

Pekka Vornanen

ILMALÄMPÖPUMPUN KYKY JÄÄHDYTTÄÄ USEAA TILAA

ILMALÄMPÖPUMPUN KYKY JÄÄHDYTTÄÄ USEAA TILAA

Pekka Vornanen
Opinnäytetyö
Syksy 2022
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Pekka Vornanen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Ilmalämpöpumpun kyky jäähdyttää useaa tilaa
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Air Source Heat Pumps Capacity to Cool Multiple Rooms

Työn ohjaaja: Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2022

Sivumäärä: 35

Työn tarkoituksena oli tutkia ilmalämpöpumpun kykyä jäähdyttää useaa tilaa samanaikaisesti. Ilmalämpöpumpun jäähdyttämän ilman leviämistä eri huoneiden välillä on tutkittu varsin vähän aikaisemmin, eikä alan ammattilaisillakaan ole yhtenäistä kantaa asiasta.

Tutkimuksessa tarkasteltiin omakotitaloa, johon oli asennettu Mitsubishin ilmalämpöpumppu. Koululta saatiin lainaan lämpötilamittarit, joita käytettiin keräämään lämpötiladataa. Mittauksia suoritettiin kesäkuussa kovien helteiden aikaan kolmen päivän ajan. Rakennukseen asennettiin eri huoneisiin useita lämpötilamittareita, jotka kirjasivat lämpötiloja ylös reilun seitsemän tunnin ajan joka päivä. Tutkittavien huoneiden ilmanvaihtoa ja lämpötilaa tarkkailtiin jatkuvasti ja ilmavirtaa säädeltiin ajoittamalla ovien avaaminen aina, tasaisin väliajoin sekä muuttamalla IV-koneen tehoa mittausten välillä. Saadusta mittausdatasta koottiin Exceliin taulukot, joiden pohjalta tehtiin kuvaajia tarkasteltaviksi.

Kuvaajista kävi ilmi, että ilmalämpöpumpun pääteyksikkö on jotenkin kykenevä viilentämään kaikkia tutkimuksessa olevia tiloja samanaikaisesti, mutta tehokkuus kärsi, kun siirryttiin kauemmaksi yksiköstä. Tutkimusolot eivät kuitenkaan ole realistiset silloin kun talossa on käyttäjiä, joten suositeltavaa on asentaa oma päätelaite jokaiseen huoneeseen, joka halutaan jäähdyttää. Tällöin toimivuus on varmempaa, eikä käyttäjän tarvitse huolehtia muista vaikuttavista tekijöistä kuten talon ilmanvaihtokoneistosta.

Asiasanat: Ilmalämpöpumppu, jäähdytys, tehokkuus, talotekniikka, IV-koneet, tutkimus.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 LÄMPÖPUMPUT	6
2.1 Lämpöpumppujen toimintaperiaate	6
2.2 Lämpöpumppujen historiaa	7
2.3 Kylmäaineiden historia	9
3 ILMALÄMPÖPUMPUT JÄÄHDYTYKSESSÄ	14
3.1 Mitoitus	14
3.2 Kylmäaineiden jaottelu	15
4 TUTKIMUS	18
4.1 Mittauslaitteet	19
4.1.1 Mittausvälineiden valmistelu	21
4.1.2 Mittareiden sijoittelu	24
4.2 Tutkimuksen kulku	25
5 TULOSTEN TARKASTELU	26
5.1 Mittausvirheet	30
5.2 Johtopäätökset	30
6 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia ilmalämpöpumpun sisäyksikön kykyä jäähdyttää useita tiloja kerrallaan tehokkaasti. Kylmän ilman leviämistä ja tämän prosessin tehokkuutta arvioitiin vertailemalla huoneista mitattuja lämpötiloja laitteen asetusarvoon sekä ulkolämpötilan vaikutusta niihin. Tutkimuksen perusteella pyrittiin laatimaan suositukset siitä, mikä olisi yhden päätelaitteen jäähdyttämä maksimi huonemäärä.

Tutkimusta suoritettiin opiskelijan oman mielenkiinnon sekä aiempien eri työmailla kohdattujen tapausten vuoksi. Työmailla aiheetta on jouduttu pohtimaan mutta tarkkaa vastausta ei ole saatu.

Aiheesta oli vähän aiempaa tutkimustietoa ja saatavilla oleva tietokin oli vajaavaista, eikä antanut selviä vastauksia. Teknologian tutkimuskeskuksella työskentelevä erikoistutkija Ari Laitinen kommentoi vuonna 2016 suorittamaansa tutkimusta seuraavasti: *”En mallintanut ilmalämpöpumppua, vaan laskin pelkästään jäähdytysenergian tarpeen olohuoneen eri asetusarvoilla välillä 22–25 °C. Tällöin lämpötilan asetusarvo pysyy asetuksessa vain olohuoneessa, muissa huoneissa lämpötila ’kelluu’ vapaasti. Toki olohuoneen jäähdyttäminen vaikuttaa niihin lämpötilaeroista aiheutuvien ilmavirtausten ansiosta sekä minimaalisesti myös sisäseinien läpi johtumalla”*. (1.)

Tutkimuskohteena oli Orivedellä sijaitseva omakotitalo ja laitteena toimii Mitsubishi-merkkinen ilmalämpöpumppu, jonka jäähdytyskykyä tutkimuksessa tarkasteltiin.

2 LÄMPÖPUMPUT

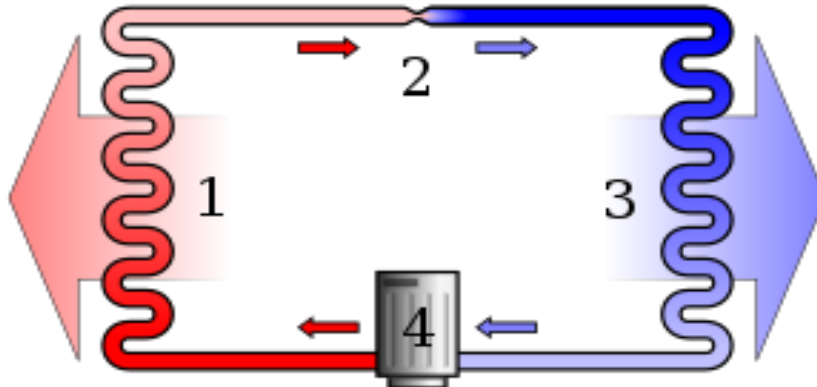
Ilmalämpöpumput ovat osa lämpöpumppuja, jotka ovat viimeisen reilun kahden sadan vuoden aikana tasaisesti kehittyneet tehokkaammiksi ja taloudellisiksi ratkaisuksi perinteisten fossiiliperäisiä polttoaineita hyödyntävien lämmön lähteiden rinnalle. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan lämpöpumppujen toimintaperiaatetta, lämpöpumppujen historiaa ja niissä käytettyjen kylmäaineiden kehitystä.

2.1 Lämpöpumppujen toimintaperiaate

Lämpöpumpun toiminta perustuu yksinkertaisimmillaan lämmön johtamiseen tiilasta toiseen erilaisten kylmäaineiden avulla. Tilaa lämmitettäessä lämpöä johdetaan tavallisesti ulkoa sisälle. Lämpöpumpun ollessa jäähdytyskäytössä lämmön kulku on puolestaan päinvastainen. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaisesti systeemissä ei häviä energiaa, vaan se muuttaa muotoaan. Seuraavassa selvityksessä viitataan numeroilla 1 - 4 kuvaan 1.

Kylmäaineena toimiva kuumakaasu saapuu lauhduttimelle (1), jossa se luovuttaa lämpöenergiansa pois muuttuen nesteeksi. Lauhdutin vapauttaa jäähdytyskäytössä lämpöenergian omakotitaloissa yleensä ulkoilmaan, mutta suuremmissa laitoksissa sitä voidaan käyttää myös lämmityksessä hyödyksi. Paisuntaventtiilissä (2) kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat, jotta piiriin muodostuu oikeanlainen paine-ero. Paisuntaventtiili säännöstelee kylmäaineen virtausta tulistuksen voimakkuuden perusteella eteenpäin höyrystimelle. Höyrystimelle (3) päästessään paineen lasku aiheuttaa kylmäaineen voimakkaan höyrystymisen. Höyrystyessään kylmäaine varaa suuren määrän lämpöenergiaa itseensä, jonka se ottaa ympäröivästä ilmasta tai nesteestä. Höyrystyttyään kylläiseksi höyryksi, sitä keinoitekoisesti höyrystetään vielä ylikylläiseksi, eli se tulistetaan. Tulistus on höyrystimestä lähtevästä putkesta mitatun lämpötilan ja kylmäaineen höyrystymislämpötilan erotus, jonka voimakkuus on aina kylmäainekohtaista. Tämän jälkeen alipaine imee tulistetun höyryn kompressoriin (4), jossa sen painetta nostetaan puristamalla kaasu pienempään tilavuuteen. Tämä johtaa kaasun paineen ja lämpötilan nousuun, mikä taas aiheuttaa höyryn muuttumisen jälleen kuumakaa-

suksi, joka lähtee takaisin lauhduttimelle (1) aloittaen prosessin alusta. Lauhduttimen ja höyrystimen sisällä olevat kennot lämpenevät ja kylmenevät kylmäaineen olomuodon muutoksesta riippuen prosessin aikana, riippuen siitä halutaanko tilaa lämmittää vai jäähdyttää. Kuva 1 havainnollistaa tätä edellä kuvattua prosessia. (2;3)



KUVA 1. Ilmalämpöpumpun prosessi vaiheittain (4)

1. Lauhdutin
2. Paisuntaventtiili
3. Höyrystin
4. Kompressori

Tutkimustilanteessa höyrystin on sisällä talossa, josta lämpöenergia johdetaan pihalla olevalle lauhduttimelle. Päätelaitteen puhallin imee huoneen ilmaa höyrystimen kennot läpi, jolloin ilma viilenee ja se voidaan levittää huoneeseen. Tätä leviämisen tehokkuutta eri huoneiden välillä tarkastellaan tutkimuksessa.

2.2 Lämpöpumppujen historiaa

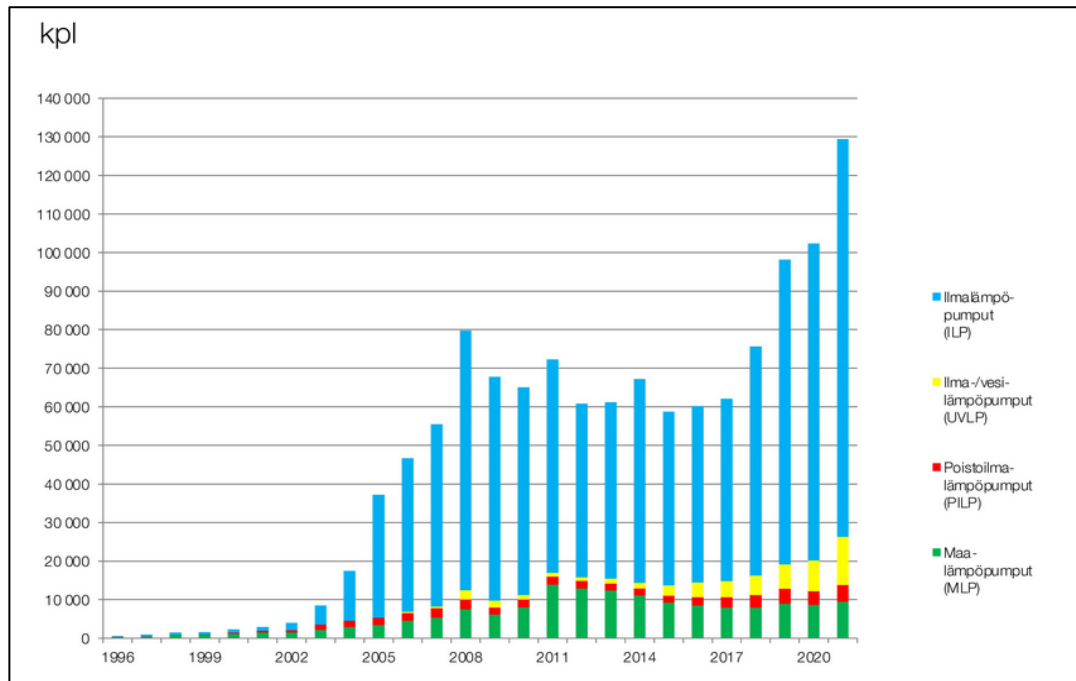
Varhaisimmat jäähdytysteknologiat voidaan ajoittaa 1700-luvun puoleenväliin, tarkemmin sanottuna vuoteen 1748. Tällöin skottilainen lääkäri, kemisti ja maataloustieteilijä Professori William Cullen (1710–1790) demonstroi keinotekoista jäähdytystä Glasgow'n yliopistossa. Cullen loi pumpun avulla säiliöön tyhjiön, joka sisälsi dietyylieetteriä.

Höyrystyessään eetteri absorboi ympäröivästä ilmasta lämpöä, joka aiheutti säiliön viilenemisen. Cullenin löydökset eivät kuitenkaan saaneet suosiota tai huomiota osakseen, koska maan jää teollisuus oli tuolloin varsin tuottoisa bisnes, eikä tarvetta uusille viilennysmenetelmille juuri ollut. (5; 6.)

1834 amerikkalainen keksijä, mekaniikan insinööri ja fyysikko Jacob Perkins (1766–1849) patentoi ensimmäisen ”jääkaapin”. Tätä laitetta ei ollut tarkoitettu nykypäivän tyyliin kotikäyttöön, koska se käytti lämmönsiirrossaan vaarallisia yhdisteitä kuten edellä mainittua dietyylieetteriä sekä ammoniakkia. Perkins sai alkuperäisen ideansa toiselta keksijältä nimeltään Oliver Evans, mutta tämä ei ikinä rakentanut tai patentoinut ideaansa. Perkinsin suunnitelmat olivat tosin jo toimintaperiaatteiltaan hyvin lähellä nykyaikaista kylmälaitosta. (7.)

William Thomson, Largsin ensimmäinen paroni Kelvin, tai paremmin pelkästään nimellä lordi Kelvin tunnettu brittiläinen fyysikko, matemaatikko, insinööri ja keksijä niin teoreettisen kuin kokeellisen tutkimuksen alalla, esitteli vuonna 1852 jäähdytyskoneen toimintaperiaatteen. Lordi Kelvin loi modernin fysiikan periaatteet ja absoluuttisen lämpötila-asteikon, jonka yksikkö kelvin (K) on nimetty hänen mukaansa. (8.)

1920-luvulla asennettiin ensimmäiset nykyaikaiset lämpöpumput. 1940-luvulla, toisen maailmansodan aiheuttaman hiilipulan vuoksi, ilmalämpöpumppuja asennettiin laajasti ympäri Keski-Eurooppaa. Öljyn hinnannousun takia 1970–1980-luvuilla ilmalämpöpumput lisääntyivät entisestään, ja nousivat kilpailemaan öljylämmityksen rinnalle. 2000-luvun energian hinnannousun seurauksena lämpöpumput yleistyivät räjähdysmäisesti, eikä hidastumista ole ollut havaittavissa ainakaan Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry:n tekemien tilastojen mukaan, jotka ovat esitelty kuvassa 2. (9.)



KUVA 2. SULPU ry:n tilastot myydyistä lämpöpumpuista (9).

Vuoden 2022 alussa syttyneen Ukrainan sodan takia, myös Venäjältä Eurooppaan tuodun kaasun ja öljyn hinnat ovat nousseet merkittävästi, mikä on ennestään kiihdyttänyt energian hinnan kasvua. Tämä saattaa tulevaisuudessa kasvattaa vielä enemmän lämpöpumppujen kysyntää rakennusten lämmitys/jäähdytys ratkaisuna.

2.3 Kylmäaineiden historia

Kylmäaineet ovat laitteiden kehittyessä käyneet läpi oman kehitysprosessinsa, jonka tavoitteet ovat muuttuneet ja muuttuvat vielä tänä päivänäkin eri suuntiin. Kun alun perin tavoitteena oli saada mahdollisimman paljon lämpöenergiaa siir-

rettyä tehokkaasti kylmäaineen avulla tilasta/aineesta toiseen, nykypäivänä tehokkuuden rinnalle on noussut yhtä tärkeänä myös eri aineiden ympäristöystävällisyys ja kierrätettävyys. (10.)

Ensimmäiset ”jääkaapit” olivat nimensä mukaisesti vain kaappeja, joissa säilytettiin suuria jäätyneestä vesistöstä irrotettujen jääpaloja ja jotka sulaessaan pitivät kaapit viileinä. Tällaiset jäähdytys kaapit ja jääkellarit olivat käytössä vielä 1960-luvulle asti varsinkin maaseudulla, jonne teknologia saapui hitaasti. Suomessa Auran Rautateollisuus valmisti Temperator-jäälohkarekaappeja, joista on malleja esillä Suomen Jäähdytystekniikan Museossa Ylöjärvellä. Kuvassa 3 on esillä muutamia kyseisen museon historiallisia jääkaappimalleja. (10; 11.)



KUVA 3. Suomen Jäähdytystekniikan Museon jääkaappeja (11)

Kuten aiemmassa luvussa kerrottiin, 1740-luvun lopussa William Cullen kehitti eetterin avulla jäähdytyksen teoriaa laboratorio-olosuhteissa, joissa eetterin annettiin höyrystyä alipaineessa jäähdyttäen tutkimus astian. Eetteri toimi myös vuonna 1805 Jacob Perkinsin rakentamassa jäähdytyskoneessa lämmönsiirtäjänä, mutta se ei levinnyt ikinä laajaan kaupalliseen käyttöön. Myös rikkidioksidia testattiin kylmäaineena, mutta sen käyttö jäi kuitenkin vähäiseksi suurempia laitoksia kuten Helsingin hotelli Tornia (1931–1980) lukuun ottamatta. (10.)

Sopivaa kylmäainetta jouduttiin odottamaan vielä reilu sata vuotta, kunnes 1900-luvun alussa hiilidioksidia alettiin käyttämään useissa hotelli- ja ravintola alan yri-

tyksissä ruokien ja juomien säilömiseen. Toisen maailmansodan aikana myös laivoilla ja ammustehtaissa alettiin käyttämään hiilidioksidi pohjaisia jäähdytysjärjestelmiä. Hiilidioksidi ratkaisi monta haittakohtaa, joita aikaisemmillä kylmäaineilla oli kuten mm. herkkä syttyvyys, korroosio ja myrkyllisyys.

Hiilidioksidin vuoksi laitekoko ja vuotoherkkyys kuitenkin kasvoivat, eikä kylmlaitteita vieläkään saatu turvallisesti käyttöön kotitalouksissa. (10.)

Vasta 1920-luvulla saavutettiin läpimurto kylmäaineiden kanssa, kun vuonna 1922 keksittiin absorptiokone, jonka toiminta perustui höyryn imeytymiseen nesteeseen. Kylmäaineena absorptiossa käytettiin ammoniakkia tai litiumbromidia yhdessä veden kanssa. Vain muutamassa vuodessa markkinoille tuli uusia jäähdytyskoneita sekä niiden mukana uusia kylmäaineita kuten rikkidioksidi, metyylikloridi ja ammoniakkikaasuja, joista kuitenkin suurin osa oli yhä myrkyllisiä ja/tai helposti syttyviä. Tuohon aikaan jäähdytyskaapit alkoivat yleistymään ja Suomesakin alkoi syntyään kylmlaitteiden erikoisliikkeitä kuten *G. Hartmannin Kone-liike Oy*. (10.)

Vuonna 1930 *Chemical Society of Atlanta* yhtiön vuosikokouksessa Thomas Midgley esitteli ensimmäistä kertaa elementaarista fluorista valmistetun turvallisen, tehokkaan ja ei-palavan kylmäaineen: kloorifluorihilivedyn eli CFC-12. Myöhemmin *DuPont* ja *General Motors* yhdistyvät *Kinetic Chemicals Inc:si* ja *DuPontin* laitoksessa Deepwaterissa, N.J. DuPont rekisteröi tavaramerkiksi fluorihilivedyille nimityksen *Freon*® joka myöhemmin muodostui kylmäkaasujen yleisnimeksi. Seuraavina vuosina markkinoille tuotiin useita freoni tuotteita kuten CFC-11, CFC-114, CFC-113 ja kloorifluorihilivety (HCFC)-22. (10.)

1940-luvulta 1960-luvulle useita uusia yrityksiä syntyi fluorihilimarkkinoille. Uusia tuotteita kuten CFC-13, CFC-14 ja CFC-502 kehitettiin. Tuona aikana *DuPont* vapautti rekisteröimänsä kylmäaineiden numerointijärjestelmän yleiseen käyttöön välttääkseen sekaannusta alan tuotteiden nimissä. Nimitykseksi muodostui käyttää *R*:ää kylmäaineen koodin edessä esimerkiksi R12, R11...jne. (10.)

1970-luvulla öljyn hinnan noustua syntyi energiakriisin, mikä johti investointeihin energiatehokkaan ilmastonin kehittämiseksi. Kehityksen aikana huomattiin, että CFC-yhdisteet vaikuttavat negatiivisesti planeetan otsonikerrokseen, jonka

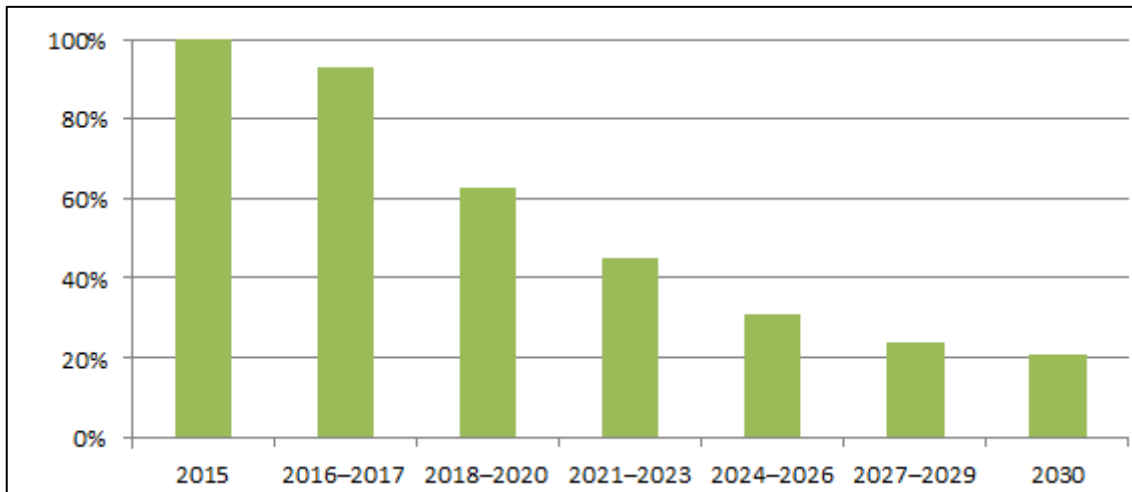
seurauksen esimerkiksi DuPont kehitti HFC-134a:n eli R134a:n kylmäaineen, joka on palamaton, turvallinen ja parempi otsonikerrokselle, koska siinä ei ole klooria. R134a:ta alettiin kaavailemaan R12:n korvaajaksi esimerkiksi autoissa. Tähän aikaan muidenkin aerosolituotteiden tuotanto alkoi vähenemään.

Vuonna 1985 "Otsonireikä" löytyy Etelämantereelta, mutta sen aiheuttaja on vielä tuolloin epäselvä. Alettiin kuitenkin kansainvälisiin toimenpiteisiin, joilla tilannetta pyrittiin parantamaan. 1987 kirjoitettiin ns. Montrealin pöytäkirja, jota myöhemmin täydennettiin useasti. Pöytäkirjalla oli tarkoitus vähentää CFC-yhdisteiden kulu- tusta 50 %:lla seuraavan 10 vuoden aikana. Vuonna 1988 julkaistun tutkimuksen perusteella huomataan yhteys CFC-yhdisteiden ja otsonikadon välillä, ja esimer- kiksi *DuPont* aloittaa vaiheittaisen CFC-tuotannon lopettamisen sitoutuen vah- vemmin muihin kylmäaineisiin, kuten R134a:han. Kylmäteollisuus alkoi myös ke- hittämään uusia komponentteja, kuten lauhduttimia, kompressoreita, voitelu- ja kuivausaineita. (10; 12.)

2000-luvulla kylmäaineiden kehityksessä on alettu kiinnittämään suurta huomiota ilmastomuutokseen. Nykyään ei riitä enää, että kylmäaineet ovat otsoni turvalli- sia, vaan tuotekehityksessä tulee huomioida myös ilmaston lämpeneminen ja kasvihuonekaasujen kesto ilmakehässä. Näitä vaikutuksia ilmastoon esitetään kylmäaineiden ODP- ja GWP-arvoilla, jotka on selitetty tarkemmin luvussa [3.2](#). Uusia CFC-laitoksia ei EU:ssa ole saanut valmistaa vuoden 1995 alusta lähtien, ja vuonna 2015 HCFC-kylmäaineetkin kiellettiin uusista laitoksista. HFC-kylmä- aineitakin on alettu rajoittamaan ja esimerkiksi R134a:n käyttö kiellettiin ajoneu- voissa vuonna 2017. Vuonna 2014 voimaan tullut EU:n uusi F-kaasuasetus vai- kutti merkittävästi kylmäalaan ja erityisesti joidenkin kylmäaineiden käyttöön. Asetuksen tavoitteena on suojella ilmastoa haitallisilta F-kaasuilta ja saavuttaa 60 prosentin päästövähennys vuoteen 2030 mennessä. Vuoden 2020 alusta läh- tien GWP-arvoltaan 2500 tai suurempien F-kaasujen käyttö jäähdytyslaitteiden huollossa tai kunnossapidossa kiellettiin. Esimerkiksi Suomen vähittäiskaupassa todennäköisesti edelleen käytetyin kylmäaine R404a (GWP=3922), joutui tälle kieltolistalle. Jatkossa kylmäaineet tulee regeneroida uuden veroisiksi ja tästä Suomessa vastaa pää osin Eco Scandic Oy. Kierrätys saman konsernin sisällä

on kuitenkin laillista ja esimerkiksi S-ryhmä kierrättää kaiken poistetun R404a kylmäaineensa isoista myymälöistä pienempiin, siirtyessään hiilidioksidi laitoksiin. (10; 12; 23.)

Kuvassa 4 esitellään tavoitteet vuoden 2014 F-kaasusetuksen mukaisista kiintiöistä, joihin pyritään vuoteen 2030 mennessä.



KUVA 4. F-kaasusetuksen mukaiset kiintiöt (12)

Kokonaisuutena kylmäaineiden kehitys voidaan jakaa neljään sukupolveen. Eri sukupolvilla kiinnitettiin huomiota aina tiettyyn kylmäaineen piirteeseen kuten:

- Ensimmäisenä sukupolvena, jolloin kylmäaineena käytettiin mitä vain mikä toimi (1800–1900-luku)
- Toisena sukupolvena, kun turvallisuus oli avaintekijänä (1910–1980-luku)
- Kolmantena sukupolvena, jolloin otsonikerroksen heikkeneminen huomiointiin (1985–2000-luvun alku)
- Ja neljäntenä sukupolvena, kun myös ilmastonmuutos alettiin ottamaan huomioon. (2000-luvulta eteenpäin)

3 ILMALÄMPÖPUMPUT JÄÄHDYTYKSESSÄ

Tutkimuksessa ei mitoiteta uusia laitteita, mutta on silti hyvä selvittää mitoitusperiaatetta, jolla ilmalämpöpumput valitaan. Myös eri kylmäaineiden ominaisuudet vaikuttavat huomattavasti ilmalämpöpumppujen tehokkuuteen jäähdyttämisessä, koska eri kylmäaineet tulistuvat ja jäähtyvät eri tehoilla. Lisäksi kylmäaineet ovat vaihtuneet paljon viime vuosikymmeninä, koska on alettu kiinnittämään enemmän huomiota niiden ympäristöystävällisyyteen.

3.1 Mitoitus

Sopiva ilmalämpöpumpun koko on aina riippuvainen kohteesta, johon se asennetaan. Omakotitalon ilmalämpöpumpun mitoitukseen vaikuttavat talon varsinainen lämmitysjärjestelmä, rakennusvuosi, pinta-ala, eristysmateriaali, kerrosten lukumäärä ja tilojen pohjapiirros. Auringon tuottaman lämpökuorman vuoksi jäähdytyksessä on tärkeätä huomioida myös ikkunoiden sijainti ja suunta. Silloin kun ikkunat osoittavat joko etelään, itään tai länteen, niihin paistaa eniten auringon valoa päivän aikana lämmittäen näin taloa ja nostaen jäähdytyskuormaa. Suomen geografiasta johtuva pitkä pohjois-etelä suuntaisuus vaikuttaa myös huomattavasti auringon aiheuttamaan jäähdytyskuormaan eri paikkakuntien välillä. Lopuksi pitää vielä huomioida, millainen tila on kyseessä. Tällä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon tilassa on lämpökuormaa tuottavia laitteita tai ihmisiä. Esimerkiksi serverihuoneena toimiva tila tuottaa huomattavasti enemmän lämpökuormaa kuin makuuhuone, jossa vain nukutaan. (13.)

Edellä mainittujen seikkojen vuoksi jäähdytyksen tehontarve on syytä arvioida ja laskea aina tapauskohtaisesti. Liian tehokas laite käyttää turhan paljon energiaa, ja liian pientä pumppua joudutaan ajamaan täydellä teholla, mikä vähentää laitteen elinikää, eikä välttämättä siltikään tuota haluttua lopputulosta. Paras mitoitusperiaate on mallintaa koko kohdetalo 3D-ohjelmalla digitaaliseen muotoon. Talon 3D-malli voidaan syöttää sitten mitoitusohjelmaan, joka laskee riittävän tarkan lämmitys- ja jäähdytystarpeen rakennukselle ottaen huomioon ulkolämpötilojen muutokset vuoden aikana ja auringon aiheuttaman lämpökuorman. Esimerkki tällaisesta ohjelmasta on IDA ICE-simulointisovellus.

Jos halutaan kuitenkin saada raaka-arvio sopivasta laitekoosta, voidaan käyttää jälleenmyyjien ja alan ammattilaisten yleistä mitoitusohjetta. Sen mukaan riittävä jäähdytysteho on 1 kW jokaista 15–20 m²:ä kohden riippuen huoneiston rakenteesta (14).

3.2 Kylmäaineiden jaottelu

Ilmalämpöpumppujen toiminnasta puhuttaessa yksi keskeisimmistä käsitteistä on laitoksessa kiertävä kylmäaine. Ulkoyksikön ja sisäyksikön välillä kiertävä kylmäaine kuljettaa lämpöenergiaa suljetussa piirissä yksiköiden välillä. Kylmäaineet ovat fluorihilivety yhdisteitä, joissa on hiilivetyjä, joiden vetyatomeita on korvattu halogeenimolekyylejä prosessoimalla (15).

Pääjaottelu kylmäaineilla tapahtuu niiden höyrystymis- ja lauhtumiskäyttäytymisen mukaan kolmeen eri ryhmään. Ensimmäinen ryhmä ovat yksikomponenttiset kylmäaineet, joissa höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat samassa lämpötilassa. Toinen pääryhmä on kylmäaineseokset, joissa höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakiolämpötilassa. Näissä tunnus alkaa aina numerolla viisi. Kolmantena ryhmänä ovat tseotrooppiset kylmäaineet, joiden lämpötilassa tapahtuu muutoksia höyrystymisen ja lauhtumisen aikana, näiden tunnuksot alkavat numerolla neljä. Kylmäaineiden ominaisuutta höyrystyä eri lämpötiloissa hyödynnetään kylmälaitoksissa siten, että höyrystimessä pidetään alhaista painetta, jolloin kylmäaine kiehuu alhaisessa lämpötilassa. Lauhduttimessa vuorostaan pidetään korkeaa painetta, jotta vapautuva lämpöenergia vapautuisi korkeassa lämpötilassa. Esimerkkinä voidaan tarkastella kylmäainetta R410a, joka normaalissa ilmanpaineessa (1 bar) höyrystyy jo –52 °C:n lämpötilassa. Kun painetta kasvatetaan 30 bar, lauhtumis- / höyrystymislämpötila nousee +50 °C:een. (15; 16.)

Kylmäaineesta riippuen niiden ympäristövaikutukset vaihtelevat voimakkaasti. Lähes kaikki kylmäaineet ovat ympäristölle myrkyllisiä, tai ilmastolle haitallisia.

Tärkeitä käsitteitä ymmärtää asiaan liittyen ovat ODP- ja GWP-arvot. ODP-arvo (Ozone Depletion Potential) kertoo kemiallisen yhdisteen otsonikerrosta heikentävän potentiaalin, eli kuinka tehokkaasti aine voi tuhota otsonikerrosta. ODP-lukuasteikko perustuu kylmäaineeseen R11, jolle on annettu korkein arvo asteikolla 0...1,0.

GWP-arvo (Global Warming Potential) taas kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa aine vangitsee ilmakehään tietyn ajanjaksoksi suhteessa hiilidioksidiin, näin kiihdyttäen kasvihuoneilmiötä ja ilmastonmuutosta. GWP-luvun perustana toimii hiilidioksidi, jonka arvo on 1 vuosi. (17;18.)

Kylmäaineita jaotellaan myös niiden halogeenimolekyylien perusteella, riippuen osittain myös niiden ympäristövaikutuksista. Taulukossa 1 on esitetty eri kylmäaineryhmiä sekä niiden ODP- ja GWP-arvojen hajontaa.

TAULUKKO 1 Kylmäaineiden ryhmiä (18; 19; 20)

Kylmäaineet	ODP-luku	GWP-luku	esim	Muuta
CFC	≈1	4000<10000	R11, R12	Käyttö kiellettiin kokonaan 1995
HCFC	0,02<0,05	70<1800	R22, R123	Käyttö kiellettiin kokonaan 2015
HFC ja PFC	0	600<4000	R134a, R404A	Käyttö kiellettiin ajoneuvoissa 2017
HFO	0	4<631	R455A, R513A	

Lisäksi on olemassa myös luonnollisia kylmäaineita, jotka esiintyvät sellaisenaan luonnossa. Ne jaotellaan HC-kylmäaineisiin ja epäorgaanisiin kylmäaineisiin. Esimerkiksi kylmäaineet R290 ja R600, paremmin nimillä propaanina ja butaani tunnetut aineet ovat HC-kylmäaineita. R717 eli ammoniakki ja R744 eli hiilidioksidi, ovat sen sijaan epäorgaanisia kylmäaineita. Lisäksi vesi (R718) ja normaali ilmakin voidaan lukea kylmäaineiksi. Nämä aineet eivät ole haitallisia otsonikerrokselle ja kasvihuonehaitallisuuskin eli GWP-arvo, on lähellä nollaa. (15.)

Ilmalämpöpumppujen osalta oleellisimpia kylmäaineita ovat R32 ja R410, joista tutkimuksessa käytössä oleva laite käyttää R410A:ta. R410A on kylmäaineiden R32 ja R125 seos massasuhteessa 50/50 ja sen käyttökielto astuu voimaan vuoden 2025 alussa. Syynä tähän on aiemmin mainittu EU:n F-kaasusetus joka kieltää GWP-arvoiltaan yli 2 500 olevat kylmäaineet käytöstä. Kuten taulukosta 2

voidaan nähdä, R410A:n GWP-arvo on yli kolme kertaa suurempi kuin R32:en. Sen käyttö on näin ollen kielletty kotitalousjääkaapeissa ja pakastimissa, mutta sallittua ilmastointilaitteissa. Käyttäjää tulee kuitenkin tarkistaa laite aina vuosittain mahdollisten vuotojen varalta. R32 on kuitenkin helposti syttyvä mikä aiheuttaa haasteita asentajien pätevyyksille sekä laitteiston sijoittelulle kiinteistössä. Lisäksi R410A:lla varustettuja laitteita on vielä huomattavasti enemmän markkinoilla, joten halukkuutta vaihtaa R32:een ei ole niin paljon. (19;24)

TAULUKKO 2. R32 ja R410 infotaulukko (19)

R32 INFO		R410A INFO	
Kylmäaineluokka	HFC	Kylmäaineluokka	HFC
Kemiallinen / sekoitus-nimi	Difluorimetaani	Kemiallinen / sekoitus-nimi	R32/R125
Kemiallinen koostumus	CH ₂ F ₂	Kemiallinen koostumus	Difluorimetaani
CAS -numero	75-10-5		R32 50% (w),
Syttyvyys	Syttyvä kaasu, kategoria 1B		Pentafluorieteeni R125 50%
Myrkyllisyys	Ei		(w)
Turvaluokka	A2L	CAS -numero	R32: 75-10-5,
Öljy	POE		R125: 354-33-6
GWP	675	Syttyvyys	Ei
ODP	0	Myrkyllisyys	Ei
Kiehumispiste (0bar (g))	-52 °C	Turvaluokka	A1
Kriittinen lämpötila	78,35 °C	Öljy	AB, POE, PVE,
Kriittinen paine	58,16 bar		PAG
		GWP	2088
		ODP	0
		Kiehumispiste (0bar (g))	-51,6 °C
		Kriittinen lämpötila	74,7 °C
		Kriittinen paine	51,7 bar

4 TUTKIMUS

Tutkimus suoritettiin vuonna 2002 rakennetussa yksikerroksisessa, puurunkoisessa ja tiilillä vuoratussa omakotitalossa. Rakennuksen pinta-ala oli 190 m², josta tutkimuksessa tarkasteltiin noin 104 m²:ä (olo-, työ-, makuuhuone, keittiö, eteinen ja tuulikaappi). Olohuoneessa, jonne päätelaite oli asennettu, oli suuret koko seinän kattavat ikkunat sekä esteetön kulku eteiseen ja osittain keittiöön. Lämmitysratkaisuna rakennuksessa toimii maalämmöllä tuotettu lattialämmitys, mutta se ei ollut käytössä kohdetiloissa mittausaikana.

Lämpötilat mitattiin seitsemästä eri huoneesta sekä ulkolämpötila pihalta, jotta voitaisiin verrata laitteen tehokkuutta ulkolämpötilan muutoksiin suhteutettuna.

Päätelaitteena sisällä toimi Mitsubishi Heavy Industries SRK35ZMX-S:ta (KUVA 5) (21) ja kylmäaineena R410A. Laitteen maksimiteho jäähdytyksessä oli sekä valmistajan, että lauhduttimen kilven (KUVA 6) mukaan 3,5 kW. Jos käytetään aiemmin luvussa [3.1](#) määritettyä mitoitusperiaatetta, laitteen tulisi olla tehokkuudeltaan tutkittavalle pinta-alalle:

Maksimissaan $104 \text{ m}^2 / 15 \text{ m}^2 = \underline{6,9 \text{ kW}}$

Minimissään $104 \text{ m}^2 / 20 \text{ m}^2 = \underline{5,2 \text{ kW}}$



KUVA 5. Mitsubishi Heavy Industries SRK35ZMX-S

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.		AIR CONDITIONER		PERFORMANCE CLIMATE CLASS (ISO5151-T1,H1)	TOTAL CAPACITY (kW)	TOTAL INPUT (kW)	TOTAL CURRENT (A)
SPLIT TYPE (OUTDOOR UNIT)				POWER SUPPLY 220/230/240 V ~			
MODEL	SPC35ZMX-SA			SRK35ZMX-SA	COOLING	3.5	0.845
POWER SUPPLY	1 PHASE 220-240V ~ 50Hz 220V ~ 60Hz			SRK35ZMX-SA	HEATING	4.3	0.96
MAX. INPUT	1.65	KW		SRF35ZMX-S	COOLING	3.5	0.89
MAX. CURRENT	9.0	A		SRF35ZMX-S	HEATING	4.5	1.124
MAX. HIGH PRESSURE (MAX. PRESSURE OF HEAT EXCHANGER)	4.15	MPa		SRR35ZJ-S	COOLING	3.5	1.08
MAX. LOW PRESSURE	1.00	MPa		SRR35ZJ-S	HEATING	4.2	1.10
REFRIGERANT	R410A			FDTC35VF	COOLING	3.6	1.07
TOTAL UNIT CHARGE	1.2	kg		FDTC35VF	HEATING	4.25	1.16
IP NUMBER	IPX4			SRR35ZM-S	COOLING	3.5	0.98
UNIT WEIGHT	35.5	kg		SRR35ZM-S	HEATING	4.2	1.03
L.R.A	4.4	A		---	COOLING	---	---
SERIAL NO.	778300198BE			---	HEATING	---	---
OUTSIDE SOUND POWER LEVEL	63			---	COOLING	---	---
(LOWER LEVELS MEAN LOWER OUTSIDE NOISE)				SERVICE CODE	SRC35ZMX-SA/A	MANUFACTURING YEAR	2017
THE LEVEL SHOWN ABOVE MAY BE USED TO ESTIMATE WHETHER THE OUTSIDE NOISE FROM THE PROPOSED INSTALLATION OF THIS UNIT WILL BE WITHIN ACCEPTABLE LIMITS. CONSULT YOUR SUPPLIER BEFORE INSTALLATION.				Refer to technical manual for the character of the combination except that is written in the upper table.			
				三菱重工業株式会社		CE	
				3-1, Asahi, Nishibiwajima-cho, Kiyosu, Aichi, 452-8561, Japan		220-240V ~ 50Hz	
				MADE IN THAILAND		RWC011F0150G	

KUVA 6. Lauhduuttimen tiedot

4.1 Mittauslaitteet

Tutkimuksessa oli aluksi tarkoitus käyttää koululta lainaksi saatua 1250 sarjan Grant-logger tiedonkeruumittaria (KUVA 7). Mittarin tietojen purkuun tietokoneelle käytettävä *Squirrel/View*-ohjelma osoittautui kuitenkin lähes mahdottomaksi käyttää. Syy tähän oli laitteiston ikä sekä vähäinen ohjelmateriaalin määrä vanhaan laitteeseen. Mittariin ehdittiin kuitenkin rakentaa toimivat mittausjohdot, joten niiden rakennusvaiheet jätettiin lukuun [4.1.1](#).



KUVA 7. 1250 Grant-loader

Mittauksiin päätettiin käyttää uudempaa tiedonkeruumittaria, *KIMO KISTOCK KT210*:ta (KUVA 8). Tämän mittarin käyttö on periaatteessa yksinkertaisempaa, mutta vain neljää arvoa voidaan mitata samanaikaisesti, eivätkä mittausjohdot olleet tarpeeksi pitkiä kattamaan koko tutkimusaluetta. Näiden puutteiden vuoksi jouduttiin käyttämään kolmea erillistä mittaria samanaikaisesti eri kohdissa taloa.



KUVA 8. *KIMO KISTOCK KT210*

Mittarit piti aluksi ohjelmoida tietokoneella, eikä niiden asetuksia pystynyt jälkeensä enää muuttamaan. Tästä ohjelmoinnista on kerrottu tarkemmin luvussa [4.1.1](#). Mittauksen jälkeen laitteiden tiedot purettiin tietokoneella samalla ohjelmalla, jolla ne ohjelmoitiin. Saadut tiedot muutettiin tekstitiedostoiksi, joista tiedot sai siirrettyä Exceliin tarkempaa tarkastelua ja muokkausta varten.

Mittariin kiinnitettävät mittausjohdot olivat lämmönvaihtelulle herkästä reagoivia PCV kaapeleita. Niiden pituutta jatkettiin aina tarvittaessa jatkojohdoilla.

4.1.1 Mittausvälineiden valmistelu

Mittausvälineet piti valmistella ennen mittauksien aloittamista, vanhempi mittari 1250 Grant-logger vaati myös uusien johtojen rakentamisen. Molemmat mittarit piti ennen mittauksien aloittamista ohjelmoida joko käsin laitteesta, tai tietokoneella. Mittareiden akut myös ladattiin (Grant), ja niiden patterit vaihdettiin molemmista valmistelun yhteydessä. Granttia ei kuitenkaan päädytty käyttämään tutkimuksessa, mutta sen johtojen rakentaminen päätettiin jättää osaksi opinnäytetyötä.

1250 Grant-loggeriin piti rakentaa sopivan pituiset johdot, jotta laitteella pystyttiin kattamaan koko tutkimusala. Johdot ovat K-tyyppin termopariantureita, jotka reagoivat herkästi lämmönvaihteluun.

Aluksi johtojen oikea pituus mitattiin, mikä vaihteli 1–12 metrissä. Johtojen molemmista päistä kuorittiin suojamuovia pois noin 1 cm:n pituinen pala. Seuravaksi jokaisen johdon mittaripäähän liitettiin K-tyyppin pistoke, jolla johto voidaan kiinnittää mittariin. Useista muista sähkölaitteiden johdoista poiketen, tässä tapauksessa tulee olla tarkkana, että punainen johto kytkettiin K-puolelle, eli niin sanotulle miinus puolelle. On tärkeää tarkistaa, etteivät johdon metalliosat kosketa toisiaan missään tilanteessa, sillä tällöin mittaustulos on auttamatta virheelinen. Mittausjohdon se pää, joka mittaa halutun tilan lämpötilaa, käsitellään eri tavalla. Kuoritun johdon päät kierretään toistensa ympärille niin, että saadaan lyhyt ja tiivis termoparipää. Ylimääräinen johdonpätkä voidaan leikata pois. Johdon päähän lisättiin pieni määrä pikaliimaa, jonka annettiin kuivua. Tämä luo iskusuojan ja eristeen mittarin päälle. Mittausjohtoja luotiin kaikkiaan kahdeksan kappaletta, yhden jokaista mittauspistettä varten. Rakennusvaiheet on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. K-termoparianturin rakennus

Grantin kolmella näppäimellä kyettiin säätämään laitteen asetuksia. Asetukset säädettiin niin, että huoneiden lämpötila mitataan aina 30 sekunnin välein. Näin mittarin muisti ei täytyisi liian nopeasti, mutta lämpötilan muutosta pystystyttäisiin yhä seuraamaan tarkasti.

KIMO KISTOCK KT210 ei vaatinut uusien johtojen rakentamista, mutta kaikkien mittareiden patterit vaihdettiin varotoimenpiteenä uusiin ennen mittauksien aloittamista. Pattereihin käsiksi päästäkseen, oli avattava takakannen kolme pientä ruuvia. Pattereina toimivat 3.6 V:n AA-Lithiumparistot vaihdettiin kaikkiin kolmeen mittariin, ja kannet ruuvattiin paikoilleen. Kuvassa 10 näkyy mittarin sisäpuoli ja paristo, joka vaihdettiin.



KUVA 10. KIMO, mittarin rakenne

Jokainen mittari liitettiin vuorollaan tietokoneeseen, jossa ne nollattiin ja ohjelmoitiin mittaukseen sopivilla asetuksilla. Mittarit ohjelmoitiin mittaamaan kohdelämpötila joka sekunti, mutta tallentamaan tiedot muistiin aina kolmenkymmenen sekunnin välein. Mittarin jokaiselle mittauspäälle annettiin nimeksi sitä vastaava tila ja asetettiin muut mittausarvot, kuten: yksikkö, ylä-/alaraja hälytysarvot ja mitausalue.

Kuvassa 11 näkyy lopullinen tiivistelmä yhden mittarin tiedoista ohjelmoinnin jälkeen.

The screenshot shows the 'KT-210 AO' software interface. It is divided into several sections:

- Laite (Device):** Kistock tyyppi: KT-210 AO, Sarjanumero: 12.11.1956, Ohjelma versio: 1.0
- Laitteen tila (Device Status):** Nykyinen tila: Dataloggeri (ON), LEDit: PÄÄLLÄ, Näytä: PÄÄLLÄ, Alarm: POIS
- Paristo (Battery):** 100 %
- Mittaukset (Measurements):**
 - Mittauksen nimi: Ilmalämpöpumppu Jääh
 - Mittauksen tila: Ei ole aloitettu (Buttons: Aloitus, Lopetus)
 - Tallennustila: Välitön
 - Aloitustapa: Painike
 - Pysäytys ehto: Jatkuva
 - Lopetus painikkeella: PÄÄLLÄ
 - Aloituspäivä: ---
 - Lopetuspäivä: ---
 - Tallennuksen aikaväli: 00:00:30
 - Mittaus aikaväli: 00:00:01
 - Tallennuksien määrä: 0
- Kanava asetusten yhteenveto (Channel Settings Summary):**

Kan...	Nimi	Sensori	yksi...	Muut...	Mittausalue	Ala raja-a...	Ylä raja-a...	Mittaus
k1	Ulkolämpötila	NTC ulkoinen anturi	°C	---	-40/120	-20.0	70.0	94.0 °C
k2	Olohuonen...	NTC ulkoinen anturi	°C	---	-40/120	-20.0	70.0	115.3 °C
k3	Olohuone ...	NTC ulkoinen anturi	°C	---	-40/120	-20.0	70.0	115.9 °C
k4	Ulkolämpöti...	NTC ulkoinen anturi	°C	---	-40/120	-20.0	70.0	115.7 °C

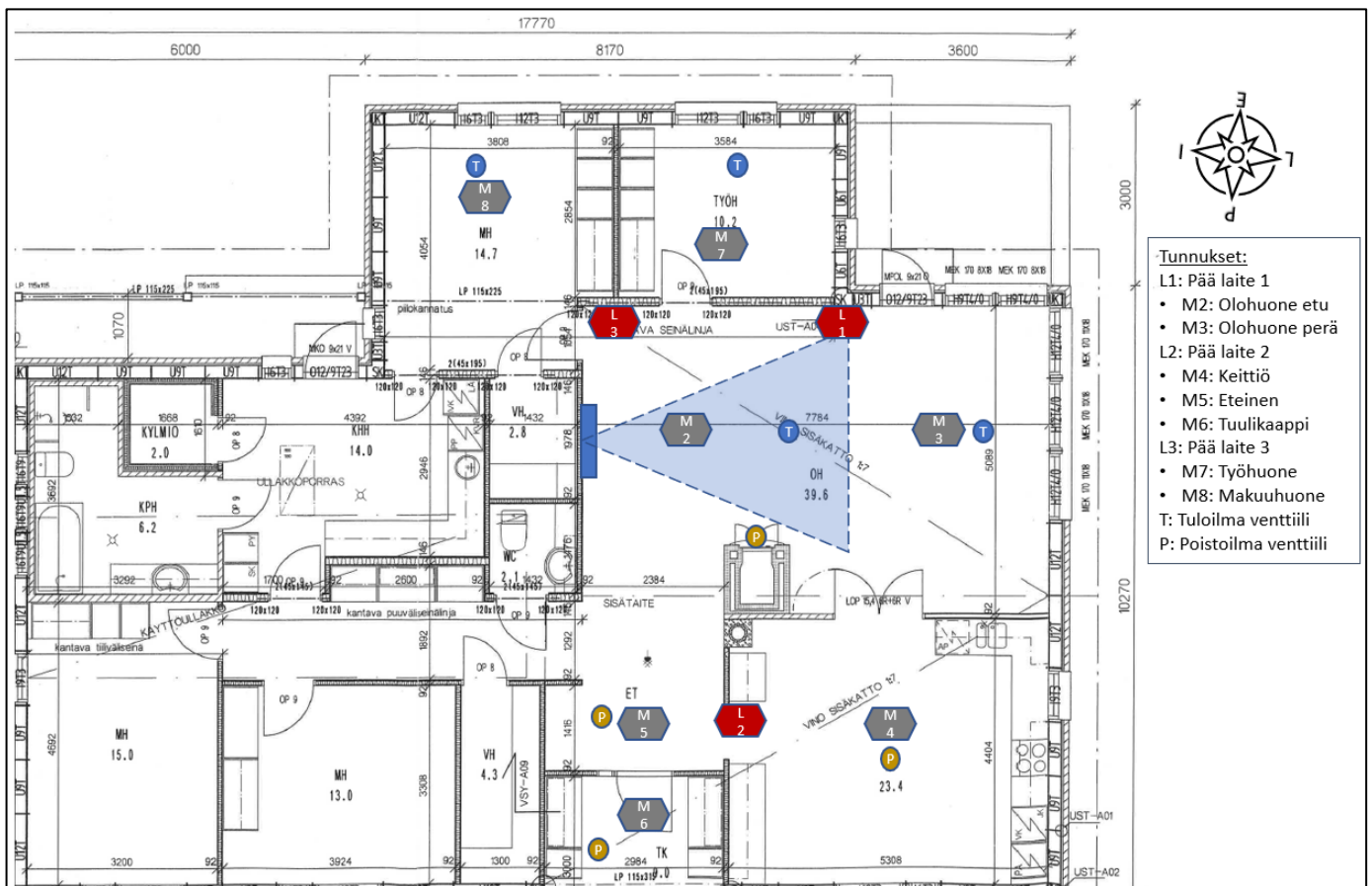
Buttons at the bottom: Tallennus, Uusi ohjelmointi, Sulje

KUVA 11. Mittarin tiedot ohjelmoinnin jälkeen.

4.1.2 Mittareiden sijoittelu

Mittareita oli yhteensä kolme kappaletta, joista jokaisessa on neljä mittauspäättä. Mittarit asetettiin suhteellisen keskelle mittauspisteitä, siten että mittausjohdot pääsivät kulkemaan mahdollisimman vapaasti.

Mittauspisteissä mittauspää asetettiin noin reilun metrin korkeuteen maasta esimerkiksi pöydälle tai tuolille. Ennakkoon oli varmistettu, että mittari ei ole milloinkaan suorassa auringonpaisteessa. Talon kuumalla seinustalla olevissa huoneissa kuten olohuoneessa auringonvalo blokattiin verhoilla ja sälekaihtimilla. Ulkolämpötila mitattiin useasta eri paikasta, jotta tulokset olisivat mahdollisimman tarkat. Kuvassa 12 esitellään rakennuksen pohjapiirros sekä mittareiden sijoittelu. Kuvassa "L" merkintä tarkoittaa mittarin päälaitteen sijaintia ja "M" mittauspistettä, josta lämpötila mitattiin. Samassa kuvassa on esitetty myös ilmalämpöpumpun heittokuvio sekä tulo- ja poistoilmakanavien sijainnit (T ja P).



4.2 Tutkimuksen kulku

Tutkimuksessa tarkasteltavaa aluetta tutkittiin kolmessa eri tilanteessa. Ensimmäisessä tilanteessa IV-koneet olivat normaalissa käytössä, toisessa IV-koneet pidettiin suljettuina ja kolmannessa IV-koneet asetettiin täysille. Lämpötilamittaukset suoritettiin tiedonkeruumittauksina noin seitsemän ja puolen tunnin ajanjaksolta kolmena eri päivänä.

Mittaus aloitettiin aamulla klo 7.55. Tällöin mittarit kytkettiin päälle, ja kaikkien mittauspisteiden lämpötilat alkoivat kirjautua ylös laitteiden muistiin. Ilmalämpöpumppua oli pidetty kiinni yön yli, ja IV-koneen asetusteho oli kirjattu ylös. Huoneissa olevat ikkunat, sälekaihtimet ja lämpöä tuottavat tekniset laitteet (TV, tietokone...jne.) suljettiin samaan aikaan kuin ilmalämpöpumppu edellisenä iltana. Kaikki ovet pidettiin suljettuina mahdollisimman pitkään ennen mittauksia, jotta jokaisen huoneen lämpötila pysyisi mahdollisimman itsenäisenä viereisistä huoneista.

Viiden minuutin jälkeen ilmalämpöpumppu käynnistettiin maksimijäähdytyksellä (18 °C), ja -puhalluksella, jonka jälkeen sen annettiin jäähdyttää rauhassa. Tunnin jälkeen ensimmäinen rinnakkaishuoneen ovi avattiin (M8 makuuhuone). Tunnin päästä avattiin jälleen seuraava ovi (M7 työhuone). Ovien avaamista jatkettiin pohjakuvan mukaisesti myötöpäivään aina tunnin välein, kunnes kaikki huoneet oli otettu mukaan tarkasteluun noin klo 12. Mittauksia jatkettiin iltapäivään, klo 15:stä asti, jolloin ilmalämpöpumppu suljetaan ja huoneiden lämpötilojen annettiin tasoittua 30 minuuttia. Tämän jälkeen mittaus lopetettiin ja mittarit sammutettiin.

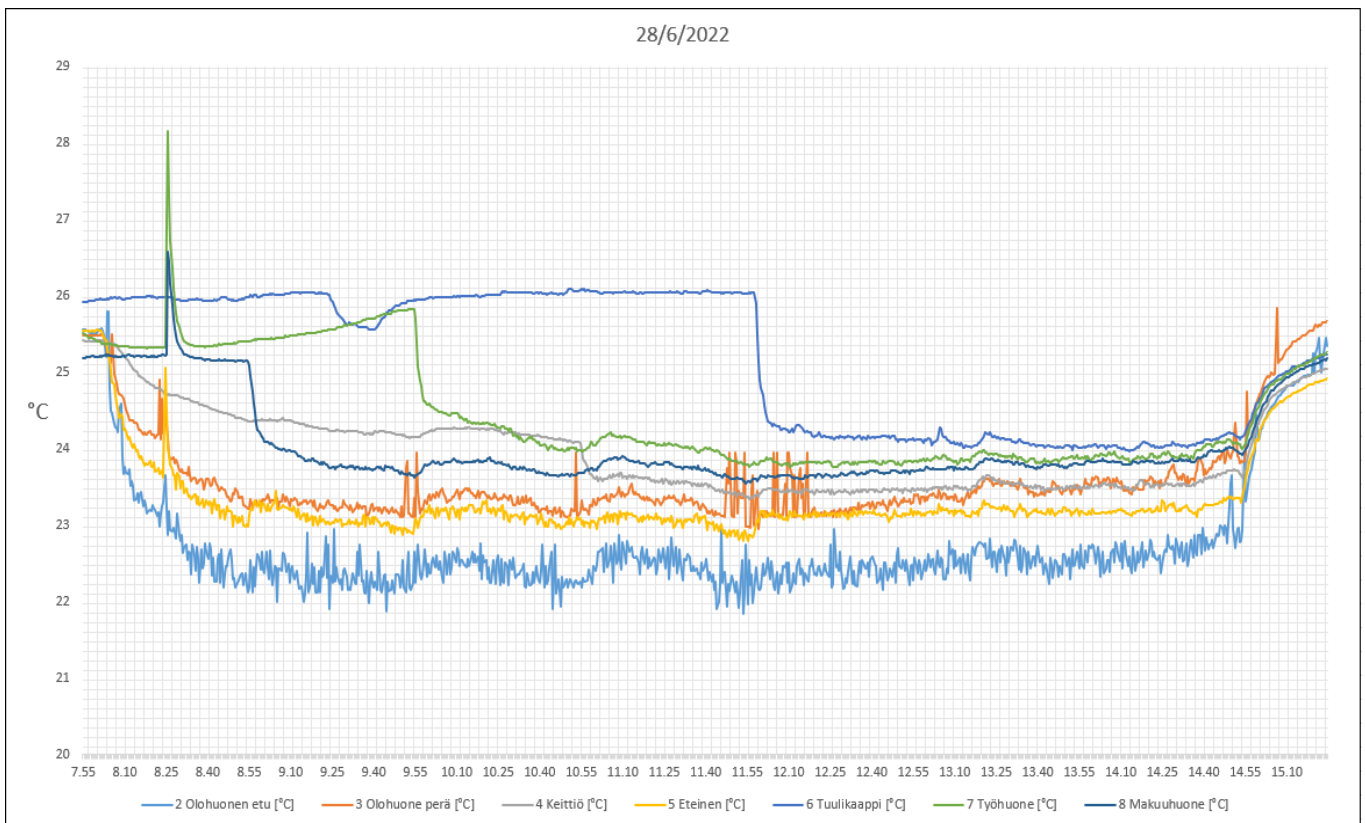
Seuraavana päivänä mittaus toistettiin samalla periaatteella. Toisessa mittauksessa IV-kone kuitenkin pidettiin kiinni, jotta nähtiin siitä johtuvan ilmavirran vaikutus jäähdytetyn ilman leviämiseen.

Kolmantena päivänä mittaus toistettiin vielä kerran. Tällöin IV-kone kytkettiin maksimiteholle.

5 TULOSTEN TARKASTELU

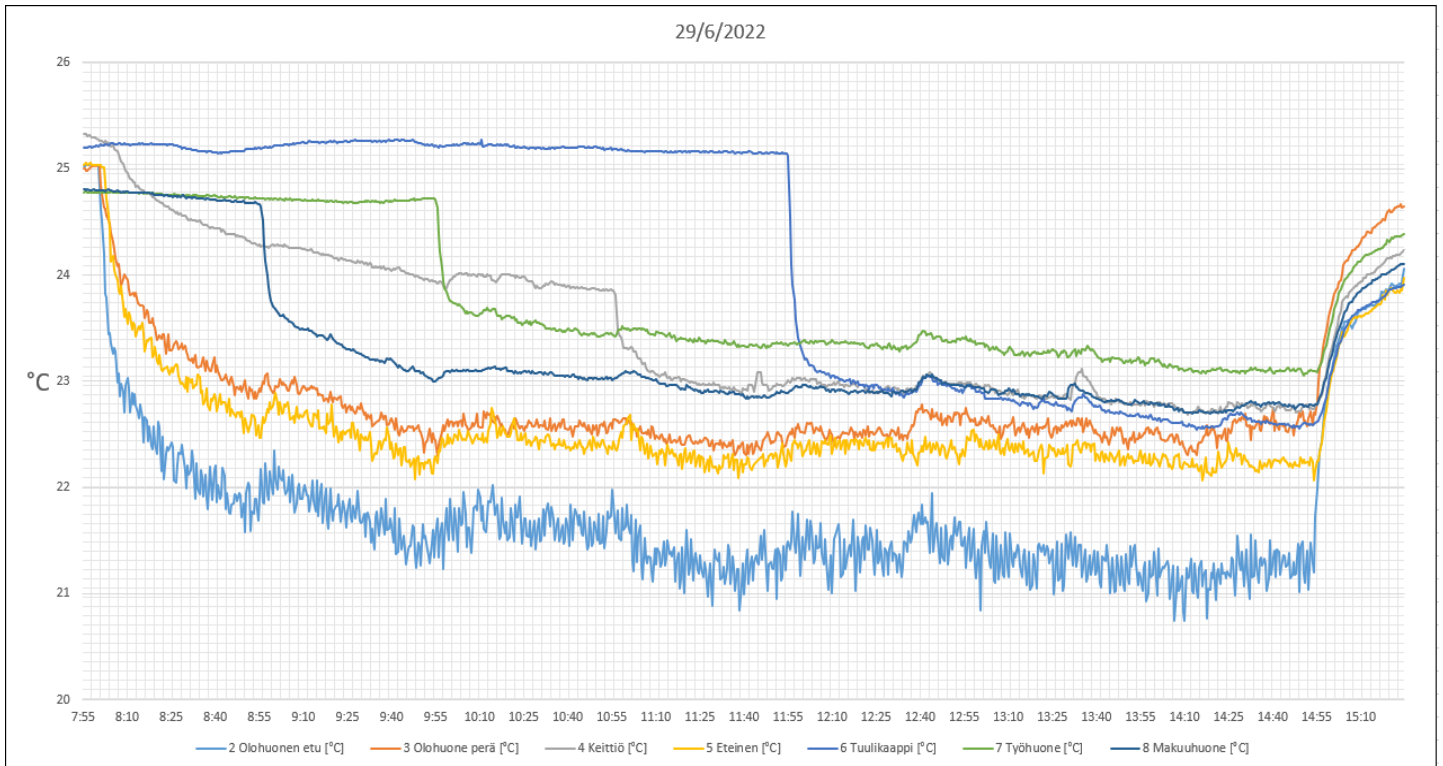
Mittausten pohjalta saatiin runsas määrä dataa kolmen hellepäivän ajanjaksolta 28.6.2022–30.6.2022. Mitattujen tulosten pohjalta luotiin kuvaajat 1–4.

Ulkolämpötilojen mittauksessa tapahtuneen virheen johdosta niitä ei ole esillä mittauksissa 1 ja 2. Ulkolämpötilan vaikutus huoneiden lämpötilaan oli kuitenkin kaikissa kokeissa hyvin samanlainen. Ensimmäinen mittauspäivä 28.6, oli kaikista lämpimin (korkeimmillaan 31°C) ja seuraavien päivien keskilämpötila laski noin 1,5 °C/vuorokausi (22).



KUVAAJA 1. Mittaus 1. 28.06.2022

Ensimmäisessä mittauksessa IV-kone oli normaalissa käyttötilassa keskiteholla. Mittauksessa havaittiin ilmalämpöpumpun selvä vaikutus huoneiden lämpötiloihin. Aina kun kyseiseen tilaan johtava ovi avattiin, huoneen lämpötila laski nopeasti jo ensimmäisen parin minuutin aikana. Lämpötila myös pysyi alhaalla kohtuullisen hyvin, kunnes ilmalämpöpumppu suljettiin ja huonelämpötila alkoi noustamaan.



KUVAAJA 2. Mittaus 2. 29.06.2022

Toisessa mittauksessa IV-kone oli poissa päältä, mutta tämän vaikutusta tilojen lämpötiloihin tai niiden muutosnopeuksiin alaspäin ei juuri huomata. Lämpötilat tippuivat taas hyvin nopeasti noin viiden minuutin aikana siitä, kun ovet avattiin.

Vaikka tiloja, joissa oli pelkkä poistoilmaventtiili ei ollut vielä avattu, niihin virtasi silti viileää ilmaa ovien alta ja viereisistä tiloista, joissa oli tuloilmaventtiili. Esimerkiksi keittiön lämpötila alkoi tasaisesti laskemaan heti ilmalämpöpumpun käynnistämisen jälkeen, mutta suurin muutos tapahtui kello 11.00, kun sen olohuoneeseen vievä ovi aukaistiin. Myös tiiviimmin suljetuissa makuu- ja työhuoneissa tapahtui selvää lämpötilan laskua ennen oven avaamista. Siitä huolimatta, että ne sijaitsevat talon kuumalla seinustalla, jota aurinko alkoi jo aikaisin lämmittämään.

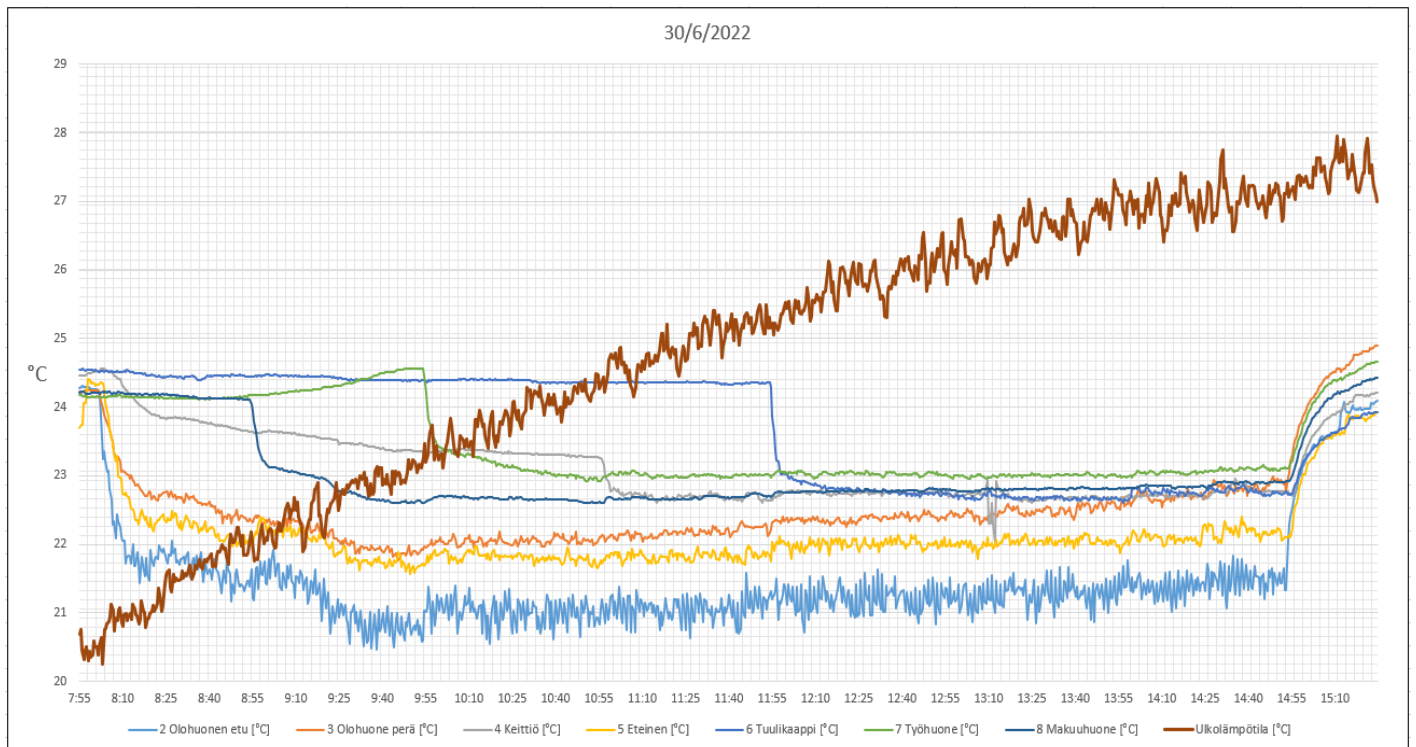
Samanlaista huoneen jäähtymistä ennakkoon oli havaittavissa kaikissa muissakin mittauksissa, mutta huomattiin myös, että IV-koneen puuttuminen vaikuttaa tilan lämpenemiseen kiihdyttävästi. Kun huoneeseen ei puhallettu tuloilmaa pihalta, lämpötilakaan ei alkanut nousemaan niin voimakkaasti ulkolämpötilan mukana.



KUVAAJA 3. Mittaus 3. 30.06.2022

Kolmannessa mittauksessa, IV-koneen käydessä täydellä teholla, tulokset olivat hiukan erilaisia kuin aiemmin. Lämpötilan muutos oli keittiön ja työhuoneen tapauksissa selvästi nopeampaa. Keittiössä poistoilman aiheuttama alipaine huoneeseen vaikutti siten, että kylmä ilma virtasi olohuoneesta nopeammin keittiöön. Työhuoneen tapauksessa ilmanvaihto kiihdytti huoneen lämpenemistä, mutta oven avauduttua lämpötila pysyi tasaisena ulkolämpötilan noususta huolimatta.

Kolmannessa mittauksessa nähdään myös selvästi, että ilmanvaihdon ollessa rakennuksessa täysillä ensisijaisena jäähdytettävä tilana oleva olohuonekin alkoi nopeasti lämpenemään jäähdytyksestä huolimatta. Ottaen huomioon, että kolmannen vuorokauden ulkolämpötila oli mittauksista alhaisin (25 °C), voidaan lämpenemisen olettaa johtuvan ilmanvaihdon ja lämmöntalteenotto laitteiden vaikutuksesta (22).



KUVAAJA 4. Mittaus 3. 30.06.2022 ja ulkolämpötila.

Huoneiden lämpötilat pysyivät tasaisen alhaisina ulkolämpötilan nousemisesta huolimatta. Toki tähän liittyen tulee ottaa huomioon myös ulkolämpötilojen mittausvirheet. Kun ilmalämpöpumppu kytkettiin päälle, sen vaikutus oli heti havaittavissa kaikissa huoneissa joihin ilma pääsi vapaasti virtaamaan. On kuitenkin selvästi havaittavissa, että ilmalämpöpumpun jäähdytysteho laskee, kun poistetaan sen ensisijaisesta jäähdytyshuoneesta. Mitä kauemmaksi päätelaitteesta siirryttiin tai mitä vaikeammaksi ilmavirran reitti tarkasteltavaan huoneeseen muodostui, sitä heikompi jäähdytyksen teho oli.

Vaikka ilmalämpöpumpun tavoitelämpötila oli 18 °C, se ei päässyt missään mittauksessa edes 20 °C:een. Tehokkaimmillaan mittauksessa 3 saavutettiin hetkellisesti noin 20,5 °C:n puhallusilma. Jopa olohuoneessa, jossa päätelaite oli puhaltamassa, huonelämpötila kävi alhaisimmillaan alle 22 °C:ssa, mutta ulkolämpötilan noustessa senkin lämpötila alkoi nousemaan tasaisesti. Muissa mittauksissa ja huoneissa, joissa IV-koneisto ei nopeuttanut huoneiden lämpenemistä tuomalla ulkoa lämmintä ilmaa huoneeseen, lämpötila pysyi tasaisempana huomattavasti kauemmin.

5.1 Mittausvirheet

Suurimmaksi mittausvirheeksi muodostuu ulkolämpötilan tarkan arvon saaminen. Mittauksissa 1 ja 2 ulkolämpötilat olivat huomattavista korkeampia kuin todellisuudessa. Virhe selittyi mittareiden vääränlaisella asettelulla, suojauksella ja johdottamisella. Viimeisessä mittauksessa 3 saatiin vihdoinkin luotettavia ja realistisia mittausarvoja ulkoa. Mittarin päähän ei ollut laitettu mitään säteilysuojaa ja mittari sijoitettiin kaikista varjoisimpaan rakennuksen ulkokulmaan. Lisäksi varmistettiin, että johdon kulkeminen ikkunan välistä ei aiheuttanut mittaukseen datahäviöitä.

Tilat pyrittiin pitämään mahdollisimman neutraaleina kaikkien mittauksien ajan, mutta pakollisten vierailujen aikana syntyneet lämpökuormat näkyivät helposti tarkkojen mittareiden tuloksissa. Hyvänä esimerkkinä voidaan mainita mittauksessa 3 klo 13.18 kohdalla keittiössä näkyvä jyrkkä piikki alas. Tuolloin keittiössä sijaitseva pakastin avattiin ja mittari tulkitsi sekä huoneeseen päässeeseen kylmän ilman, että käyttäjästä johtuneen lämmön.

Mittaukset vaativat kaikkien huoneiden ikkunoiden, ovien, verhojen ja sälekaihtimien sulkemista sekä mahdollisten käyttäjien poissaoloa huoneista. Normaalissa käytössä ollessaan huoneet eivät tietenkään ole tämän kaltaisessa tilassa, joten niiden lämpötilat ovat huomattavasti korkeampia. Tämä tulee huomioida lopullisessa arviossa siitä, kuinka tehokas ilmalämpöpumpun jäähdytyskyky on tarkasteltavissa tiloissa käytännössä.

5.2 Johtopäätökset

Keskimäärin kaikissa mittauksissa ilmalämpöpumppu onnistui jäähdyttämään kuumat sekä kaukana sijaitsevat huoneet 22 °C–24 °C:n lämpötilaan. Ottaen huomioon, että ilman minkäänlaista jäähdytystä kyseiset huonelämpötilat olisivat varmasti reilussa 25 °C:ssa, tuo 3–5 asteen viileneminen on huomattava. Lisäksi ilman liikkumisesta johtuva viileyden tunne on käyttäjälle huomattavan suuri helpotus helteiden aikaan.

Vaikka tutkimuksessa käytetty Mitsubishi Heavy Industries *SRK35ZMX-SA*, ei ole teoreettisen laskennan mukaan tarpeeksi tehokas tutkittavalle pinta-alalle, se

jäähdytti kuitenkin huomattavan tehokkaasti kaikkia tarkasteltuja tiloja. Kun halutaan jäähdyttää pelkästään yksittäistä huonetta johon, laite on asennettu onnistuu se erittäin hyvin kovallakin helteellä, mutta kun siirrytään pois ensisijaisesti mitoitettulta jäähdytysalueelta, ilmalämpöpumpun teho alkaa laskemaan tasaisesti. Kun tilanne normalisoidaan ja käyttäjien toiminnasta johtuvat lämpökuormat otetaan mukaan tarkasteluun, lasku tehokkuudessa moninkertaistuu.

Usean tilan jäähdyttäminen olisi toimivin ratkaisu, jos rakennuksessa ei olisi käyttäjiä, ovet pidettäisiin auki ja IV-koneisto keskiteholla. Esimerkiksi jos ilmalämpöpumpun kytkisi päälle etäyhteydellä töistä lähtiessään, talo ehtisi todennäköisesti viilenemään valmiiksi, ennen käyttäjän saapumista. Energiaa tietenkin menisi tällöin hukkaan jonkin verran.

Ilmalämpöpumpun sijoittamisessa ja mitoittamisessa tuleekin siis pitää huomiossina yksittäisessä tilassa, jota halutaan pääsääntöisesti jäähdyttää. Muita tiloja kyetään jäähdyttämään samalla päätelaitteella, mutta rakennuksen omalla ilmanvaihdolla, lämmöntalteenotolla, pohjapiirroksella ja ulkolämpötilalla on tällöin huomattavan suuri merkitys siihen, kuinka hyvin tämä onnistuu. Muiden tilojen jäähtyminen on positiivinen ominaisuus, kun se sattuu tapahtumaan, mutta jos tila todella halutaan saada jäähtymään tehokkaasti, sinne tulee asentaa oma päätelaitteensa.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää, kykeneekö yhdellä ilmalämpöpumpun päätelaitteella viilentämään samaan aikaan useita eri tiloja. Suunnittelijoilla tai asentajilla ei ole ollut yksiselitteistä vastausta tähän kysymykseen. Asiakkaat, joille laitteita on menneisyydessä asennettu, ovat myös olleet kiinnostuneita asiasta. Asiaa tutkittiin keskikesällä kovien helteiden aikaan, puurunkoisessa ja tiilillä vuoratussa Pirkanmaalla sijaitsevassa yksikerroksisessa omakotitalossa.

Tutkimuksessa ilmalämpöpumpun jäähdyttämää olohuonetta ja sen rinnakkaisien tilojen lämpötiloja tarkasteltiin asentamalla niihin erittäin tarkat lämpötilamittarit. Mittarit lainattiin koululta ja niihin vaadittavat muutokset ja asennukset tehtiin omatoimisesti. Mittauksia suoritettiin kolmena peräkkäisenä päivänä säätäen rakennuksen oman IV-koneiston tehokkuutta aina mittausten välillä. Saatu data koottiin Excel-tiedostoihin, joista luotiin kuvaajat ja näitä tulkitsemalla päädyttiin työssä kuvattuihin johtopäätöksiin.

Mittaustuloksissa nähtiin huoneissa selvä lämpötilan lasku aina kun ne otettiin mukaan tarkasteluun avaamalla huoneen ovi tai kytkemällä ilmalämpöpumppu päälle. Tuloksissa myös nähtiin, kuinka IV-kone vaikutti lämpötilojen muutoksiin merkittävästi. Poistopuolella tilanne oli positiivinen, kun alipaine imi viileää ilmaa sisään huoneeseen, mutta tulopuolella se puski sitä pihalle tai toi ulkoa lämmintä ilmaa sisään lisäten lämpökuormaa.

Yhdellä ilmalämpöpumpun päätelaitteella kyetään jäähdyttämään useaa eri tilaa samaan aikaan, mutta niiden jäähtyminen ei ole niin tehokasta kuin päätilassa. Jäähdyttämisen onnistuminen on myös hyvin tapauskohtaista, riippuen rakennuksen rakenteesta ja ilman mahdollisuudesta päästä virtaamaan vapaasti huoneiden välillä. IV-koneiston käyttötehokkuus ja lämmöntalteenotto laitteisto tulee myös huomioida, jotta voidaan estää lämpimän ulkoilman pääseminen sisään huoneisiin. Jos useaa tilaa halutaan jäähdyttää ilmalämpöpumpulla, kannattaa varman toimivuuden takaamiseksi jokaiseen huoneeseen asentaa oma päätelaitteensa.

LÄHTEET

1. Laitinen, Ari 10.4.2020. Rakennusmaailma. Hakupäivä 11.02.2022 <https://rakennusmaailma.fi/ilmalampopumpulla-jaahdyttaminen-ei-maksa-paljonkesaiseen-jaahdyttamiseen-kuluu-vain-joitakin-euroja/>
2. Motiva, Lämpöä ilmassa-Ilmalämpöpumput 2012. 4-6. Hakupäivä 14.02.2022 https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjg74il_5H6Ah-VCDRAIHU1mBGMQFnoECCoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.motiva.fi%2Ffiles%2F175%2FIlmalampopumput.pdf&usq=AOv-Vaw1YCF8q5WX3mVaUUUb1NjXr
3. Miten ilmalämpöpumppu toimii? Scanoffice. Hakupäivä 29.03.2022 <https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>
4. Lämpöpumpun toimintaperiaate kuva. Hakupäivä 15.06.2022 <https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu>
5. Lämpöpumpun historia - Lämpöpumppu. Hakupäivä 14.02.2022 <https://varmepumpen.se/varmepumpens-historia/>
6. British Inventions Discoveries Creations and Innovations. Hakupäivä 14.02.2022 <https://madeupinbritain.uk/Refrigeration>
7. History of Refrigeration 2022. Hakupäivä 14.02.2022 <http://www.historyofrefrigeration.com/refrigeration-invention/jacob-perkins/>
8. Wikipedia, William Thomson. Hakupäivä 14.02.2022 https://fi.wikipedia.org/wiki/William_Thomson
9. Lämpöpumppujen myynti kasvoi 25 prosenttia 20.1.2022. Kiinteistölehti. Hakupäivä 14.02.2022 <https://www.kiinteistolehti.fi/lampopumppujen-myynti-kasvoi-25-prosenttia/>

10. Kylmäalan historia. Darment. Hakupäivä 11.04.2022 <https://darment.fi/kylmaalan-historia/>
11. Jäähdytystekniikan museo on alansa ainoita koko maailmassa 14.9.2021. Yle. Hakupäivä 10.6.2022 https://areena.yle.fi/1-50937499?utm_medium=social&utm_campaign=areena-web-share&utm_source=copy-link-share
12. Kylmäaineet-historiallinen kehitys ja ympäristö 2022. Kylmäaine.fi. Hakupäivä 04.05.2022 <https://www.kylmaaine.fi/>
13. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Energiatehokkuus 2018. Ympäristöministeriö. 31-38. Hakupäivä 14.02.2022 https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf/277c79e7-2a12-5052-ba33-cb2e2c8709ab/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf?t=1603260201597
14. Ostajan opas: ilmalämpöpumput 5.1.2015. Kuluttaja. Hakupäivä: 11.02.2022 <https://kuluttaja.fi/artikkelit/ostajan-opas-ilmalampopumput/>
15. Kylmäaineiden jaottelu 15.3.2019. Darment. Hakupäivä 22.03.2022 <https://darment.fi/kylmaaineiden-jaottelu/>
16. Kylmäaineiden numerointi. Darment. Hakupäivä 22.03.2022 <https://darment.fi/kylmaaineiden-numerointi-ansi-ashrae-standard/>
17. Kylmäaineiden ympäristövaikutusten tunnusluvut: ODP, GWP, TEWI. Darment. Hakupäivä 22.03.2022 <https://darment.fi/kylmaaineiden-ymparistovaiikutusten-tunnusluvut-odp-gwp-tewi/>
18. Kylmäainetilanne 2008. 25.5.2008 1,3-5. Suomen kylmäyhdistys ry. Hakupäivä 22.03.2022 <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=>

[2ahUKEwj5_rjtdr2AhXJtYsKHTbAA-NIQFnoECHsQAQ&url=https%3A%2F%2Fiisoy.fi%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F05%2Fkylmaainetilanne.pdf&usq=AOvVaw2c9-0sDXApnJbC8cM0KRSQ](https://www.unilab.eu/articles/technical-articles/thermodynamic-engineering-articles/new-frontiers-synthetic-refrigerants-low-gwp-fluids/)

19. New frontiers of synthetic refrigerants: low-GWP fluids. 07.08.2019. Unilab Hakupäivä 22.03.2022 <https://www.unilab.eu/articles/technical-articles/thermodynamic-engineering-articles/new-frontiers-synthetic-refrigerants-low-gwp-fluids/>
20. Tietoa kylmäaineista. Darment. Hakupäivä 23.03.2022 <https://darment.fi/kylmaaineinfo/>
21. SRK-ZMX seinäyksikkö 10.6.2014. Combi Cool. Hakupäivä 15.06.2022 https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahU-KEwjaiJvL7K74AhUFxYsKHQmoBFcQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.rttuotetieto.fi%2Fpub%2Fmedia%2Fresources%2F59318_27111_Mitsubishi_SRK_20-25_ilmalampopumppu.pdf&usq=AOvVaw0_LnyFioyfOkWZA0SFVMCH
22. Viimeisen 30 vuorokauden sää. Ilmatieteen laitos. Hakupäivä 5.7.2022 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/viimeisen-30-vrk-saa>
23. Kahrola, Ari. Kylmäaineen regenerointi on järkevä ja kannattava vaihtoehto. Darment. Hakupäivä 13.9.2022 <https://darment.fi/regenerointi/>
24. Fluoratut kasvihuonekaasut 6.2.2017. Ympäristö.fi. Hakupäivä 13.9.2022 <https://www.ymparisto.fi/fkaasut>