

Opinnäytetyö (AMK)

Tekniikan Insinööri | LVI-tekniikka

2020

Jere Vilkinen

LIIKUNTATILAN SISÄILMASTON TARKASTELU JA TOIMENPIDE- EHDOTUS SEN PARANTAMISEKSI

OPINNÄYTETYÖ (AMK / YAMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan Insinööri | LVI-tekniikka

2020 | 46 sivua, 1 liitesivua

Jere Vilkinen

LIIKUNTATILAN SISÄILMASTON TARKASTELU JA TOIMENPIDE-EHDOTUS SEN PARANTAMISEKSI

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin liikuntatilan sisäilmastoa käyttökierron ja kuormituksen perusteella, ja pyrittiin löytämään toimenpide-ehdotuksia sen parantamiseksi. Tarkastelun perusteina käytettiin mittaustuloksia sekä käyttäjien antamaa palautetta erityyppisten sääolosuhteiden aikana sekä tilan käyttöasteen vaihdellessa. Tilassa on erityyppistä liikuntatoimintaa, käsittäen yksilöllistä kuntoharjoittelua sekä ohjattua kuntoutusta ja niinkään ohjattua ryhmäliikuntaa. Tarkastelussa huomattiin haasteelliseksi lämpimänä vuodenaikana tapahtuva tilankäyttö, jolloin jäähdytyksen merkitys korostuu sisäilmaston laadussa. Tähän pyrittiin löytämään toteuttamiskelpoinen toimenpide-ehdotus, ja todettiin että ilmalämpöpumppu kattokonvektorein olisi paras ratkaisu tähän tilaan. Reunaehtona oli, että nykyinen ja hyvintoimiva ilmanvaihtojärjestelmä säilyy.

ASIASANAT:

Sisäilmasto, Ilmastointi, Ilmanvaihto, Lämmitys, Jäähdytys.

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

HVAC Engineering

2020 | 46 pages, 1 pages in appendices

Jere Vilkinen

REVIEW OF THE INDOOR CLIMATE OF SPACE USED FOR PHYSICAL EXERCISE AND PROPOSED SOLUTIONS TO IMPROVE IT

In this thesis, the indoor climate of the sports space was examined on the basis of the operating cycle and load, and an attempt was made to find proposals for measures to improve it. The analysis was based on measurement results and user feedback during different types of weather conditions and when the space utilization rate varied. The space has different types of exercise activities, including individual fitness training as well as guided rehabilitation and also guided group exercise. The review found that the use of space during the warm season was challenging, when the importance of cooling in the quality of the indoor climate is emphasized. An attempt was made to find a feasible proposal for this, and it was stated that an air source heat pump with ceiling convectors would be the best solution for this situation. The precondition was that the current and well-functioning ventilation system would be maintained.

KEYWORDS:

Indoor Climate, Airconditioning, Ventilation, Heating, Cooling.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 KOHDETIILA	9
2.1 Kiinteistö	9
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä	10
2.3 Nykytilanne	12
2.4 Tavoitteet	14
3 PERUSTIETOA SISÄILMASTOSTA, MÄÄRITELMÄT JA TEKIJÄT	15
3.1 Sisäilman määritelmä	15
3.2 Sisäilmaston määritelmä	16
3.3 Sisäilmastoon vaikuttavat tekijät	16
3.4 Sisäilmastoon vaikuttavat ulkoiset tekijät	17
4 SISÄILMASTON TARKASTELU	19
4.1 Mittausolosuhteet	19
4.2 Mittausvälineet	19
4.3 Mittausten suorittaminen	21
4.4 Mittaustulokset	22
4.4.1 Talvikauden mittaustulokset	22
4.4.2 Havaintoja talvikauden mittauksista	23
4.4.3 Kesäkauden mittaustulokset	27
4.4.4 Havaintoja kesäkauden mittauksista	31
5 SISÄILMASTON PARANNUSTARPEEN MÄÄRITTELY	32
5.1 Parannustarpeet käyttäjäpalautteen perusteella	32
5.2 Parannustarpeet mittaustulosten perusteella	33
6 JÄÄHDYTYSTEHONTARPEEN MÄÄRITTÄMINEN	34
6.1.1 Yksinkertainen laskenta	34
6.1.2 Taulukkolaskenta	36
6.1.3 Jäähdytystehontarpeen mallinnus Swegon ESBO Light -ohjelmalla	38
6.1.4 Lopullinen jäähdytystehontarve	40

7 TOIMENPIDE-EHDOTUS	41
7.1 Järjestelmien ja laitteistojen tarkastelua	41
7.2 Valmis toimenpide-ehdotus	44
8 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	46

LIITTEET

Liite 1. Pohja- ja IV-kuva.

KAAVAT

Kaava 1. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde. (Esa Sandberg Ilmastointitekniikka Osa 1 Peruskaavoja).	23
Kaava 2. Tehontarve. (Esa Sandberg Ilmastointitekniikka Osa 1 Peruskaavoja).	34
Kaava 3. Jäähdytyksessä poistettava vesimäärä. (Juha Leimu, Opintomateriaali Jäähdytystekniikka).	44

KUVAT

Kuva 1. Yleiskuva kohteesta.	9
Kuva 2. Ilox 297 -ilmanvaihtokoneet ja kanavistoa osa 1.	10
Kuva 3. Kanavistoa osa 2.	11
Kuva 4. Kanavistoa osa 3.	11
Kuva 5. Kanavistoa osa 4.	12
Kuva 6. Ulkoilmasäleiköt sijoitettuna suojaiseen paikkaan.	18
Kuva 7. Kaavio sisäilmaston tekijöistä.	18
Kuva 8. Ridgid micro HM-100 -mittari.	20
Kuva 9. Extech RHT10 -datalogger.	20
Kuva 10. Ristivirta-LTO:n ja JLP:n periaatepiirros.	21
Kuva 11. Mittauspisteiden sijainti Ilmanvaihtokoneessa.	22
Kuva 12. Jäähdytys Mollier -käyrästöllä.	35
Kuva 13. Tilan mallinnusta Swegon ESBO Light -ohjelmalla.	38
Kuva 14. Simuloinnin tulokset.	39
Kuva 15. Kanavoitava Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.	41
Kuva 16. Kanavaan asennettava Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.	42
Kuva 17. Ilmalämpöpumpun seinäasenteinen sisäyksikkö.	42
Kuva 18. Ilmalämpöpumpun seinä- ja lattia-asenteinen sisäyksikkö.	43
Kuva 19. Ilmalämpöpumpun kattoasenteinen kasettimallinen sisäyksikkö.	43

KUVIOT

Kuvio 1. Ulkoilman mittaus talvi.	24
Kuvio 2. Sisäänpuhallusilman mittaus talvi.	25
Kuvio 3. Ulkoilman mittaus kesä.	28
Kuvio 4. Sisäänpuhallusilman mittaus kesä.	29
Kuvio 5. Sisäilman mittaus kesä.	30

TAULUKOT

Taulukko 1. Ilmavirrat D2 2015.	13
Taulukko 2. Ilmavirrat D2 2019.	13
Taulukko 3. Otanta sisäilman mittauksesta talvi.	26
Taulukko 4. Yhdistetty taulukko mittauksista talvi.	26
Taulukko 5. Ulkolämpötilan ääritilanteet.	27
Taulukko 6. Sisälämpötilan ääritilanteet.	27
Taulukko 7. Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaiset lämpökuormat.	36
Taulukko 8. Jäähdytystehontarpeen taulukkolaskenta.	37
Taulukko 9. Laskennan ja mallinnukset tulokset.	40
Taulukko 10. Lopullinen jäähdytystehontarve.	40

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Lyhenne/sana:	Lyhenteen/sanan selitys:
IV-kone	Ilmanvaihtokone
LTO	Lämmön talteenotto
Datalogger/Logger	Mittausarvot ja automaattisesti muistiin tallentava mittalaite
JLP	Jälkilämmityspatteri
Ohituspelti	Rakenneosa jolla voidaan tarvittaessa ohittaa LTO

1 JOHDANTO

Sisäilmasto ja varsinkin siihen liittyvät ongelmat ovat toistuvasti olleet esillä mediassa parin viime vuosikymmenen aikana. Varsinkin kuntien hallinnoimat tai ylläpitämät tilat ovat olleet uutisoinnin kohteena, tilojen sisäilmastoa ja rakenteita on tutkittu runsaasti ja pahimmissa tapauksissa kokonaisia rakennuksia sekä rakennuskomplekseja on purettu ja toimintaa on siirretty niinsanottuihin väistötiloihin joko saneerauksen tai uusien tilojen rakentamisen ajaksi. Osa tiloista on rakennettu aikana, jolloin sisäilmastoon ei ole vielä kiinnitetty tarpeeksi huomiota eivätkä säädökset tai vaatimukset ole vielä olleet nykyisellä tasolla tai edes lähellä sitä. Osassa näitä tiloja on silti täysin mahdollista parantaa sisäilmasto vastaamaan nykyvaatimuksia sekä mukavuutta, tekniikka on kehittynyt paljon ja myös mittaukseen käytettävä välineistö on tällä hetkellä erittäin korkealuokkaista.

Tässä Opinnäytetyössä pyrittiin tarkastelemaan Nousiaisten kunnan käyttämän liikuntatilan sisäilmastoa uudenaikaisin mittausvälinein, ja tällä tavoin sulkemaan pois oletukseen perustuvia arvioita sen laadusta. Lisäksi kyseltiin käyttäjien kokemuksia sisäilmastosta, ja käyttämällä tätä palautetta yhdistettynä tarkasteluun, etsittiin teknisiä ratkaisuja tukemaan olemassaolevaa ilmanvaihtojärjestelmää sisäilmaston parantamiseksi.

Lopputuloksena pyrittiin saamaan toteuttamiskelpoinen toimenpide-ehdotus jolla sisäilmastoa voidaan kontrolloida ja parantaa. Kohdetila on ennestään toimiva ja käyttöaste on korkea, joten lähtökohdat työhön olivat erittäin hyvät.

2 KOHDETIILA

Työssä käsitelty tila sijaitsee Nousiaisten kunnassa ja on vuokrattu liikuntatiloiksi Nousiaisten kunnan liikuntatoimen käyttöön, omistaja on Finn - Anssi Ky. Rakennus on valmistunut vuonna 2000 tuotanto- ja varastotiloiksi, ja yritystoiminnan poistuttua tiloista vuoteen 2015 mennessä niihin tehtiin muutoksia joilla tilat saatiin soveltumaan nykyiseen käyttöön. Ovet sekä kulkujärjestelmä muutettiin käyttötarkoitusta vastaaviksi, ikkunoita lisättiin ja nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä rakennettiin. Liikuntasali on muodostunut erityäin suosituksi, käyttäjiä saapuu myös naapurikunnista ja kuntoiluvälineistö on hyvässä kunnossa sekä uudenaikaista. Tila sijaitsee osoitteessa Kaitaraistentie 162, johon on hyvät kulkuyhteydet sekä Nousiaisten keskustaaajaman kautta että ohi kulkevan suurennetun Vt8:n kautta

2.1 Kiinteistö

Rakennus on osioitu kahteen osaan, liikuntasaliin sekä terapiasaliin. Kokonaispinta-ala on 668m², josta liikuntasalin osuus 334m² ja terapiasalin 279m². Tässä työssä käsiteltiin vain liikuntasalia, koska terapiasalin käyttöaste on huomattavasti pienempi ja terapiasalin puolelta lisäksi siirrytään esim. tekemään laajemmat ja vaativammat fyysiset harjoitteet liikuntasalin puolelle (Liite 1. Pohja- ja IV -piirustus).



Kuva 1. Yleiskuva kohteesta.

2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kohteen Ilmanvaihtojärjestelmä rakentuu kahdesta Iloxair Oy:n valmistamasta Ilox 297 - ilmanvaihtokoneesta kanavistoihin (Liite 1. Pohja- ja IV -piirustus). Järjestelmä rakennettiin vuonna 2015 kun rakennus saneerattiin nykyiseen käyttötarkoitukseensa. Yhden Ilox 297 -ilmanvaihtokoneen kapasiteetti on 500 l/s, ja kahdella koneella liikuntasalin ilmanvaihdoksi on mitoitettu +695/-710 l/s. Kummassakin koneessa on 6 kW:n tehoinen sähkötoiminen jälkilämmityspatteri, joka on säädetty +16 °C lämpötilaan. Ilmanvaihtojärjestelmä on asennettu sisäkaton pinnan alapuolelle, ja IV-koneet vastaavasti so- siaalitiilojen yläpuolelle jolloin huoltotoimille on hyvin tilaa ja koneiden luoksepääsy helppoa (Kuvat 2, 3, 4. ja 5.).



Kuva 2. Ilox 297 -ilmanvaihtokoneet ja kanavistoa osa 1.



Kuva 3. Kanavistoa osa 2.



Kuva 4. Kanavistoa osa 3.



Kuva 5. Kanavistoa osa 4.

2.3 Nykytilanne

Tilan ilmanvaihto on suunniteltu vuoden 2015 D2 -rakennusmääräyskokoelman arvojen (Taulukko 1.) mukaan, jolloin vaatimuksena ulkoilmavirralla oli $(2 \text{ dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$. Tämä toteutuukin erinomaisesti tilan ulkoilmavirran ollessa nyt $695 \text{ dm}^3/\text{s}$, yksinkertaisella laskutoimituksella tilan pinta-ala 334 m^2 kerrottuna arvolla $(2 \text{ dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$ antaa arvoksi $668 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ajanmukainen vuonna 2019 päivitetty D2 (Taulukko 2.) antaa ryhmäliikuntatiloissa arvoksi nyt $30 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti, eli vaatimus on niiltä osin kiristynyt. Tämänhetkisellä ilmanvaihdolla yksinkertainen laskutoimitus $695 \text{ dm}^3/\text{s}$ jaettuna $30 \text{ dm}^3/\text{s}$ antaa kapasiteetiksi 23,16 eli pyöristettynä 23 henkilöä. Mittausten ja yleisen tarkastelun yhteydessä todettiin, että tilassa yli 23 henkilön yhtäaikainen oleskelu toteutuu vain muutamia kertoja viikossa, kesäkaudella ei juuri ollenkaan. Yleisesti klo 16.00 jälkeen käyttöaste nousee ja jatkuu klo 19.00 asti, mutta käyttäjien samanaikainen lukumäärä pysyttelee välillä 12-20. Tämä ilmiö yhdistetään työajan päättymiseen 15.30 ja virka-ajan päättymiseen klo 16.00 koskapa näiden kellonaikojen jälkeen moni henkilö harrastaa liikuntaa.

Taulukko 1. Ilmavirrat D2 2015.

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Liikuntatilat: – Kuntosali – Liikuntasali – Liikuntahalli – Katsomo	8	6		38 / 43	0,25	#T
Käytävät/aulat, joissa oleskellaan		4		38 / 43	0,25	
Käytävät, joissa ei oleskella		2		38 / 43	0,25	
Uima-allastila		5		33 / 38	0,25	#2
		1		38 / 43	0,30	
		2		38 / 43	0,40	#K
Kasarmi-tilat: Miehistötila	8	2		33 / 38	0,20	
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Pesuhuone			5	38 / 43	0,30	#S
Käytävä		1		38 / 43	0,25	
Oleskelutila		3		33 / 38	0,20	
Opetustila	6	3		33 / 38	0,20	
#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11. Hygieniatilat.						
#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.						
#T Ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.						
#K Kosteuden poisto on mitoittava tekijä. Lasketaan tapauskohtaisesti.						
#S Siirtoilmavirtana						

Taulukko 2. Ilmavirrat D2 2019.

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm ³ /s,hlö	Ulkoilma- virta dm ³ /s,m ²	Poistoilma- virta dm ³ /s,m ²	Muita ohjeita
Sisäliikuntatilat Raskas liikunta, esim. salibandy, koripallo, kuntosalien ryhmäliikuntatilat (yli 600 W/hlö)	30			LVI 06-10600 aineenvaihdunnan teho yli 6 met ³ , eli aikuisella yli 600 W (vapaa ja sidottu lämpöteho)
Sisäliikuntatilat Keskiraskas liikunta esim. tennis (400-600 W)	25			LVI 06-10600 aineenvaihdunnan teho 4-6 met, eli aikuisella 400-600 W (vapaa ja sidottu lämpöteho)
Sisäliikuntatilat Kevyt esim. jooga (200-300 W)	15			LVI 06-10600 aineenvaihdunnan teho 2-4 met, eli aikuisella 200-300 W (vapaa ja sidottu lämpöteho)
Kuntosalit	15-25	6		
Katsomo	6 dm ³ /s,paikka			Oma säädettävä kone, mitoitus katsojamäärän mukaan
Käytävät ja aulat, joissa oleskellaan		3		
Pukuhuoneet		3		
Käytävät, joissa ei oleskella		1		
Liikuntatilojen suihku- ja pesutilat		5	vähintään 16 dm ³ /s,suihku	Runsa käyttö; mitoitus pinta-alan mukaan Vähäinen tai ajoittainen käyttö; mitoitus suihkujen lukumäärän mukaan
Uimahallien suihkutilat		5	vähintään 16 dm ³ /s,suihku	
Uimahallit				LVI 06-10451 Ilmanvaihdon mitoitus kosteuden mukaan

1) Met on ihmisen aineenvaihdunnan tehon yksikkö, 1 met on 58 W/m², ihoa, vastaten keskikokoisella ihmisellä noin 105 W, joka poistuu kehosta kuivana (konvektio ja säteily) ja märkänä (vesihöyryyn sitoutuneena) lämpönä.

2.4 Tavoitteet

Kun tilan sisäilmastoa lähdettiin tarkastelemaan, otettiin ensimmäisenä osiona käsittelyyn käyttäjien kokemukset. Ilmanvaihto koettiin riittäväksi ja sisäilmasto yleisellä tasolla miellyttäväksi, ongelmana koettiin kuitenkin tilanteet jotka vaatisivat ilman käsittelyä, eli ryhmäliikuntavuorot ja erityisen lämpimät sekä kosteat säät. Talvet ovat viime vuosina tulleet erittäin leudoiksi, eikä tilan kylmyydestä saatu tämän tarkastelun aikana mainintoja. Sen sijaan hellesäällä palautetta tuli useasti liian lämpimästä ja raskaasta sisäilmastosta. Näillä perusteilla lähdettiin etsimään menetelmää jolla sisäilmastoa voidaan tarvittaessa muokata ja parantaa, sekä pitää lämpötila 18 °C :ssa joka tilalle on määritetty.

3 PERUSTIETOA SISÄILMASTOSTA, MÄÄRITELMÄT JA TEKIJÄT

Liikuntatilassa viihtyvyys on erittäin oleellinen tekijä, ja sisäilmastolla on siihen suuri vaikutus. Käyttäjän on koettava sisäilmasto miellyttävänä, ja tämä korostuu fyysisesti kuormitettuna. Kun tapahtuu hengästymistä ja hikoilua, tuntemukset saattavat olla äärimmäisiä. Perustietoa sisäilmastosta on hyvä omaksua sisäilmaston parantamiseen tähtäävässä työssä. Sisäilmastotietoutta julkaisevat Sisäilmayhdistys ry Internet -sivuillaan, Talotekniikkateollisuus Sisäilmasto ja ilmanvaihto -oppaan muodossa, ja suunnitteluoppaista vastaa FINVAC ry (The Finnish Association of HVAC Societies) joka on edellä mainittujen yhteistyöelin. Talotekniikkateollisuuden Sisäilmasto ja Ilmanvaihto -opas päivittyy vuosittain, ja on myös tallennettavissa omaan käyttöön.

3.1 Sisäilman määritelmä

Sisäilmalla tarkoitetaan sisätiloissa hengitettävää ilmaa, jossa ilman peruskoostumuksen lisäksi saattaa olla eri lähteistä peräisin olevia epäpuhtauksia joko kaasumaisessa muodossa tai hiukkasina (Sisäilmayhdistys ry). Sisäilmastoluokitus 2000:n mukaan sisäilma voidaan jakaa kolmeen laatuluokkaan, joista S1 on yksilöllinen, S2 on hyvä ja S3 on tyydyttävä sisäilmasto. Sisäilmastoluokitus 2000 on Sisäilmayhdistyksen ja rakennusalan asiantuntijoiden yhteistyössä laatima luokitus, jossa annetaan tavoitearvot sisäilmastolle. Nämä käsittävät tavoitearvot mm. lämpötilalle sekä hiilidioksidin, radonin, ammoniakkin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksille.

Sisäilma on hyvää silloin, kun valtaosa tilan käyttäjistä ovat siihen tyytyväisiä, eikä terveyshaittoja ole raportoitu. Ihminen viettää sisätiloissa ajastaan noin 90-95%, ja hengittää vuorokaudessa lähelle 40m³ ilmaa josta täten suuri osa on sisäilmaa. Mikäli sisäilma on epäpuhdasta tai huonolaatuista, ollaan nopeasti tilanteessa jossa terveydentila alenee allergia- ja ärsytysoireiden muodossa, tai keuhkosairauksia ilmenee.

3.2 Sisäilmaston määritelmä

Sisäilmasto muodostuu, kun fyysiset tekijät rakennuksessa vaikuttavat sisäilmaan.

Näitä tekijöitä ovat seuraavat:

- sisäilman kaasumaiset yhdisteet
- sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet
- lämpötila
- kosteus
- ilman liike
- säteily
- valaistus
- melu

Sisäilmasto on silloin hyvä, kun käyttäjät eivät koe tilaan saapuessaan ja siellä oleskellessaan saavansa oireita tai epämiellyttävää oloa.

3.3 Sisäilmastoon vaikuttavat tekijät

Edellä listattiin sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä, mutta näiden tarkempi sisältö on syytä myöskin eritellä. Hyvä sisäilmasto vaatii tilalta teknistä toimivuutta, kuten riittävää ilmanvaihtoa, hyvää rakennetta ja oikeanlaisia materiaaleja. Näillä voidaan sisäilmastoa parantaa ja ylläpitää.

Sisäilmastotekijöitä tyypeittäin jaoteltuna:

- **Sisäilman kaasumaiset yhdisteet**
 - ammoniakki
 - formaldehydi
 - haihtuvat orgaaniset yhdisteet
 - materiaalien kemialliset yhdisteet
 - otsoni
- **sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet**
 - huonepöly
 - liikenteen tai teollisuuden hiukkasmaiset epäpuhtaudet

- mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet
 - ihmisten vaatteissaan kantamat sekä eläimistä irtoava hilse
 - tupakan savu
 - asbesti
-
- **fysikaaliset**
 - ilman kosteus
 - lämpötila ja pintojen lämpötilaerot
 - ilman liike
 - säteily (radon)
 - valaistus
 - melu

Sisäilmastoon voidaan vaikuttaa myös kunnossa- ja puhtaanapidolla, tila on siivottava riittävän usein ja Ilmanvaihtolaitteiston suodattimet on vaihdettava ohjeiden mukaisia vaihtovälejä noudattaen. Näin vältetään epäpuhtauksien vaikutuksilta sisäilmastoon, esimerkiksi yleisessä liikuntatilassa ulkoa kulkeutuu jalkineiden pohjissa huomattavat määrät irtoainesta, hienojakoista hiekkaa ja kuraa. Kuivuessaan lattiapintoihin tämä materiaali nousee huoneilmaan.

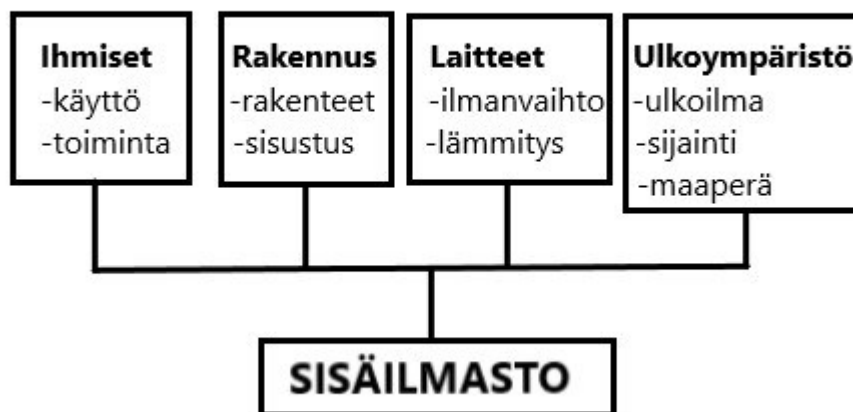
3.4 Sisäilmastoon vaikuttavat ulkoiset tekijät

Sisäilmastoon oleellisesti vaikuttavat myös ulkoiset tekijät kuten tilan sijainti, ympäristö, sää ja liikenteen määrä. Nämä määrittävät sen, millaista ilmaa tiloihin tuodaan ja miten sitä tulee käsitellä hyvän sisäilmaston aikaansaamiseksi. Nämä asiat otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa, esimerkiksi ulkoilmasäleiköt (Kuva 6.) tulee sijoittaa niin, että tilaan otettava ilma on mahdollisimman puhdasta ja viileää, eikä altistu minkään tyyppisille päästöille tai hajuille.



Kuva 6. Ulkoilmasäleiköt sijoitettuna suojaiseen paikkaan.

Yhteenvedona sisäilmaston tekijöitä voidaan havainnollistaa yksinkertaisella kaaviolla (Kuva 7.).



Kuva 7. Kaavio sisäilmaston tekijöistä.

4 SISÄILMASTON TARKASTELU

Sisäilmaston tarkastelun tärkein osio on mittaus, nykyaikaisin mittausvälinein saadaan erinomainen kuva sisäilmaston tilasta lukemien valossa. Vakavat puutteet, laitteiston toimintahäiriöt ja muut haitalliset poikkeamat havaitaan nopeasti. Korjaustoimenpiteisiin on tällöin hyvin konkreettiset lähtötiedot. Tässä tarkastelussa pyrittiin selvittämään mahdollisimman perusteellisesti tilan sisäilmasto ja löytämään tilanteet joihin tulisi päästä vaikuttamaan.

4.1 Mittausolosuhteet

Sisäilmaston määrittäminen kohteessa pyrittiin suorittamaan niin että sääolosuhteissa olisi mahdollisimman paljon vaihtelua, ts. talvimittaus mahdollisimman kylmällä säällä ja kesämittaus mahdollisimman lämpimällä säällä. Mittaukset suoritettiin välillä maaliskuuh Heinäkuu 2020. Mittausten ajoittaminen muodostui kylmän sään osalta haasteelliseksi talven 2019-2020 ollessa erittäin leuto, mutta Ilmatieteen laitoksen säätiedotuksia seuraamalla saatiin järjestymään mittausjakso maaliskuun puoleenväliin jolloin ulkolämpötila oli muutamia vuorokausia pakkasen puolella. Kesäkauden mittaus ajoitettiin hellesäihin, ja onnistuikin sikäli erinomaisesti että kesä-heinäkuun vaihteessa tavoiteltiinkin ilta-päivisin yli +30 °C lämpötiloja.

4.2 Mittausvälineet

Mittauksia suoritettiin sekä manuaalisesti että automaattisesti ajastettuna. Manuaaliseen mittaukseen käytettiin Ridgid micro HM-100 -mittaria (Kuva 8.) ja automaattiseen mittaukseen Extech RHT-10 -dataloggereita (Kuva 9.).



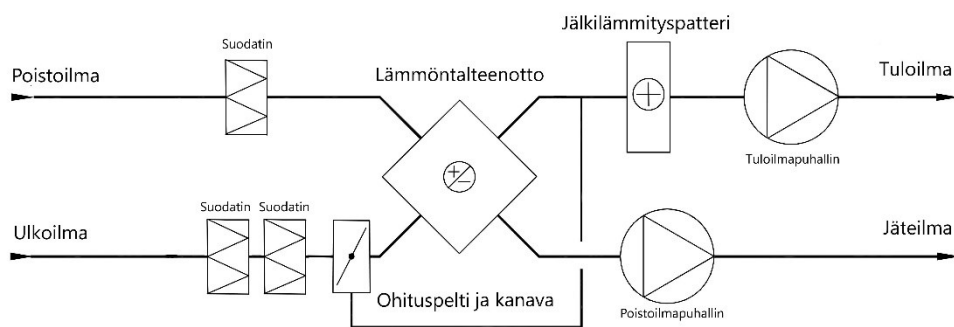
Kuva 8. Ridgid micro HM-100 -mittari.



Kuva 9. Extech RHT10 -datalogger.

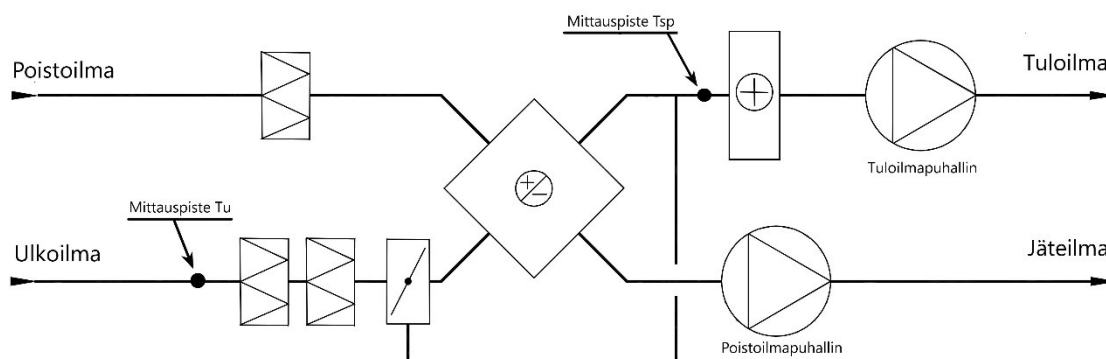
4.3 Mittausten suorittaminen

Mittaukset suoritettiin kahdessa vaiheessa, jotta saatiin kokonaiskuva sekä vuodenajan että sään vaikutuksesta sisäilmastoon. Tilaan johdettavaa ilmaa ei jälkikäsitellä lukuunottamatta Ilmanvaihtokoneen ristivirta -tyyppistä lämmön talteenottoa eikä tuloilman jälkilämmityspatteria joka kytkeytyy automaattisesti toimintaan kun sille tulevan ilman lämpötila alittaa $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toimintaa havainnollistaa periaatepiirros (Kuva 10.).



Kuva 10. Ristivirta-LTO:n ja JLP:n periaatepiirros.

Dataloggerit sijoitettiin Ilmanvaihtokoneen kammioihin siten, että näistä ensimmäinen mittasi koneen ottaman ulkoilman tilaa ja tämä logger nimettiin Tu jossa kirjain "u" tarkoittaa ulkoilmaa, toinen logger mittasi heti LTO:n jälkeen sisäänpuhallettavaa ilmaa. Tämä logger nimettiin Tsp, eli "sp" tarkoittaa sisäänpuhallusta. Mittauspisteiden sijainti on merkitty piirroksen (Kuva 11.). Talvikautena käytössä oli siis kaksi kappaletta dataloggereita jotka sijoitettiin IV-koneeseen ja tilan sisälämpötilaa mitattiin manuaalisesti. Kesäkaudella otettiin käyttöön kolmas logger, jolla myös tilan sisälämpötilaa mitattiin automaattisesti. Tämä logger nimettiin Ts jossa "s" tarkoittaa sisäilmaa. Tällöin kaksi muuta loggeria pidettiin edelleen IV-koneen kammioissa.



Kuva 11. Mittauspisteiden sijainti Ilmanvaihtokoneessa.

Suomea kohdannut Covid-19 -kriisitilanne aiheutti melko pitkän tauon mittausten välille, mutta tilan käyttö jatkui jo kohtalaisen normaalisti 01.07.2020 lähtien. Ryhmäliikuntaharjoitukset käynnistyivät myös, ja normaali käyttäjäkunta alkoi jälleen löytää tiensä tilaan.

4.4 Mittaustulokset

4.4.1 Talvikauden mittaustulokset

Talvikauden mittausjakso ajoittui aikavälille 14.03. – 17.03.2020, jolloin ulkolämpötila kävi pakkasen puolella. Manuaalinen mittaus pyrittiin suorittamaan sellaisena ajankohana, jolloin tilassa kävijämäärät olisivat joko alimmillaan tai huipussaan. Näiksi ajoiksi valikoituivat klo 19.00 ja 22.00. Mittaustulokset esitetty kuvioissa, ulkolämpötila Tu (Kuvio 1.), sisäänpuhalluslämpötila Tsp (Kuvio 2.), sekä otanta manuaalisesta sisälämpötilanmittauksesta Ts (Taulukko 1.). Lämpötiloja voidaan vertailla yhdistetyssä taulukossa (Taulukko 2.), johon on merkitty myös henkilömäärä tilassa kussakin tilanteessa.

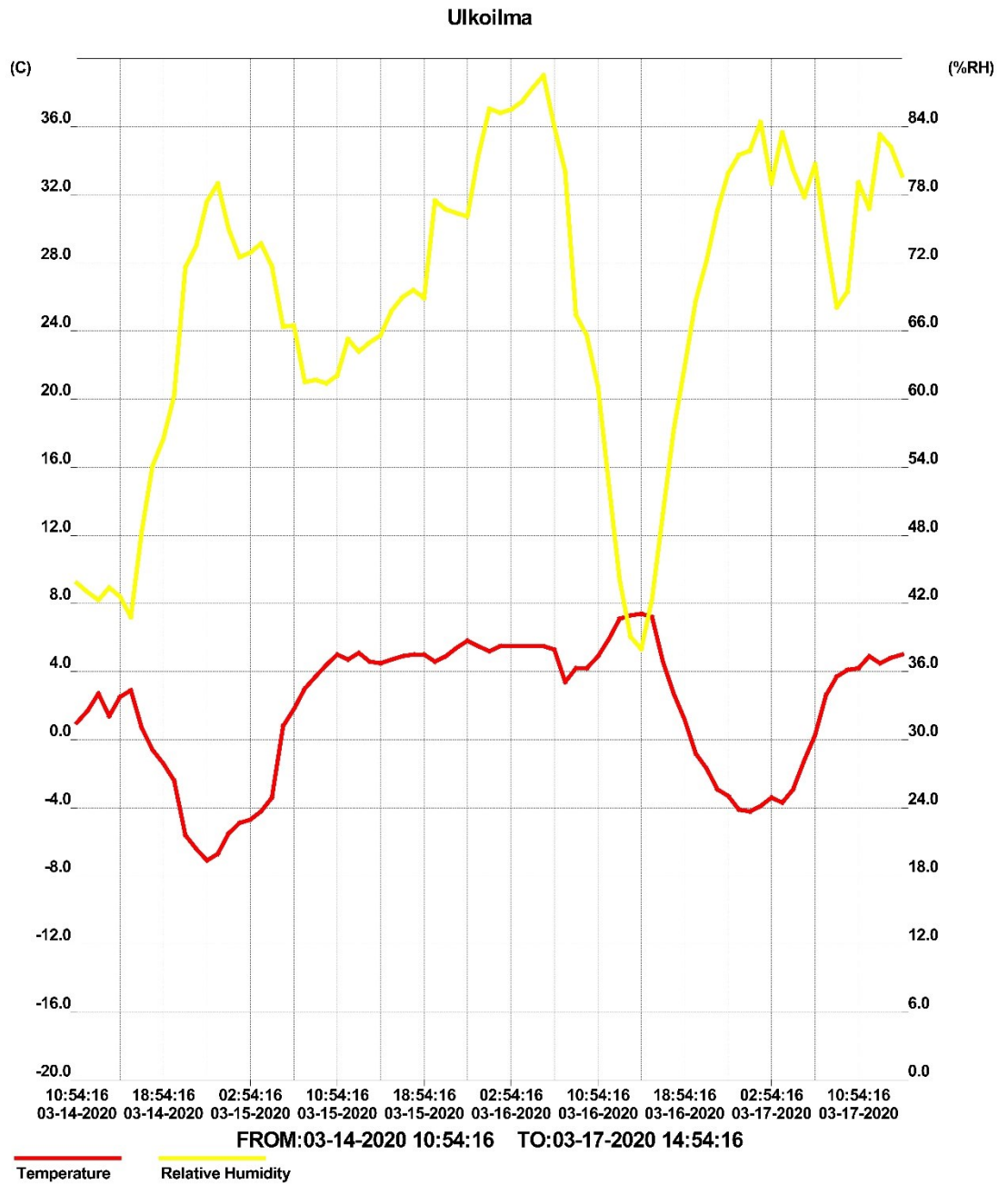
4.4.2 Havaintoja talvikauden mittauksista

Kun mittaukset oli suoritettu, huomio tuloksissa kiinnittyi sisäänpuhalluslämpötilan todella matalaan lämpötilaan LTO:n jälkeen ennen jälkilämmityspatteria. Valmistaja on ilmoittanut laitteen hyötysuhteeksi >50%, jolloin oli syytä epäillä laitteessa olevan toimintahäiriö. Tällöin suoritettiin siis otanta mittaustuloksista ja suoritettiin laskenta, jolla hyötysuhteeksi saatiinkin hälyttävän alhainen 24% (Kaava 1.)

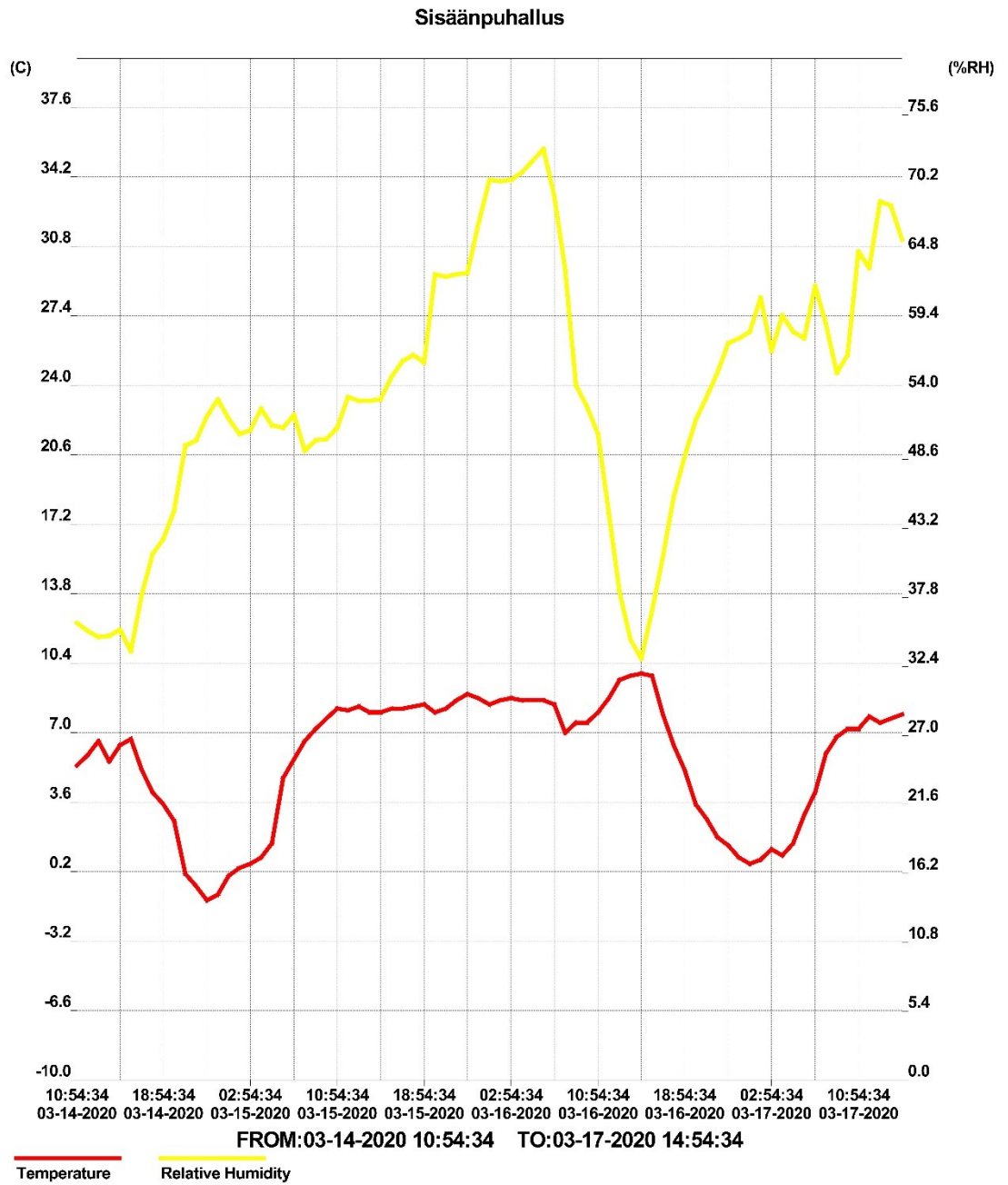
$$\eta_{LTO} = \frac{T_{sp} - T_u}{T_s - T_u} = \frac{-1,2\text{ °C} - (-7,1\text{ °C})}{17,6\text{ °C} - (-7,1\text{ °C})} = \underline{\underline{0,24}}$$

Kaava 1. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde. (Esa Sandberg Ilmastointiteknikka Osa 1 Peruskaavoja).

Laitteiston tekninen tarkastus toi ilmi että LTO:n ohituspelti eli nk. ”kesäpelti” oli ohitusasennossa, pelti tosin vuoti hieman mutta LTO:n vaikutus jäi vaatimattomaksi. Lisäksi IV-koneen suodattimet olivat myös erittäin likaiset, joka osaltaan aiheutti ilmavirtauksen heikkoutta. Mittauksia ei päästy enää suorittamaan huolletulla laitteistolla, sillä maata kohdanneen COVID-19 -kriisin aiheuttamien rajoitusten vuoksi tila jouduttiin sulkemaan Maaliskuun lopun ja Kesäkuun alun väliseksi ajaksi.



Kuvio 1. Ulkoilman mittaus talvi.



Kuvio 2. Sisäänpuhallusilman mittaus talvi.

Taulukko 3. Otanta sisäilman mittauksesta talvi.

PVM	Klo	Ts °C	RHs %	Hlöä
14.3.2020	19.00	19,8	45	32
14.3.2020	22.00	17,6	19	2
15.3.2020	19.00	18,0	54	10
15.3.2020	22.00	16,0	50	0
16.3.2020	19.00	19,5	56	20
16.3.2020	22.00	18,0	30	0

Taulukko 4. Yhdistetty taulukko mittauksista talvi.

PVM	Klo	Tu °C	Rhu %	Ts °C	RHs %	Tsp	RHsp %	Hlöä
14.3.2020	19.00	-1,4	56,5	19,8	45	3,5	42,4	32
14.3.2020	22.00	-6,4	73,5	17,6	19	-0,5	50,0	2
15.3.2020	19.00	5	69	18,0	54	8,4	56,2	10
15.3.2020	22.00	5,4	76,4	16,0	50	8,6	63,1	0
16.3.2020	19.00	1,2	62,8	19,5	56	5,2	48,8	20
16.3.2020	22.00	-2,9	76,6	18,0	30	1,9	55,4	0

4.4.3 Kesäkauden mittaustulokset

Kesäkauden mittausjakso ajoittui aikavälille 24.06. – 02.07.2020 jolloin ulkolämpötila nousi hellelukemiin, ollen korkeimmillaan +30,9 °C. Mittaustulokset esitetty kuvioissa, ulkolämpötila Tu (Kuvio 3.), sisäänpuhalluslämpötila Tsp (Kuvio 4.), sekä Sisälämpötila Ts (Kuvio 5.). Kesäkautena ryhmäliikuntaa ei tilassa ollut, joten kävijämäärää ei tarkkailtu.

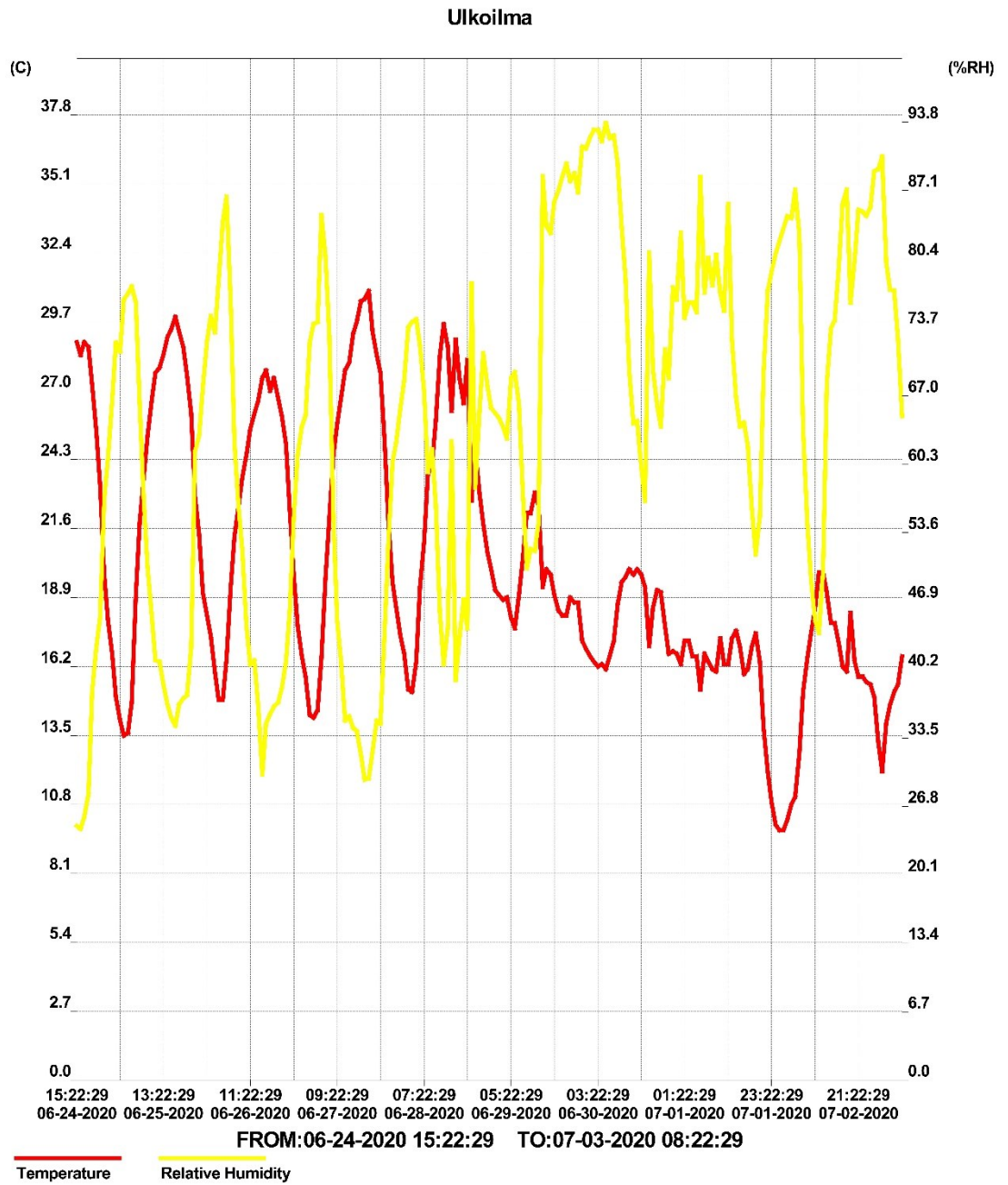
Mittausten päätyttyä haettiin tuloksista ääritilanteet ja taulukoitiin, ulkolämpötilan osalta Taulukkoon 5. ja sisälämpötilan osalta Taulukkoon 6.

Taulukko 5. Ulkolämpötilan ääritilanteet.

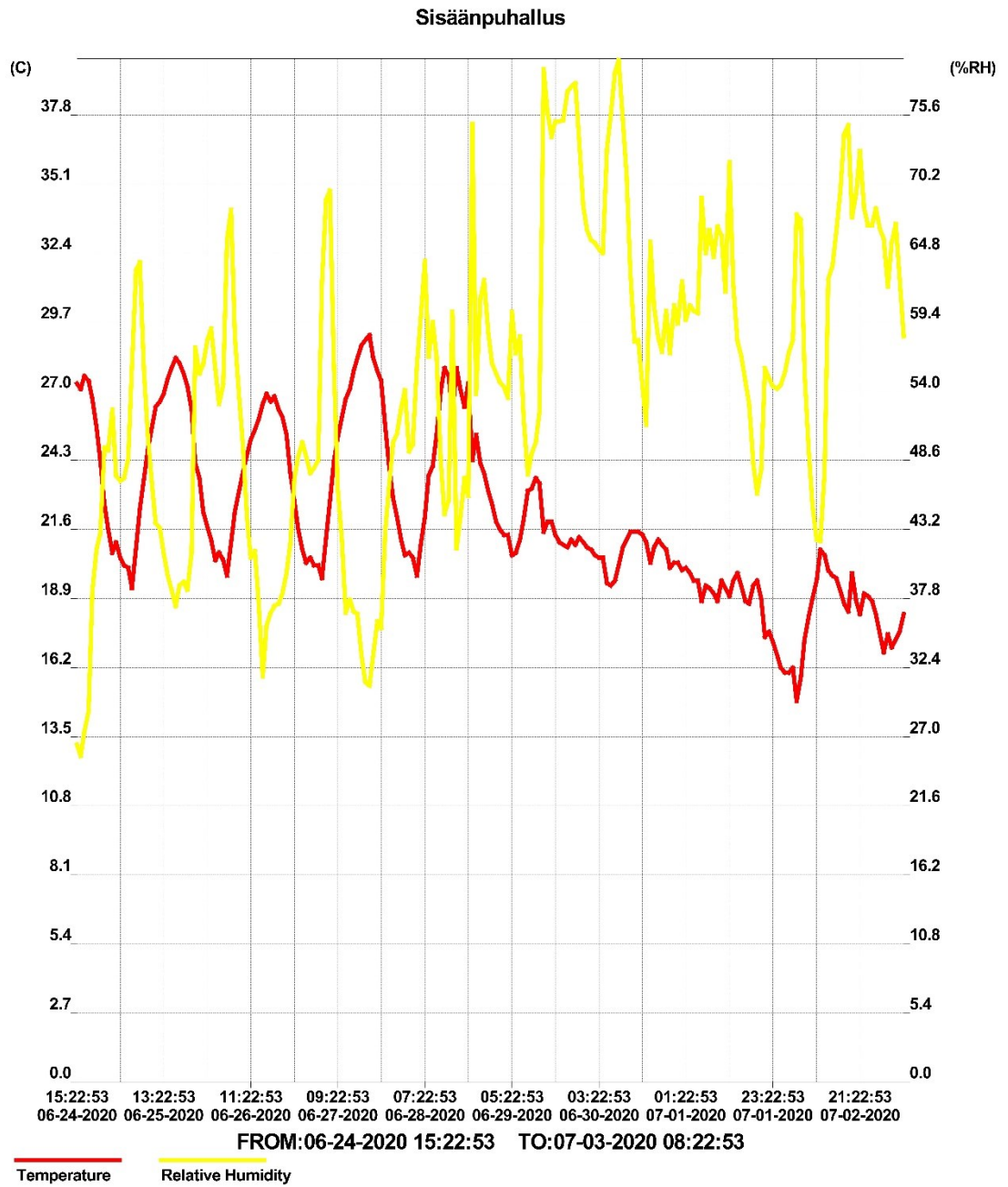
	PVM	Klo	Tu °C	Rhu %	Ts °C	RHs %	Tsp	RHsp %
Korkein ulkolämpötila	27.6.2020	17.22	30,9	29,6	27,0	35,7	29,2	31,0
Matalin ulkolämpötila	2.7.2020	02.22	9,8	82,1	20,3	40,7	16,0	55,5
Lämpötilaero °C			21,1					

Taulukko 6. Sisälämpötilan ääritilanteet.

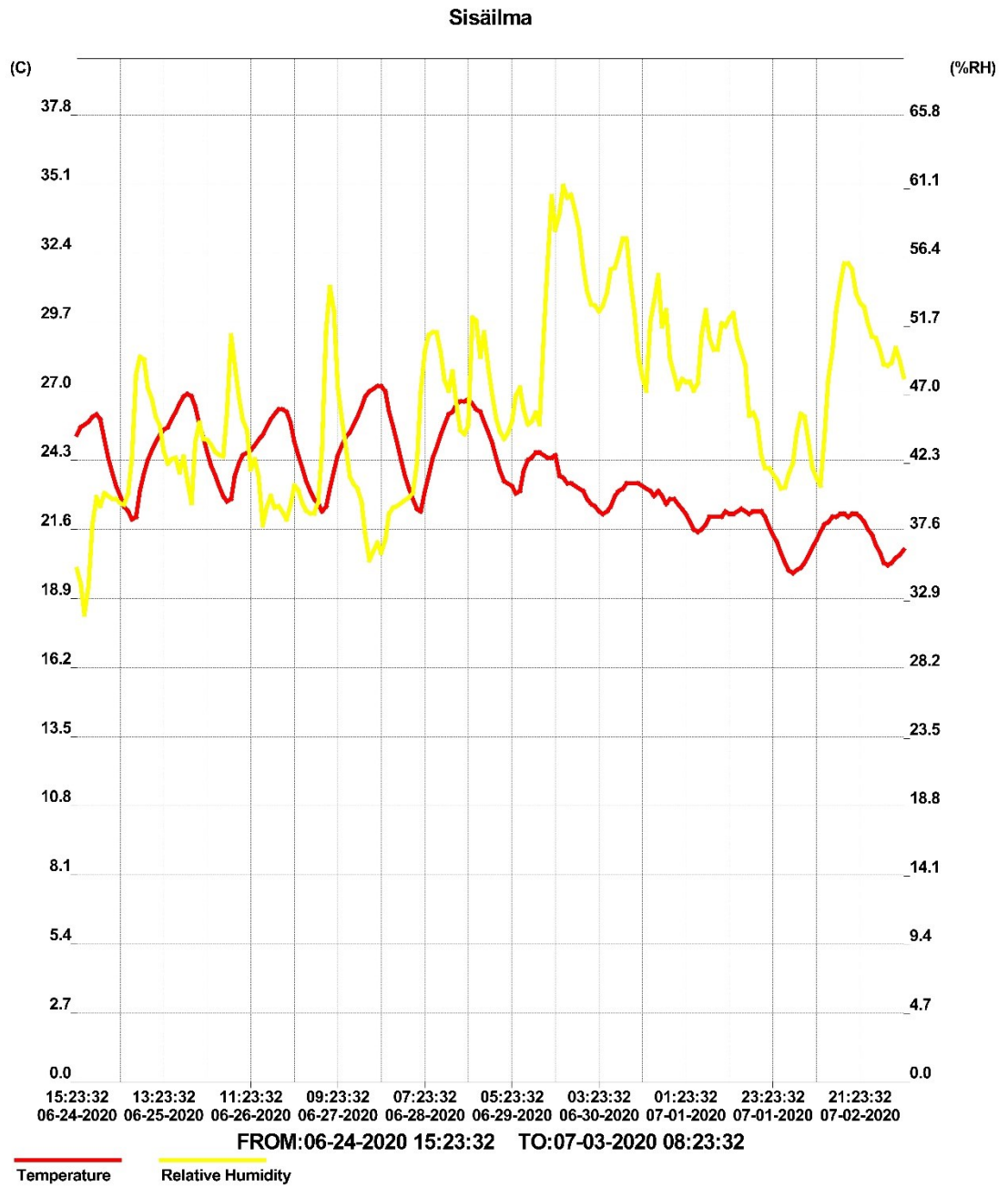
	PVM	Klo	Tu °C	Rhu %	Ts °C	RHs %	Tsp	RHsp %
Korkein sisälämpötila	27.6.2020	20.22	27,7	34,9	27,2	36,9	27,4	35,5
Matalin sisälämpötila	2.7.2020	04.22	10,8	84,4	19,1	42,3	16,2	58,0
Lämpötilaero °C					8,1			



Kuvio 3. Ulkoilman mittaus kesä.



Kuvio 4. Sisäänpuhallusilman mittaus kesä.



Kuvio 5. Sisäilman mittaus kesä.

4.4.4 Havaintoja kesäkauden mittauksista

Jo kesäkauden mittausten aikana tehtiin hyvin konkreettisia havaintoja tilan sisäilmastosta, ja mittausten jälkeen asiaa voitiin todentaa mittaustulosten avulla. Sisälämpötila pysytteli erittäin korkeana ja vaikka ulkolämpötilan vaihteluväli oli 21,1 °C niin sisälämpötila oli silti huomattavasti yli tavoitellun +18 °C:n ollen vaihteluvälillä 8,1 °C alimmillaan +19,1 °C ja korkeimmillaan +27,2 °C. Käyttäjät olivat kesäkauden mittausten aikana ymmärrettävästi erittäin aktiivisia kommentoimaan tilan lämpötilaa ja tuntemuksiaan. Ikäihmisten, liikuntarajoitteisten ja pitkäaikaissairaiden näkökulmasta tilanne muodostui todennäköisesti vielä raskaammaksi. Itse mittausprosessi onnistui erittäin hyvin, ja antoi todella hyvät lähtökohdat etsiä ratkaisuja sisäilmaston kontrollointiin.

5 SISÄILMASTON PARANNUSTARPEEN MÄÄRITTELY

Mittausten ja seurannan jälkeen oli vuorossa parannustarpeen määrittely, jolle oli nyt erittäin hyvät edellytykset. Mittaukset onnistuivat hyvin, ja käyttäjät olivat aktiivisia antamaan palautetta. Käyttäjäpalautteen käsittelyssä oli huomattavaa yksilöllistä vaihtelua, ja kontrasti näissä oli suuri. Harjoittelun intensiteetti on yksilöllistä, ja käyttäjäkunnassa erottuivatkin nopeasti joko aerobista (Kestävyyskuntoa ja hapenottoa kehittävä) liikuntaa tai anaerobista (Lyhytkestoista ja maksimaalista voimantuottoa kehittävä) liikuntaa suorittavat käyttäjät. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että aerobista harjoitusta suorittava henkilö saattaa tehdä harjoitteen, kestoltaan 1,5-2h, kokonaan juoksumatolla tai kuntopyörällä tasaisella suurella kuormituksella. Anaerobista harjoitusta suorittava henkilö vastaavasti tekee toistuvia lyhytkestoisia ja äärimmäisen raskaita voimaharjoitteita erittäin suurilla harjoituspainoilla, ja harjoitteen kesto on 1-2h. Näitä kahta harjoittelulinjaa yhdistävä seikka on, että varsinaista harjoitusta edeltää näissä kummassakin kevyt alkuharjoittelu. Näillä perusteilla kumaltakin käyttäjäryhmältä saatu palaute oli erittäin yhtenevää, jolloin asiaa oli helppo viedä eteenpäin.

5.1 Parannustarpeet käyttäjäpalautteen perusteella

Talvikaudella suoritettun sisäilmastokyselyn mukaan käyttäjät kokivat tilan lämpimäksi ja viihtyisäksi ilmanvaihdon ollessa riittävä ja jälkilämmityspatterien ollessa toiminnassa alle +16 °C ulkoilmatilanteessa. Ryhmäliikuntaa on tilassa talvikautena runsaasti ja kävijämäärä kaikenkaikkiaan on korkea, joten palautetta saatiin paljon ja tilanteen määrittäminen oli helppoa. Sisälämpötila pysyi alle +20 °C ja suhteellinen kosteus alle 50 % lukemissa, joten tilanne todettiin hyväksi.

Kesäkaudella suoritettu vastaava kysely toi hyvin nopeasti esiin tuntemukset tilan jatkuvista huomattavan korkeista lämpötiloista. Kesäkaudella kun käyttäjäkunta on pääsääntöisesti lomalaisia, käyttäjiä oli myös päiväsaikaan tiloissa. Käyttäjät kokivat olonsa raskaaksi ja väsyneeksi harjoitteita tehdessään, kun sisälämpötila nousi +27 °C lukemiin. Viihtyisyyden aleneminen ja yleisvoiminnan heikkeneminen alkoivat olla jo konkreettisia seurauksia.

Käyttäjäpalautteiden perusteella ja kesäkauteen painottuen, tilan jäähdyttäminen alkoi muodostua huomioitavaksi parannustarpeeksi.

5.2 Parannustarpeet mittaustulosten perusteella

Mittaustulosten tarkastelu vahvisti erittäin nopeasti käyttäjäpalautteen antaman suunnan, eli myös lämpötilalukemien valossa tilan jäähdyttämisen tarve alkoi näyttää ilmeiseltä. Lämpötilan pysyminen pitkälti yli +19 °C:n lukemissa kun tilalle on määritetty tavoitteeksi +18 °C, tilanne vaatii parannusta. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 määritetään sisälämpötilalle toimenpideraja, joka on lämmityskauden ulkopuolella +30 °C. Kun korkein mitattu lämpötila oli +27,2 °C, ollaan jo hyvin lähellä tätä toimenpiderajan lämpötilaa.

6 JÄÄHDYTYSTEHONTARPEEN MÄÄRITTÄMINEN

Kun jäähdytystehontarvetta lähdettiin määrittämään, päädyttiin käyttämään kolmea työkalua: yksinkertaista laskentaa, Microsoft Excel -taulukkolaskentaa, sekä sääsimulointia Swegon ESBO Light 2.3 -mallinnusohjelmalla. Näiden antamat tulokset olivat erinomaisia approksimaatioita, ja näistä pystyttiin iteroimaan hyvin lopullinen jäähdytysteho.

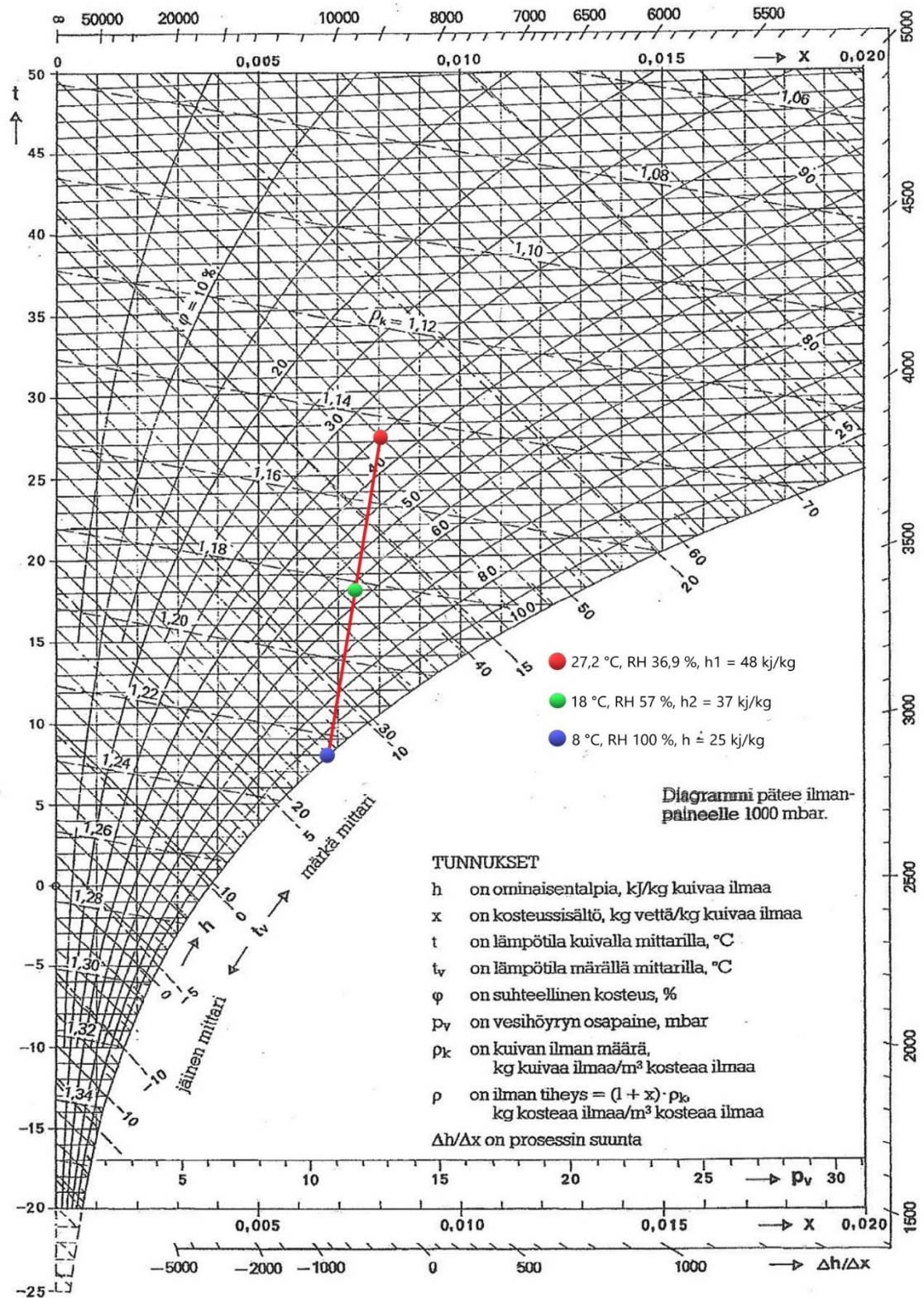
6.1.1 Yksinkertainen laskenta

Jäähdytystehontarpeen määrittäminen aloitettiin tarkastelemalla Mollier -käyrästössä (Kuva 12.) sisäilman ilman tilaa ja vertaamalla sitä tavoitetilaa, jonka jälkeen laskettiin näiden entalpiaerosta arvo jäähdytykseen tarvittavalle teholle \dot{Q}_J (Kaava 2.) Otettiin tarkasteluun ääritilanne, jossa sisälämpötila oli korkeimmillaan eli +27,2 °C ja suhteellinen kosteus 36,9 %. Entalpia h_1 oli tällöin 48 kJ/kg. Jäähdytyspatterin pintalämpötilaksi oletetaan 8 °C jolloin piste sijaitsee kylläisyyskäyrällä, ja jäähdytysprosessi kulkee lineaarisesti tätä pistettä kohti. Näiden pisteiden väliltä haetaan tavoitelämpötila +18 °C, jossa suhteellinen kosteus on 57 % ja entalpia h_2 on tällöin 37 kJ/kg. Entalpiaero Δh on täten näiden pisteiden erotus $h_1 - h_2$ eli 11 kJ/kg, ilmavirta 0,695 m³/s, ja ilman tiheys ρ_i on 1,2 kg/m³.

$$\dot{Q}_J = q_{vi} * \rho_i * \Delta h = 0,695 * 1,2 * 11 = \underline{\underline{9,2 \text{ kW}}}$$

Kaava 2. Tehontarve. (Esa Sandberg Ilmastointitekniikka Osa 1 Peruskaavoja).

Saatu arvo antaa viitteen millaisessa teholuokassa ilman osalta liikutaan, lopullisen jäähdytystehontarpeen määrittämiseksi on huomioitava myös lämpökuormat tilassa sekä esim. auringon ja sääolosuhteiden vaikutus.



Kuva 12. Jähdytys Mollier -käyrästä.

6.1.2 Taulukkolaskenta

Jäähdytystehontarpeesta muodostettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla käänteinen versio rakennuksen lämmitystehontarpeen laskennasta. Tämä laskenta otti huomioon myös ulkoilmavirran, käytössä oli jälleen ääritilanteen sisälämpötila +27,2 °C ja tavoitelämpötila +18 °C. Tähän laskentaan otettiin huomioon ulkoilmavirran lisäksi myös erityyppiset lämpökuormat, jotka muodostuvat tilan henkilömäärästä sekä valaistuksesta. Näiden lämpökuormien laskentaan käytettiin Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaisia arvoja (Taulukko 7.). Henkilömääränä käytettiin keskimääräistä kesäkauden klo 16.00-19.00 aikavälin kävijämäärää jonka todettiin olevan 12 henkilöä.

Taulukko 7. Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaiset lämpökuormat.

Ympäristöministeriön asetus (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta							
6 § Rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus							
Vakioituun käyttöön perustuva rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus koostuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiamuodittain eritellystä energiankulutuksesta, josta on vähennetty rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä olevasta energiasta otettu energia siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa siinä tapahtuvan vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseen.							
11 § Rakennuksen vakioitu käyttö							
E-luvun laskennassa käytettävä rakennuksen vuorokautinen ja viikoittainen käyttöaika, keskimääräinen valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ihmisten läsnäolon käyttöaste rakennuksen käyttöajan aikana sekä sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti ovat seuraavat:							
Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^g W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	6	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	9	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	10	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	11	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	14	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	10	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	7	9	8

Valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ihmisten aiheuttama vuotuinen lämpökuorma Q (kWh/m²) on laskettava kaavalla:

$$Q = kP \frac{\tau_d}{24} \frac{\tau_w}{7} \frac{8760}{1000}, \text{ jossa:}$$

k on keskimääräinen valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana;
 P on lämpökuorma W/m²;
 τ_d on rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa h;
 τ_w on rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa d.

Taulukkolaskenta antoi jäähdytystehontarpeeksi **11,36 kW**, kun laskennassa oli huomioitu ainoastaan rakenteet, ilmvirta, ja lämpökuormat. Ilmavirran osalta otettiin huomioon myös lämmöntalteenoton hyötysuhde >50%. Taulukkolaskenta lähtöarvoineen ja tuloksineen esitetty taulukossa (Taulukko 8.).

Taulukko 8. Jäähdytystehontarpeen taulukkolaskenta.

Jäähdytystehontarvelaskenta			U-Arvot:		$C_{p,iLMA}$	1000	J/kg°C
Jere Vilkinen heinä.20			Seinä	0,24	ρ_{iLMA}	1,2	kg/m ³
			Yläpohja	0,22		Kerros-luku:	1
Paikkakunta: Nousiainen			Ikkunat	2,8		Ilmanvuoto-luku q_{50}	4
Ts2:	18	°C	Alapohja	0,4		x	35
Ts1:	27,2	°C	Ovet	0,98	qv tulo l/s:		695
ΔT :	9,2	°C			qv tulo l/s/m2:		2,08
Δh :	11	kJ/kg					
Osa	Leveys	Kork./Pit.	A brutto	A netto	A Ikkuna	A Ovi	
Alapohja	22,1	15,1	334	334			
Yläpohja	22,1	15,1	334	334			
Seinä 1	22,1	4,18	92,4	89,4		2,9	
Seinä 2	15,2	4,18	63,4	61,8	1,6		
Seinä 3	22,1	4,18	92,4	89,2	3,2		
Seinä 4	0	0	0	0			
Rakenne yht. m2			248,1	240,4	4,8	2,9	

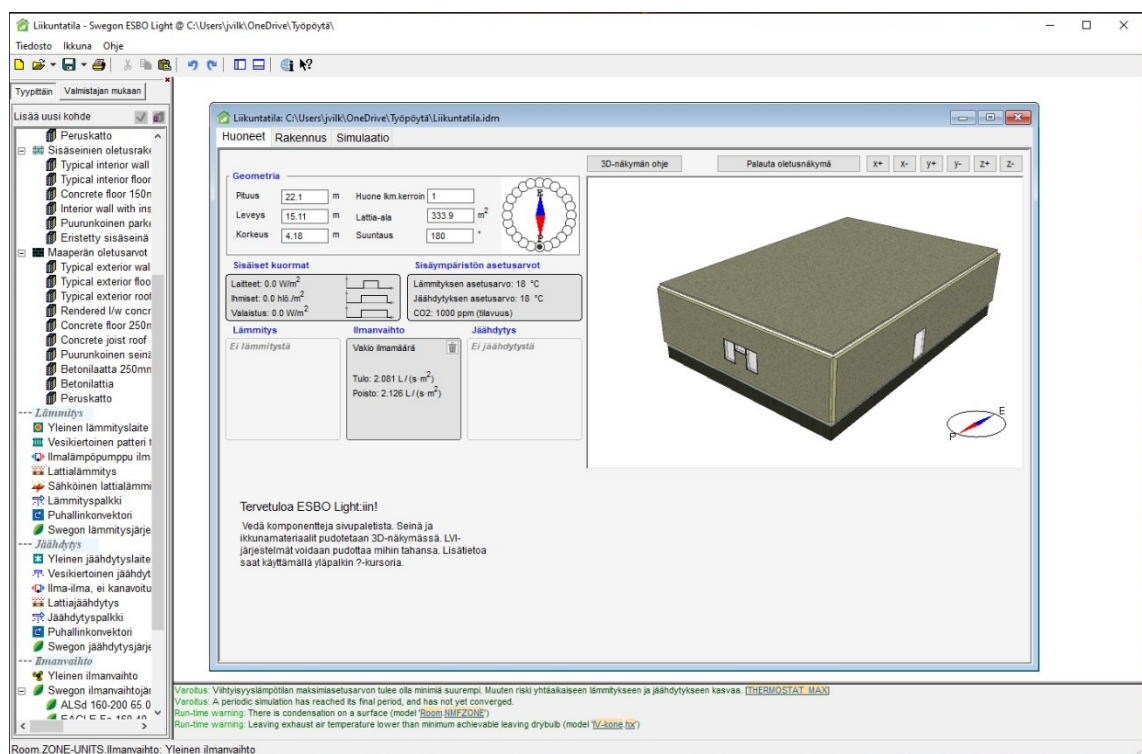
Rakenne:	A	Ø
Seinä	240	531
Yläpohja	334	676
Ikkunat	4,8	124
Alapohja	334	1229
Ovet	2,9	27
Yhteensä:		2586

Jäähdytystehontarve:		
ØJ:	11,36	kW

Vuotoilma m3/s:		0,0076
Øvi	W	84,2
Ilmanvaihto m3/s:		0,7
ØIV	W	4587
Hyötysuhde η_{LTO} :		0,5
Henkilömäärä:		12
Øhenk	W	765
Valaistus 10W/m2:		
Øval	W	3339



6.1.3 Jäähdytystehontarpeen mallinnus Swegon ESBO Light -ohjelmalla

Aiemmat laskennat eivät ottaneet huomioon sään ja auringon vaikutuksia tilaan, joten avuksi otettiin tietokonemallinnus (Kuva 13.). Jäähdytystehontarpeen mallintamiseksi Swegon ESBO Light -ohjelmaan syötettiin samat lähtöarvot kuin aiemmissakin laskentatavoissa, ja rajattiin arvot kuitenkin siten että tuloksena oli ainoastaan sään ja auringon vaikutus. Tämän jälkeen ajettiin simulointi, joka antoi jäähdytystehontarpeeksi 2616 W eli **2,616 kW**. Simuloinnin tulos ja tilan 3D -malli nähdään kuvasta (Kuva 14.).

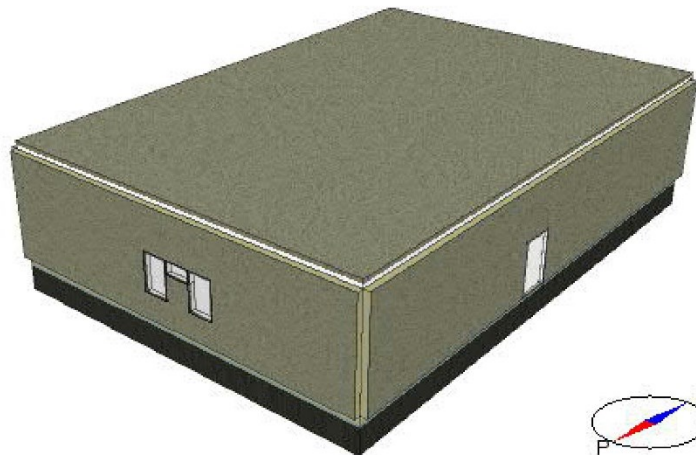


Kuva 13. Tilan mallinnusta Swegon ESBO Light -ohjelmalla.



 The indoor climate company	Powered by 
<h2>ESBO Indoor climate and energy calculation</h2>	
Projekti	Liikuntatila
Kuvaus	
Sijainti	Turku_029720 (ASHRAE 2013)
Asiakas	
Laskija	Jere P. Vilkinen
Suunnittelutapaukset	Jäähdytystarpeenlaskenta
Simuloitu	23.10.2020 9.04.01
ESBO versio	2.3

Simulointituloksia



Jäähdytysteho*

Huipun ajank.**	15 Hei 23:38:51
Tuloilman jäähdytysteho (kuiva)	2384 W
Jäähdytysteho (vesi)	0.0 W
Muu jäähdytys ***	232.0 W
Kokonaisjäähdytysteho	2616 W
Huoneilman lämpötila	21.84 °C

* Jäähdytys/lämmitys tilaan. Osa näistä voi olla vapaalähteistä, esim. viileä ulkoilma.

** Raportoitu huipun ajank. on kokonais (tuntuva + latentti) huonekuorman huippu. Kaikki tulokset ovat täältä ajanhetkeltä.

Kuva 14. Simuloinnin tulokset.

6.1.4 Lopullinen jäähdytystehontarve

Lopullista jäähdytystehontarvetta lähdettiin iteroimaan edellisten kolmen menetelmän tuloksista (Taulukko 9.).

Taulukko 9. Laskennan ja mallinnukset tulokset.

Laskenta/mallinnusperuste:	Tulos kW:
Ulkoilmavirta	9,2
Ulkoilmavirta, lämpökuormat ja rakenteet	11,36
Sää ja aurinko	2,616

Näistä arvoista pääteltiin, että taulukkolaskennan ja simuloinnin tulokset yhdistämällä päästään riittävään tarkkuuteen jäähdytystehon määrittämisessä. Aluksi tarkasteltu ulkoilmavirran tehontarve puolittuu kun LTO:n hyötysuhde on vähintään 50%, tällöin arvoksi jää **4,6 kW** joka otetaan huomioon taulukkolaskennassa. Kun taulukkolaskennan tulokseen **11,36 kW** lisätään simuloinnin **2,616 kW** jäähdytystehontarve, saadaan lopulliseksi jäähdytystehontarpeeksi **14,0 kW**. Tulos esitetty taulukossa (Taulukko 10.).

Taulukko 10. Lopullinen jäähdytystehontarve.

Laskenta/mallinnusperuste:	Tulos kW:	
Ulkoilmavirta	9,2	
Ulkoilmavirta, lämpökuormat ja rakenteet	11,36	IV 4,6 kW
Sää ja aurinko	2,62	
Jäähdytystehontarve kW:	14,0	

7 TOIMENPIDE-EHDOTUS

Toimenpide-ehdotusta pohjustettiin tutkimalla olemassaolevia ratkaisuja vastaavanlaisissa tiloissa, ja perehtymällä markkinoilla oleviin laitteistoihin sekä järjestelmiin. Jälki-asetteiset lämpöpumput ovat yleistyneet ja tarjonta on erittäin laaja, tämä tekee laitteistoalinnan tänä päivänä helpoksi.

7.1 Järjestelmien ja laitteistojen tarkastelua

Kun toimenpide-ehdotusta lähdettiin laatimaan, otettiin tarkasteluun erilaisia järjestelmiä ja laitteistoja. Tilan rakenteet ja käytön luonne määrittivät hyvin selvästi että järjestelmäksi valitaan ilmalämpöpumppu. Olemassaoleva ilmanvaihtojärjestelmä säilytetään, ja yhtenä vaihtoehtona tarkasteltiin sen hyödyntämistä jäähdytykseen. Tällaisessa jäähdytysratkaisussa toteutuksena olisi kanavoitava (Kuva 15.) tai kanavaan asennettava (Kuva 16.) sisäyksikkö, joita on valittavana erittäin laajalla jäähdytystehoalueella välillä 1,58 kW – 28 kW.



Kuva 15. Kanavoitava ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.



Kuva 16. Kanavaan asennettava Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.

Kanavayksiköiden tarkastelu osoitti kuitenkin, että olemassaolevat ilmanvaihtokanavat olisivat vaatineet huomattavia rakenteellisia muutoksia mikäli jäähdytysratkaisua olisi lähdetty näillä sisäyksiköillä toteuttamaan. Yksiköiden sovittaminen olemassaolevaan kanavistoon olisi vaatinut suuria peltitöitä, ja lisäksi jäähdytykseen käytettävä tuloilmakanavisto olisi vaatinut eristystä. Eristystyö olisi ollut paitsi huomattavan suuri toteutettavaksi, niin eristeestä olisi aiheutunut myös erittäin merkittävä esteettinen haitta. Seuraavina vaihtoehtoina tarkasteltiin tilan seinäpintoihin ja lattiarajaan asennettavia sisäyksiköitä (Kuvat 17. ja 18.), koska seinäpinta-alaa on tilassa runsaasti.



Kuva 17. Ilmalämpöpumpun seinäasenteinen sisäyksikkö.



Kuva 18. Ilmalämpöpumpun seinä- ja lattia-asenteinen sisäyksikkö.

Näiden yksiköiden tarkastelussa päädyttiin kuitenkin siihen tulokseen, että seinäasenteisten yksiköiden ilmanhajotus ei olisi todennäköisesti riittävä. Tilan ollessa kohtalaisen korkea 4,18 m tultiin siihen tulokseen että ilman suuntauksella ja hajotuksella on suuri merkitys. Tarkasteltavana oli vielä yksi sisäyksikkötyyppi, kattoon asennettava kasettimallinen sisäyksikkö (Kuva 19.) joka soveltuu erinomaisesti tämäntyyppiseen tilaan.



Kuva 19. Ilmalämpöpumpun kattoasenteinen kasettimallinen sisäyksikkö.

Tämä sisäyksikkö ottaa ilman sisään keskeltä ja ulospuhallus tapahtuu neljään suuntaan, lisäksi ulospuhalluksen työmekanismin lapakulmia voidaan muuttaa ja ilman suuntausta täten säätää. Tällä tavoin jäähdytetyn ilman hajotus saadaan korkeassa tilassa erittäin laajaksi.

7.2 Valmis toimenpide-ehdotus

Edellä tehdyn selvitystyön perusteella ehdotetaan, että tilaan asennetaan min. 14 kW:n tehoinen laitteisto, joka koostuu Ilmalämpöpumpputähtelmästä kasettimallisin kattoasenteisin sisäyksiköin. Tällä ratkaisulla tilaa voidaan kesäkaudella jäähdyttää, ja näin lisätä käyttäjien viihtyisyyttä. Jos jäähdytystarvetta ei ole, laitteistoa voidaan käyttää myös pelkkään ilman kierrättämiseen joka tuo myös raikkauden tunnetta sisäilmastoon. Lämmityskautena laitteistosta on myös etua, sillä sisäyksikön lämmitysteho on 1 kW korkeampi kuin jäähdytysteho. Kesäkaudella jolloin jäähdytyksen tarve on suurimmillaan, laitteiston avulla poistuu myös huomattava määrä kosteutta kohdan 6.1.1 mukaan kun järjestelmä on suorahöyrysteinen ja sisäyksiköt ovat viemäroitävää tyyppiä. Poistettava vesimäärä q_{vv} (Kaava 3.) on helposti laskettavissa. Tässä tilanteessa ilmavirta on siis 0,695 m³/s ja ilman tiheys ρ_i on 1,2 kg/m³. Lämpötila lähtöpisteessä on +27,2 °C ja suhteellinen kosteus 36,9 %, entalpia h_1 on 48 kJ/kg ja kosteus x_1 on 0,0082 kgv/kgi. Tavoitepisteessä vastaavat arvot ovat +18 °C, suhteellinen kosteus 57 %, entalpia h_2 on 37 kJ/kg ja kosteus x_2 on 0,0075 kgv/kgi. Kosteusero Δx on täten 0,0007 kgv/kgi.

$$q_{vv} = q_{vi} * \rho_i * \Delta x = 0,695 * 1,2 * 0,0007 = 0,0058 \text{ kg/s} = \underline{\underline{20,9 \text{ l/h}}}$$

Kaava 3. Jäähdytyksessä poistettava vesimäärä. (Juha Leimu, Opintomateriaali Jäähdytystekniikka).

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli liikuntatilan sisäilmaston tarkastelu ja toimenpide-ehdotus sen parantamiseksi, ja tällä pyrittiin liikuntapalvelujen kannalta tärkeän kiinteistön sisäilmaston parantamiseen. Koin työn erittäin mielenkiintoisena ja haastavana, selvitettävää oli paljon ja lukuisia asioita oli myös otettava huomioon. Työ opetti myös uusia asioita, kuten sään vaikutus sisäilmastoon, käyttöasteen vaihtelun vaikutuksen luonne, ja käyttäjien yksilöllisten sisäilmakokemusten vaihtelun ymmärtäminen. Myös käsitykseni ja tietämykseni laitteistoista parani huomattavasti. Sisäilmasto työalueena on mielenkiintoinen, ja tulevaisuudessa edessä on todennäköisesti uusia haasteita asetusten ja määräysten muuttuessa. Toivon että tästä opinnäytetyöstä ratkaisuihin on hyötyä sekä minulle tulevalla työurallani, että seuraaville alan sukupolville.

LÄHTEET

Sisäilmayhdistys ry. 2020. Sisäilmasto. Sisäilman tekijät. [Online] 2020. [Viitattu: 11. Syyskuu 2020.] <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-tekijat>

Talotekniikkateollisuus. [Viitattu: 24. Marraskuu 2020]

FINVAC ry. [Viitattu: 24. Marraskuu 2020]

Esa Sandberg 2016, Ilmastointitekniikka Osa 1, Peruskaavoja. [Viitattu: 19. Lokakuu 2020]

D2 2010 Urheilutilat, uimahallit ja kasarnit. [Viitattu: 20. Lokakuu 2020]

D2 2019 Liikuntatilat ja uimahallit. [Viitattu: 20. Lokakuu 2020]

Sosiaali- ja terveysministeriö 2015. Asetus 545/2015, 6\$, Liite 1. [Viitattu: 21. Lokakuu 2020]

Ympäristöministeriö 2017. Asetus 1010/2017, 11\$, Rakennuksen vakioitu käyttö. [Viitattu: 21. Lokakuu 2020]

Juha Leimu 2018, Oppimateriaali Jäähdytystekniikka. [Viitattu: 27. Marraskuu 2020]

Pohja- ja IV-kuva

