin ylipainehallista. Mittauksen avulla selvitettiin, nouseeko lämmin ilma hallin yläosaan ja jääkö käyttäjätasolle viileämpi ilmassa.

Lämpötilakerrostumisen mittaus toteutettiin RuuviTag-antureilla joiden validiteetti ja reliabiliteetti ovat korkealla tasolla opinnäytetyössä käytettävään havaintomuuttujien mittaamiseen.

Tieteellisesti pätevän mittarin luomiseen liittyvät tietyt olennaiset vaiheet. Ensinnäkin on tarpeen selkeästi määritellä se asia tai ilmiö, jota mittarilla halutaan mitata. Tämä vaatii ilmiön tarkkaa käsitteellistämistä ja määrittelyä. Seuraavaksi on kyettävä luomaan konkreettinen mittari, joka mahdollistaa tutkittavan ilmiön operationalisoinnin eli mitattavaksi muuttamisen. (fsd.tuni.fi)

Ylipainehalliin asennettiin RuuviTag-antureita jotka mittaavat lämpötilaa, aikaa, kosteutta ja liikettä. Opinnäytetyössä tästä datasta käytettiin aikamäärettä sekä lämpötilaa. Anturit asennettiin keskelle ylipainehallia, jotta hallin päädyssä olevat tuloilmapuhaltimet eivät sekoittaisi hallin todellisia lämpötilalukemia. Anturien asemointi toteutettiin käyttäjätasosta eli, yhdestä metristä, metrin välein mittauksen korkeimpaan anturiin, joka oli sijoitettu 11 metriin. Opinnäytetyössä tarkemman tarkastelun kohteeksi valittiin anturit, jotka olivat sijoitettuna 1, 6, 9 ja 11 metriin datagraafin selventämiseksi. Jokaisesta mittarista datan tuominen graafille ei antanut lisätietoa ja vaikeutti graafin lukemista. Näiden korkeuslukemien valinnalla oli suurin mahdollisuus nähdä mahdollinen lämpötilan kerrostuminen.



Kuva 1. RuuviTag-antureiden sijoittelu (Kuva: Eero Nissinen 2023).

## 4.2 Lämpökamera kuvaus

Lämpökameraa voidaan tehokkaasti käyttää energiatehokkuuden parantamiseen rakennuksissa. Kamera paljastaa lämpövuodot ja eristysongelmat rakennuksen seinissä, katossa ja lattiassa ja auttaa paikantamaan nämä puutteet. Lisäksi se havaitsee ilmavuodot, jotka voivat aiheuttaa lämpöhäviöitä, ja auttaa niiden paikantamisessa ja korjaamisessa. Rakennuksen sisäisen lämpötilajakauman arvioinnissa lämpökamera on hyödyllinen ja auttaa optimoimaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä. Sitä voidaan myös käyttää ennen ja jälkeen energiatehokkuushankkeiden toteuttamista seuraamaan, miten parannukset vaikuttavat rakennuksen ominaisuuksiin.

Lämpökamera havaitsee rakenteiden kylmäsilat ja auttaa ennakoivassa kunnossapidossa paljastaen mahdolliset viat, mikä ehkäisee suurempia



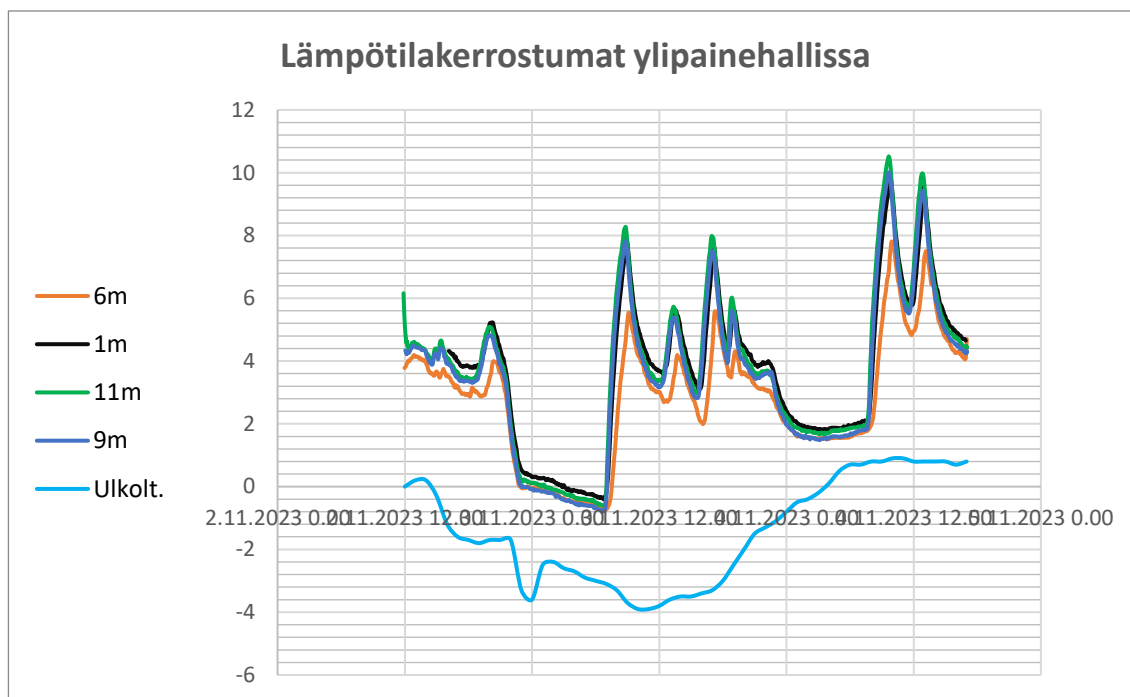
korjauksia tulevaisuudessa. Yleisesti ottaen lämpökamera on voimakas työkalu piilevien ongelmien havaitsemiseen ja energiatehokkuuden optimoimiseen rakennuksissa. Lämpökameralla saadaan selville ylipainehallista tuloilmapuhaltimien kautta tuleva lämmönjakautuminen sekä tietoa puhaltimien suuntaukseen.

### **4.3 Energiavirtausmittaus**

Opinnäytetyössä käytettiin Hukseflux thermal sensor TRSYS20-energiavirtausmittaria selvittämään ylipainehallin rakenteen lämmönläpäisykerrointa eli U-arvoa sekä materiaalikerroksen lämmönkestävyyttä eli R-arvoa. Nämä suureet ovat tärkeässä asemassa ylipainehallin rakenteen lämmöneristävyyden mittaamiseksi. Tätä kautta niillä on merkitystä myös energiatehokkuuden kannalta. Mittari asennettiin ylipainehallin päätyyn. Syynä tähän oli se, että mittari tarvitsee ulkolämpötilamittauksen, joka toteutetaan mittariin johdolla liitettävällä anturilla. Hallin päädyssä on huolto-ovi, josta oli mahdollista saada mittari vaipan toiselle puolelle ilman rakenteen rikkomista. Mittauksessa käytettiin ISO 9869 standardia. ISO 9869 standardi määrittelee mittaukselle tärkeitä arvoja sekä ohjeita. Huomionarvoista mittauksessa on kuitenkin, että ylipainehallin ainoa läpivienti sijaitsee huoltotunnelissa, joten ainoa mahdollinen sijoituspaikka mittarille perustui tähän. Mittari oli 16 metrin päässä tuloilmapuhaltimista, joten tämä täytyy tuloksia tarkastellessa huomioida. Standardin mukaan mittarin sijoittamista lämmityslaitteiden läheisyyteen on vältettävä. On kuitenkin tulkinnanvaraista mitä termillä ”läheisyyteen” konkreettisesti tarkoitetaan.

## **5 Mittausten tulokset**

### **5.1 Lämpötilakerrostumien tulkinta**



Taulukko 1. Datagraafi lämpötilakerrostumista. 2023. Eero Nissinen

RuuviTag-mittareilla saatu data ei osoittanut suurta lämpötilakerrostuneisuutta ylipainehallissa. Lämpö nousee fysikaalisena ilmiönä ylöspäin ja kylmempi ilma laskeutuu alemmalle tasolle. (Kabele, 2011. 6) Ylipainehallin tapauksessa hallin rakenne ei pidätä lämpöä riittävän korkealla tasolla, jotta tuotettu lämpö jäisi halliin. Sen sijaan lämpö häviää rakenteen läpi. Ylipaineisessa rakennuksessa ilmavirtauksen suunta on sisätiloista ulospäin. (Holmström, Pitkäranta, Nieminen, 2016. 199)

Hallin tavoitekäyttölämpötilaksi on määritetty + 3 astetta. Tämän lämpötilan määrittely on toteutettu hallin oman automaation ja lämpöanturin kautta. RuuviTag-antureilla saadun datan perusteella hallin omasta automaatiojärjestelmästä tavoitelämpötila olisi perusteellista säätää +2-asteeseen, jolloin todellinen lämpötila olisi lähempänä tätä tavoitelämpötilaa 3-astetta. Tällä toimenpiteellä saadaan toteutettua toivottuja energiasäästötoimenpiteitä. (Harju, 2010. 130).

## 5.2 Normeerattu lämmitysenergian kulutus

Energiankulutus on yksi tärkeimmistä mitattavista arvoista, jotta työlle saadaan konkreettinen mittauspohja mahdollisille energiatehokkuustoimille. Kulutusta voidaan tällöin verrata alkuperäiseen lukemaan ennen toimenpiteitä.

Energiankulutuksen mittaus toteutuu paikallisen lämmöntuottajan Savon Voiman omilla mittareilla. Sähkönkulutuksen mittaus toteutuu sähköntuottajan omilla mittareilla.

Ylipainehallin energiankulutusta verrattiin Järvenpäässä sijaitsevaan samanlaiseen ylipainehalliin. Tällä vertailulla haluttiin varmistua siitä, että ylipainehallissa ei ole rakennusteknisesti vikaa energiankulutuksen näkökulmasta. Toteutuneet kaukolämmön kulutuslukemat ajanjaksolla 1.1.2022-1.11.2022 olivat normeerattuina Joensuussa 642,2 MWh ja Järvenpäässä 598 MWh. Kulutuslukemien eroavaisuutta voidaan selittää ylipainehallissa käytössä olevalla Snow-protection järjestelmällä.

Snow-protection järjestelmä toimii seuraavanlaisella periaatteella. Lumisateen aikaan hallia lämmitetään täydellä teholla, jotta lumenpaine ei romahduta hallia. Lumi sulatetaan johtuvalla lämpöenergialla ylipainehallin päältä pois. Joensuun ja Järvenpään hallien maantieteellisen sijainnin eroavaisuus on tässä avainasemassa. Joensuussa tyypillinen lumensyvyys 15.3 vertailukaudella 1991-2020 on 60-80cm. Järvenpäässä vastaava luku on 20-30cm. Myös lumipeitepäivien määrässä on huomattava eroavaisuus. Joensuussa lumipeitepäiviä on 160-175 päivää ja Järvenpäässä 115-130 päivää (Ilmatieteen laitos, 2023.)

Ylipainehallin toteutunut sähkönkulutus ajankohtana 1.1.2022-3.1.2022 oli Joensuussa 213 331,6 kWh ja Järvenpään hallissa samana ajankohtana 232 765,0 kWh. Sähkön kulutuslukemien perusteella Joensuun hallissa ei ole ilman tarkempaa tarkastelua ylimääräistä sähkönkulutusta havaittavissa. Eroa voidaan miettiä käyttäjämäärien, valaistuksen tarpeen, sekä tuloilmapuhaltimien ajankäytön perusteella. Sähkönkulutuksen eroavaisuuden selvittämiseksi suositellaan lisätutkimuksia.

Ylipainehallin ilmanvaihtokoneiston huoltoon ja ylläpitoon olisi suositeltavaa investoida. Likaiset tai rikkiäiset suodattimet voivat heikentää ilmanvaihtokoneikon hyötysuhdetta ja heikentää sisäilmaolosuhteita

ylipainehallissa. Olisi suositeltua vaihtaa suodattimet 6kk välein sekä tuloilmakanaviston puhdistamista vähintään 5 vuoden välein. (Hyvärinen J. 2023.)



Kuva 2. Tuloilmakoneen ilmansuodatin keväällä 2023. Eero Nissinen.

### 5.3 Lämpökamerakuvien tulkinta

Lämpökameralla on otettu kuvia 17.11.2023 klo 8:45. Ulkolämpötila oli tuolloin -7,6 astetta (Ilmatieteen laitos. Havaintojen lataus-palvelu, 2023.)

Lämpökamerakuvista saadaan tietoa, kuinka lämmin ilmavirta vaikuttaa hallin sisäpintoihin ja mihin suuntaan lämpö liikkuu tuloilmapuhaltimien tuloaukoista. Kuvilla voidaan havainnollistaa myös ylipainehallin mahdollisia kylmäsiltoja.

Lämpökamerana toimi FLIR E76. Lämpökameran asetuksia ei lähdetty automaattisesti säätyvistä parametreista muuttamaan, mukaan lukien emissiivisyys. Kuvatessa noudatettiin valmistajan suosituksia kuvaamisesta. (User manual, FLIR Exx-series. 2024. 9.)

Lämpökameran kuvista voitiin päätellä, että lämmitetty tuloilma on suunnattu pääsääntöisesti ylipainehallin kattoa kohden. Tämä todennäköisimmin johtuu Snow-protection ominaisuudesta, eikä se ole optimaalinen lämmönjakoa ajatellen. Opinnäytetyön perusteella suositellaan lisätutkimusta tuloilmakanavaan asennettavien säätöpeltien asennusta varten. Säätöpelti olisi kytkettävä rakennusautomaatioon joka, määräisi pellin asennon. Snow-protection ominaisuuden ollessa pois päältä, pelti ohjaisi tuloilmaa enemmän käyttäjätasoon, jolloin hallin lämpötilaa saatettaisiin saada lämpimämmäksi samalla energiankulutuksella. Lämmin tuloilma ohjautuisi enemmän käyttäjätasolle, jolloin lämpö säilyisi hieman pitempään hallissa. Puhallettava tuloilma oli ajankohtana 17.11.2023 klo 8:45 11,3-asteista ja hallin sisälämpötila 2-astetta. Lämpökameran kuvista voimme päätellä, että pituussuunnassa hallin puolenvälin jälkeen katon pintalämpötila on jo alle 0-astetta. Lämpökameran kuvien havaintojen perusteella suositellaan tutkittavaksi hätäuloskäyntien sivuseinärakenteiden päällystämistä Finnfoam-eristeellä energiatehokkuuden parantamiseksi ja kylmäsiltojen katkaisuksi. Tämä toimenpide vaatii lisätutkimuksien tekemistä ennen toteuttamista, jotta voidaan varmistaa toimenpiteen vaikutus rakenteeseen homehtumisriskin välttämiseksi.

## Mittaukset

Bx1	Max	7,0 °C
-----	-----	--------

## Parametrit

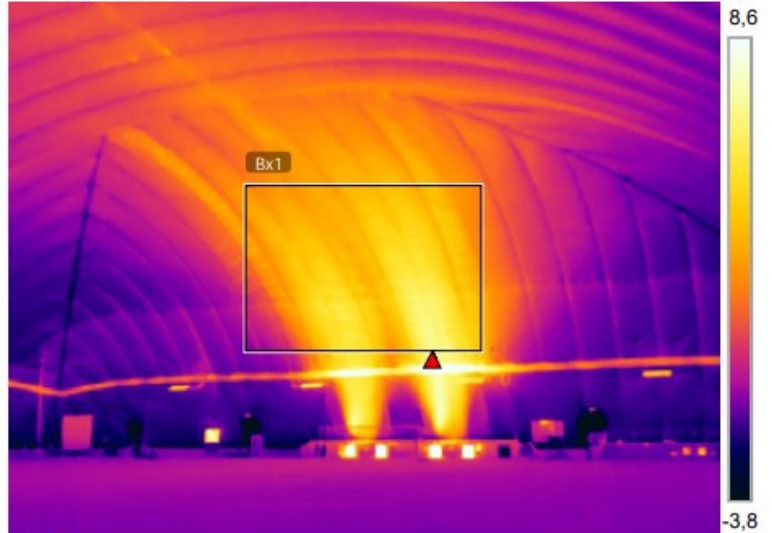
Emissiivisyys	0.96
Heij. näenn.lämp.	20 °C

## Maantieteellinen sijainti

Sijainti	N 62° 36' 47,53", E 29° 49' 29,95"
----------	------------------------------------

<http://maps.google.com/?z=17&t=k&q=62.6132,29.8250>

17.11.2023 8.58.28



FLIR1948.jpg

FLIR E76

78519504

17.11.2023 8.58.28



FLIR1948.jpg

FLIR E76

78519504

Kuva 3. Lämpökamerakuva ylipainehallin sisältä (Eero Nissinen, 2023).

## Mittaukset

Bx1	Max	10,2 °C
-----	-----	---------

## Parametrit

Emissiivisyys	0.96
---------------	------

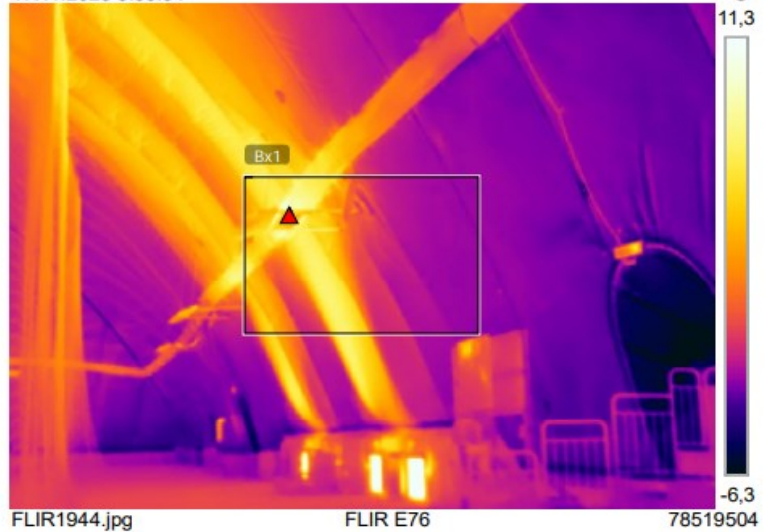
Heij. näenn.lämp.	20 °C
-------------------	-------

## Maantieteellinen sijainti

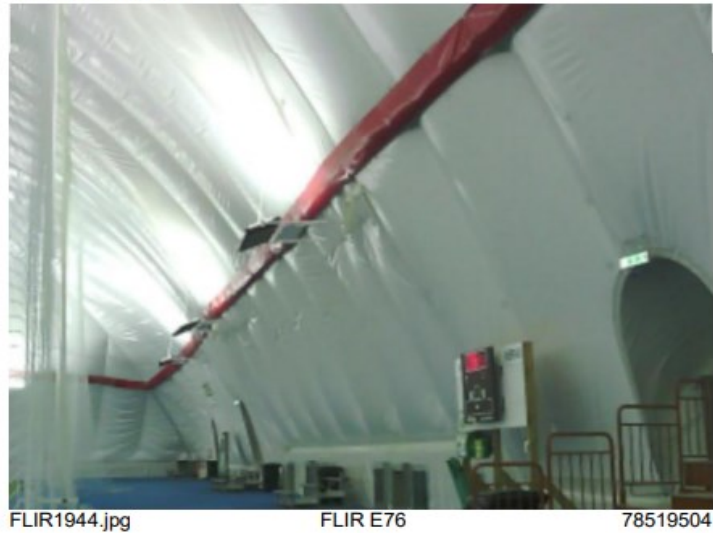
Sijainti	N 62° 36' 49,67", E 29° 49' 29,55"
----------	------------------------------------

<http://maps.google.com/?z=17&t=k&q=62.6138,29.8249>

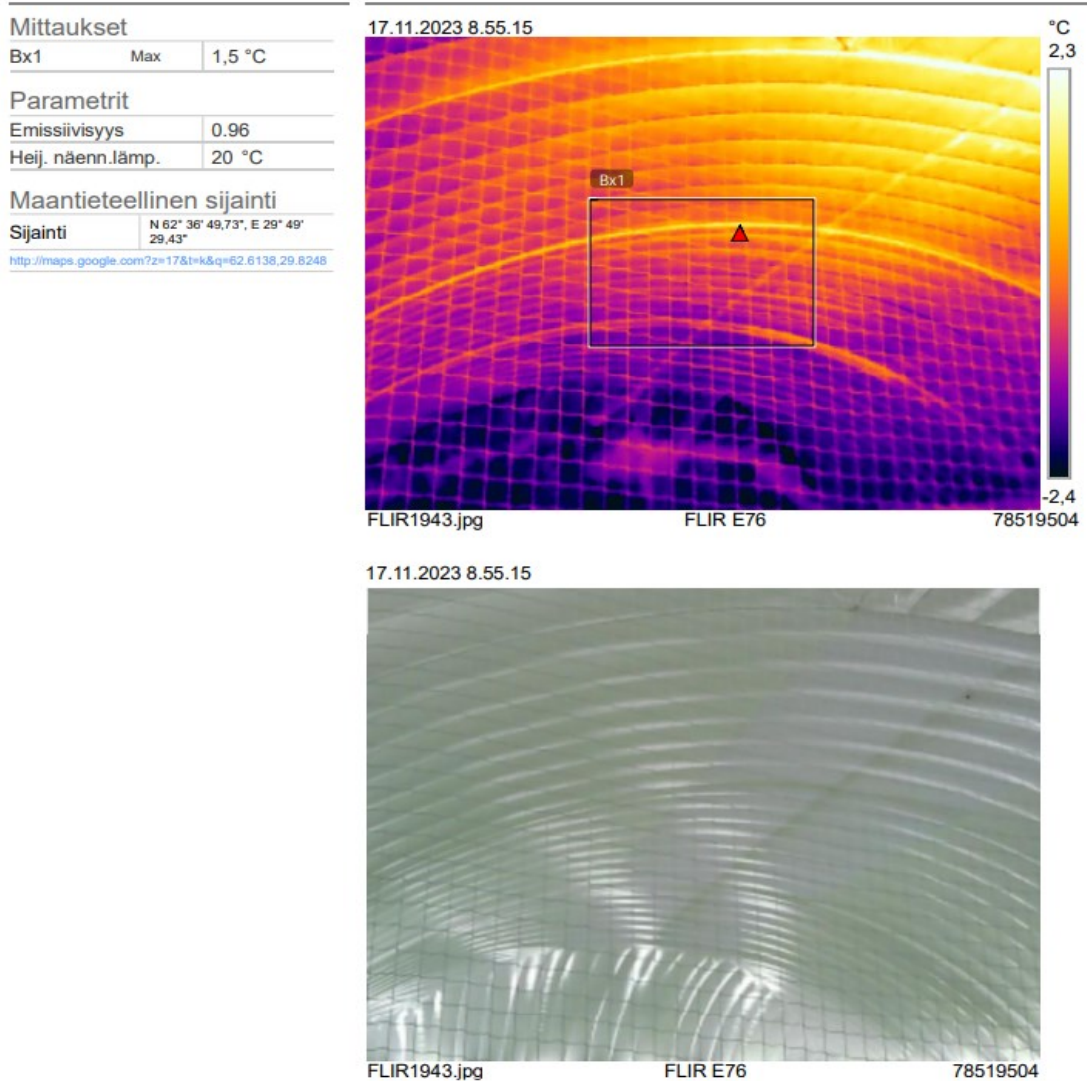
17.11.2023 8.55.34



17.11.2023 8.55.34



Kuva 4. Tuloilmapuhaltimen tuloaukko (Eero Nissinen, 2023).



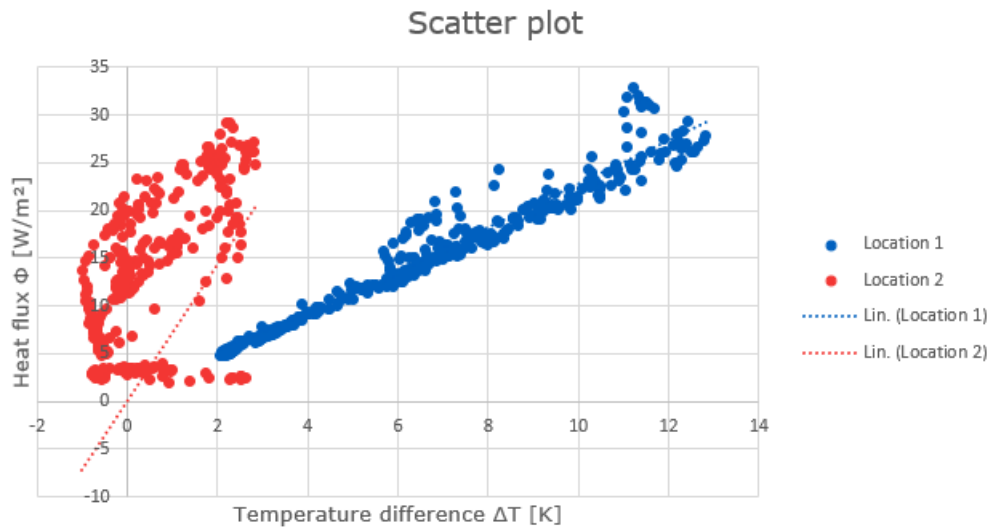
Kuva 5. Ylipainehallin katto. (Eero Nissinen, 2023).

#### 5.4 Energiavirtausmittarin tulokset

Lämmönläpäisykertoimen mittaus toteutettiin energiavirtausmittari Hukseflux thermal sensor TRSYS20:lla. Kyseinen mittalaite on hankittu Karelia ammattikorkeakoulun käyttöön syksyllä 2023 ja tässä opinnäytetyössä sitä käytettiin ensi kertaa. Mittauksessa noudatettiin ISO 9869 standardia. Mittaus toteutettiin koekäyttönä ja mittauksen validiteetti ja reliabiliteetti eivät ole korkeimmalla mahdollisella tasolla. Tämä huomioidaan tulosten tarkastelussa. Mittauksen validiteettia ja reliabiliteettia heikensi hallin rakenne. ISO 9869-standardin mukaan rakennuselementin lämpötila tulisi olla vakaa. Hallin



rakenteen takia tämä osio aiheuttaa todennäköisesti virhemarginaalia mittaukseen. Rakenteen sisällä oleva ilmapatja on jatkuvassa kierrossa, joten sitä ei voida pitää stabiilina lämpötilaolosuhteena.



Kuva 6. (Hukseflux thermal sensor TRSYS20, 2023)

Mittauspaikka 1 oli onnistunut mittaus. Tulos on esitetty kuvassa sinisellä pohjalla, graafi kuvaa vaipan lämpötilan eroa x-akselilla ja y-akselilla lämpövirran tiheyttä. Tulosten perusteella ylipainehallin materiaali on verrattain vahvasti lämmönläpäisevää ja täten energiatehokkuuden kannalta soveltumaton Suomen ilmastoon. Hallin sisä- ja ulkolämpötilan välisen eron kasvaessa, hallin rakenne päästää lämpöä johtamalla ulkopuolelle. Vertailun vuoksi Suomessa rakennettavan uuden omakotitalon ulkoseinän U-arvo tulee olla vähintään  $0,17 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$  riippuen rakennusmateriaalin käytöstä, tästä poikkeuksena esimerkiksi hirsiseinärakenne, jonka vaadittu arvo on  $0,40 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ . (ym.fi)

Energiavirtamittarilla saadaan tietoon R-arvo, josta voidaan johtaa U-arvo.

Tiedetään, että  $U = \frac{1}{R}$  ja mittauksesta saatu arvo  $R = 0,44$ , voidaan sijoittaa R

kaavaan  $U = \frac{1}{0,44}$ . Josta laskutoimitus on  $U \approx 2,2727$  (C3, Suomen

rakentamismääräyskokoelma, ym.fi).

Energiavirtamittarista saadulla datalla voidaan laskea kuinka paljon lämpövirtaa kulkee pinta-alan yksikköä kohti. Suurempi heat flux tarkoittaa suurempaa

lämpövirran tiheyttä. Lukemat ovat keskiarvoja ja kaava on  $Heat\ Flux = \frac{\Delta T}{R}$ .

Missä:

Heat Flux on lämpövirran tiheys ( $W/m^2$ )

$\Delta T = 10K$  on lämpötilaero (Kelvin)

$R = 0,44$  on lämmöneristyskyky ( $m^2K/W$ )

$$Heat\ Flux = \frac{10}{0,44} \approx 22,73\ W/m^2$$

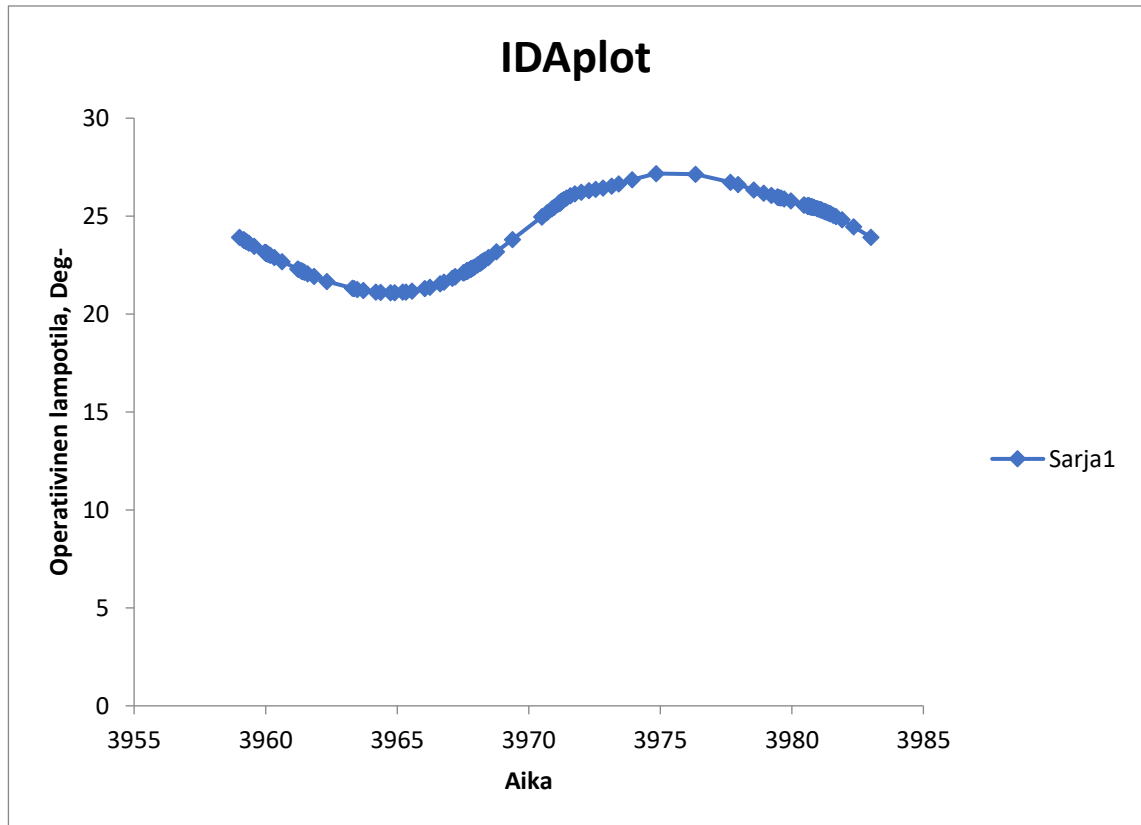
Näiden mittaustulosten perusteella ylipainehallin materiaali on erittäin heikko pitämään lämpöä sisällä. (Tekniikan Fysiikka 1, Kari Suvanto, 2003, 449-450.)

## 5.5 Olosuhdesimulointi IDA-ICE

CAD-mallinnus toteutettiin suunnikkaan muotoisella mallilla, mallinnuksen yksinkertaistamiseksi. Mallin mitat leveys- ja pituussuunnassa vastaavat ylipainehallin mittoja. Korkeudeksi määritettiin 18 metriä mallin vuodon vuoksi. Laskennassa hallin maksimilämpötilaksi määritettiin 25-astetta.

Simuloinnissa käytettävä kuukausi oli kesäkuu, jonka IDA-ICE valitsi huipputehokuukaudeksi. Jäähdytysmallissa käytettiin tuloilmajäähdytystä, jonka huipputehoksi laskenta antoi 168,7kW sekä tilajäähdytystä jolle huipputehoksi laskennassa saatiin 171,5kW. Huippujäähdytystehoksi saatiin 340,2kW aikamääränä 14.6.2024. Tuloilmavirtana oli 16 347 l/s, kun tuloilman määrä on mitoitettu 50 % huipputeholle tuloilmavirtamalle. Ylipainehallin rakenteen vuoksi poistoilmavirtamalle ei ole ollenkaan käytössä, joten ainoastaan vuotoilma huomioitiin laskennassa. Mainituilla jäähdytystehoilla ylipainehallin kesäajan käyttölämpötila olisi 25-astetta ja operatiivinen lämpötila 26,79-astetta huipputehojäähdytyksen aikaan.

Ilman ylipainehallin jäähdytystä on mietittävä kesäajan käyttöä ja sisäilmaolosuhteita. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista mainitaan, että huoneilman lämpötilan olisi oltava lämmityskauden ulkopuolella + 18 °C – + 32 °C. (Finlex.fi, 2015)



Kuva 7. (IDA-ICE Operatiivinen lämpötila ylipainehallissa huipputehojäähdytyksen aikaan 14.6.2024, 2024)

Hallin sisäilmaolosuhteiden arviointiin suositellaan tehtäväksi lisätutkimuksia IDA-ICE simulaatio-ohjelmalla täysin optimaalisten tulosten löytämiseksi. Myös laitevalinta sekä primäärijärjestelmän käyttö pääsääntöisenä jäähdytyksenä tulee tutkia. Ylipainehallin rakenteen vuoksi tulisi tutkia tulo-, sekä poistoilman määrä, jotta tuloksista saataisiin tarkempia.

## 6 Tulosten arviointi

Opinnäytetyössä ei havaittu mittausten perusteella suuria energiansäästökohteita- tai toimenpiteitä. Työssä esiteltiin yksittäisiä toimenpide-ehdotuksia, jolla saadaan toimeksiantajalle aikaan pientä vähennystä energiankulutuksessa. Näitä olivat tavoitelämpötilan lasku yhdellä asteella, hätäuloskäytävien betonien pinnoittaminen finnfoam-levyillä, tuloilmanohjaus sekä teknisten laitteiden huolto ja ylläpito. Suositeltavaa olisi myös käydä keskustelua aamupäivän käyttäjien kanssa ylipainehallin käytöstä.

Iso osa aamun ja aamupäivän vuoroista oli sen hetkisen varauskalenterin mukaan sekä syksylle 2023 ja keväälle 2024 varattu Rantakylän koululle. Kuitenkin opinnäytetyön vierailukäyntien aikaan, kun hallissa oli varattuja vuoroja kyseiselle koululle, hallissa ei ollut paikalla käyttäjiä. Asiasta olisi hyvä tehdä lisätutkimusta. Samalla voitaisiin miettiä, olisiko mahdollista toteuttaa kalenteria, jolla varmistettaisiin vuoron käyttö ja se, onko käyttäjiä tulossa paikan päälle. Tällä varmennuksella voitaisiin vähentää talvipäivien turhaa lämmitystä tyhjälle ylipainehallille. Opinnäytetyön tulokset antoivat tieteellisen pohjan alkuperäiselle epäilylle, että ylipainehalliin ei ole mahdollista saada huomattavia energiansäästötoimenpiteitä aikaiseksi.

Työssä selvitettiin, mistä suuri energiankulutus johtuu ja sen tulokset korreloivat hyvin käytettyyn tietoperustaan, toteutettuihin mittauksiin sekä opinnäytetyössä suositeltaviin toimenpiteeseen. Simulaation tuloksissa rajoitteena tulee ottaa huomioon tekijän kokemattomuus IDA-ICE käyttäjänä ja tutkijana. Tutkimuksessa käytettyjen mittausten ja mittalaitteiden reliabiliteetti on kuitenkin verrattain korkealla tasolla. Tämä antaa tulosten ja koko tutkimuksen näkökulmasta tutkimukselle tarkkaa tietoa, vaikka tutkimuksen on suorittanut opiskelija kenen ammattitaito ei ole vielä kertynyt huippuunsa, tästä syystä tulosten tulkinnassa on kuitenkin hyvä käyttää kriittisyyttä.

## Lähteet

- Energiankulutuksen normitus.  
[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian kaytto/kulutuksen\\_normitus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus). 2.11.2023.
- FLIR lämpökameran opas. <https://www.manua.ls/flir/e76/manual?p=16>.  
 20.1.2024
- Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola, Penan Tieto-Opus Ky.
- Holmström, J., Pitkäranta, M., Nieminen, K. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. 2016
- Heinonen, J., Holmberg R., Hyvärinen, K., Hänninen, R., Jokinen, L., Kauppila, K., Keinonen, P., Koivula U., Koskela H., Koskinen, E., Kosonen, R., Laine, T., Liljeström, K., Lonnström, J., Mustakallio, P., Mäkinen, P., Nykvist, A., Paasio, I., Pessi, P., Petterson, H., Pihlajamaa, P., Railio, J., Rantama, M., Ripatti, H., Sahlsten, T., Sandberg, E., Silvan, J., Sundman, T., Säteri, J., Tammivaara, H., Valkeapää, A., Vuolle, M. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Heinonen, J., Holmberg R., Hyvärinen, K., Hänninen, R., Jokinen, L., Kauppila, K., Keinonen, P., Koivula U., Koskela H., Koskinen, E., Kosonen, R., Laine, T., Liljeström, K., Lonnström, J., Mustakallio, P., Mäkinen, P., Nykvist, A., Paasio, I., Pessi, P., Petterson, H., Pihlajamaa, P., Railio, J., Rantama, M., Ripatti, H., Sahlsten, T., Sandberg, E., Silvan, J., Sundman, T., Säteri, J., Tammivaara, H., Valkeapää, A., Vuolle, M.. 2014 Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Hyvärinen J, Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, Talotekninen teollisuus ja kauppa ry, 2023.
- IDA-ICE kotisivut. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>. 2.12.2023
- Ilmatieteen laitos. 2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lumitilastot>, 10.1.2024
- ISO-9869-1:2014E-standardi
- Kabele K., Hojer O., Kotrbaty M., Sommer K., Petras D., Energy Efficient Heating And Ventilation Of Large Halls. 2011. Brysseli, REHVA.
- Korkala, T. 2021. Lämmitys, hoito ja huolto. Helsinki, Kiinteistömedia Oy.
- Korkala, T. 2020. Ilmanvaihto, hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- Mittaaminen: Mittarin luotettavuus. Tampereen yliopisto.  
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/mittaaminen/luotettavuus/>. 25.11.2023
- Normeeraus ja lämmitystarveluku  
[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian kaytto/kulutuksen\\_normitus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus). 30.11.2023
- Piikkilä, V. 2011. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere. 28.10.2023.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545#Pidm46651396232752>  
 15.1.2024
- Suomen rakentamismääräyskokoelma. D3. 2011.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3, [www.ym.fi](http://www.ym.fi)

Suvanto, K. 2003 Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita Publishing Oy