

Samu Lipponen

BETONIAUTOJEN PESUHALLIN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Samu Lipponen
Työn nimi	Betoniautojen pesuhallin lämmitysjärjestelmä
Toimeksiantaja	Karjalan Betoni Oy
Vuosi	2022
Sivut	53 sivua, liitteitä 1 sivua
Työn ohjaaja(t)	Teemu Lahikainen, Jani Terävä

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena on valita betoniautojen pyörintäsäiliöiden pesuhalliin lämmitysjärjestelmä. Työn tilaajana toimii valmisbetonia valmistava Karjalan Betoni Oy Rautjärveltä.

Pesuhalli on rakennusvaiheessa, eikä sen suunnittelussa ja rakentamisessa ole varauduttu mihinkään tiettyyn lämmitysjärjestelmään, joten suunnittelu oli aloitettava aivan alusta. Hallin sisälämpötilaksi riittää sellainen, että sisällä olevien saostusaltaiden vesi pysyisi sulana mitoitusolosuhteissa, joten suunnittelussa sisälämpötilaksi valikoitui +5 °C.

Työ aloitettiin aloituspalaverilla tilaajan kanssa, jossa suunniteltiin, mitä työn lopputulokselta toivottiin, sekä tutustuttiin itse halliin, sen suunnittelutietoihin ja siihen, millaisia rakenteellisia ratkaisuja hallin rakentamisessa on käytetty.

Aloituspalaverin ja suunnittelutietojen pohjalta työn seuraavana vaiheena oli laskennallisesti selvittää kaikkien rakenteiden lämmönjohtavuudet, jotta hallin rakenteille pystyttiin laskemaan lämmitystehontarve. Laskennassa on myös laskettu tehontarve vuoto- ja korvausilmalle. Lisäksi saostusaltaista haihtuva kosteus aiheuttaa oman tarpeensa lämmitykselle, joten tämä on otettu myös huomioon.

Lämmitystehontarpeen pohjalta laitevalmistajiin oltiin yhteydessä, olisiko heillä ollut tarjota kohteeseen sopivaa ilmanvaihtojärjestelmää. Tällaista järjestelmää ei kuitenkaan ollut, joten työssä suositellaan tilaajaa järjestämään hallin ilmanvaihto ainoastaan koneellisen poiston avulla.

Vaihtoehtoiksi lämmitysjärjestelmälle valikoitui laskennan pohjalta polttoainekäyttöinen infrapunälämmitin, sähkölämmitin tai infrapunälämmittimen ja kolmen ilmalämpöpumpun yhteisjärjestelmä.

Hankinta- ja energiankulutuslaskelmien pohjalta, elinkaarikustannuksiin perustuen tilaajalle suositellaan ilmalämpöpumppuja sekä sähkölämmitintä tukena.

Työn edetessä havaittiin myös, että varsinkin sokkeleihin olisi helppoa toteuttaa lisälämmöneristystä. Halliin kannattaisi myös rakentaa väliseinä, jolloin lämmitettävän tilan koko pienenee lähes puoleen. Väliseinän ansiosta sekä järjestelmän hankinta että käyttökustannukset pienenisivät huomattavasti.

Asiasanat: lämmitysjärjestelmä, lämmitystehontarve, energiankulutus, ilmalämpöpumppu

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Samu Lipponen
Thesis title	Heating system for concrete mixers washing hall
Commissioned by	Karjalan Betoni Oy
Time	2022
Pages	53 pages, 1 pages of appendices
Supervisor	Teemu Lahikainen, Jani Terävä

ABSTRACT

The subject of this thesis was about choosing a heating system for a washing hall of concrete mixer trucks. This work was assigned by Karjalan Betoni Oy, a company that produces ready-mixed concrete in Rautjärvi, Finland.

The washing hall is at its construction stage and no specific heating system had been considered when planning and building the hall. The client (Karjalan Betoni Oy) had a wish at the beginning that the heating system would include an air source heat pump and a ventilation machine with heat recovery. The hall's inside temperature could be +5 °C so it would be warm enough to heat the coagulation basin water and keep it melted.

At the first meeting with the customer it was discussed what wishes the client had regarding the final results. We also got to know the washing hall properly and what kind of constructional solutions were used when building the hall.

Based on the first meeting and planning information, the next step was to examine all construction thermal conductivities so we could calculate the integrated heating capacity. We also calculated the power need for leakage air, make-up air and for the moist coming out of the coagulation basins.

When we had calculated those, we were in contact with the equipment manufacturers to ask for offers for appropriate ventilation systems. The manufacturers did not have any so in this work I recommend the customer to organize the ventilation of the hall only with forced ventilation.

Based on the calculations, the options for the heating systems were a fuel-operated infrared heater, electric heater or a combination of an infrared heater and three air-source heat pumps.

Purchase- and energy consumption calculations combined to life cycle costs were shown that the buyer should prefer air source heating pumps and electric heater.

During the research process we discovered that it would be easy to produce extra thermal insulation via plinths. It would also be worthwhile to build a dividing wall. In that way the space that needs to be heated would be split into half so the system purchase and operating costs would decrease significantly.

Keywords: heating system, integrated heating capacity, energy consumption, air source heat pump

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KESKEISIMMÄT KÄSITTEET	8
2.1	Lämmitysjärjestelmä	8
2.2	Lämmönläpäisykerroin.....	8
2.3	Lämmitysteho	8
2.4	Lämmitysenergia	8
2.5	Infrapunalämmitin	9
2.6	Ilmalämpöpumppu	9
2.7	SCOP	9
2.8	Elinkaariajattelu	10
2.9	Kestävä kehitys.....	10
2.10	Hiilijalanjälki	10
2.11	Elinkaarikustannus.....	11
2.12	Takaisinmaksuaika	11
3	MENETELMÄT	11
4	LÄHTÖTIEDOT.....	12
4.1	Työn tilaaja	12
4.2	Pesuhallin lähtötiedot ja käyttötarkoitus.....	12
4.2.1	Hallin sijainti ja mitoituslämpötilat	14
4.2.2	Hallin mitat	15
4.2.3	Hallin rakenteet.....	15
5	TEORIA JA LASKENTAMENETELMÄT	17
5.1	Kokonaislämmitystehontarve	17
5.2	Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet	20
5.3	Johtumishäviöt ja viivamaiset lisäkonduktanssit	21
5.4	Vuotoilman lämmitystehontarve.....	22
5.5	Kosteus.....	23

5.6	Korvausilman lämmitystehontarve	25
5.7	Lämmitysenergian tarve.....	26
6	LAITEVAIHTOEHDOT	29
6.1	Polttoainekäyttöinen infrapunalämmitin	29
6.1.1	Tekniset tiedot	29
6.1.2	Hankinta- ja käyttökustannukset	30
6.2	Sähkölämmitin	30
6.2.1	Tekniset tiedot	30
6.2.2	Hankinta- ja käyttökustannukset	30
6.3	Ilmalämpöpumppu	31
6.3.1	Tekniset tiedot	31
6.3.2	Hankinta- ja käyttökustannukset	32
6.4	Energian hinta.....	32
6.4.1	Taustaa.....	32
6.4.2	Lämmitysenergian vuosikustannus	33
7	LÄMMITYSTEHON - JA ENERGIANTARVE LASKENNAN TULOKSET	34
7.1	Kokonaislämmitystehontarve	34
7.2	Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet	35
7.3	Johtumishäviöt ja viivamaiset lisäkonduktanssit	37
7.4	Vuotoilman lämmitystehontarve	38
7.5	Kosteus.....	38
7.6	Korvausilman lämmitystehontarve	40
7.7	Lämmitysenergian tarve.....	41
8	JÄRJESTELMIEN VERTAILU	44
8.1	Hankinta- ja käyttökustannukset	44
8.2	Takaisinmaksuaika	45
8.3	Kestävä kehitys.....	46
9	TULOSTEN RAPORTOINTI JA ANALYYSI	47
9.1	Johtopäätökset	47

9.2 Työn eteneminen ja sen haasteet.....	49
LÄHTEET.....	51

LIITTEET

Liite 1. Muiden rakenneosien kuin yläpohjan lämpöenergian häviöt

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössäni käsittelen betoniautojen pesuhallin lämmitysjärjestelmän valintaa. Työn tilaajana toimii Karjalan Betoni Oy, jossa parhaillaan työskentelen tuotantoinsinöörin nimikkeellä. Oma työnkuvani yrityksessä on vastata hankinnoista, vesikaivohuoltojen organisoinnista sekä tarjouslaskennasta.

Opinnäytetyössäni tarkoitukseni on valita betoniautojen pesuhalliin soveltuva lämmitysjärjestelmä. Pesuhalli toimii niin, että betoniautojen pyörintäsäiliöt pestään hallin ulkopuolella kouruun, josta pesuvesi otetaan saostusaltaidenkautta takaisin käyttöön pesuvedeksi. Pesuvedet sijaitsevat säiliöissä hallin sisäpuolella. Hallissa ei ole mitään toimisto- yms. tiloja, ainoastaan saostusaltat sekä pesuvesisäiliöt, joten tarkoituksena hallissa olisi pitää lämpötila sellaisena, ettei vesi pääse jäätymään kovillakaan pakkasilla. Siispä olen tässä työssäni käyttänyt hallin sisälämpötilana + 5°C. Kosteuskuorma hallissa on melko suuri saostusaltaista haihtuvan veden vuoksi. Halli on vielä rakennusvaiheessa oleva uudisrakennus, ja se on pinta-alaltaan noin 260 m² ja korkeudeltaan 5,5 m.

Tilaajalla on lähtötietoina muutamia toiveita siitä, mitä haluaa tulevalta lämmitysjärjestelmältä. Näitä tilaajan asettamia kriteereitä ovat tietysti se, että lämmitysteho riittää kovimmillakin pakkasilla pitämään pesuveden sulana, sillä betonitehtaalla toiminta on ympärivuotista. Myös hallin ilmankosteus olisi oltava hallittavissa sekä tietysti hankinta- ja käyttökustannukset olisivat kuitenkin pysyttävä maltillisina, sillä halli ei kuitenkaan ole varsinainen tuotantotila. Alkuun mahdollisina vaihtoehtoina aloitin kartoittamaan ilmanvaihtokonetta varustettuna lämmöntalteenotolla ja tämän apuna vielä mahdollisesti ilmalämpöpumppu. Toinen vaihtoehto olisi mahdollisesti kiinteästi asennettava öljylämmitteinen ilmanlämmitin.

Työn lopputulemana on valita halliin mahdollisimman energiatehokas lämmitysjärjestelmä, joka muodostuu kannattavaksi niin hankinta- kuin käyttökustannustenkin osalta. Työn edetessä paljastui myös mahdollisia kehitystoimenpiteitä varsinkin eristyksen suhteen.

2 KESKEISIMMÄT KÄSITTEET

2.1 Lämmitysjärjestelmä

Järjestelmä, jolla tuotetaan rakennuksen lämmitysenergian tarve.

Lämmitysjärjestelmän tehtävinä on tilojen lämmitys, ilmanvaihdon lämmitys sekä lämpimän käyttöveden lämmitys.

Rakennuksen lämmitysjärjestelmään kuuluu lämmönkehityslaitteistö, jolla lämmitysteho tuotetaan (esimerkiksi lämpöpumppu), lämmönvarastointilaitteisto (esimerkiksi vesivaraaja), lämmönjakolaitteisto, jolla lämmitysteho välitetään kohteisiin, jossa sitä tarvitaan, sekä säätö- ja ohjainlaitteet, joilla lämpötilaolosuhteita säädetään (Energiatehokas koti 2020a).

2.2 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kertoo rakenteen lämmöneristyskyvyn “kuinka monta wattia lämpötehoa siirtyy rakenteen läpi yhtä neliometriä kohden kun rakenteen yli on yli yhden lämpötila-asteen lämpötilaero.” Sen yksikkönä on $W/(K \cdot m^2)$. (Energiatehokas koti 2020b.)

2.3 Lämmitysteho

Lämmitysteho kertoo, kuinka monta wattia (W) tehoa tarvitaan lämmittämiseen mitoitusolosuhteissa. Se koostuu rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, vuotoilmasta sekä ilmanvaihdosta. Myös veden lämmittäminen vaatii lämpötehoa. Tässä työssä on myös mukana kosteuden haihtuminen ja sen lämmitystehontarve. (Ympäristöministeriö 2017, 64.)

2.4 Lämmitysenergia

Lämmitysenergia kertoo, kuinka monta kilowattituntia (kWh) energiaa kuluu kattamaan rakennuksen lämmitystehontarpeen (Ympäristöministeriö 2017, 4).

2.5 Infrapunalämmitin

Lämpösäteilyyn perustuva lämmitysmuoto, jossa lämpö tuotetaan polttoainetta polttamalla ja lämpö siirtyy kohteeseensa infrapunasäteilyllä. Näin ollen tällainen laite ei lämmitä ilmaa vaan pintoja ja ihmisiä. (Weltem s.a., 2.)

2.6 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää niin rakennuksen lämmittämiseen, kuin myös jäähdyttämiseen. Ilmalämpöpumpuissa on sisä- ja ulkoyksikkö, joiden välillä on suljettu kylmäainepiiri, jossa kiertää kylmäainetta. Oikeissa käyttöolosuhteissa lämpöpumput tuottavat lämpöenergiaa tietyllä lämpökertoimella (SCOP), joka tarkoittaa sitä, että laite tuottaa enemmän lämpötehoa kuin mitä se ottaa sähkötehoa.

Lämmityskäytössä ilmalämpöpumppu ottaa ulkoilmasta lämpöenergiaa kun kaasumuodossa olevan kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat ulkoyksikön kompressorissa. Tämä lämpöenergia välitetään kylmäaineen avulla sisäyksikköön, jossa laitteen puhallusilma lämpenee lämmittäen näin rakennuksen sisäilmaa. Ilmalämpöpumppu soveltuu rakennusten tukilämmitysmuodoksi, sillä kovilla pakkasilla pumpun tuottama lämpöenergia pienenee. (Motiva Oy 2018a, 16.)

Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumppu toimii päin vastoin ja luovuttaa lämpöenergiaa ulkoilmaan, jolloin ulko- ja sisäyksiköiden välillä virtaava kylmäaine jäähtyy. Näin ollen sisäyksikössä kylmäaine viilentää laitteen puhallusilmaa. (Motiva Oy 2018a, 16.)

2.7 SCOP

SCOP on lämpökerroin, joka kertoo lämpöpumpun vuotuisan hyötysuhteen. SCOP-arvossa huomioidaan erilaiset ulkoilman lämpötilat, eli kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan eri lämpötiloissa suhteessa laitteen ottotehoon. SCOP-arvot on määritelty kolmelle eri ilmastovyöhykkeelle, ja nämä esitellään laitteen energiatodistuksessa. Suomi kuuluu kylmimpään vyöhykkeeseen, jonka ilmastovyöhykkeenä on käytetty Helsingin ilmasto-olosuhteita. Kun ilmalämpöpumppua on hankkimassa, kannattaa tarkastaa, mikä SCOP on

nimenomaan näissä kylmissä olosuhteissa, sillä markkinointimateriaaleissa saatetaan käyttää myös jonkin toisen ilmastovyöhykkeen SCOP:a. (Motiva Oy 2018a, 33.)

SCOP siis kertoo tarkemmin lämpöpumpun kulutuksesta ja energian tuotosta kuin pelkkä COP, joka on lämpökerroin vain jossain tietyssä olosuhteessa tietyllä hetkellä (Motiva Oy 2018a, 33).

2.8 Elinkaariajattelu

Elinkaariajatellussa halutaan tietää, millaiset ympäristövaikutukset valintamme aiheuttavat niiden elinkaaren aikana aina valmistuksesta sen käyttöön ja käytöstä luopumiseen asti. Joten tämän ajattelun perusteella pyritään tekemään valinta, joka aiheuttaa kaikkein vähiten räsitusta ympäristölle sen elinkaaren aikana. (Ympäristöhallinto 2013.)

2.9 Kestävä kehitys

Kestävässä kehtyksessä otetaan huomioon niin ekologinen, taloudellinen kuin myös sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys. Sen tavoitteena on taata mahdollisuudet hyvään elämään, niin nykyisille kuin tulevillekin ihmisille. Tässä työssä on otettu huomioon laitevalintojen ekologinen kestävyys ja se, millaiset vaikutukset valinnoilla olisi luonnolle hiilijalanjäljen perusteella. (Ympäristöministeriö s.a.)

2.10 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kertoo, kuinka paljon valintamme kuormittavat ilmastoa hiilidioksidipäästöillä niiden elinkaaren aikana. Hiilijalanjälki on tuotetun hiilidioksidin yhteenlaskettu massa, ja sen yksikkönä on CO₂ekv. Hiilijalanjäljellä voidaan myös tarkoittaa laajemmin elinkaaren aikana aiheutettuja kasvihuonekaasupäästöjä. (The Nature Conservancy s.a.)

2.11 Elinkaarikustannus

Elinkaarikustannus on laskennallisesti arviotu summa, joka kertoo tietyn laitteen kustannukset sen koko elinkaaren ajan. Se sisältää hankinta-, käyttö- sekä huoltokustannukset. (Swegon Group AB s.a.)

2.12 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on laskennallisesti selvitetty aikamääre, milloin jokin investointi on energiankustannussäätöillä maksanut investointikustannukset takaisin verrattuna johonkin toiseen vaihtoehtoon. Tässä ei oteta huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä tuottoja, kuten mahdollista jälleenmyyntiarvoa. (Motiva Oy 2018b, 6.)

3 MENETELMÄT

Tämä työ on pääsääntöisesti suoritettu kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä käyttäen, eli suurin työ on tehty laskennallisesti. Työn suorittaminen alkoi kuitenkin tilaajan haastattelulla, jossa käytiin läpi tavoitteet, joita tälle työlle asetetaan. Lisäksi kävimme läpi tilaajan alustavat toiveet lämmitysjärjestelmältä. Aloituspalaverin jälkeen työtä jatkettiin tutustumalla rakennustyömaalla halliin ja siihen, millaisia ratkaisuja siellä on rakennusvaiheessa käytetty sekä hallin rakennuspiirrosten että tilattujen tarvikkeiden tilausvahvistusten läpikäymisellä.

Näistä piirroksista ja tilausvahvistuksista selvitettiin käytetyt tarvikkeet, jotta pystyttiin selvittämään rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot. Osalle rakenteista U-arvon sai suoraan toimittajalta, mutta osalle se oli selvitettävä laskennallisesti lämmönjohtavuuden kautta.

Kun rakenteiden U-arvot oli selvitetty, työ eteni siitä eteenpäin lämmitystehontarpeen laskemisella. Kun kaikki tarvittavat lähtötiedot oli selvitetty, oli mietittävä sopivimmat mahdolliset lämmitysjärjestelmät ja olemalla yhteydessä laitevalmistajiin näiden vaihtoehtojen pohjalta. Työn menetelmäkuvaukset ja teoria niiden pohjalta on esiteltynä kappaleessa 5, laskennan tulokset kappaleessa 7.

Kun sopivimmat mahdolliset laitteet saatiin valittua, työssä vertaillaan hankintakustannuksia sekä energiankulutuksia. Tämän jälkeen eri laitevaihtoehdoille laskettiin takaisinmaksuajat, joiden pohjalta tehtiin valinta, joka esitetään työn tilaajalle. Laittevaihtoehdot ja teoria, jolla vaihtoehtoihin on päädytty, on esiteltynä kappaleessa 6 sekä järjestelmien vertailua hankinta- ja käyttökustannusten osalta, jossa myös huomioitu kestävä kehitys, kappaleessa 8.

4 LÄHTÖTIEDOT

Tässä osiossa käydään ensin läpi muutamia perustietoja työn tilaajasta sekä tarkemmin läpi kohdetta, johon lämmitysjärjestelmä tulisi valita. Lisäksi käyn läpi sitä, millä kaikin tavoin lähtötietoja oli selviteltävä hallista ja sen rakennusvaiheista, ennen kuin työtä pääsi laskennallisesti aloittamaan.

4.1 Työn tilaaja

Tämän työn tilaajana toimi yritys nimeltään Karjalan Betoni Oy. Yrityksen kotipaikka on Simpeleellä Rautjärven kunnassa Etelä-Karjalassa. Karjalan Betoni Oy on vuonna 1994 perustettu perheyritys, jonka päätoimialana on valmisbetonin valmistus ja toimitus Itä-Suomen alueella. Yrityksen ja sen tytäryhtiöiden toimintaan kuuluu myös betonielementtien valmistus, joita on käytetty myös tämän työssä käsiteltävän hallin sokkeleissa sekä saostusaltaissa. Lisäksi toimialueeseen kuuluu jätevesijärjestelmien asennus ja jälleenmyynti, imuauto-palvelut, vesikaivojen rakennus- ja puhdistuspalvelut, polttopuiden teko sekä erilaiset kuljetuspalvelut.

Tämän opinnäytetyön ohjaajan yrityksen puolelta toimii toimitusjohtaja Jani Terävä. Koska itsekkin siis työskentelen tässä yrityksessä, tämä betoniautojen pesuhallin lämmitysjärjestelmän valinta valikoitui opinnäytetyön aiheeksi työnantajani ehdotuksesta, sillä hankinnat kuuluvat työnkuvaani jo valmiiksi ja tämän koulutukseni vuoksi olen opiskellut aihetta, joten minulla on taustatietoa aiheesta.

4.2 Pesuhallin lähtötiedot ja käyttötarkoitus

Tässä työssä käsiteltävä halli tulee valmistuttuaan toimimaan betoniautojen pyörintäsäiliöiden pesuhallina. Halli on siis yhä rakennusvaiheessa, ja tällä

hetkellä siellä on meneillään pesujärjestelmän rakennustyöt. Sopiva lämmitys- ja järjestelmä valitaan tämän opinnäytetyön pohjalta ja tulee asennettavaksi mahdollisimman pian riippuen laitevalmistajien mahdollisista toimitusaikatauluista.



Kuva 1. Pesuhalli ulkopuolelta

Pesuhallin toimintaperiaatteena on, että betoniautot peruuttavat hallin ulkopuolella olevan katoksen alla olevan kourun luo ja ottavat siinä pesuvettä säiliön kyytiin. Kun vesi on pyörinyt aikansa säiliössä notkistaen mahdollisen kyytiin jääneen betonin ja sen seassa olevien kivien avulla puhdistanut säiliön seinämiin ja kierteisiin jämineen betonin, vesi tyhjennetään kouruun. Kourusta käytetty pesuvesi valuu painovoimaisesti hallin sisäpuolelle ensimmäiseen saostusaltaseen. Saostusaltaita on hallissa kaikkiaan kolme kappaletta, joista viimeisimpään pitäisi päätyä niin puhdasta vettä, jotta se kelpaa uudelleen käytettäväksi pyörintäsäiliöiden pesuun. Saostusaltat tyhjennetään noin kerran viikkoon talviaikaan pyöräkoneen kauhalla, jolloin nosto-ovet on pidettävä auki. Muutoin ovet ovat aina kiinni. Viimeisestä altaasta vesi nostetaan pumpujen avulla takaseinällä oleviin 1000 l IBC-kontteihin, joita on 24 kpl. Kun pe-

suvettä seuraavan kerran taas tarvitaan, konteista vesi pumpataan taas katonrajassa kulkevaa putkistoa pitkin hallin ulkopuolelle ja sieltä taas autojen pyörintäsäiliöihin.



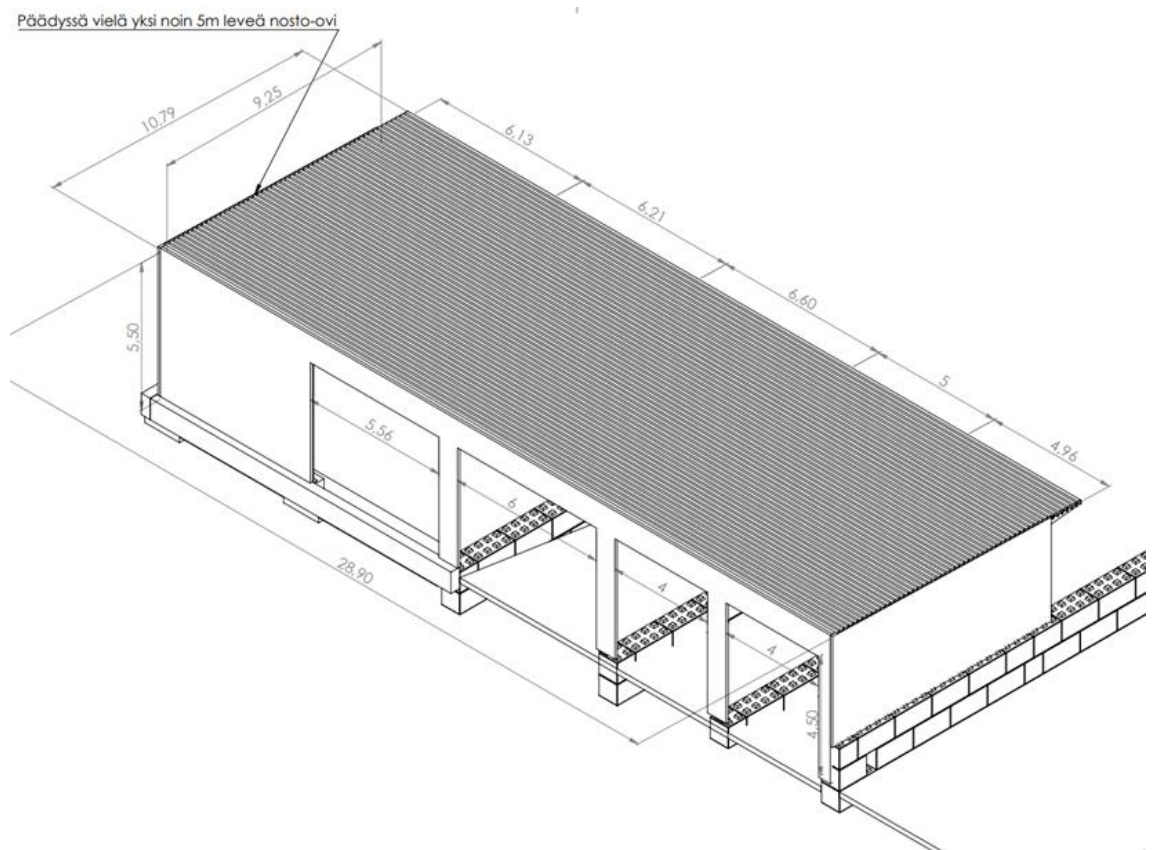
Kuva 2. Pesuhalli sisäpuolelta

4.2.1 Hallin sijainti ja mitoituslämpötilat

Halli sijaitsee Rautjärvellä Etelä-Karjalassa, joten sijainnin mukaan muodostuva mitoitusulkolämpötila on -29 °C ympäristöministeriön asetuksen mukaisesti (1048/2017 liite 1). Asiakkaan toiveen mukaan hallissa riittäisi sellainen lämpötila, jotta saostusaltaiden ja vesisäiliöiden vesi kestäisi sulana kovimmillakin pakkasilla, joten tässä työssä on käytetty hallin sisälämpötilana $+5\text{ °C}$. Myös saostusaltaista haihtuva kosteus on otettava huomioon hallin lämmitystekohontarvetta ja ilmamäärä laskettaessa. Tässä työssä vertaillaan myös ilmanvaihdon määrän tarvetta eri ilman ja veden lämpötiloissa.

4.2.2 Hallin mitat

Pinta-ala hallissa on 261,2 m², ja korkeus 5,5 m. Halli on rakennettu niin, että kylmyydeltä suojattavat saostusaltaat ja vesisäiliöt ovat hallin toisessa päädyssä, joten halliin olisi mahdollista rankentaa väliseinä, jolloin lämmitettävä pinta-ala tippuisi 149,8 m². Tässä työssä vertaillaan myös sitä, kuinka tuo väliseinä vaikuttaisi lämmitystehontarpeeseen, kun lämmitettävä pinta-ala vähenisi yli 100 m². Saostusaltaiden tilavuus, joista vesi pääsee haihtumaan, on kahden ensimmäisen altaan osalta 12,9 m³, ja kolmas puhtaan veden allas on hieman suurempi ollen tilavuudeltaan 19,3 m³. Yhteensä altaiden tilavuus on siis 45,1 m³.



Kuva 3. Pesuhallin mitat

4.2.3 Hallin rakenteet

Pesuhallin lattia on valettu kahdessa osassa, ja lattia-ala voidaan jakaa myös kahteen osaan sen paksuuden mukaan. Sen osan lattia, jossa saostusaltaat sijaitsevat, betonilaatan paksuus on 600 mm ja reuna-alueet ovat eristetty metrin verran reunoilta, 50 mm paksulla Finnfoam FL-300 -eristelevyllä. Tästä

johtuen alapohjiin oli laskettava omat lämmönläpäisykertoimet lattian keski-osalle ja reuna-alueille. Tämä XPS-eristelevy on suulakepuristettua polystyreeniä. Toiseen osaan lattiasta on valettu 200 mm laatta, joka myös se on ainoastaan reunoilta eristetty 50 mm samanlaisella eristelevyllä. Valmistaja antaa tuotteen tuotekortissa eristelevylle lämmönjohtavuus arvon 0,034-0,038 W/(m K) (FINNFOAM OY 2022). Tämän perusteella työssä lattian lämmönläpäisykertoimen laskennassa (yhtälö 5) on eristeelle käytetty arvoa 0,035 W/(m K). Sisäilmayhdistys ry:n verkkojulkaisussa ”Rakenteiden lämpötekniikka” on betonin lämmönjohtavuudelle annettu arvo 1,7 W/(m K) (Sisäilmayhdistys s.a.).

Lattioiden tapaan myös sokkelit ovat hieman erilaiset hallin eri osissa. Kolmessa seinässä sokkeli on 400 mm korkea ja 150 mm paksu betonivalu, jossa myös on 50 mm XPS-levy eristeenä. Hallin päätyseinän sokkelina toimii 1,8 m korkea ja 0,8 m paksu yrityksen omaa tuotantoa olevista betonipalikoista kasattu seinä. Tähän sokkeliin ei ole laitettu ollenkaan eristeitä, mutta lämpöhäviöiden laskennassa käy ilmi, kuinka paljon lämmitystehontarpeeseen vaikuttaisi, jos tähänkin seinään lisättäisiin samanlainen 50 mm eristys, kuten muissakin sokkeleissa on. Jos halliin päätettäisiin rakentaa aiemmin mainittu väliseinä, tällöin myös tämän sokkelina toimisi tällainen samanlainen betonipalikoista koottu sokkeli.

Hallin seinät on koottu 80 mm paksuista sandwichpolyuretaanielementeistä, joissa ulko- ja sisäpinnat ovat terästä ja niiden välissä on polyuretaanieristys. Tuotteen toimittajan antama lämmönläpäisykerroin on 0,27 W/m²K. (Inveco Oy s.a., 3.)

Katto on myös kasattu samankaltaisista sandwichpolyuretaanielementeistä kuin seinätkin, mutta katossa on kuitenkin käytetty 100 mm paksuisia elementtejä, jolloin myös niiden lämmönläpäisykerroin on hieman parempi, eli näiden elementtien kohdalla se on 0,22 W/m²K. (Inveco Oy s.a., 10.)

Hallissa ei ole ollenkaan ikkunoita, ja ovien lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot on saatu suoraan toimittajilta. Nosto-ovien osalta toimittaja on Turner Door Oy. Ovet ovat mallia Nosto-ovi Turner 40, jotka ovat valmistettu sandwich-ra-

kenteella niin, että ulko- ja sisäpinta ovat terästä, jonka välissä lämmöneristeinä suuritiheyksinen PU-vaaho. Näiden ovien U-arvo 0,52 W/m²K (Turner Door Oy s.a. 3). Nosto-ovia hallissa on 4 kpl, joiden pinta-alat ovat: päädyssä oleva nosto-ovi 21,1 m², kaksi pienempää ovea sivustalla ovat 16,9 m² ja suurin ovi on kooltaan 25,3 m². Pieni käyntiovi on puinen umpinainen RAW 10x21 -ulko-ovi, jonka U-arvo on 0,77 W/m²K (Rakennusoutlet.com. s.a.). Oven pinta-ala on 2,1 m².

5 TEORIA JA LASKENTAMENETELMÄT

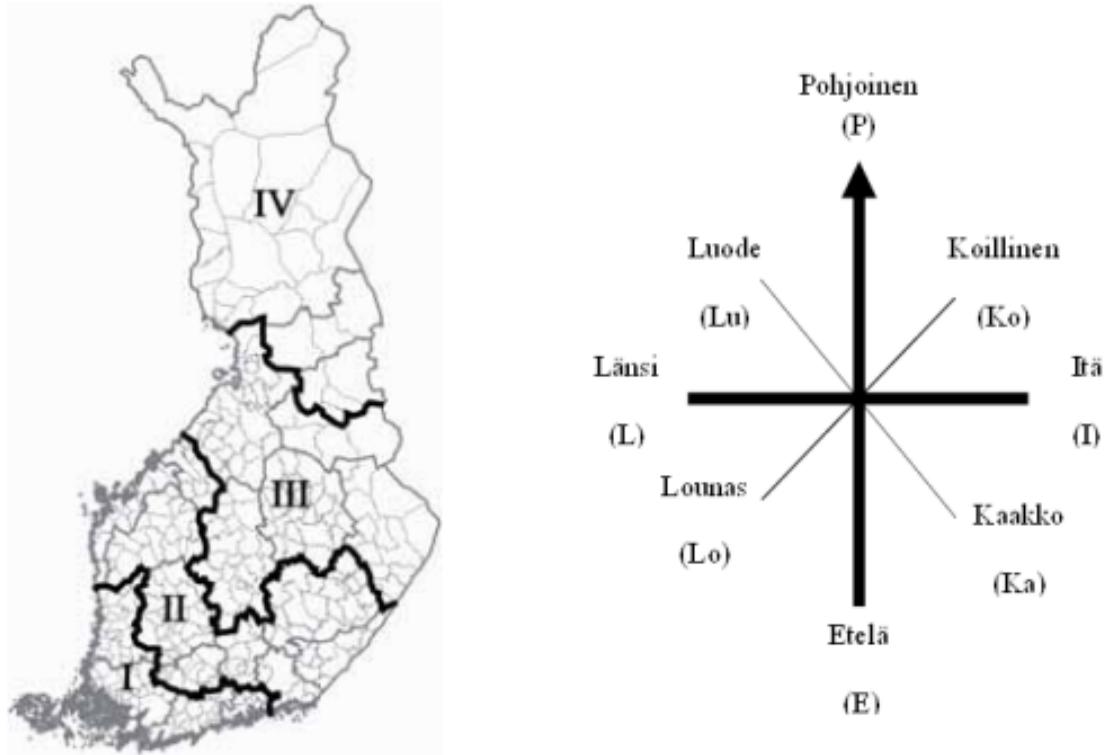
5.1 Kokonaislämmitystehontarve

Ympäristöministeriön ohjeessa Energiatehokkuus, rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta vuodelta 2017, ohjeistetaan rakennuksen lämmitystehontarpeesta ja kerrotaan, mitä sen laskennassa tulee ottaa huomioon (2017, 64-70). Tässä luvussa esitellään kaava, jolla voidaan laskea koko rakennuksen lämmitystehontarve. Kyseisessä yhtälössä 1 lasketaan yhteen rakennuksen samanaikaiset tehontarpeet.

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\Phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} + \frac{\Phi_{\text{iv}}}{\eta_{\text{iv}}} + \frac{\Phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad (1)$$

jossa	$\Phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehontarve	[W]
	Φ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehotarve	[W]
	Φ_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän lämpötehotarve	[W]
	Φ_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehotarve	[W]
	$\eta_{\text{tilalämmitys}}$	tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa	[W]
	η_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa	[W]
	η_{lkv}	käyttöveden tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa	[W]

Seuraavissa luvuissa käsitellään vaiheita, joita on selvitettävä ja laskettava, ennen kuin päästään laskemaan koko hallin lämmitystehon tarvetta. Kaikille rakenneosille oli laskettava lämmönläpäisykertoimet, ja jokaisen osan pinta-
alat saatiin selville rakennuksen suunnittelutiedoista. Näiden lisäksi tarvittiin tieto rakennuksen sijainnista, joka tässä tapauksessa on Rautjärvi. Tällä tiedolla saadaan selville ympäristöministeriön asetuksesta (1048/2017 liite 1) säävyöhyke, jonka perusteella määräytyvät mitoittava ulkoilman lämpötila, sekä vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila (kuva 3). Tämän hallin kohdalla säävyöhyke on siis II, jolloin mitoittava ulkoilmanlämpötila on -29 °C ja vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila on $+4,6\text{ °C}$. Lämmitystehontarvelaskennassa alapohjan alapuolisen maan lämpötilana on käytetty $+6,6\text{ °C}$, joka saadaan vuoden keskimääräisestä lämpötilasta ja siihen lisättynä $+2\text{ °C}$ (Ympäristöministeriö 2017, 20).



Kuva L1.1. Säävyöhykkeet ja ilmansuuntien lyhenteet.

<i>Taulukko L1.1.</i>	<i>Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.</i>
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

Kuva 4. Lämmitystehon laskennassa käytettävät säätiedot (Ympäristöministeriö 1048/2017 liite 1)

Rakennuksessa ei ole lämmitysjärjestelmää lämpimälle käyttövedelle, joten sitä ei tarvitse ottaa huomioon laskennassa.

Myöskään auringon säteilylämpöä ei oteta huomioon tehotarpeen laskennassa. Lisäksi sisäisten lämmönlähteiden vaikutus tehotarpeeseen otettaisiin vain silloin huomioon, kun ne ovat merkittäviä ja jatkuvia (Ympäristöministeriö 2017, 64). Tämän hallin kohdalla on otettu huomioon sisäisistä kuormista ainoastaan saostusaltaista haihtuvan veden määrä lämmitystehontarpeeseen. Tämä johtuu siitä, että hallissa ei työskentele henkilöitä ja valaistus on toteutettu LED-valaistuksella, joka ei ole päällä useimmiten.

Yhtälössä 2 lämmitysjärjestelmän lämmitystehontarve.

$$\Phi_{tila} = \Phi_{joht} + \Phi_{haihtuminen} + \Phi_{vuotoilma} + \Phi_{korvausilma} \quad (2)$$

jossa	Φ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehtäjä	[W]
	Φ_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi	[W]
	$\Phi_{haihtuminen}$	haihtumisen aiheuttama lämpötehtäjä	[W]
	$\Phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehtäjä	[W]
	$\Phi_{korvausilma}$	teho korvausilman lämmittämiseen tilassa	[W]

5.2 Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet

Tämän opinnäytetyön varsinainen laskennallinen vaihe alkoi selvittämällä kaikkien rakenneosien lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot. Ovien sekä seinä- ja kattoelementtien U-arvot olivat saatavilla suoraan näiden tuotteiden valmistajilta. Sen sijaan alapohjalle ja sokkeleihin oli laskettava lämmönläpäisykertoimet rakenneosien lämmönjohtavuuksien kautta. Lämmönläpäisykertoimien laskennassa on edetty SFS-EN ISO 6946:2017 -standardin mukaan (SFS-EN ISO 6946:2017, 14–16).

Alapohjan ja sokkeleiden betonin lämmönjohtavuuden arvona on käytetty 1,7 W/(m K). Näissä rakenteissa eristeenä olevan 50 mm XPS-eristelevyn lämmönjohtavuutena on käytetty arvoa 0,035 W/(m K). Tämä arvo on saatu suoraan tuotteen valmistajalta. Ennen kuin lämmönläpäisykerrointa voidaan laskea, on laskettava lämmönjohtavuuden ja rakenteen paksuuden avulla lämpövastukset eri rakenneosille

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3)$$

jossa	R	rakennusosan lämpövastus	[m ² · K]
	d	ainekerroksen paksuus	[m]
	λ	materiaalin lämmönjohtavuus	[W/(m·K)]

Kun kaikille rakenneosille on lämpövastukset laskettu yhtälössä 3, lasketaan nämä vastukset yhteen ja siihen lisätään vielä rakenteen ylä- ja alapinnan niiden lämpövirran suunnan mukaan sekä maaperästä aiheutuvat pintavastukset (yhtälö 4) (SFS-EN ISO 6946:2017, 20).

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se} \quad (4)$$

jossa	R_{tot}	kokonaislämmönvastus	[m ² ·K]
	R_{si}	sisäpuolinen pintavastus	[m ² ·K]
	$R_1, R_2 \dots R_n$	ainekerrosten lämmönvastus	[m ² ·K]
	R_{se}	ulkopuolinen pintavastus	[m ² ·K]

Kun lämmönjohtavuudet oli selvitetty ja sen avulla rakenteiden kokonaisvastukset saatu laskettua sekä rakennuksen suunnittelutiedoista selvitettiin, millaiset rakenteet alapohjaan ja sokkeleihin oli valittu, pystyttiin näillekin rakenteille laskemaan lämmönläpäisykerroin (SFS-EN ISO 6946:2017, 16). Yksinkertaistetulla yhtälöllä 5 on laskettu lämmönläpäisykerroimet eri sokkelityypeille kuin myös alapohjan eri osiin.

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (5)$$

jossa	U	lämmönläpäisykerroin	[W/(K·m ²)]
	R_{tot}	kokonaislämmönvastus	[m ² ·K]

5.3 Johtumishäviöt ja viivamaiset lisäkonduktanssit

Ympäristöministeriön ohjeessa Energiatehokkuus, rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta vuodelta 2017 annetaan yhtälö 6 johtumislämpöhäviötehon laskentaan rakennuksen vaipan lävitse. Johtumishäviöt lasketaan rakennusosittain (Ympäristöministeriö 2017, 65).

$$\Phi_{joh} = \Phi_{ulkoseinä} + \Phi_{yläpohja} + \Phi_{alapohja} + \Phi_{ovi} + \Phi_{sokkeli} + \Phi_{palikka} + \Phi_{kylmäsilat} \quad (6)$$

jossa	Φ_{joh}	johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi	[W]
	$\Phi_{ulkoseinä}$	johtumislämpöteho ulkoseinien läpi	[W]
	$\Phi_{yläpohja}$	johtumislämpöteho yläpohjien läpi	[W]
	$\Phi_{alapohja}$	johtumislämpöteho alapohjan läpi	[W]
	Φ_{ovi}	johtumislämpöteho ulko-ovien läpi	[W]
	$\Phi_{sokkeli}$	johtumislämpöteho sokkeleiden läpi	[W]
	$\Phi_{palikka}$	johtumislämpöteho palikkasokkelin läpi	[W]
	$\Phi_{kylmäsilto}$	johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi	[W]

Myös viivamaisten lisäkonduktanssien eli rakennusosien välisistä liitoksista johtuvien kylmäsiltojen lämmitystehon tarpeen laskentaan yhtälö 7 esitetään ohjeessa (Ympäristöministeriö 2017, 66).

$$\Phi_{kylmäsilto} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_{u,mit}) \quad (7)$$

jossa	$\Phi_{kylmäsilto}$	johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi	[m ² ·K]
	l_k	viivamaisen kylmäsiltojen pituus	[m]
	Ψ_k	viivamaisen kylmäsiltojen lisä- konduktanssi	[m ² ·K]
	T_s	sisäilman lämpötila	[°C]
	$T_{u,mit}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila	[°C]

5.4 Vuotoilman lämmitystehontarve

Rakennuksen vuotoilman laskentaan määritellään Ympäristöministeriön energiatehokkuus ohjeessa yhtälö 8, josta saadaan $q_{v, vuotoilma}$. Tämän työn kohteena olevassa hallissa ilmavuotolukua ei tulla osoittamaan mittauksella, joten rakennusvaipan ilmavuotolukuna q_{50} on käytetty arvoa 4 m³/(h m²). Pesuhalli on yksikerroksinen, joten kerroin x on silloin 35. (Ympäristöministeriö 2017, 21.)

$$q_{v, vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaiippa} \quad (8)$$

jossa	$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta	[m ³ /s]
-------	--------------------	----------------	---------------------

q_{50}	rakennusvaipan ilmapuotoluku	[m]
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja näitä korkeammille rakennuksille 15	
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala	[m ²]

Kun vuotoilmavirta selvitettiin laskemalla, oli seuraavaksi selvitettävä, kuinka paljon tämän vuotoilman lämmittämiseen vaaditaan tehoa. Tämä vuotoilman lämpenemisen lämpöteho lasketaan yhtälöllä 9.

$$\Phi_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, vuotoilma} (T_s - T_{u, mit}) \quad (9)$$

jossa	$\Phi_{vuotoilma}$	vuotoilma lämpenemisen tehon tarve[W]
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 [kg/ m ³]
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti 1000[J/(kg K)]
	$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta [m ³ /s]
	T_s	sisäilman lämpötila [°C]
	$T_{u, mit}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila [°C]

5.5 Kosteus

Tässä kohteessa oli myös otettava huomioon lämmitystehontarvelaskennassa saostusaltaista haihtuva kosteus (10), sillä veden haihtuminen aiheuttaa tehon tarvetta. Haihtumisen vaikutusta LVIA-suunnittelussa käsitellään ohjekortissa RT 103233. Jotta tämä teho saatiin selville, oli ensimmäisenä päätettävä, mikä saa olla hallin suhteellinen kosteus korkeimmillaan lämmityskauden aikana. Hallin suhteellisen kosteuden suurimmaksi arvoksi valittiin 60 %, koska jos suhteellinen kosteus menee yli tämän olosuhteet muuttuvat mikrobikasvustoille suotuisiksi (RT 103233 2020, 9).

Jos ilman suhteellinen kosteus nousee yli 60 % tehostetaan poistoilmanvaihtoa, joka säätyy kosteusanturin avulla. Haasteena laskennassa on ennen kaikkea se, että altaiden vettä ei erikseen lämmitetä ja veden lämpötila voi teoriassa vaihdella + 5 °C ja +60 °C. Tämä johtuu siitä, että saostusaltaissa olevan veden lämpötila riippuu siitä, kuinka monta autoa on pestävänä, kuinka kauan

autot odottavat pihalla pesua ja onko säiliöön otettu betoniasemalta lämmintä vettä kyytiin, joka tässä tapauksessa voi korkeimmillaan olla +60 °C. Tokikaan yhteen autoon ei mahdu kerrallaan kuin enimmillään 8 m³ pesuvettä eikä säiliötä normaali tilanteessa koskaan täytetä noin täyteen. Muutenkin tällaiset tilanteet ovat vain hetkellisiä, sillä autoja pestään yleensä vain kerran päivässä, varsinkin talvella, koska jos ilman lämpötila on mitoittavassa -29 °C, valetaan betonia vain harvoin, jos ollenkaan. Veden haihtuminen on tämän vuoksi laskettu siinä tilanteessa, että hallin sisäilma ja saostusaltaiden vesi ovat saman lämpöisiä eli + 5 °C, sillä tämä olosuhde hallissa pitäisi olla suurimpana osana ajasta. Haihtumiseen tarvittavan lämpötehon laskenta aloitetaan selvittämällä haihtuvan veden massavirta, joka lasketaan kaavalla 10.

$$q_{vm} = A_{allas} B_x (x_v - x_i) \quad (10)$$

jossa	q_{vm}	haihtuvan veden massavirta	[kg/s]
	A_{allas}	altaan pinta-ala	[m ²]
	B_x	kokemusperäinen haihtumiskerroin	[kg/m ² s]
	x_v	kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa	[kg/kg _{kuivaa ilmaa}]
	x_i	ilman vesisisältö	[kg/kg _{kuivaa ilmaa}]

Ilman vesisisällöt eri lämpötiloissa katsottu Mollier-diagrammista, kun suhteellinen kosteus sekä ilman ja veden lämpötila tiedetään. Kokemusperäinen haihtumiskerroin saadaan ohjekortista RT 103233. Saostusaltaiden kohdalla on käytetty arvoa 0,0022, joka on sellaisille altaille, joissa ei ole käyttöä. (RT 103233 2020, 12.)

Tämän vesimäärän höyrystymiseen vaadittava lämpöteho saadaan selvittämällä aineen höyrystämiseen tarvittava energia (yhtälö 11).

$$E = r \cdot m \quad (11)$$

jossa	E	aineen höyrystämiseen tarvittava energia	[kJ]
	r	aineen ominaishöyrystymislämpö, vesi 2260	[kJ/kg]

m aineen massa [kg]

5.6 Korvausilman lämmitystehontarve

Alun perin tähän kohteeseen oli suunnitelmissa ilmanvaihtokone, joka olisi varustettuna lämmöntalteenotolla. Kuitenkin käytyäni keskusteluja useammankin laitevalmistajan kanssa, olivat kaikki sitä mieltä, ettei tähän kohteeseen ole ainakaan heidän mallistoissaan valmiina sopivaa ratkaisua. Tämä johtui suhteellisen pienistä ilmamääristä sekä lämpötilasta yhdistettynä kosteuteen, jolloin jäätymisriski on suuri. Kaikki valmistajat suosittelivat tähän kohteeseen ainostaan koneellista poistoa, joka järjestettäisiin huippuimurilla. Huippuimuri varustetaan kosteusanturilla, joka säätelee poistoilmavirran määrää. Myös työn tilaaja oli myöntäväinen tähän ratkaisuun.

Poistoilmavirran suunnitellun perustana käytettiin ohjekortin RT 103233 ohjetta ilmavirran mitoituksesta kosteuden mukaan (RT 103233 2020, 12). Ohjekortin mukaan ilmavirta lasketaan yhtälöllä 12. Yhtälön x_t tuloilman vesisisältö on annettu ohjeessa sivulla 16, jossa on kerrottu Etelä-Suomessa käytettäväksi tuloilman vesisisällöksi 9 g/kg. Tämä arvo on kuitenkin annettu kesäolosuhteissa, joten se ei täysin vastaa lämmitystehon tarpeen laskennan olosuhteita, sillä talvisin tuloilman kosteussisältö on paljon pienempi.

$$q_{mi} = \sum q_{vm} / (x_p - x_t) \quad (12)$$

jossa	q_{mi}	ilmavirta	[kg/s]
	$\sum q_{vm}$	haihtuvan veden kokonaismassavirta	[kg/kg _{kuivaa ilmaa}]
	x_p	poistoilman vesisisältö	[kg/kg _{kuivaa ilmaa}]
	x_t	tuloilman vesisisältö	[kg/kg _{kuivaa ilmaa}]

Korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve laskettu yhtälöllä 13

$$\Phi_{korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, korvausilma} (T_s - T_{u, mit}) \quad (13)$$

jossa	$\Phi_{korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve	[W]
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2	[kg/m ³]

c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti	
	1000	[J/(kg K)]
$q_{v, korvausilma}$	korvausilmavirta	[m ³ /s]
T_s	sisäilman lämpötila	[°C]
$T_{u, mit}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila	[°C]

5.7 Lämmitysenergian tarve

Hallin lämmitysenergian tarpeen laskenta esitetään hyvin ympäristöministeriön energiatodistuksen laadintaesimerkissä, joten tätä ohjetta on sovellettu myös tämän hallin lämmitysenergian tarpeen laskennassa. Laskenta aloitetaan selvittämällä lämmitysenergian tarve jokaiselle rakenneosalle, kylmäsilloille, vuotilmalle, korvausilmalle sekä veden haihtumiselle ja kaikille niille kuukausille (yhtälö 14), kun ulkoilman kuukausittainen lämpötila jää alle hallin vähimmäisisälämpötilan. (Ympäristöministeriö 2018.)

$$Q_{ulkoseinät} = \frac{UA(T_s - T_u)\Delta t}{1000} \quad (14)$$

jossa	$Q_{rakenneosat}$	Johtumislämpöhäviöt	[kWh]
	U	lämmönläpäisykerroin	[W/(K·m ²)]
	A	pinta-ala	[m ²]
	T_s	sisäilman lämpötila	[°C]
	T_u	ulkoilman lämpötila	[°C]
	Δt	ajanjakso	[h]

Kylmäsiltojen lämmitysenergian kaava laskettu yksinkertaistetulla tavalla (yhtälö 15). Tämä kaava perustuu siihen, että kylmäsiltojen vaikutus arvioidaan lisäämällä 10 % ulkovaipan johtumisenergian tarpeeseen.

$$Q_{kylmäsiltoja} = 0,1 \cdot Q_{ulkovaippa} \quad (15)$$

jossa	$Q_{kylmäsiltoja}$	kylmäsiltojen aiheuttama lämpöhäviö	[kWh]
	$Q_{ulkovaippa}$	Ulkovaipan johtumislämpöhäviöt	[kWh]

Vuosittaisen lämmitysenergian tarpeen laskennassa on myös otettava huomioon niin rakennuksen vuotoilman, kuin myös tässä tapauksessa korvausilman lämmitysenergian tarve. Nämä lasketaan jokaiselle kuukaudelle erikseen, jolloin hallissa on tarvetta lämmitykselle. Yhtälössä 16 esitetään, kuinka vuotoilmalle lasketaan kuukausittainen energian tarve vuoden ajalta.

$$Q_{vuotoilma} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v, vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (16)$$

jossa	$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämmitysenergian tarve	[kWh]
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2	[kg/ m ³]
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti 1000	[J/(kg K)]
	$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta	[m ³ /s]
	T_s	sisäilman lämpötila	[°C]
	T_u	ulkoilman lämpötila	[°C]

Yhtälöstä 17 saadaan kuukausittainen energiantarve korvausilmalle.

$$Q_{korvausilma} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v, korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (17)$$

jossa	$Q_{vuotoilma}$	korvausilman lämmitysenergian tarve	[kWh]
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2	[kg/ m ³]
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti 1000	[J/(kg K)]
	$q_{v, vuotoilma}$	korvausilmavirta	[m ³ /s]
	T_s	sisäilman lämpötila	[°C]
	T_u	ulkoilman lämpötila	[°C]

Lämmitysenergian kuukausi kohtainen kokoaistarve (yhtälö 17) muodostuu johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman, korvausilman lämpenemisestä tilassa sekä kosteuden haihtumisen aiheuttamasta lämmitysenergian tarpeesta. Vuoden energian tarpeeseen lasketaan yhteen kuukausittaiset tarpeet.

Lämmitysenergian kokonaistarve yhteensä (yhtälö 18)

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{korvausilma} + Q_{haihtuminen} \quad (18)$$

jossa	Q_{tila}	Lämmitysenergian kokonaistarve	[kWh]
	Q_{joht}	johtumislämpöhäviöiden energiantarve	[kWh]
	$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen energiantarve	[kWh]
	$Q_{korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen energiantarve	[kWh]
	$Q_{haihtuminen}$	haihtumisen aiheuttama energiantarve	[m ² ·K]

Tässä työssä lämmitysenergian kokonaistarve on laskettu vuoden 2021 keskimääräisillä lämpötiloilla. Jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia, on lämmitysenergian tarve normitettava yhtälöllä (19). (Motiva Oy 2016, 3.) Vertailukauden 1981–2010 lämmitystarveluvut sekä kuntakohtaiset kertoimet saadaan Ilmatieteen laitoksen internetsivuilta (Ilmatieteen laitos 2022a).

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut} \text{ vpkunta}} Q_{toteutunut} \quad (19)$$

jossa	Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus	[kWh]
	$Q_{toteutunut}$	rakennuksen lämmittämiseen kuluva energia	[kWh]
	$S_N \text{ vpkunta}$	normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalle	
	$S_{toteutunut} \text{ vpkunta}$	toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalle	

6 LAITEVAIHTOEHDOT

6.1 Polttoainekäyttöinen infrapunalämmitin

Haastavista sisäilmasto-olosuhteista johtuen yhtenä vaihtoehtona lämmitysjärjestelmäksi suunniteltiin infrapunalämmitintä, joka olisi varustettuna 25 metrin päähän laitteesta asennettavalla lämpötilatermostaatilla. Tällaisen lämmittimen etuihin kuuluvat suhteellisen edulliset hankintakustannukset sekä se, ettei asentaminen ei vaadi kanavistojen eikä putkistojen rakentamista kohteeseen. Moderneissa lämmittimissä on myös melko hyvä hyötysuhde lämmitykselle. Infrapunalämmitin myös lämmittää tasaisesti hallin pintoja, joten lämmin ilma ei turhaan nouse kattoon, vaan lämmitys kohdistuu tarkemmin niihin kohteisiin, joissa sitä tarvitaan. Haittapuolina infrapunalämmittimissä on niiden suhteellisen pieni polttoainesäiliö, jolloin varsinkin talvella kovimpien pakkasten aikaan polttoaineen määrä on tarkkailtava, ettei se pääse loppumaan esimerkiksi viikonlopun aikana.

6.1.1 Tekniset tiedot

Tähän kohteeseen työn pohjalta suosittelen hankittavaksi Weltem WHO-175 -polttoainekäyttöistä infrapunalämmitintä. Tämän laitteen lämmitystehona on 19,7 kW, joten se riittää helposti kattamaan hallin lämmitystehon tarpeen -29°C mitoitusulkolämpötilassakin, jolloin hallin lämmitysjärjestelmän laskennallinen lämmitystehon tarve on 16,1 kW. (Weltem s.a., 14.) Pelkästään tehon tarpeen perusteella mitoitettuna halliin riittäisi pienempikin lämmityslaite, jolloin hankintakustannukset putoisivat puoleen valitusta laitteesta. Mutta koska laitteille on annettu myös suositellut neliömäärät, niin pienemmissä laitteissa voi olla, ettei lämmitys leviä tasaisesti koko hallin pinta-alalle, vaikka tehon pitäisikin riittää pitää halli lämpimänä. Tämän laitteen lämmitysteho pitäisi riittää 150–250 m² pinta-alalta olevaan halliin. Mikäli halliin rakennettaisiin väliseinä, niin silloin pienempikin lämmityslaite riittäisi hyvin myös lämmitettävien neliöiden puoleen. Laite käyttää polttoaineenaan talvilaatuista dieselöljyä, polttoöljyä tai valopetrolia. Laitteen polttoaineen kulutus tunnissa on 1,9 l jatkuvalla lämmityskäynnillä ja sähkön ottoteho on 40 W.

6.1.2 Hankinta- ja käyttökustannukset

Laitteen hankintahinta on tällä hetkellä toimitettuna 1587,90 € alv 0%. Asennuskustannuksia tästä laitteesta ei synny.

Laitte tuottaa valmistajan mukaan 1,90 litralla polttoainetta 19,7 kWh lämmitysenergiaa. Tämä tekee laitteen hyötysuhteeksi siis tarkalleen 1. Taulukossa 22 vuotuinen lämmitysenergian tarve on esitettyinä hallin lämmitykseen vuodessa kuluva energiamäärä, joka on 20840,55 kWh/a. Tästä saadaan vuotuiseksi polttoaineen kulutukseksi yhtälöllä $20 \cdot 2007 \text{ l polttoöljyä}$. Huomioon on otettava myös laitteen sähkötehon tarve, joka on 52,10 kWh.

6.2 Sähkölämmitin

Toinen vaihtoehto hallin lämmittämiseen voisi olla sähkökäyttöinen lämpöpuhallin.

6.2.1 Tekniset tiedot

18 kW:n lämmitystehon puhallin riittäisi tehon puolesta kohteeseen, mutta lämmön jakautumisen kannalta parempi vaihtoehto on hankkia kaksi kappaletta 9 kW:n puhaltimia sijoiteltuna eripuolille hallia.

Tällaisen ratkaisun etuja ovat matalat hankintakustannukset, eikä ollenkaan asennuskustannuksia. Etuna on myös se, että nämä tuottavat lämpöä silloin kun on sähköä, joten ei ole tarvetta tarkkailla polttoaineen määrää.

Sähkön hinnan nousu on suurin huolenaihe tällaisten laitteiden hankinnassa.

6.2.2 Hankinta- ja käyttökustannukset

Kahden 9 kW:n puhaltimen hankinta kustantaisi 257,9 € alv 0 %. Itse asiassa kaksi pienempää puhallinta tulee edullisemmaksi hankkia kuin yksi 18 kW:n lämmitin. Toki 18 kW:n puhaltimet ovat poikkeuksetta ammattilaisille suunnattuja tuotteita, joten laadussa voi olla etua näihin pienempiin verrattuna.

Vuosittaisen lämmitysenergian tarpeen ollessa 20840,55 kWh/a sähkökäyttöisten lämmittimien hyötysuhteena voidaan pitää 1, joten laitteen sähköverkosta ottama teho on myös tuo 20840,55 kWh/a (yhtälö 20).

6.3 Ilmalämpöpumppu

Työtä aloittaessa työn tilaajalla oli toiveena mahdollisuus toteuttaa lämmitys ilmalämpöpumpulla. Kuitenkin, kun hallin olosuhteet ja lämmitystehontarve oli selvitetty, kävi keskusteluissa lämpöpumppujen toimittajien kanssa nopeasti ilmi se, ettei lämmityksen toteutus tässäkään tapauksessa onnistu ainoastaan lämpöpumpuilla. Tämän vuoksi halliin oli valittava ensisijainen lämmitysjärjestelmä, joka hoitaa lämmityksen silloin, kun lämpöpumppujen teho ei riitä. Lämpöpumpuilla lämmitys toteutettaisiin niin, että hallia lämmitetään ilmalämpöpumpuilla niin kauan kuin ulkoilman lämpötila on alle -20 °C ja ensisijainen lämmitysjärjestelmä, joka voisi olla polttoainekäyttöinen infrapunalämmitin tai sähkölämmitin, toimisi vain tukena. Tätä kylmemmissä olosuhteissa lämmitys toteutettaisiin pelkästään ensisijaisella lämmitysjärjestelmällä. (Ympäristöministeriö 2017, 52.)

Tilaaja on käyttänyt muissa rakennuksissaan Mitsubishi Electricin ilmalämpöpumppuja ja toivoi sellaista tähänkin kohteeseen.

6.3.1 Tekniset tiedot

Mitsubishi Electric -ilmalämpöpumppujen maahantuojaalta tuli suositus, että tällaiseen kohteeseen sopivin ratkaisu voisi olla kolme kappaletta MSZ-FT35-ilmalämpöpumppuja johtuen lämmitystehon tarpeesta ja siitä, että hallin pinta-ala on sen verran suuri, että kolmella pumpulla pystyttäisiin takaamaan tasainen lämpötilan leviäminen koko halliin.

Tämän FT35-mallin energiamerkinnässä (Mitsubishi Electric s.a.) on kerrottu laitteen SCOP-arvoksi 3,5. Tämä arvo on annettu Pohjois-Euroopan käytettäviiin laitteisiin, ja laskenta perustuu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. Tämän ilmalämpöpumpun lämmitysteho -15 °C on 4,4 kW ja vielä -25 °C : n 3,4 kW. (Scanoffice 2021, 4.)

6.3.2 Hankinta- ja käyttökustannukset

Kolmen lämpöpumpun hankinta- ja asennuskustannukset ovat 6000 € alv 0 %, mikä perustuu meille annettuun tarjoukseen.

Lämpöpumppujen energiankulutus ja siitä syntyvät kustannukset on laskettu niin, että lämpöpumput kattaisivat 70 % rakennuksen kokonaislämmitystehon tarpeesta. Laskennallisesti lämpöpumpuilla voitaisiin kattaa 14588,38 kWh:n vuosittainen lämmitysenergian tarve (yhtälö 21). Kun käytetään SCOP-arvona 3,5, saadaan ilmalämpöpumppujen vuosittaiseksi ottoenergiantarpeeksi 4168,11 kWh (yhtälö 21).

30 % hallin vuosittaisesta lämmitysenergian tarpeesta jäisi siis vaihtoehtoiselle lämmitysjärjestelmälle, joka tekee 6552,2 kWh (yhtälö 21).

6.4 Energian hinta

6.4.1 Taustaa

Lähiaikoina energian hinnoissa on tapahtunut suuria muutoksia, joten mitään varmaa hintaa energialle laitteiden elinkaaren aikana ei pysty tällä hetkellä määrittämään. Tässä työssä on vertailtu kolmenlaisia eri energianhintoja.

Viimeisen kahden vuoden keskiarvona 06/2020–06/2022 väliselle ajanjaksolle sähköenergian hintana on käytetty 0,073 €/kwh. Hinta sisältää sähköenergian, verkkopalvelut sekä sähköveron. Tämä perustuu Tilastokeskuksen tietokantaan sähkönhinta kuluttajatyypeittäin, jossa on tuo 06/2022 viimeisin päivittynyt hinta. (Tilastokeskus 2022 a.) Samalle ajanjaksolle 06/20–06/22 kevyen polttoöljyn hintana 0,87 €/l, joka perustuu Tilastokeskuksen polttonesteiden kuluttajahintojen tilastotietokantoihin (Tilastokeskus 2022 b). Kevyen polttoöljyn hinta on kuitenkin ollut merkittävässä nousussa, sillä esimerkiksi tuolloin 06/22 hinta on ollut 1,57 €/l, kun taas 06/20 vain 0,60 €/l.

Koska vuosi 2022 on ollut niin poikkeuksellinen varsinkin sähköenergian hinnan suhteen, on työssä otettu vertailuun sähkönhinnalle futuurien talvelle vuo-

den 2023 Q3 ja siitä eteenpäin vuoden 2024 loppuun asti ennustettu sähköenergian keskiarvohinta 0,13 €/kWh, sillä silloin lämmitysjärjestelmän pitäisi viimeistään olla käyttökunnossa.

Jotta hintojen vaikutus nähdään parhaiten, otetaan mukaan vertailuun vielä laskenta tämän hetken hinnoilla, joka on sähköenergialle 0,336 €/ kWh. Polttoöljyn hintana käytetään tämän hetken laskelmassa tuota 1,57 €/l.

Sähköenergian nykyisen hinnan ja futuureiden arvot on saatu lisäämällä Nasdaq-pörssioperaattorin markkinahintoihin, joihin on lisätty sähkövero, verkkopalvelumaksu sekä energiayhtiön marginaali (Nasdaq 2022).

Keuyen polttoöljyn hintana on käytetty ennustelaskelmassa 1,66 €/l, joka on +6 % tämänhetkiseen hintaan. Tämä vuoden 2023 hintaennuste perustuu liikepankki Goldman Sachsin ennustukseen noin 6 % hinnannoususta raakaöljyn hintaa (Patel 2022).

Kaikki hinnat ilmoitettu ilman arvonlisäveroa.

6.4.2 Lämmitysenergian vuosikustannus

Lämmitysenergian vuosikustannus polttoainekäyttöiselle infrapunalämmittimelle lasketaan yhtälöllä 20.

$$Kustannukset_a = \left(\left(\left(\frac{Q_{norm}}{\Phi_{LL}} \right) kulutus_h \right) hinta_{polttoaine} \right) + (kulutus_{sähkö},_a hinta_{sähkö} \quad (20)$$

jossa	$Kustannukset_a$	lämmitysenergian vuosikustannus [€]
	Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus [kWh]
	Φ_{LL}	Lämmityslaitteen lämpöteho [kW]
	$kulutus_h$	polttoaineen/energian

	kulutus tunnissa	[l/h, kWh]
$hinta_{polttoaine}$	polttoaineen /energian	
	hinta	[€/l, €/kWh]
$kulutus_{sähkö, a}$	laitteen sähkönkulutus	
	vuodessa	[kWh]
$hinta_{sähkö}$	sähkön hinta	[€]

Ilmalämpöpumppujen energiankulutuksen vuosikustannus (yhtälö 21) on laskettu niin, että niillä voitaisiin täyttää 70 % vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta. Loput 30 % on hoidettava muulla lämmitysjärjestelmällä.

$$Kustannukset_a = \left(\left(\frac{Q_{norm} \cdot 0,7}{\frac{\Phi_{LL}}{SCOP}} \right) hinta_{polttoaine} \right) + (kustannukset_{muu, a} \cdot 0,3) \quad (21)$$

jossa	$Kustannukset_a$	lämmitysenergian vuosikustannus	[€]
	Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus	[kWh]
	$SCOP$	vuosihyötysuhde	
	$hinta_{polttoaine}$	polttoaineen /energian hinta	[€/l, €/kWh]
	$kustannukset_{muu, a}$	toisen lämmityslaitteen kustannukset (yhtälöstä 20)	[€]

7 LÄMMITYSTEHON - JA ENERGIANTARVE LASKENNAN TULOKSET

7.1 Kokonaislämmitystehontarve

Kappaleen 5.1 yhtälössä 3 on esitettyä, kuinka lasketaan lämmitystehon tarve lämmitysjärjestelmälle mitoituslämpötiloissa. Laskennallisesti hallin lämmitysjärjestelmän tehon tarve on siis ~16,1 kW (taulukko 1).

Taulukko 1. Lämmitysjärjestelmän lämmitystehon tarve

Φ_{joht}	$\Phi_{\text{kylmäsiilat}}$	$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	$\Phi_{\text{haihtuminen}}$	$\Phi_{\text{korvausilma}}$	Φ_{tila}	$\Phi_{\text{tila, kW}}$
W	W	W	W	W	W	kW
7045,51	2819,01	1553,28	986	3720,96	16124,75	16,1

Halliin olisi myös mahdollista rakentaa väliseinä, joten myös sen vaikutukset lämmitystehon tarpeeseen on otettu vertailuun. Väliseinällä lämmitystehon tarve hallissa olisi 10,9 kW (taulukko 2).

Taulukko 2. Lämmitysjärjestelmän lämmitystehontarve väliseinällä

Φ_{joht}	$\Phi_{\text{kylmäsiilat}}$	$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	$\Phi_{\text{haihtuminen}}$	$\Phi_{\text{korvausilma}}$	Φ_{tila}	$\Phi_{\text{tila, kW}}$
W	W	W	W	W	W	kW
4890,74	1557,00	950,00	986	2509,2	10892,94	10,9

7.2 Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet

Rakennusosille lasketut lämmönvastukset materiaalien mukaan esiteltyinä (taulukot 3 ja 4).

Taulukko 3. Betonin lämmönvastukset

Rakenneosa	d	λ	R
	m	W/(m·K)	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Betoni			
Alapohja keskeltä 1	0,20	1,70	0,118
Alapohja reuna 1	0,20	1,70	0,118
sokkeli	0,15	1,70	0,088
Alapohja keskeltä 2	0,60	1,70	0,353
Alapohja reuna 2	0,60	1,70	0,353
Palikkasokkeli	0,80	1,70	0,471

Taulukko 4. Eristeen lämmönvastukset

Rakenneosa	d	λ	R
Eriste	m	W/(m·K)	m ² ·K/W
Alapohja keskeltä 1	0,00	0,035	0,000
Alapohja reuna 1	0,05	0,035	1,429
sokkeli	0,05	0,035	1,429
Alapohja keskeltä 2	0,00	0,035	0,000
Alapohja reuna 2	0,05	0,035	1,429
Palikkasokkeli	0,00	0,035	0,000

Rakenteiden kokonaislämmönvastukset, jossa mukana sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset, ainekerrosten lämmönvastukset sekä maaperän aiheuttamat vastukset (taulukko 5).

Taulukko 5. Kokonaislämmönvastukset

Rakenneosa	R _{si}	R _{betoni}	R _{Eriste}	R _{se}	R _{Maaperä}	R _{tot}
	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)	(m ² ·K/W)
Alapohja keskeltä 1	0,17	0,118	0,000	0,04	2	2,33
Alapohja reuna 1	0,17	0,118	1,429	0,04	0,5	2,26
sokkeli	0,13	0,088	1,429	0,04	0	1,69
Alapohja keskeltä 2	0,17	0,353	0,000	0,04	2	2,56
Alapohja reuna 2	0,17	0,353	1,429	0,04	0,5	2,49
Palikkasokkeli	0,13	0,471	0,000	0,04	0	0,64

Taulukossa 6 esiteltynä kaikkien niiden rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, jotka oli selvitettävä laskemalla.

Taulukko 6. Lasketut lämmönläpäisykertoimet

Rakenneosa	R _{tot}	Käänteisluku	U
	m ² ·K/W		W/(m ² ·K)
Alapohja keskeltä 1	2,33	1	0,43
Alapohja reuna 1	2,26	1	0,44
sokkeli	1,69	1	0,59
Alapohja keskeltä 2	2,56	1	0,39
Alapohja reuna 2	2,49	1	0,40
Palikkasokkeli	0,64	1	1,56

7.3 Johtumishäviöt ja viivamaiset lisäkonduktanssit

Taulukossa 7 on laskettuna pesuhallin johtumislämpötehohäviöt jokaiselle rakenneosalle erikseen ja vielä niin, että halli on jaettuna kahteen osaan, jolloin taulukkoon on mahdollista lisätä väliseinä ja jättää toinen hallin osuus pois laskuista. Myös hallin vaipan pinta-ala on merkittynä.

Taulukko 7. Johtumislämpöhäviöt jokaiselle rakenneosalla

Rakenneos	U	A	T _{u,mit}	T _s	ΔT (F)	UxAxF
	W/m ² K	m ²	°C	°C	°C	W
Yläpohja 1	0,22	111,4	-29	5	34	833,27
Alapohja keskeltä 1	0,43	111,4	6,6	5	-1,6	-76,58
Alapohja reuna 1	0,44	111,4	6,6	5	-1,6	-79,00
Seinä 1 ele	0,27	27,2	-29	5	34	249,70
Seinä 1 sokkeli	0,59	1,7	-29	5	34	34,27
Ovi 1	0,52	21,1	-29	5	34	373,05
Seinä 2 ele	0,27	62,5	-29	5	34	573,75
Seinä 2 sokkeli	0,59	4,9	-29	5	34	98,77
Seinä 3 ele	0,27	60	-29	5	34	550,80
Seinä 3 sokkeli	0,59	4,9	-29	5	34	98,77
Ovi 5	0,77	2,1	-29	5	34	54,98
Yläpohja 2	0,22	149,8	-29	5	34	1120,50
Alapohja keskeltä 2	0,39	149,8	6,6	5	-1,6	-93,52
Alapohja reuna 2	0,4	149,8	6,6	5	-1,6	-95,87
Seinä 4 ele	0,27	84	-29	5	34	771,12
Seinä 4 sokkeli	0,39	6,62	-29	5	34	87,82
Seinä 5 ele	0,27	32,9	-29	5	34	302,02
Seinä 5 sokkeli	1,56	17,1	-29	5	34	907,60
Seinä 6 ele	0,27	31,5	-29	5	34	289,17
Ovi 2	0,52	25,3	-29	5	34	447,30
Ovi 3	0,52	16,9	-29	5	34	298,79
Ovi 4	0,52	16,9	-29	5	34	298,79
	A _{vaippa}	1199,22			Φ _{joht}	7045,51

Myös lämpöhäviötehot kylmäsiltojen lävitse on otettava huomioon, kun lasketaan kokonaisjohtumislämpöhäviötehoa rakennusvaipan lävitse (taulukko 8). Viivamaisen kylmäsiltojen lisäkonduktanssin arvoista ei tässä tapauksessa ollut suunnittelutietoja saatavilla, joten johtumislämpötehon laskennassa kylmäsiltojen läpi on käytetty laskentaoppaan taulukkoarvoja (Ympäristöministeriö 2017, 19).

Taulukko 8. Lämpöhäviöt kylmäsiltojen lävitse

Rakenneosa	(l_k)	Ψ_k	ΔT (F)	$U \times A \times F$
	m	W/(m K)	°C	W
Yläpohja 1	42,7	0,3	34	435,54
Alapohja 1	35,7	0,24	34	291,312
Seinä-sokkeli 1	37,7	0,2	34	256,36
Seinä-seinä 1	17,5	0,1	34	59,5
Sokkeli- sokkeli 1	4,5	0,06	34	9,18
Ikkunat/ovet 1	30,9	0,2	34	210,12
Yläpohja 2	51,1	0,3	34	521,22
Alapohja 2	35	0,24	34	285,6
Seinä-sokkeli 2	35	0,2	34	238
Seinä- seinä 2	14,6	0,1	34	49,64
Sokkeli- sokkeli 2	7,4	0,06	34	15,096
Ikkunat/ovet 2	65,8	0,2	34	447,44
			$\Phi_{\text{kylmäsilat}}$	2819,008

7.4 Vuotoilman lämmitystehontarve

Taulukoissa 9 ja 10 esiteltynä tämän kohteen vuotoilmavirta $q_{\text{vuotoilma}}$, sekä sen lämmittämiseen vaadittava lämpöteho (taulukot 9 ja 10).

Taulukko 9. Vuotoilmavirta

q_{50}	A	x	Yksikkömuunnos	$q_{v, \text{vuotoilma}}$
$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$	m^2			m^3/s
4	1199,22	35	3600	0,038

Taulukko 10. Vuotoilman lämmittämiseen vaadittava lämpöteho

(ρ)	c_{pi}	$q_{v, \text{vuotoilma}}$	T_s	$T_{u, \text{mit}}$	$\Phi_{\text{vuotoilma}}$
kg/m^3	$\text{J}/(\text{kg K})$	m^3/s	°C	°C	W
1,2	1000	0,038	5	-29	1553,28

7.5 Kosteus

Työssä selvitettiin haihtuvan veden määrä silloin, kun veden lämpötila on hetkellisesti korkeampi kuin sisäilman lämpötila (yhtälöt 10 ja 11). Veden lämpötiloina käytetty +20 °C, + 30 °C ja +60 °C, jotta nähdään, kuinka paljon vettä voisi haihtua ääritapauksessa lämmitysolosuhteissa (taulukko 11).

Taulukko 11. Haihtuva vesimäärä veden eri lämpötiloissa

x_1	x_1	B_x	A	q_{vm}	q_{vmh}
kg/kg (+ 5 °C)	kg/kg (+ 5 °C)		m ²	kg/s	kg/h
0,0032	0,0054	0,0022	90,2	0,00044	1,57
kg/kg (+ 5 °C)	kg/kg (+ 20 °C)				
0,0032	0,0147	0,0022	90,2	0,0023	8,22
kg/kg (+ 5 °C)	kg/kg (+ 30 °C)				
0,0032	0,027	0,0022	90,2	0,0047	17,00
kg/kg (+ 5 °C)	kg/kg (+ 60 °C)				
0,0032	0,153	0,0022	90,2	0,030	107,015

Taulukossa 11 muitakin eri lämpötiloja ilmalle ja vedelle, jolloin voidaan vertailla, kuinka paljon vettä haihtuisi, jos hallin ja veden lämpötilaa päätettäisiin nostaa (taulukko 12).

Taulukko 12. Haihtuva vesimäärä, jos hallin lämpötilaa nostetaan

x_1	x_1	B_x	A	q_{vm}	q_{vmh}
kg/kg (+ 10 °C)	kg/kg (+ 10 °C)		m ²	kg/s	kg/h
0,0046	0,00763	0,0022	90,2	0,00061	2,19
kg/kg (+ 15 °C)	kg/kg (+ 15 °C)				
0,0064	0,0107	0,0022	90,2	0,00086	3,11
kg/kg (+ 20 °C)	kg/kg (+ 20 °C)				
0,0087	0,0147	0,0022	90,2	0,0012	4,26
kg/kg (+ 30 °C)	kg/kg (+ 30 °C)				
0,016	0,0272	0,0022	90,2	0,0022	8,00

Tästä nähdään, että jos lämpötilaa nostetaan 10 °C, haihtuminen kaksinkertaistuu.

Haihtumiseen kuluvaksi energiaksi saadaan 3551,91 kJ, joka voidaan muuttaa vaadittavaksi lämpötehoksi 0,986 kW (taulukko 13).

Taulukko 13. Veden haihtumiseen tarvittava lämpöteho

ΔT	r	m	E	$\Phi_{\text{haihtuminen}}$
°C	kJ/kg	Kg/h	kJ	kW
5/5	2260	1,57	3551,92	0,986
5/20	2260	8,22	18566,84	5,157
5/30	2260	17,00	38425,29	10,674
5/60	2260	107,01	241853,27	67,182

Työssä laskettiin myös haihtumisen aiheuttama lämmitystehontarve, jos hallin sisälämpötilaa nostettaisiin +10 °C, +15 °C tai + 20 °C (taulukko 14).

Taulukko 14. Lämmitystehontarve, jos hallin lämpötilaa nostetaan

ΔT	r	m	E	$\Phi_{\text{haihtuminen}}$
°C	kJ/kg	Kg/h	kJ	kW
10/10	2260	2,19	4956,54	1,38
15/15	2260	3,11	7023,11	1,95
20/20	2260	4,26	9622,47	2,67

7.6 Korvausilman lämmitystehontarve

Vaikka kosteus ei talviolosuhteissa luokaan merkittävää poistoilman tarvetta, on ilmavaihdon suunnittelun kannalta työssä laskettu myös arvoja kesän lämpötiloissa hallissa (taulukko 15). Tämä ei kuitenkaan vaikuta lämmitystehontarpeeseen, koska silloin hallia ei tarvitse tietenkään lämmittää, mutta huippuimurin ilmamäärän mitoittamiseen tällä on vaikutusta. Joskin ohjeessa on sanottu, että kosteuden lyhytaikainen nousu on tiloissa tilapäisesti sallittu mitoitusarvoa korkeammaksi (RT 103233 2020, 13). Kuten taulukosta 15 näkee, normaaliolosuhteissa, eli silloin kuin hallin ilman ja veden lämpötila on +5 °C ja +20 °C välillä, haihtuminen ei ole kovinkaan merkittävä tekijä ilmanvaihdollisesti. Kuitenkin ääritilanteissa vaikutus alkaa olla jo erittäin suuri.

Taulukko 15. Ilmanvaihdon mitoitus kosteuden mukaan

T_s	q_{vmh}	x_p	x_t	q_{vm}	ρ_{ilma}	q_{mi}	q_{mi2}
°C	kg/s	kg/kg	kg/kg	kg/s	kg/m ³	m ³ /s	dm ³ /s
5/5	0,00044	0,0032	0,009	0,036	1,268	0,045	45,37
5/20	0,00228	0,0032	0,009	0,187	1,268	0,237	237,18
5/30	0,00472	0,0032	0,009	0,387	1,268	0,491	490,87
20	0,00118	0,0087	0,009	0,07	1,204	0,080	80,27
30	0,00222	0,016	0,009	0,318	1,164	0,370	369,57

Koska kosteuden vaikutus lämmitystilanteessa aiheuttaa halliin vain 45 dm³/s poistoilmavirran, on hallin mitoittavaksi poistoilmavirraksi valittu kuitenkin 0,35 dm³/s, m², joka on pienin mahdollinen ilmavirta varastoissa koska hallissa on ainoastaan koneellinen poistoilmavaihto. Tämä tulee ympäristöministeriön oppaasta "Ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa" (2019, 21). Tämän perusteella hallin kokonaispoistoilmavirraksi tulee 0,35 dm³/s, m² x 261,2 m² = 91,2 dm³/s. Huippuimuriksi valitaan kuitenkin riittävän tehokas, jotta laitteessa on tehostusvaraa kosteuden noustessa.

Tällä ilmapirralla 91,2 dm³/s laskettuna yhtälöllä 14, saadaan hallin korvausilman lämmitystehon tarpeeksi 3722,6 W (taulukko 16).

Taulukko 16. Korvausilman lämpenemisen lämpötehotarve

T_s	$T_{u, mit}$	$q_v, korvausilma$	c_{pi}	ρ_{ilma}	$\Phi_{korvausilma}$
°C	°C	dm ³ /s	kJ/(kg K)	kg/m ³	W
5	-29	91,2	1	1,2	3720,96

7.7 Lämmitysenergian tarve

Taulukossa 17 esitettynä vuotuinen yläpohjan lämmitysenergian tarve lämmityskuukausien ajalta. Muiden rakenneosien taulukot on esitelty liitteessä 1. Alapohjaa ei ole otettu mukaan laskentaan, sillä hallin sisälämpötilan mitoitusarvona on pidetty + 5 °C. Lisäksi alapohjan lämpöenergian tarve riippuu alapohjan toteutustavasta, joka tässä tapauksessa maavarainen, jolloin ulkoilman lämpötilana käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Tuo lämpötila on tämän hallin mitoituslämpötiloissa +6,6 °C, joten alapohjasta ei tällöin synny lämmitysenergian tarvetta.

Taulukko 17. Kuukausittainen lämmitysenergian tarve yläpohja

Kuukausi	T_u	T_s	U-arvo	A	Δt	$Q_{yläpohja}$	$Q_a, yläpohja$
	°C	°C	W/m ² K	m ²	h	kWh	kWh/a
Tammi	-6,30	5	0,22	261,2	744	483,11	
Helmi	-11,40	5	0,22	261,2	672	633,30	
Maalis	-3,50	5	0,22	261,2	744	363,40	
Huhti	3,00	5	0,22	261,2	720	82,75	
Marras	0,20	5	0,22	261,2	720	198,60	
Joulu	-10,20	5	0,22	261,2	744	649,85	
							2411,01

Hallin kylmäsiltojen aiheuttama kuukausittainen lämmitysenergian tarve (taulukko 18). Työssä on käytetty vuoden 2021 kuukausittaisia keskilämpötiloja, jotka ovat mitattu tämän hallin sijaintia lähimpänä olevalla ilmatieteenlaitoksen havaintoasemalla. Tämä havaintoasema sijaitsee 10 km päässä hallista, Parikkalan kunnan Koitsanlahdessa. Kuukausittaiset keskilämpötilat on saatu Ilmatieteen laitoksen internetsivuilta. (Ilmatieteen laitos 2022b.)

Taulukko 21. Kuukausittainen veden haihtumisen lämmitysenergian tarve

Kuukausi	Δt	$\Phi_{\text{haihtuminen}}$	$Q_{\text{haihtuminen}}$	$Q_{a,\text{haihtuminen}}$
	h	kW	kWh	kWh/a
Tammi	744	0,986	733,58	
Helmi	672	0,986	662,59	
Maalis	744	0,986	733,58	
Huhti	720	0,986	709,92	
Marras	720	0,986	709,92	
Joulu	744	0,986	733,58	
				4283,18

Koko hallin vuotuinen lämmitysenergian tarve saadaan laskemalla nämä kaikki energian tarpeet yhteen. Tämän hallin kohdalla vuotuinen lämmitysenergian tarve on 20840,55 kWh/a (taulukko 22).

Taulukko 22. Vuotuinen kokonaislämmitysenergian tarve

$Q_{a,\text{yläpohja}}$	$Q_{a,\text{seinät}}$	$Q_{a,\text{sokkeli}}$	$Q_{a,\text{palikkasokkeli}}$	$Q_{a,\text{nosto-ovet}}$	$Q_{a,\text{käyntiovi}}$	$Q_{a,\text{kylmäsillat}}$	$Q_{a,\text{vuotoilma}}$	$Q_{a,\text{iv korvausilma}}$	$Q_{a,\text{haihtuminen}}$	$Q_{a,\text{tot}}$
kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
2411,01	3376,98	440,46	1119,24	1749,77	50,23	914,77	1913,23	4581,68	4283,18	20840,55

Koska halliin on myös mahdollisuus rakentaa väliseinä, on vertailuun otettu mukaan kokonaislämmitysenergian tarve siinä tilanteessa, jos seinä päädyttäisiin rakentamaan. Tällöin hallin energiantarve olisi 15664,19 kWh (taulukko 23).

Taulukko 23 Vuotuinen kokonaislämmitysenergiatarve väliseinällä

$Q_{a,\text{yläpohja}}$	$Q_{a,\text{seinät}}$	$Q_{a,\text{sokkeli}}$	$Q_{a,\text{palikkasokkeli}}$	$Q_{a,\text{nosto-ovet}}$	$Q_{a,\text{käyntiovi}}$	$Q_{a,\text{kylmäsillat}}$	$Q_{a,\text{vuotoilma}}$	$Q_{a,\text{iv korvausilma}}$	$Q_{a,\text{haihtuminen}}$	$Q_{a,\text{tot}}$
kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
1382,73	2030,04	108,32	2238,48	1289,42	50,23	699,09	1316,88	3121,59	3427,42	15664,19

Toteutuneesta lämmitysenergian tarpeesta saadaan yhtälöllä 19 rakennuksen normitettu lämmitysenergian tarve (taulukko 24).

Taulukko 24. Normitettu lämmitysenergian tarve

S_N vpkunta	$S_{\text{toteutunu}}$ vpkunta	Q_{norm}
kWh/a	kWh/a	kWh/a
20840,55	4697,92	4705,21
		20808,25

8 JÄRJESTELMIEN VERTAILU

8.1 Hankinta- ja käyttökustannukset

Laskennassa on otettu huomioon neljän eri erilaisen lämmitysjärjestelmien kustannukset ensimmäiselle vuodelle. Energian hintana on käytetty historiatietoihin perustuvia keskiarvoja. Sähkön hintana käytetty 0,073 €/kwh sisältäen siirtomaksun ja veron. Kevyen polttoöljyn hintana on käytetty 0,87 €/l, eriteltynä kyseisen lämmitysjärjestelmän vuotuinen kustannus lämmitysenergiasta sekä järjestelmän hankinnasta (taulukko 25).

Taulukko 25. Lämmitysjärjestelmien kustannukset ensimmäiselle vuodelle historian keskiarvohinnoilla

Lämmitysmuoto	Lämmitys	Hankinta	Kustannus
S 0,073 €/kWh/PÖ 0,87 €/l	€/a	€	€
Infrapunalämmitin	1750,62	1587,90	3338,52
Sähkölämmitin	1519,00	257,90	1776,90
ILP + infrapuna	827,60	7587,9	8415,50
ILP + sähkö	759,50	6257,9	7017,40

Lämmitysjärjestelmien kustannukset ensimmäiselle vuodelle, tämän hetken energian hinnoilla. Sähkö 0,336 €/kwh ja kevyt polttoöljy 1,57 €/l (taulukko 26).

Taulukko 26. Lämmitysjärjestelmien kustannukset ensimmäiselle vuodelle, tämän hetken energian hinnoilla

Lämmitysmuoto	Lämmitys	Hankinta	Kustannus
S 0,336 €/kWh/PÖ 1,57 €/l	€/a	€	€
Infrapunalämmitin	3172,11	1587,90	4344,20
Sähkölämmitin	6991,57	257,90	7249,47
ILP + infrapuna	2343,56	7587,9	9931,46
ILP + sähkö	3495,79	6257,9	9753,69

Futuuriin perusteella lasketut kustannukset hankinnan ensimmäiselle vuodelle. Sähkön hintana 0,13 €/kwh ja kevyen polttoöljyn 1,66 €/l (taulukko 27).

Taulukko 27. Lämmitysjärjestelmien kustannukset ensimmäiselle vuodelle futuurien perusteella

Lämmitysmuoto	Lämmitys	Hankinta	Kustannus
S 0,13 €/kWh/PÖ 1,66 €/l	€/a	€	€
Infrapunalämmitin	3339,57	1587,9	4927,57
Sähkölämmitin	2705,07	257,9	2962,97
ILP + infrapuna	1540,44	7587,9	9128,34
ILP + sähkö	1352,54	6257,9	7610,44

8.2 Takaisinmaksuaika

Kuten aiemmista laskelmista on nähtävissä, ilmalämpöpumppujen hankinta olisi kaikkein energiatehokkain valinta kohteeseen, mutta myös huomattavasti suurin investointi hankintakustannuksiltaan.

Suuremman investoinnin kannattavuudeksi oli ilmalämpöpumpuille selvitetty takaisinmaksuaika. Vertailussa on käytetty kolmea eri energian hintoja: historian keskiarvohinnat (taulukko 28), tämän hetken hintoja (taulukko 29) ja futuureihin perustuvia energian hintoja (taulukko 30). Kaikille laitteille on tässä käytetty käyttöikänsä 15 vuotta, sillä sellaisia arvioita on annettu useastakin lähteestä ilmalämpöpumppujen käyttöiksi. Infrapunalämmittimestä ja sähkölämmittimistä ei tällaisia tietoja ollut saatavilla.

Vertailuun takaisinmaksuajoista on otettu vaihtoehtoina pelkkä infrapunalämmitin, pelkkä sähkölämmitys sekä ilmalämpöpumput apunaan niin infrapunalämmitin kuin sähkölämmitin. Taulukoista on luettavissa mahdolliset takaisinmaksuajat ilmalämpöpumpuille verrattuna muihin järjestelmiin. Taulukkojen alimmalla rivillä on järjestelmien elinkaarikustannukset 15 vuodelle. Laskentaan ei ole otettu huomioon mahdollisia jälleenmyyntiarvoja tai huoltokustannuksia.

Taulukko 28. Ilmalämpöpumppujen takaismaksuaika historian keskiarvohinnoilla

Elinkaarikustannus	Infrapuna	Sähkö	ILP+infrapuna	ILP+sähkö
Käyttöikä	15,00	15,00	15,00	15,00
Hankinta	1587,90	257,90	7587,90	6257,90
Hankinta 15 v/a	105,86	17,19	505,86	417,19
Käyttökustannus vuosi	1856,48	1536,19	1333,46	1176,69
ILP-säästö, a\ infrapuna			523,02	679,79
ILP-säästö, a\ sähkö			202,73	359,50
ILP takaisinmaksu\ infrapuna			14,51	9,21
ILP takaisinmaksu\ sähkö			37,43	17,41
Käyttö+ hankintakustannus 15 v	27847,20	23042,90	20001,90	17650,40

Taulukko 29. Ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuaika tämän hetken energian hinnoilla

Elinkaarikustannus	Infrapuna	Sähkö	ILP+infrapuna	ILP+sähkö
Käyttöikä	15,00	15,00	15,00	15,00
Hankinta	1587,90	257,90	7587,90	6257,90
Hankinta 15 v/a	105,86	17,19	505,86	417,19
Käyttökustannus vuosi	3277,97	7008,76	2849,42	3912,98
ILP-säästö, a\ infrapuna			428,55	-635,01
ILP-säästö, a\ sähkö			4159,34	3095,78
ILP takaisinmaksu\ infrapuna			17,71	-9,85
ILP takaisinmaksu\ sähkö			1,82	2,02
Käyttö+ hankintakustannus 15 v	49169,55	105131,45	42741,30	58694,75

Taulukko 30. Ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuaika futuureihin perustuvilla energian hinnoilla

Elinkaarikustannus	Infrapuna	Sähkö	ILP+infrapuna	ILP+sähkö
Käyttöikä	15,00	15,00	15,00	15,00
Hankinta	1587,90	257,90	7587,90	6257,90
Hankinta 15 v/a	105,86	17,19	505,86	417,19
Käyttökustannus vuosi	3445,43	2722,26	2046,30	1769,73
ILP-säästö, a\ infrapuna			1399,13	1675,70
ILP-säästö, a\ sähkö			675,96	952,53
ILP takaisinmaksu\ infrapuna			5,42	3,73
ILP takaisinmaksu\ sähkö			11,23	6,57
Käyttö+ hankintakustannus 15 v	51681,45	40833,95	30694,50	26546,00

8.3 Kestävä kehitys

Suunnitteluun tulisi myös ottaa huomioon rakentamisen vaikutukset kestävästä kehityksestä kannalta ja sen, minkälaisen hiilijalanjäljen tekemämme ratkaisut aiheuttavat. Tässäkin työssä on vertailtu kahden eri ääripään eli polttoainekäyttöisen infrapunalämmittimen sekä ilmalämpöpumppujen sähkölämmityksellä tuettuna aiheuttamaa hiilijalanjälkeä käyttäen Suomen Ympäristökeskuksen julkaisemaa Y-HIILARI -hiilijalanjälkityökalua (2013).

Työkalusta saadaan hiilijalanjäljeksi polttoainekäyttöiselle infrapunalämmittelmelle 20808 kWh:n kevyen polttoöljyn vuosittaisella kulutuksella ja siihen lisätyllä 63 kWh:n vuosittaisella sähkön kulutuksella 5507,6 kg CO₂ekv, kun taas ilmalämpöpumppujen ja sähkölämmittimen vuosittainen sähköenergiankulutus on 10404 kWh, jolloin hiilijalanjälki on 1622,5 kg CO₂ekv.

9 TULOSTEN RAPORTOINTI JA ANALYYSI

9.1 Johtopäätökset

Taulukoista 28, 29 ja 30 nähdään, kuinka paljon energian hinnat ovat muuttuneet aivan lähiaikoina. Tämänhetkisen epävakaa maailmantilanteen johdosta hintojen kehityksen suhteen on erittäin vaikea sanoa, mikä olisi paras vaihtoehto elinkaarikustannusten suhteen, koska energian hinta on niin merkittävä takaisinmaksuajan laskennassa. Mutta sähkön hinnan palaamisesta tasolle ennen vuoden 2022 tasoa, on kuitenkin toiveita olemassa, minkä futuuritkin näyttävät. Tähänkin kuitenkin vaikuttaa, kuinka kauan sota vielä Ukrainassa jatkuu ja millaiset ovat sähkömarkkinat mahdollisen sodan päättymisen jälkeen. Myös Olkiluoto 3: n yhä jatkuvat käynnistysvaikeudet vaikuttavat energian hintaan korottavasti. Myöskään polttoöljyn hinta ei tällä hetkellä vaikuttaisi ainakaan merkittävästi alenevan ainakaan tulevana vuonna.

Vaikka epävarmuus energian hinnan kehityksestä onkin tällä hetkellä suuri, työn pohjalta suositellaan silti tilaajalle kolmen ilmalämpöpumpun hankintaa sekä siihen lisänä kattamaan kulutuksen huippulukemat kaksi 9 kW:n sähkölämmittintä.

Tämä suositus perustuu käytettävissä oleviin ennusteisiin energian hintojen kehityksestä. Sillä vaikka ilmalämpöpumppujen hankintakustannukset ovat ylivoimaisesti suurimmat ja tarvitsevat toisen lämmitysjärjestelmän rinnalle, niin silti sähkön futuurihintojen mukaan tällaisen järjestelmän takaisinmaksu-aika olisi kuitenkin vain alle neljä vuotta verrattuna polttoainekäyttöiseen infrapunalämmittimeen.

Myös kestävän kehityksen näkökulmasta, joka tulisi ottaa huomioon suunnittelussa, ilmalämpöpumput ovat ylivoimaisesti ympäristöystävällisempi vaihtoehto sillä niiden aiheuttama hiilijalanjälki on 1622,5 kg CO₂ekv verrattuna taas polttoainekäyttöiseen infrapunalämmittimeen, jolloin hiilijalanjälki on 5507,6 kg CO₂ekv.

Lämpöpumppujen etuina on myös niiden paloturvallisuus ja toimintavarmuus, jos vain ei sähkökatkoja tule, verrattuna polttoainekäyttöisiin lämmittimiin, joiden polttoainesäiliöiden tankkaamisesta on muistettava huolehtia. Varsinkin kun kyseessä on tila, jossa ei päivittäin työskentele ketään ihmisiä ja viikonloput tila on aina tyhjillään. Sähkökatkojen tai muiden vikatilanteiden varalle halliin voitaisiin rakentaa järjestelmä, joka tyhjentää pesusäiliöiden vedet, jos hallin lämpötila laskee liian alhaiseksi.

Lämpöpumppujen haittapuolina ovat korkeiden hankintakustannusten lisäksi se, kuinka ne kestävät hallin olosuhteissa, sillä epäpuhtauksia saattaa esiintyä jonkin verran. Maahantuoja kuitenkin vakuutteli, että kosteuden ei pitäisi olla ongelma pumppujen kanssa. Myös ilmalämpöpumppujen heikko saatavuus tämänhetkisen kysynnän vuoksi on hieman ongelmallista.

Hallin piirustuksiin ja rakenteisiin tutustumalla kuitenkin havaittiin useampiakin seikkoja, joita parantamalla lämmitystehon tarvetta pystyttäisiin pienentämään. Esimerkiksi jos palikoista tehdyn sokkelin eristäisi edes samanlaisella 50 mm polyuretaanieristeellä kuin muissa sokkeleissa, jo sillä piennettäisiin tehontarvetta yli 0,63 kW, ja tämä tekee vuodessa jo ~850 kWh:n säästön energian kulutuksessa. Pesuhallissa ei myöskään tarvita lämmitystä saostusaltaiden tai puhtaanvedensäiliöiden alueella, jolloin halliin olisi mahdollista rakentaa väliseinä. Tämä väliseinä pienentäisi laskennallisesti lämmitystehon tarvetta yli 5 kW, mikä tarkoittaisi vuodessa yli 5100 kWh pienempää energiankulutusta. Tällä ratkaisulla lämmityslaitteiden kokoa pystyttäisiin pienentämään merkittävästi, kun lämmitystehontarve sekä lämmitettävä pinta-ala pienenisivät huomattavasti. Myöskään mahdollisia ilmalämpöpumppuja ei tarvittaisi kolmea kappaletta, vaan 150 m² tilaan mahdollisesti riittäisi yksi hieman suurempitehoisempi pumppu, esimerkiksi Mitsubishiilta MSZ-FT50-pumppu.

9.2 Työn eteneminen ja sen haasteet

Työn alkoi tarvittavien lähtötietojen selvittämällä, ja jo siinä vaiheessa alkoi ensimmäisiä haasteita olemaan, sillä hallista oli hieman huonosti taltioitu tarvittavia tietoja. Varsinkin alapohjan rakenteen osalta tietoja ei enää meinannut oikein löytyä, sillä hallia on rakennettu jo useamman vuoden ajan, silloin kun on ollut tarvittavia työntekijöitä käytävissä, eikä suunnittelutietoja ollut dokumentoitu kovinkaan laajasti. Kuitenkin kun kaikki lähtötiedot oli saatu selville, onnistui lämmitystehontarpeen laskenta aina muiden töiden ohessa ja vapaaajalla sen suuremmitta ongelmitta.

Seuraavassa vaiheessa oli valittavana soveltuva lämmitysjärjestelmä tähän kohteeseen. Haasteena oli se, ettei kohteessa ollut rakennusvaiheessa varattuna minkäänlaisia vaihtoehtoja lämmityksen suhteen, eikä kohteeseen ole vedetty vesi- eikä viemärintilinjaa, joten tämä rajasi vaihtoehdot sähköllä tai polttoaineella toimiviin järjestelmiin. Työn tilaajalla oli alkuun toiveena ilmanvaihtokone varustettuna lämmöntalteenotolla ja siihen ilmalämpöpumppu apujärjestelmäksi, mutta keskusteltuani useammankin laitevalmistajien kanssa kyllään ei ollut tarjota minkäänlaista vaihtoehtoa ilmanvaihtokoneesta näillä lämpötiloilla ja ilmamäärillä. Myös altaista haihtuva kosteus muodostuisi ongelmaksi, sillä tämän hallin mitoituslämpötiloissa lämmöntalteenotolla saataisiin niin vähän lämpöä talteen, ettei se tulisi ikinä kompensoimaan hankintakustannuksiaan takaisin, ja yhdistettynä se kosteuteen seuraisi ongelmia jäätyksen suhteen. Keskusteluissa myös päädyttiin siihen, ettei ole tarkoituksen mukaista kasvattaa lämpötilaa ja ilmamääriä sitä varten, että saataisiin sopiva ilmanvaihtokone, sillä silloin lämmitystehontarve kasvaisi kuitenkin niin suureksi, ettei se ole kannattavaa.

Näistä seikoista johtuen päädyttiin siis yksinkertaisempaan ratkaisuun eli poistoilma huippuimurilla ja polttoaine- tai sähkökäyttöinen lämmitin tai sitten ilmalämpöpumput. Tämäkin hieman viivytti työn etenemistä, sillä olisin itsekin toivonut hieman energiatehokkaampaa ratkaisua, joka olisi myös kustannustehokas työn tilaajalle. Tätä asiaa tuli liikaakin mietittyä, ja kaikkia mahdollisia vaihtoehtoja tuli pyöriteltyä päässä ja kyselyä laitevalmistajilta. Mutta lopulta rajasin vaihtoehdot näihin yksinkertaisempiin vaihtoehtoihin. Sen lisäksi sitten

aloitin laskemaan kosteuden haihtumista muillekin lämpötiloille ja selvittämään, millainen ilmalämpöpumppu olisi sopiva kohteeseen sekä millaisia säästöjä se toisi. Tässä vaiheessa alkoikin jo hieman tulla kiire saada työ valmiiksi vuoden viimeiseen seminaariin, mutta onneksi materiaalia oli sen verran kasassa, että työn sai kirjoittua valmiiksi. Seuraavaksi työ esitellään tilaajalle, ja sen pohjalta alkaa prosessi lämmityslaitteiden hankinnalle.

LÄHTEET

Energiatehokas koti. 2020. Lämmitys. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.7.2020. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitus [viitattu 4.12.2022].

Energiatehokas koti. 2020. Lämmöneristys. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.3.2020. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys [viitattu 4.12.2022].

FINNFOAM OY. 2022. Tuotekortti Finnfoam (XPS) F-300. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.finnfoam.fi/application/files/8016/4603/9006/Tuotekortti_Finnfoam_XPS_F300_28022022.pdf [viitattu 30.11.2022].

Ilmatieteen laitos. 2022a. Lämmitystarve eli astepäiväluku. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitustarveluvut> [viitattu 1.12.2022].

Ilmatieteen laitos. 2022b. Havaintojen lataus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus> [viitattu 1.12.2022].

Inveco Oy. s.a. Tekninen katalogi. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://izopanel.fi/wp-content/uploads/2022/02/tekninen_katalogi_izopanel.pdf [viitattu 30.11.2022].

Kontiokorpi, A. 2013. Y-HIILARI Hiilijalanjälki -työkalu. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.3.2021. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari [viitattu 1.12.2022].

Mitsubishi Electric. s.a. Mitsubishi Electric MSZ-FT35 energiamerkintä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.scanoffice.fi/wp-content/uploads/sites/11/2020/08/energiamerkinta-ft35.png> [viitattu 1.12.2022].

Motiva Oy. 2016. Kulutuksen normitus auttaa kulutusseurannassa. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf [viitattu 1.12.2022].

Motiva Oy. 2018a. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf [viitattu 4.12.2022].

Motiva Oy. 2018b. Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus Laskentatyökalu – ohje työkalun käyttöön. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskentatyokalu_ohje_2018.pdf [viitattu 4.12.2022].

Nasdaq. 2022. Market prices. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.nasdaqomx.com/transactions/markets/commodities/market-prices> [viitattu 1.12.2022].

Patel, B. 2022. Goldman raises oil price forecasts on 'very bullish' OPEC+ cuts. *Reuters* 7.10.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.reuters.com/markets/commodities/goldman-raises-oil-price-forecasts-very-bullish-opec-cuts-2022-10-06/> [viitattu 1.12.2022].

Rakennusoutlet.com. s.a. Ulko-ovi RAW10x21 valkoinen oikea. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennusoutlet.com/tuote/rakennustarvikkeet/ikkunat-ja-ovet/ulko-ovet/ulko-ovi-raw-10x21-valkoinen-oikea/> [viitattu 30.11.2022].

RT 103233. 2020. Rakennustieto. Uimahallien LVIA-suunnittelu.

Scanoffice. 2022. Mitsubishi Electric MSZ-FT esite. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.scanoffice.fi/wp-content/uploads/sites/11/2020/08/ft-esite-4.pdf> [viitattu 1.12.2022].

SFS-EN ISO 6946:2017. 2021. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods.

Sisäilmayhdistys ry. s.a. Rakenteiden lämpötekniikka. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka> [viitattu 30.11.2022].

Swegon Group AB. s.a. Älykkäiden investointien arvo. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.swegon.com/fi/oppaat/rakennustyytit/asuntoilmanvaihto-opas/elinkaarikustannukset/> [viitattu 4.12.2022].

The Nature Conservancy. s.a. What is a carbon footprint? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nature.org/en-us/get-involved/how-to-help/carbon-footprint-calculator/> [viitattu 4.12.2022].

Tilastokeskus. 2022a. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px [viitattu 1.12.2022].

Tilastokeskus. 2022b. Polttonesteiden kuluttajahinnat. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_12ge.px/ [viitattu 1.12.2022].

TURNER DOOR OY. s.a. Turner 40 (lyhyt versio esitteestä). PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://turner.fi/wp-content/uploads/Turner-40.pdf> [viitattu 30.11.2022].

Weltem. s.a. Polttoainekäyttöinen infrapunalämmitin. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://img.karkkainen.com/kayttoohjeet/k%C3%A4ytt%C3%B6ohje_WHO070-205.pdf [viitattu 4.12.2022].

Ympäristöhallinto. 2013. Elinkaariajattelu. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.1.2014. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/resurssitehokkuus/elinkaariajattelu [viitattu 4.12.2022].

Ympäristöministeriö. 2017. Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/0/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf/3efb5c34-e921-592e-3d54-aaf9ecc1b62e/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563> [viitattu 4.12.2022].

Ympäristöministeriö. 2018. Energiatodistuksen laadintaesimerkki: Erillinen moottoriajoneuvosuoja. PDF-dokumentti. Päivitetty 4.9.2020. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/Energiatodistusopas_2018_Autotalli_vuodelta_1990_paivitys_2020_09_04_puhdaspdf/%7B27BF884C-DAEC-4F41-AC45-2CDD3C9F8E7A%7D/142513 [viitattu 1.12.2022].

Ympäristöministeriö. 2019. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. PDF-dokumentti. Päivitetty 28.1.2020. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoitukseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf/9f1ca28e-57de-3fa4-5388-a00f4d973afb/Opas-ilmanvaihdon-mitoitukseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf?t=1603260098252 [viitattu 1.12.2022].

Ympäristöministeriö. s.a. Mitä on kestävä kehitys? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys> [viitattu 4.12.2022].

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiantehokkuudesta 1048/2017.

