



# **Lattiaviilennyksen käyttö ja kustannustehokkuus**

Benjamin Jakobsson

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	
Författare:	Benjamin Jakobsson
Arbetets namn:	Användning av golvkyla och kostnadseffektivitet
Handledare (Arcada):	Kim Skön
Experthandledare (Granlund Pohjanmaa Oy):	DI Olli Nissilä
Uppdragsgivare:	Granlund Pohjanmaa Oy
<p><b>Sammandrag:</b></p> <p>Syftet med examensarbetet är att med hjälp av datasimulering undersöka det termiska beteendet av lägenheter i ett bostadshöghus under kylsäsongen (1.6–31.8) utan kylning och med vattenburen golvkylning. Golvkylning är fortfarande en något okänd form av kylning. Datasimuleringen är utförd med simuleringsprogrammet IDA-ICE för att analysera energianvändningen och den termiska komforten för lägenheterna.</p> <p>Enligt simuleringen var temperaturerna i lägenheterna utan kylning mellan ca 26 °C och 32 °C under hela simuleringsperioden. Två olika maximieffekter för golvkylsystemet på 20 W/m<sup>2</sup> och 40 W/m<sup>2</sup> användes i simuleringen. Med båda effekterna uppnåddes de önskade temperaturerna i de simulerade bostäderna, mellan ca 22 °C och 24,5 °C under hela simuleringsperioden. Maximieffekten hade ingen större inverkan på temperaturerna.</p> <p>Baserat på simuleringen visar det sig att golvkylning i detta fall är ett utmärkt alternativ för att minska överhettning i lägenheter och förbättra inneklimatet. Baserat på golvkylningensalternativet för lägenhetsbyggnaden kommer investeringskostnaden per lägenhet att vara cirka 1 200 € när golvkylsystemet delar samma system som golvvärme, och kylenergin produceras som frikyla med hjälp av ett borrhål. Därmed förbrukar golvkylssystemet endast den el cirkulationspumpens förbrukar, vilket håller energiförbrukningen låga.</p> <p>Examensarbetet har genomförts i samarbete med Granlund Pohjanmaa Oy.</p>	
Nyckelord:	Granlund Pohjanmaa Golvkyla Kyla Arcada , IDA-ICE
Sidantal:	46
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	6.5.2022

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och miljöteknik
Identification number:	
Author:	Benjamin Jakobsson
Title:	Use of radiant floor cooling and cost efficiency
Supervisor (Arcada):	Kim Skön
Expert Supervisor (Granlund Pohjanmaa Oy):	DI Olli Nissilä
Commissioned by:	Granlund Pohjanmaa Oy
<p>Abstract:</p> <p>The aim of the thesis is to use a computational simulation to investigate the thermal behaviour of apartments in a residential apartment building during the cooling season (1.6-31.8) without cooling and with radiant floor cooling. Radiant floor cooling is still a slightly unknown form of cooling with certain prejudices, and answers are sought in this work.</p> <p>The simulation has been made using IDA Indoor Climate and Energy simulation software. The software can be used to study the annual and instantaneous temperatures of buildings and energy consumption. Based on the simulation, the temperatures of the apartments in the apartment building without cooling were between ~26 °C and 32 °C throughout the simulation period. Two different maximum effects outputs of 20 W/m<sup>2</sup> and 40 W/m<sup>2</sup> were used in the simulation. At both effects, the temperatures of the simulated apartments remained at the desired level, between about 22 °C and 24.5 °C throughout the simulation period. The different maximum effect did not have a major impact on the apartment temperatures among themselves.</p> <p>Based on the simulation, it turns out that in this case radiant floor cooling is an excellent option to eliminate overheating in apartments and improve living conditions. Based on the floor cooling option made for the apartment building, the investment cost per apartment will be approximately 1,200 € when the floor cooling system shares the same system as floor heating, and the cooling energy is produced as “free cooling” using a thermal well. Floor cooling consumes energy as a cool distribution form only equal to the electricity consumption of the circulator pump, which keeps energy consumption low.</p> <p>The thesis has been carried out in cooperation with Granlund Pohjanmaa Oy</p>	
Keywords:	Arcada, Granlund Pohjanmaa, radiant floor cooling, cooling, IDA-ICE
Number of pages:	46
Language:	Finnish
Date of acceptance:	6.5.2022

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energi- och miljöteknik
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Benjamin Jakobsson
Työn nimi:	Lattiaviilennyksen käyttö ja kustannustehokkuus
Työn ohjaaja (Arcada):	Kim Skön
Työn ohjaaja (Granlund Pohjanmaa Oy):	DI Olli Nissilä
Toimeksiantaja:	Granlund Pohjanmaa Oy
<p><b>Tiivistelmä:</b></p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena on olosuhdesimulointia käyttäen selvittää asuinkerrostalon huoneistojen lämpökäyttäytymistä viilennyskaudella (1.6-31.8) ilman viilennystä ja vesikiertoisen lattiaviilennyksen kanssa. Lattiaviilennys on vielä hieman tuntematon viilennysmuoto, johon liittyy tiettyjä ennakkoluuloja, näihin haetaan tässä työssä vastauksia.</p> <p>Olosuhdesimulointi on toteutettu IDA Indoor Climate and Energy simulointiohjelmaa käyttäen. Ohjelmistolla voidaan tutkia rakennusten vuotuisia ja hetkellisiä lämpötiloja sekä energiankulutusta.</p> <p>Simuloinnin perusteella kerrostalon huoneistojen lämpötilat ilman viilennystä olivat koko simulointiajanjakson ~ 26-32 °C:een välillä. Simuloinnissa käytettiin kahta eri lattiaviilennyksen maksimitehoa 20 W/m<sup>2</sup> ja 40 W/m<sup>2</sup>. Molemmilla tehoilla pysyivät simuloitujen asuntojen lämpötilat halutulla tasolla, noin 22-24,5 °C:een välillä koko simulointiajanjakson aikana. Eri maksimiteholla ei ollut suurta vaikutusta huoneistolämpötiloihin keskenään.</p> <p>Simuloinnin pohjalta käy ilmi, että tässä tapauksessa lattiaviilennys on erinomainen vaihtoehto poistamaan huoneistojen yllämpöä ja parantamaan asuinoloja. Kerrostalolle tehdyn lattiaviilennysoption pohjalta, asuntokohtaiseksi investointikustannukseksi tulee noin 1200 € kun lattiaviilennysjärjestelmä jakaa samaa järjestelmää lattialämmityksen kanssa, ja jäähdytysenergia tuotetaan vapaajäähdytyksenä käyttäen porakaivoa. Lattiaviilennys kuluttaa energiaa viileänjakomuotona ainoastaan kiertovesipumpun sähkönkulutuksen verran, jonka ansiosta energian kulutus pysyy alhaisena.</p> <p>Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Granlund Pohjanmaa Oy:n kanssa.</p>	
Avainsanat:	Arcada, Granlund Pohjanmaa, Lattiaviilennys, jäähdytys IDA-ICE
Sivumäärä:	46
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	6.5.2022

# SISÄLLYS

<b>Kuvat.....</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Jäähdytystarve.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Sisäilmasto.....</b>	<b>10</b>
3.1 Lämpöviihtyvyys .....	10
3.1.1 Ilmankosteus.....	10
3.1.2 Ilman lämpötila ja operatiivinen lämpötila.....	13
3.1.3 Lattian pintalämpötila .....	14
3.1.4 Pystysuora lämpötilajakautuminen .....	16
3.2 Lämmönsiirto .....	16
3.2.1 Säteily.....	16
3.2.2 Konvektio.....	17
3.2.3 Johtuminen .....	17
<b>4 Lattiaviilennyksen toimintaperiaate .....</b>	<b>18</b>
4.1 Säätojärjestelmä.....	19
4.2 Vaihtokytkentä .....	19
4.3 Lattiaviilennysteho .....	20
<b>5 Olosuhdeimulointi .....</b>	<b>21</b>
5.1 IDA-ICE .....	21
5.2 Kohde.....	21
5.2.1 Huoneisto 08.....	22
5.2.2 Huoneisto 18.....	22
5.2.3 Huoneisto 21.....	23
5.3 Rakenteet .....	24
<b>6 Simulointi .....</b>	<b>25</b>
6.1 Simulointi ilman viilennystä .....	25
6.2 Simulointi lattiaviilennyksellä .....	27
6.3 Huoneisto 08:n olosuhdesimulointi .....	27
<b>7 Lattiaviilennyksen kustannukset.....</b>	<b>30</b>
<b>8 Yhteenveto .....</b>	<b>31</b>
<b>9 Sammanfattning.....</b>	<b>33</b>

9.1	Avgränsning .....	33
9.2	Funktionsprincip.....	33
9.3	Simulering .....	35
9.4	Resultat .....	35
9.5	Slutsats .....	36
<b>Lähteet.....</b>		<b>38</b>
<b>Liitteet.....</b>		<b>39</b>
Liite 1: Huoneisto 18.....		39
Liite 2: Huoneisto 21.....		42
Liite 3: Huoneistojen tulokset 100 W/m <sup>2</sup> .....		45

## KUVAT

Kuva 1. Lämpöviihtyvyyden kuvaaja, suhteellisen kosteuden ja lämpötilan avulla [5].	11
Kuva 2. Kostean ilman h-x-diagrammi [5].	12
Kuva 3. Lämpöolosuhteiden tavoitearvot (Sisäilmaluokitus 2018).....	14
Kuva 4. Lattian pintalämpötilan ja lämpöoloihin tyytymättömien suhde [9].	16
Kuva 5. Lattialämmityspiirin havainnekuva [8].	18
Kuva 6. Lattialämmityksen ja -jäähdytyksen periaatekaavio [8].	19
Kuva 7. Esimerkki vaihtokytkeä [9].	20
Kuva 8. Huoneisto 08 havainnekuva.	22
Kuva 9. Huoneisto 18 havainnekuva.	23
Kuva 10. Huoneisto 21 havainnekuva.	23
Kuva 11. Viilennyskauden huoneistolämpötilat ilman jäähdytystä.....	26
Kuva 12. Simuloinnin tulokset huoneisto 08 (20 W/m <sup>2</sup> ).	28
Kuva 13. Simuloinnin tulokset huoneisto 08 (40 W/m <sup>2</sup> ).	29
Kuva 14. Yhteenveto huoneisto 18 (20 W/m <sup>2</sup> ).	39
Kuva 15. Simuloinnin tulokset huoneisto 18 (40 W/m <sup>2</sup> ).	40
Kuva 16. Simuloinnin tulokset huoneisto 21 (20 W/m <sup>2</sup> ).	42
Kuva 17. Simuloinnin tulokset huoneisto 21 (40 W/m <sup>2</sup> ).	43

## Taulukot

Taulukko 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot. Tummennetut alueet kuvaavat tavoitearvoaluetta, tavoitelämpötilaa ja lämpötilan sallittua vaihteluväliä (Sisäilmaluokitus 2018) .....	14
Taulukko 2 Lattialämmityksen ja viilennyksen suositus-, vähimmäis- ja enimmäisarvot (Uponor) .....	25
Taulukko 3. Keskimääräiset lämpötilat ilman viilennystä, huoneisto 21. ....	26
Taulukko 4. Keskimääräiset lämpötilat ilman viilennystä, huoneisto 18. ....	26
Taulukko 5. Keskimääräiset lämpötilat ilman viilennystä, huoneisto 08. ....	26
Taulukko 6. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 08 (20 W/m <sup>2</sup> ).....	28
Taulukko 7. Keskimääräiset lattiaviilennystehot, huoneisto 08 (20 W/m <sup>2</sup> ).....	28
Taulukko 8. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 08 (40 W/m <sup>2</sup> ).....	29
Taulukko 9. Keskimääräiset lattiaviilennystehot, huoneisto 08 (40 W/m <sup>2</sup> ).....	29
Taulukko 10. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 18 (20 W/m <sup>2</sup> ).....	39
Taulukko 11. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 18 (20 W/m <sup>2</sup> ).....	39
Taulukko 12. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 18 (40 W/m <sup>2</sup> ).....	41
Taulukko 13. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 18 (40 W/m <sup>2</sup> ).....	41
Taulukko 14. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 21 (20 W/m <sup>2</sup> ).....	42
Taulukko 15. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 21 (20 W/m <sup>2</sup> ).....	43
Taulukko 16. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 21 (40 W/m <sup>2</sup> ).....	44
Taulukko 17. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 21 (40 W/m <sup>2</sup> ).....	44

# 1 JOHDANTO

Vesikiertoinen lattiaviilennys on asuinkerrostaloissa vielä suhteellisen uusi ja vähemmän tunnettu ratkaisu, mistä syystä tietoa aiheesta on hyvin rajallisesti löydettävissä. Teoriassa lattiaviilennys vaikuttaa hyvältä ratkaisulta mutta herättää silti usein epäilystä asuinmukavuuden ja viilennystehokkuuden näkökulmasta. Työn tarkoituksena on selvittää olosuhdesimulaatiota apuna käyttäen, miten lattiaviilennys vaikuttaa asuinmukavuuteen sekä minkälainen ratkaisu lattiaviilennys on taloteknisesti ja kustannusnäkökulmasta. Työn on tarkoitus helpottaa suunnittelijoita, rakennuttajia, sekä tilaajia hahmottamaan minkälaisesta ratkaisusta on kyse sekä minkälaiset mahdollisuudet ja rajoitteet järjestelmässä on.

Työ on rajattu pääsääntöisesti asuinkerrostaloja silmällä pitäen. Toki samat periaatteet pätevät kaikissa vesikiertoisissa lattiaviilennyskohteissa. Rajauksen syynä on suuri määrä muuttujia, joilla voi olla merkittäviä vaikutuksia lopputulokseen. Esimerkiksi teollisuustuotantohallin vaatimukset viilennykselle vaihtelevat tapauskohtaisesti, mutta asuintilat noudattavat määräyksissä asetettuja raja-arvoja asumisolosuhteille. Asuintiloissa lähtökohdat ja tavoitearvot ovat samankaltaiset kohteesta riippumatta.

Työhön on valittu nykymääräykset täyttävä, 6. kerroksinen uudiskerrostalo. Kerrostalosta on valittu kolme eri kokoista huoneistoa simulointia varten. Simuloiduissa huoneistoissa on 1-3 ulkoseinää ja ne ovat sijainniltaan eri ilmansuunnissa. Huoneistot on valittu siten että saadaan mahdollisimman erityyppisiä huoneistoja samasta rakennuksesta monipuolisuuden kannalta.

## 2 JÄÄHDYTYSTARVE

Ilmastonmuutoksen aiheuttaman maapallon lämpenemisen takia myös kiinteistöjen jäähdytystarve on lisääntynyt ja tulee lisääntymään entisestään tulevaisuudessa. Entistä energiatehokkaammat talot vähentävät lämmitystehontarvetta mutta samalla jäähdytystarve lisääntyy. Sisälämpötilat on pidettävä määräysten mukaisissa lämpötiloissa, jotta voidaan taata oikeanlaiset asuinolosuhteet. Liian korkeat tilalämpötilat ovat merkittävä riskitekijä ja aiheuttavat terveyshaittoja erityisesti riskiryhmille. [1]

Vanhentuneen D3 laskentaoppaan mukaan ”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti”. Tilojen yllilämpenemisen estämiseksi käytetään ensisijaisesti rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa. Rakenteellisilla ja passiivisella keinolla tarkoitetaan esimerkiksi aurinkosuojausratkaisuja, lasipintojen kokoa ja ilmansuuntausta sekä rakennuksen muotoa. [2] Ympäristöministeriön asetuksessa, uuden asuinrakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta, on määrätty huonelämpötilan lämmityskauden ulkopuolella (1.6-31.8) 20–27 °C. Kesäkaudella käytetään yleensä oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvoa 23 °C. [3]

### 3 SISÄILMASTO

Ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin vaikuttavat erilaiset fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, jotka sisältyvät käsitteeseen sisäilmasto. Sisäilmastoa kutsutaan nykyään myös sisäympäristöksi, jossa huomioidaan lämpöolojen sekä ilmanlaadun lisäksi valaistusolosuhteet ja akustiset olosuhteet. LVI-laitteistojen päätehtävänä on luoda sisäilmasto, joka soveltuu toteutettaviin toimintoihin eikä vaaranna käyttäjien terveyttä tai hyvinvointia. Lisäksi LVI-tekniikan järjestelmän on kyettävä pitämään sisäilmasto kohtuullisen vakiona riippumatta ulkolämpötilanvaihteluista. Sisäilmasto on yleinen termi, jota käytetään hieman eri merkityksillä eri yhteyksissä. Tässä työssä sisäilmasto määritellään ihmisympäristöksi, teknisten laitteistojen vaikutuksen alla. Eri ihmiset kokevat ympäristön eri tavoin riippuen, vaatetuksesta, aktiivisuudesta, iästä, sukupuolesta ja niin edelleen. [4]

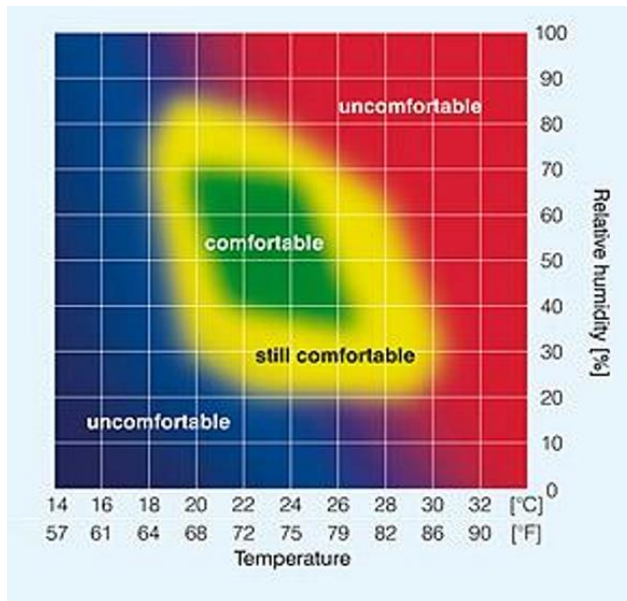
#### 3.1 Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyydellä määritellään olosuhdetta, jossa henkilö on tyytyväinen lämpötilaan eikä toivo lämpimämpää tai viileämpää ilmastoa. Yksilöllisten eroavaisuuksien vuoksi on mahdotonta määritellä lämpöilmastoa, joka tyydyttäisi kaikkia samanaikaisesti siitä huolimatta vaikka kaikilla olisi samanlainen vaatetus ja aktiivisuustaso. Sisäilmaston kokemiseen vaikuttaa perinteisesti kuusi erinäistä sisäilmastotekijää, joista kaksi ovat henkilöistä riippuvia, pukeutuminen ja aktiivisuustaso. Neljä muuta riippuvat ympäristöstä: ilman kosteus ja -lämpötila, ympäröivien pintojen lämpötila, sekä ilman liikenopeus. Näiden lisäksi yksi olennainen tähän työhön liittyvä tekijä on pystysuora lämpötilajakauma. [4].

##### 3.1.1 Ilmankosteus

Ilmankosteudella tarkoitetaan vesihöyryn määrää ilmassa toisin sanoen kosteutta. Ilman sisältämän vesihöyryn vaikutus korostuu mukavuudessa erityisen korkeissa ja kosteissa lämpöoloissa. Normaleissa sisälämpöoloissa ilman kosteudella ei ole merkittävää haitallista vaikutusta ennen kuin lämpötila ja kosteus ovat samanaikaisesti matalat tai

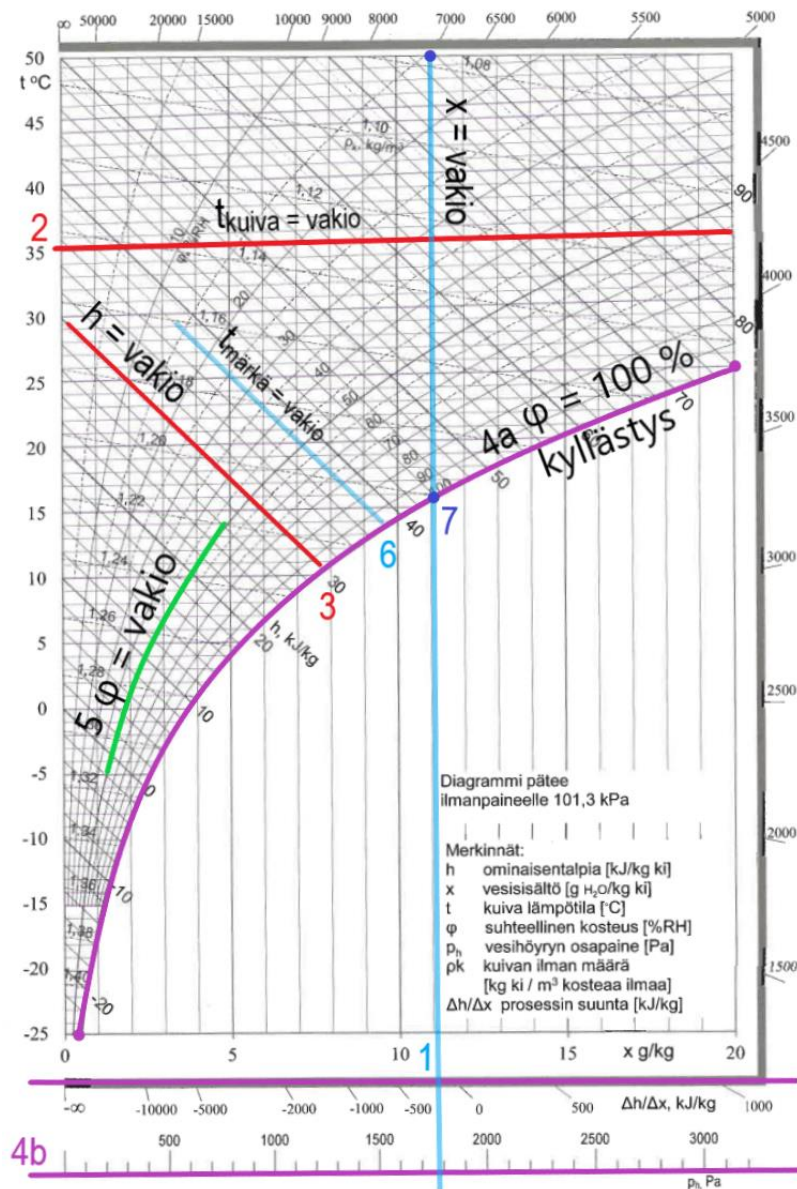
korkeat. Kuvassa 3 voidaan nähdä kuinka lämpötilan (Temperature) ja suhteellisen kosteuden (Relative humidity) yhteisvaikutus vaikuttavat viihtyvyyteen.



Kuva 1. Lämpöviihtyvyyden kuvaaja, suhteellisen kosteuden ja lämpötilan avulla [5].

Suhteellinen kosteus [%RH] kertoo kuinka paljon ilma sisältää vettä suhteessa siihen, kuinka paljon se voi sisältää vallitsevassa lämpötilassa. Kun ilman suhteellinen kosteus laskee liian matalaksi, kuivuvat iho ja limakalvot, materiaalit sähköistyvät staattisesti sekä pöly irtaoo helpommin. Sen sijaan liian korkea suhteellinen kosteus lisää riskiä kosteusvaurioihin ja kosteuden tiivistymiseen pintoihin ja rakenteisiin. Korkea suhteellinen kosteus edistää sienien, mikrobien ja pölypunkkien sekä rakenteiden emissioiden kasvua. Normaaleissa sisäilmaolosuhteissa ei suhteellisella ilmakeudella ole merkittävää vaikutusta viihtyvyyteen, ainoastaan ääripäissä ilman ollessa todella kuivaa tai kostea. Suurempi riski syntyy, jos pintojen ja ilman välinen lämpötilaero on suuri, jolloin kostealla ilmalla on suurempi riski kondensoitua viileämpiin pintoihin. [5]

Lämpö- ja jäähdytyslaskelmien apuna käytetään yleensä niin sanottua  $ix/hx$ -piirrosta tai toisella nimellä Mollier-diagrammia.  $H$ - $x$ -piirros helpottaa havainnoimaan kostean ilman ominaisuuksia. Diagrammin avulla voidaan esimerkiksi määrittää vesimäärä, joka tarvitaan halutun jäähdytystehon tai kosteuspitoisuuden saavuttamiseksi. [5]



Kuva 2. Kosteaa ilman  $h$ - $x$ -diagrammi [5].

- 1) Vaaka-asteikolla on ilman absoluuttinen kosteus  $x$  [g/kg], [g<sub>H2O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>], joka ilmoittaa vesihöyryn määrän kuivaa ilmakiloa kohden.
- 2) Pystyasteikolla on ilman kuiva lämpötila  $t_{kuiva}$ , joka on tavallisen lämpömittarin osoittama lämpötila [°C].
- 3) Veno-asteikolla on ilman lämpösisältö eli ominaisentalpia  $h$  [kJ/kg]
- 4) Eksponentiaalisella käyrällä 4a on vesihöyryn kyllästyspaine  $P_{hs}$  [Pa]. Kuivalämpötilaa vastaavan kyllästyspaineen saa luettua  $x$ -akselin 4b alapuolella olevalta vesihöyryn osapaineen  $P_h$  [Pa] asteikolta ja kyllästyspainetta vastaavan absoluuttisen kosteuden  $x$ -akselilta.

- 5) Suhteellinen kosteus  $\phi$  [%]. Suhteellinen kosteus on todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa.
- 6) Ilman kastepistelämpötila  $t_{\text{kaste}}$  [°C], Ilman kastepistelämpötilalle tarkoitetaan tilaa, jossa ilmaa jäähdytetessä, ilman vesihöyry alkaa muuttua nesteeksi.
- 7) Ilma märkälämpötila on lämpötila, jossa rajallinen määrä nestettä ja suuri määrä kaasua ovat tasapainossa adiabaattisissa olosuhteissa. Ilman märkälämpötila saadaan piirrokselta siirtymällä ilman tilasta sinisen viivan suuntaisesti kyllästyskäyrälle. Ilman märkälämpötila saadaan psykometrillä jolla mitataan ilman kosteutta.[5]

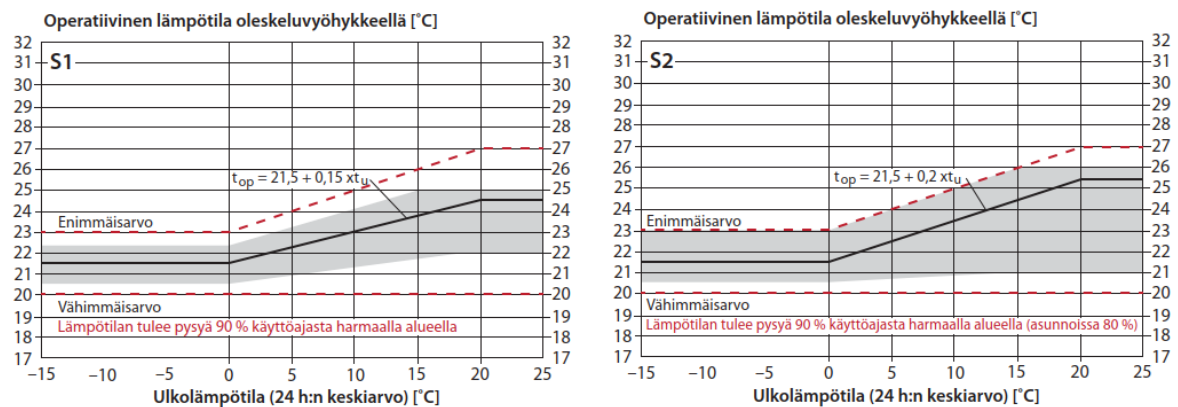
### 3.1.2 Ilman lämpötila ja operatiivinen lämpötila

Ilman lämpötilaa pidetään yleisesti lämpöviihtyvyyden mittarina. Ilman lämpötilassa ei kuitenkaan huomioida lämpösäteilyä tai ilman liikenopeutta lainkaan, ilman lämpötila voi olla korkea mutta silti tuntua viileämmältä suurten pintojen lämmönsäteilyn vuoksi. Tavallisella lämpömittarilla on haastavaa saada tarkkaa huonelämpötilaa koska ympäröivien pintojen lämpötilaerot ja lämpösäteily vaikuttaa huonelämpötilan mittaamiseen. Ilmanlämpötilasta ja lämpösäteilyn yhteisvaikutuksesta ihmisten ja ympäröivien pintojen välillä käytetään termiä operatiivinen lämpötila. Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan huoneilman lämpötilan ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Mitä kylmempi ja lähempänä kylmä pinta on, sitä suurempi on sen vaikutus keskimääräiseen säteilylämpötilaan. Operatiivinen lämpötila kuvaa paremmin lämpötilaviihtyvyyttä kuin ainoastaan ilmanlämpötilaa. Tästä syystä yleisesti käytetään operatiivista lämpötilaa kuvaamaan viihtyvyyttä. [4] Taulukosta 1 ja 2 voidaan nähdä eri sisäilmastoluokitusten mukaiset lämpöolosuhteiden tavoitearvot.

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 <sup>1)</sup>	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ <sup>1)</sup>	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 <sup>1)</sup>	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$22,5 + 0,166 \times t_u$	$23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$20,5 + 0,075 \times t_u$	$20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$23 + 0,2 \times t_u$	$23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) <sup>2)</sup>
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) <sup>2)</sup>
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	20 (18) <sup>2)</sup>
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

Kuva 3. Lämpöolosuhteiden tavoitearvot (Sisäilmaluokitus 2018).

Taulukko 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot. Tummennetut alueet kuvaavat tavoitearvoaluetta, tavoitelämpötilaa ja lämpötilan sallittua vaihteluväliä (Sisäilmaluokitus 2018)



### 3.1.3 Lattian pintalämpötila

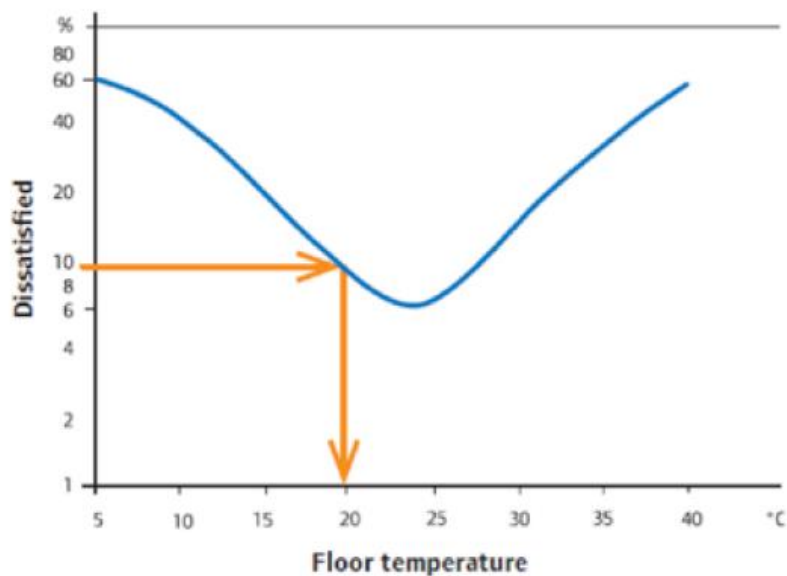
Kun ympäristön lämpötila laskee, ihmisen lämpötilan säätely reagoi ensin antamalla käsien ja jalkojen jäähtyä. Kylmät jalat ja kädet ovat merkki epätasapainosta kehon lämmönhallintajärjestelmässä. Normaalisti ongelmia ei esiinny lattialämpötilan pysyessä 20-

24 °C:ssa. [4]. Lattian pintalämpötila on yksi lattiaviilennyksen suurimmista rajoittavista tekijöistä mukavuuden ja tehontarpeen kannalta. Lattian pintamateriaalin lämmönjohtavuus, tiheys ja ominaislämpökapasiteetti vaikuttavat viihtyvyyden kannalta optimaaliseen pintalämpötilaan. Esimerkkinä voidaan käyttää kylpyhuoneiden kaakeleita, joilla on suuri lämmönjohtavuus verrattuna esimerkiksi kuivien tilojen parketti- tai laminaattilattiaan. Samalla pintalämpötilalla eri materiaaleilla voi olla merkittäviä eroja viihtyvyyden kannalta. Taulukosta 3. nähdään, miten eri lattianpintamateriaalit koetaan, jotta tyytymättömien osuus olisi alle 15% erilaisilla lattianpäällysteille. [8]

*Taulukko 3. Lattian pintamateriaalien vaikutus viihtyvyyteen (Seppänen 2001).*

<i>Lattian pintamateriaali (betonilaatta)</i>	<i>Optimaalinen pintalämpötila °C</i>	<i>Pintalämpötilan vaihteluväli °C</i>
Puu	25,5	23 - 28
Betoni	27	26 - 28,5
Kokolattiamatto	24,5	21 - 28
Huopamatto	25	22 - 28
Korkki, 5 mm paksu	26	23 - 28
PVC-matto, 2 mm	27	25,5 - 28
Keraaminen laatta, 5 mm	27,5	26,5 - 28
Linoleumimatto, 2,5 mm	27	26 - 28,5

Kuvaaja 4. osoittaa lattian pintalämpötilan ja lämpöoloihin tyytymättömien välisen suhteen. Kuvaajasta voidaan nähdä, että pintalämpötilan ollessa 20 °C, jota pidetään lattiaviilennyksen lattian minimi pintalämpötilana, tyytymättömien osuus on 10 %. Erona optimilämpötilaan, joka on noin 24 °C, joissa tyytymättömiä on 6 %, 4 % erotus ei juurikaan vaikuta merkittävästi mukavuuteen isossa kuvassa. [9]



Kuva 4. Lattian pintalämpötilan ja lämpöoloihin tyytymättömyyden suhde [9].

### 3.1.4 Pystysuora lämpötilajakautuminen

Pystysuuntaisella lämpötilaeroilla voi olla kielteinen vaikutus viihtyvyyteen. Lämpötilaeron ollessa nilkkojen ja pään välillä 3 °C tai yli, koetaan lämpötilaero epämiellyttäväksi. Pystysuoran lämpötilaeron ollessa 3 °C tai korkeampi ylittää tilojen yläosan lämpötilat yleensä myös lämpömukavuuden raja-arvot koska lämpötila nousee liialliseksi tilojen yläosissa. On siis hyvä rajoittaa lämpötilaero 0,1 ja 1,8 metrin välillä kahteen asteeseen (2 °C) tai pienempään. [7]

## 3.2 Lämmönsiirto

Lämpö siirtyy aina korkeammasta matalampaan lämpötilaan, lämpötilat pyrkivät aina tasottumaan yhtä suuriksi. Lämpö siirtyy kolmella eri tavalla, Säteily, konvektio ja johtuminen, jotka ovat selitetty tarkemmin alla. [10]

### 3.2.1 Säteily

Lämpösäteilyllä tarkoitetaan energian tai hiukkasten siirtymistä säteilyn lähteestä ympäristöön tai kohteeseen ilman väliainetta. Esimerkkinä aurinko lämmittää huoneistojen lattiapintaa, joka nostaa lattian pintalämpötilaa. Vastakohtana auton tuulilasi saattaa jäätyä

siitä huolimatta, että ulkoilman lämpötila on yli 0 °C, auton tuulilasista säteilee lämpöä avaruuteen ja kosteus tiivistyy ja jäätyy tuulilasin pintaan. [10]

### **3.2.2 Konvektio**

Konvektiolla tarkoitetaan lämmön siirtymistä nesteessä tai kaasussa lämmön aiheuttaman virtauksen mukana. Virtaus perustuu lämpötilaerojen aiheuttamaan tiheyseron. Kuuma harvempi aine nousee ylöspäin, jolloin kylmempi aine vajoaa alaspäin. Kylmäteknikassa tärkein lämmönsiirtotapa on pakotettu konvektio. Pakotetussa konvektiossa aineen virtaus saadaan aikaiseksi esimerkiksi pumpulla. Esimerkkinä juuri lattiaviilennyksen jäähdytysperiaate perustuu pakotettuun konvektioon. Lattiapiireissä oleva neste sitoo tiloista lämpöenergiaa itseensä ja neste ohjataan pois rakennuksesta kiertovesipumpun avulla, jonka myötä sisälämpötilaa saadaan laskettua. [10]

### **3.2.3 Johtuminen**

Lämmönjohtumisella tarkoitetaan lämmön siirtymistä aineen sisällä tai aineesta toiseen. Esimerkkinä voidaan käyttää rakennuksen ulkoseinää, jolla pyritään estämään talvella lämpimän sisäilman johtumista seinärakenteista ulos mahdollisimman tehokkaasti. Jokaisella materiaalilla on oma ominainen lämmönjohtavuusluku,  $\lambda$  (Lambda). Mitä pienempi luku on, sitä huonommin se johtaa lämpöä. [10]

## 4 LATTIAVIILENNYKSEN TOIMINTAPERIAATE

Lattiaviilennys toimii vastaavalla periaatteella kuin vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä, mutta lämmityksen sijaan järjestelmää käytetään viilentämiseen. Lämmityskaudella lattiapiireihin ohjataan lämmintä vettä tilojen lämmitykseen ja viilennyskaudella piireissä lämpimänveden sijaan käytetään viileämpää vettä. Viileä vesi sitoo itseensä tilan yllilämpöä ja ohjaa lämpöenergian veden avulla tilasta pois. Näin ollen tilan lämpötila laskee. [10]

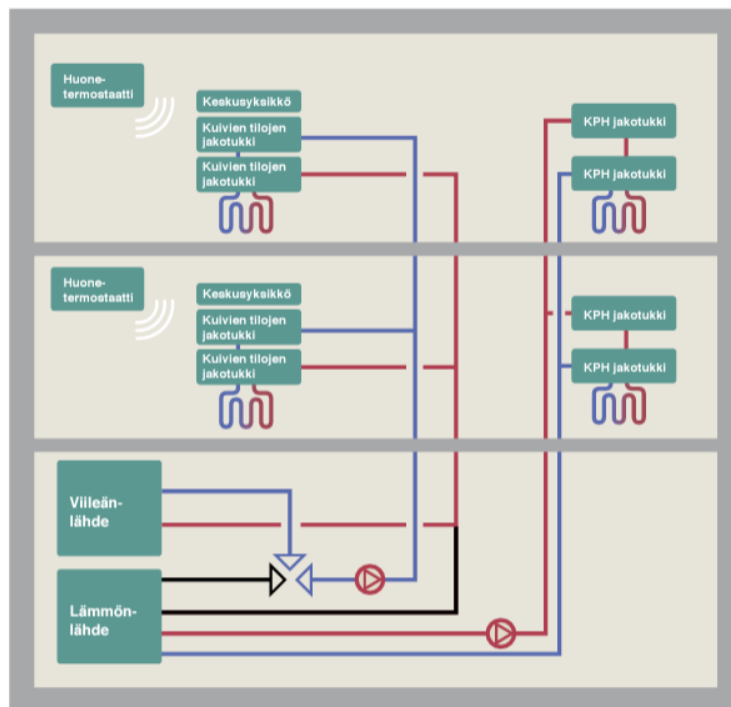
Lattiaviilennys soveltuu käytettäväksi niin uudisrakentamisessa kuin korjausrakentamisessa. Erityisesti matalaenergiarakennukset ovat herkkiä yllilämpenemiselle tiiveyden ja tehokkaiden eristeiden takia. Kohteissa, joissa entuudestaan löytyy vesikiertoinen lattialämmitys, on viilennyksen lisääminen yleensä mahdollista myös jälkeinpäin. Viileän lähteenä paikasta ja tilanteesta riippuen voidaan käyttää esimerkiksi samaa maalämpökaivoa, jota käytetään lämmittämiseen. Alueellisesti voidaan käyttää saatavuuden mukaan kaukokylmää. On myös mahdollista maalämpökaivoa tai esimerkiksi vesistöä hyödyntäen saavuttaa niin sanottua vapaajäähdytystä. [9] Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan, että jäähdytystarve saavutetaan maksamatta kylmästä mitään, eli jäähdytysjärjestelmän käyttämää kylmäainetta voidaan jäähdyttää suoraan jäähdytyslähteestä. Tällöin kylmää ei tarvitse tuottaa muulla tavoin, jolloin säästyy energiaa. [4]



Kuva 5. Lattialämmityspiirin havainnekuva [8].

## 4.1 Säästöjärjestelmä

Säästöjärjestelmä toteutetaan tavallisesti joko talokohtaisella tai huonekohtaisella ohjauksella. Lattialämmitys- ja viilennys järjestelmää ohjataan tavallisesti huoneistokohtaisilla, termostaateilla. Huonekohtaiset termostaatit mahdollistavat huonekohtaisen lämpötilan säädön edellyttäen, että tilassa on oma lattiapiiri. Lattiaviilennysjärjestelmä vaatii termostaatin lisäksi kastepisteohjauksen, joka toteutetaan kosteusmittausantureilla. Antureilla pidetään huoli, että kastepistelämpötilaa ei aliteta lattiapinnassa, eli pidetään huoneilma aina vähintään asteen kastepistettä korkeammalla. Tämä ehkäisee ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymästä lattian pintaan. Kylpyhuone tulee aina toteuttaa omalla järjestelmällä, jotta myös viilennyskaudella voidaan lyhentää lattian kuivumisaikaa suihkunkäytön jälkeen. Kylpyhuone voidaan toteuttaa, samalla vesikiertoisella järjestelmällä omalla piirillä tai vaihtoehtoisesti sähköisellä lattialämmityksellä. [9]

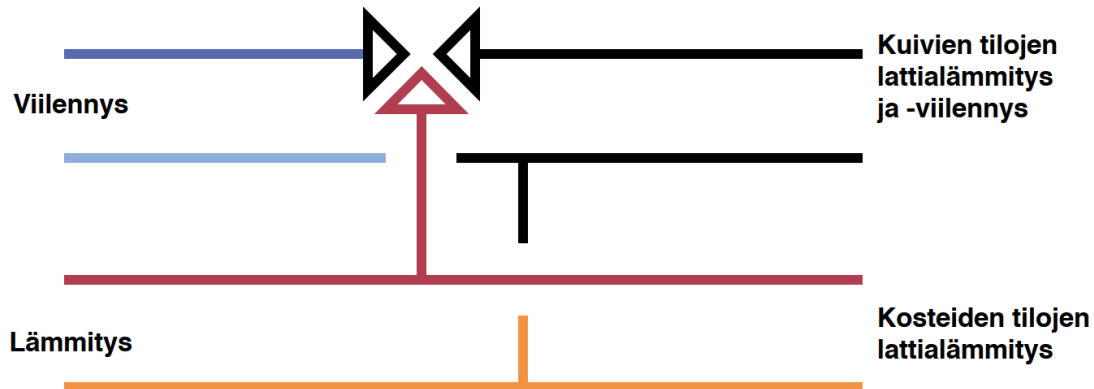


Kuva 6. Lattialämmityksen ja -jäähdytyksen periaatekaavio [8].

## 4.2 Vaihtokytkentä

Lattialämmityksen ja viilennyksen välinen vaihtokytkentä tehdään tavallisesti hieman valmistajasta ja kohteesta riippuen joko 3- tai 6-tieventtiilillä kohteen teknisessä

tilassa.[11] Venttiilillä ohjataan käytön mukaan joko lämmintä tai viileää vettä järjestelmään. Lämmityksen ja viilennyksen välinen vaihtokytkentä on mahdollista halutessa toteuttaa kerros, ilmansuuta- tai asuntokohtaisesti. Vaihtokytkentää ohjataan tavallisesti manuaalisesti päivämäärä, tai sisä- tai ulkolämpötilojen mukaan. Siirto lämmitystilasta viilennykseen tapahtuu esimerkiksi kytkimellä tai ohjelmallisesti. [9]



Kuva 7. Esimerkki vaihtokytkentä [9].

### 4.3 Lattiaviilennysteho

Lattiaviilennyksen tehontarpeen määrittäminen on haastavampaa kuin lämmitystarpeen määrittäminen, Lämmitysteho on käytännössä suoraan verrannollinen huone- ja lattiapintalämpötilaerojen väliseen eroon, sama pätee myös viilennyksessä, mutta lisäksi huoneistoon sisälle tulevan auringonsäteilyn tuoma lisäteho on hyvinkin merkittävä, jopa  $100 \text{ W/m}^2$ , joka hankaloittaa tehontarpeen laskemista merkittävästi. Lattiaviilennys suunnitellaan yleensä lattialämmityksen ehdoilla. Tarvittava viilennyksen tehostus tehdään asentamalla lattiaputket tiheimmällä jaolla, sen sijaan että menoveden lämpötilaa alennettaisiin. Lattiaviilennyksen menoveden asetusarvo tulee tilanteesta riippumatta aina olla  $16^\circ\text{C}$  tai yli jotta vältetään kondensoitumiselta. Koska menoveden lämpötila ja virtaama ovat melko vakioita on yleensä tarpeetonta laskea erikseen viilennystehoa järjestelmälle. Halutessa jäähdytystarve ja saavutettava teho lasketaan olosuhdesimulointia apua käyttäen. Lattiaviilennystehokkuuteen vaikuttavat lattianpintamateriaali, ilmansuunta, ikkunoiden määrä, lämpötilaerot, menovedenlämpötila, virtaus, putkien asennusväli ja syvyys. Lämpötilaerojen mahdollistamana viilennystehona pidetään yleensä  $7 \text{ W/m}^2$  per  $1^\circ\text{C}$ . Tämä tarkoittaa, että mitä suurempi lämpötilaero lattian ja huoneilman välillä on, sitä suurempi on viilennysteho. [9]

## 5 OLOSUHDEIMULOINTI

Työssä vertaillaan asuinkerrostalon lämpökäyttäytymistä lattiaviilennyksen kanssa jäähdytyskauden aikana. Lämpöoloja simuloidaan IDA-ICE olosuhdesimulointiohjelmistolla. Simuloinnissa huomioidaan ympäristö sekä kohteen rakenteellisia ja paikallisia ominaisuuksia. Tavoitteena on selvittää lattiaviilennyksellä saavutettava sisäilmasto. Simuloinneissa ei ole huomioitu, että tiloja tuuletettaisi muuten kuin normaalilla koneellisella ilmanvaihdoilla. Ikkunoissa ei ole käytetty auringonsuojauksia. Kylpyhuoneiden lattiapinta-alaa ei ole huomioitu laskennoissa muuta kuin että viilennysalue ei ulotu kylpyhuoneisiin.

### 5.1 IDA-ICE

IDA Indoor Climate and Energy eli IDA-ICE on moniväyhykemallintamisen simulointiohjelma. Ohjelmistolla voidaan tutkia rakennusten vuotuisia sekä hetkellisiä lämpötiloja sekä energiankulutusta. IDA ICE kykenee käsittelemään suuren määrän yksityiskohtia, kuten paikalliset säätiedot, tuuliprofiilin, rakenteet, ikkunat, kohteen varjostukset ja suunnauksen, valaistuksen, käyttäjät, läsnäolo aikataulut, LVI-laitteet ja niin edelleen. [12]

### 5.2 Kohde

Esimerkkikohteena simuloinnissa on käytetty nykyaikaista 6-kerroksista asuinkerrostaloa. Asuinkerrostalossa on yhteensä 50 asuntoa, joiden koot vaihtelevat ~30-92,5 m<sup>2</sup> välillä. Simuloidut huoneistot ovat eri kokoisia ja eri ilmansuunnissa. Kaikki huoneistot ovat asetusarvoiltaan identtisiä. Sisäiset lämpökuormat, kuten valaistus ja laitteet ovat suhteutettu asuntojen kokoon ympäristöministeriön asetusarvojen mukaan. Simulointiajanjakso on tehty jäähdytyskaudelle (1.6.2022-31.8.2022). Simulointiolosuhteina käytössä on IDA-ICE-ohjelmassa olevat ASHRAE:n Vaasan sääolosuhteet. Kohteen viileänlähteenä käytetään maalämpökaivoja.

### 5.2.1 Huoneisto 08

Huoneiston lattiapinta ala: 92,5 m<sup>2</sup> (Viilennyspinta-ala: 79 m<sup>2</sup>)

Ilmanvaihto: 0,5 l/s/m<sup>2</sup>

Valaistus: 7,82 W/m<sup>2</sup>

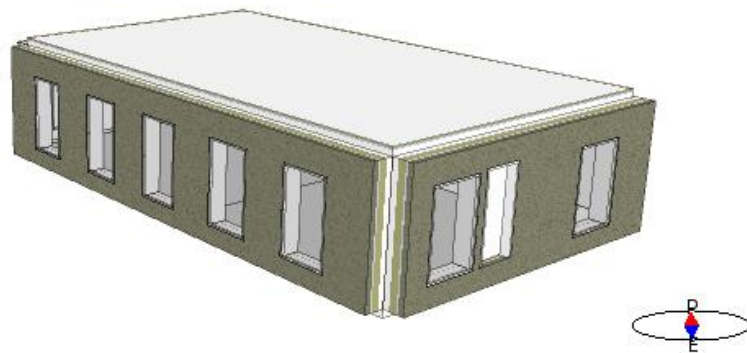
Laitteet: 3,477 W/m<sup>2</sup>

Lattiaviilennyksen menoveden lämpötila: 16 °C

Lattiaviilennyksen paluuveden lämpötilaero: 3...5 °C

Ulkoseinien lukumäärä: 3 (pitkä sivu lounaaseen)

Kerros 4/6



Kuva 8. Huoneisto 08 havainnekuva.

### 5.2.2 Huoneisto 18

Pinta ala: 30,5 m<sup>2</sup> (Viilennyspinta-ala: 27 m<sup>2</sup>)

Ilmanvaihto: 0,5 l/s/m<sup>2</sup>

Valaistus: 8,776 W/m<sup>2</sup>

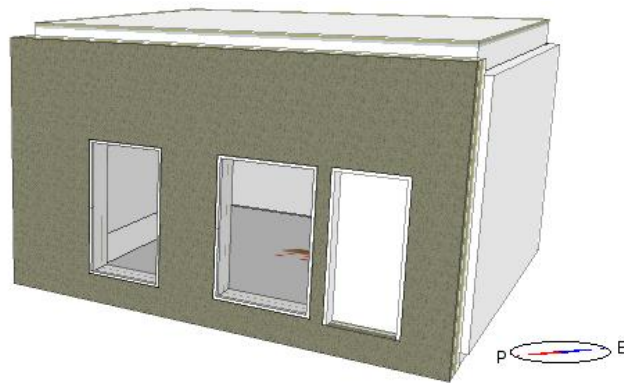
Laitteet: 3,9 W/m<sup>2</sup>

Lattiaviilennyksen menoveden lämpötila: 16 °C

Lattiaviilennyksen paluuveden lämpötilaero: 3...5 °C

Ulkoseinien lukumäärä: 1 (luoteeseen)

Kerros: 3/6



Kuva 9. Huoneisto 18 havainnekuva.

### 5.2.3 Huoneisto 21

Pinta ala: 73,5 m<sup>2</sup> (Viilennyspinta-ala: 63,9 m<sup>2</sup>)

Ilmanvaihto: 0,5 l/s/m<sup>2</sup>

Valaistus: 8,91 W/m<sup>2</sup>

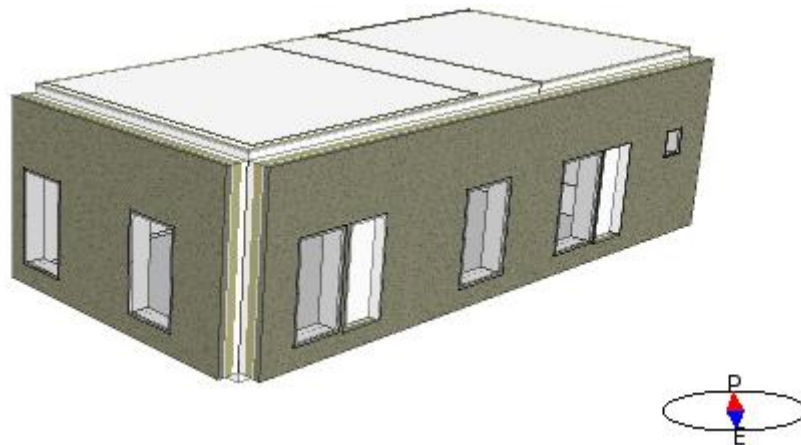
Laitteet: 2,4 W/m<sup>2</sup>

Lattiaviilennyksen menoveden lämpötila: 16 °C

Paluuv veden lämpötilaero: 3...5 °C

Ulkoseinien lukumäärä: 2 (pitkä sivu kaakkoon)

Kerros: 3/6



Kuva 10. Huoneisto 21 havainnekuva.

## 5.3 Rakenteet

Ulkoseinät:

- 135 mm tiiliverhous
- 45 mm tuuletusväli
- 180 mm lämmöneriste
- 150 mm kantava teräsbetoniseinä
- Lämmönläpäisykerroin  $U$ -arvo =  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$

Välipohja:

- 10 mm pintamateriaalivaraus (laminaatti, askelvaimennin, polystyreeni)
- 35/40 mm tasoite
- 30/35mm askeläänieriste
- 320mm ontelolaatta
- Lämmönläpäisykerroin  $U$ -arvo= $\sim 0,612 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ikkunat & parvekeovet:

- Lasien lämmönläpäisykerroin  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Aurinkoenergian kokonaisläpäisykerroin  $g$ -arvo  $< 0,32$
- Valon läpäisy  $> 55 \%$
- Ikkuna-aukkojen (karmeineen)  $U$ -arvo.  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .)

Yläpohja:

- Vedeneristys, 2-kertainen bitumikermikate, käyttöluokka VE40
- 19 mm Raakaponttilauta  $23 \times 95$
- 300mm Tuuletettu ontelotila
- 500 mm Lämmöneriste
- Höyrynsulkukermi
- 320mm Ontelolaatta
- Lämmönläpäisykerroin  $U$ -arvo= $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$

## 6 SIMULOINTI

Simuloinnissa käytetyt asetusravot:

- Menovedenlämpötila: 16 °C
- Jäähdytyksen mitoitustämpötila 22 °C (viilennys käynnistyy, kun ilman lämpötila ylittää 24 °C:een ja sammuu kun 22 °C on saavutettu)
- Lattiaviilennyspiirin asennussyvyys: 0,035m
- Maksimiteho: 20 / 40 / (100) W/m<sup>2</sup> (100 W/m<sup>2</sup> kokeellinen simulointi)
- UPONOR OY:n mitoitustaulukosta saadaan lattialämmityksen kokonaislämmön-siirtymiskertoimeksi: 11,6 W/m<sup>2</sup>K. [8]

Alla olevassa taulukossa on esitetty Uponorin vesikiertoisen lattialämmityksen ja viilen-nyksen suositus-, vähimmäis- ja enimmäisarvot.

Taulukko 2 Lattialämmityksen ja viilennyksen suositus-, vähimmäis- ja enimmäisarvot (Uponor)

	Suositusarvo		Vähimmäisarvo		Enimmäisarvo	
	Lämmitys	Viilennys	Lämmitys	Viilennys	Lämmitys	Viilennys
Menoveden lämpötila °C	25...45 <sup>1)</sup>	16–19	25...30 <sup>1)</sup>	16	45 <sup>1)</sup>	22
Meno/paluuveden lämpötilaero °C	5...10 <sup>1)</sup>	3...5	3	3	10	5
Lattian pintalämpötila °C	23...27 <sup>2)</sup>	20...25	22 <sup>2)</sup>	20	30 <sup>2)</sup>	25
Putkien asennusväli mm	100...300		100		450	
Asennussyvyys mm	30 <sup>3)</sup>		25 <sup>3)</sup>		70 <sup>3)</sup>	

<sup>1)</sup> Riippuu lämmönlähteestä ja lattiarakenteesta.

<sup>2)</sup> Laskennallinen raja-arvo, riippuu lattianpäällysteestä, huoneen käyttötarkoituksesta ja keskimääräisestä lämpötilasta.

Tiloissa, joissa säännöllisesti työskennellään seisten, lattian pintalämpötila on enintään +25 °C.

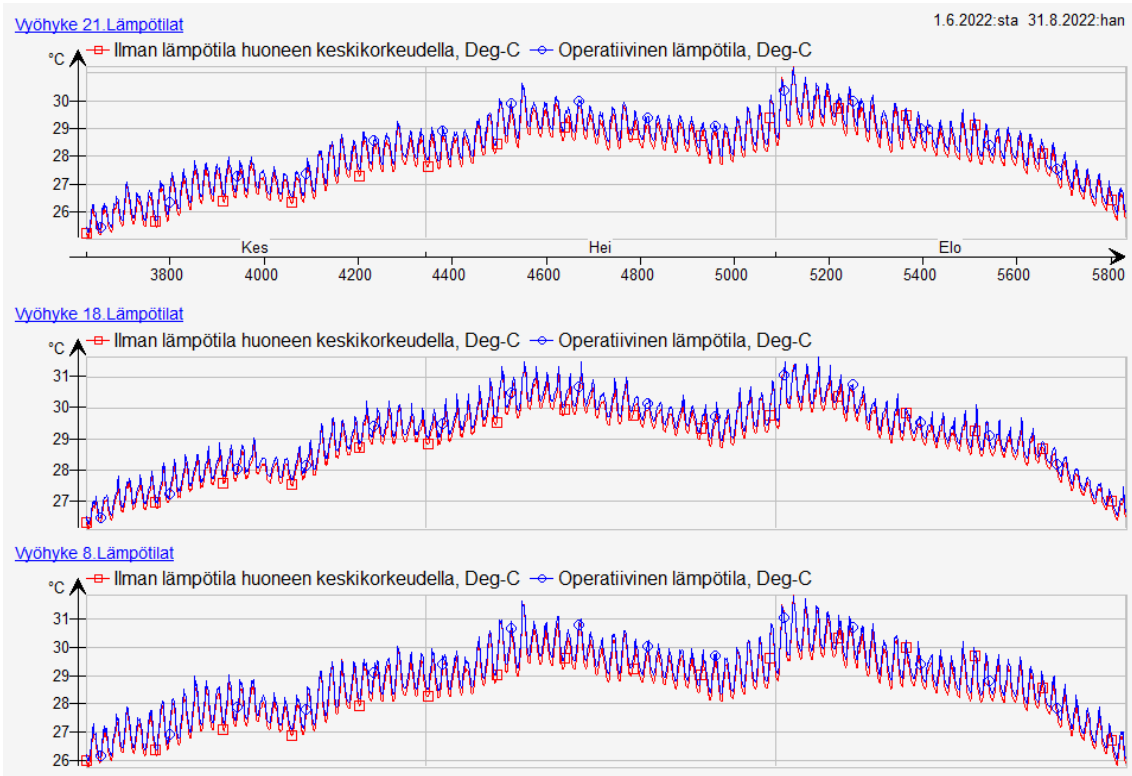
Asuinhuoneiden lattian pintalämpötila on enintään +26...+27 °C.

Kylpyhuoneissa, WC:ssä, uimahalleissa ja tiloissa, joita käytetään harvoin, lattian pintalämpötila on enintään +30 °C.

<sup>3)</sup> Asennussyvyys riippuu putkien asennusvälistä ja lattiarakenteesta.

### 6.1 Simulointi ilman viilennystä

Ensimmäisessä simulointivaiheessa on tarkasteltu huoneistojen lämpökäyttäytymistä ilman viilennystä. Simuloinnista käy ilmi, että kaikki kolme huoneistoa ylläpenevät merkittävästi viilennyskauden aikana ja niiden huonelämpötilat ovat koko heinäkuun ajan tyypillisesti 28-31 °C:een välillä. Kuvasta 11. nähdään että huoneistot eivät täytä ympäristöministeriön asetusta asuinsisälämpöoloista.



Kuva 11. Viilennyskauden huoneistolämpötilat ilman jäähdytystä.

Taulukko 3. Keskimääräiset lämpötilat ilman viilennystä, huoneisto 21.

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	27.0	27.21
Heinäkuu	28.76	29.01
Elokuu	28.39	28.64
keskiarvo	28.06	28.3

Taulukko 4. Keskimääräiset lämpötilat ilman viilennystä, huoneisto 18.

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	28.08	28.26
Heinäkuu	29.81	30.02
Elokuu	29.0	29.19
keskiarvo	28.97	29.17

Taulukko 5. Keskimääräiset lämpötilat ilman viilennystä, huoneisto 08.

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	27.73	27.93
Heinäkuu	29.36	29.61
Elokuu	28.82	29.06
keskiarvo	28.65	28.88

## 6.2 Simulointi lattiaviilennyksellä

Lattiaviilennystä on simuloitu maksimiteholla  $20 \text{ W/m}^2$  ja  $40 \text{ W/m}^2$ . Syy kahdelle eri maksimiteholle on mahdollisuus vertailla kuinka eri maksimitehot vaikuttavat, jos esimerkiksi teho olisi rajoitettua jostain syystä. Uponorin välipohjaratkaisuille annetaan maksimitehoksi  $50 \text{ W/m}^2$  ilman suoraa auringon säteilyä lattianpinnalle. Kokeellinen simulointi (liite 1) tehtiin myös maksimiteholle  $100 \text{ W/m}^2$  [10], jotta nähtäisiin, olisiko niin sanotuilla ihanneolosuhteilla suurta merkitystä asuinmukavuuden kannalta. Tuloksista voidaan nähdä, että kaikissa simuloiduissa huoneistoissa molemmilla tehoarvoilla lämpötilat pysyvät hyvällä tasolla ( $22\text{--}24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) koko jäähdytyskauden ajan. On huomioitava, että IDA-ICE:n simulointi reagoi melko nopeasti lämpötilavaihteluihin, mikä voi osoittautua hankalaksi oikeassa kohteessa samalla tarkkuudella. Välipohjaratkaisulla on myös ominaisuus varastoida lämpöä, jonka ansiosta erityisen tarkkaa ja nopeaa reagointia ei välttämättä tarvita.

## 6.3 Huoneisto 08:n olosuhdesimulointi

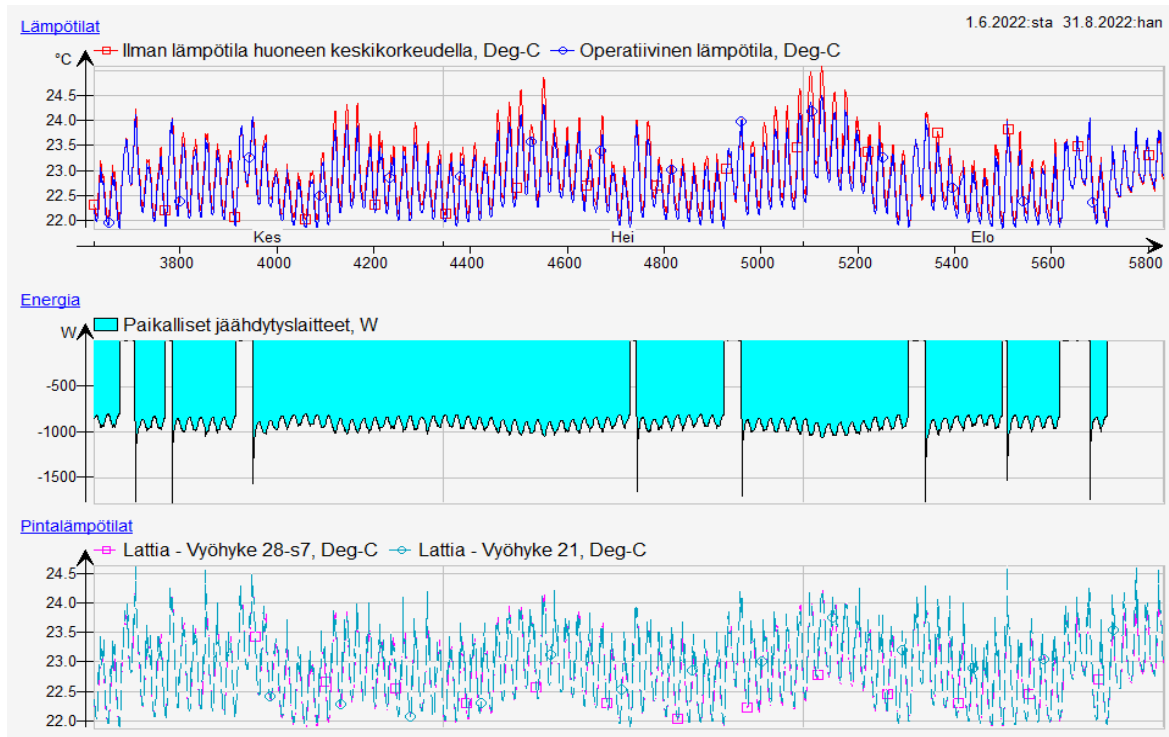
### Tulokset $20 \text{ W/m}^2$ :

Operatiivisen lämpötilan keskiarvo viilennyskaudella:  $22,77 \text{ }^\circ\text{C}$

Lattianpintalämpötila viilennyskaudella keskiarvo:  $22,90 \text{ }^\circ\text{C}$

Teho, päivittäinen keskiarvo lattiaviilennyksen ollessa päällä koko vuorokauden:  
 $\sim 10,95\text{--}12,3 \text{ W/m}^2$

Alla on esitetty simulointi tulokset  $20 \text{ W/m}^2$  ja  $40 \text{ W/m}^2$  huoneistosta 08. Huoneistojen 18 ja 21 tulokset ovat esitetty liitteissä 1 ja 2.



Kuva 12. Simuloinnin tulokset, huoneisto 08 (20 W/m<sup>2</sup>).

Taulukko 6. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 08 (20 W/m<sup>2</sup>).

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	22.85	22.71
Heinäkuu	22.96	22.77
Elokuu	22.97	22.83
keskiarvo	22.93	22.77

Taulukko 7. Keskimääräiset lattiviilennystehot, huoneisto 08 (20 W/m<sup>2</sup>).

Huoneisto 08 (20 W/m <sup>2</sup> )			
	Lattiaviilennysteho, W	W/m <sup>2</sup>	kWh
Kesäkuu	811	10,3	
Heinäkuu	855	10,8	
Elokuu	643	8,1	
keskiarvo	770	9,7	
Jäähdytysenergia*			1698

\*Koko simulointiajanjakso

## Tulokset 40 W/m<sup>2</sup>:

Operatiivisen lämpötilan keskiarvo viilennyskaudella: 22,81 °C

Lattianpintalämpötila viilennyskaudella keskiarvo: 22,93 °C

Teho, päivittäinen keskiarvo lattiaviilennyksen ollessa päällä koko vuorokauden:  
~ 13,15–14,7 W/m



Kuva 13. Simuloinnin tulokset, huoneisto 08 (40 W/m<sup>2</sup>).

Taulukko 8. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 08 (40 W/m<sup>2</sup>).

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	22.95	22.81
Heinäkuu	22.96	22.78
Elokuu	22.96	22.83
keskiarvo	22.96	22.81

Taulukko 9. Keskimääräiset lattiaviilennystehot, huoneisto 08 (40 W/m<sup>2</sup>).

Huoneisto 08 (40 W/m <sup>2</sup> )			
	Lattiaviilennysteho, W	W/m <sup>2</sup>	kWh
Kesäkuu	776,1	9,8	
Heinäkuu	835,9	10,6	
Elokuu	607,7	7,7	
keskiarvo	739,9	9,4	
Jäähdytysenergia*			1633

\*Koko simulointiajanjakso

## **7 LATTIAVIILENNYKSEN KUSTANNUKSET**

Työn käyttämästä asuinkerrostalosta on tehty lattiaviilennysoptio, jonka pohjalta urakoitsija on arvioinut lattiaviilennyslaitteiston investointikustannukseksi noin 61 200 €. Asuinhuoneistoja kiinteistössä on 50 kappaletta, joiden koot vaihtelevat ~ 30–92,5 m<sup>2</sup> välillä. Tämän pohjalta lattiaviilennyksen keskimääräinen investointikustannus huoneistoja kohden on 1224 €. Hintaan sisältyy koko lattiaviilennyslaitteisto ja putkisto. On huomioitava, että lattiaviilennys jakaa yleensä pitkälti samaa järjestelmää lattialämmityksen kanssa, jonka ansiosta kustannukset pysyvät alhaisina. Lattiaviilennysjärjestelmän käyttökustannukset koostuvat pitkälti ainoastaan kiertovesipumpun viemästä sähköstä, ja mahdollisista huoltokustannuksista. Lattiaviilennys on lattialämmityksen tavoin lämmön- ja viileänjakomuotona pitkälti huoltovapaa.

## 8 YHTEENVETO

Lattiaviilennyksen tehokkuuteen ja käyttömukavuuteen vaikuttaa moni tekijä. Lattiaviilennyksen teho on haastavaa mitata, koska teho pienenee lämpötilaeron ollessa pienempi ja kasvaa kun lämpötilaero nousee. Työssä tehtyjen simulointien perusteella maksimiteho vaikuttaa vain pienen hetken erityisesti kuin järjestelmä käynnistyy. Eri kokeellisten simulointien perusteella, vaikka teoreettinen lattiaviilennyksen maksimi teho olisi  $100 \text{ W/m}^2$ , on maksimi teho hetkellisesti korkeampi mutta laskee nopeasti lämpötilan laskettua. Pienemällä maksimi teholla saadaan jopa tasaisempi huonelämpötila koska järjestelmän käynnistymiskerrat vähenevät. Simuloinneissa maksimiteholla  $20 \text{ W/m}^2$  ja  $40 \text{ W/m}^2$  ei ilmennyt merkittäviä eroja lämpötilojen suhteen viilennyskaudella. Yllätykseksi simuloinnissa pienemmällä teholla saavutettiin kaikissa tapauksissa keskiarvallisesti melkein identtisiä huonelämpötiloja pidemmällä aikavälillä. Jopa keskiarvallisesti matalampia kuukautisia lämpötiloja. Tässä tapauksessa syy, matalammalla maksimiteholla saaduille matalammille lämpöolosuhteille, on järjestelmän tasaisempi toiminta. kun lämpötila saavuttaa  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  ja käynnistyy taas, kun lämpötila nousee  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ :seen. Eli keskiarvollinen lämpötila pysyy tasaisempana pienemmällä teholla neliometriä kohden.

Lattiaviilennyksen etuna on pieni tilantarve sekä tasainen ja vedoton viilennys. Lattiaviilennyksen suuri viilennyspinta-ala mahdollistaa tehokkaan viilennyksen pienelläkin teholla. Simuloinnin perusteella lattiaviilennys on hyvä viilennysvaihtoehto uudiskohteisiin, joihin valitaan vesikiertoinen lattialämmitys lämmitysvaihtoehtoksi tai kohteisiin, joissa on jo entuudestaan vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteissa, joissa vaaditaan erityisen tarkkaa lämpötilan hallintaa ei lattiaviilennys yksinään ole luotettava ratkaisu mahdollisen hitaan reagoinnin takia. Mutta esimerkiksi yhdistettynä toisen viilennys- tai jäähdytysratkaisun rinnalle, lattiaviilennys on varteen otettava ratkaisu pienentämään rinnakkaisjärjestelmien kokoa ja tehon tarvetta.

Avoimet kysymykset ennen työn aloittamista olivat, kuinka tehokkaasti lattiaviilennyksellä voidaan viilentää asuntoja, tuleeko lattian matalasta pintalämpötilasta ongelmia viihtyvyyteen, sekä ilmeneekö kondensoitumisongelmia pinnoilla. Tässä tapauksessa huoneistot pysyivät lähes koko simulointiajanjaksona  $22\text{--}24 \text{ }^\circ\text{C}$  välillä ja lattian

pintalämpötila pysyi myös hyvällä tasolla. Myöskään riskiä kondensoitumiselle ei havaittu simuloinnissa, lattian pintalämpötila ei laske alle 21 °C, jolloin simuloinnin maksimilämpötiloilla (noin. 25 °C) pitäisi ilman suhteellinen kosteus olla 75 % että kastepiste saavutettaisiin. Simuloinnin korkein saavutettu ilman suhteellinen kosteus on 65 %, jolloin kondensoitumisriskiä ei ole. Lattia viilennys putket tulee olla betonivalussa, joka minimoi putkien kondensoitumisen. On kuitenkin hyvä muistaa, että simuloinnissa on aina pieni virhemarginaali. Itse simulointiin vaikuttavat lukuisat tekijät, jotka saattavat vaikuttaa tulokseen. Huoneistot on pyritty tekemään niin, että ne vastaavat mahdollisimman tarkasti todenmukaisia olosuhteita normaalissa uudiskerrostaloassa ja samalla mahdollisimman neutraalisti niin että tulokset olisivat keskivertoa eikä kumpaakaan ääripäätä. Simuloinnin pohjalta lattiaviilennys on oikeintoteutettuna hyvinkin varteen otettava vaihtoehto niin käyttökustannusten, hankinnankustannusten, ylläpidon sekä energiatehokkuuden kannalta.

## 9 SAMMANFATTNING

Vattenburen golvkylning är fortfarande relativt nytt och en mindre känd lösning i bostadshus. Information om golvkyla är mycket begränsat tillgängligt, vilket är en av orsakerna till att arbetet utfördes. I teorin verkar golvkylning vara en bra lösning, men det förekommer tvivel när det gäller kyleffekt och komfort. Syftet med arbetet är att med hjälp av datasimulering ta reda på hur golvkylning påverkar boendekomforten och hurdan golvkyla är ur teknisk- och kostnadssynpunkt. Syftet med arbetet är att göra det lättare för planerare, beställare och byggherren att förstå vilken typ av lösning vattenburen golvkyla är och vilka typer av möjligheter och begränsningar systemet har.

### 9.1 Avgränsning

Arbetet är avgränsat till bostadshöghus, naturligtvis gäller samma grundprinciper för alla vattenburna golvkylningsanläggningar. Anledningen till avgränsningen är ett stort antal variabler kan inverka på resultatet. Till exempel kraven på kylningen och inomhusklimat i industriella produktionshallar beroende på användningsändamål. Bostäderna har gränsvärden för inneklimatet som fastställts av miljöministeriet, i vilket fall utgångspunkterna är likartade oavsett byggnad.

### 9.2 Funktionsprincip

Vattenburet golvkyla fungerar enligt samma princip som ett vattenburet golvvärmesystem, men istället för uppvärmning används systemet för kylning. Under uppvärmningssäsongen används varmt vatten till golvkretsarna för uppvärmning av lokalerna, och under kyla-säsongen använder man sig av svalare vatten istället för det varma vattnet. Det svala vattnet i golvkretsarna uppvärms av lägenhetens överskott av värmeenergi och därmed avleder överskottsvärme ut ur lokalen, Således sänks inneluftstemperaturen. [9]

Golvkylning är lämplig för användning vid både nybygge och renovering. Detta gäller särskilt i lågenergibyggnader som är känsliga för överhettning på grund av täthet och effektiv isolering. I byggnader där vattenburen golvvärme redan finns är det vanligtvis möjligt att tillägga golvkylningen även efteråt. Beroende på plats och situation kan samma

geotermiska värmebrunn som används för uppvärmning användas som en källa till kyla, beroende på plats och situation. Regionalt kan även fjärrkyla användas beroende på tillgänglighet. Det är också möjligt att uppnå så kallad frikyla genom att använda en geotermisk värmebrunn eller till exempel ett vattendrag. Frikyla innebär att kylbehovet uppnås utan att betala något av själva kylan, det vill säga. det köldmedium som kylsystemet använder kan kylas direkt från kylningsskällan, så att kylan inte behöver produceras på något annat sätt, vilket sparar energi. [9]

Styrningen av systemet utförs vanligtvis med antingen husspecifik eller rumsspecifik kontroll. Golvvärme- och kylsystemet styrs vanligtvis med hjälp av rumsspecifika termostater. Rumsspecifika termostater möjliggör rumsspecifik temperaturreglering, förutsatt att rummet har en egen golvkrets. Förutom termostaten kräver golvkylningssystemet daggpunktskontroll, som utförs med fuktmätningssensorer. Sensorn används för att säkerställa att daggpunktstemperaturen uppnås på golvytan, det vill säga. luften i rummet alltid hålls minst en grad högre än daggpunkten. Detta förhindrar att vattenånga i luften kondenserar på golvets yta. Badrummet måste alltid genomföra med egen golvkrets så att torktiden efter dusch användning minskas även på kyla-säsongen. Badrummet kan byggas, med samma vattencirkulationssystem, men med egen krets eller alternativt med elektrisk golvvärme. [9]

Omkoppling mellan golvvärme och kylning utförs vanligtvis, beroende på tillverkaren och plats, med antingen en 3- eller 6-vägsventil i lokalens tekniska utrymme. [11] Ventilen används för att leda antingen varmt eller kallt vatten in i systemet. Omkopplingen mellan uppvärmning och kylning kan utföras vånings-, väderstrecks- eller lägenhetsspecifik basis om så önskas. Övergången styrs vanligtvis manuellt enligt datum, eller enligt inomhus- eller utomhustemperaturer. Överföringen från värmeläge till kylning sker till exempel med hjälp av en strömbrytare eller programmatiskt. [9]

Att bestämma effektbehovet för golvkylning är mer utmanande än att bestämma behovet av uppvärmning, Värmeeffekten är praktiskt taget direkt proportionell mot skillnaden mellan rums- och golvtemperaturskillnader, detsamma gäller kylning, men dessutom är den extra effekt som genereras av solstrålning som kommer in i lägenheten, till och med upp till 100 W/m<sup>2</sup>. Tillskotts effekt gör det betydligt svårare att beräkna. Golvkylning

planeras vanligtvis enligt villkoren för golvvärme. Om kyleffekt önskas mera monteras golvslingarna med tätare mellanrum snarare än att sänka på temperaturen för framledningsvatten i golvslingorna. Oavsett situation måste framledningsvattnets temperatur alltid vara 16 °C eller högre för att undvika kondens på ytan av golvet. Eftersom framledningsvattnet och flödes hastigheten är relativt konstant är det vanligtvis onödigt att beräkna kyleffekten separat för systemet. Om så önskas beräknas kylbehovet och den effekt som ska uppnås med hjälp av datasimuleringen. Golvkylningseffektiviteten påverkas av golvytans material, lokalens luftriktning, antal fönster, temperaturskillnader, tilluftsvattentemperatur, flödes hastighet, avståndet och djupet för golvslingorna. Den kyleffekt som tillåts av temperaturskillnader anses vanligtvis vara 7 W/m<sup>2</sup> per 1 °C. Detta innebär att ju större temperaturskillnaden mellan golvet och luften i rummet är, desto större är kyleffekten. [9]

### 9.3 Simulering

Arbetet jämför det termiska beteendet hos ett bostadshus med golvkylning under kyla-säsongen. Termiska förhållanden simuleras med IDA-ICE simuleringsprogram, simulering tar hänsyn till miljön och platsens strukturella och lokala egenskaper. Det är värt att notera att simuleringarna inte har tagit hänsyn till att utrymmena skulle ventileras med annat än med normal mekanisk ventilation, och att fönstren inte är skuggade.[12]

### 9.4 Resultat

I den första simuleringsfasen är lägenheternas termiska beteende utan kylning undersökts. Simuleringen visar att alla tre lägenheterna överhettas avsevärt under kyla-säsongen och ligger mellan ~ 26°C– 32°C under hela kylningsperioden.

Golvkylningen simuleras med en maximieffekt på 20 W/m<sup>2</sup> och 40 W/m<sup>2</sup>. Anledningen till två olika maximieffekter är möjligheten att jämföra hur olika maximieffekter kommer att påverka om till exempel effekten är begränsad av någon anledning. Från Uponors mellanvåningslösningar får en maximieffekt på 50 W/m<sup>2</sup> utan direkt solstrålning på golvytan. En experimentell simuleringen utfördes också för maximieffekt på 100 W/m<sup>2</sup> av intresse

för att se om så kallade ideala förhållandena skulle vara av stor betydelse för livskomforten. Resultaten visar att i alla simulerade lägenheter med en maximal effekt på 20 W/m<sup>2</sup> och 40 W/m<sup>2</sup> ligger temperaturerna på en bra nivå under hela kyla-säsongen, med temperaturer i alla tre lägenheter mellan 22°C och 24,5 °C.

## 9.5 Slutsats

Effektiviteten och komforten hos golvkylning påverkas av många faktorer. Det bör noteras att det på vissa sätt är utmanande att mäta golvkylningseffektiviteten med själva kyl-effekten, eftersom effekten minskar när temperaturskillnaden är lägre och ökar när temperaturskillnaden stiger. Baserat på de simuleringar som utförts i arbetet har maximieffekten bara en liten påverkan under en kort tidsperiod, särskilt när systemet slår i gång. Baserat på den experimentella simuleringar, med teoretisk maximieffekt på 100 W/m<sup>2</sup> minskade effekten snabbt till liknande nivåer som med mindre maximieffekter. En lägre maximieffekt ger i vissa fall en jämnare temperatur eftersom temperaturkasten förblir lägre. Simuleringar med en maximieffekt på 20 W/m<sup>2</sup> och 40 W/m<sup>2</sup> visade inga signifikanta skillnader under en längre tidsperiod. I varje simulering med en längre tidsintervall var de genomsnittliga temperaturerna nästan identiska med varandra. Orsaken varför med lägre maximieffekt uppkom det lägre temperaturförhållanden under vissa tidsperioder på grund av golvkylningen stängs av när temperaturen når 22 °C, och slår på igen när temperaturen stiger upp till 24 °C, det vill säga medeltemperaturen förblir jämnare vid en lägre effekt på grund av att temperaturen hålls jämnare.

Fördelen med golvkylning är ett litet utrymmesbehov och en smidig och dragfri kylning. Golvkylningens stora kylområde möjliggör effektivt kylning även vid låg effekt. Baserat på simuleringen är golvkylning en bra alternativ för nya bostäder, för vilka vattenburen golvvärme väljs som uppvärmningsalternativ eller för lokaler där vattenburen golvvärme redan finns som uppvärmningsalternativ. Till bostadshöghuset som används i arbetet har entreprenören räknat ut investeringspris för golvkylan. Investeringskostnaden för golvkylutrustningen är cirka 61 200 €. Fastigheten har 50 bostäder, i storlek från ~ 30 till 92,5 m<sup>2</sup>. Baserat på detta är den genomsnittliga investeringskostnaden per lägenhet för golvkylning cirka 1200 €. I priset ingår hela golvkylningsutrustningen och rörledningarna.

Det bör noteras att golvkylning vanligtvis delar långt samma system som golvvärme, vilket håller kostnaderna låga. Driftskostnaderna för golvkylsystemet består till stor del endast av el som cirkulationspumpen använder och av eventuella underhållskostnader av pumpen. Liksom golvvärme är golvkylning till stor del underhållsfri som en form av värme och kylfördelningssystem.

I lokaler där särskilt noggrann temperaturreglering krävs är golvkylning ensam inte den optimala lösningen på grund av relativt långsam respons, men till exempel i kombination med en annan kyllosning är golvkylning en avsevärd lösning för att minska storleken på den andra kylsystemet och med samma minska effektbehovet.

De öppna frågorna innan arbetet påbörjades var hur effektivt golvkylsystemet kan kyla bostäderna, om golvtemperaturen kommer att orsaka problem för komforten på grund av låga yttemperaturer och om kondensproblem kommer att uppstå på golvytorna. I detta fall förblev lägenheterna nästan hela simuleringsperioden mellan 22–24 °C och golvytans temperatur förblev också på en bra nivå. Det förekom inte någon risk för kondens. Det är dock värt att komma ihåg att det alltid finns en liten felmarginal i simuleringen. Simuleringen i sig påverkas av många faktorer som kan påverka resultatet på ett eller annat sätt. Lokalerna motsvarar realistiska förhållanden i ett normalt nytt bostadshöghus och samtidigt är så neutralt som möjligt. Enligt simuleringen är golvkylning, när den genomförs korrekt, ett utmärkt alternativ för nedkylning av lokaler när det gäller driftskostnader, upphandlingskostnader, underhåll och energieffektivitet.

## LÄHTEET

1. RT 103-170, 2020, Ilmastonmuutos Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä, RT-ohjekortti, Rakennustieto Oy.
2. Ympäristöministeriö, 2012, *D3 Laskentaopas, kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen*. <http://www.ym.fi/download/no-name/%7B7B8D0893-4715-4FD1-B685-D2B71D6A6559%7D/31274>, Haettu: 10.1.2022.
3. Ympäristöministeriö, 2017, *Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta* (1009/2017). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>, Haettu: 10.1.2022
4. Warfinge C. & Dahlblom, M, 2011, *Projektering av VVS-installationer*, luku 1, Studentlitteratur, Lund.
5. Sandberg E, 2014, *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät*, luku 3, Talotekniikka-julkaisut Oy.
6. Carlsson R., *TwinTropic Hong Kong*, 2014, Ensto Enervent, esitelmä.
7. RT 07–11297, *2018 Sisäilmastoluokitus*, RT-ohjekortti, Rakennustieto Oy.
8. Seppänen O, 2001, *Rakennusten Lämmitys*, Suomen LVI-liitto ry, Helsinki.
9. Uponor, *Lattialämmitys- ja viilennysratkaisut kerrostaloissa*, Uponor Oy. Saatavissa: <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys-viilennys> Haettu: 10.1.2022.
10. Hirvelä. A., Jokela M., Kaappola E., & Kianta J., 2021, *Kylmätekniikan Perusteet*, Opetushallitus, Helsinki.
11. Itufloor, *Lattialämmitys- ja viilennys kerrostaloissa*, 2020. Saatavissa: <https://www.itula.fi/sites/default/files/2020-12/Lattial%C3%A4mmitys-%20ja%20viilennys%20kerrostaloissa%201.1.pdf> Haettu: 11.1.2022.
12. IDA Indoor Climate and Energy, EQUA Simulation AB. Saatavissa: <https://www.equa.se/fi/ida-ice> Haettu: 16.1.2022.

# LIITTEET

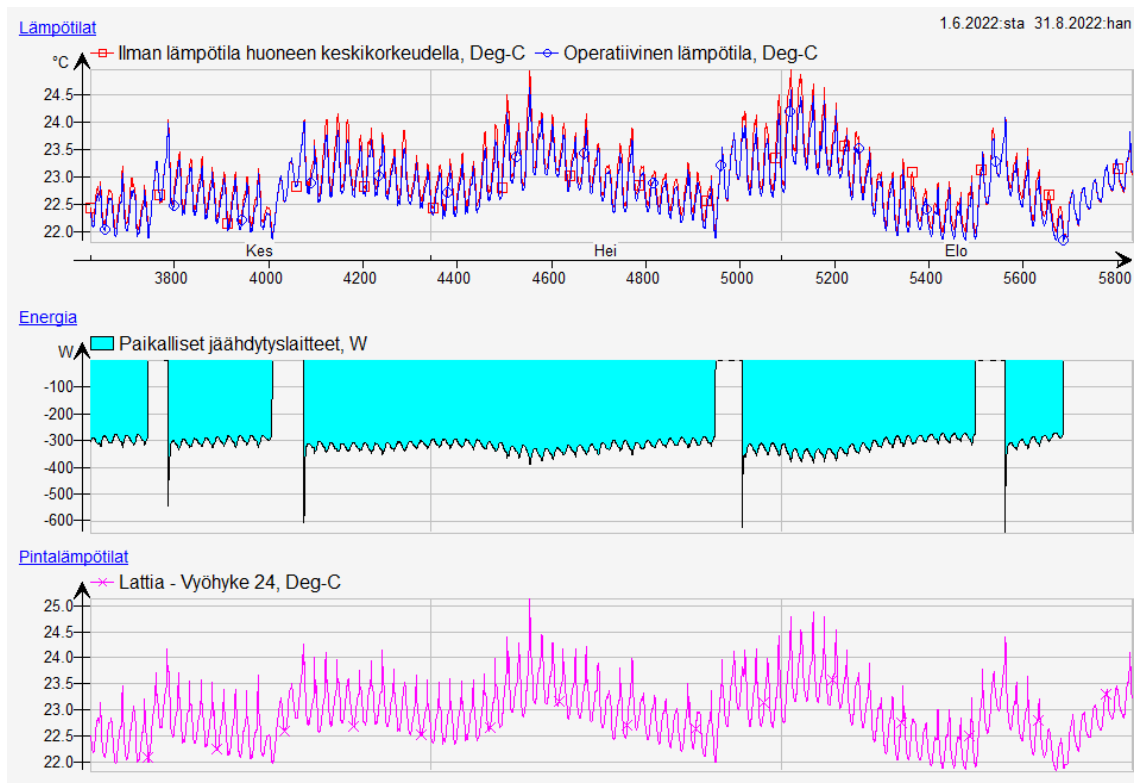
## Liite 1: Huoneisto 18

### Tulokset 20 W/m<sup>2</sup>:

Operatiivisen lämpötilan keskiarvo viilennyskaudella: 22,83°C

Lattianpintalämpötila keskiarvo viilennyskaudella: 22,91°C

Teho, päivittäinen keskiarvo lattiaviilennyksen ollessa päällä koko vuorokauden:  
~ 10,6–12,85 W/m<sup>2</sup>



Kuva 14. Yhteenvedo, huoneisto 18 (20 W/m<sup>2</sup>).

Taulukko 10. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 18 (20 W/m<sup>2</sup>).

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	22.86	22.74
Heinäkuu	23.11	22.97
Elokuu	22.91	22.79
keskiarvo	22.96	22.83

Taulukko 11. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 18 (20 W/m<sup>2</sup>).

Huoneisto 18 (20 W/m <sup>2</sup> )			
	Lattiaviilennysteho, W	W/m <sup>2</sup>	kWh
Kesäkuu	262	9,7	
Heinäkuu	297	11,0	
Elokuu	225	8,3	
keskiarvo	261	9,7	
Jäähdytysenergia*			577

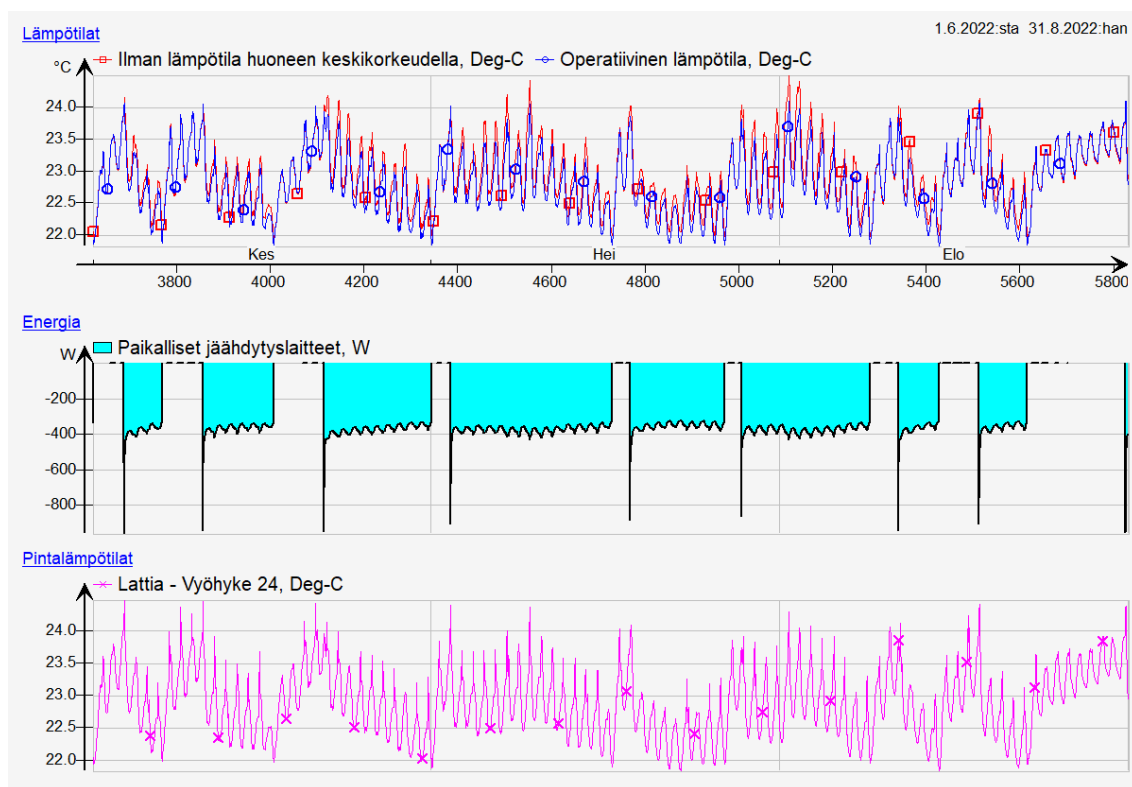
\*Koko simulointiajanjakso

### Tulokset 40 W/m<sup>2</sup>:

Operatiivisen lämpötilan keskiarvo viilennyskaudella: 22,82°C

Lattianpintalämpötilan keskiarvo viilennyskaudella: 22,87°C

Teho, päivittäinen keskiarvo lattiaviilennyksen ollessa päällä koko vuorokauden:  
~ 12,7–14,7 W/m<sup>2</sup>



Kuva 15. Simuloinnin tulokset, huoneisto 18 (40 W/m<sup>2</sup>).

Taulukko 12. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 18 (40 W/m²).

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	22.93	22.83
Heinäkuu	22.89	22.72
Elokuu	23.03	22.92
keskiarvo	22.95	22.82

Taulukko 13. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 18 (40 W/m²).

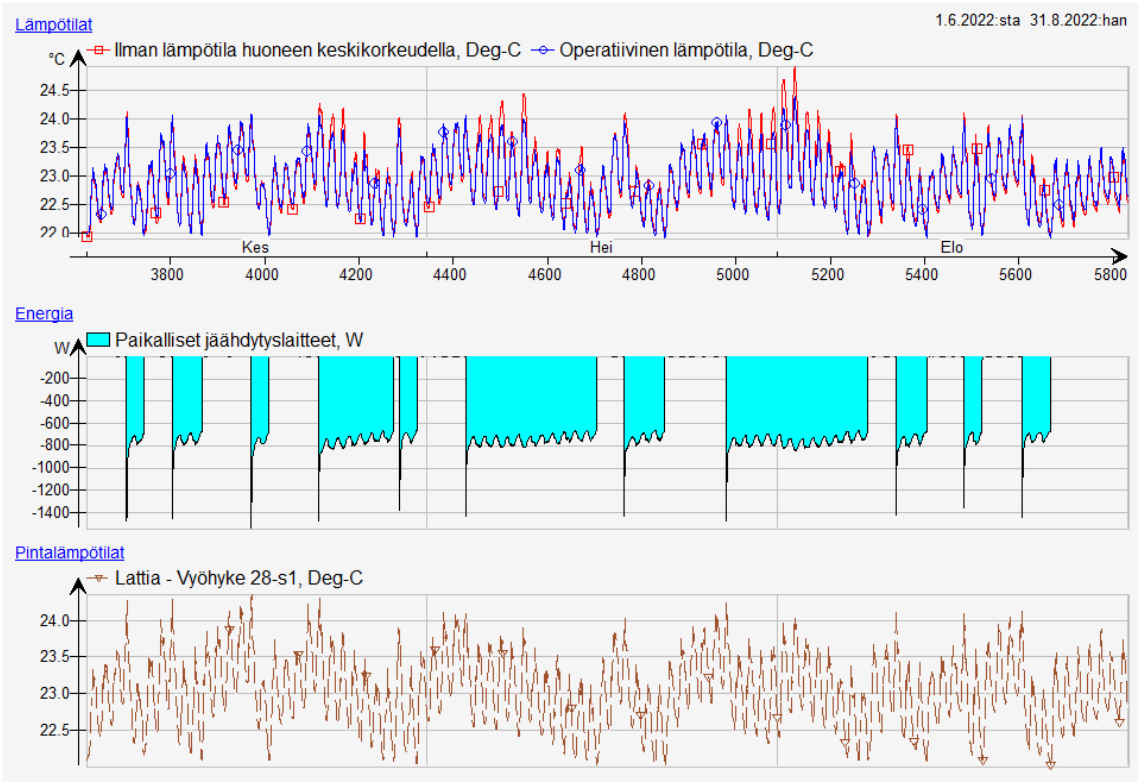
Huoneisto 18 (40 W/m²)			
	Lattiaviilennysteho, W	W/m²	kWh
Kesäkuu	240	8,9	
Heinäkuu	313	11,6	
Elokuu	195	7,2	
keskiarvo	249	9,2	
Jäähdytysenergia*			551

\*Koko simulointiajanjakso

**Liite 2: Huoneisto 21**

**Tulokset 20 W/m²:**

Operatiivisen lämpötilan keskiarvo viilennyskaudella: 22,92 °C  
 Lattianpintalämpötilan keskiarvo viilennyskaudella: 23,05 °C  
 Teho, päivittäinen keskiarvo lattiaviilennyksen ollessa päällä koko vuorokauden:  
 ~ 11–12.35 W/m²



Kuva 16. Simuloinnin tulokset, huoneisto 21 (20 W/m²).

Taulukko 14. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 21 (20 W/m²).

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	22.91	22.9
Heinäkuu	23.04	22.97
Elokuu	22.92	22.88
keskiarvo	22.95	22.92

Taulukko 15. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 21 (20 W/m²).

Huoneisto 21 (20 W/m²)			
	Lattiaviilennysteho, W	W/m²	kWh
Kesäkuu	351	5,5	
Heinäkuu	478	7,5	
Elokuu	361	5,6	
keskiarvo	397	6,2	
Jäähdytysenergia*			877

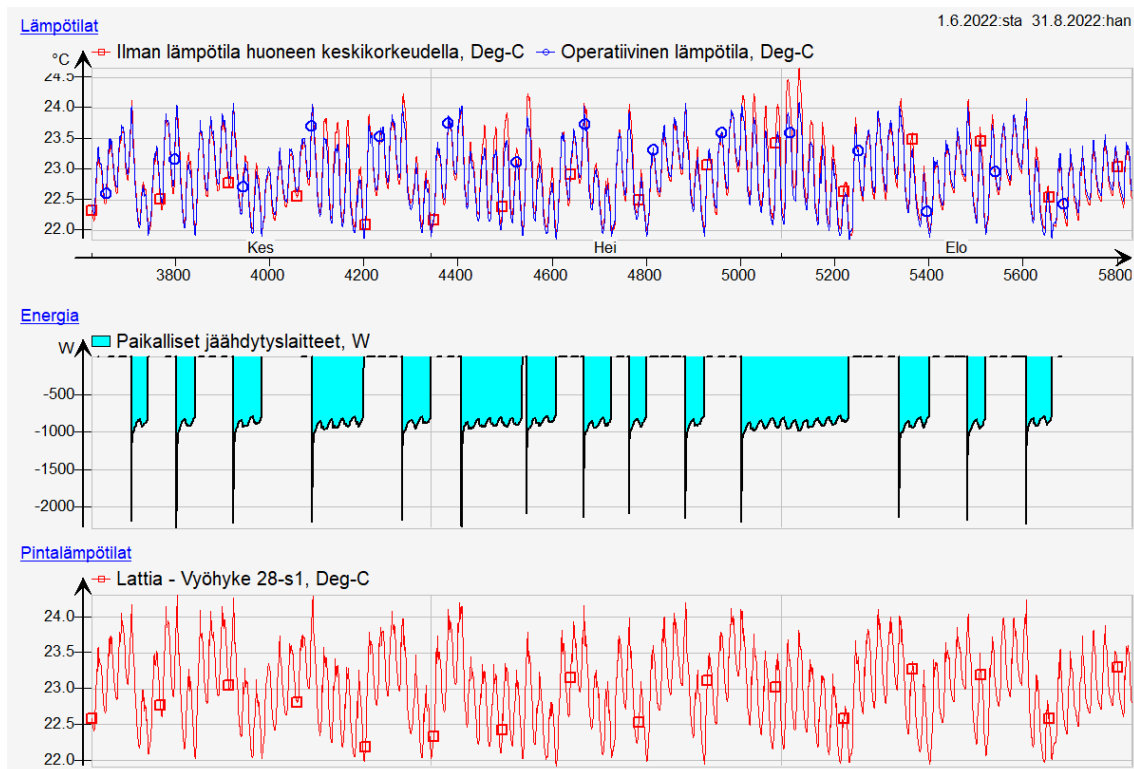
\*Koko simulointiajanjakso

### Tulokset 40 W/m²:

Operatiivinen lämpötila keskiarvo: 22,9 °C

Lattianpintalämpötila keskiarvo viilennyskaudella: 22,94 °C

Teho, päivittäinen keskiarvo lattiaviilennyksen ollessa päällä koko vuorokauden  
~ 12,52–14,55 W/m².



Kuva 17. Simuloinnin tulokset huoneisto 21 (40 W/m²).

Taulukko 16. Keskimääräiset lämpötilat, huoneisto 21 (40 W/m<sup>2</sup>).

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Kesäkuu	22.93	22.92
Heinäkuu	22.98	22.9
Elokuu	22.92	22.88
keskiarvo	22.94	22.9

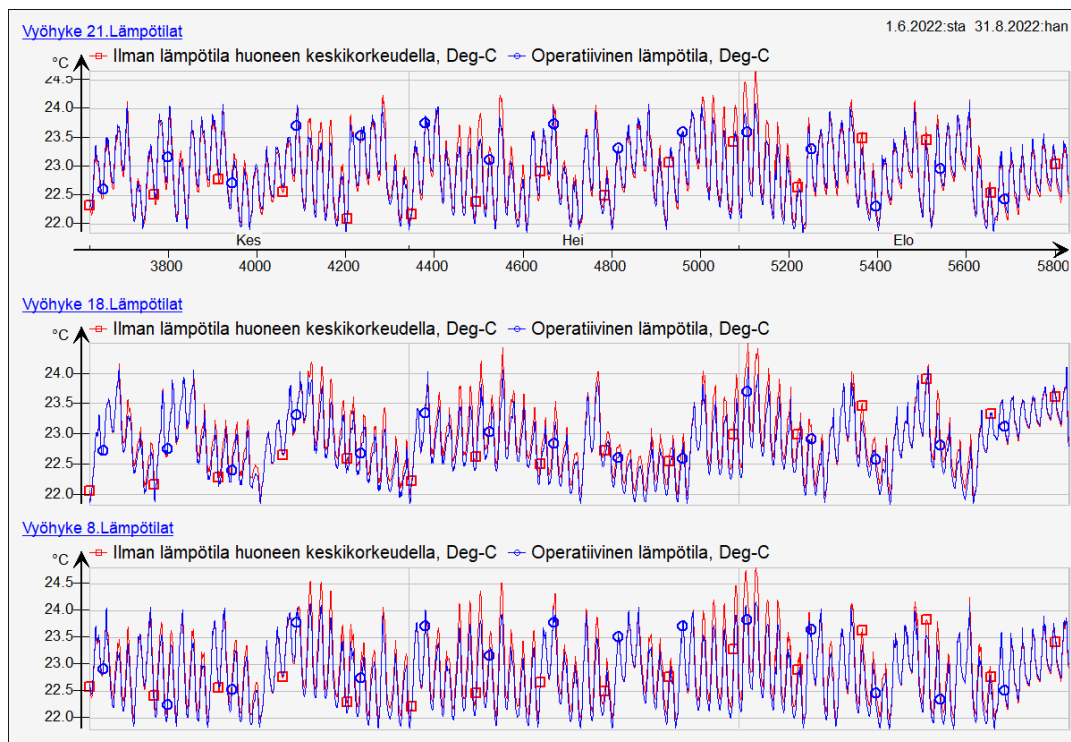
Taulukko 17. Kuukausittaiset lattiaviilennystehot, huoneisto 21 (40 W/m<sup>2</sup>).

Huoneisto 21 (40 W/m <sup>2</sup> )			
	Lattiaviilennysteho, W	W/m <sup>2</sup>	kWh
Kesäkuu	385	6,0	
Heinäkuu	501	7,8	
Elokuu	362	5,7	
keskiarvo	416	6,5	
Jäähdytysenergia*			919

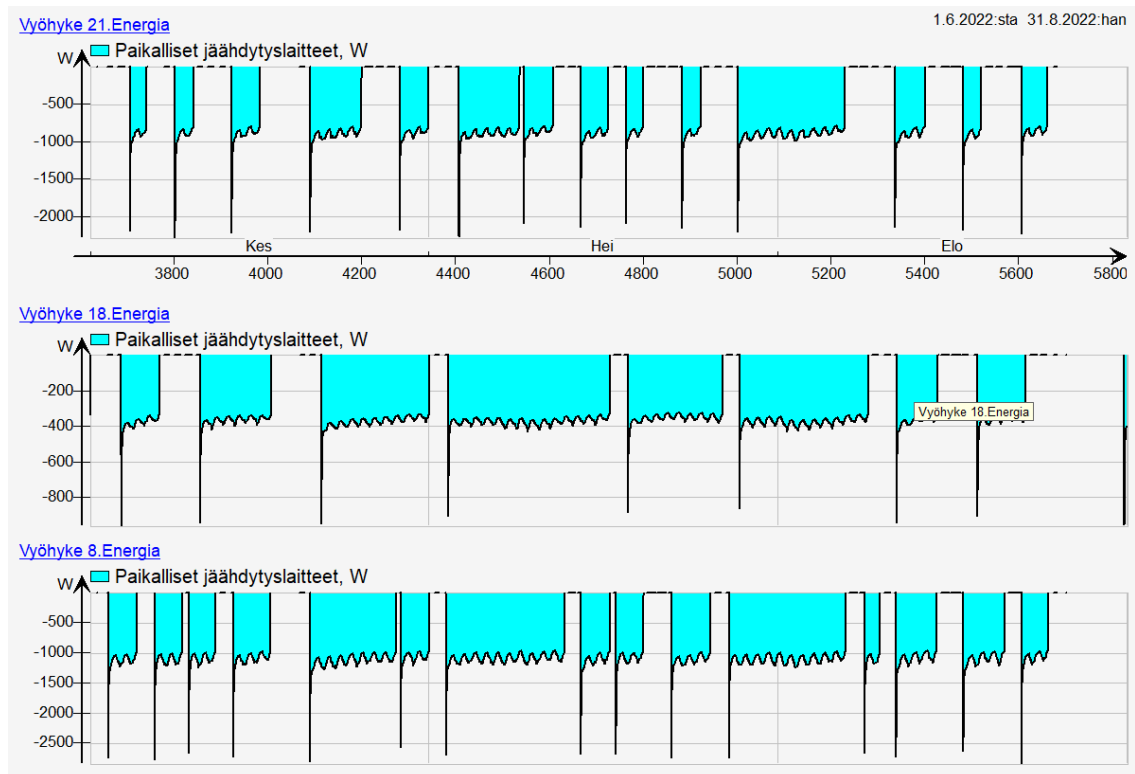
\*Koko simulointiajanjakso

### Liite 3: Huoneistojen tulokset 100 W/m<sup>2</sup>.

Liite 1. Huoneistojen lämpötilat (100 W/m<sup>2</sup>).



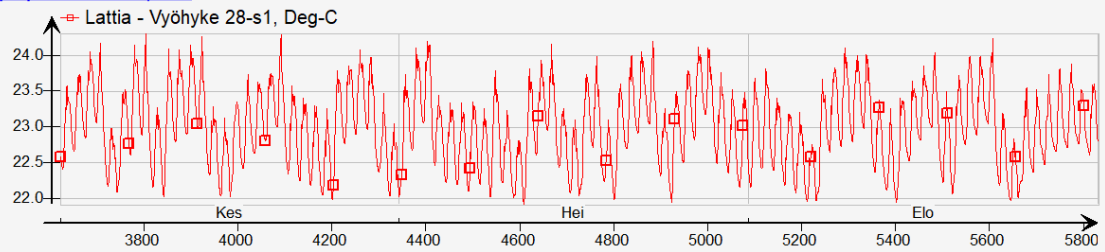
Liite 2. Huoneistojen lattiaviennystehot (100 W/m<sup>2</sup>).



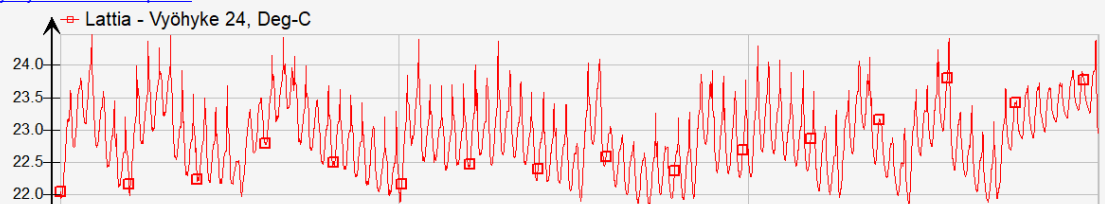
Liite 3. Huoneistojen lattian pintalämpötilat ( $100 \text{ W/m}^2$ ).

[Vyöhyke 21.Pintalämpötilat](#)

1.6.2022:sta 31.8.2022:han



[Vyöhyke 18.Pintalämpötilat](#)



[Vyöhyke 8.Pintalämpötilat](#)

