



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Simo Suontama

Automaattisen autopesulan LVI-tekni- nen vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

08.05.2019

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Tekijä Otsikko | Simo Suontama Automaattisen autopesulan LVI-tekniinen vertailu |
| Sivumäärä Aika | 43 sivua + 2 liitettä 08.05.2019 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | talotekniikka |
| Ammatillinen pääaine | LVI-suunnittelu |
| Ohjaajat | LV-suunnittelupäällikkö Jukka Aho yliopettaja Jukka Yrjölä |
| <p>Opinnäytetyö tehtiin Insinööri-toimisto Granlund Lahti Oy:n toimeksiannosta. Tavoitteena oli laskennallisesti perehtyä automaattisen pesuhallin tehontarpeen koostumiseen ja lämmitysenergian tarpeeseen. Lämmitysenergian kulutuksia vertailtiin laskennallisesti kahden tapauksen välillä. Vertailun tavoitteena oli selvittää, paljonko kulutus pienenee ilmanvaihdon lämmön talteenotolla ja ulkoilmalämpöpumpulla.</p> <p>Tutkimus suoritettiin pääosin laskennallisesti. Laskennassa hyödynnettiin ympäristöministeriön laatimia ohjeita, vuoden 2012 säädataa Lahdessa, laitevalmistajien laatimia teknisiä esitteitä, yleisesti saatavilla olevia verkkodokumentteja sekä paikan päällä mittaamista pesuhallin ovien toiminnan selvittämiseksi. Työssä tarkasteltiin myös olemassa olevan hallin sisälämpötilan sekä suhteellisen kosteuden muutoksia pesujen aikaan ja käyttöajan ulkopuolella kiinteistöautomaation etäkäytön avulla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin pesuhallin laskennalliseksi lämmitystehon tarpeeksi 45,3 kW. Lämmitystehon tarve koostuu johtumisen, ilmavuotojen ja ilmanvaihdon aiheuttamasta lämmitystarpeesta, ajoluiskien sulanapidosta sekä hallin lattialle kertyneen veden haihtumisesta ja suurten halliovien avautumisen aiheuttamasta lämmitystarpeesta.</p> <p>Laskennalliseksi lämmitysenergian kulutukseksi perustapauksessa saatiin n. 68 MWh/a. Perustapauksessa poistoilmasta ei otettu lämpöä talteen tuloilmaan ja lämmitys tapahtui hyötysuhteella 1. Lämmitysenergian kulutukseksi saatiin n. 23 MWh/a vertailutapaukselle, jossa ilmanvaihtokone oli varustettu lämmöntalteenotolla ja lämmitysenergia tuotettiin ilmavesilämpöpumpulla. Huurtumisen estämiseksi ulkoilmaa esilämmitettiin sähkövastuksilla ennen lämmöntalteenoton vastavirtalämmönsiirintä ja lämpöpumppu mitoitettiin n. 60 %:n osuudelle mitoitavasta huipputehontarpeesta. Lisäteho tuotettiin sähkökattilalla. Sekä perus- että vertailujärjestelmässä hallia lämmitettiin lattialämmityksellä ja ajoluiskaa lämmitysputkistolla. Niiden ja ilmanvaihdon lämmitysverkon kiertoaaineena oli vesi-glykoliliuos.</p> <p>Vertailujärjestelmällä säästöä kertyi lämmitysenergian kulutuksessa n. 44 MWh/a eli noin 65,7 % perustapauksen lämmitysenergian kulutuksesta.</p> | |
| Avainsanat | autopesula, lämmitysteho, lämmitysenergia, lämmöntalteenotto, lämpöpumppu |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Author Title | Simo Suontama Heating Demand at Automatic Car Wash |
| Number of Pages Date | 42 pages + 1 appendix 8 May 2019 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Professional Major | HVAC Design |
| Instructors | Jukka Aho, Planning Manager Jukka Yrjölä, Principal Lecture |
| <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to establish with computational methods the factors that affect heating power demand and energy consumption in automatic car washes. The demand for heating power in two cases was compared. The aim of the comparisons was to establish how much heating energy can be saved with ventilation heat recovery and a heat pump devices.</p> <p>The study was mainly carried out computationally. The calculations were done according to the instructions of the Ministry of the Environment, using the weather data in Lahti, the technical brochures of the devices, and other online sources, as well as real-life measurements. Data from building automation about the indoor air conditions of an existing car wash were also used.</p> <p>The calculated demand for heating power was 45.3 kW, due to conduction heat losses, air leaks, ventilation, evaporation of water and cold air flows through open doors. The calculated heating energy consumption without heat recovery ventilation was 68 MWh/a, and 23 MWh/a with heat recovery and a heat pump. The difference in the heating energy consumption was 67.5 %.</p> <p>The heating energy consumption decreased with 44,394 kWh/a the calculated devices. It is 67.5 % of the original option.</p> | |
| Keywords | car wash, heating power, heating energy, heat recovery, heat pump |

Sisällys

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Pesuhallin ja pesulaitteiston kuvaus | 2 |
| 2.1 | Pesuhalli | 2 |
| 2.2 | Pesulaitteisto | 3 |
| 3 | LVI-järjestelmien mitoitusperusteet | 5 |
| 3.1 | Ilmanvaihto | 5 |
| 3.2 | Tilojen lämmitys | 5 |
| 3.3 | Ajoluiskan sulanapito | 6 |
| 4 | Lämmitystehontarve | 7 |
| 4.1 | Tehontarpeen osatekijät | 7 |
| 4.2 | Johtumislämpöhäviöt ja vuotoilman lämpenemisen tehontarve | 8 |
| 4.2.1 | Lähtötiedot | 8 |
| 4.2.2 | Laskenta | 8 |
| 4.3 | Ilmanvaihdon lämmitystehontarve | 11 |
| 4.3.1 | Lähtötiedot | 11 |
| 4.3.2 | Laskenta | 11 |
| 4.4 | Ajoluiskien lämmitys | 12 |
| 4.5 | Veden haihtumisen lämmitystehontarve | 12 |
| 4.6 | Ovien avautumisesta johtuvan lämpötilan laskun lämmitys | 13 |
| 4.7 | Tulokset | 16 |
| 5 | Laskennallinen lämmitysenergian tarve | 17 |
| 5.1 | Johtumislämpöhäviöt ja vuotoilman energian kulutus | 17 |
| 5.2 | Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus | 20 |
| 5.3 | Sulanapidon energian kulutus | 20 |
| 5.4 | Veden haihtumisen energian kulutus | 21 |
| 5.5 | Ovien avautumisesta johtuvan ilman lämmittämisen energian kulutus | 22 |
| 5.6 | Tulokset | 22 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6 | Järjestelmävalinnat | 24 |
| 6.1 | Lämmitysjärjestelmä | 24 |
| 6.2 | Ilmanvaihtojärjestelmä | 26 |
| 7 | Laskennallinen lämmitysenergian tarve valituilla laitteilla | 27 |
| 7.1 | Ilmanvaihtojärjestelmä | 27 |
| 7.2 | Tulokset | 29 |
| 7.3 | Lämmitysjärjestelmä | 30 |
| 7.3.1 | Laskenta | 33 |
| 7.3.2 | Tulokset | 34 |
| 8 | Mittaukset | 36 |
| 9 | Yhteenveto | 40 |
| 9.1 | Keskeiset tulokset | 40 |
| 9.2 | Jatkotutkimusaiheet | 41 |
| | Lähteet | 42 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Valitun ilmanvaihtokoneen LTO–hyötysuhteet opinnäytetyön olosuhteilla | |
| | Liite 2. Kytkenäkaavio ja toimintaselostus | |

1 Johdanto

Automaattiautopesuloiden kysyntä on kasvanut lähiaikoina huomattavasti, ja yhä useampien markettien ja huoltoasemien pihoihin on ilmestynyt pesuhalli, johon ajoneuvot jonottavat pesuvuoroaan. Autoilijoiden kiire, mukavuudenhalu ja pesukoneiden yhä paremmat pesutulokset ovat nostaneet kysyntää, ja kauppiat ovat oivaltaneet lisätuoton mahdollisuuden. [1.]

Automaattipesuhallien tarkoituksena on tuoda helppo, nopea ja ympäristöystävällinen tapa pestä ajoneuvoja kaupassakäynnin ja muiden arkisten asioiden ohella. Nykyisten automaattipesuloiden etuja ovat sen sijoittelumahdollisuudet ja pesuhallin täysin automatisoitu toiminta. Pesuhalli voidaan esimerkiksi sijoittaa marketin pihaan tai vaikkapa viereiselle tontille mahdollisuuksien mukaan. Tällöin mahdolliset asiakkaat voivat kauppareissun yhteydessä pesettää autonsa ilman suurempaa vaivaa. Automatisoitu toiminta ei kuormita marketin henkilökuntaa, mikä helpottaa hankintapäätöstä, eikä sijoitus nosta henkilökuluja. Myös ympäristöasioiden ollessa paljon esillä on kuluttajalla mahdollisuus pesettää autonsa pesulassa tiedostaen, ettei pesukemikaaleja tai muita haitta-aineita joudu ympäristöön. Pesuhalli on siis myös ekologinen ratkaisu verrattuna perinteiseen pesuun tallin edessä, jolloin pesuvesien oikeaoppisesta käsittelystä ei ole varmuutta.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Granlund Lahti Oy, joka on keskittynyt talotekniikan suunnittelu- ja konsultointityöhön. Yritys on ollut mukana automaattipesuhallien LVI-suunnittelussa nyt muutamassa kohteessa, ja tulevaisuuden näkymät tuovat lisää pesuhalleja suunnittelupöydille.

Työn taustana on tarve selvittää pesuhallien tehon ja energian tarpeiden suuruus ja jakauma. Tämä selvitys antaa suuntaa kehittää tulevaisuudessa pesuhallien taloteknistä suunnittelua ja toteutusta.

Tämän työn tavoitteena on tutkia laskennallisesti yksikaistaisen automaattipesuhallin lämmitystehon sekä lämmitysenergian tarvetta ja jakaamaa. Työssä tarkastellaan mah-

dollisia säästöjä lämmitysenergian kulutuksessa laitevalintojen jälkeen. Lämmitysenergian kulutuksia verrataan pelkistetyn perustapauksen ja kehitetyimmän laitevalintojen välillä. Perustapauksessa poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen, ja lämmitys tapahtuu hyötysuhteella 1. Vertailutapauksessa ilmanvaihto on varustettu lämmöntalteenotolla ja hallin lämmitysenergia tuotetaan ilmavesilämpöpumpulla. Tehontarpeita ja energiankulutuksia tutkittiin laskennallisesti.

Työ rajataan pesuhallin taloteknisiin järjestelmiin. Taloteknisissä järjestelmissä tarkastelu painottuu lämmitykseen. Pesuhallin ovien toimintaa tarkastellaan paikalla mittamalla. Säädatana laskelmissa käytetään vuoden 2012 tuntikohtaista dataa Lahdessa. Lopuksi tarkastellaan olemassa olevan rakennuksen sisäilman olosuhteita automaation etäkäytön avulla saaduista trendimittauksista.

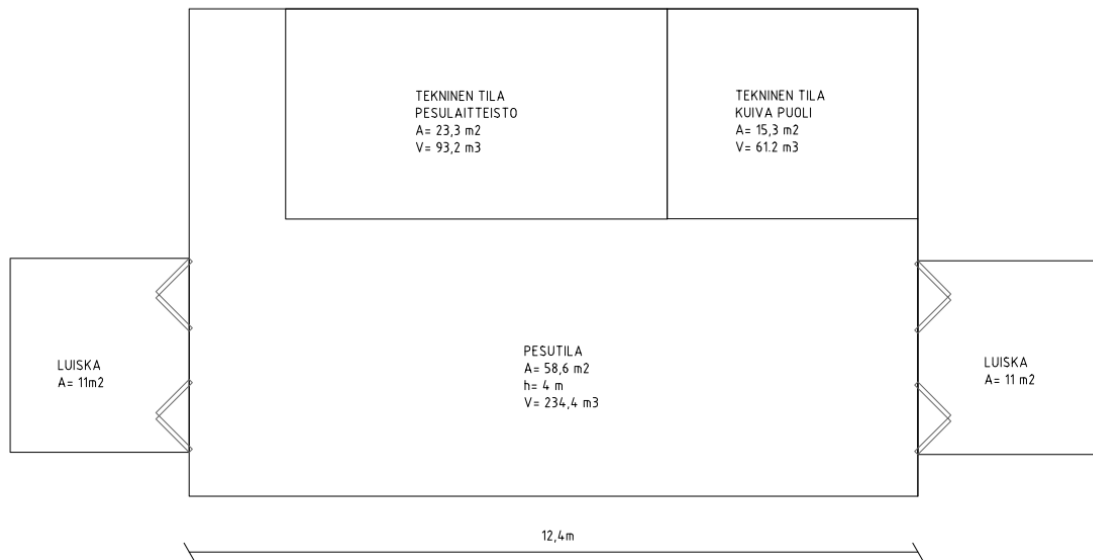
2 Pesuhallin ja pesulaitteiston kuvaus

2.1 Pesuhalli

Pesuhallin käyttötarkoitus määrittää, minkälaista pesuhallia tarvitaan. Markkinoilla on useita erilaisia pesuhalleja moniin käyttötarkoituksiin. Pesuhallityypit vaihtelevat itsepalvelupisteistä suuriin pesukatuihin. Itsepalvelupisteissä asiakas pesee itse ajoneuvonsa hallin järjestämällä laitteilla, ja suurissa pesukaduissa raskas kalusto ohjataan moduulirakenteisen pesukadun läpi.

Opinnäytetyössä tarkastellaan laskennallisesti yksikaistaista miehittämätöntä automaattipesuhallia. Pesuhalli koostuu pesutilasta ja kahdesta erillisestä teknisestä tilasta. Tekniset tilat jakavat kiinteistötekniikan laitteiston ja pesulaitteiston omiin tiloihinsa. Kiinteistötekniikan puolelle sijoitetaan tarvittavat ilmanvaihtokoneet, lämmitysjärjestelmän laitteistot sekä sähkölaitteet ja kiinteistöautomaation laitteet. Tilaa kutsutaan kuivaksi puoleksi. Pesulaitteistotilassa sijaitsevat pesukoneen vesijärjestelmät sekä pesukemikaalien säilytys ja jakelulaitteisto. Pesutilassa ajoneuvon pesee erillinen pesulaitteisto, joka on yhteydessä pesulaitteistotilaan, josta sen veden syöttö ja pesuaineen annostelu tapahtuu.

Ajoneuvo ajetaan pesuhalliin suurien taitto-ovien kautta. Taitto-ovien eteen sekä sisään-että ulosajon yhteyteen on sijoitettu erilliset ajoluiskat. Kuvassa 1 on esitetty periaatteellinen pohjapiirustus pesuhallista.



Kuva 1. Pesuhallin pohjapiirustus.

Kuvassa on pesuhallin periaatteellinen pohjapiirustus, jossa on esitetty tilat ja niiden mitat, joita opinnäytetyössä tarkasteltava pesuhalli sisältää.

2.2 Pesulaitteisto

Pesulaitteistona automaattipesuhalleissa käytetään roll-over konetta, jossa ajoneuvo on hallissa paikallaan. Roll-over kone kulkee kiskoilla auton yli, jolloin pesu tapahtuu. Pesutapoja on esimerkiksi harja- sekä harjaton pesu [2, s. 8]. Kuvassa 2 esitetty on roll-over-mallinen pesulaitteisto.



Kuva 2. Roll-over-pesulaitteisto [3].

Pesuhallien veden kulutukset riippuvat siitä, minkälaisia pesumenetelmiä hallissa käytetään. Automaattipesulan tyypillinen vedenkulutus roll-over-mallin koneilla on noin 400 l/pesu [2, s. 9]. Taulukossa 1 on eriteltynä veden kulutus- ja virtaamatietoja pesumenetelmien mukaan.

Taulukko 1. Eri pesumenetelmien veden kulutuksia [2, s. 9].

| Pesumenetelmä | Kapasiteetti (autoa/h) | Vedenkulutus (l/auto) | Veden virtaama (keskiarvo/huippu) (l/s) |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Käsinpesupaikka | 4 | 200 | 0,3 / 0,4 |
| Pesuautomaatti (roll-over) | 6-12 | 400 | 0,7 / 5,0 |
| Pesulinja (pesukatu) | 60 | 400 | 3,5 / 7,5 |

Taulukosta huomataan pesukoneiden vedenkulutuksen olevan paljon suurempi käsinpesuun verrattaessa.

3 LVI-järjestelmien mitoitusperusteet

3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon merkitys rakennuksen energian kulutukseen on huomattava. Suuri määrä rakennuksen lämmöntuotosta kuluu ulkoilman lämmittämiseen sisäänpuhalluslämpötilaan. Joissakin tapauksissa tuloilmaa joudutaan jopa jäähdyttämään ja kuivattamaan oikeanlaisen sisäilmaston saavuttamiseksi. Energian säästämiseksi käytetään yleisesti lämmöntalteenottoa poistoilmasta, mikä taas omalta osaltaan nostaa ilmanvaihtopuhaltimien sähkönkulutusta. [4, s. 7.] Ilmanvaihdon avulla vaikutetaan myös merkittävästi rakennuksen sisäilman laatuun. Ilmanvaihdon avulla pystytään hallitsemaan sisäilman epäpuhtauksia ja kosteuskuormia. Nämä taas vaikuttavat oleskeluvyöhykkeillä ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen. [5, s. 30.]

Pesuhallien ilmanvaihtojärjestelmien valinnalle ja mitoitukselle ei ole virallista määräystä tai ohjetta. Pesuhallin ilmanvaihdossa on kuitenkin otettava huomioon hallissa vallitsevat rankat olosuhteet, kuten suuri kosteuskuorma sekä ulkoilman jäätävät olosuhteet. Opinnäytetyössä mitoituksessa on käytetty hyödyksi kokemusperäisiä arvoja, joita yrityksen suunnittelukohteet ovat aikojen saatossa kerryttäneet. Mitoittava tekijä oli saada hallin ilma vaihtumaan vähintään kolme kertaa tunnissa, jolloin halliin jäävä kosteus pesun jälkeen saataisiin poistettua ilmanvaihdon kautta tehokkaasti. [6.]

Opinnäytetyössä tarkastellaan energialaskennan kannalta tilannetta, jossa ilma tuodaan erillisellä kanavapuhaltimella sisään ja poistetaan omalla huippuimurilla. Tätä toteutus tapaa verrataan lämmöntalteenotolla varustettuun ilmanvaihtokoneeseen.

3.2 Tilojen lämmitys

Tilojen lämmitys on keskeinen osa-alue rakennusten LVI-tekniikassa. Lämmityksen avulla saavutetaan rakennukseen haluttu lämpötila viihtyvyyttä ja rakennuksen käyttötarkoitusta ajatellen. Lämmitystavat voidaan jakaa esimerkiksi lämmön tuotantoon, jakeluun ja lämmönluovutukseen. Lämmöntuotantotapoja ovat esimerkiksi öljylämmitys ja

lämpöpumppulämmitys. Rakennusten lämmöntuotanto voi tapahtua useilla eri järjestelmissä käyttökohteesta riippuen. Lämmön tuotannon lisäksi kiinteistön lämmön jakelu kuuluu tilojen lämmitykseen. Lämmön jakelulla siirretään lämmöntuotannossa saatu lämpöenergia haluttuihin tiloihin väliaineen avulla, kuten veden tai ilman. Lämmön luovutuksessa lämmitetään tila. Tilalämmitys voidaan hoitaa esimerkiksi lattialämmityksellä tai vesipattereilla. [7, s. 1–4.]

Pesuhallin lämmityksen mitoitusperusteena on rakennuksen käyttötarkoitus, joka opinnäytetyön rakennuksessa on puolilämmin. Rakennuksen rakenteet vaikuttavat rakennuksen lämmitystehon tarpeeseen, joka osaltaan vaikuttaa lämmöntuotantotavan valintaan. Myös ilmanvaihdon rooli on lämmöntuotannon oleellinen asia, koska sisään puhallettava ilma on lämmitettävä haluttuun sisänpuhalluslämpötilaan. Pesuhallin olosuhteet on myös huomioitava lämmönjaon kannalta. Rakennuksen sisälämpötilassa voi tapahtua suuria lämmönvaihteluita, ja talviaikaan sisälämpötila voi hetkellisesti laskea negatiivisen puolelle, jolloin esimerkiksi vesikiertoisen lattialämmityksen jäätymisriski on huomioitava.

Opinnäytetyössä tarkastellaan laskennallista energiankulutusta, joka vastaa tilannetta, jossa lämpö tuotettaisiin sähköllä tai kaukolämmöllä. Tätä toteutustapaa verrataan lämpöpumpputekniikalla toteutettuun lämmöntuotantoon. Kummassakin tapauksessa lämmönjaon väliaineena on vesi-glykoliseos ja lämmönluovutustapana lattialämmitys.

3.3 Ajoluiskan sulanapito

Sulanapidon tarkoitus on luoda alueittaisia lumettomia ja kuivia pintoja talvikausina. Sulanapitoon tarvitaan rakennettu järjestelmä, joka luovuttaa lämpöenergiaa käyttökohteen mukaan. Sulanapidon käyttökohteita ovat yleisesti kaupunkikeskustojen kävelyalueet ja liikekeskusten piha- ja ulkoilualueet. Lisääntyvässä määrin on myös ajoluiskia ja -ramppeja on alettu varustaa sulanapidolla. Lämmitysjärjestelmä, jolla sulanapito toteutetaan, riippuu saatavilla olevista energialähteistä. Sulanapito voidaan toteuttaa esimerkiksi kaukolämmöllä, kiinteistön lämmöntuotantojärjestelmällä tai vaikkapa sähköllä. [8, s. 8–9.]

Opinnäytetyössä tarkasteltavan pesuhallin sisään- ja ulosajo-ovien edessä on ajoluiskat, jotka on varustettu sulanapidolla. Ajoluiskien sulanapidon tarkoituksena on varmistaa

pesuhallien ovien toiminta ja estää jään ja lumen kertyminen ajoväylille. Sulanut lumi ja autoista valuva vesi, joka päätyy luiskalle, poistetaan luiskasta sadevesikaivon avulla.

Opinnäytetyössä sulanapidon vaatima lämpö tuotetaan kiinteistön lämmöntuotantojärjestelmällä. Lämpö siirretään ajoluiskiin nesteen avulla. Sulanapidon lämmitysteho ja energian kulutus on siis huomioitava myös rakennuksen kokonaislämmitystehon ja energian kokonaiskulutuksen laskennassa.

4 Lämmitystehontarve

4.1 Tehontarpeen osatekijät

Lämmitystehontarpeen laskenta perustuu ympäristöministeriön laatimaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan Energiatohokkuus [9]. Tuo osa sisältää tarvittavat ohjeet ja kaavat lämmitystehontarpeen laskentaan. Lämmitystehon laskennan perusteella voidaan mitoittaa ja valita rakennukseen riittävät lämmityslaitteet. Rakennuksen lämmitystehontarve koostuu johtumislämpöhäviöistä sekä vuotoilman ja koneellisesti vaihdettavan ilman lämmitystarpeesta. Lämmitystehon laskentaan vaikuttaa myös rakennuksen maantieteellinen sijainti sekä sen käyttötarkoitus. Maantieteellinen sijainti määrittää laskettavan kohteen mitoitus ulkolämpötilan ja käyttötarkoituksella määritetään rakennuksen mitoittava sisälämpötila [9]. Ajoluiskien sulatukseen vaadittava teho on myös huomioitava rakennuksen lämmitystehontarpeessa.

Vaikka pesuhallin lattia on varustettu kaadoilla, laitteisiin ja pesuhallin lattialle kertyy pesujen aikana vettä, joka ei valu viemäriverkostoon. Tämän veden haihtuminen lattiapinnoilta vaatii lämpöä, joka on myös huomioitava rakennuksen lämmitystehontarpeessa.

Pesuhallin suurien ovien avautuminen pesuun mentäessä ja sieltä pois ajettaessa aiheuttaa hallin lämpimän sisäilman virtaamisen ulos ja kylmän ulkoilman virtaamisen sisään. Sisään virrannut kylmä ilma sekoittuu ovien sulkeutumisen jälkeen halliin jääneeseen lämpimään ilmaan, jolloin taas tarvitsee lämmittää ilma takaisin haluttuun lämpötilaan. Tämä on myös huomioitava rakennuksen lämmitystehontarpeessa.

4.2 Johtumislämpöhäviöt ja vuotoilman lämpenemisen tehontarve

4.2.1 Lähtötiedot

Tarkasteltavan pesuhallin oletetaan sijaitsevan säävyöhykkeellä 2, jonne yrityksen suunnittelukohteet pääosin sijoittuvat. Tällöin mitoittavana ulkolämpötilana käytetään -29 °C :ta. Rakennusta käsitellään puolilämpimänä tilana, jolloin sisälämpötilaksi valitaan 15 °C . Rakennuksen alapohja on maanvastainen, jolloin mitoittavana ulkolämpötilana alapohjan lämpöhäviöiden laskennassa käytetään $+5\text{ °C}$:ta. Ilmanvaihdon sisäänpuhalluslämpötilana käytetään 15 °C :ta. Ilmanvuotolukuna on käytetty laskennassa $4\text{ m}^3/(\text{h},\text{m}^2)$, joka on keskimääräinen ilmanvuotoluku rakennuksen tiiveydelle. Tuloilman lämmitystä tilassa ja korvausilman lämmitystä ei oteta laskennassa huomioon, koska sisäänpuhallusilma on huoneilman kanssa saman lämpöistä ja rakennus suunnitellaan ilmanvaihdoiltaan tasapainoon. Rakenteiden U-arvoissa hyödynnetään aikaisempien hallien suunnitelmien mukaisia arvoja. Laskenta on suoritettu Excel-laskentaohjelman avulla. Taulukossa 2 on esitetty hallin osien U-arvot, pinta-alat ja kylmäsiltojen tiedot.

Taulukko 2. Lähtötietotaulukko.

| Rakennusosa | U-arvot | Pinta-alat | Kylmäsiljat | Kylmäsiltojen lisäkonduktanssi |
|-----------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------------------------|
| | W/(m ² ,K) | m ² | m | W/(K,m) |
| Yläpohja | 0,16 | 90,7 | 38,98 | 0,05 |
| Alapohja | 0,25 | 90,7 | 38,98 | 0,1 |
| Ulkoseinä | 0,25 | 124,0 | 16 | 0,04 |
| Ikkunat ja ovet | 1,4 | 31,89 | 44,1 | 0,04 |

4.2.2 Laskenta

Tilan lämmitysjärjestelmän lämmitystehontarve lasketaan yhtälöllä 1.

$$\Phi_{\text{tila}} = \Phi_{\text{joht}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{tuloilma}} + \Phi_{\text{korvausilma}} \quad (1)$$

Φ_{tila} on tilan lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W

Φ_{joht} on johtumislämpöhäviö rakennusvaipan läpi, W

$\Phi_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

Φ_{tuloilma} on teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, W

$\Phi_{\text{korvausilma}}$ on teho korvausilman lämmittämiseen tilassa, W

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä 2.

$$\Phi_{\text{joht}} = \Phi_{\text{ulkoseinä}} + \Phi_{\text{yläpohja}} + \Phi_{\text{alapohja}} + \Phi_{\text{ikkuna}} + \Phi_{\text{ovi}} + \Phi_{\text{muu}} + \Phi_{\text{kylmäsililat}} \quad (2)$$

Φ_{joht} on johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, W

$\Phi_{\text{ulkoseinä}}$ on johtumislämpöteho ulkoseinän läpi, W

$\Phi_{\text{yläpohja}}$ on johtumislämpöteho yläpohjan läpi, W

Φ_{alapohja} on johtumislämpöteho alapohjan läpi, W

Φ_{ikkuna} on johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, W

Φ_{ovi} on johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, W

Φ_{muu} on johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, W

$\Phi_{\text{kylmäsililat}}$ on johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W

Lämpöhäviötehot rakennusosien läpi lasketaan jokaiselle rakennusosalle yhtälöllä 3 ja lämpöhäviötehot kylmäsiltojen läpi yhtälöllä 4.

$$\Phi_i = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mit}) \quad (3)$$

$$\Phi_{\text{kylmäsililat}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_{u,mit}) \quad (4)$$

Φ_i on johtumislämpöteho rakennusosan läpi, W

$\Phi_{\text{kylmäsililat}}$ on johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W

U_i on rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m²,K)

A_i on rakennusosan i pinta-ala, m²

T_s on sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,mit}$ on ulkoilman mitoittava lämpötila, °C

l_k on viivamaisen kylmäsilan pituus, m

Ψ_k on viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(K,m)

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve lasketaan yhtälöllä 5.

$$\Phi_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad (5)$$

$\Phi_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpötehotarve, W

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg,K)

$q_{v,\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirta, m³/s

T_s on sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,\text{mit}}$ on mitoittava ulkoilman lämpötila, ° C.

Vuotoilmavirta lasketaan yhtälöllä 6.

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaiippa}} \quad (6)$$

$q_{v,\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirta, m³/s

q_{50} on rakennusvaiipan ilmanvuotoluku, m³/(h,m²)

A_{vaiippa} on rakennusvaiipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m²

x on kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35

1/3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m³/h yksikköön m³/s.

Taulukossa 3 on eritelty johtumishäviöiden ja vuotoilman lämmittämisen tehontarve.

Taulukko 3. Pesuhallin johtumishäviöiden ja vuotoilman lämmitystehontarpeet (kW).

| Johtuminen | | Kylmäsillat | | Vuotoilma | |
|--------------------------|------|-----------------|------|-----------|------|
| | kW | | kW | | kW |
| Ulkoseinä | 1,36 | Ulkoseinä | 0,03 | Vuotoilma | 0,89 |
| Yläpohja | 0,64 | Yläpohja | 0,09 | | |
| Alapohja | 0,23 | Alapohja | 0,04 | | |
| Ovet ja ikkunat | 1,96 | Ovet ja ikkunat | 0,08 | | |
| | | | | | |
| Summa | 4,19 | Summa | 0,23 | Summa | 0,89 |
| Tilan lämmitystehontarve | | | | 5,31 kW | |

Lopputulokseksi saatiin hallin johtumis- ja vuotoilman lämmitystehon tarpeeksi yhteensä 5,3 kW. Teho on huomioitava rakennuksen lämmöntuottojärjestelmän valinnassa.

4.3 Ilmanvaihdon lämmitystehontarve

4.3.1 Lähtötiedot

Perustapauksessa poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen tuloilmaan. Tuloilma siis tuodaan erillisellä puhaltimella ja lämmitetään omalla jälkilämmityspatterilla. Poistoilma poistetaan suoraan ulos huippuimurin kautta. Sisäänpuhalluslämpötilana laskennassa käytetään 15 °C:ta puolilämpimän rakennuksen ehtojen mukaan. Tuloilmavirta oli pesutilassa noin 3 l/s/m² ja teknisen tilan alueelle johdettiin ilmaa noin 20 l/s, josta saatiin kokonaistuloilmavirraksi 0,22 m³/s. Laskenta suoritettiin Excel-laskentaohjelmalla.

4.3.2 Laskenta

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsema lämmitysteho lasketaan yhtälöllä 7.

$$\Phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{sp} - T_{lto,mit}) \quad (7)$$

Φ_{iv} on ilmanvaihdon lämmityspatterin teho, W

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg,K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila, °C

$T_{lto,mit}$ on lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila mitoitustilanteessa, °C (laskennan tapauksessa ulkolämpötila).

Ilmanvaihdon lämmityspatterin tarvitsemaksi tehoksi saadaan 11,6 kW

4.4 Ajoluisien lämmitys

Ajoluisien sulanapidon lämmitystehoksi valittiin opinnäytetyöhön 300 W/m². Tämä teho on yleisesti käytetty tehon arvo sulanapitojärjestelmille yrityksen suunnittelukohteissa [10]. Myös Uponor käyttää sulatusjärjestelmän suunnittelussa maksimiarvoa 350 W/m² [11, s. 4; 12].

Ajoluisien pinta-alat ovat noin 11 m², jolloin tehoksi sulanapidolle saatiin 3,3 kW ajoluis-
kaa kohden. Kokonaisteho luiskille on siis noin 6,6 kW, mikä on otettava huomioon rakennuksen lämmitystehon tarpeessa.

4.5 Veden haihtumisen lämmitystehontarve

Pesutilan pinta-ala on 55,7 m², ja lattialle arvioitiin kertyvän vettä 0,5 mm pesun jälkeen, jolloin vedenkokonaismääräksi saatiin 28,9 l. Pesuvesi otetaan laitteistolle suoraan kunnan vesijohdosta, jolloin sen lämpötila laskennassa on 10 °C eli lattialle kerääntynyt vesi ajatellaan saman lämpöisenä. Tämän jälkeen ennen haihtumisen alkamista vesipatja lämpenee lattialaatan keskilämpötilaan, jonka saimme vastaavien kohteiden olemassa olevista lattialämmitys suunnitelmista. Lattian keskilämpötila oli suunnitelmien mukaan 20 °C. Pesuhallin sisälämpötila on 15 °C ja suhteellinen kosteus 45 %. Suhteellisen kosteuden arvo valittiin sisätilojen optimaalisen suhteellisten kosteuksien mukaan. Lähtötietojen avulla voidaan laskea haihtumisen massavirta, joka perustuu vesihöyryn osapaineiden eroihin. Massavirta lasketaan STTV:n oppaassa 3:2008 esitetyn kaavan mukaan [13].

Haihtuvan veden massavirta lasketaan yhtälöllä 8.

$$q_{m,haihd} = 0,2 * A * (p_{vh,kyl} - p_{vh}) \quad (8)$$

$q_{m,haihd}$ haihdunta eli haihtuvan veden massavirta, g/h

A on altaan pinta-ala, m²

$p_{\text{vh,kylli}}$ on kylläisen ilman (RH=100 %) vesihöyryn osa-paine lattialla olevan veden lämpötilassa, Pa

p_{vh} on vesihöyryn osapaine hallin ilmassa, Pa.

Hallin lattialta haihtuvan veden massavirraksi saatiin Excel-laskentaohjelman mukaan 17,4 kg/h.

Haihtumisen lämmön tarve voidaan laskea likimäärin yhtälöllä 9.

$$l = 2501 - (4,2 - 1,85)t \quad (9)$$

l on haihtumiseen tarvittava ominaislämpö, kJ/kg

2501 on veden höyrystymislämpö lämpötilassa 0 °C, kJ/kg

4,2 on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

1,85 on vesihöyryn ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

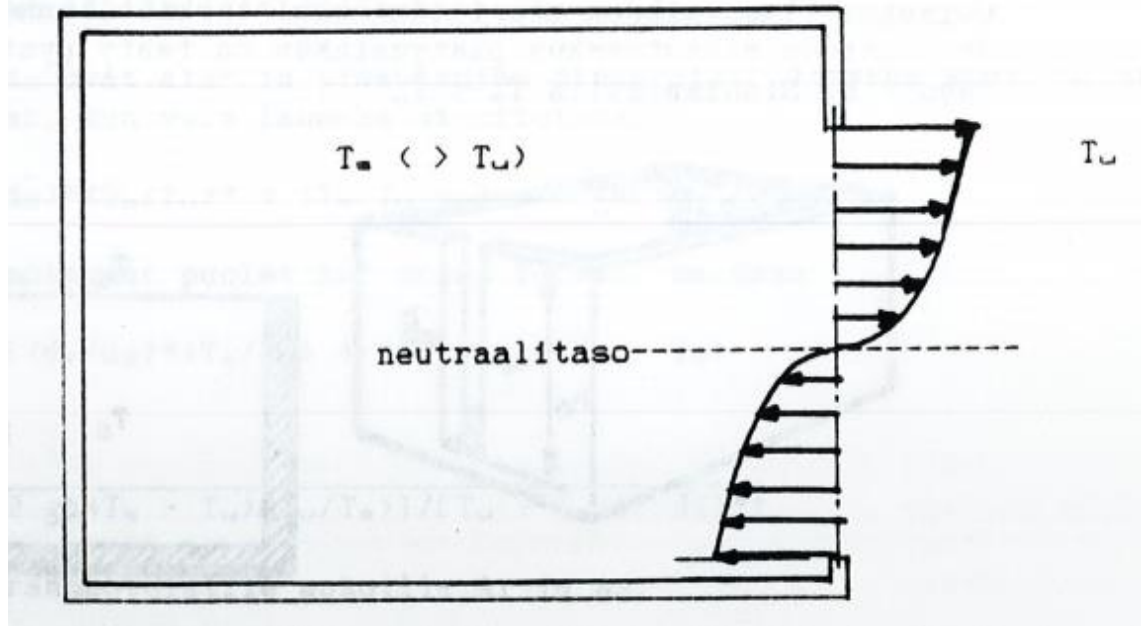
t on haihtuvan veden lämpötila, °C

Lämmön tarpeeksi opinnäytetyön olosuhteissa saatiin 2 454 kJ/kg.

Haihtumisen massavirran ja ominaislämmöntarpeen avulla voidaan laskea haihtumisen lämmitystehontarve, joka edellisten arvojen mukaan on 11,9 kW.

4.6 Ovien avautumisesta johtuvan lämpötilan laskun lämmitys

Ovien auetessa lämmin ilma karkaa aukon yläosan kautta, ja kylmää ilmaa virtaa sisään aukon alaosan kautta. Tätä ilmantiheyseroista aiheutuvaa virtausta kutsutaan luonnolliseksi konvektioksi [14]. Luonnollisessa konvektiossa ilmavirta aukossa on sekä sisään että ulos yhtä suuri. Ilmavirta voidaan laskea Yrjö Lindströmin kirjan Virtaustekniikka 1 mukaan (yhtälö 10) [15]. Kuvassa 3 on esitetty ilmavirtojen vektorit oviaukosta tapahtuvalle ilmavirralle.



Kuva 3. Hallin oviaukon ilmavirran jakautuminen [15].

Ilmavirta hallin oviaukosta voidaan laskea yhtälöllä 10.

$$q_v = (h_o b / 3) \sqrt{g h_o (T_s - T_u) / T_s} \quad (10)$$

q_v on ilmavirta oviaukosta, m^3/s

h_o on oviaukon korkeus, m

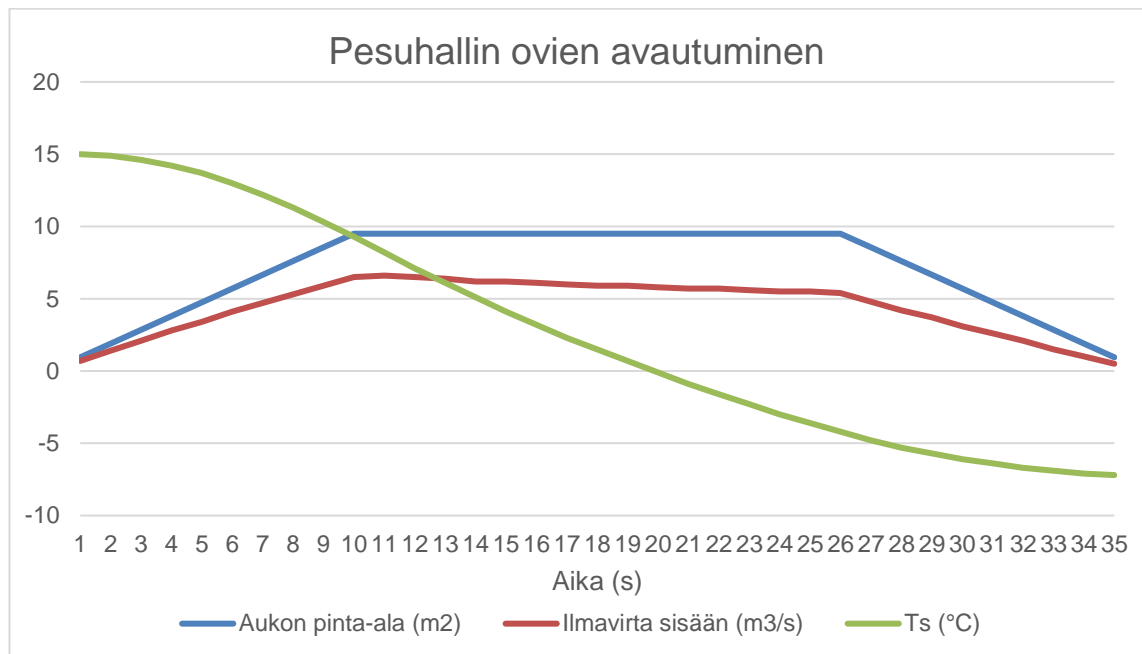
b on oviaukon leveys, m

g on putoamiskihtiävyys, $9,81 \text{ m/s}^2$.

Jotta saatiin laskettua kylmän ilman virtaus sisään halliin, tarvittiin ovien aukaisu-, aukiolo- sekä sulkeutumisaika. Nämä ajat saatiin mittaamalla käytössä olevan hallin ovien toiminta. Mittauksessa pesuun ajoi kaksi autoa. Kummastakin pesusta mitattiin sisään- ja ulosajossa tapahtuva ovien toiminta. Ajoneuvojen poistuminen ja sisäänajo hallista ei tapahdu samanaikaisesti, eli molemmat ovet eivät ole yhtä aikaa auki. Mittaus suoritettiin käyttämällä matkapuhelimen sekuntikelloa. Keskiarvoksi saatiin ovien avautumiseksi ja sulkeutumiseksi 10 sekuntia. Aukioloaika, jolloin auto ajoi ulos ja sisään halliin, kesti keskimäärin 15 sekuntia.

Ilmavirta oviaukosta laskettiin hetki hetkeltä. Oven aukeaminen ja sulkeutuminen tapahtui tasaisesti, jolloin aukon pinta-ala kasvaa ja pienenee lineaarisesti. Aukeavan ja sulkeutuvan oven pinta-ala laskettiin jokaiselle sekunnille erikseen. Oven ollessa kokonaan avoinna pinta-alana käytettiin 9,5 m²:ä, joka on oviaukon kokonaispinta-ala. Ajoneuvon peittävää pinta-alaa tai tuulenvaikutusta ei ole huomioitu laskelmissa.

Näiden aikojen ja pinta-alojen avulla saatiin laskettua kylmän ilman virtaus halliin hetki hetkeltä sisäilman jäähtyminen huomioon otettuna. Kun ovien toiminta on laskettu joka hetkeltä läpi, saadaan hallin lopullinen sisälämpötila. Sekoittuneen ilman lämpötilaksi saatiin laskennallisesti -7,2 °C. Kuvassa 4 on havainnollistettu ovien toiminnan vaikutus halliin sisään virtaavaan ilmaan ja sisälämpötilaan.

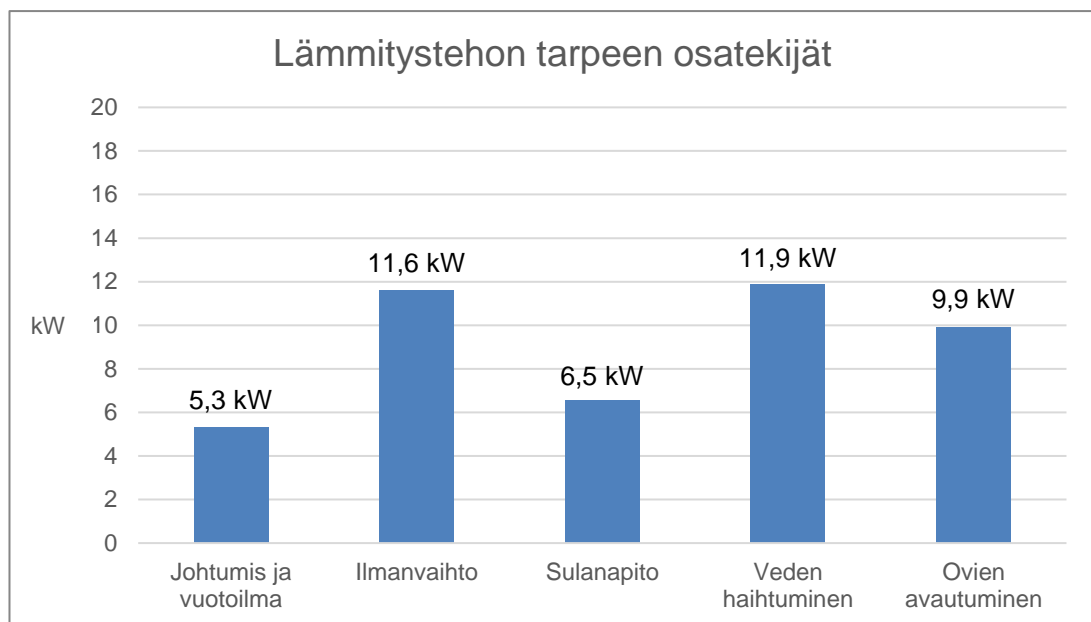


Kuva 4. Pesuhallin ovien toiminnan vaikutus sisään virtaavaan ilmaan ja sisälämpötilaan.

Jos kylmälle ilmavirralle laskettaisiin suurimman sisään virtaavan ilman mukaan lämmitystehon tarve, saataisiin tehon tarpeeksi 290,4 kW. Tällaisen lämmitystehon tuottaminen olisi hankalaa pieneen pesuhalliin, joten laskettiin, kuinka paljon lämmitystehoa, vaadittaisiin pesutilan lämmittämiseen sekoittuneesta ilman lämpötilasta haluttuun sisäilman lämpötilaan pesun aikana. Pesun kesto vaihtelee 8 minuutista 14 minuuttiin. Laskennassa käytettiin pesun kestoksi 10 minuuttia, joka on yleisten ohjelmien kesto [16]. Tehon yhtälön avulla saatiin ratkaistua tarvittavaksi lämmitystehon tarpeeksi 9,9 kW.

4.7 Tulokset

Rakennuksen laskennalliseksi lämmitystehon tarpeeksi saatiin kokonaisuudessaan noin 45,3 kW. Tämä ei kuitenkaan ole mitoittava teho rakennuksessa, koska vesien haihtumista ja ovien avautumisesta tapahtuvaa lämmitystä ei tapahdu samanaikaisesti. Tarvitava lämmitysteho siis valitaan kriittisemmän tilanteen mukaan, joka tässä tapauksessa on veden haihtuminen. Tällöin mitoittavaksi lämmitystehon tarpeeksi saatiin 35,4 kW. Rakennuksen mitoittavaan lämmitystehon tarpeeseen on laskettu rakennuksen johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämmityksen tarve, ilmanvaihdon lämmitysteho, ajoluiskien sulanapidon tehon tarve sekä lattialle ja laitteisiin kertyneen veden haihtumisen aiheuttama lämmitystehon tarve. Kuvassa 5 on eritelty rakennuksen laskennalliset lämmitystehon tarpeet.



Kuva 5. Rakennuksen laskennallinen lämmitystehon tarve.

Kuvasta huomataan veden haihtumisen tehon tarpeen olevan suurin kiinteistön tehon tarpeista. Myös ovien avautumisella ja ilmanvaihdolla on suuri osuus rakennuksen lämmitystehon tarpeessa.

5 Laskennallinen lämmitysenergian tarve

Rakennuksen lämmitysenergian laskenta perustuu ympäristöministeriön laatimaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan Energiatehokkuus [9], joka sisältää tarvittavat ohjeet ja kaavat lämmitysenergian laskentaan. Rakennuksen laskennallisen lämmitysenergian nettotarpeen avulla voidaan vertailla erilaisia järjestelmiä ja laitteita ja niiden vuotuisia laskennallisia energian kulutuksia. Opinnäytetyön tapauksessa rakennuksen energiantarve koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta, ajoluiskien sulanapidosta, pesutilaan kertyneen veden haihduttamisesta ja ovien avautumisesta aiheutuvan kylmän ilmavirran lämmittämisestä. Lämmitysenergian laskentaan vaikuttaa myös rakennuksen maantieteellinen sijainti sekä sen käyttötarkoitus. Maantieteellinen sijainti määrittää laskettavan kohteen mitoitusulkolämpötilan ja käyttötarkoituksella määritetään rakennuksen mitoittava sisälämpötila. [9.]

Pesuhallin käytön oletetaan pääosin tapahtuvan kello 7–22, jolloin yöajan pesuhallia ei käytettäisi. Teoreettinen pesuaika yhdellä pesulaitteella on 10 minuuttia. Tämän mukaan teoriassa tunnissa voitaisiin pestä 6 autoa. Pesuhallin käytön oletetaan kuitenkin olevan noin 1 500 ajoneuvon pesun vuositason, mikä vastaa toiminnassa olevan kahden miehen täysipäiväistä pesuhallin vuosittaista käyttöä. Tällöin päivässä pestäisiin keskimäärin neljä autoa. [17.] Laskennassa hallin käyttö on päätetty neljään pesuun päivässä. Pesut on jaettu tasaisesti käyttöajalle.

Rakennuksen laskennallinen energian kulutus on laskettu Excel-laskentaohjelmaa hyödyntäen. Laskelmien säädätänä on käytetty vuoden 2012 tuntikohtaisia lämpötiloja Lahdessa.

5.1 Johtumislämpöhäviöt ja vuotoilman energian kulutus

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan yhtälöllä 11.

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{tuloilma}} + Q_{\text{korvausilma}} \quad (11)$$

Q_{tila} on tilan lämmitysenergian tarve, kWh

- Q_{joht} on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
 $Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
 Q_{tuloilma} on teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, kWh
 $Q_{\text{korvausilma}}$ on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä 12.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsilat}} \quad (12)$$

- Q_{joht} on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
 $Q_{\text{ulkoseinä}}$ on johtumislämpöhäviöt ulkoseinän läpi, kWh
 $Q_{\text{yläpohja}}$ on johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi, kWh
 Q_{alapohja} on johtumislämpöhäviöt alapohjan läpi, kWh
 Q_{ikkuna} on johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi, kWh
 Q_{ovi} on johtumislämpöhäviöt ulko-ovien läpi, kWh
 Q_{muu} on johtumislämpöhäviöt tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
 $Q_{\text{kylmäsilat}}$ on johtumislämpöhäviöt kylmäsiltojen läpi, kWh

Lämpöhäviöt rakennusosien läpi lasketaan jokaiselle rakennusosalle yhtälöllä 13 ja lämpöhäviöt kylmäsiltojen läpi yhtälöllä 14.

$$Q_i = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (13)$$

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (14)$$

- Q_i on johtumislämpöhäviöt rakennusosan läpi, kWh
 $Q_{\text{kylmäsilat}}$ on johtumislämpöhäviöt kylmäsiltojen läpi, kWh
 U_i on rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m²·K)
 A_i on rakennusosan i pinta-ala, m²
 T_s on sisäilman lämpötila, °C
 T_u on ulkoilman keskilämpötila jakson aikana, °C
 l_k on viivamaisen kylmäsilan pituus, m
 Ψ_k on viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(Km)
 Δt on ajanjakson pituus, h

1/1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wattitunneista kilowattitunneiksi.

Vuotoilman lämpenemisen energian tarve lasketaan yhtälöllä 15.

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (15)$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg,K)

$q_{v,\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirta, m³/s

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u on ulkoilman keskilämpötila jakson aikana, °C

Δt on ajanjakson pituus, h

1/1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos wattitunneista kilowattitunneiksi

Taulukkoon 4 on eritelty lämmitysenergian kulutukset johtumishäviöiden ja vuotoilman lämmittämisessä.

Taulukko 4. Pesuhallin johtumislämpöhäviöiden sekä vuotoilman lämmittämiseen kuluva vuosittainen laskennallinen energian kulutus

| Johtumislämpöhäviöt | | Kylmäsillat | | Vuotoilma | | Tilan lämpöenergian tarve | |
|---------------------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|---------------------------|-------|
| | kWh/a | | kWh/a | | kWh/a | | kWh/a |
| Ulkoseinä | 2708 | Ulkoseinä | 56 | Vuotoilma | 1761 | | |
| Yläpohja | 1268 | Yläpohja | 170 | | | | |
| Alapohja | 1072 | Alapohja | 149 | | | | |
| Ovet ja ikkunat | 3899 | Ovet ja ikkunat | 154 | | | | |
| | | | | | | | |
| Summa | 8947 | Summa | 529 | Summa | 1761 | Summa | 11237 |

Johtumislämpöhäviöiden sekä vuotoilman lämmittämiseen kuluva vuosittainen laskennallinen energian kulutus saatiin 11 237 kWh/a.

5.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus

Ilmanvaihdon laskennallinen energian kulutus lasketaan samoilla lähtötiedoilla kuin luvussa 5.1, jossa laskettiin ilmanvaihdon lämmitystehon tarve.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsema lämmitysenergia lasketaan yhtälöllä 12.

$$Q_{iv} = t_d t_i \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (12)$$

Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve, kWh

t_d on ilmanvaihdon keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika suhde, h/24h

t_v on ilmanvaihdon viikoittainen käyntiaika suhde, vrk/7 vrk

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg,K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila, °C

$\Delta T_{puhallin}$ on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

T_{lto} on lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila mitoitusilanteessa, °C (laskennan tapauksessa ulkolämpötila)

Δt on ajanjakson pituus, h

1/1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos wattitunneista kilowattitunneiksi.

Ilmanvaihdon vuotuiseksi lämmitysenergian laskennalliseksi tarpeeksi saatiin laskennan mukaan 23 057 kWh/a.

5.3 Sulanapidon energian kulutus

Sulanapidon päätettiin laskennassa ohjautuvan ulkolämpötilan mukaan. Sulanapito pidetään päällä aina lämpötilan laskiessa alle +2 °C:n, jolloin sekä sisään- että ulosajoluisen sulanapito ovat päällä. Sulanapidon säätö tapahtuu paluuveden mukaa, eli ajoluiselta palaava vesi pidetään aina vakiolämpöisenä virtaaman säädöllä. Sulanapidon menoveden lämpötila on 35 °C ja paluuvesi 25 °C. Lämpötilan kuitenkin laskiessa

alle -15 °C :n suljetaan sisäänajoluiskan sulatus, jolloin saadaan rajoitettua sulanapidon käyttämää tehoa kovilla pakkasilla. Ulosajoluiskan sulatus on pidettävä päällä myös kovilla pakkasilla, jottei jäätä pääsisi kertymään ovien toiminta alueelle. Pesusta ulosajavat autot valuttavat vettä ulosajoluiskalle, joka jäätyessään saattaa rikkoa automaattiovien toiminnan.

Paluuvesisäätöisen sulanapidon laatan keskilämpötila on sama ulkolämpötilasta riippumatta. Oletetaan sen laskennassa olevan 30 °C . Tällöin voidaan laskea laatan U-arvo sen mitoitus tehon ja mitoitus ulkoilman lämpötilan avulla. U-arvoksi saadaan $5,08\text{ W/m}^2\text{K}$. Tämän U-arvon avulla saadaan laskettua sulanapidon teho jokaiselle ulkolämpötilalle. Ulkolämpötilojen tehoista voidaan johtaa sen lämmitysenergian kulutus. Tällöin laskennan mukaan saadaan sulanapidon energian kulutukseksi $9\,824\text{ kWh/a}$. Tähän ei ole huomioitu tuulen vaikutuksia ja lumen satamista luiskalle.

5.4 Veden haihtumisen energian kulutus

Haihtumista tapahtuu rakennuksessa aina, kun ilman vesihöyryn osapaineen ja lattiapinnassa olevan kylläisen vesihöyryn osapaineen välille tulee ero. Jotta osapaineiden ero saadaan aikaan, on hallin lämpötilan tai suhteellisen kosteuden laskettava riittävän alas. Tehontarpeen laskennassa käytettiin ilman suhteellisenä kosteutena 45% :a. Tähän kosteuteen päästään ilmanvaihtokoneen vaihdettua riittävästi hallin kosteaa ilmaa kuivempaan ulkoilmaan.

Ulkoilman lämpötilan ollessa alle 15 °C on haihdutettavan veden energian tarve hoidettava kiinteistön lämmöntuotannolla. Haihtumisen massavirran ja lattialla olevan veden määrän avulla lasketaan haihtumiseen kuluva aika. Laskennassa haihtumisen aikana hallin ilmasto pysyy vakiona, jolloin haihtuminen tapahtuu vakioteholla.

Haihtumisen massavirran sekä lattialle kertyneen veden määrän avulla saadaan laskettua haihtumiseen kuluva aika, joka opinnäytetyön olosuhteilla on $1,6\text{ h}$. Tämä tarkoittaa sitä, että veden haihtumiseen käytetään energiaa haihtumisen keston ajan, kun ilmanvaihdon avulla on saatu hallin ilman kosteus laskemaan. Haihtumisen laskennalliseksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin $22\,449\text{ kWh/a}$.

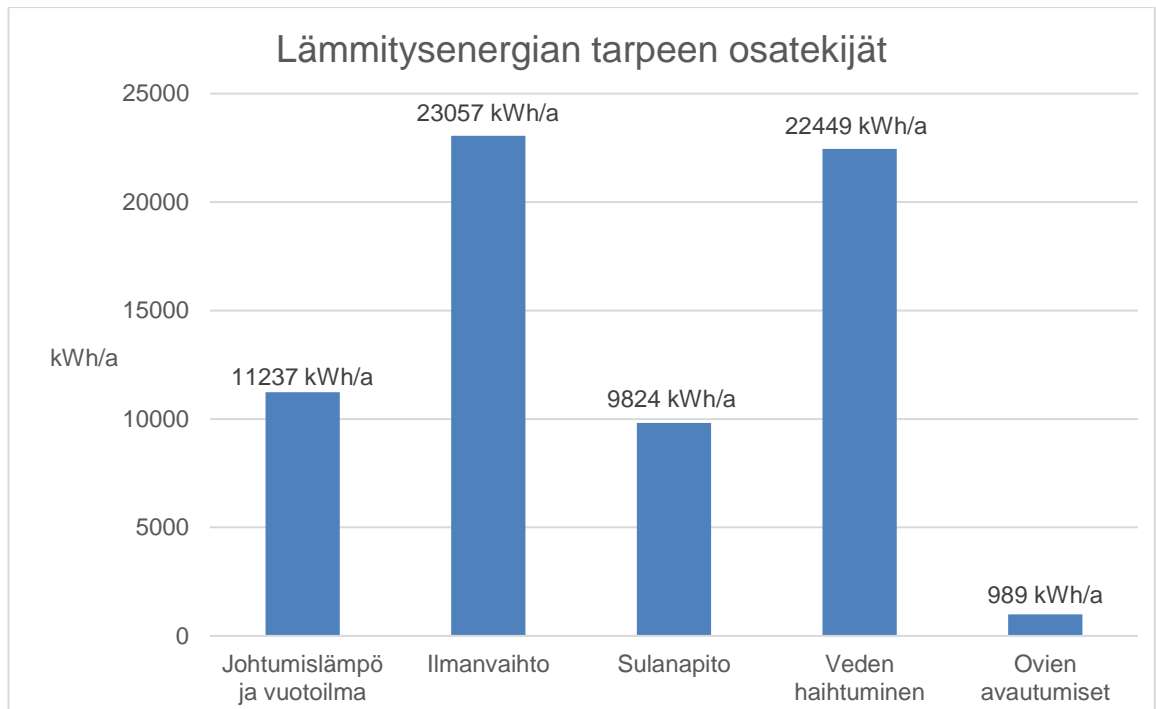
Haihdunnan kuluttamaan energiamäärään vaikuttaa suuresti pesujen tiheydet. Esimerkiksi jos päivän pesut tapahtuvat peräkkäin, on haihdunnan tarvitsema lämpöenergia paljon pienempi, koska haihduntaa ei ehdi tapahtua pesujen välillä.

5.5 Ovien avautumisesta johtuvan ilman lämmittämisen energian kulutus

Hallin ilman lämmittämiseen ovien avautumisen jälkeen laskettiin jokaisen avautumisen jälkeen tapahtuvan ilman sekoituksen jälkeen. Sekoittuneen ilman ajateltiin lämpenevän haluttuun lämpötilaan aina pesun aikana. Pesun ajan avulla saatiin laskettua jokaisen ovien avautumisesta johtuvan ilman viilenemisen lämmittämiseen tarvittava teho. Tehon avulla taas saatiin laskettua energian kulutus, olettaen että lämpeneminen tapahtuu ajanjakson aikana vakioteholla. Sekoittuneen ilman laskennalliseksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 989 kWh/a.

5.6 Tulokset

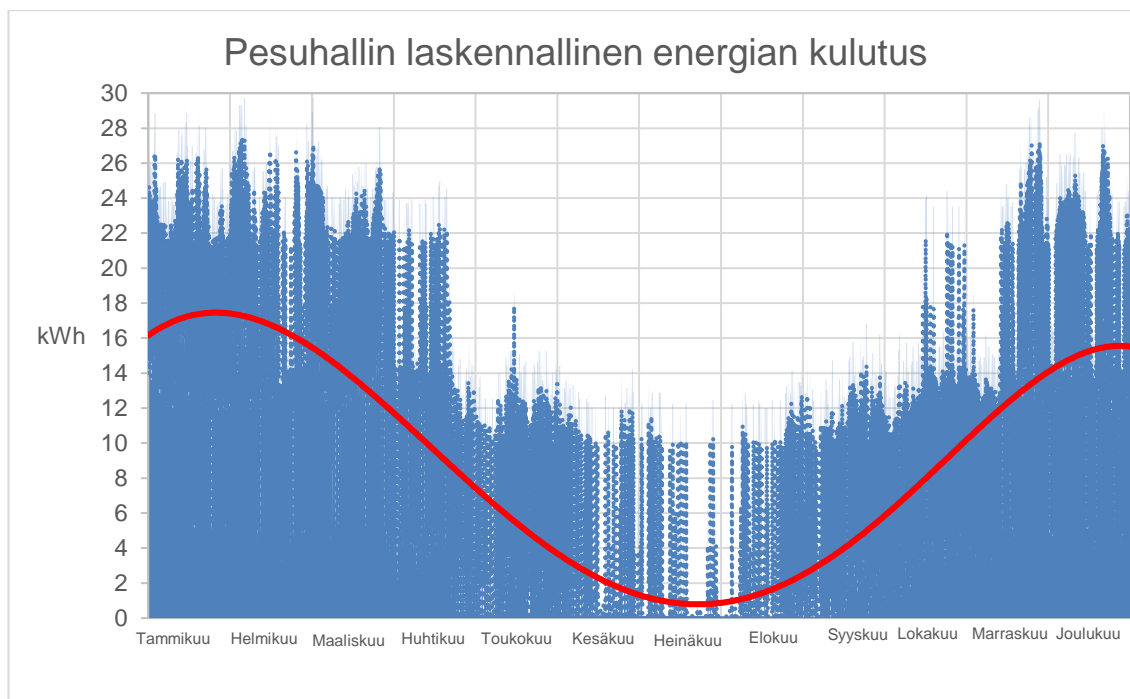
Rakennuksen laskennalliseksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin kokonaisuudessaan 67 557 kWh/a. Rakennuksen laskennalliseen lämmitysenergian kulutukseen on laskettu rakennuksen johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämmitysenergian tarve, ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve, ajoluiskien sulanapidon lämmitysenergian tarve sekä ovien avautumisesta johtuvan ilman lämmittämisen energian tarve. Kuvassa 6 on eritelty rakennuksen vuosittaiset energian kulutukset.



Kuva 6. Pesuhallin laskennallinen lämmitysenergian tarve vuositasolla.

Kuvasta huomataan ilmanvaihdon ja veden haihtumisen muodostavan suurimmat lämmitysenergian kulutukset. Myös sulanapidolla on oma osuutensa rakennuksen lämmitysenergian tarpeessa. Vaikka ilman lämmitys ovien avautumisesta johtuen vaati suuren tehon, sen tarve on niin hetkittäistä, ettei sen energian kulutus ole huomattava rakennuksen lämmitysenergian kulutuksessa.

Käytettävissä olleen tuntikohtaisen säädätin avulla saatiin muodostettua kuva, jossa nähdään koko vuoden ajanjaksolle jakautunut lämmitysenergian tarve.



Kuva 7. Pesuhallin laskennallinen energian kulutus vuoden aikana.

Kuvassa 7 havaittavat korkeat piikit ja hetkelliset notkahdukset aiheutuvat päiväkohtaisten suurien lämpötilavaihteluiden sekä sulanapidon ja hallin veden haihtumisen aiheuttamien hetkellisten suurien energiantarpeiden takia. Esimerkiksi helmikuun lämpötila on säädatan 2012 mukaan vaihdellut Lahdessa $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ja $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n välillä. Kaikki energialaskelmat on suoritettu stationaaritilanteiden mukaan, vaikka tuloksia on esitetty tuntitasolla.

6 Järjestelmävalinnat

6.1 Lämmitysjärjestelmä

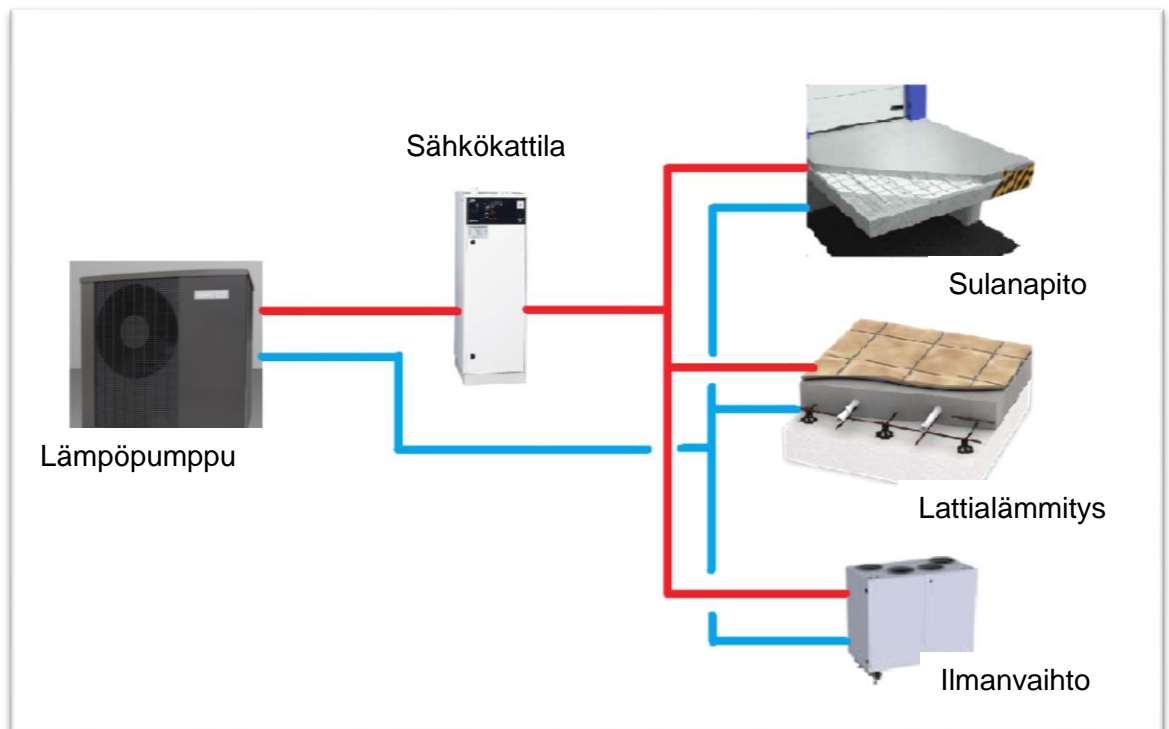
Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat suuresti hankinta- ja käyttökustannukset sekä nykypäivänä yhä enemmän ympäristöystävällisyys. Myös rakennuksen käyttötarkoitus, sijainti ja laitteiston vaivattomuus vaikuttavat lämmitysjärjestelmän valintaan. [18.]

Opinnäytetyöhön tarkasteltavaksi vallittiin ilma-vesilämpöpumppu. Valintaan päädyttiin hallien mahdollisten sijoitusten, ilma-vesilämpöpumppujen ympäristöystävällisyyden sekä lämpöpumpputekniikalla tuotetun lämmön hyvän hyötysuhteen ansiosta. Laskentaan valittiin ilma-vesilämpöpumpuksi kuvassa 8 esitetty Jäspi Basic NORDIC 20 kW. Lisälämmityksenä huippupakkasten avuksi lämpöpumpun rinnalle valittiin sähkökattila, joka kattaa koko pesuhallin lämpötehon tarpeen vikatilanteiden sattuessa.



Kuva 8. Ilmavesilämpöpumppu Jäspi Basic NORDIC 20 kW [20]

Lämmönjakojärjestelmäksi valittiin lattialämmitys. Tällöin voidaan varata lattialaattaan lämpöä, joka vapautuu tasaisesti pesutilaan, eikä suurten ovien avautuminen ja näin ollen hetkellinen lämpötilan vaihtelu aiheuta ongelmia hitaasti reagoivaan suurimassaiseen lattialämmitykseen. Lattialämmityksen avulla saadaan pesutilan laatta pysymään aina lämpötilan puolesta plussan puolella, jolloin pesutapahtuma voidaan toteuttaa myös talvella eikä ovien avautumisesta tapahtuva hetkellinen sisälämpötilan lasku jäädytä pesuvettä lattialaattaan. Kiertonesteinä lattialämmityksessä olisi kuitenkin syytä käyttää vesi-glykoliseosta, jolloin varmistetaan, ettei kiertoneste pääse jäätymään, vaikka pesuhallin sisätila hetkellisesti laskisikin negatiivisen lämpötilan puolelle. Vesi-glykoli kiertonesteiden ansiosta luiskasulatuksessa voidaan käyttää samaa lämmitysjärjestelmää. Samaa nesteseosta voidaan käyttää myös ilmanvaihdon lämmityksessä. Kuvassa 9 on esitetty lämmityksen kytkentä periaatetasolla.



Kuva 9. Lämmityksen kytkentäkaavio periaatasolla.

Sähkökattila on kuvassa kytketty lämpöpumpun kanssa sarjaan, jolloin se pystyy tarvittaessa lisälämmittämään nestettä heti lämpöpumpun jälkeen. Teknisempi kytkentäkaavio ja toimintaselostus liitteessä 2

6.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän valintaa ohjaa suuresti kohteen käyttötarkoitus. Käyttötarkoituksen myötä saadaan tiedot, minkälaista sisäilmaston laatua rakennuksessa vaaditaan. Esimerkiksi omakotitalon ilmanvaihto on kokoaikaisessa käytössä, ja sisäilmaston on oltava viihtyisä, terveellinen ja tarkasti säädettävissä. Omakotitalossa energialaskun maksajana toimii asunnon omistaja, jolloin myös energiatehokkuus on tärkeä huomioida järjestelmä valinnassa. Energiatehokkuutta voidaan parantaa hyvällä lämmöntalteenotolla. Toisaalta taas esimerkiksi ammattikeittiöissä tärkeää on saada poistettua ruuanlaitosta syntynyt likainen ilma ja suuri lämpökuorma viihtyisän työskentely-ympäristön ylläpitämiseksi.

Opinnäytetyötä varten valittiin ilmanvaihtojärjestelmäksi koneellinen sisäänpuhallus ja poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtokone on varustettu levylämmöntalteenotolla. Valintaan päädyttiin ilmanvaihdon suuren energiakulutuksen takia. Laskentaa varten valittiin ilmanvaihtokoneeksi KAIR ECoCounter 1085, jonka lämmönsiirtimessä on vastavirtakenno.

Laitevalintaa tehtäessä tuli ilmi, että ilmanvaihtokone on varustettava esilämmityspatterilla rakennuksesta poistettavan suuren kosteuskuorman myötä. Kokemus on osoittanut, että ulkoilman lämpötilan laskiessa negatiivisen puolelle alkaa levylämmöntalteenotossa tapahtua huurtumista, joka saattaa tukkia lämmönsiirtimen poistoilmapuolen lamellivälit. Tällöin ilmanvaihtokone lakkaa toimimasta. Ilmanvaihtokoneissa on erilaisia sulatusjärjestelmiä, kuten lämmöntalteenoton lohkoittainen hyödyntäminen eli lohkosulatus, mutta kosteuskuorman ollessa suuri ja ulkolämpötilan ollessa reilusti negatiivisen puolella eivät nämä järjestelmät ole tarpeeksi tehokkaita. Opinnäytetyössä päädyttiin sähköiseen esilämmityspatteriin, koska se voidaan integroida kyseiseen koneeseen valmistusvaiheessa. Jotta turvattaisiin laitteiston toiminta, valittiin esilämmityspatterin teho niin suureksi, että ilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa olisi vähintään 0 °C. Tällöin huurtumista ei pääsisi tapahtumaan. Kone ajon mukaan esilämmityspatterin tehon tulisi olla 6 kW.

7 Laskennallinen lämmitysenergian tarve valituilla laitteilla

7.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kun ilmanvaihdon tuloilma lämmitetään samalla lämmitysjärjestelmällä kuin muut tilat, on sen lämmitysenergian kulutus otettava huomioon lämmitysjärjestelmän energian kulutuksen laskennassa. Tästä syystä ennen energian kulutuksen laskentaa valituilla laitteilla voidaan suorittaa, on selvitettävä valitun ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysenergian tarve. Sähköisen esilämmityspatterin lämmitysenergian tarve jätetään kuitenkin ulkopuolelle, koska sen lämmitysenergiaa ei tuoteta valitulla lämpöpumpulla. Esilämmityspatterin tarvitsema energiamäärä lisätään sellaisenaan kiinteistön lämmitysenergian kokonaiskulutukseen.

Ilmanvaihdon sähköisen esilämmityspatterin tarvitsema lämmitysenergia lasketaan yhtälöllä 13.

$$Q_{iv,esilämmitys} = t_d t_i \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{lp} - T_u) \Delta t / 1000 \quad (13)$$

$Q_{iv,esilämmitys}$ on ilmanvaihdon esilämmityspatterin lämmitysenergian tarve, kWh

t_d on ilmanvaihdon keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika suhde, h/24h

t_v on ilmanvaihdon viikoittainen käyntiaika suhde, vrk/7 vrk

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg,K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

T_{lp} on esilämmityspatterin jälkeinen lämpötila, °C

T_u on ulkolämpötila, °C

Δt on ajanjakson pituus, h

1/1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos wattitunneista kilowattitunneiksi.

Ilmanvaihdon sähköisen esilämmityspatterin lämmitysenergian laskennalliseksi tarpeeksi saatiin laskennan mukaan 3 493 kWh/a.

Koska valitussa ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenotto, on selvitettävä tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, jotta voidaan laskea ilmanvaihdon lämmityspatterin energian tarve. Lämmöntalteenoton hyötysuhde saadaan laitevalmistajan koneajosta, joka on suoritettu opinnäytetyön olosuhteilla (liite 1). Lämmöntalteenotosta saatu energia saadaan vertaamalla alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysenergian tarvetta valitun laitteen lämmitysenergian tarpeeseen.

Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen lasketaan yhtälöllä 14.

$$T_{lto} = T_{lp} + \eta_{lto} (T_s - T_{lp}) \quad (14)$$

T_{lto} on ilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C

η_{lto} on lämmöntalteenoton hyötysuhde

T_s on sisälämpötila, °C

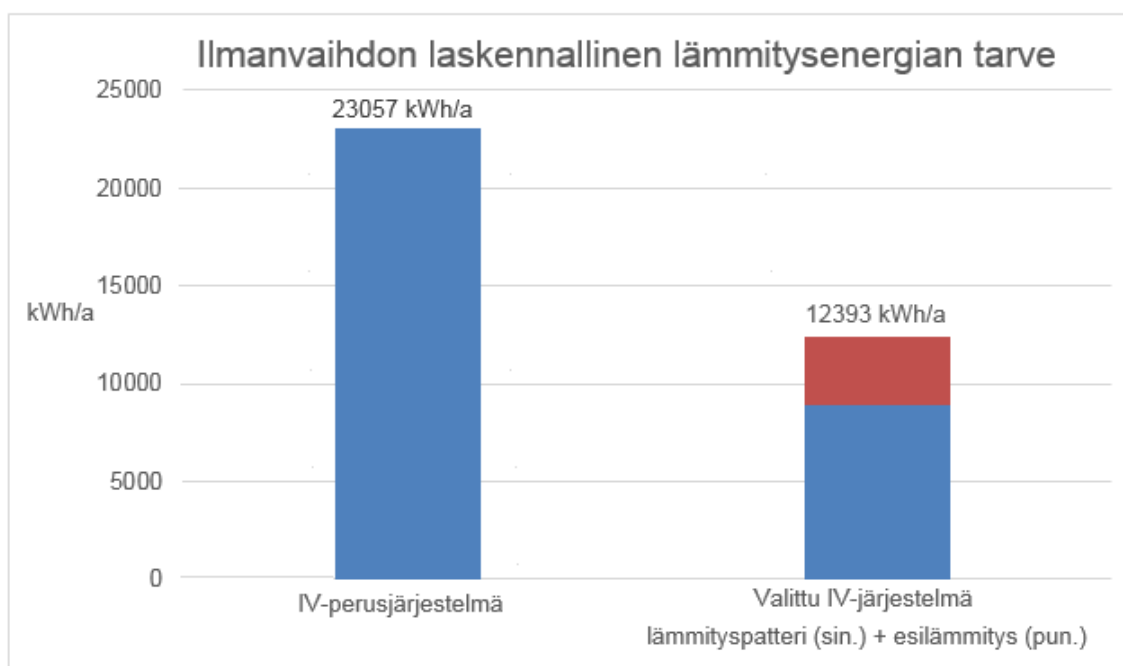
T_{lp} on esilämmityspatterin jälkeinen lämpötila, °C

Kun lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on selvillä, voidaan laskea lämmityspatterin tarvitsema lämmitysenergia. Lämmityspatterin tarvitsema lämmitysenergia voidaan laskea samalla kaavalla kuin esilämmityspatterin tarvitsema energia (kaava 13), jossa T_{ip} korvataan sisään puhalluslämpötilalla, eli T_s , ja T_u korvataan lämmöntalteenoton jälkeisellä lämpötilalla, eli T_{lto} .

Ilmanvaihdon lämmitysenergian laskennalliseksi tarpeeksi saatiin valitulla ilmanvaihtokoneella laskennan mukaan 8 899 kWh/a.

7.2 Tulokset

Valitun ilmanvaihtokoneen laskennalliseksi lämmitysenergian tarpeeksi saatiin kokonaisuudessaan 12 393 kWh/a, josta 3 493 kWh/a kului ilman esilämmittämiseen ennen lämmöntalteenottoa. Alkuperäisen laskelman mukaan ilmanvaihdon laskennallinen lämmitysenergian tarve oli 23 057 kWh/a. Kuvassa 10 on esitetty valitun ilmanvaihtokoneen energian kulutus ja alkuperäinen ilmanvaihdon energian kulutus.



Kuva 10. Valitun ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian tarve sekä perusjärjestelmän ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve.

Taulukon avulla havaitaan, että valitulla ilmanvaihtokoneella lämmitysenergian tarve pieneni 10 664 kWh/a, joka on noin 46 %.

7.3 Lämmitysjärjestelmä

Lämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin kylmäkoneen toimintaperiaate. Lämpöpumpussa hyödynnetään kiertoprosessin lämmintä puolta ja kylmäkoneessa sen kylmää puolta. Tämä mahdollistaa lämpöpumpun energian kulutuksen laskennan tuntitasolla ympäristöministeriön Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan avulla. [19.]

Jotta voidaan laskea, kuinka paljon lämpöpumppu käyttää energiaa tilojen lämmittämiseen, on ensin laskettava yhteen lämmitysenergian tarpeet kaikille järjestelmille, joita lämpöpumppu palvelee. Pesuhallissa lämpöpumpulla lämmitetään rakennuksen ilmanvaihtoa, luiskien sulanapitoa sekä itse rakennusta. Yhteensä näiden lämmitysenergian tarve valitulla ilmanvaihtokoneella on 53 399 kWh/a. Tähän ei ole otettu huomioon ilmanvaihdon esilämmitystä sen ollessa ulkopuolella lämpöpumpulla tuotetusta energiasta.

Lämpöpumpun energiantarpeen laskennassa on käytetty vuoden 2012 tuntikohtaista säädataa Lahdessa. Tämän avulla voidaan lämpöpumppuvalmistajan internet-sivuilta löytyvien teknisten tietojen avulla määrittää lämpöpumpun COP-arvo vuoden jokaiselle tunnille, eli lämpökerroin, jolla lämpöpumppu toimii juuri sillä hetkellä ja niillä verkoston lämpötiloilla, joita kohteessa laskennallisesti käytetään. Laitevalmistajan sivuilla on myös tieto, millä teholla lämpöpumppu pystyy toimimaan missäkin ulkolämpötilassa. Tämän tiedon avulla voidaankin määrittää vuoden jokaiselle tunnille lämpöpumpun teho, ja jos kiinteistön lämmitystehon tarve ylittää lämpöpumpun tehon, on ylimenevä osuus lämmitettävä jollakin lisälämmönlähteellä. Tämä lisälämmönlähde on opinnäytetyön tapauksessa sähkökattila, joka toimii teoreettisesti hyötysuhteella 1.

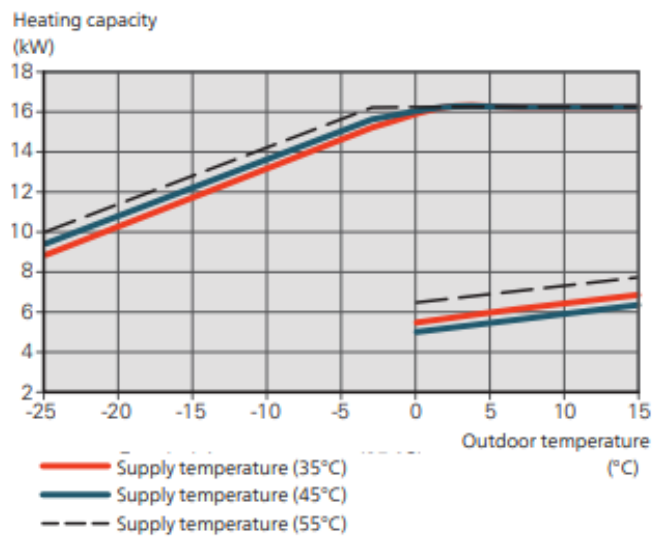
Jos jonkin päivän jonkin tunnin keskilämpötila esimerkiksi olisi 7 °C ja lämpöpumpun COP-arvo voisi laitevalmistajan mukaan olla esimerkiksi 3. Tällöin lämpöpumppu laskennallisesti toimisi koko tunnin ajan lämpökertoimella 3. Jos kiinteistön lämmitysenergian tarve olisi kyseisen tunnin ajalta mukaan 10 kWh, käyttäisi lämpöpumppu sähköenergiaa noin 3,3 kWh tuottaakseen tarvittavan 10 kWh:n lämpöenergian. Tällä tavoin saadaan

laskettua lämpöpumpun tuntikohtainen energiankulutus koko vuodelta, jolla se saa tuotettua kiinteistön lämmitysenergian tarpeen.

Valitun lämpöpumpun lämmitysteho eri ulkolämpötiloilla ja lämmityksen menoveden lämpötiloilla on esitetty kuvassa 11. Lämpöpumpun COP-arvo eri ulkolämpötiloilla ja menoveden lämpötiloilla on esitetty kuvassa 12.

JÄSPI Inverter Nordic-20

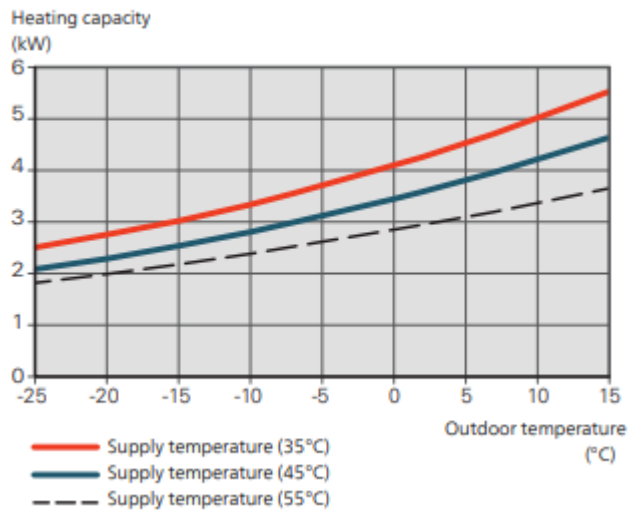
JÄSPI Inverter Nordic-20 max and min heating capacity



Kuva 11. Valitun lämpöpumpun lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan [20].

Kuvassa 11 nähdään lämpöpumpun minimiteho, jonka se pystyy tuottamaan ulkolämpötilan noustessa yli 0 °C. Tämä johtuu lämpöpumpun invertterikäytöstä. Jos rakennuksen tehontarve on pienempi kuin lämpöpumpun minimilämmitysteho, lämpöpumppu käy niin sanottua pätkäkäyntiä.

JÄSPI Inverter Nordic-20 COP

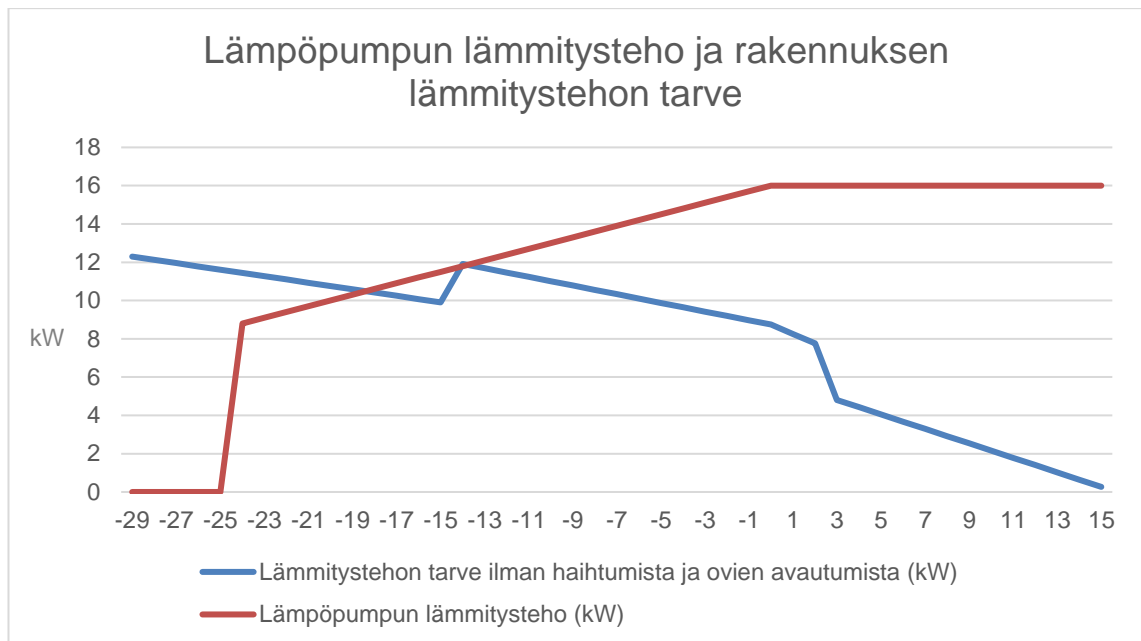


Kuva 12. Valitun lämpöpumpun COP-arvot ulkolämpötilan mukaan [20].

Kuten kuvista huomataan, valitun lämpöpumpun toiminta lakkaa teknisten esitteiden mukaan -25 °C :ssa. Tällöin lämpötilan laskiessa tämän alapuolelle on kaikki lämpö tuotettava erillistä lisälämmitystä hyödyntäen.

Opinnäytetyössä käytetään menevän veden lämpötilana $+35\text{ °C}$. Tällöin lämmitysteho ja COP-arvo luetaan oranssilta käyrältä. Käyrästöjen mukaan saadaan jokaiselle ulkolämpötilalle COP-arvo ja lämmitysteho, joilla laskenta voidaan suorittaa.

Kuvassa 13 on havainnollistettu, miten lämpöpumpun lämmitysteho riittää rakennuksen lämmitystehtoon suhteutettuna. Kuvaan ei ole huomioitu veden haihtumista ja ovien avautumisesta aiheutuvaa lämmitystehton tarvetta, koska ne ovat hetkellisiä ja niin suuria, että käytännössä aina haihduntaa tapahtuessa ja ovien auetessa lämpöpumpun teho ylittyy, jolloin tarvitaan lisälämmitystä. Kuva on siis tilanteesta, jossa halli ei ole käytössä.



Kuva 13. Lämpöpumpun lämmitysteho ja rakennuksen lämmitystehon tarve havainnollistamaan lämpöpumpun toimintaa.

Kuvasta huomataan notkahdukset ulkolämpötilojen +2 °C ja –15 °C rakennuksen lämmitystehon tarpeessa. Tämä johtuu luiskien sulanapidon käytöstä. Kuvasta havaitaan myös lämpöpumpun toiminnan loppuminen ulkolämpötilan laskettua alle –25 °C:n.

7.3.1 Laskenta

Lämpöpumpun energiantarve rakennuksen energiantarpeen tuottamiseen lasketaan ympäristöministeriön laatiman Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan avulla. Kylmäkoneiden toimintaperiaate on sama kuin lämpöpumppujen, jolloin kaavoja voidaan soveltaa sekä lämpöpumpuille että jäähdytysjärjestelmille ja esimerkiksi ilmalämpöpumppua voidaan käyttää lämmitys- että jäähdytystarpeeseen. [21.]

Lämpöpumpun energian tarve lasketaan yhtälöllä 15.

$$W_{\text{lämmitys}} = \sum_{8760} W_{\text{lämmitys}} \quad (15)$$

$W_{\text{lämmitys}}$ on lämpöpumpun tarvitsema energia kiinteistön lämmitysenergian tarpeen tuottamiseen, kWh

$W_{\text{lämmitys}}$ on lämpöpumpun tarvitsema energia kiinteistön lämmitysenergian tarpeen tuottamiseen laskentatunnin aikana, kWh.

Lämpöpumpun energian tarve tuntitasolla lasketaan yhtälöllä 16.

$$W_{\text{lämmitys}} = \frac{q_{li} + q_{lv}}{\varepsilon} \quad (16)$$

$W_{\text{lämmitys}}$ on lämpöpumpun tarvitsema energia kiinteistön lämmitysenergian tarpeen tuottamiseen laskentatunnin aikana, kWh

q_{li} on ilmastointikoneen lämmityspatterin käyttämä lämmitysenergia laskentatunnin aikana, kWh

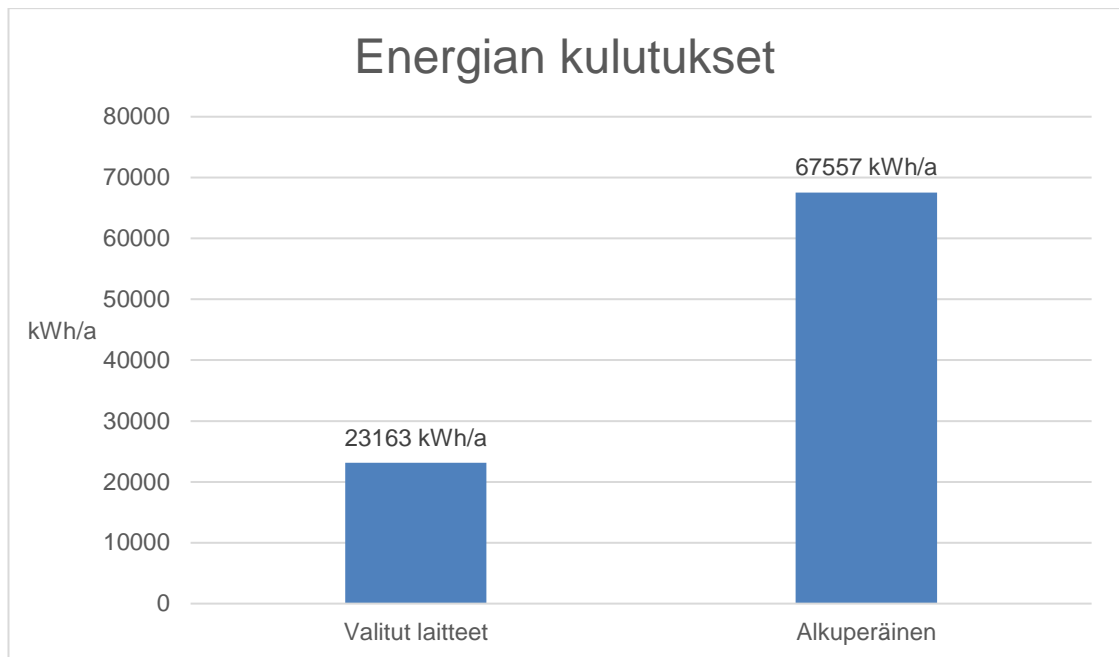
q_{lv} on sisätilojen lattialämmityksen, sulanapidon ja ilmanvaihdon jälkilämmityksen käyttämä lämmitysenergia laskentatunnin aikana, kWh

ε on lämmitysenergian tuotto prosessin lämpökerroin eli COP laskentatunnin aikana.

Tuntikohtainen lämmitysteho saadaan tuntikohtaisesta kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta, koska oletetaan lämmitystehon pysyvän vakiona aina tunnin ajan. Tällöin jos kiinteistön lämmitysteho ylittää lämpöpumpun tehokapasiteetin, lisätään energian tarpeeseen yli menevä osuus suoraan hyötysuhteella 1, joka sähkövastusten hyötysuhteen oletetaan laskennan kannalta olevan.

7.3.2 Tulokset

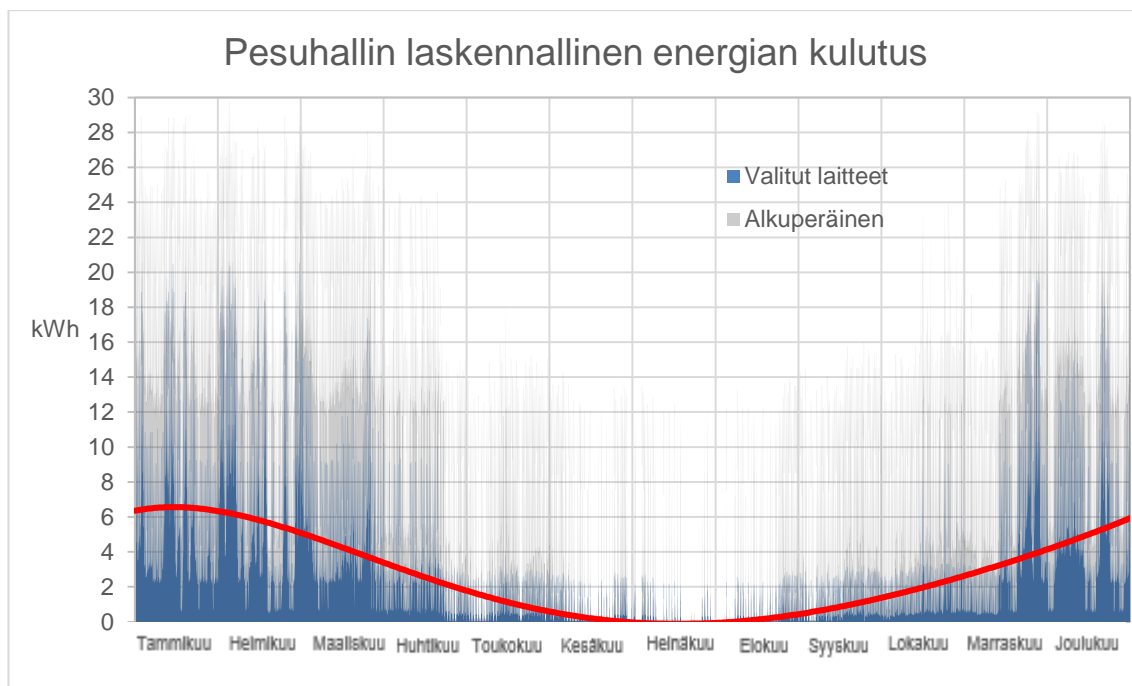
Rakennuksen laskennalliseksi energian kulutukseksi valituilla laitteilla saatiin 23 163 kWh/a. Tähän on laskettu kiinteistön lämmitysenergia tuotettuna lämpöpumpulla sekä ilmanvaihdon esilämmityspatterin kuluttama energia. Kuvassa 14 on eritelty lämmitysenergian laskennalliset kulutukset valituilla laitteilla sekä alkuperäinen tilanne.



Kuva 14. Laskennalliset energian kulutukset valituilla laitteilla sekä perustapauksen laitteilla

Kuvasta huomataan valittujen laitteiden huomattavasti pienempi energiankulutus. Säästöä energian kulutuksellisesti saadaan 44 394 kWh/a, joka prosentuaalisesti alkuperäisestä energian kulutuksesta on 65,7 %.

Tuntikohtaisen säädatan avulla saatiin muodostettua energian kulutuksen jakautuminen vuoden ajalle (kuva 15). Taulukossa on havainnollistettu alkuperäinen energian kulutus taustalle ja valittujen laitteiston energian kulutus sinisellä värillä.



Kuva 15. Pesuhallin laskennallinen energian kulutus vuoden aikana.

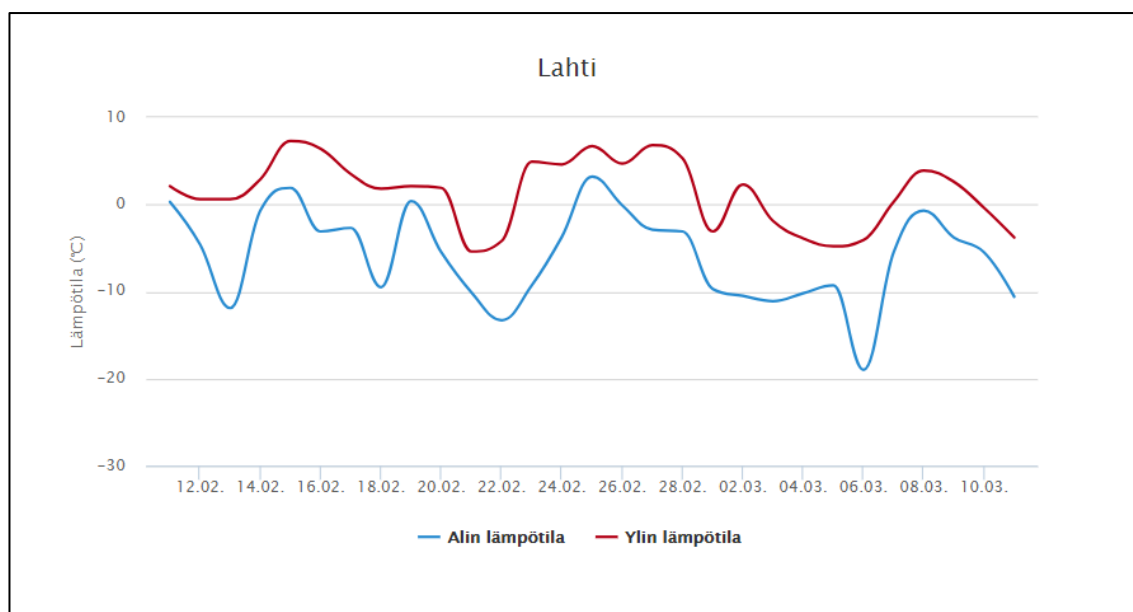
Kuvassa valituilla laitteilla havaittavat suuret piikit johtuvat lämpöpumpun tehon riittämättömyydestä, jolloin lisälämmitystä tarvittaessa kulutus nousee hetkittäisesti korkealle.

8 Mittaukset

Opinnäytetyötä varten saatiin yhdestä olemassa olevasta vastaavasta rakennuksesta mittauksia kiinteistöautomaation avulla. Kohde sijaitsee säävyöhykkeellä 2. Ensimmäisessä mittauksessa automaation avulla saatiin kohteen sisälämpötilatiedot sekä sisäilman kosteustiedot 16 päivän ajalta. Toisessa mittauksessa saatiin kohteen sisälämpötila ja sisäilman kosteus kahden vuorokauden ajalta.

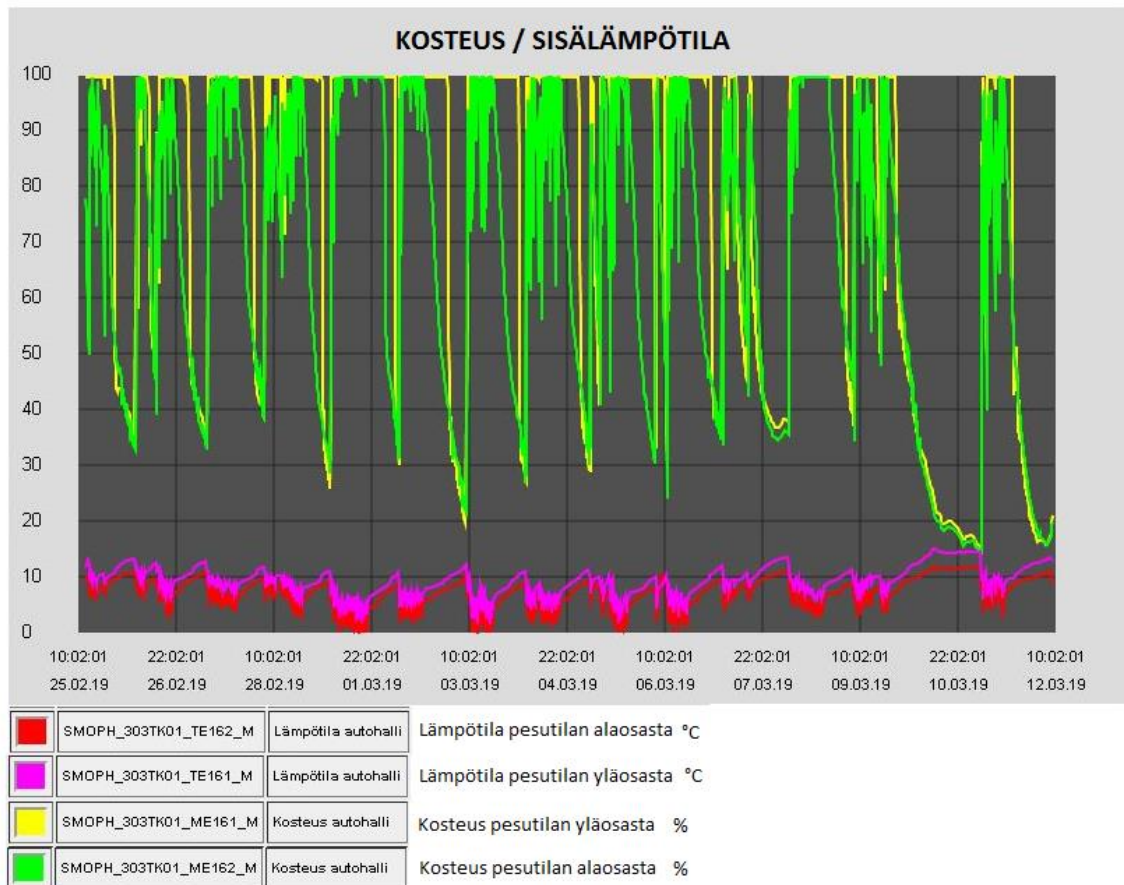
Mittaukset suoritettiin kiinteistöön asennettujen kosteus- ja lämpötila-antureiden avulla, jotka ovat yhteydessä kiinteistöautomaatioon. Lämpötila- sekä kosteusantureita on rakennuksessa 2 kappaletta molempia. Anturit on sijoitettu pesutilan ylä- ja alaosaan. Ensimmäinen mittaus tapahtui 25. helmikuuta ja 12. maaliskuuta välillä. Toinen mittaus suoritettiin 10.–12. maaliskuuta. Mittausväli molemmissa mittauksissa oli viisi minuuttia.

Kuvassa 16 on esitetty ulkolämpötiloja mittausajalta. Lämpötilat saatiin Ilmatieteen laitokselta.



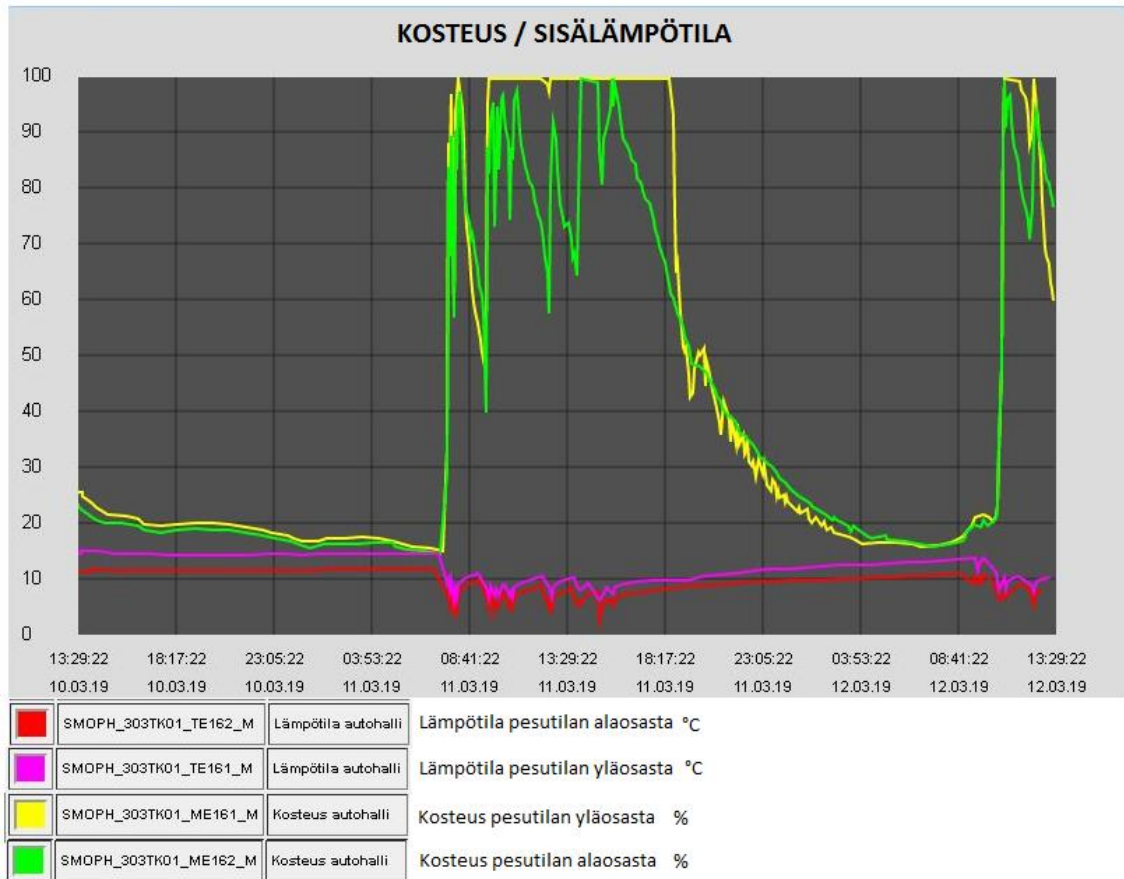
Kuva 16. Mittausajan ulkolämpötiloja Lahdessa [22].

Mittauksien aikana ulkolämpötila vaihteli noin +5 °C:n ja -18 °C:n välillä. Kuvassa 17 on esitetty ensimmäisen mittauksen kuvaaja.



Kuva 17. Pesuhallin kosteus ja sisälämpötila 25. helmikuuta – 12. maaliskuuta.

Taulukosta havaitaan hyvin pesuhallin kuormitus jakautuminen. Pesuhallin käyttö tapahtuu pääosin päivisin. Tämä havaitaan yöaikaisena kosteuden laskuna ja lämpötilan nousuna. Taulukosta myös huomataan lämpötilan ja kosteuden sahaamista ylös alas pesuhallin käyttöaikana. Pesujen aikana suhteellinen kosteus on hyvin korkea. Osaksi tämä suhteellisen kosteuden nousu johtuu ovien aukaisusta. Kun ovi aukeaa ja kylmää ilmaa virtaa sisään, suhteellinen kosteus kasvaa. Kuvasta 18 voidaan tarkastella tarkemmin yhden päivän aikana tapahtuvia sisäilmaston vaihteluita.



Kuva 18. Pesuhallin kosteus ja sisälämpötila 10.–12. maaliskuuta.

Ilmatieteen laitoksen säädätän mukaan ulkolämpötila 11. maaliskuuta on noin -10 °C :n ja -3 °C :n välillä. Siten mittauspäivänä ulkoilman lämpötila on ollut negatiivisen puolella. Tutkitaan kuvan lämpötiläkäyrää kohdalta, jossa lämpötila laskee dramaattisesti ensimmäisen kerran. Oletetaan tällöin ulkolämpötilan olevan keskimäärin $-6,5\text{ °C}$. Näiden arvojen avulla laskettaessa luvun 4.5 mukaan saadaan sekoittuneen ilman lämpötilaksi $3,3\text{ °C}$. Tämä täsmää melko hyvin kuvasta luettavaa lämpötilaa. Lämpötila ei kuitenkaan nouse takaisin suunnitteluarvoon. Tämä voidaan selittää kiinteistön ylläpidon toimilla, jotka olivat asettaneet hallin sisälämpötilan asetusarvon 10 °C .

Ensimmäinen pesutilan kosteuden dramaattinen nousu kertoo auton pesun alkamisesta. Kun kosteus taas alkaa laskea voidaan olettaa pesun olevan ohi. Sarakeväli taulukossa on noin viisi tuntia. Ensimmäisen kerran kosteus laskee alle 45 % suhteellista kosteutta noin puolessa tunnissa. Tällöin pesutilan ilma on vaihtunut opinnäytetyön mitoituksella kokonaisuudessaan 1,5 kertaa. Tämä suhteellisen kosteuden melko nopea lasku tukee

ilmanvaihdon ilmavirtojen mitoitusta, joita opinnäytetyössä on käytetty. Pesuhalli ehtii myös palautua hyvin yön aikana neutraaliin tilaan.

Pesuhallin vuorokauden pesujen jälkeinen lämpötilan melko hidaskas nousu ja kosteuden melko hidaskas lasku voisi viitata pesutilan veden haihtumiseen. Lattialle kertynyt vesi tarvitsee lämpöä haihtuakseen ja haihduttuaan ilmaan vaikuttaa pesutilan ilman kosteuteen.

9 Yhteenveto

Työn taustana oli pesuhallirakennusten tehon tarpeen koostumisen ja energiakulutusten tarkempi selvityksen uupuminen. Selvitys antaa suuntaa kehittää pesuhallien taloteknistä suunnittelua ja toteutusta.

Tavoitteena oli selvittää pesuhallin lämmitystehon koostuminen ja vertailla hallin lämmitysenergian kulutuksia kahden tapauksen välillä. Vertailun avulla haluttiin selvittää mahdollisia säästöjä lämmitysenergian kulutuksessa laitevalintojen jälkeen.

Tutkimus suoritettiin laskemalla. Laskentaa varten lähtötietoja mitattiin paikan päällä. Lopuksi tarkasteltiin olemassa olevan pesuhallin sisäilman olosuhteita kiinteistöautomaation etäkäytön avulla saaduista trendimittauksista.

9.1 Keskeiset tulokset

Pesuhallin lämmitystehon tarve koostuu johtumislämpöhäviöistä, ilmapuodoista, ilmanvaihdosta, hallin lattialle kertyneen veden haihtumisesta sekä suurten hallin ovien avautumisista. Kokonaistehontarpeeksi opinnäytetyön pesuhallille saatiin 33,4 kW. Tähän tehoon ei sisälly veden haihdunnan teho, joka oli 11,9 kW, koska veden haihtumista ja ovien avautumisesta johtuvaa ilman lämmittämistä ei tapahdu samanaikaisesti.

Lämmitysenergian kulutus perustapauksessa, jossa poistoilmasta ei otettu lämpöä talteen ja lämmitys tapahtui hyötysuhteella 1, oli 67 557 kWh/a. Vertailutapauksessa ilmanvaihtokone oli varustettu lämmöntalteenotolla ja lämmitysenergia tuotettiin ilmavesilämpöpumpulla. Tällöin kulutukseksi muodostui 23 163 kWh/a.

Säästöjä saatiin ilmanvaihtokoneen muutoksella laskennallisesti 10 664 kWh/a. Lämpöpumpun lisäämisen jälkeen säästö kertyi 44 394 kWh/a. Tämä säästö on 65,7 % perustapauksen lämmitysenergian kulutuksesta.

9.2 Jatkotutkimusaiheet

Opinnäytetyön aikana tuli esiin kiinnostavia jatkotutkimusaiheita. Yksi aihe olisi lattialle kertyneen veden haihtumisen tarkempi tarkastelu. Veden kertymiseen lattiapinnoille ei löydetty käyttökelpoista lähdettä, jolloin käytimme laskennassa veden kertymisen arviota.

Toinen jatkotutkimusaihe olisi oviverholaitteiston vaikutus ovien aukaisusta aiheutuvaan lämpöhäviöön. Millaisia oviverhokoneita pesuhalleissa voitaisiin käyttää, kannattaisiko niitä käyttää ja paljonko niiden avulla saataisiin laskettua kiinteistön lämmitystehon tarvetta? Myös vaikutus rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen voitaisiin huomioida.

Erittäin kiinnostava aihe olisi lämpöpumpputekniikalla toimivan kondenssikuivaimen hyödyntäminen pesuhallin lämmityksessä. Saataisiinko kondenssikuivaimella hyötyä lämmitysenergian kulutukseen ja voitaisiinko pesuhallin kosteusrasitusta pienentää kuivaimen avulla?

Lähteet

- 1 Autonpesu on Oivabisnes. Verkkoaineisto. Prowash Oy. <<https://www.prowash.fi/oivabisnes/>> Luettu 23.1.2019
- 2 Ajoneuvon pesutoiminta huoltoasemilla ja muissa vastaavissa kohteissa. 2015. Opas. Öljy- ja biopolttoaineala ry. Sähköinen julkaisu.
- 3 Roll-over -koneet. Verkkoaineisto. Prowash Oy. < <https://www.prowash.fi/autonpesukone/roll-over-koneet/>> Luettu 23.1.2019
- 4 FINVAC ry 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. Ympäristöministeriölle tehty selvitys 2017. Verkkoaineisto. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>>
- 5 Sandberg, Esa (toim). 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 6 Salonen, Timo. 2019. IV-suunnittelupäällikkö. Granlund Lahti Oy, Lahti. Keskustelu
- 7 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä. Suomen LVI-liitto ry.
- 8 Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapiojärjestelmät. 2001. Espoo 2001. Verkkoaineisto. Valtion teknillinen tutkimuskeskus <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf>>
- 9 Energiategokkuus. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelman. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>>
- 10 Aho, Jukka. 2019. LV-suunnittelupäällikkö. Granlund Lahti Oy, Lahti. Keskustelu
- 11 Sulatusjärjestelmä. 2010. Suunnittelu ja asennus opas. Verkkoaineisto. Uponor Oy. <<https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat/lumensulatus>>
- 12 Ventä, Sami. 2014. Sulanapidon tehonmitoitus. Insinööriyö. Metropolian Ammatikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 13 Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. 2008. Helsinki 2007. Verkkoaineisto. Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskus. <https://www.valvira.fi/documents/14444/22511/Op-paita_3_2008_Uimahallien_ilmanvaihto_5.pdf>

- 14 Tietokonesimulaatiot ilmaverho tuotteiden kehittämiseksi. 2000. Tietokonesimulaatiot ilmaverho tuotteiden kehittämiseksi. Verkkoaineisto. Stravent Oy. <https://stravent.fi/uploads/file/oviverhot/Tietokonesimulaatiot_ilmaverhojen_kehittamiseksi.pdf>
- 15 Lindström, Yrjö. Virtaustekniikka 1. Opetusmoniste. Espoon-Vantaan teknillinen oppilaitos.
- 16 ABC Carwash Korso. Verkkoaineisto. ABC-asetat <<https://www.abcasemat.fi/fi/asetat/abc-carwash-korso-0222224/autopesu>> Luettu 13.2.2019
- 17 Roman, Robert. 2017. Car Wash and Detail - More than One Way to Combine Services. Verkkoaineisto. Carwash Mag. <<http://www.carwashmag.com/topics/profit-centers/article/car-wash-and-detail-more-than-one-way-to-combine-services/46eec4d464961523dee849ac48a865e9.html>> Luettu 13.2.2019
- 18 Seuna, Sami. 2019. Lämmitysjärjestelmän valinta. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta> Luettu 18.2.2019
- 19 (toim.). 2019. Lämpöpumpun toimintaperiaate – tutustu. Verkkoaineisto. <<https://www.suomela.fi/lampopumpun-toimintaperiaate-tutustu/>> Luettu 26.2.2019
- 20 Jäsپی Inverter Nordic. Asennus opas. Verkkoaineisto. Kaukora Oy. <https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2018/03/331841-3_asentajankasikirja_EN.pdf>
- 21 Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7BB9D6D2F2-A816-4ECF-BE33-B8D56869253D%7D/30752>>
- 22 Viimeisen 30 vuorokauden sää. 2019. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos <<https://ilmatieteenlaitos.fi/viimeisen-30-vrk-saa>> Luettu 13.3.2019

Valitun ilmanvaihtokoneen LTO-hyötysuhteet opinnäytetyön olosuhteilla

Konetunnus



| | | | |
|-------------------------|---------|---------------------|--------|
| Tuloilmamäärä: | 220 l/s | Kanavapaine: | 150 Pa |
| Poistoilmamäärä: | 220 l/s | Kanavapaine: | 150 Pa |

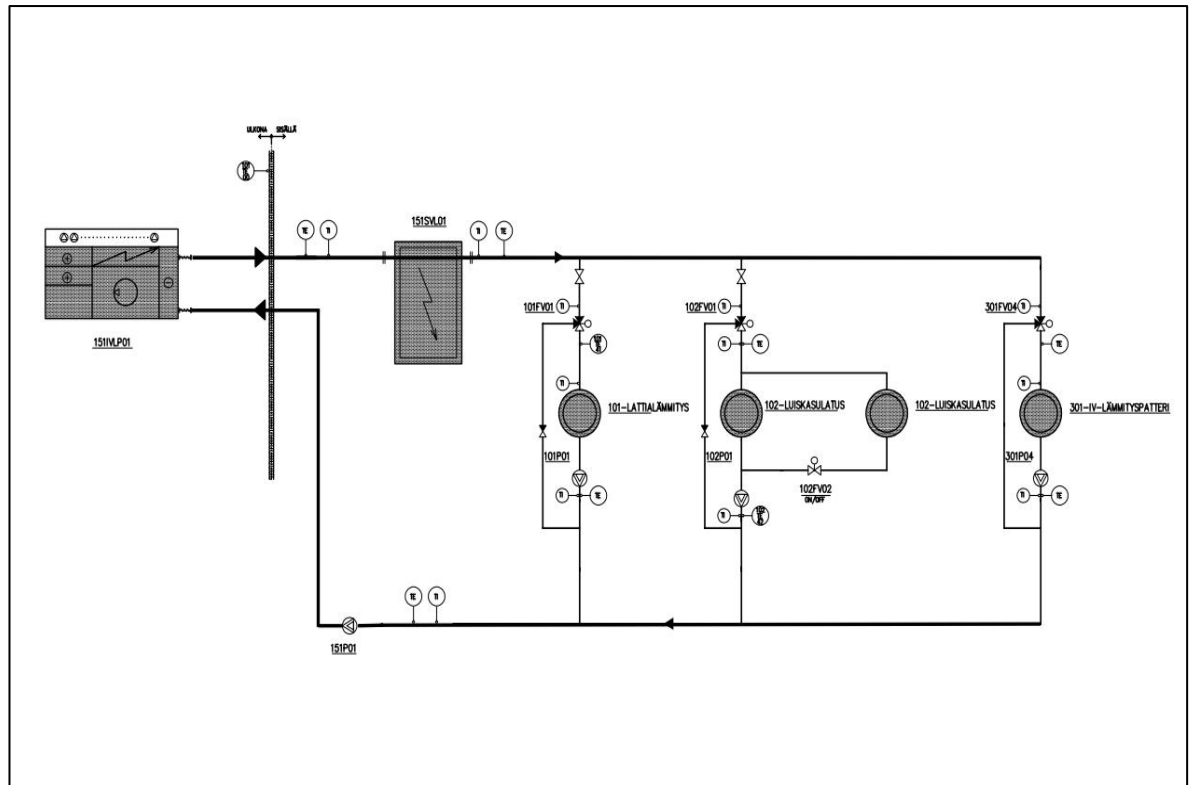
| tu | Aika | ttLto, C | tj, C | ts | tj | ttLTO | RLTO | ηt | ηp | SS, Kd | ST, Kd |
|-----------|-------------|----------|-------|----|------|-------|------|------|------|--------|--------|
| °C | vuodesta, % | maks. | min | °C | °C | °C | | | | | |
| -37 | 0,023 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,22 | 0,22 | 4 | 1 |
| -36 | 0,046 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,22 | 0,22 | 4 | 1 |
| -35 | 0,080 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,23 | 0,23 | 6 | 1 |
| -34 | 0,091 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,23 | 0,23 | 2 | 0 |
| -33 | 0,114 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,24 | 0,24 | 4 | 1 |
| -32 | 0,148 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,24 | 0,24 | 6 | 1 |
| -31 | 0,183 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,25 | 0,25 | 6 | 1 |
| -30 | 0,217 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,26 | 0,26 | 5 | 1 |
| -29 | 0,251 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,26 | 0,26 | 5 | 1 |
| -28 | 0,274 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,27 | 0,27 | 3 | 1 |
| -27 | 0,479 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,28 | 0,28 | 30 | 8 |
| -26 | 0,708 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,28 | 0,28 | 33 | 9 |
| -25 | 0,868 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,29 | 0,29 | 22 | 6 |
| -24 | 1,130 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,30 | 0,30 | 35 | 11 |
| -23 | 1,484 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,31 | 0,31 | 47 | 14 |
| -22 | 1,849 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,31 | 0,31 | 47 | 15 |
| -21 | 2,192 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,32 | 0,32 | 43 | 14 |
| -20 | 2,603 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,33 | 0,33 | 50 | 17 |
| -19 | 3,082 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,34 | 0,34 | 56 | 19 |
| -18 | 3,642 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,35 | 0,35 | 63 | 22 |
| -17 | 4,486 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,37 | 0,37 | 92 | 34 |
| -16 | 5,183 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,38 | 0,38 | 74 | 28 |
| -15 | 6,290 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,39 | 0,39 | 113 | 44 |
| -14 | 7,192 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,41 | 0,41 | 89 | 36 |
| -13 | 7,842 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,42 | 0,42 | 62 | 26 |
| -12 | 8,550 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,44 | 0,44 | 65 | 28 |
| -11 | 9,600 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,46 | 0,46 | 92 | 42 |
| -10 | 10,559 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,48 | 0,48 | 81 | 39 |
| -9 | 11,906 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,50 | 0,50 | 108 | 54 |
| -8 | 13,459 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,52 | 0,52 | 119 | 62 |
| -7 | 15,491 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,55 | 0,55 | 148 | 82 |
| -6 | 17,340 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,58 | 0,58 | 128 | 74 |
| -5 | 19,372 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,61 | 0,61 | 134 | 82 |
| -4 | 21,826 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,65 | 0,65 | 152 | 99 |
| -3 | 24,726 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,69 | 0,69 | 169 | 116 |
| -2 | 28,607 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,73 | 0,73 | 212 | 156 |
| -1 | 34,110 | 17 | 0 | 13 | 2,0 | 15,0 | 1,0 | 0,79 | 0,79 | 281 | 221 |
| 0 | 40,548 | 17 | 0 | 13 | 2,1 | 15,0 | 1,0 | 0,84 | 0,84 | 305 | 257 |
| 1 | 45,674 | 17 | 0 | 13 | 2,9 | 15,0 | 1,0 | 0,84 | 0,84 | 225 | 189 |
| 2 | 49,326 | 17 | 0 | 13 | 3,7 | 15,0 | 1,0 | 0,84 | 0,84 | 147 | 124 |
| 3 | 52,957 | 17 | 0 | 13 | 4,6 | 15,0 | 1,0 | 0,84 | 0,84 | 133 | 112 |
| 4 | 56,199 | 17 | 0 | 13 | 5,4 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 106 | 90 |
| 5 | 58,562 | 17 | 0 | 13 | 6,2 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 69 | 58 |
| 6 | 60,925 | 17 | 0 | 13 | 7,1 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 60 | 51 |
| 7 | 63,253 | 17 | 0 | 13 | 7,9 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 51 | 43 |
| 8 | 65,947 | 17 | 0 | 13 | 8,7 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 49 | 42 |
| 9 | 68,858 | 17 | 0 | 13 | 9,6 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 43 | 36 |
| 10 | 71,872 | 17 | 0 | 13 | 10,4 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 33 | 28 |
| 11 | 75,537 | 17 | 0 | 13 | 11,3 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 27 | 23 |
| 12 | 78,927 | 17 | 0 | 13 | 12,1 | 15,0 | 1,0 | 0,85 | 0,85 | 12 | 11 |
| Yhteensä: | | | | | | | | | | 3 849 | 2 434 |

KAIR -tuotteet
Oy Pamon Ab
puh 0424 958 1
fax 0424 958 240

www.kair.fi
myynti@kair.fi

18.02.2019
14:28
4.2

Kytentäkaavio ja toimintaselustus



TOIMINTASELOSTUS

OHJAUKSET

Ilma-vesipumpun oma automatiikka säätää lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan perusteella kuvan 1 mukaisesti.

Ilma-vesipumpun oma automatiikka ohjaa sähköisen lisälämmittimen toimintaa tarvittaessa.

Ilma-vesipumpun oma automatiikka ohjaa pumpun 151P01 käyntiä.

Lämmitysverkoston pumpujen (101P01&102P01) käyntiä ohjataan säätö- ja valvontajärjestelmällä ulkolämpötilan perusteella. Ulkolämpötilan ollessa yli asetusarvon pumput ovat seis.

LATTIALÄMMITYKSEN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Säätö- ja valvontajärjestelmä pitää lattialämmitysverkoston menoveden lämpötilan 101TE41 asetusarvossaan ohjaamalla säätöventtiiliä 101FV01. Menoveden lämpötilan asetusarvo muuttuu ulkolämpötilan 101TE00 mittaustuloksen funktiona kuvan 2 säätökäyrän mukaisesti.

Ulkolämpötilan laskiessa alle asetusarvon (-15°C) sulkee säätö- ja valvontajärjestelmä venttiiliin 102FV02.

LUISKASULATUKSEN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Säätö- ja valvontajärjestelmä pitää luiskasulatusverkoston paluuveden lämpötilan 102TE42 asetusarvossaan ohjaamalla säätöventtiiliä 102FV01.

