



Petrus Räisälä

Yli- ja alilämpötilojen vaikutukset asumiseen lämmityskaudella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

15.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Petrus Räisälä
Otsikko:	Yli- ja alilämpötilojen vaikutukset asumiseen lämmityskaudella
Sivumäärä:	27 sivua
Aika:	15.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	kehityspäällikkö Juha Kukko lehtori Pasi Partonen

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää yli- ja alilämpötilojen vaikutuksia energiankulutukseen, rakenteisiin ja asumisviihtyvyyteen. Työn tarkoituksena oli hyödyntää olemassa olevaa kiinteistö- ja asuntokohtaista mittausdataa energian- ja vedenkulutuksesta sekä lämpötilasta ja ilmankosteudesta. Tutkimalla asunto-osakeyhtiöiden lämpötilamittauksista saatuja tuloksia ja hakemalla tietoa alan lähteistä pyrittiin ymmärtämään, miten lämpötilamuutokset vaikuttavat rakennuksiin ja asumisviihtyvyyteen.

Kirjallisuuskatsauksen taustoittamana voitiin muun muassa arvioida asuntojen lämpötilamuutoksista johtuvaa lisälämmitystehontarvetta sekä saada parempi käsitys asumisviihtyvyyteen vaikuttavista tekijöistä. Opinnäytetyön tavoitteena oli hyödyntää olemassa olevaa mittausdataa sekä selvittää lämpötilan vaikutuksia energiankulutukseen, rakenteisiin ja asumisviihtyvyyteen.

Opinnäytetyö tehtiin Metec Oy:lle, joka on mittausjärjestelmiin erikoistunut yritys. Yrityksen palveluja ovat kiinteistö- ja asuntokohtaiset mittausjärjestelmät sekä niiden etäluentapalvelu myMetec. Kiinteistöistä mitatut arvot siirtyvät automaattisesti pilvipalveluun, josta niitä voidaan tarkastella.

Työssä toteutetun tutkimuksen perusteella saatiin selville kiinteistöjen kulutus- ja lämpötilaprofiileita. Kiinteistöjen mittausdataa voidaan käyttää hyväksi energiatehokkuuden parantamisessa. Mittausdatasta voitiin havaita poikkeamia, mikä voi auttaa tunnistamaan mahdollisia ongelmia kiinteistöjen järjestelmissä. Työssä esiteltiin lisäksi jatkotutkimusideoita palvelun parantamiseksi.

Avainsanat: lämpömittaus, asumisviihtyvyys, mittausjärjestelmä, asunmisterveys, asumisviihtyvyys, lämpöolot

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Petrus Räisälä
Title: Effects of Abnormal Temperature during Heating Season
Number of Pages: 27 pages
Date: 15 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Juha Kukko, Development Manager
Pasi Partonen, Senior Lecturer

The goal of this thesis was to determine the effects of too high or too low indoor temperatures on energy consumption, structures and living conditions. The aim was to understand how changes in temperature affect buildings and living comfort. This was done by examining the existing measurement data from various buildings and by collecting information from online sources.

A literature review was done to provide a better understanding of additional heating needs caused by changing temperatures and elements which affect living comfort. The existing measurement data consisted of indoor temperatures, indoor humidity and the consumption of energy and water.

The final year project resulted in the temperature and consumption profiles for the studied buildings. The profiles can be used to increase the energy efficiency of the buildings and to identify possible problems in HVAC systems or structures of them. The result provides insight for future projects to improve the services of the commissioning company.

Keywords: heating, temperature measuring, living comfort, living conditions, thermal conditions

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Määräykset ja ohjeet	2
3	Lämpöolot	4
3.1	Lämpöolot	4
3.2	Lämpöviihtyvyys	5
3.3	Lämpöfysiikkaa	6
3.4	Lämpötilan ja kosteuden vaikutus rakenteisiin	10
3.5	Naapuriasuntojen lämpötilaerojen vaikutukset lämmitystehoon	13
3.6	Lämpötilan vaikutus asumisterveyteen ja -viihtyvyyteen	15
4	Kiinteistöjen lämpötila- ja kosteusmittaukset myMetec-palvelulla	17
4.1	Kiinteistöjen lämpötila- ja kosteus mittaukset	20
4.1.1	As Oy 1	21
4.1.2	As Oy 2	21
4.1.3	As Oy 3	22
4.1.4	As Oy 4	22
4.1.5	As Oy 5	23
4.2	Kiinteistöjen mittausdatan vertailu ja analysointi	23
5	Yhteenveto	24

Lähteet

1 Johdanto

Lämpötilan sekä veden- ja energiankulutuksen mittaaminen antaa ensisijaisen tärkeää tietoa, jonka avulla voidaan parantaa energiatehokkuutta ja tehdä taloudellisesti kestäviä päätöksiä. Energiankulutuksella on suora vaikutus ympäristöön sekä taloudellisiin menoihin, joten on kiinteistön omistajan sekä asukkaan edun mukaista olla tietoinen energiankulutuksesta ja sitä kautta säästömahdollisuuksista.

Opinnäytetyö tehdään Metec Oy:lle, joka on mittausjärjestelmiin erikoistunut yritys. Yrityksen palveluihin kuuluvat mittausjärjestelmät, lattialämmitysjärjestelmät ja mittausdatan etäluentapalvelu myMetec. myMetec-pilvipalvelussa voidaan seurata vedenkulutusta ja huoneistojen lämpötila- ja kosteustrendejä tuntitasolla sekä säätää lattialämmitystä tilakohtaisesti.

Opinnäytetyön aiheena on yli- ja alilämpötilojen vaikutus energiankulutukseen, asumisviihtyvyyteen ja rakenteisiin. Työssä perehdytään lämpöoloihin ja asun- tokohtaisten lämpö-, vesi- ja energiamittareiden mittaustietoihin, jotka siirtyvät automaattisesti myMetec-pilvipalveluun tarkasteltavaksi. Käytettävissä oleva mittaustietojen määrä on suuri ja siitä hyödynnetään vain työlle olennaista osaa.

Työssä keskitytään lämpöoloihin lämmityskaudella ja siihen, mitä vaikutuksia niillä on energiankulutukseen, asumisterveyteen ja -viihtyvyyteen sekä rakenteisiin. Työn tavoitteena on selvittää, mitä ongelmia ja riskejä yli- ja alilämpöisyys aiheuttaa, sekä hyödyntää Metecin asiakaskohteiden mittausdataa ja raportoida kohteiden lämpötilaprofiileista. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää Metec Oy:n tarjoamien palveluiden innovoimisessa sekä kehittämisessä.

2 Määräykset ja ohjeet

Lainsäädännöllä ohjataan rakentamista, jotta se tapahtuu turvallisesti, terveellisesti ja energiatehokkaasti. Suunnittelijoiden on tehtäviensä mukaisesti huomioitava asumisterveyteen, -viihtyvyyteen ja energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät.

Rakennusten sisäilmastoa säädetään sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksella 545/2015 [1] ja ympäristöministeriön asetuksella 1009/2017 [2]. Valvira on laatinut asumisterveysasetukselle soveltamisohjeen [3], jonka tarkoituksena on selkeyttää rakennusten terveydellisten olosuhteiden arviointia. Asetusten nojalla on rakennusten lämpötilan oltava suunniteltuna käyttöaikana viihtyisiä, eivätkä ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot ja pintalämpötilat saa sitä heikentää [2, luku 2].

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 [4] määrää laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun vaatimustasot käyttötarkoituserittäin [4, luku 2]. Asetuksessa säädetään myös lämmitysteho mitoitettavaksi siten, että rakennuksen lämpöolot voidaan ylläpitää rakennuksen sijaintipaikkakunnan mukaisen säävyöhykkeen mitoittavilla ulkolämpötiloilla [4, § 32].

Asetuksissa säädetään suunnitteluarvoista ja toimenpiderajoista huoneilman lämpötilalle ja -virtausnopeudelle. Huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään +21 °C:ta. [2, luku 2, § 4.] Lämpötilojen tulee täyttää asumisterveysasetuksen liitteen 1 mukaiset toimenpiderajat. Asunnoissa sisäilman lämpötilan toimenpiderajat ovat lämmityskaudella +18...+26 °C. Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa toimenpiderajat ovat lämmityskaudella +20...+26 °C. [1, liite 1.]

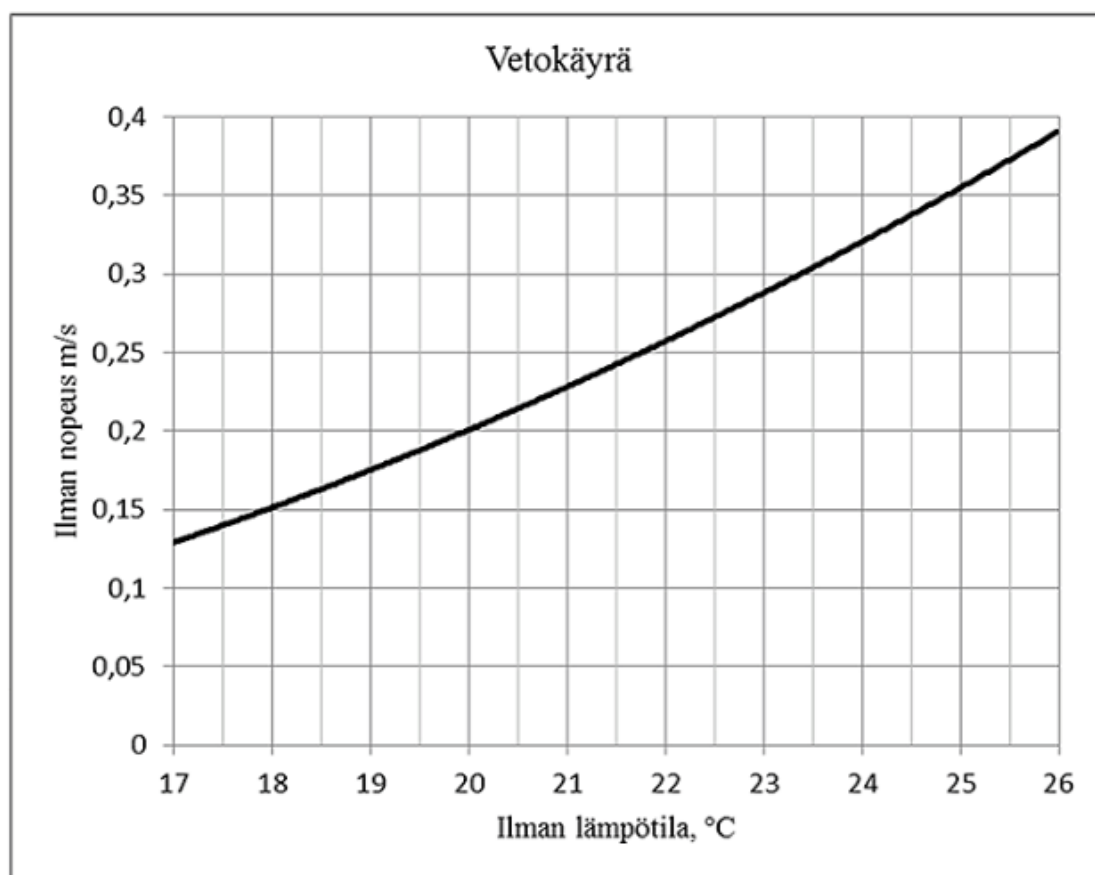
	<i>Lämpötilojen toimenpiderajat</i>	<i>Lämpötilaindeksi TI</i>
<i>Asunnossa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61
<i>Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 32 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

Kuva 1. Asumisterveysasetuksen mukaiset toimenpiderajat [1, liite 1].

Ilman kosteudesta on säädetty, ettei se saa pitkäkestoisesti olla niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa tai niiden pinnoilla mikrobikasvun riskiä [1, § 5]. Sisäilman suhteelliselle kosteudelle ei ole annettu tarkkoja rajoja asumisterveysasetuksessa, sillä sisäilman kosteus voi vaihdella rakennuksessa harjoitettavasta toiminnasta ja ulkoilman kosteudesta riippuen.

Aiemmin suosituksena on ollut 20–60 %, mutta siitä on luovuttu, koska niissä rajoissa pysyminen ei ole aina mahdollista, eikä annetuista rajoista poikkeamista voida pitää terveyshaittana, jos muut asumisen terveydelliset edellytykset täyttyvät. Lisäksi lämmityskaudella sisäilman 60 %:n suhteellinen kosteus voi aiheuttaa mikrobikasvun riskin rakenteiden kylmimmissä kohdissa. [3, luku 2.]

Asumisterveysasetuksessa on säädetty ilman virtausnopeuden toimenpiderajat, joita ei saa ylittää. Ilman virtausnopeuden eli vedon toimenpiderajat säädetään vetokäyrällä, jossa sallittu ilman virtausnopeus riippuu huoneilman lämpötilasta. Korkeammilla lämpötiloilla sallitaan nopeampi ilman virtausnopeus. [1.]



Kuva 2. Ilman virtausnopeuden toimenpiderajat [1, liite 1].

3 Lämpöolot

3.1 Lämpöolot

Ihminen viettää suurimman osan ajastaan sisällä, joten on syytä kiinnittää huomiota lämpöoloihin ja -viihtyvyyteen. Lämpöoloilla tarkoitetaan yleisesti sisätilojen ilman lämpötilaa, ilmankosteutta ja ilman liikettä. Lämpöolot vaikuttavat merkittävästi ihmisen asuinviihtyvyyteen, terveyteen ja tuottavuuteen sekä kiinteistöjen kuntoon, olosuhteisiin ja arvoon. [5.]

Suunnitteluarvoista poikkeavilla ilman lämpötiloilla, -liikkeellä ja -kosteudella voi olla terveydellisiä ja taloudellisia vaikutuksia, etenkin pitkillä aikajaksoilla. Lämpötilat vaikuttavat rakenteiden toimivuuteen ja mahdollisiin terveyshaittoihin, jos esimerkiksi kosteutta pääsee muodostumaan kylmille pinnoille. [5.]

Lämmityskaudella huoneilma on tyypillisesti kuivaa, ja sen suhteellinen kosteus lämmityskaudella voi olla jopa 10 %. Sisäilman suhteelliselle kosteudelle annetaan verkossa muutamia eri suosituksia, jotka ovat välillä 20–50 % [6; 7; 8; 9]. Samalla kuitenkin osassa lähteistä todetaan, että jo yli 45 %:n suhteellinen kosteus voi luoda olosuhteet kosteus- ja homevaurioille [6; 8]. Lämmityskaudella yli 45 %:n suhteellinen kosteus voi olla merkki riittämättömästä ilmanvaihdosta tai ihmisen tuottamasta kosteuslisästä sisäilmaan tai molemmista [6].

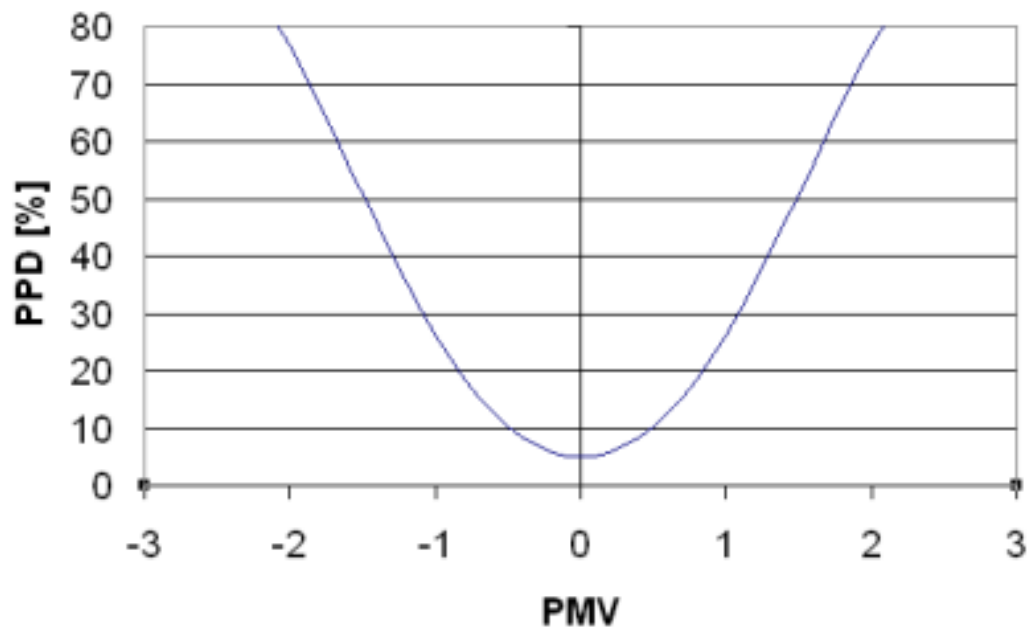
3.2 Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyys kuvaa ihmisen tyytyväisyyttä sisäilman lämpöoloihin. Lämpöviihtyvyys on yksilöllistä, ja ihmiset voivatkin reagoida eri tavalla samanlaisissa olosuhteissa. Koettu lämpöviihtyvyys on monen tekijän summa, ja siihen vaikuttavat ilman lämpötilan, pintojen lämpötilojen, ilman liikkeen ja ilman kosteuden lisäksi ihmisen vaatetus, aineenvaihdunta, ikä ja sukupuoli. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavista olosuhdesuureista ilman lämpötila on tärkein. [10; 11.]

Ihmisen keho pyrkii pitämään lämpötilansa tasaisena, noin +37 °C:ssa. Mitä aktiivisempi ihminen on, sitä enemmän syntyy lämpöä. Koettu optimilämpötila korreloi aktiivisuuden mukaan, esimerkiksi kuormittavassa työssä optimilämpötila on alhaisempi kuin työssä, jossa keho ei kuormitu. Lämpötila on ihanteellinen silloin, kun lämpöolot koetaan viihtyisäksi eikä osata sanoa, pitäisikö ympäristön lämpötilan olla matalampi vai korkeampi. [12.]

Ihanteellinen lämpötila riippuu mm. aktiivisuuden tasosta, vaatetuksesta, sukupuolesta ja muista yksilöllisistä ominaisuuksista [12]. Sukupuolen merkitystä on aiemmin pidetty vähäisenä, mutta naisten ja miesten välillä on havaittu eroja [10; 11].

Tutkimuksissa lämpöiihtyvyyteen tyytymättömien osuus kertoo myös lämpöiihtyvyyden yksilöllisyydestä. Yleisesti käytetyn PMV (predicted mean vote)-mallin mukaan missään lämpötilassa ei voida saavuttaa 100 %:n tyytyväisyysprosenttia. PMV-mallin mukaan aina vähintään 5 % käyttäjistä ovat tyytymättömiä lämpöoloihin. Lämpöiihtyvyyden tutkimuksissa on huomattu, että lämpötilassa $+21,0\text{ °C} \dots +21,5\text{ °C}$ rakennuksen käyttäjiltä tulevien valitusten määrä on vähäisin. [6; 11.]



Kuva 3. PMV-mallin mukaan 100 % tyytyväisyysprosenttia ei voi saavuttaa. Pystyakselilla tyytymättömien (predicted percentage of dissatisfied) osuus ja vaakakselilla lämpöiihtyvyyssasteikko. Lämpöiihtyvyyssasteikolla negatiiviset luvut kuvaavat liian viileitä lämpöoloja ja positiiviset liian lämpimiä.

3.3 Lämpöfysiikkaa

Lämmön siirtyminen tapahtuu kolmella tavalla: johtumalla eli konduktiolla, säteilemällä ja konvektiolla. Lämpöenergia siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Rakenteissa lämpö siirtyy pääosin johtumalla. Lämmön siirtymisessä olennainen tekijä on materiaalien lämmönjohtavuus, jonka avulla voidaan määrittää rakennuksen lämpöhäviöt ja pintalämpötiloja ja sitä kautta arvioida

kosteus- ja jäätymisriskejä rakenteissa. [13; 14.] Lämmitystehon laskennassa käytetään rakennuksen sijaintipaikkakunnan mukaista säävyöhykkeen mitoitussulkolämpötilaa [4, § 32].

Rakennuksen johtumislämpöhäviöt mitoitavassa ulkolämpötilassa lasketaan kaavalla 1:

$$\varphi = \sum_{\square} H_{joht} \cdot (T_s - T_{u,mit}) \quad (1)$$

φ on johtumislämpöhäviö rakennuksen vaipan läpi mitoitavassa ulkolämpötilassa, (W)

ΣH_{joht} on rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviö, (W/K)

T_s on rakennuksen sisäilman lämpötila, (°C)

$T_{u,mit}$ on mitoitettava ulkoilman lämpötila säävyöhykkeiden 1-4 mukaan, (°C). [15, luku 10.2.]

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan eri rakennusosien pinta-alojen ja lämmönläpäisykertoimien perusteella kaavalla 2:

$$\begin{aligned} \sum_{\square} H_{joht} = & \sum_{\square} (U_{ulkoseinä} A_{ulkoseinä}) + \sum_{\square} (U_{yläpohja} A_{yläpohja}) + \\ & \sum_{\square} (U_{alapohja} A_{alapohja}) + \sum_{\square} (U_{ikkuna} A_{ikkuna}) + \sum_{\square} (U_{ovi} A_{ovi}) \end{aligned} \quad (2)$$

ΣH_{joht} on rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviö, (W/K)

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, (W/(m²K))

A on rakennusosan pinta-ala, (m²). [4, luku 3.]

Rakennuksen eri rakennusosien lämmönläpäisy lasketaan U -arvon avulla, joka kertoo lämpövirran tiheyden rakennusosien läpi. Lämmönläpäisykerroin, eli U -arvo lasketaan kaavalla 3:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, (W/(m²K))

R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus, (m²K/W). [16.]

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksessa summataan rakennusosien lämmönvastukset ja pintavastukset. Kuvassa 4 on esitetty tyypillisiä laskennassa käytettäviä pintavastuksia.

Tasapaksun ja tasa-aineisen rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T lasketaan kaavalla 4:

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

R_T on kokonaislämmönvastus, (m^2K/W)

R_{si} on sisäpinnan pintavastus, (m^2K/W)

R_n on yhden materiaalikerroksen lämmönvastus, (m^2K/W)

R_{se} on ulkopinnan pintavastus, (m^2K/W). [16.]

Sisäpuolinen pintavastus R_{si} , ($m^2 \cdot K$)/W			Ulkopuolinen pintavastus R_{se} , ($m^2 \cdot K$)/W		
Lämpövirran suunta					
vaakasuora	ylöspäin	alaspäin	vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Väliarvot 0° – 90° saadaan lineaarisesti interpoloimalla.

Kuva 4. Tyypillisiä pintavastuksia [16].

Yhden materiaalikerroksen lämmönvastus R lasketaan kaavalla 5:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (5)$$

d on materiaalikerroksen paksuus, (m)

λ on materiaalin lämmönjohtavuus, (W/(mK)). [16.]

Sisä- ja ulkopinnan lämpötila voidaan laskea kaavoilla 6 ja 7:

$$T_{sp} = T_s - \frac{R_{si} \cdot (T_s - T_u)}{R_T} \quad (6)$$

$$T_{up} = T_u - \frac{R_{se} \cdot (T_s - T_u)}{R_T} \quad (7)$$

T_{sp} on sisäpinnan lämpötila, (°C)
 T_{up} on ulkopinnan lämpötila, (°C)
 R_{si} on sisäpinnan pintavastus, (m²K/W)
 R_{se} on ulkopinnan pintavastus, (m²K/W)
 R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus, (m²K/W)
 T_s on sisäilman lämpötila, (°C)
 T_u on ulkoilman lämpötila, (°C). [17.]

Ainekerroksittain tapahtuva lämpötila voidaan laskea kaavalla 8:

$$\Delta T_n = R_n \cdot \frac{(T_s - T_u)}{R_T} \quad (8)$$

ΔT on lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä, (°C)
 R_n on ainekerroksen lämmönvastus, (m²K/W)
 T_s on sisäilman lämpötila, (°C)
 T_u on ulkoilman lämpötila, (°C)
 R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus, (m²K/W). [17.]

Lämpötila rakenteen eri kohdissa saadaan kaavalla 9:

$$T_n = T_s - (R_1 + R_2 + R_n) \cdot q \quad (9)$$

T_n on lämpötila eri kohdissa, (°C)
 T_s on sisälämpötila, (°C)
 R_n on ainekerroksen lämmönvastus, (m²K/W). [18.]

Lämpöhäviö rakennusosan läpi voidaan laskea kaavalla 10:

$$q = \frac{T_s - T_u}{R_T} \quad (10)$$

q on lämpövirran tiheys rakennusosan läpi, (W/m²)
 T_s on sisäilman lämpötila, (°C)
 T_u on ulkoilman lämpötila, (°C)
 R_T on kokonaislämmönvastus, (m²K/W). [18.]

Ontelolaatan lämmönvastus lasketaan kaavalla 11:

$$R_c = 0,35 \cdot (h + 0,25) \quad (11)$$

R_c on ontelolaatan lämmönvastus ilman pintavastuksia, ($\text{m}^2\text{K/W}$)
 h on ontelolaatan paksuus, (m). [19.]

3.4 Lämpötilan ja kosteuden vaikutus rakenteisiin

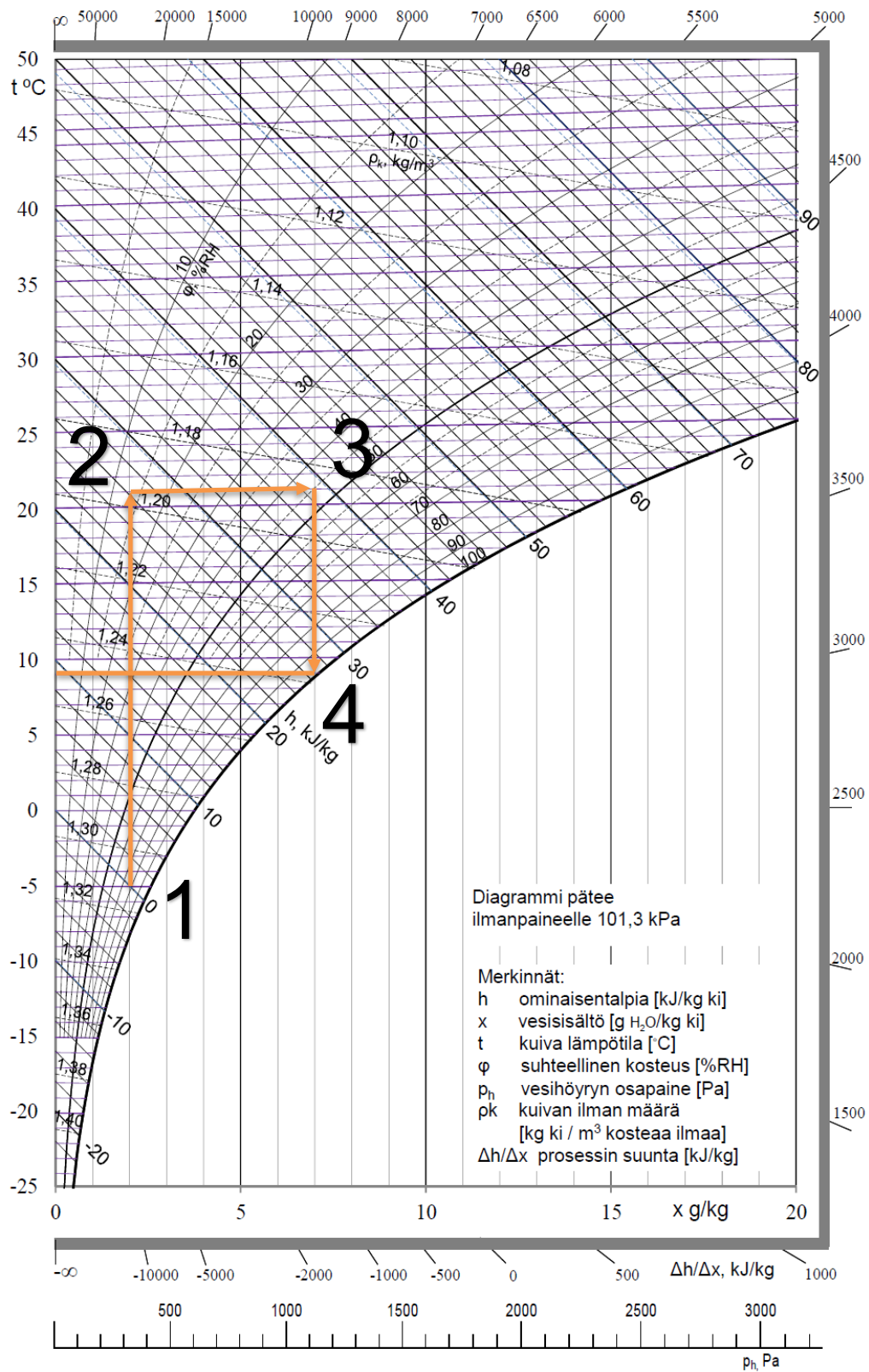
Rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttavat lämpötilan ja kosteuden lisäksi ilmanpaine ja ilmanpaineen vaihtelu. Rakenteiden toimivuuden kannalta sisäilman kosteus on kriittinen tekijä. Sisäilman kosteus pyrkii poistumaan rakennuksesta ilmanvaihdon lisäksi diffuusiolla rakenteiden läpi ja ilmavuotokohdista. [20; 23.]

Ilmanpainesuhteiden merkitys korostuu lämmityskaudella, kun ilman lämpötila ja kosteuspiitoisuuserot ovat sisä- ja ulkoilman välillä suuret. Paine-erojen takia ilma virtaa rakennuksen vaipan läpi tai eri rakennekerrosten välillä. Ilmavuotokohdista poistuva kostea sisäilma tai huonosti tuulettuvat rakenteet voivat aiheuttaa kosteusongelmia. [20; 23.]

Lämmityskaudella ulkoilman kosteussisältö on tavallisesti alhainen eli $<0,005$ kg/kg, jonka suhteellinen kosteus $+21$ °C:een lämmitettäessä on $\sim 10\text{--}40$ %. Sisäilman kosteuden tarkastelussa tulee huomioida ihmisen toiminnan tuottama kosteuslisä, joka aiheutuu muun muassa ruoanlaitosta, siivouksesta, saunasta ja suihkusta. Sisäilman kosteuslisä saadaan vähentämällä sisäilman kosteuspiitoisuudesta ulkoilman kosteuspiitoisuus. Normaali kosteuslisä asuinrakennuksissa on $0,003$ kg/kg. [21.] Absoluuttisen kosteuden yksikkö kg/kg kertoo, kuinka monta kilogrammaa on vettä kilogrammassa kuivaa ilmaa.

Mollier-diagrammilla voidaan havainnollistaa lämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden merkitystä. Alkutilanteessa (1) ulkoilma -5 °C, RH 80 % lämmitetään suunnitteluarvoon $+21$ °C, jolloin suhteellinen ilmankosteus laskee n. 13 %:iin

(2). Tähän lisäämällä normaalia suurempi kosteuslisä ($>0,003 \text{ kg/kg}$) (3) ilma alkaa tiivistymään pinnoilla, joiden lämpötila on $+9 \text{ }^\circ\text{C}$ tai alle (4).



Kuva 5. Mollier-diagrammi ilman tilamuutoksista [33. sivu 407].

Kylmillä ilmoilla pakkasen puree syvälle rakenteeseen, joka ei tässä työssä toteutuneen tiedonhaun perusteella ole ollut Suomessa merkittävä ongelma rakenteille, pois lukien pakkasen aiheuttamat putkirikot. Jos rakenteet jäätyessään ovat märkiä, voi se aiheuttaa rakenteen halkeilua, mutta yleensä rakenteen jäätymiseen liittyvät ongelmat ovat esteettisiä. [22; 24; 25; 26.]

Lämpötila itsessään ei ole suurin ongelmien aiheuttaja, mutta sisälämpötilan merkitys kasvaa, kun lämpötila laskee lähelle kastepistelämpötilaa esimerkiksi rakennuksen kylmäsilloissa tai ilmanvuotokohtissa [20; 23]. Sen vuoksi pintojen lämpötiloilla on iso merkitys kosteuden tiivistymisessä pinnoille. Sisälämpötilan laskiessa rakenteiden höyrynsulun toimivuus sekä ilmanvaihdon merkitys korostuu, jotta ylimääräinen kosteus saadaan poistumaan hallitusti ilmanvaihdolla, eikä rakenteiden ilmanvuotokohtien läpi. [23.]

On mahdollista, ettei sisälämpötilan perusteella kosteuden tiivistymistä tapahdu, mutta kylmäsilloissa tapahtuu, koska niiden lämpötilat ovat todennäköisesti sisäilmaa matalampia. Myös ulkoseinälle asennetut kaapistot ja lämpöä eristävät ryijyt yms. voivat alentaa pintojen lämpötilaa, jolloin on huomioitava taustan tuuletus. [23.]

Huoneistoissa, joiden välillä on lämpöä hyvin varaava lämmöneristämätön massiivinen seinä, tulisi välttää suuria lämpötilaeroja. Home- ja kondenssiriski kasvaa huoneiden lämpötilaeron kasvaessa. Tilanne korostuu, mikäli lämpimämmän huoneiston puolella on suuri sisäilman kosteuslisä. [23.]

Ympäristöministeriön teettämän tutkimuksen perusteella voidaan huoneilman lämpötila laskea jopa alle 15 °C:seen, jos huoneistossa ei ole kosteuslisää. Enintään 0,003 kg/kg kosteuslisällä 15 °C:een lämpötilaa voidaan pitää suurimmassa osassa tapauksia turvallisena. Tällöin tulee kuitenkin huomioida rakennus ja sen yksityiskohdat tapauskohtaisesti. Esimerkiksi tilanteessa, jossa sisälämpötila laskee lähelle kastepistelämpötilaa, on huomioitava pintojen lämpötilat. [23.]

3.5 Naapuriasuntojen lämpötilaerojen vaikutukset lämmitystehoon

Lämpötilalla on suora vaikutus lämmitystehontarpeeseen ja energiankulutukseen. Jos lämpötila asunnossa laskee, vaikuttaa se myös ympäröivien asuntojen lämmitystehontarpeeseen. Kaavan 1 avulla voidaan laskea viereisiin tiloihin johtuva lämpöteho käyttämällä laskennassa tilojen välisten rakenteiden lämmönjohtavuuksia ja tilojen välistä lämpötilaeroa.

Voidaan tarkastella päällekkäisistä asunnoista alemman asunnon lämmöntehontarpeen muutosta, kun ylemmässä asunnossa lämpötila laskee. Laskennassa käytetään välipohjamateriaalina esimerkkinä 320 mm:n paksuista ontelolaattaa. Todellisuudessa alakattorakenteet, pinnoitusmateriaalit, eristeet ja pintavalut vähentävät lämpövirtaa ylöspäin.

320 mm:n paksuisen ontelolaatan lämmönvastus R_c lasketaan kaavalla 11:

$$R_c = 0,35 \cdot (0,32 \text{ m} + 0,25) = 0,1995 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

320 mm:n paksuisen ontelolaatan U-arvo lasketaan kaavalla 3, jossa $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$:

$$U = \frac{1}{(0,10 + 0,1995 + 0,04)} = 2,946 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Kertomalla U-arvo asuntojen välisen laatan pinta-alalla ja asuntojen lämpötilaerolla saadaan lisälämmitystehontarve, joka johtuu yläpuolella olevasta kylmemmästä asunnosta.

Kun asunnon lämpötila pudotetaan poissa kotoa -asetuksella, voidaan olettaa asuntojen väliseksi lämpötilaeroksi $21 \text{ }^\circ\text{C} - 16 \text{ }^\circ\text{C} = 5 \text{ K}$. Soveltamalla kaavoja 1 ja 2 saadaan lisälämmitystehontarve neliömetrille:

$$q = 2,946 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 5 \text{ K} = 14,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Ikkunan jäädessä kovilla pakkasilla auki voi lämpötilaeroa päällekkäisillä asunnoilla olla esimerkiksi 16 K, jolloin alemman lämpimämmän asunnon lisälämmitystehontarve neliometriä kohti lasketaan seuraavasti:

$$q = 2,13 \frac{W}{m^2 K} \cdot 16 K = 47,1 \frac{W}{m^2}$$

Teho asuntojen eristämättömän välipohjan läpi voi siis hetkellisesti olla ~47 W/m².

Huoneistojen välisen seinän läpi kulkeutuva lämpövirta voidaan laskennallisesti arvioida samalla periaatteella. Tässäkin tapauksessa on huomioitava, että todelliset pinnoitusmateriaalit heikentävät lämpövirtaa rakenteen läpi. Tässä laskennassa käytetään esimerkkinä 180 mm:n paksuista betoniseinää.

180 mm:n paksuisen betoniseinän lämmönvastus R lasketaan kaavalla 5, jossa lämmönjohtavuus λ on 1,2 W/(m·K):

$$R = \frac{0,18 m}{1,2} = 0,15 \frac{m^2 K}{W}$$

180 mm:n paksuisen betoniseinän U-arvo lasketaan kaavalla 3, jossa $R_{si} = 0,13$ m²K/W ja $R_{se} = 0,04$ m²K/W:

$$U = \frac{1}{(0,13 + 0,15 + 0,04)} = 3,125 \frac{W}{m^2 K}$$

Kertomalla U-arvo asuntojen välisen seinän pinta-alalla ja asuntojen lämpötilaerolla saadaan lisälämmitystehon tarve, joka johtuu viereisestä kylmemmästä asunnosta.

5 K:n lämpötilaerolla lämpimämmän asunnon lisälämmitystehontarve neliometreille saadaan soveltamalla kaavoja 1 ja 2:

$$q = 3,125 \frac{W}{m^2 K} \cdot 5 K = 15,6 \frac{W}{m^2}$$

16 K:n lämpötilaerolla lämpimämmän asunnon lisälämmitystehontarve neliömetrille saadaan soveltamalla kaavoja 1 ja 2:

$$q = 3,125 \frac{W}{m^2 K} \cdot 16 K = 50 \frac{W}{m^2}$$

On kuitenkin huomioitava, että lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan, jolloin lisälämmitystehontarve voi laskea merkittävästi ajan kuluessa, jos toisen asunnon lämmitysteho riittää edes jollain asteella kattamaan toisen asunnon energianhukkaa.

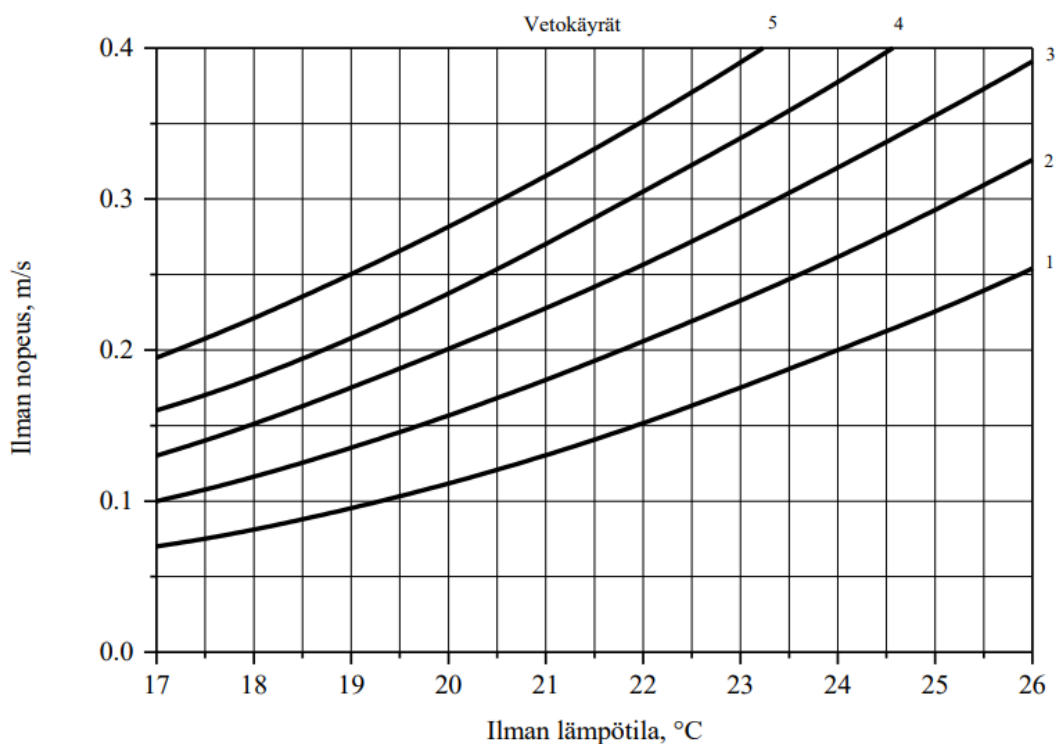
3.6 Lämpötilan vaikutus asumisterveyteen ja -viihtyvyyteen

Sisäilman laatuun vaikuttavat erilaiset kemialliset, biologiset ja fyysiset tekijät, joista yksi merkittävä tekijä on lämpötila. Lämpötilan on todettu vaikuttavan lämpöviihtyvyyteen ja sitä kautta vireystilaan, toimintakykyyn, tuottavuuteen ja terveyteen. [27;28;29.] Suomessa sisäilmaan liitetty oireilu on yleistä, mutta pääasiassa lievää ja ohimenevää [28].

Sisäilman vaikutus kohdistuu tavallisesti ihmisen ihoon, limakalvoihin ja hengityselimiin. Huono sisäilman laatu voi aiheuttaa mm. ärsytysoireita ja toistuvia hengitystieinfektioita. Liian korkea tai matala lämpötila voi aiheuttaa epämukavuuden tunnetta tai jopa terveyshaittoja. Korkea lämpötila nostaa ihmisten tuottamia epäpuhtauksia ja laskee suhteellista kosteutta. Liian lämmin ja kostea sisäilma voi myös lisätä väsymystä, keskittymiskyvyn alenemista ja hengitystieoireilua sekä joidenkin kemikaalien emissiota materiaaleista lisäten mikrobikasvun riskiä. [11; 12; 27; 29.]

Vetoa koskevat valitukset ovat yleisimpiä sisäilmasta tehtäviä valituksia. Vedon tunne käsitetään yleensä ilman liikkeenä, mutta siihen vaikuttavat myös ilman ja pintojen lämpötilat. Ilman nopeuden kasvaessa lämmön siirtyminen kasvaa.

Epämukavuutta aiheuttavavan ilman virtausnopeuden vaikutusta viihtyisyyteen eri huoneilman lämpötiloissa voidaan kuvata vetokäyrillä. Käyrien numeeriset arvot kuvaavat vedon vaikutusta asumisviihtyvyyteen. Käyrä 3 vastaa asumisterveysasetuksessa säädettyä toimenpiderajaa.



Kuva 6. Vetokäyrillä voidaan kuvata ilman virtausnopeuden ja lämpötilan vaikutusta asumisviihtyvyyteen [35].

Viileä lämpötila yhdistettynä ilman korkeisiin virtausnopeuksiin aiheuttaa jo huomattavan vedon tunteen, joka voi aiheuttaa lihas- ja nivelkipuja. Mikäli ilman liikenopeus on asunnossa vakio, voi äkillinen ilman- tai pintojen lämpötilan lasku aiheuttaa vedon tunnetta. Vedon tuntee herkemmin, kun ilman lämpötila laskee alle +20 °C:n. Erityisesti alhainen lämpötila aiheuttaa haittaa viihtyvyydelle iäkkäillä ihmisillä. [7; 27.]

4 Kiinteistöjen lämpötila- ja kosteusmittaukset myMetec-palvelulla

Metecin tarjoama myMetec-pilvipalvelu on selainpohjainen käyttöliittymä muun muassa energian ja vedenkulutuksen hallintaan sekä lattialämmityksen säätöön. Palvelussa voidaan tarkastella kiinteistö- ja asuntokohtaisesti vesi-, energia-, sähkö-, lämpötila- ja ilmanlaadun mittaustuloksia tunnin tarkkuudella.

Useista kohteista on myös saatavilla kohteen 3D-malli, joka toimii työkaluna esimerkiksi isännöitsijälle. Muita hyödyllisiä työkaluja myMetec-palvelussa ovat keskitetty laskutus, raportointi, hälytykset, trendien seuraaminen ja API-rajapinnat. 3D-mallissa voidaan rajata haluttu lämpötilan- tai ilmankosteuden vaihtelualue. Lisäksi se auttaa esimerkiksi vedenkulutuksen ja lämpötilan poikkeamien paikallistamisessa.



Kuva 7. myMetec-palvelussa voidaan tarkastella kiinteistöjen lämpötilaprofiileja 3D:nä

Kiinteistöön asennetaan keskusyksikkö, jolla saadaan yhteys myMetec-palveluun. Keskusyksikössä on sisäänrakennettu 4G-modeemi, SIM-kortti ja valmius etäluentapalveluun. Keskusyksikkö on laajennettavissa 1000 mittauspisteeseen

asti. Kiinteistöstä kerättyä mittausdata voidaan viedä keskusyksikön kautta myös rakennusautomaatioon.



Kuva 8. Keskusyksikkö

Järjestelmän toimilaitteohjain toimii osana lattialämmitysjärjestelmää. Toimilaitteohjain kommunikoi termostaattien kanssa ja ohjaa jakotukkien toimilaitteita. Toimilaitteohjaimen voidaan liittää mm. jakotukille tulevan ja jakotukilta palaavan veden lämpötilamittaukset, vesivuoto- ja kondensaatioensorit. Jäähdytyskäytössä suositellaan kondensaatiosta hälyttävää anturia kondensaatio-ongelmien välttämiseksi.



Kuva 9. Lattialämmitysjärjestelmän toimilaitteohjain.

Lämpötilan ja ilmankosteuden mittalaitteina toimii Metecin kehittämä M-Bus-liityntäinen ClimaPri-monitoiminäyttö. E-ink-teknologiaan perustuva monitoiminäyttö toimii asukasnäyttönä ja asiakkaan omana portaalina kulutustietoihin. Monitoiminäytöstä voi seurata omia veden- ja energian kulutustietoja päivä- ja kuukausikohtaisesti sekä hetkellisiä lämpötila- ja kosteusolosuhteita paikallisesti. Näytölle on lisäksi mahdollista välittää asukasviestejä.

Huoneen toivottua lämpötilaa voidaan säätää termostaatin avulla näytöltä tai myMetecin kautta. Lattialämmityskohteissa lämmitysjärjestelmää voidaan säätää paikalla/poissa-tilan valinnalla. Poissa kotoa -valinnalla voidaan laskea lämmitysjärjestelmän lämpötilaa poissaolon ajaksi.

Ikkuna auki -tunnistus katkaisee lämmityksen kyseisestä huoneesta, kunnes lämpötilan havaitaan jälleen nousevan. Toiminto sisältää varotoiminnon, jolla estetään kuitenkin lämpötilan laskeminen liian alas. Ikkuna auki -tunnistin mahdollistaa käyttäjää tai isännöitsijää reagoimaan tilanteeseen nopeasti.

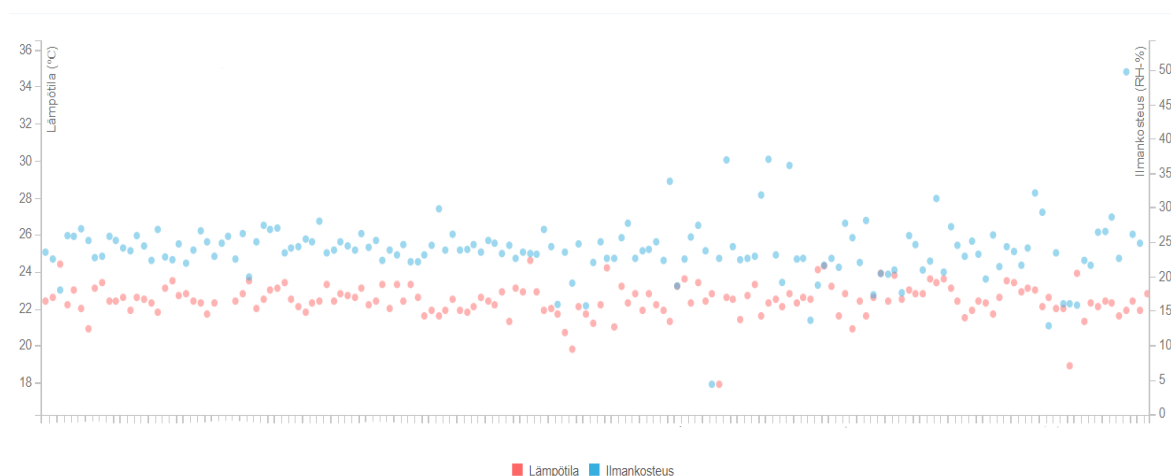


Kuva 10. ClimaPri -tuoteperheeseen kuuluva asukasnäyttö.

4.1 Kiinteistöjen lämpötila- ja kosteus mittaukset

Kuvassa 7 on kuvattuna vuoden 2024 alusta mittauskohteiden lämpötila- ja kosteus keskiarvot. Mittaustulosten ajanjakso on 1.1.2024 – 25.3.2024. Mittausjakson aikana 38:ssa kaikista Metecin mittauskohteista keskilämpötila oli 23 °C tai yli. Viidessä taloyhtiössä keskilämpötila oli 24 °C tai yli.

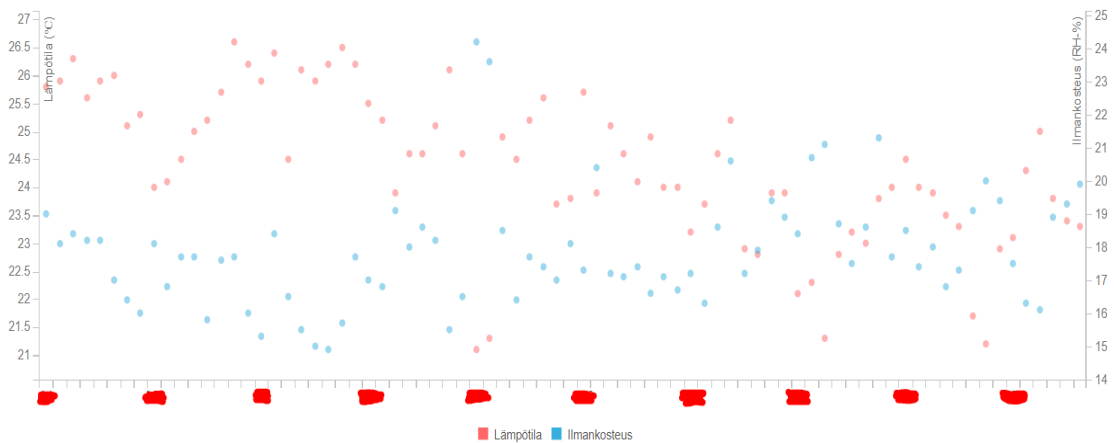
Luvuissa 4.1.1–4.1.5 tarkastellaan näiden viiden kohteen lämpötiloja, ja verrataan niitä asumisterveysasetuksessa säädettyyn toimenpiderajaan +26 °C:seen [1]. Samalla pystyakselilla olevat punainen ja sininen täplä kuvaa kyseisen asunnon tai taloyhtiön keskilämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Esitellyt kohteet sijaitsivat eri puolilla Suomea.



Kuva 11. Metecin mittauskohteiden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden keskiarvoja vuodelta 2024 [30].

4.1.1 As Oy 1

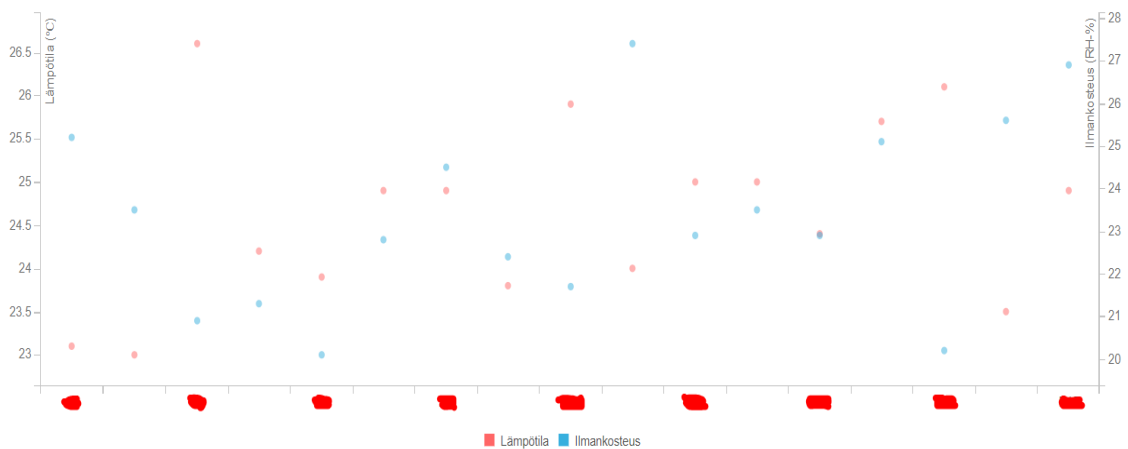
As Oy 1:ssä koko asunto-osakeyhtiön huoneistojen keskilämpötila on $+24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. 20 huoneistossa huoneilman lämpötilan keskiarvo on lähellä asumisterveysasetuksessa säädettyä toimenpiderajaa tai se ylittyy ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Kuva 12. As Oy 1:n huoneistojen keskilämpötiloja [30].

4.1.2 As Oy 2

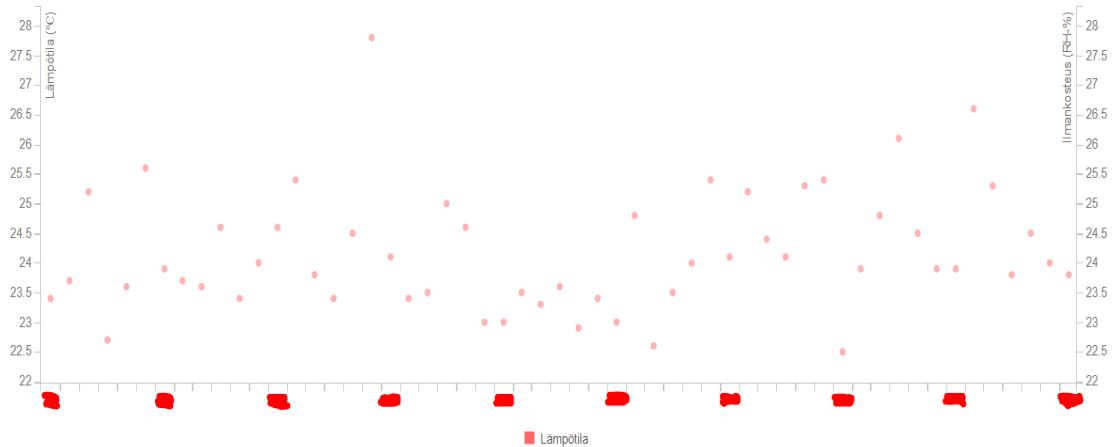
As Oy 2:n kaikkien huoneistojen lämpötilan keskiarvo on $+24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Näistä neljän huoneiston keskilämpötila on $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai yli ja kahdessa asunnossa toimenpideraja ylittyy.



Kuva 13. As Oy 2:n huoneistojen keskilämpötiloja [30].

4.1.3 As Oy 3

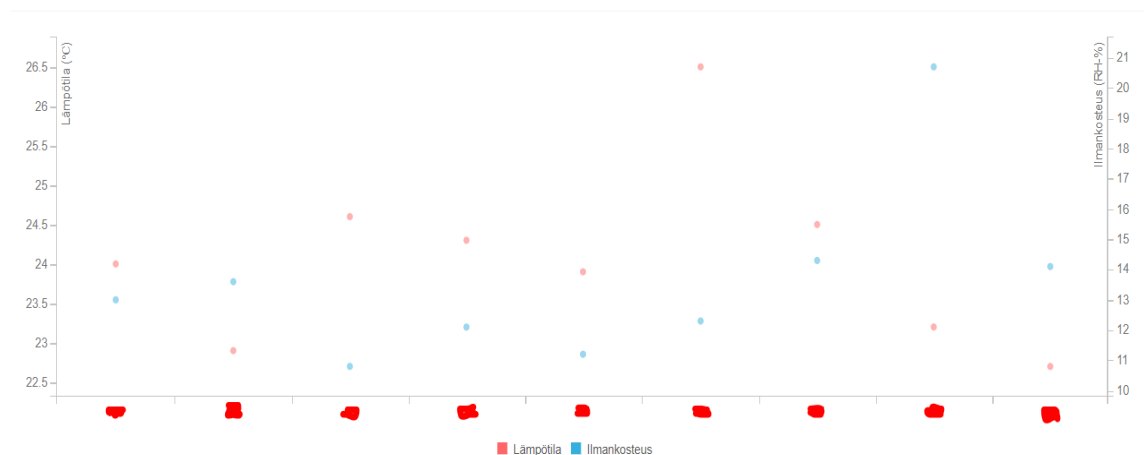
As Oy 3:n keskilämpötila mittausvuonna on +24,2 °C. Huoneistoista 11:sta keskilämpötila on tänä vuonna +25 °C tai yli. Niistä kolmen huoneiston keskilämpötilan toimenpideraja ylittyy. Yhden asunnon keskilämpötila tänä vuonna on lähes +28 °C.



Kuva 14. As Oy 3:n keskilämpötiloja [30].

4.1.4 As Oy 4

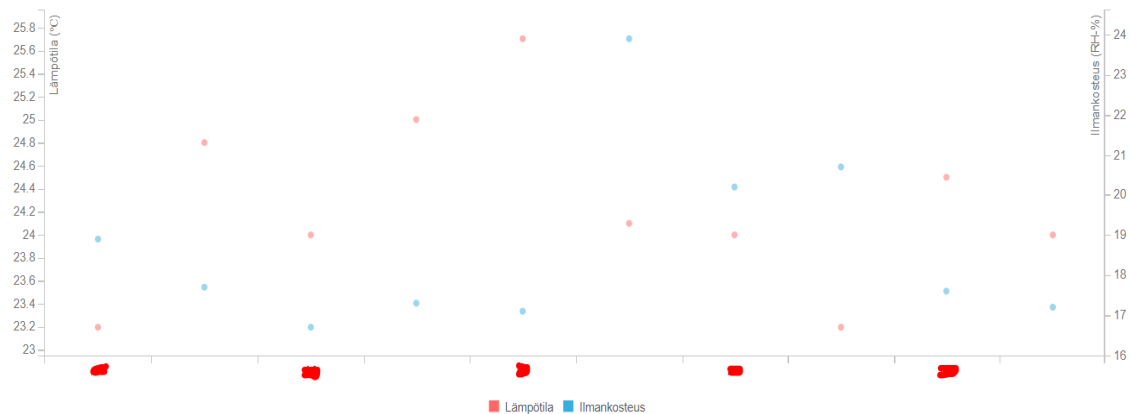
As Oy 4:n keskilämpötila on mittausvuonna +24,1 °C. Vain yhden huoneiston keskilämpötila ylittää toimenpiderajan.



Kuva 15. As Oy 4:n keskilämpötiloja [30].

4.1.5 As Oy 5

As Oy 5:n keskilämpötila on mittausvuonna +24,3 °C. Vain kahden asunnon keskilämpötila on yli +25 °C. Yhdessäkään asunnossa lämpötilasta säädetty toimenpideraja ei ylity.



Kuva 16. As Oy 5:n keskilämpötiloja [30].

4.2 Kiinteistöjen mittausdatan vertailu ja analysointi

Ensisijaisesti mittaus tuloksia voidaan verrata asumisterveysasetuksessa määriteltäviin rajoihin (+18...+26 °C). Toimenpiderajat ylittyvät useassa tässä työssä käsitellyssä kiinteistössä. Kohteissa joissa toimenpiderajat ylittyvät, voi olla tarpeen harkita toimenpiteitä yli- tai alilämmön välttämiseksi.

Toisaalta suuri hajonta asuntojen lämpötiloissa voi kertoa lämmitysverkoston epätasapainoisuudesta. Kohteissa, joissa on suuri lämpötilan hajonta ja keskilämpötila, voi olla tarpeen selvittää lämpötilaerojen syyt asumisviihtyvyyden ja -terveyden turvaamiseksi. Selvitykset voivat auttaa mahdollisten korjaustarpeiden löytämisessä, esimerkiksi lämmitysjärjestelmän säädön tarpeen havaitsemisessa. Huoneilman kosteuden mittaukset voivat antaa myös viitteitä korjaustarpeista, kuten ilmastoinnin toimivuudesta.

Motivan artikkelin [32] mukaan 1 °C huonelämpötilassa on 5 % lämmityskuluissa. Esimerkiksi As Oy 1:n tapauksessa asuntoja on 79 ja kaikkien asuntojen keskilämpötila on +24,4 °C. 20 asunnossa keskilämpötila on yli +25 °C, jolloin energiansäästöpotentiaali on artikkelin väitteen perusteella huomattava.

Jos pelkästään asuntojen, joiden lämpötila on +25 °C tai yli, lasketaan esimerkiksi +24 °C:een, päästään taloyhtiön keskilämpötilassa jo lähelle yhden celsiusasteen pudotusta, 23,7 °C:een. Jo näillä arvoilla energiansäästö on 3,5 %. Ottaen huomioon kohteen koon, voitaneen olettaa energiansäästön olevan merkittävä.

Ihmisten kokemus lämpötilasta vaihtelee yksilöllisesti, joten osa asukkaista voi kokea mittaustuloksissa esiintyvät lämpötilat epämiellyttävinä. Toisaalta mittaustuloksissa esiintyvät lämpötilat voivat olla mieltymyskysymys. Motivan artikkelin mukaan ihminen tottuu 0,5–1,0 °C:n muutokseen noin viikossa, joten lämpötilan suurta muutosta lyhyessä ajassa kannattaa välttää. [32.]

Mittalaitteiden sijainti ei ole tiedossa, joten on mahdollista, että laitteen sijoittelu tai lähellä oleva sähkölaite vääristää saatua mittaustulosta. Asennusohjeen mukaisesti asennetun mittalaitteen mittaustuloksen voidaan olettaa olevan pätevä.

Asennusohjeen mukaan asukasnäyttö tulee asentaa keskeiselle paikalle ja sen asentamista tulee välttää ulkoseinään, lähelle ulko-ovea tai tilaan, jossa on runsaasti ylimääräistä lämpöä. Laite tulee asentaa pois suorasta auringonvalosta. [34.]

5 Yhteenveto

Työssä selvitettiin, mitä ongelmia ja riskejä yli- ja alilämpöisyys aiheuttaa, sekä raportoitiin Metecin asiakaskohteiden lämpötilaprofiileja.

Lämpötilan vaihtelu itsessään ei vaikuta merkittävästi rakenteisiin. Kriittinen tekijä rakenteiden fysikaalisessa toimivuudessa on ilman sisältämä kosteus. Kosteuden aiheuttaman ongelmat ovatkin yleisempiä ja vakavampia kuin

lämpötilamuutoksista johtuvat vauriot. Kosteuden aiheuttamat ongelmat tulivat usein esiin työn tiedonhaun yhteydessä. Kosteusvaurioista ja niiden vaikutuksista löytyy verkosta runsaasti lähdemateriaalia.

Epäedullisten lämpöolojen vaikutukset ihmisen terveyteen ovat yleisiä mutta pääasiassa lieviä ja ohimeneviä. Toisaalta työtehoon lämpöolot voi vaikuttaa merkittävästikin. Mielenkiintoisia nostoja verkkolähteistä olivat sisäilmayhdistyksen artikkeli [27], jossa mainittiin oireiden kasvavan lämpötilan noustessa yli 22 °C, sekä Motivan artikkeli [32], jossa mainittiin lämpötilan laskun 24 °C:sta 21 °C:een vähentävän sisäilmaoireiden määrää kolmanneksella. Väitteisiin liittyviä tutkimuksia ei kuitenkaan löytynyt.

Asumisviihtyvyyteen liittyvistä tekijöistä lämpötila on tärkein. Yksilöllisten kehon koostumusten takia myös lämpöviihtyvyys on yksilöllistä. Asumisviihtyvyyteen vaikuttaa myös oleellisesti lämpöolojen hallittavuus. Yksilöllinen lämpötilan säätömahdollisuus parantaa asumisviihtyvyyttä ja ihminen kokee lämpöolot usein viihtyisämmäksi, jos on itse vastuussa vallitsevista lämpöoloista.

Tarpeenmukaisella lämpötilan säädöllä, kuten lämmityksen paikalla/poissa-valinnalla, voidaan parantaa energiatehokkuutta laskemalla sisälämpötilaa poissaolon ajaksi asumisviihtyvyydestä tinkimättä. Metecin mittausjärjestelmät tuottavat energiansäästön ja asumisviihtyvyyden kannalta olennaista mittausdataa, jota hyödyntämällä voidaan optimoida energiankäyttö suhteessa asumisviihtyvyyteen.

3D-mallien, kulutusseurannan ja kyselytutkimusten avulla kiinteistöstä vastaavan tahon on mahdollista selvittää järjestelmien toiminta ja vähimmäislämpöolosuhteet ilman, että asumisviihtyvyys kärsii. Jos käyttäjät kokevat lämmityskaudella epämukavuutta nimenomaan liian lämpimän huoneilman vuoksi, voidaan pelkästään lämpötilaa laskemalla päästä parempaan asumistyytyväisyyteen, mikä taas vaikuttanee käyttäjien arvostukseen kiinteistöä ja siitä vastaavaa tahoa kohtaan.

On tärkeää kuunnella tilojen käyttäjien kokemuksia koetusta sisäilmasta, mutta ensisijaisesti rakennuksen terveysvaikutusten ja korjaustarpeiden arvioinnin tulisi perustua teknillisiin selvityksiin ja mittauksiin. Erilaiset psykologiset tekijät, kuten asukkaiden oma hyvinvointi arjessa sekä työssä, voivat hankaloittaa rakennusten korjausrakentamisen johdosta tehtävää asukkaiden oirekyselyä.

Lämmitysjärjestelmän oikeanlainen toiminta on ensisijaisen tärkeää asumisviihtyvyyden ja energiankulutuksen kannalta. Mikäli käyttäjät kokevat vallitsevat lämpöolot epäviihtyisäksi, pyrkivät he säätämään järjestelmää miellyttävämmäksi. Tämä saattaa johtaa turhaan energiankulutukseen, jos järjestelmää ei ole suunniteltu, toteutettu tai säädetty oikein. Esimerkiksi tapaukset, joissa käyttäjävalitusten perusteella nostetaan koko taloyhtiön lämpötilaa, voi huonosti säädetty järjestelmä nostaa muiden asuntojen lämpötilaa liikaa. Lämpötilamittauksista voidaan nähdä, ovatko lämmitysjärjestelmät säädetty ylläpitämään ihanteellista sisäilman lämpötilaa eri olosuhteissa.

Huonosti säädetty lämmitysjärjestelmä kiertää epätasaisesti lämmitysverkoston eri osissa, mikä voisi olla mahdollista havaita myMetec-etäluentapalvelun 3D-malleista. Ideana jatkotutkimuksille voisi ollakin 3D-mallien tarkastelu ja niiden vertaaminen lämpölinjojen eri osiin. 3D-mallien avulla poikkeamat voitaisiin paikallistaa rakennuksen tiettyyn osaan. 3D-mallista voidaan nähdä huoneistojen lämpötilaerot, jotka jo itsessään voivat antaa viitteitä lämmitysjärjestelmän perussäädön epätasapainoisuudesta.

Lämpötilan mittausten tuloksissa esiintyi huomattavan korkeita lämpötiloja ja verraten usein. Asuntoja, joissa asumisterveysasetuksen mukainen toimenpideraja $+26\text{ °C}$ ylittyy, esiintyi paljon. Korkeita sisälämpötiloja ($>+24\text{ °C}$) ja toimenpiderajat ylittäviä asuntoja esiintyi myös muissa kuin työssä käsitellyissä mitauskohteissa. Toimenpiderajat ylittävissä asunnoissa on perusteltua ryhtyä toimenpiteisiin lämpöolojen hallitsemiseksi.

Motivan mukaan huonelämpötilan laskeminen 1 °C :lla säästää 5 % lämmityskuluissa [32]. Tälle väitteelle en löytänyt lähdeä, mutta on selvää, että

huoneilman lämpötila vaikuttaa suoraan energiankulutukseen. Joka tapauksessa mittaustulokset osoittavat energian säästöpotentiaalin asuntojen lämmityksessä.

Työssä laskettiin konduktiosta aiheutuvaa lämpöhäviötä asuntojen välisten rakenteiden läpi. Vierekkäisten ja päällekkäisten asuntojen suuri lämpötilaero voi aiheuttaa huomattavan lisälämmitystehontarpeen asunnossa, jonka vastaisen asunnon lämpötila putoaa alhaiseksi.

Lämpövirran suuruutta selittää yleensä heikompi lämmöneristys asuntojen välisissä seinissä. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden seuranta myMetec-palvelussa mahdollistaa nopean reagoinnin tilanteisiin, joissa asunnon lämpötila putoaa kosteuden, lämmön ja energianhukan kannalta kriittisen alas.

Yksi tutkimusaiheista oli selvittää lämpötilojen poikkeamia mittaustiedoista, joiden taustalla oli epäily, että ikkunat jäävät asunnoissa auki. Tarkoitus oli laskea sen aiheuttamia kustannuksia energianhukasta ja vedon tunteen syntymisestä muissa asunnoissa, mutta konvektion käsin laskennan haasteellisuudesta johtuen tähän ei saatu yksiselitteistä vastausta. Toisena jatkotutkimusideana onkin olosuhteiden simulointi kyseisissä olosuhteissa, jolloin voitaisiin saada luotettavampaa arviota todellisesta energianhukasta ja kustannuksista.

Työn tiedonhaun yhteydessä syntyi hyvä vaikutelma suomalaisen rakennuskulttuurin reagoimisesta ongelmatilanteisiin. Joidenkin rakennusten osalta ongelmien syyt ja vaikutukset ovat selvinneet liian myöhään, mutta yleisesti vaikuttaa siltä, että rakentamisen laatuun, lämpöoloihin, energiatehokkuuteen ja asumisviihtyvyyteen liittyvät tekijät ovat parantuneet. Energiansäästön ja asumisviihtyvyyden parantamiseksi tarvitaan kehittyneitä järjestelmiä, jotka reagoivat muuttuviin olosuhteisiin. Olisi mielenkiintoista osallistua jatkotutkimuksiin ja kehitystyöhön lämpöolojen hallitsemiseksi ja edistää samalla kestäväää kehitystä.

Lähteet

- 1 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. 545/23.4.2015.
- 2 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/20.12.2017.
- 3 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Ohje 8/2016. Osa 1. Verkkoaineisto. Valvira. <<https://valvira.fi/terveydensuojelu/asumisterveys>>. Luettu 10.3.2024.
- 4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.
- 5 Sisäilman vaikutukset. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-vaikutukset>>. Luettu 10.3.2024
- 6 Huoneilman kosteus. Verkkoaineisto. Hengityслиitto. <<https://www.hengityслиitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-olosuhteet/huoneilman-kosteus/>> Luettu 9.3.2024
- 7 Fysikaaliset tekijät. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Fysikaaliset-tekijat>> Luettu 20.3.2024.
- 8 Kuiva sisäilma talvella. 2022. Verkkoaineisto. Raksystems. <<https://raksystems.fi/ajankohtaista/omainsinoorin-vinkit-sisailman-kosteudenhallintaan-talvella/>>. Luettu 20.3.2024
- 9 Liian kuiva tai kostea sisäilma on haitallinen terveydelle. 2022. Verkkoaineisto. <<https://www.kiinteistolehti.fi/liian-kuiva-tai-kostea-sisailma-on-haitallinen-terveydelle>>. 9.2.2022. Luettu 20.3.2024
- 10 Schaudienst, Falk & Vodgt, Frank U. 2017. Fanger's model of thermal comfort: a model suitable just for men?. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217348051?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1>. Luettu 20.3.2024
- 11 Häggblom, Henna; Hongisto, Valtteri; Haapakangas, Annu & Koskela Hannu. 2011. Lämpötilan vaikutus työsuorittumiseen toimisto-olosuhteissa-laboratoriotutkimus. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos

- <<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/134838/L%C3%A4mp%C3%B6tilan%20vaikutus%20ty%C3%B6suorittamiseen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Luettu 20.3.2024.
- 12 Rintamäki, Hannu; Pääkkönen, Rauno & Koskela, Hannu. 2014. Tavoite-
tasoperustelumisto, Lämpöolot. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos.
<[https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haitta-
tekijoille/tyoympariston-tavoitetasot](https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haitta-
tekijoille/tyoympariston-tavoitetasot)>. Luettu 18.3.2024
 - 13 Ylinen, Janne. Lämpöoppi. Verkkoaineisto. <[https://peda.net/p/janne.yli-
nen/opetus/fysiikka/fys-2/l%C3%A4mp%C3%B6oppi2](https://peda.net/p/janne.yli-
nen/opetus/fysiikka/fys-2/l%C3%A4mp%C3%B6oppi2)>. Luettu 11.3.2024
 - 14 Rakenteiden lämpötekniikka. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys.
<[https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteus-
tekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka](https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteus-
tekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka)>. Luettu 22.3.2024
 - 15 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.
2020. RT-103174. Rakennustieto.
 - 16 Kumottu ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. 2003. Suomen
rakentamismääräyskokoelma C4.
 - 17 Teollisen puurakentamisen opetusmateriaali -aineistot. 2022. Verkkoai-
neisto. Puuinfo. <[https://puuinfo.fi/koulutus/oppimateriaalit/teollisen-puura-
kentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot](https://puuinfo.fi/koulutus/oppimateriaalit/teollisen-puura-
kentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot)>. 13.5.2022. Luettu 10.3.2024.
 - 18 Lämmönsiirto-opin alkeita. 2015. Verkkoaineisto. MyCourses Aalto.
<<https://mycourses.aalto.fi/mod/resource/view.php?id=656401>>. Luettu
22.3.2024.
 - 19 Ontelolaattojen lämpötekniiset ominaisuudet. 2022. Verkkoaineisto. Ele-
menttisuunnittelu. <[https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laa-
tat/ontelolaatat](https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laa-
tat/ontelolaatat)>. Luettu 18.3.2024.
 - 20 Siikanen, Unto. Rakennusten lämpö- ja kosteufysikaalisia näkökohtia.
Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy <[https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/jdownloads/Muut%20julkaisut/Rakentajain%20kalenteri/Rakennus-
ten_lampo_ja_kosteufysikaalisia_ominaisuuksia_-_Siikanen_2012.pdf](https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/jdownloads/Muut%20julkaisut/Rakentajain%20kalenteri/Rakennus-
ten_lampo_ja_kosteufysikaalisia_ominaisuuksia_-_Siikanen_2012.pdf)>.
Luettu 22.2.2024.
 - 21 Tulosten analysointi. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys. <[https://www.sisail-
mayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tut-
kimukset/Tulosten-analysointi](https://www.sisail-
mayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tut-
kimukset/Tulosten-analysointi)>. Luettu 24.3.2024

- 22 Tolvanen, Pauliina. 2024. Pakkanen koettelee puu- ja hirsitaloja. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/74-20073871>>. 9.2.2024 Luettu 24.3.2024
- 23 Selvitys sisälämpötilan vaikutuksesta rakenteiden homehtumisriskiin: Ulkoseinät ja yläpohjat. 2023. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://tilatjaterveys.fi/documents/39510712/92619288/Selvitys+sis%C3%A4l%C3%A4mp%C3%B6tilan+vaikutuksesta+rakenteiden+homehtumisriskiin+-+ulkosein%C3%A4t+ja+yl%C3%A4pohjat.pdf/d1134714-1e9c-3c42-78ac-5ddfa727377e/Selvitys+sis%C3%A4l%C3%A4mp%C3%B6tilan+vaikutuksesta+rakenteiden+homehtumisriskiin+-+ulkosein%C3%A4t+ja+yl%C3%A4pohjat.pdf?t=1673873466766>>. Luettu 23.3.2024.
- 24 Talvi voi vahingoittaa kiinteistöä. 2016. Verkkoaineisto. Kotitalolehti. <<https://www.kotitalolehti.fi/talvi-voi-vahingoittaa-kiinteistoa-varaudu-ongelmiin-ajoissa/>>. 8.1.2016. Luettu 23.3.2024.
- 25 Kastarinen, Henri. Betonin vaurioituminen. 2019. Insinööriyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 26 Suonketo, Jommi & Pentti, Matti. Ongelmia ja luuloja. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus ry. <<https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/ongelmia-ja-luuloja/>>. Luettu 24.3.2024
- 27 Terveysvaikutukset. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Terveysvaikutukset>>. Luettu 9.3.2024
- 28 Pekkanen, Juha; Salmela, Anniina; Hyvärinen, Anne; Karvonen, Anne; Leppänen, Hanna; Vasankari, Tuula; Vuokko, Aki; Wallenius, Kaisa & Hutunen, Kati. 2023. Faktantarkistusta: sisäilma ja terveys. Verkkoaineisto. Duodecim. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo17076>>. Luettu 10.3.2024
- 29 Huoneilman lämpötila. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <<https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-olosuhteet/huoneilman-lampotila/>>. Luettu 20.3.2024
- 30 Lämpötilat, kaikki kiinteistöt. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Metec Oy.
- 31 Vinkkejä taloyhtiöille energiansäästöön. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ ja _asuminen/energiatehokas_taloyhtio/vinkkejä_taloyhtiöille_energiansaastoon>. 17.1.2024. Luettu 25.3.2024
- 32 Hallitse huonelämpötiloja. 2024. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ ja _asuminen/energiatehokas_arki/hallitse_huonelampotiloja>. 18.1.2024. Luettu 25.3.2024

- 33 Sandberg, Esa. 2016. Ilmastointitekniikka osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut
- 34 METEC_asennusohje_M-AN_M-LKA. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Metec Oy.
- 35 Kumottu ympäristöministeriön asetus D2 rakennusten sisäilma ja ilmanvaihto. 2008. Ympäristöministeriö