

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutus

Markus Manninen
Ari Piironen

KUNTOSALIN ILMANVAIHDON RIITTÄVYYDEN
TARKASTAMINEN JA ENERGIA TEHOKKUUDEN OPTIMOINTI
MUUTTUVAILMAVIRTAISELLA JÄRJESTELMÄLLÄ

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2018
Talotekniikka

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihte)

Tekijät
Ari Piironen, Markus Manninen

Nimeke
Kuntosalin ilmanvaihdon riittävyyden tarkastaminen ja energiatehokkuuden optimointi muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä

Toimeksiantaja
Kuntokeskus Energy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuntosalin nykyisen vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon riittävyys sekä mahdolliset energiansäästöpotentiaalit muuttuvilmavirtaisella ilmanvaihdolla. Nykyisen ilmanvaihdon riittävyyttä arvioitiin hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksilla sekä kuntosalin asiakkaiden tilaan tuottamalla hiilidioksidituoton perusteella.

Sisäilmaluokitus 2018 hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoja apuna käyttäen voidaan arvioida ilmanvaihdon toimivuus ja riittävyys. Korkea hiilidioksidipitoisuus kertoo yleisesti riittämättömästä tai huonosti säädetystä ilmanvaihdosta. Kuntosaliin hiilidioksidipitoisuus muodostuu kuntosalin asiakkaiden hiilidioksidintuotosta sekä ulkoilman hiilidioksidipitoisuudesta. Asiakkaiden hiilidioksidituoton määrittämiseen käytettiin kansainvälisesti tunnettuja MET-arvoja, joiden avulla voidaan arvioida ihmisen fyysisen rasitettavuuden suhdetta lepotilan rasitukseen.

Opinnäytetyössä muuttuvailma- ja vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energialaskenta on toteutettu IDAICE-energiasimulointiohjelmalla sekä vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon laskenta on toteutettu määräysten mukaisesti käsilaskentana. Energiakulutuksia vertailemalla voidaan määrittää kuntosalin ilmanvaihdon energiansäästöpotentiaali.

Kieli
suomi

Sivuja 85
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat

muuttuvilmavirtainen ilmanvaihto, kuntosali, ihmisen hiilidioksidin tuotto, metabolinen ekvivalentti, energiasimulointiohjelma

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS April 2019 Degree Programme in Building Services Engineering Tikkarinne 9 80200 JOENSUU FINLAND + 358 13 260 600 (switchboard)
Authors Ari Piironen, Markus Manninen	
Title Checking Gym Ventilation Sufficiency and Optimizing Energy Efficiency With a Variable-Flow System Commissioned by Karelia UAS	
Abstract The goal of this thesis was to find out the present sufficiency of constant air ventilation in a gym. Another goal was to find out the energy saving potentials of variable air system in the gym circumstances. The sufficiency of the present air ventilation was estimated with the measurement results of carbon oxide, air temperature and relative humidity and also the carbon dioxide output from the occupants at the gym. With the help of indoor air classification 2018 carbon oxides limiting values, it is possible to estimate the sufficiency of air ventilation. High carbon dioxide content usually means that air ventilation is inefficient or poorly adjusted. Carbon dioxide in gym conditions builds up from the client's carbon dioxide production during their training. Internationally known MET values were used to determine the carbon dioxide output of client's, which can be used to assess the relationship between the physical exertion of a person and resting stress. In the thesis, the energy calculation of variable air and constant air ventilation was implemented with the IDAICE energy simulation program and the calculation of the constant-air ventilation was implemented as manual calculation. By comparing the energy consumption, the energy saving potential of the gym ventilation can be determined.	
Language Finnish	Pages 85 Appendices 2 Pages of Appendices 2

Keywords

variable air ventilation, gym, human carbon oxide output, metabolic equivalent, energy simulation program

Sisältö

Lyhenteet.....	3
1 Johdanto.....	4
2 Teoria.....	5
2.1 Ilmanvaihdon tehtävä rakennuksessa.....	5
2.1.1 Vakioilmavirtainen ilmanvaihto.....	6
2.1.2 Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihto.....	7
2.2 Hiilidioksidi.....	8
2.2.1 Hiilidioksidi sisäilmassa.....	8
2.2.2 Henkilön energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari (MET)..	9
2.2.3 Henkilön hiilidioksidintuotto.....	10
2.3 Lämpöolot.....	12
2.3.1 Operatiivinen lämpötila.....	13
2.3.2 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.....	15
2.3.3 Henkilön vaatteiden eristävyys (CLO).....	16
2.3.4 Ilmanliike (veto).....	19
2.4 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon lämmitysenergian laskenta.....	20
2.5 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon sähköenergian laskenta.....	22
2.6 Idaice.....	23
3 Lämpöolot ja viihtyvyys kuntosalissa.....	24
4 Kuntosalin lähtötiedot.....	25
4.1 Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä.....	26
4.2 Asiakkaiden arvioitu kuormitus (MET).....	26
4.3 Asiakkaiden arvioitu vaatetus (CLO).....	27
5 Mittaukset.....	27
5.1 Mittalaitteet.....	27
5.2 Mittaussuunnitelma.....	28
5.3 Mittauksien toteutus.....	28
6 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon riittävyyden tarkastelu kuntosalilla hiilidioksidituoton ja mittaustulosten perusteella.....	28
6.1 Laskennallinen ihmisen pinta-ala.....	29
6.2 Spinningtilan ulkoilmavirran tarve hiilidioksidituoton avulla.....	29
6.3 Ryhmäliikuntatilan ulkoilmavirran tarve hiilidioksidituoton avulla.....	30
6.4 Kuntosalin tilojen mittaustulokset.....	30
6.4.1 Painopakkalaitetilan mittaus.....	31
6.4.2 Aerobisen harjoittelutilan mittaukset.....	32
6.4.3 Liiketila ja kuntosalitilan mittaukset.....	35
6.4.4 Räkki- ja maastavetotilan mittaukset.....	38
6.4.5 Käsipainotilan mittaukset.....	41
6.4.6 Spinningtilan mittaukset.....	44

6.4.7	Ryhmäliikuntatilan mittaukset	47
6.4.8	Ulkoilman mittaustulokset	50
6.5	Hiilidioksidituoton perusteella laskettava ulkoilmavirta ja mittaustulosten vertailu kuntosalin ilmanvaihdon riittävyteen vakioilmavirroilla	52
6.6	Mittaustulosten virhetarkastelu.....	53
7	Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihto kuntosalissa.....	53
7.1	Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon toiminta kuntosaliympäristössä	53
7.2	Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon edut ja kustannus verrattuna vakioilmavirtaiseen	54
8	Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energialaskennat ja olosuhde simuloinnit	55
8.1	Käsin laskettu lämmitysenergiantarve.....	55
8.2	Käsin laskettu lämmöntalteenoton lämmitysenergian säästö	57
8.3	Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energiankulutus vuodessa	58
8.4	Simuloitu vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energiantarve ilman lämmöntalteenottoa ja lämmöntalteenoton kanssa	59
8.5	Spinningtilan olosuhdesimuloinnit	61
8.6	Ryhmäliikuntatilan olosuhdesimulointi.....	63
9	Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon energialaskennat ja simuloinnit	64
9.1	Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon vuosienenergiantarve	65
9.2	Spinningtilan olosuhdesimuloinnit	65
9.3	Ryhmäliikuntatilan olosuhdesimuloinnit.....	68
9.4	CAV- ja VAV -järjestelmän simulointi tuloksien yhteenveto	70
10	Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon simuloitu energiansäästöpotentiaali ...	72
11	Pohdinta	76
	Lähteet	79

Liitteet

- Liite 1 LVI-06-10060 ohjekortti. Sisäliikuntatilojen suunnitteluarvoja
 Liite 2 Kuntosali Energyn pohjakuva ja mittareiden sijainnit

Lyhenteet

CAV	Constant Air Volume System, vakioilmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä.
VAV	Variable Air Volume System, muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä.
LTO	Lämmöntalteenotto laitteisto.
CO ₂	Hiilidioksidi.
RH %	Suhteellinen kosteus.
MET	Metabolic Equivalent, metabolinen ekvivalentti.
CLO	Clothing Insulation, vaatteiden eristävyys.
IDAice	IDA Indoor Climate and Energy, energiasimulointiohjelma.
PPD	Predicted percent dissatisfied, prosenttuaalinen tyytymättömien osuus.
PMV	Predicted Mean Vote, keskimääräinen lämpöaistimus.
SFP	Specific Fan Power, ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho.
DR %	Draft rate, prosenttuaalinen vetoa aistivien osuus.
RQ	Hengitysosamäärä.
S1, S2, S3	Sisäilmaluokat.

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Joensuussa toimiva kuntosaliketju Energy, jonka kautta saimme opinnäytetyönaiheen. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää nykyisen vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon riittävyys kuntosalin harjoittelutiloihin, sekä selvittää muuttuvilmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän mahdolliset energiansäästöpotentiaalit ja hyödyt verrattuna nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään huomioiden ilmanvaihtoa koskevat määräykset ja ohjeet. Lisäksi nykyinen ilmanvaihtokone ei sisällä lämmöntalteenottolaitteistoa, joten laskimme myös tämän energiansäästöpotentiaalin. Riittävä ilmanvaihto kuntosalilla mahdollistaa paremman fyysisen harjoittelun olosuhteet antamatta tukalaa oloa ja samalla pitämällä asiakkaat tyytyväisenä.

Ilmanvaihdon riittävyttä arvioidessa tehtiin kaksi erityyppistä mittausta kuntosalilla. Mittaustulosten kautta voidaan arvioida, riittääkö kuntosalissa tämän hetkinen ilmanvaihto sisäilmanlaadun kannalta kovissa kuormituksissa. Ensimmäisessä mittauksessa mitattiin hiilidioksidipitoisuutta, suhteellista kosteutta ja huonelämpötilaa. Toisessa mittauksessa mitattiin ilmanliikettä. Fyysisesti kuormittava urheilusuoritus vapauttaa enemmän hiilidioksidia sisäilmaan, kun kevyempi suoritus. Tämä tarkoittaa, että raskaampi suoritus vaatii enemmän ilmanvaihtoa tilaan. Harjoittelun myötä ihmisestä vapautuu sisäilmaan hiilidioksidin lisäksi myös hikoilun kautta kosteutta, lämpöä sekä muita epäpuhtauksia, joita voidaan pitää sisäilmaa kuormittavina tekijöinä. Mittauksia tehtiin esimerkiksi ryhmäliikuntatilaan, jossa kuormitetaan hetkellisesti tilaa todella raskaasti sisäilmanlaadun sekä ilmanvaihdon riittävyden kannalta. Hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoina pidettiin sisäilmaluokituksen mukaisia ohjearvoja, joiden perusteella voidaan määrittää hyvä sisäilmataso. Hiilidioksidipitoisuus mittaustulokset ylittäessä sisäilmaluokituksen raja-arvot otettiin nämä tilat erityisesti tarkasteluun. Näille tiloille toteutettiin käsilaskentana hiilidioksidituoton kautta uusi ja riittävämpi ulkoilmavirta, huomioiden kuntosalin asiakkaiden fyysisen rasitettavuuden mittaamina toimivien MET –arvojen kautta.

Opinnäytetyössä muuttuvailma- ja vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energialaskenta on toteutettu IDAice-energiasimulointiohjelmalla sekä vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon laskenta on toteutettu määräysten mukaisesti käsin laskentana. Muuttuvilmavirtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä voitaisiin antureiden avulla pitää ilmanriittävyys hyvänä tilassa, missä sitä tarvitaan. Tiloissa, joissa asiakkaita ei ole, voitaisiin ilmavirtaa säätää pienimmälle mahdolliselle teholle. IDAice-ohjelman avulla voidaan tarkastella tilassa olevaa hiilidioksidipitoisuutta, lämpötilaa ja suhteellista kosteutta, jota harjoituksen aikana ihmisistä vapautuu tilaan. Näiden tietojen perusteella ohjelma määrittää muuttuvilmavirtaisessa ilmanvaihdossa tiloihin sopivat ilmavirrat, minkä perusteella ohjelma laskee ilmanvaihdon energiantarpeen. Molempien järjestelmien energiankulutuksen tietäessämme voidaan järjestelmien energiansäästöjä laskea ja vertailla, mitä kuntosalilla voidaan säästää.

Opinnäytetyössä perehdytään vakioilmavirtaiseen ja muuttuvilmavirtaiseen ilmanvaihtojärjestelmään vertaamalla järjestelmien käytännöllisyyttä kuntosalikohdessa. Pohditaan, onko muuttuvilmavirtainen järjestelmä loppujen lopuksi kannattava ja järkevä hankinta. Tutkimuksen tulokset ovat pohjana mahdollisen uuden kuntosalin ilmanvaihdon suunnittelulle sekä vanhan kuntosalin ilmanvaihdon saneeraukselle.

2 Teoria

2.1 Ilmanvaihdon tehtävä rakennuksessa

Nykyisin tilastojen mukaan 90 % ajasta ollaan sisätiloissa, mikä tekee ilmanvaihdosta todella tärkeän rakennukseen. Hyvä ilmanvaihto takaa työtiloissa parempaa tehokkuutta ja muissa olosuhteissa parempaa mukavuutta, kun ilma vaihtuu säännöllisesti. (Seppänen 2007, 161.)

Ilmanvaihtoa ei pidä sekoittaa ilmastointiin. Ilmastoinnilla tarkoitetaan sisäilman laadun, lämpötilan, kosteuden ja puhtauden ylläpitämistä ilmankäsittelyn avulla, kun taas ilmanvaihdon tehtävä rakennuksessa on tuoda puhdasta ilmaa sisälle

ja samalla poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet ja kosteuden. Prosessin täytyy tapahtua siten, että hiilidioksidin, epäpuhtauksien ja vesihöyryn pitoisuudet ilmassa saadaan pidettyä ihmiselle ja rakennukselle terveellisellä tasolla. (Seppänen 2007, 161.)

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin. Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Puhaltimilla saatu paine-ero tarkoittaa koneellista ilmanvaihtoa, mikä on yleisin nykyaikaisen rakennusmenetelmissä käyttämä järjestelmä. Toinen tyyli saada paine-ero on lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella, eli painovoimainen ilmanvaihto. Tätä ilmanvaihtotapaa käytetään harvoin ja poikkeustapauksissa nykyaikana, mutta vanhoissa rakennuksissa tämä on edelleen käytössä. (Seppänen 2007, 161.)

2.1.1 Vakioilmavirtainen ilmanvaihto

Vakioilmavirtaista järjestelmää kutsutaan CAV-järjestelmäksi, mikä tulee englannin kielen sanasta Constant Air Volume System. Perinteisen ilmanvaihdon keskusyksikkö koostuu ilmansuodattimesta, lämmöntalteenotosta ja lämmityksestä. Järjestelmän mitoitus tapahtuu ensisijaisesti tilojen käyttötarpeen ja henkilömäärän mukaisesti. Toissijainen järjestelmän mitoitus onnistuu pinta-alan mukaan. (Sandberg 2016a, 131–132.)

Järjestelmän sisältäessään jäähdytyksen mitoitusperiaate muuttuu, jolloin mitoituksessa olisi huomioitava kesäajan jäähdytystarve suurempien lämpökuormien tasaamiseksi ja tällöin puhutaan ilmastoinnista. Kesäaikaan tiloihin kohdistuvia lämpökuormia voidaan vähentää lisäämällä yötuuletusta, vaikka järjestelmä ei sisältäisi jäähdytystä. (Sandberg 2016a, 131–132.)

Osaan peruskorjatuista järjestelmistä on voitu lisätä talvi- ja kesäilmavirta-asetus, jolla saadaan kesäaikaan ilmanvaihto toimimaan koko tehollaan viilennys tarpeen takia ja talviaikaan osa tehollaan tarpeettoman tilojen viilenemisen takia. Vakioilmavirtajärjestelmä soveltuu tiloihin, jotka ovat suuria ja vierekkäin, sekä näiden lämpökuormat eivät käytön aikana vaihtelee paljoa toisiinsa nähden. (Sandberg 2016a, 131–132.)

2.1.2 Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihto

Muuttuvailmavirtaista järjestelmään kutsutaan VAV-järjestelmäksi, mikä tulee englannin kielen sanasta Variable Air Volume System. Suomessa muita käytettäviä termejä järjestelmästä ovat seuraavat: MIV (muuttuvailmavirta), IVS (ilmavirtasäätöinen) sekä IMS (ilmamääräsäätöinen). (Sandberg 2016a, 131.)

Kohteen käyttötarkoituksen ja käyttäjien tarpeen mukaan muuttuvailmavirtaisia järjestelmiä on jäähdytyksellä sekä ilman. Useasti varaudutaan jäähdytyksen lisäykseen jälkikäteen, jolloin tuloilmakoneelle jätetään varaus jäähdytyspatterin lisäämiselle jälkikäteen. (Sandberg 2016a, 133.)

Järjestelmän keskusyksikkö koostuu ilmansuodatuksesta, lämmöntalteenotosta, lämmityksestä sekä mahdollisesta jäähdytystoiminnoista. Talviaikaan tapahtuva jäähdytys toteutetaan viileällä ulkoilmalla ja kesäaikaan vedenjäähdytyskoneella tuotettua jäähdytysenergiaa. (Sandberg 2016a, 133.)

Tyypillinen muuttuvailmavirtainen järjestelmä on huonekohtainen, josta jokaisesta huoneesta voidaan säätää haluttu ilmavirta sekä huonekohtaista lämpötilaa erillisellä säätöyksiköllä. Huonelämpötilaa voidaan hallita ilmavirtaa muuntamalla eli suuremmilla ilmavirroilla saadaan aikaan jäähdytystä. Ilmavirtaa huoneeseen voidaan ohjata ilman laadun mukaan esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden mukaan, jolloin tuloilmavirtaa muutetaan huoneesta mittaavan anturihjauksen mukaan ja poistoilmavirta säädetään tuloilmavirran säätimen mukaan saman suuruiseksi. (Sandberg 2016a, 134–136.)

Ilmavirran säätö voidaan toteuttaa myös vyöhykekohtaisesti, jolloin yksi vyöhyke sisältää useamman kuormiltaan ja ilmantarpeeltaan samanlaisen huoneen. Järjestelmän palvellessa yhtä tilaa voidaan ilmavirran säätö toteuttaa konekohtaisesti. (Sandberg 2016a, 133–136.)

VAV -järjestelmä soveltuu huoneisiin, joissa käytetään suuria ilmamääriä tai huoneissa muodostuu paljon kuormituksia eri käyttötilanteissa. VAV -järjestelmiksi luetaan myös sellaiset järjestelmät, joissa tuloilmaa ohjataan erilaisten aikaohjelmien mukaan, ilmanlaatuantureiden tai henkilötunnistimen avulla. (Sandberg 2016a, 134.)

2.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on kemiallinen yhdiste, joka muodostuu hiilestä ja hapesta. Normaaliosuhteissa hiilidioksidi on väritön ja hajuton kaasu. Hiilidioksidin merkitys ilmastossa on merkittävä muiden kasvihuonekaasujen lisäksi. Hiilidioksidin osuus on 80 prosenttia maapallon lämpenemiseen vaikuttavista kaasuista, joista 75 prosenttia on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä, mitä voidaan pitää suurimpana päästölähteenä. Fossiilisilla polttoaineilla tuotetaan ihmisille sähköä, polttoainetta erityyppisille ajoneuvoille sekä lämmitysenergiaa. Maapallon hiilidioksidipitoisuus on ollut esiteollisella ajalla noin 280 ppm. (CO₂ -raportti 2018, Tietoa ilmastomuutoksesta.) Vuonna 2017 hiilidioksidipitoisuus oli noin 405 ppm, minkä on ennustettu kasvavan vuosittain noin 2,5 ppm. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee vuodenajan mukaan, alhaisimmillaan se on kesällä hiilinelujen ollessa voimakkaimmillaan. (Ilmatieteenlaitos 2018.)

2.2.1 Hiilidioksidi sisäilmassa

Ihmisen uloshengityksen mukana vapautuu hiilidioksidia, mikä on pääasiallinen lähde sisäilmaan muodostuneelle hiilidioksidipitoisuudelle. Lisäksi erityyppisten palamisreaktioiden seurauksena syntyy hiilidioksidia esimerkiksi leivinuunin lämmittämisellä. Korkeat hiilidioksidipitoisuudet huonetilassa aiheuttavat väsymyksen tunnetta, päänsärkyä ja keskittymisvaikeuksia, mikä viittaa huonoon ilmanvaihtuvuuteen. Hiilidioksidipitoisuudella voidaan mitata yleisesti sisäilmanvaihtuvuutta ja ilmanvaihdon toimivuutta. (Sandberg 2016a, 63.)

Taulukossa 1 on esitetty sisäilmaluokituksen 2018 hiilidioksidipitoisuuden raja-arvot sisäilmaluokittain.

Taulukko 1. Sisäilmaluokituksen 2018 tavoite hiilidioksidipitoisuusarvot. (Sisäilmaluokitus 2018.)

	Yksikkö	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä*	ppm	< 350	< 550	< 800

*suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

2.2.2 Henkilön energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari (MET)

MET on lyhenne sanoista metabolinen ekvivalentti (engl. Metabolic Equivalent). MET-arvo kuvaa fyysisen suorituksen (lihasten aktiivisen käytön) aiheuttamaa kasvanutta energiankulutusta verrattuna lepotasoon. (Heikkilä 2009, 4.)

MET on muuttumaton luku, eikä ihmisen ikä tai paino vaikuta siihen. MET-arvolla pystytään laskemaan tarkemmin henkilökohtainen energiankulutus suoritukseen, minkä kukin tekee. Pitää kuitenkin huomata, että MET-arvo on keskiarvo luku ja ei ole 100 %:n tarkka. (Heikkilä 2009, 5.)

MET-arvoa voidaan käyttää perus arki askareissa ja monelle askareelle tai fyysiselle toiminnalle on oma arvo. Kun lepo on arvossa 1, niin taulukossa 2 nähdään, kuinka paljon tietty liikuntasuoritus kuluttaa energiaa verrattuna lepotilaan eli istumiseen. (Heikkilä 2009, 5.)

Taulukko 2. Esimerkkejä töiden ja liikuntamuotojen MET-arvoista. (Kutinlahti, 2018).

Kuormitus	MET
Nukkuminen	0,9
Lepo	1
Kevyt työ istuen tai seisten: syöminen, kirjoittaminen, autolla ajo, peseytyminen, päätetyö, ruuan teko	1,3-2
Kevyt fyysinen aktiivisuus: siivoaminen, rauhallinen kävely, ratsastus	2,5-3
Siivoojan työ	3,5

Raskas sairaanhoitotyö, lumityöt, halonhakkuu, kohtalainen fyysinen aktiivisuus, reipas kävely (6-7 km/h), kuntosaliharjoittelu, kevyt pallopeti, tanssi	4-6
Rakennus ja nostotyö	5-7
Raskaat vaiheet rakennus ja varastotyössä, reipas fyysinen aktiivisuus, aerobiset voimistelut, pallopetit, painiharjoittelu, juoksu (8 km/h)	7-9
Juoksu (10 km/h) Soutuergometri, hyvin rasittava 200 W Pyöräily (27-30 km/h)	10-12
Hiihto, rasittava (14-18 km/h)	14
Juoksu (15 km/h)	15
Pyöräily (yli 30 km/h)	16
Kilpailunomainen kestävyysuoritus	17+

1 MET = $58,2 \text{ W/m}^2$, mikä vastaa 105 W:n suuruista lämpötehoa keskikokoisella miehellä (pituus 1,75m, paino 75kg, ihon pinta-ala $1,8 \text{ m}^2$).

Kuten taulukko 2 kertoo että, vain nukkuminen on MET arvoltaan kevyempää kuin perus lepo. Koska energiankulutus on 10 % pienempää kuin lepoaineenvaihdunta. (Kutinlahti, 2018.)

Liitteessä 1 on eroteltu kuntosalin ilmajärvien, sisäilmaston ja MET-luvun ohjeet.

2.2.3 Henkilön hiilidioksidituotto

Hiilidioksidipitoisuuden mukaan tehtävä mitoitus ei ole riippuvainen huonetilavuudesta tasapainotilanteessa, koska ihmisestä vapautunut hiilidioksidipitoisuus on sama pienessä sekä suuressa huoneessa. Tällöin tuloilmavirta voidaan määrittää lasketun hiilidioksidituoton perusteella. (Sandberg 2016a, 99–101.) Kaavalla 1 voidaan laskea ihmisen hiilidioksidin tuottoa (Optiplan 2017, 5). Hiilidioksidituoton perusteella määritettävä tuloilmavirta on laskentatilanteessa yhtä suuri kuin pois-

toilmavirta sekä huonetilassa on täysin sekoittuva ilmanjako eli poistoilman hiilidioksidipitoisuus on saman suuruinen huoneen hiilidioksidipitoisuuden kanssa (Sandberg 2016a, 101). Laskennassa MET-arvot saadaan liitteestä 1. Hengitysosamäärä kuvaa ihmisen hiilidioksidintuoton ja hapenvälistä suhdetta. Standardiarvona laskennoissa käytetään 0,83. (Optiplan 2017, 5.)

$$V'_{CO_2} = RQ * \frac{0,00276 * A_{keho} * M}{0,23 * RQ + 0,77} \quad (1)$$

V'_{CO_2} = Yhden henkilön hiilidioksidintuotto tilavuusvirtana (dm^3/s)

RQ = Hengitysosamäärä

M = Fyysisen aktiivisuus (MET)

A_{keho} = Kehon keskimääräinen pinta – ala (m^2)

Ihmisen kehon keskimääräistä pinta-alaa voidaan laskea kaavalla 2 (Optiplan 2017, 5).

$$A_{keho} = (W^{0,425} * H^{0,725})/139,2 \quad (2)$$

W = Henkilön paino (kg)

H = Henkilön pituus (cm)

Tämän jälkeen voidaan laskea tarvittava ulkoilmavirta kaavalla 3. Poistoilman hiilidioksidipitoisuuden tavoite arvo määräytyy taulukon 1 sisäilmaluokituksen mukaan.

$$q_{ulko} = \left(\frac{G}{S}\right) * k \quad (3)$$

q_{ulko} = Tarvittava ulkoilmavirta (dm^3/s)

G = Tilassa oleskelevien henkilöiden hiilidioksidintuotto tilaan (dm^3/s)

S = Sisäilmaluokitus 2018 mukainen hiilidioksidipitoisuus tavoite arvo (ppm)

$k = \text{Yksikkömuunnoskerroin } 1000000 \text{ (cm}^3/\text{m}^3\text{)}$

2.3 Lämpöolot

"Lämpöoloilla tarkoitetaan ympäristön ominaisuuksia, jotka vaikuttavat lämmön- siirtoon ihmisen ja ympäristön välillä. Jotta ihmisille sisätiloissa voidaan tuottaa hyväksyttävät lämpöolot, täytyy ottaa huomioon vaatimukset yleiselle lämpöviihtyvyydelle (PMV-PPD)." (REHVA 2009, 14). PPD ilmaisee ennustettua tyytymättömien osuutta prosenttina, jotka tuntevat olonsa liian lämpimäksi tai kylmäksi (REHVA 2009, 5).

PMV indeksillä arvioidaan suuren ihmisjoukon äänestämää keskiarvoa lämpöaistimuksessa, käyttäen 7 –pisteistä asteikkoa. (Taulukko 3).

Taulukko 3. Lämpöaistimuksen asteikko ja sitä vastaavat tyytymättömien osuudet. (Seppänen 2004, 4).

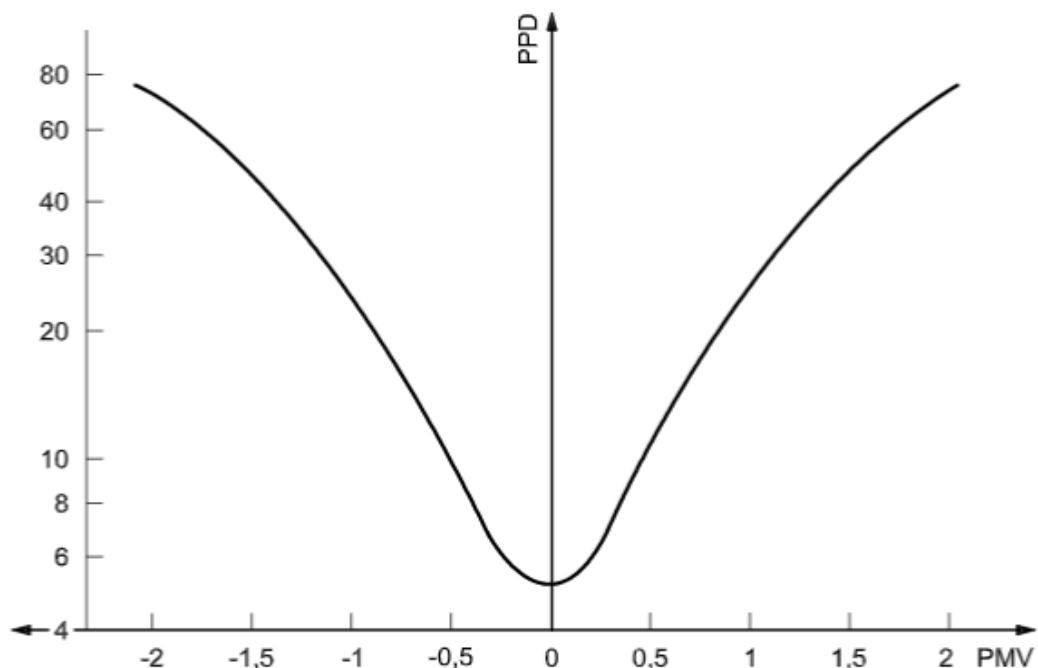
As- teikon PMV arvo	Lämpöaistimus	Tyytymättömien osuus PPD (%)
3	kuuma (hot)	100
2,5		93
2	lämmin (warm)	75
1,5		51
1	lämpimähkö (slightly warm)	25
-0,5		10
0	neutraali (neutral)	5
-0,5		10
-1	viileähkö (slightly cool)	25
-1,5		51
-2	viileä (cool)	75
-2,5		93
-3	kylmä (cold)	100

2.3.1 Operatiivinen lämpötila

Hyväksyttävät lämpöolot muodostuvat kahdesta olennaisesta tekijästä eli ilman lämpötilasta ja keskimääräisestä säteilylämpötilasta, tästä muodostuu operatiivinen lämpötila. Yksinkertaisuudessaan operatiivinen lämpötila voidaan määrittää ilman lämpötilan ja säteilylämpötilojen keskiarvosta. (REHVA 2009, 14.) Säteilevät pinnat ovat esimerkiksi ympäröivät lattiat, katot ja seinät.

PMV ennustaa samaan ympäristöön altistuneiden ihmisten mielipidettä lämpöaistimukseen keskiarvona. Osa mielipiteistä poikkeaa tästä keskiarvosta, joten asteikolla on hyvä arvioida, kuinka moni heistä todennäköisesti tuntee olonsa tilassa epämukavaksi, joko liian kylmäksi tai kuumaksi. (SFS 7730, 4.)

PPD on indeksi, mikä määrittää tyytymättömien osuuden tilassa, missä he tuntevat olonsa liian lämpimäksi tai kylmäksi. Standardin mukaisesti tyytymättömiä ovat ne ihmiset, jotka äänestävät kuuman, lämpimän, viileän tai kylmän 7 –pisteisessä lämpöaistimusasteikossa. (Taulukko 3). (SFS 7730, 4.). Kuviosta 1 näkee suoran vaikutuksen tyytymättömien osuudessa lämpötilan vaihteluun.

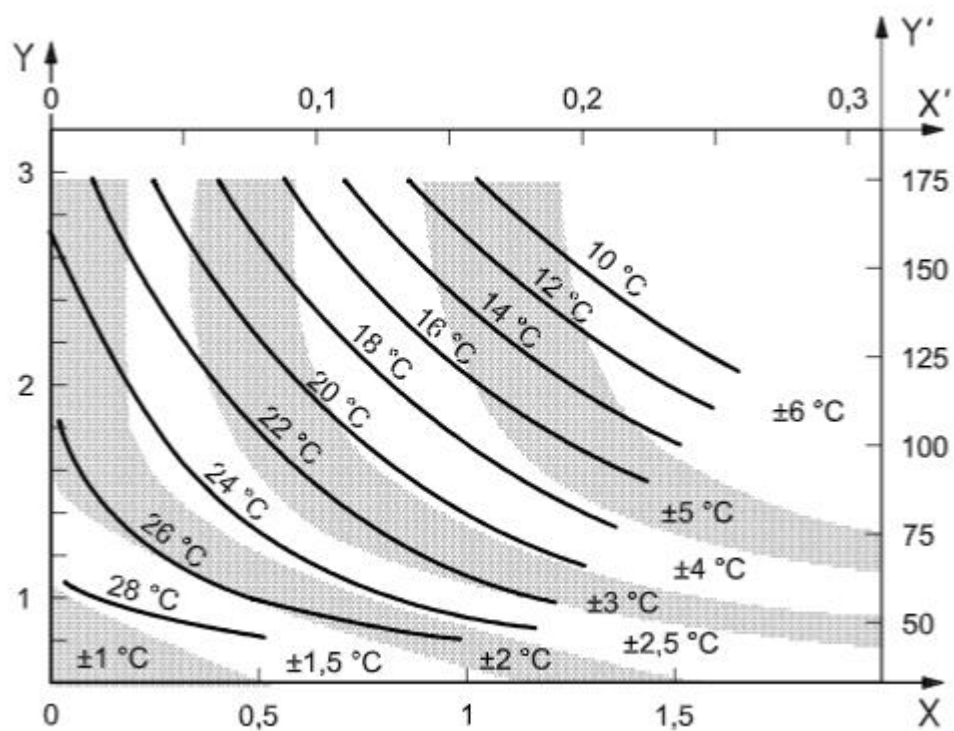


Kuvio 1. Ennustettu lämpötilaan tyytymättömien osuus lämpötilasta riippumattomana. Kun aineenvaihdunnan teho on 1,2 MET ja vaatetuksen lämmöneristys on 1,0 CLO. (SFS 7730, 5.)

PPD = Ennustettu tyytymättömien osuus %

PMV = Ennustettu keskiarvo

Tietylle tilalle on oma optimaalinen operatiivinen lämpötila, mikä vastaa $PMV = 0$, riippuen ihmisen aktiivisuudesta ja vaatetuksesta. Kuvio 2 näyttää optimaalisen operatiivisen lämpötilan ja sallitun lämpötila-alueen vaatteiden ja aktiviteetin funktiona kullekin kolmesta ryhmästä. Optimaalinen operatiivinen lämpötila on sama kaikille kolmelle kategorialle, kun taas sallittu vaihteluväli optimaalisen käyttölämpötilan ympärillä vaihtelee. (SFS 7730, 13.)



Kuvio 2. Optimaalinen operatiivinen lämpötila ($PMV = 0$) aineenvaihdunnan tehosta ja vaatetuksen lämmöneristävydestä riippuvaisena. Kuvaan on lisäksi merkitty optimaalisen lämpötilan sallitut vaihteluvälit. (SFS 7730, 15).

Muuttujat

X	normaali vaate-eristys, CLO-arvona
X'	normaali vaate-eristys, $m^2 \cdot ^\circ C / W$ -arvona
Y	aineenvaihdunnan taso, MET-arvona
Y'	aineenvaihdunnan taso, W / m^2 -arvona

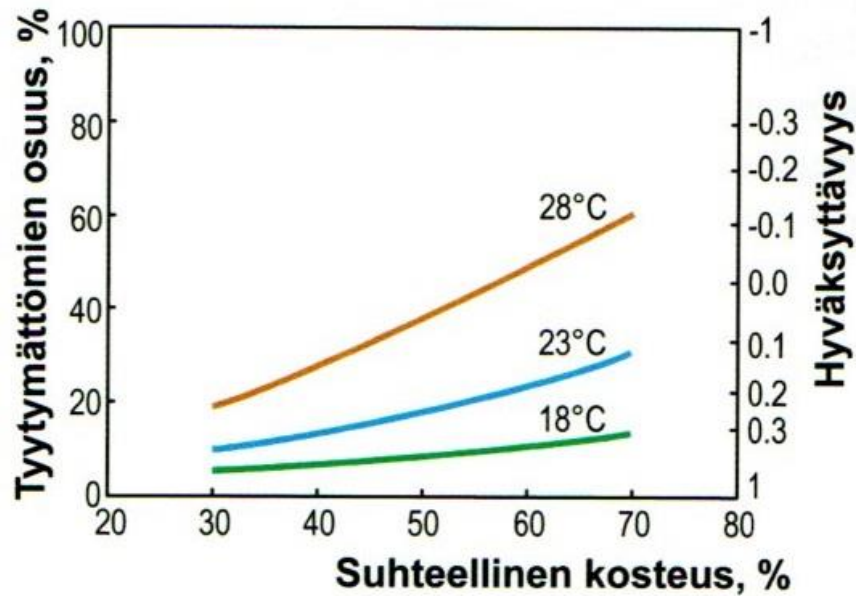
2.3.2 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

”Suhteellinen kosteus [RH %] (Relative humidity) ilmoitetaan prosentteina, joka ilmoittaa periaatteessa vesihöyryn määrän ilmassa suhteessa siihen, paljonko kyseisessä lämpötilassa vesihöyryä mahtuu ilmaan tavanomaisissa sisä- ja ulko-lämpötiloissa.” (Sandberg 2016a, 81).

Sisäilman kosteus vaikuttaa ihmisten viihtyvyyteen sisällä. Matalan ilmankosteuden voi huomata joidenkin materiaalien staattisesta sähköisyydestä, nenän limakalvojen kuivumisesta tai ihon kuivumisesta. Korkea sisäilman kosteus voidaan huomata suihkun jälkeen, kun ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy kaakeleiden pintaan, peilikaappiin tai muihin pintamateriaaleihin, jolloin suhteellinen kosteus tilassa on hetkellisesti 100 prosenttia ja vesihöyryn tiivistymistä kutsutaan kastepisteen muodostumiseksi. Suuri ilmankosteus antaa paremmat elinmahdollisuudet erityyppisille mikrobille ja homeitiöille. Tämän takia ilmanvaih-dolla pyritään poistamaan ylimääräinen kosteus tiloista, joissa vesihöyry voi tiivistyä pintamateriaaleihin. (Sandberg 2016a, 81.)

Ulkoilman suhteellinen kosteus vaihtelee vuodenajan mukaan ja tämä vaikuttaa sisäilmankosteuteen (Hengityслиitto 2019). Kylmä ilma pystyy sitomaan vähemmän kosteutta kuin lämmin ilma. Tämä tarkoittaa, että kylmän ja lämpimän ilman suhteellisen kosteuden ollessa sama, ilmassa oleva vesipitoisuus ei ole yhtä suuri. Lämpötilan nostaminen alentaa sisäilman kosteutta. (Sisäilmayhdistys 2008.) Talvella ilmanvaihtokoneen lämmittäessä ulkoilmaa laskee ilman suhteellinen kosteus, jonka seurauksena sisäilman kosteus on pieni. Talvella sisäilman kosteus (RH %) vaihtelee välillä 20–40 % ja voi myös laskea alle 20 prosentin, kun taas kesällä sisäilman kosteus vaihtelee 50–70 % (Hengityслиitto).

Ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä ovat myös hengitysilman kosteus sekä lämpötila. Tutkimukset osoittavat, että ihmiset pitävät enemmän viileästä ja kuivasta ilmasta kuin kosteasta ja lämpimästä ilmasta. (REHVA 2009, 20.) Kuviossa 3 nähdään tyytymättömien osuus suhteelliseen kosteuteen verrattuna.



Kuvio 3. "Tyytymättömyys sisäilman laatuun ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta riippuvana." (REHVA 2009, 20.)

Sisäilmanlaatua parantavia vaikutuksia voidaan saada pienentämällä ilmankosteutta ja ilmanlämpötilaa. Viileämpi ja kuivempi ilma vaikuttaa raikkaammalta ja sillä tuntuu olevan myönteinen vaikutus sisäilman hyväksyttävyyteen. Suhteellisen kosteuden laskiessa alle 20 %:n voidaan sisäilma tuntea liian kuivana, mikä voi aiheuttaa silmien kuivuutta ja työtehon alenemista. (REHVA 2009, 20.)

2.3.3 Henkilön vaatteiden eristävyys (CLO)

Vaatetus on tärkein henkilökohtainen lämmönsuoja. Lämmönsiirtymistä ympäristöön voidaan säädellä vaatetuksella: mitä enemmän vaatteita, sen vähemmän lämpö siirtyy. (Sandberg 2016a, 44.)

Vaatetuksella voidaan siis tiettyjen rajojen puitteissa säädellä lämpimyyden tunnetta ja edesauttaa pitämään yllä lämpötasapainoa. Vaatteiden tulisi olla tasaisesti kehon ympärillä. Näin saadaan taattua tasainen lämpöviihtyvyys ympäri kehoa, eikä paikallista kylmän tai kuumun tunnetta ole. (Sandberg 2016a, 44.)

Vaatteiden lämmöneristävyyttä mitataan CLO-arvolla. Se on vaatetuksen lämmöneristävyyden yksikkö ($1 \text{ CLO} = 0,158 \text{ m}^2\text{K/W}$). Ulkolämpötila vaikuttaa ihmisten pukeutumiseen, tällöin kesävaatetuksen lämmöneristävyys on noin 0,5 CLO ja talvivaatetuksen noin 1,0 CLO. (Sandberg 2016a, 44.)

Tyypillisessä toimistotyössä, joka on pääosin istumatyötä, sopiva CLO-arvo on välillä 0,5 – 1,0. Tämä arvo on talviolosuhteilla (sisäilmanlämpötila 24°C). Kesäisin CLO-arvona voidaan käyttää 0,5 (sisälämpötila 24°C). On tietenkin yksilöllistä, kuinka kukin pukeutuu. (Sandberg 2016a, 44.)

Erilaisten vaatekappaleiden CLO-arvot näkyvät taulukossa 4. Vaatekappaleiden CLO-arvot summaamalla saa tarvittavan vaatekokonaisuuden yhteiseristävyyden selville.

Taulukko 4. Vaate-eristävyys yksittäisille vaatekappaleille. (SFS 7730, 20.)

Vaatekappale	Vaate-eristävyys	
	CLO	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
Alusvaatteet		
Aluspaita	0,03	0,005
Pitkä alushousut	0,10	0,016
Aluspaita	0,04	0,006
T-paita	0,09	0,014
Pitkähihainen paita	0,12	0,019
Alushousut ja rintaliivit	0,03	0,005
Paidat ja puserot		
Lyhyt hihainen	0,15	0,025
Kevyt pitkähihainen	0,20	0,031
Normaali pitkähihainen	0,25	0,039
Flanellipaita, pitkähihainen	0,30	0,047
Kevyt pusero	0,15	0,023
Housut		
Shortsit	0,06	0,009
Kevyet housut	0,20	0,031

Normaalit housut	0,25	0,039
Flanellihousut	0,28	0,043
Mekot/hameet		
Kesähame	0,15	0,023
Talvihame	0,25	0,039
Kevyt mekko, lyhythihainen	0,20	0,031
Talvimekko, pitkähihainen	0,40	0,062
Suojapuku	0,55	0,085
Villapaidat		
Hihaton liivi	0,15	0,019
Ohut villapaita	0,20	0,031
Villapaita	0,28	0,043
Paksu villapaita	0,35	0,054
Takit		
Kevyt kesätakki	0,25	0,039
Takki	0,35	0,054
Väljä paita	0,30	0,047
Iso eristävyys, keino- nahka		
Suojapuku	0,60	0,093
Housut	0,55	0,085
Takki	0,70	0,109
Liivi	0,55	0,085
Ulkovaatteet		
Takki	0,60	0,093
Untuvatakki	0,55	0,085
Hupputakki	0,70	0,109
Keinonahka haalari	0,55	0,085
Pienet vaatekappaleet		
Sukat	0,02	0,003
Paksut nilkkasukat	0,05	0,008
Paksut pitkät sukat	0,10	0,016
Nylon sukkahousut	0,03	0,005

Kengät, ohutpohjaiset	0,02	0,003
Kengät, paksupohjaiset	0,04	0,006
Bootsit	0,10	0,016
Hanskat	0,05	0,008

Vaatteiden eristävyys vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti henkilö lämpenee fyysisen rasituksen aikana. Vaatteet toimivat eristeenä molempiin suuntiin, niin kuin eristeen kuuluu. Vaatteet estävät kylmän ja vedon tulon iholle, mutta myös pitää ihmisen tuottaman lämmön pidempään sisällä. (ASHRAE Standard 55-2010, 19.)

Kehonliike pienentää vaatteiden eristystä pumpaamalla ilmaa vaatteiden aukoista ja aiheuttamalla ilmanliikettä vaatteissa. Ilmanliike vaihtelee huomattavasti riippuen fyysisen liikkeen tyylistä ja laajuudesta. Joustavilla ja vartalon myötäisillä vaatteilla ihon ja vaatekappaleen väliin ei jää ilmaa, jolloin vaatekappale ei eristä lämpöä niin hyvin kuin jäykät ja löysät vaatteet, joihin jää ilmataskuja eristämään haihtuvaa lämpöä. Tämän vaihtelevuuden takia tarkkoja arvioita aktiivisen henkilön vaatteiden eristyksestä ei ole käytettävissä, ellei tiettyjä vaatteita ole erikseen mitattu kyseisissä olosuhteissa. (ASHRAE Standard 55-2010, 19.)

2.3.4 Ilmanliike (veto)

Ilmanliikkeelle ei voi suoraan antaa tarkkaa arvoa, milloin se on sopiva, koska jokainen tuntee ilmanliikkeen yksilöllisesti. Tilassa on aina joku, joka ei ole tyytyväinen lämpöolosuhteisiin ja ilmanliikkeeseen, joten kaikkia ei voi saada tyytyväiseksi. Pääsääntö, että suurin osa tilassa olevista ovat tyytyväisiä tilan olosuhteisiin. Ilmanliikkeen tuntuun vaikuttaa monta tekijää: esimerkiksi vaatetus, sen hetkinen olotila (onko kuuma tai kylmä), millaisista olosuhteista tulee tilaan, oma tottumus ja sen hetkinen fyysinen aktiivisuus.

Vedon tunne voi aiheutua kylmistä pinnoista alaspäin laskeutuvalla ilmavirralla, ulkoseinien vuotoilmareijistä tai ympäristön lämpötilasta poikkeavalla seinän pintalämpötilalla, mikä aiheuttaa yleensä epämiellyttävän tunnetta. Ilman lämpötilan ollessa pienempi kuin 24 astetta hyväksyttävä ilman nopeus ei saisi ylittää

0,15 m/s, mutta lämpötilan ollessa suurempi kuin 24 astetta voidaan käyttää suurempia ilmannopeuksia. (REHVA 2009, 17.)

Taulukossa 5 on esitetty sisäilmaluokituksen 2018 mukaiset ilman liikenopeuden tavoitearvot sisäilmaluokittain. Vetoa aistivien osuus on laskennallisesti esitetty standardissa ISO 7730.

Taulukko 5. Ilman liikenopeuden tavoitearvot (Sisäilmaluokitus 2018.)

Sisäilmaluokitus	Vetoa aistivien osuus, draft rate (DR) [%]	Ilman liikenopeus [m/s] = $T_{ilma} 21\text{ °C}$	Ilman liikenopeus [m/s] = $T_{ilma} 23\text{ °C}$	Ilman liikenopeus [m/s] = $T_{ilma} 25\text{ °C}$
S1	10	< 0,15	< 0,15	< 0,20*
S2	15	< 0,15	< 0,20	< 0,25*
S3	-	0,20 (talvi)	-	0,30 (kesä)*

*Paikallisesti voidaan hyväksyä korkeampia ilmannopeuksia termisen viihtyvyyden lisäämiseksi, kun käytössä ei ole koneellista jäähdytystä.

2.4 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon lämmitysenergian laskenta

Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve voidaan laskea järjestelmälle missä käytetään vakioilmavirtaa ja ilmankäsittelyprosessiin kuuluu ai-noastaan ilmanlämmitys (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 20).

Osa tuloilmanlämmittämisestä saadaan katettua lämmöntalteenotolla ja loppu lämmitetään ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmityspatterilla (Sandberg 2016b, 449). Ilmanvaihtokoneen tuloilmanlämmittämiseen käytetty lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 4. (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 21).

$$Q_{iv} = t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v,tulo} * \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) * \Delta t / 1000 \quad (4)$$

Q_{iv} = Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh

t_d = Ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24h

t_v = Ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i = Ilman tiheys, 1.2 kg/m³

C_{pi} = Ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ = Ilmanvaihtokoneen tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} = Sisäänpuhallusilmanlämpötila, °C

$\Delta T_{puhallin}$ = Lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

T_{lto} = Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

Δt = Ajanjakson pituus, h

1000 = Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Tuloilman sisään puhallusilman lämpötilana voidaan käyttää 18 °C, ellei tarkempaa tietoa ole saatavilla. Kanavistossa tapahtuvaa lämpenemistä ei huomioida. Suurissa ilmanvaihtokoneissa voidaan käyttää $\Delta T_{puhallin}$ oletusarvona 0,5 °C, ellei tarkempaa arvoa saada laskettua. Mikäli ilmanvaihtokone ei sisällä lämmöntalteenottoa, voidaan T_{lto} lämpötilana käyttää ulkolämpötilaa T_u . Mikäli laskelmassa saadaan kaavasta neljä negatiivinen tulos, niin Q_{iv} arvona tulee käyttää nollaa. (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 22.)

Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tulolämpötila lasetaan kaavalla 5. (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 21).

$$T_{lto} = T_u + \phi_{lto}/t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v,tulo} \quad (5)$$

T_{lto} = Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila, °C

T_u = Ulkolämpötila, °C

ϕ_{lto} = lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W

t_d = Ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v = Ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i = Ilman tiheys, 1.2 kg/m³

C_{pi} = Ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ = Ilmanvaihtokoneen tuloilmavirta, m³/s

Lämmöntalteenotolla talteen otettu teho saadaan laskettua kaavalla 6. (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 21).

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} * t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v,poisto} * (T_s - T_u) \quad (6)$$

ϕ_{lto} = Lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\eta_{a,ivkone}$ = Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde

t_d = Ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v = Ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i = Ilman tiheys, 1.2 kg/m³

C_{pi} = Ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,poisto}$ = Ilmanvaihtokoneen poistoilmavirta, m³/s

T_s = Sisälämpötila, °C

T_u = Ulkolämpötila, °C

Ilmanvaihdosta talteen otettu energia voidaan laskea kaavalla 7. (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 24).

$$Q_{lto} = t_d * t_v * \rho_i * C_{pi} * q_{v,tulo} * (T_{lto} - T_u) * \Delta t / 1000 \quad (7)$$

Q_{lto} = Ilmanvaihdosta talteen otettu energia, kWh

t_d = Ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v = Ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i = Ilman tiheys, 1.2 kg/m³

C_{pi} = Ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ = Ilmanvaihtokoneen tuloilmavirta, m³/s

T_{lto} = Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

T_u = Ulkolämpötila, °C

Δt = Ajanjakson pituus, h

1000 = Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

2.5 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon sähköenergian laskenta

Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus voidaan laskea ilmanvaihtokoneelle kaavalla 8. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho ei saa ylittää 2,0 kW/(m³/s). (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 52).

$$W_{ilmanvaihto} = \Sigma * SFP * q_v * \Delta t + W_{iv, muu} \quad (8)$$

$W_{ilmanvaihto}$ = Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh

SFP = Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

q_v = Puhalimien tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

Δt = Puhalimien tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h

$W_{iv, muu}$ = muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho lasketaan kaavalla 9 (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 52).

$$SFP = \frac{P_{puh}}{q_v} \quad (9)$$

SFP = Puhaltimien tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P_{puh} = Puhalimien tai ilmanvaihtokoneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, kW

q_v = Puhalimien tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

2.6 Idaice

Kun ilmanvaihtoprosessi sisältää jäähdytystä, ilman kostuttamista tai ilmanvaihto on ilmamääräsäätäinen, joudutaan ilmanvaihdon lämmitysenergiannettotarve selvittämään muulla keinolla kuin käsilaskemalla (Rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 20).

IDAice (IDA Indoor Climate and Energy) on dynaaminen energiansimulointiohjelma, minkä avulla pystytään simuloimaan haluttu kohde ja tehdä siihen energialaskelmat ja varmistaa hyvä asumisviihtyvyys. Energialaskelmien avulla voidaan säätää kohteen ominaisuuksia siten, että siitä saataisiin mahdollisimman pieni energiankulutus. (IDAice 2019.)

Jos halutaan tehdä yksinkertaisia mallinnuksia, se onnistuu IDA:lla, mutta IDA:n erikoisuus on siinä, että jos halutaan syventyä kohteen ominaisuuksiin ja optimoida energiakustannukset, niin se voidaan tehdä todella tarkasti. IDA:n valtteja

on myös mahdollisuus käyttää muuttuvailmanvirtaista laitetta vakioilmavirtaisen sijaan ja voidaan ilmanvaihtoa säätää, esimerkiksi käyttäjien hiilidioksidipitoisuuden avulla. (IDAice 2019.)

3 Lämpöolot ja viihtyvyys kuntosalissa

Jotta viihtyvyys kuntosalioloissa saadaan mahdollistettua käyttäjille, on otettava huomioon niiden normaalia korkeamman fyysisen aktiivisuuden aiheuttamat vaatimukset tilan lämpöolosuhteille (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10). "Aineenvaihdunnan tuottamaa lämpöä syntyy reippaassa liikunnan useita kertoja enemmän kuin aktiivisuudeltaan normaalissa päivittäisessä toiminnassa. Kehon lämmöntuotto on likimäärin suoraan verrannollinen aineenvaihdunnan nopeuteen. Kevyessä liikunnassa aineenvaihdunnan lämmöntuotto on noin 3–5 kertainen lepoaineenvaihduntaan nähden, raskaassa liikunnassa jopa yli 10-kertainen". (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10.)

Hikoilu on yksi kolmesta tavasta, miten lämpö siirtyy kehosta. Hikoilun tuotto kasvaa sitä mukaan, mitä suuremmaksi lämmöntuotto kasvaa liikuntasuorituksen aikana. Hikoilussa on huomioitava se, että sillä on viilentävä vaikutus kehoon ja jos tilan absoluuttinen kosteus on suuri, niin vähemmän hikeä pystyy haihtumaan tilaan ja keho reagoi siihen tuottamalla lisää hikeä. (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10.)

Kun iho on märkä, niin vedon tunne on entistä herkempi, mutta on yleisesti havaittu, että jos ilmanlämpötila on yli 25 °C tai jos on korkeampi aktiivisuustaso, niin voidaan kokea mukavaksi korkeakin ilmanliike esimerkiksi yli 1 m/s. Aktiivisuuden loputtua tai tauon aikana korkea ilmavirta voi äkkiä tuntua ikävältä vedon tunteelta. (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10.)

Sisäilman ohjeellinen lämpötila kuntosalilla on hyvä olla vähintään 18 °C ja maksimiarvo vaihtelee tilojen välillä (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10). Spinning tilassa lämpötila voi olla maksimissaan 24 °C, kun taas kuntosalitilassa 20 °C (Liite 1).

Käyttäjä tuntee matalamman sisäilman lämpötilan miellyttävämpänä lämpötilana liikkua, raikkaampana ja helpompana hengittää. Viileä ilma myös vähentää hikoilua, koska konvektiivinen lämmönsiirto on viileässä tehokkaampaa. (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10.)

Viileä lämpötilakaan ei aina ole paras ratkaisu. Silloin käyttäjän pitää lämmitellä kunnolla, että lihakset pysyvät vetreinä. Jos ilman lämpötila olisi korkeampi, niin elimistön lämpötila säilyisi tasaisena koko harjoituksen ajan ja korkea lämpötila pitäisi lihakset paremmin lämpimänä ja vähentäisi loukkaantumisriskiä. (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10.)

Sisäilman suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa paljon vuodenaika. Talvella ulkoilman absoluuttinen kosteussisältö on pieni, mikä taas mataloittaa lämpimän sisäilman suhteellista kosteutta, n. 20–30 %. Sisäilman suhteellinen kosteus liikuntaolosuhteissa olisi paras pitää yli 40 %:n. Kun suhteellinen kosteus on yli 40 % hengitystiet eivät kuivuisi. (Ohjekortti LVI 06–10060, 2018, 10.)

4 Kuntosalin lähtötiedot

Rantakylän Energy -kuntosali on 1811 m^2 :n kokoinen tila, joka on saneerattu vanhan liiketilan paikalle. Samassa rakennuksessa on myös muita liikkeitä. Energy on tiloiltaan todella väljä, missä on paljon liikkumavaraa. Harjoitteluhuoneet ovat 4 metriä korkeita, joten ilmatilavuutta tulee 7244 m^3 . Erilaisia harjoittelutiloja ovat seuraavat: ryhmäliikunta, spinning, vapaapaino, levypaino, toiminnallinen, räkit ja maastaveto, aerobinen, painopakka ja venyttelytila. Näiden lisäksi on fysioterapia, neuvottelu ja pukuhuoneet miehille ja naisille. Opinnäytetyö kuitenkin keskittyy vain harjoittelutiloihin.

Kuntosali on käytettävissä ympäri vuorokauden ja kulkukortilla on mahdollista käydä kuntosalilla mihin aikaan tahansa. Ohjatut harjoitukset ovat yleensä silloin kun henkilökunta on paikalla klo 8.00–16.00. Kuntosalilla käy joka päivä paljon asiakkaita ja kun kuntosaliin on mahdollista mennä milloin tahansa, niin se on ns. käytössä koko ajan.

Ohjattuja harjoituksia on melkein joka päivä ja niissä keskimääräisesti on n. 10 asiakasta per harjoitus. Päiväkohtaisesti kävijämäärästä ei voi tarkkaa keskiarvoa sanoa, koska ohjattujen harjoitusten määrä vaihtelee päivittäin esim. tiistaina voi olla kaksi harjoitusta, kun taas torstaina neljä erilaista harjoitusta.

4.1 Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä

Energyssä on alkuperäinen ilmanvaihtokone, joka sijaitsee katolla konehuoneessa. Ilmanvaihtokone toimii vakioilmanvirroilla ja siinä on kolmeportainen säätö: pois päältä, 50 % teho ja 100 % teho. IV-koneessa ei ole lämmöntalteenottoa.

Liiketilaan, johon energy rakennettiin, on tehty paljon rakenteellisia muutoksia ja näiden tilamuutosten takia uusia ilmanvaihtokanavia on jouduttu lisäämään.

4.2 Asiakkaiden arvioitu kuormitus (MET)

Jotta saataisiin asiakkaiden tarkka fyysinen aktiivisuus arvioitua, pitäisi jokainen asiakas erikseen käydä läpi ja kysyä heiltä millaista fyysistä aktiivisuutta kuntosalilla harrastavat ja kuinka kauan. Asiakkaiden fyysisen aktiivisuuden arviointi tehtiin tilan sekä laitteiden mukaan. Myös apuna käytetään taulukkoa 2, missä on fyysisen aktiivisuuden mittarin peruslukemat.

Taulukon 2 mukaan kuntosaliharjoittelu on MET-luvuissa 4–6. Keskiarvoisesti voidaan kuntosaliharjoitteluun käyttää MET-lukua 5. Spinningin urheilun MET-luku on välillä 3–10 (liite 1). Liikuntamuodon rasittavuuden vuoksi arvioimme MET-arvon olevan 9, koska yleensä ohjaaja pitää fyysisen rasittavuuden tason korkeana, että asiakkaat saisivat kaiken ohjatusta harjoituksesta irti. Ryhmäliikunnan MET-luku on välillä 4–10 (liite 1). Arvioimme MET-arvon olevan 7, samasta syystä kuin spinningurheilussa.

4.3 Asiakkaiden arvioitu vaatetus (CLO)

Kuntosalin asiakkaiden vaatetus vaihtelee paljon. Jokaisella asiakkaalla on erilainen pukeutumistapa kuntosalille, myös jokaisella asiakkaalla on erilaatuiset ja kokoiset vaatteet, minkä takia ei voi tarkkaa CLO-arvoa asiakkaiden vaatetukselle antaa.

Myös monella asiakkaalla on tapana ensin lämmitellä monessa vaatekerrastossa ja riisua lämmittelyn jälkeen kevyempään kerrastoon. CLO-arvoa arvioidessa käytimme omaa tuntemusta salivaatetukseen ja kysyimme Energyn yrittäjältä vaatetuksesta. CLO:n keskiarvo asiakkaille kuntosalitilaan arvioitiin 0,40 CLO. CLO:n keskiarvo asiakkaille spinning- ja ryhmäliikuntatilaan arvioitiin 0,35 CLO. CLO-arvoa arvioidessa hyödynnettiin taulukkoa 4.

5 Mittaukset

5.1 Mittalaitteet

Mittalaitteina käytettiin Karelia-ammattikorkeakoululta saatuja mittareita. Hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus ja tilan lämpötila mitattiin TROTEC BZ30 -mittarilla. Mittareita oli tilassa kaksi, että mittaustuloksia pystyttiin vertaamaan toisiinsa. TROTEC BZ30 -mittarit eivät olleet kalibroituja, eikä ole tietoa, milloin viimeksi kalibrointi mittareihin on tehty.

Toisena mittalaitteena käytettiin GrayWolf AdvancedSense, Enviromental Test Meter nimistä mittaria. Tällä mitattiin ilman liikettä. Mittari on kalibroitu keväällä 2018.

5.2 Mittaussuunnitelma

Ennen kuntosalimittauksia varmistettiin laitteiden toiminta tekemällä koemittaukset. Huoneissa mittareiden sijainti tavoiteltiin sellaiseen paikkaan, ettei mikään ulkopuolinen tekijä vaikuttaisi mittauksen laatuun ja ettei mittaria tarvitse siirtää mittauksen aikana. TROTEC BZ30 -mittarit asetellaan siten, että ne ovat vastakkaisilla seinillä reilusti erillään toisistaan. Kahdella eri mittarilla saadaan tarkempi keskiarvo tilan mitatuista arvoista. Vetomittaukset toteutettiin selvittääksemme, onko vedolla vaikutusta TROTEC BZ30 mittaustuloksiin.

5.3 Mittauksien toteutus

Mittaukset toteutettiin pääsääntöisesti alkuviikosta maanantaista torstaihin, jolloin oletettavasti kuntosalilla olisi enemmän kävijöitä kuin loppuviikosta. Mittauspaikat on merkitty pohjakuvaan (Liite 2). Mittarit sijoitettiin siten, että niiden sijainti ei vaikuta kuntosalin asiakkaiden treenaukseen tai työntekijöiden töihin. Mittarit olivat mittauksen aikana pääsääntöisesti noin 1 metrin korkeudella lattiasta. Lisäksi mittareiden sijoittelussa huomioitiin tulo- ja poistoilmapäätelaitteiden sijainti, siten että mittari ei ole suoraan päätelaitteen alapuolella.

6 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon riittävyyden tarkastelu kuntosalilla hiilidioksidituoton ja mittaustulosten perusteella

Ilmanvaihdon riittävyyttä arvioitiin ihmisestä aiheutuvan hiilidioksidituoton kautta. Hiilidioksidituoton mukaan tuloilmavirtaa voidaan laskennallisesti määrittää tiloihin, joissa ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret. Näitä tiloja olivat ainoastaan spinning- ja ryhmäliikuntatila. Muiden tilojen ilmavirrat jäivät epäselväksi, joten tämän vuoksi muiden tilojen laskennallinen tuloilmavirran määrittäminen

hiilidioksidituoton mukaan oli haasteellista, mikä vuoksi se jätettiin pois laskennasta tuloksen epävarmuuden takia. Lisäksi ilmanvaihdon riittävyttä arvioitiin mittauksien kautta, joilla tarkasteltiin tiloissa olevaa hiilidioksidipitoisuutta.

Laskennoissa käytetään ulkoilman hiilidioksidipitoisuus arvona 405 ppm. Hiilidioksidintuottoa lasketaan kaavalla 1. Pinta-alana käytetään taulukon 6 laskennallisia arvoja. Hengitysosamääränä (RQ) käytimme standardiarvoa 0,83. MET-arvoa muuteltiin liikunnan fyysisen rasitettavuuden mukaan. Ihmisen hiilidioksidituoton perusteella voidaan laskea tarvittava ulkoilmavirta kaavalla 3.

6.1 Laskennallinen ihmisen pinta-ala

Pituuden ja painon keskiarvon määrittämisessä käytettiin kansallisia FINRISKI 2012 -terveystutkimuksen tilastoja. Pinta-alan laskennassa käytettiin koko Suomen alueelta olevaa pituus- ja painotilastoa, ikäryhmälle 25–74 vuotta. Ihmisen pinta-ala saadaan laskettua kaavalla 2.

Taulukko 6. Laskettu miehen ja naisen pinta-ala.

	Mies 25 – 74v	Nainen 25 – 74v
Pinta-ala (m^2)	2,04	1,77

6.2 Spinningtilan ulkoilmanvirran tarve hiilidioksidituoton avulla

Spinningtilassa ilmavirta laskennallisesti voidaan määrittää 16 henkilölle, mikä määräytyy tilassa olevien pyörien lukumäärän mukaan. Spinning liikunnassa valtaosa osallistujista on naisia, mutta noin kymmenen prosenttia on miehiä eli noin kaksi miestä. MET-arvona käytettiin lukuarvoa 9 (liite 1). Laskennallinen ulkoilmantarve sisäilmaluokituksen S3 hiilidioksidipitoisuuden raja-arvon mukaisesti (taulukko 7).

Taulukko 7. Laskennallinen ulkoilmantarve spinningtilaan.

	Miehet 25–74v	Naiset 25–74v	Yhteensä (dm^3/s)	Ulkoilmavirta (l/s) Spinningtilaan
Hiilidioksidintuotto (dm^3/s)	0,09	0,53	0,62	775

6.3 Ryhmäliikuntatilan ulkoilmavirran tarve hiilidioksidituoton avulla

Ryhmäliikuntatilassa ilmavirta laskennallisesti määritettiin 25 henkilön mukaan, joista valtaosa on naisia ja noin kaksikymmentä prosenttia on mieshenkilöitä eli noin viisi miestä. MET-arvona käytettiin lukuarvoa 7 (liite 1). Laskennallinen ulkoilmantarve sisäilmaluokituksen S3 hiilidioksidipitoisuuden raja-arvon mukaisesti (taulukko 8).

Taulukko 8. Laskennallinen ulkoilmantarve ryhmäliikuntatilaan.

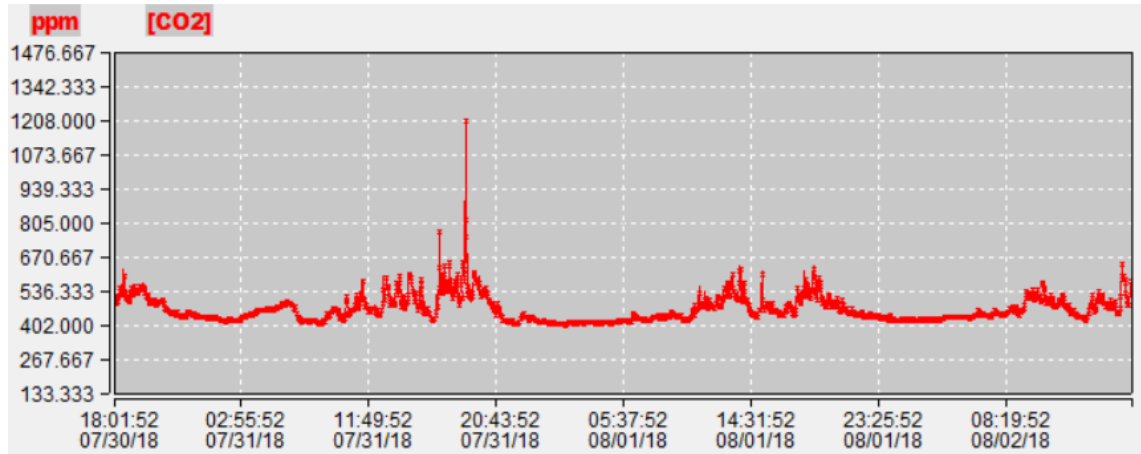
	Miehet 25–74v	Naiset 25–74v	Yhteensä (dm^3/s)	Ulkoilmavirta (l/s) ryhmäliikuntatilaan
Hiilidioksidintuotto (dm^3/s)	0,17	0,59	0,76	950

6.4 Kuntosalin tilojen mittaustulokset

Alla olevissa kuvioissa esitetään saadut mittaustulokset TROTEC BZ30 -mittalaitteilla. Mittaukset toteutettiin kuntosalilla ajankohtana: 30.7.–11.9.2018. Mittaustulosten perusteella tarkistetaan pysyykö sisäilma kokoajan raikkaana, vaikka käyttäjätaso ja kuormitus vaihtelevat. Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuusarvo voidaan laskennallisesti määrittää, kun mittaustuloksen maksimi hiilidioksidipitoisuusarvosta vähennetään ulkoilman hiilidioksidipitoisuus arvo (405 ppm). Mittaustuloksissa on myös GrayWolf AdvancedSense mittalaitteella saadut vedon mittaustulokset.

6.4.1 Painopakkalaitetilan mittaus

Mittaus ajankohta oli 30.7.-2.8.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset.



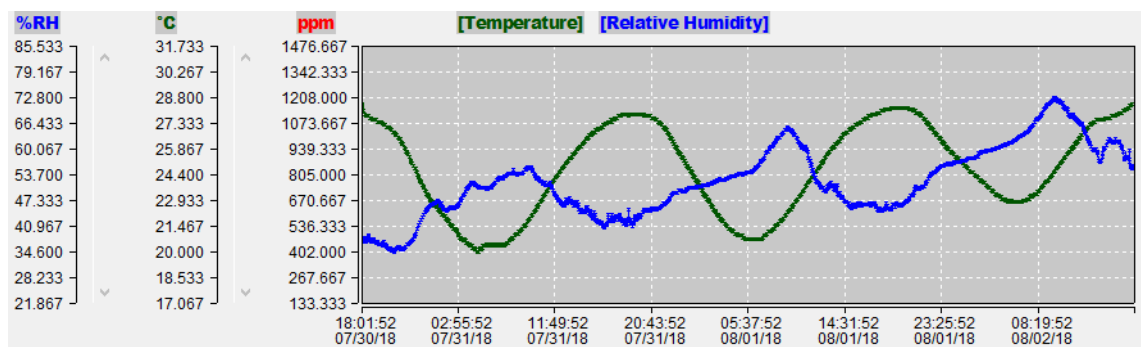
Kuvio 4. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1208.00 ppm, mitattu: 31.7.2018 18:34

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(1208.00 - 405.00) \text{ ppm} = 803 \text{ ppm}$, aikana: 31.7.2018 18:34

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 402.00 ppm, mitattu: 1.8.2018 22:52

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 463.31 ppm



Kuvio 5. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 28.80 °C, mitattu: 1.8.2018 18:01

Lämpötilan minimiarvo: 20.00 °C, mitattu: 31.7.2018 04:37

Lämpötilan keskiarvo: 24.75 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 72.80 RH %, mitattu: 2.8.2018 09:44

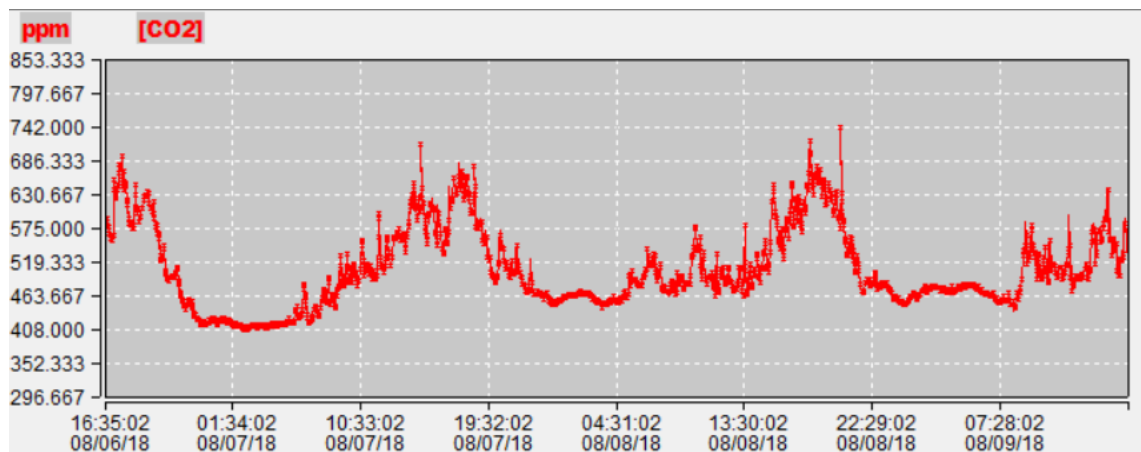
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 34.60 RH %, mitattu: 30.7.2018 20:59

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 51.95 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,01 m/s, mitattu 20.11.2018

6.4.2 Aerobisen harjoittelutilan mittaukset

Mittaus ajankohta oli 6.8.-9.8.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



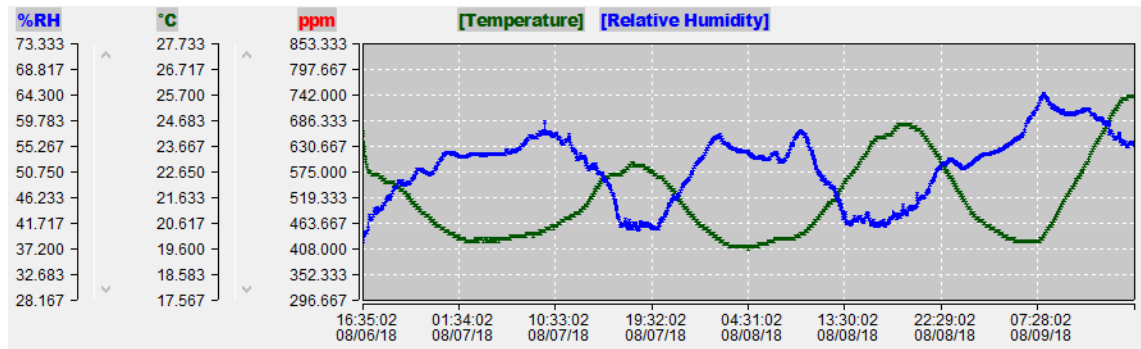
Kuvio 6. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 742.00 ppm, mitattu: 8.8.2018 20:18

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: (742.00-405.00) ppm = 337 ppm, aikana: 8.8.2018 20:18

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 408.00 ppm, mitattu: 7.8.2018 02:18

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 507.30 ppm



Kuvio 7. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 25.70 °C, mitattu: 9.8.2018 16:19

Lämpötilan minimiarvo: 19.60 °C, mitattu: 8.8.2018 04:29

Lämpötilan keskiarvo: 21.54 °C

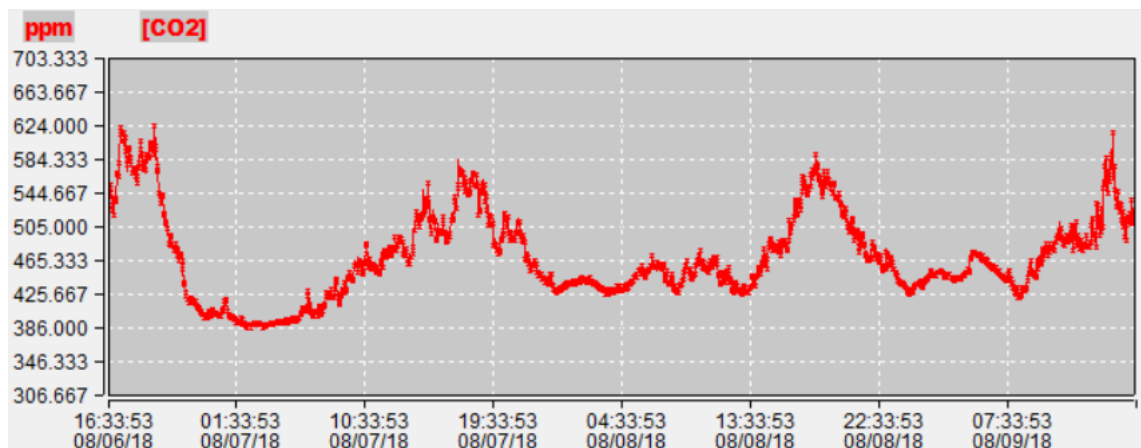
Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 64.30 RH %, mitattu: 9.8.2018 08:01

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 37.20 RH %, mitattu: 6.8.2018 16:36

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 51.70 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,05 m/s, mitattu 20.11.2018.

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



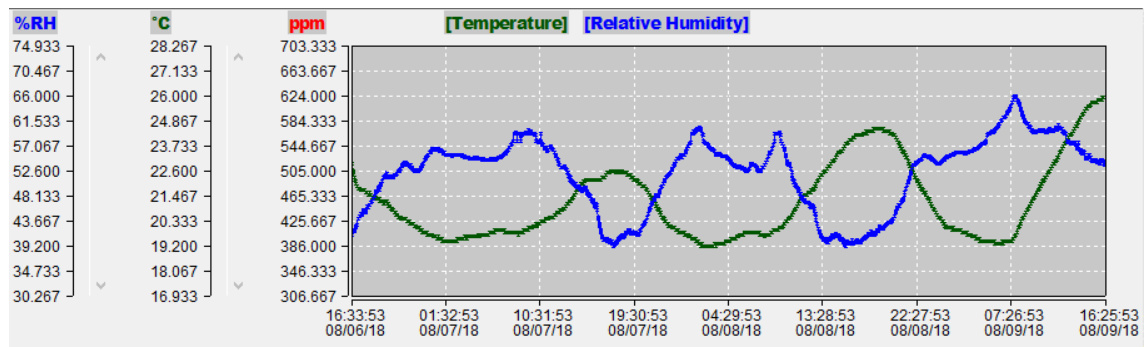
Kuvio 8. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 624.00 ppm, mitattu: 6.8.2018 19:49

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(624.00 - 405.00)$ ppm = 219 ppm, aika: 6.8.2018 19:49

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 386.00 ppm, mitattu: 7.8.2018 02:18

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 468.71 ppm



Kuvio 9. Lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Lämpötilan maksimiarvo: 26.00 °C, mitattu: 9.8.2018 16:25

Lämpötilan minimiarvo: 19.20 °C, mitattu: 8.8.2018 01:55

Lämpötilan keskiarvo: 21.20 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 66.00 RH %, mitattu: 9.8.2018 07:49

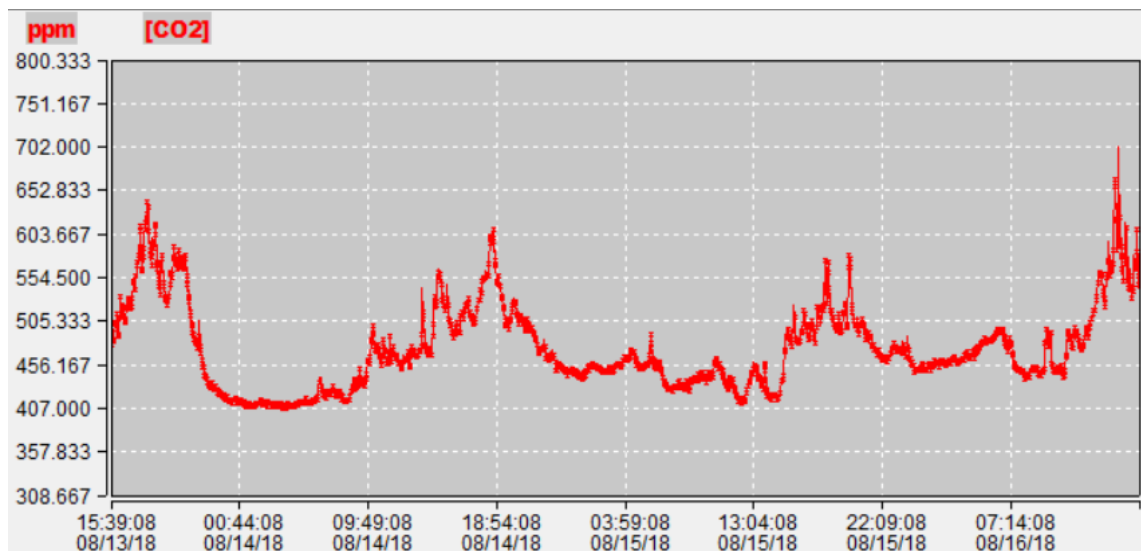
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 39.20 RH %, mitattu: 7.8.2018 17:53

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 52.30 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,03 m/s, mitattu 20.11.2018.

6.4.3 Liiketila ja kuntosalitilan mittaukset

Mittaus ajankohta oli 13.8.-16.8.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



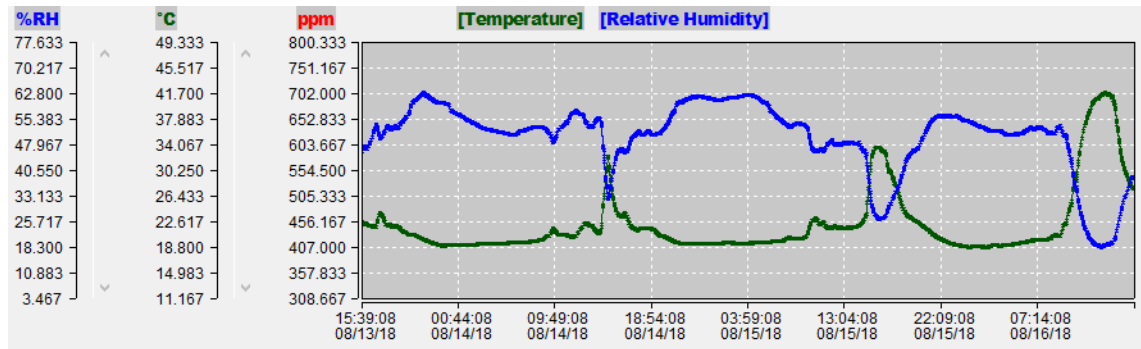
Kuvio 10. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 702.00 ppm, mitattu: 16.8.2018 14:52

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(702.00 - 405.00) \text{ ppm} = 297 \text{ ppm}$, aikana: 16.8.2018 14:52

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 407.00 ppm, mitattu: 14.8.2018 01:34

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 474.90 ppm



Kuvio 11. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 41.70 °C, mitattu: 16.8.2018 13:32

Lämpötilan minimiarvo: 18.80 °C, mitattu: 16.8.2018 00:41

Lämpötilan keskiarvo: 22.22 °C

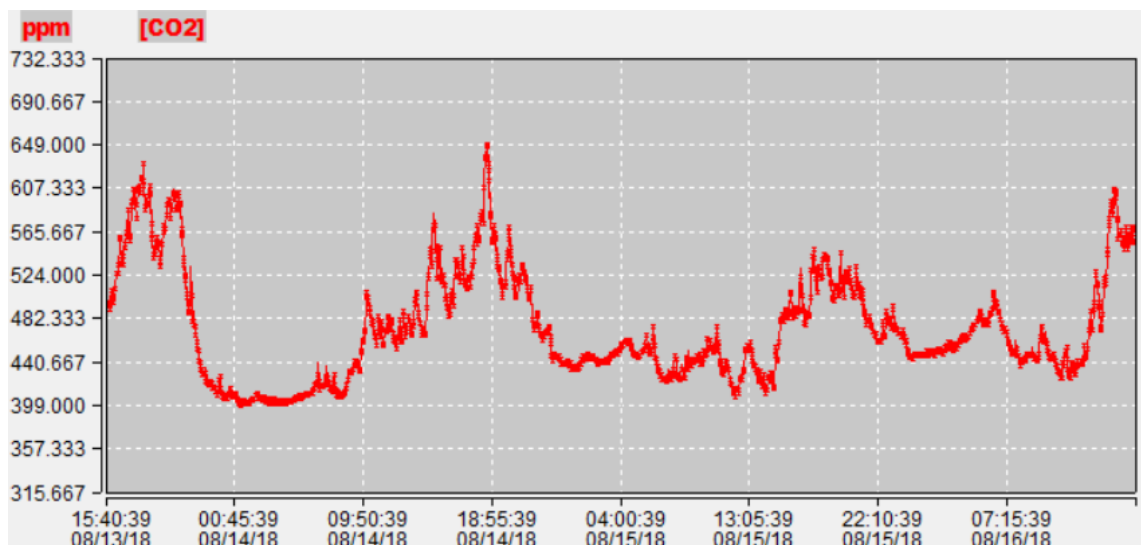
Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 62.80 %RH, mitattu: 13.8.2018 21:26

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 18.30 %RH, mitattu: 16.8.2018 13:15

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 52.25 %RH

Vedon mittaustulokset: 0,18 m/s, mitattu 20.11.2018.

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



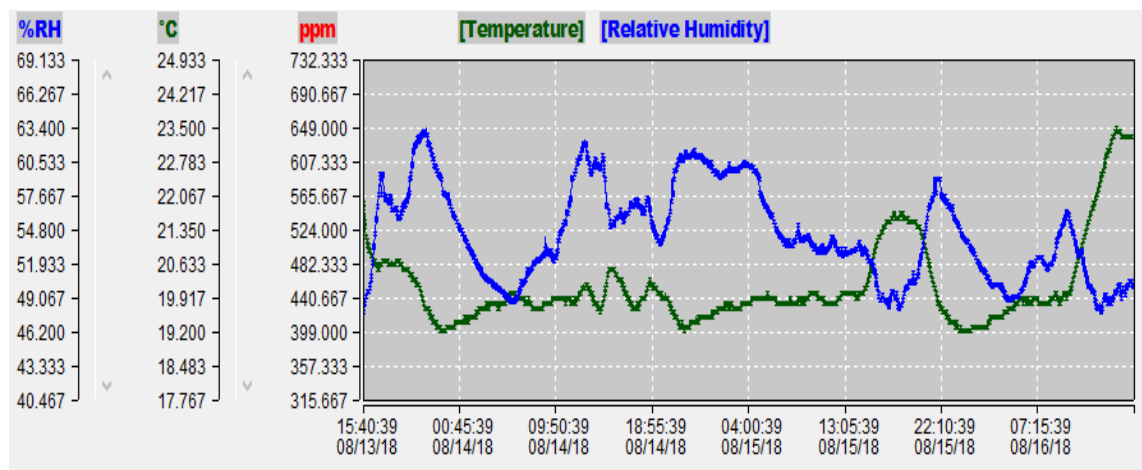
Kuvio 12. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 649.00 ppm, mitattu: 14.8.2018 18:36

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: (649.00-405.00) ppm = 244 ppm, aikana: 14.8.2018 18:36

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 399.00 ppm, mitattu: 14.8.2018 01:09

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 473.14 ppm



Kuvio 13. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 23.50 °C, mitattu: 16.8.2018 14:39

Lämpötilan minimiarvo: 19.20 °C, mitattu: 13.8.2018 22:57

Lämpötilan keskiarvo: 20.15 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 63.40 RH %, mitattu: 13.8.2018 21:39

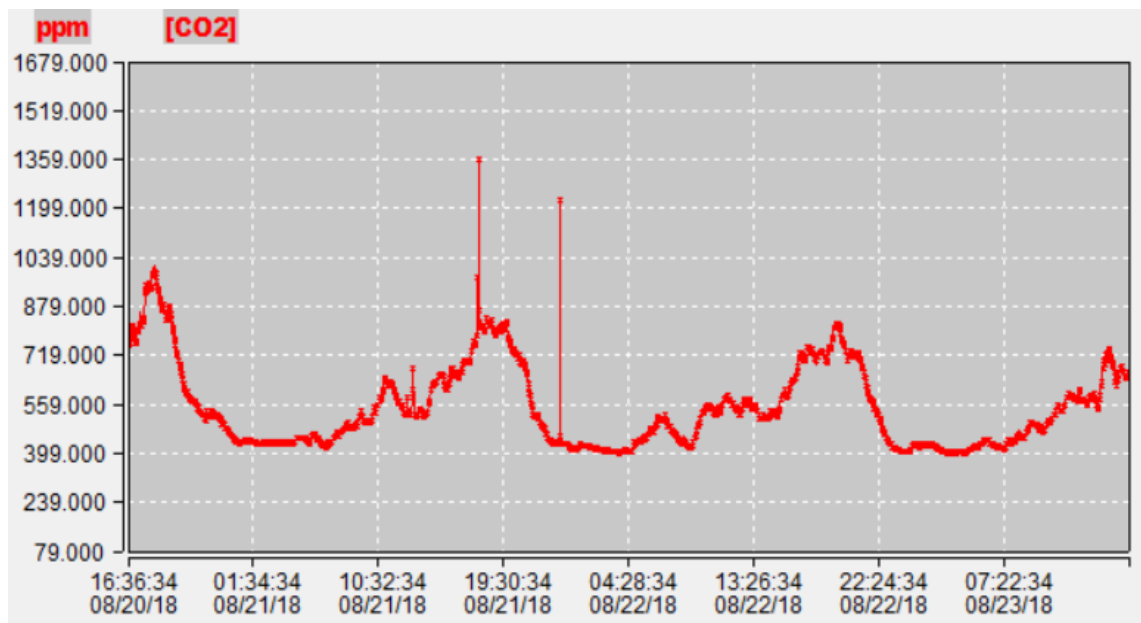
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 46.20 RH %, mitattu: 13.8.2018 15:41

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 54.50 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,2 m/s, mitattu 20.11.2018.

6.4.4 Räkki- ja maastavetotilan mittaukset

Mittaus ajankohta oli 20.8.-23.8.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



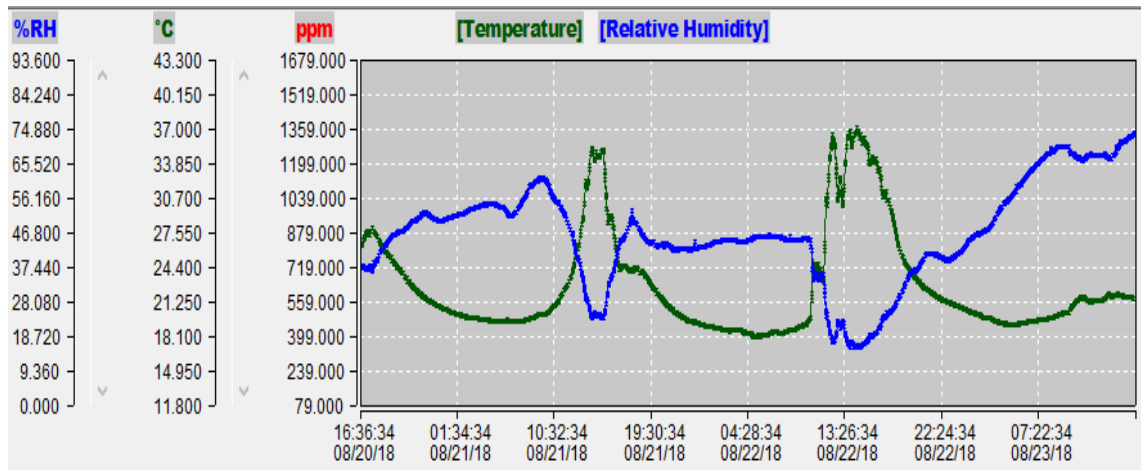
Kuvio 14. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1359.00 ppm, mitattu: 21.8.2018 17:44

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(1359.00 - 405.00)$ ppm = 954 ppm, aikana: 21.8.2018 17:44

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 399.00 ppm, mitattu: 23.8.2018 03:35

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 549.64 ppm



Kuvio 15. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 37.00 °C, mitattu: 22.8.2018 14:36

Lämpötilan minimiarvo: 18.10 °C, mitattu: 22.8.2018 04:56

Lämpötilan keskiarvo: 22.69 °C

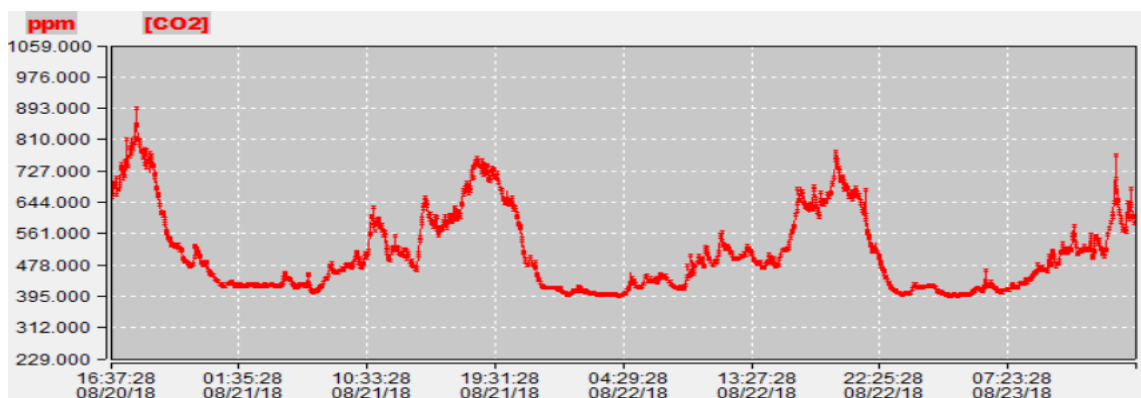
Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 74.10 RH %, mitattu: 23.8.2018 16:19

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 15.60 RH %, mitattu: 22.8.2018 14:36

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 46.44 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,04 m/s, mitattu 20.11.2018.

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



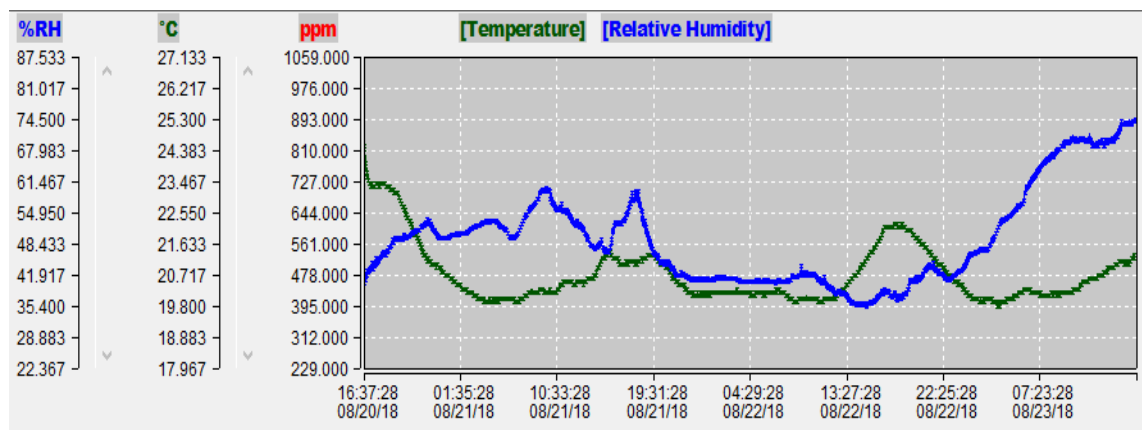
Kuvio 16. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 893.00 ppm, mitattu: 20.8.2018 18:25

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: (893.00-405.00) ppm = 488 ppm, aikana: 20.8.2018 18:25

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 395.00 ppm, mitattu: 22.8.2018 04:10

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 509.87 ppm



Kuvio 17. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 25.30 °C, mitattu: 20.8.2018 16:37

Lämpötilan minimiarvo: 19.80 °C, mitattu: 23.8.2018 03:24

Lämpötilan keskiarvo: 20.73 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 74.50 RH %, mitattu: 23.8.2018 16:18

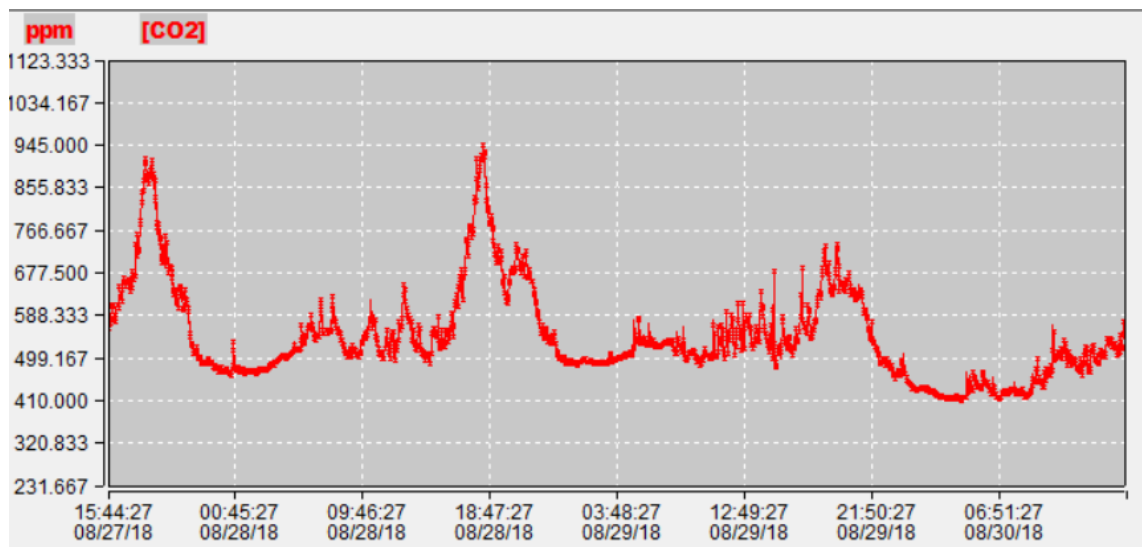
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 35.40 RH %, mitattu: 22.8.2018 15:19

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 49.47 RH %

Vedon mittaus tulokset: 0,07 m/s, mitattu 20.11.2018.

6.4.5 Käsipainotilan mittaukset

Mittaus ajankohta oli 27.8.-30.8.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



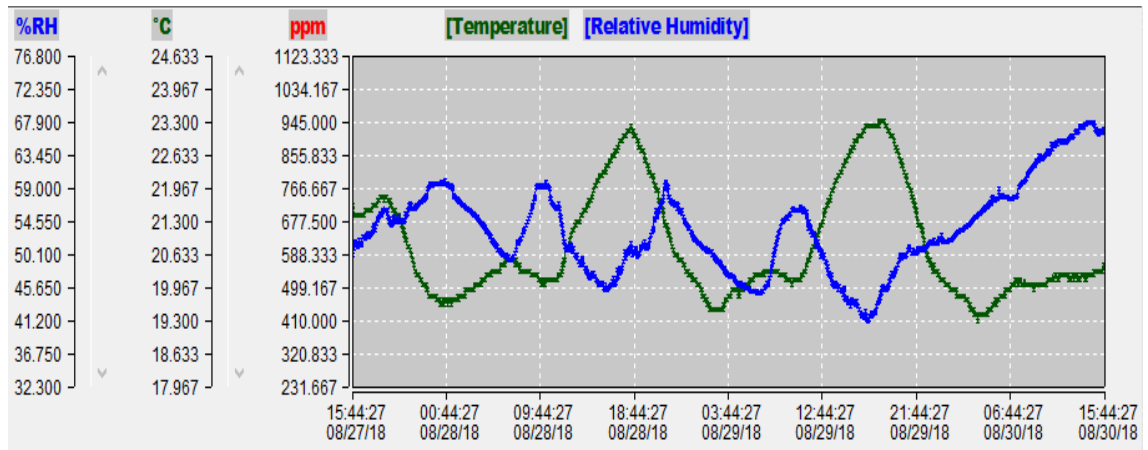
Kuvio 18. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 945.00 ppm, mitattu: 28.8.2018 18:20

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(945.00 - 405.00)$ ppm = 540 ppm, aika: 28.8.2018 18:24

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 410.00 ppm, mitattu: 30.8.2018 04:11

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 545.05 ppm



Kuvio 19. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 23.30 °C, mitattu: 29.8.2018 18:07

Lämpötilan minimiarvo: 19.80 °C, mitattu: 30.8.2018 03:39

Lämpötilan keskiarvo: 20.79 °C

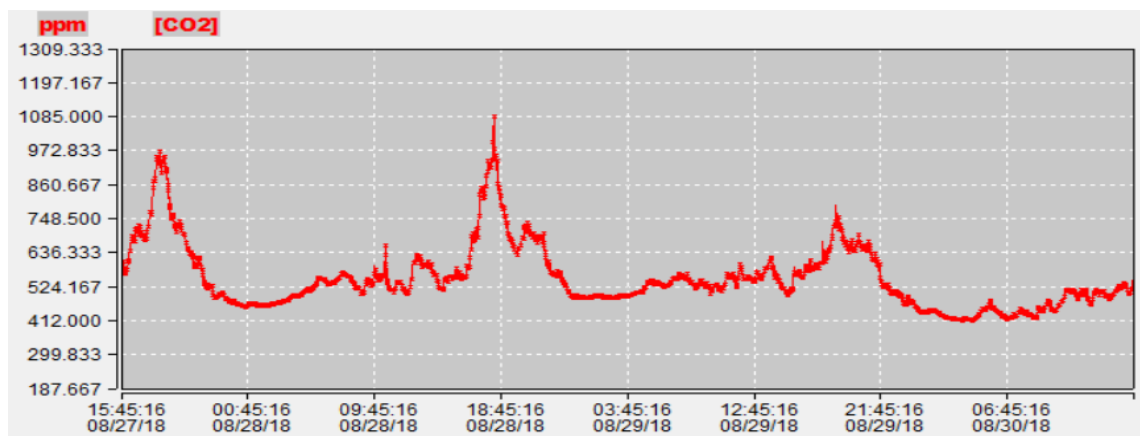
Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 67.90 RH %, mitattu: 30.8.2018 14:17

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 41.20 RH %, mitattu: 29.8.2018 17:06

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 53.41 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,11 m/s, mitattu 20.11.2018.

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



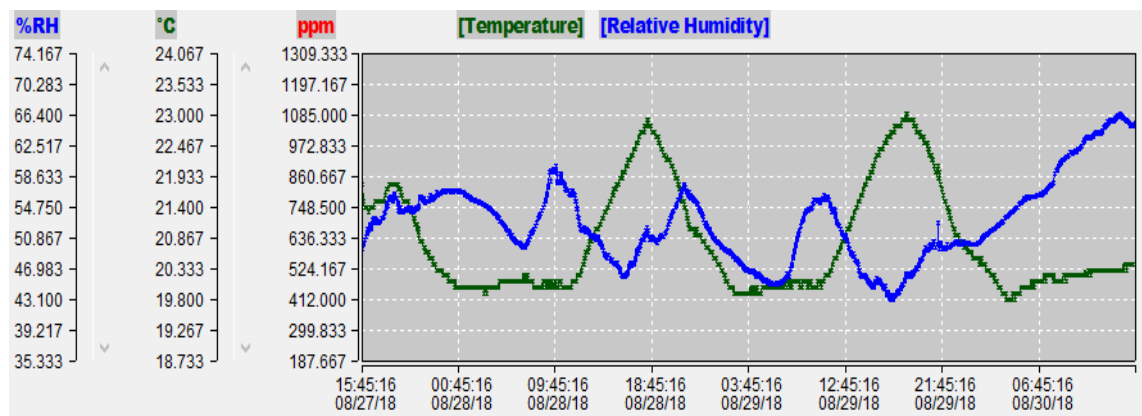
Kuvio 20. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1085.00 ppm, mitattu: 28.8.2018 18:14

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(1085.00 - 405.00)$ ppm = 680 ppm,
aikana: 28.8.2018 18:14

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 412.00 ppm, mitattu: 30.8.2018 04:14

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 552.80 ppm



Kuvio 21. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 23.00 °C, mitattu: 29.8.2018 18:21

Lämpötilan minimiarvo: 19.80 °C, mitattu: 30.8.2018 03:44

Lämpötilan keskiarvo: 20.80 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 66.40 RH %, mitattu: 30.8.2018 14:17

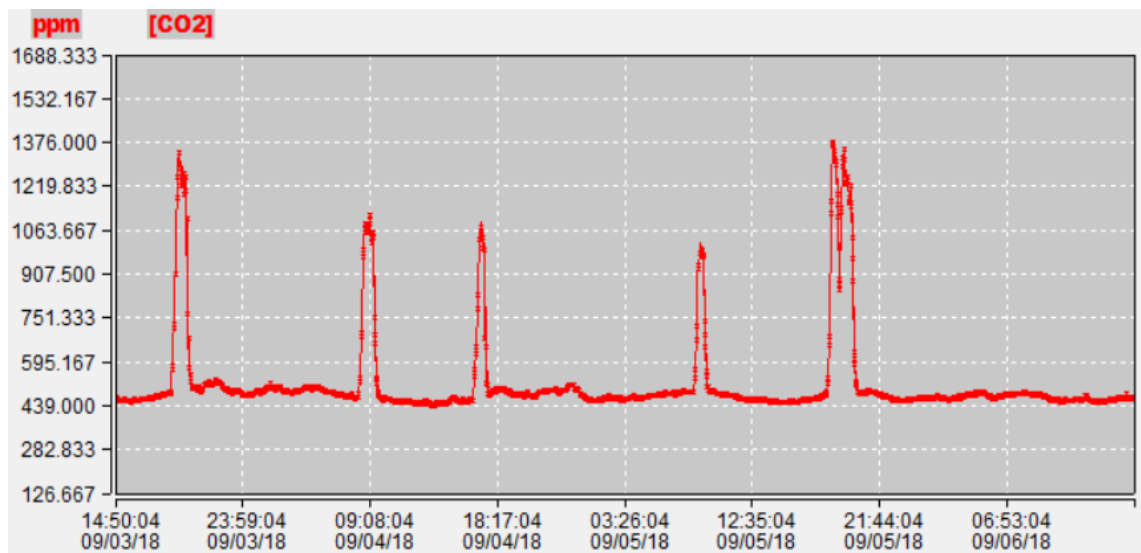
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 43.10 RH %, mitattu: 29.8.2018 16:58

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 52.89 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,12 m/s, mitattu 20.11.2018.

6.4.6 Spinningtilan mittaukset

Mittaus ajankohta oli 3.9.-6.9.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



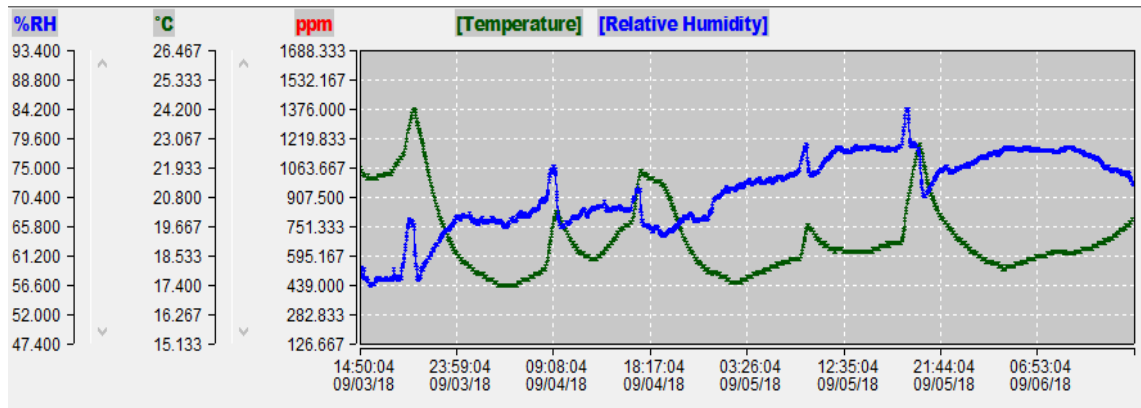
Kuvio 22. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1376.00 ppm, mitattu: 5.9.2018 18:24

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(1376.00 - 405.00)$ ppm = 971 ppm,
aikana: 5.9.2018 18:24

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 439.00 ppm, mitattu: 4.9.2018 13:41

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 517.39 ppm



Kuvio 23. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 24.20 °C, mitattu: 3.9.2018 19:55

Lämpötilan minimiarvo: 17.40 °C, mitattu: 4.9.2018 03:52

Lämpötilan keskiarvo: 19.22 °C

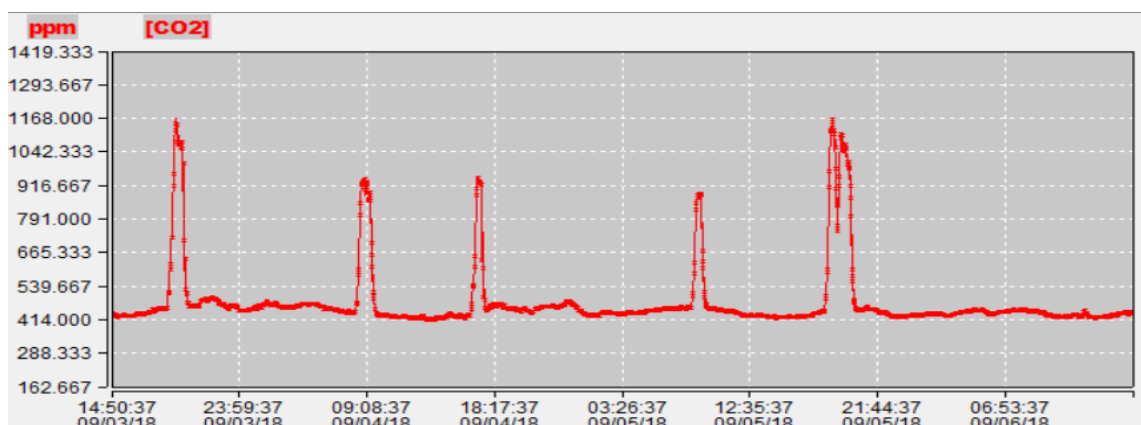
Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 84.20 RH %, mitattu: 5.9.2018 18:40

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 56.60 RH %, mitattu: 3.9.2018 15:49

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 71.16 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,02 m/s, mitattu 20.11.2018.

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



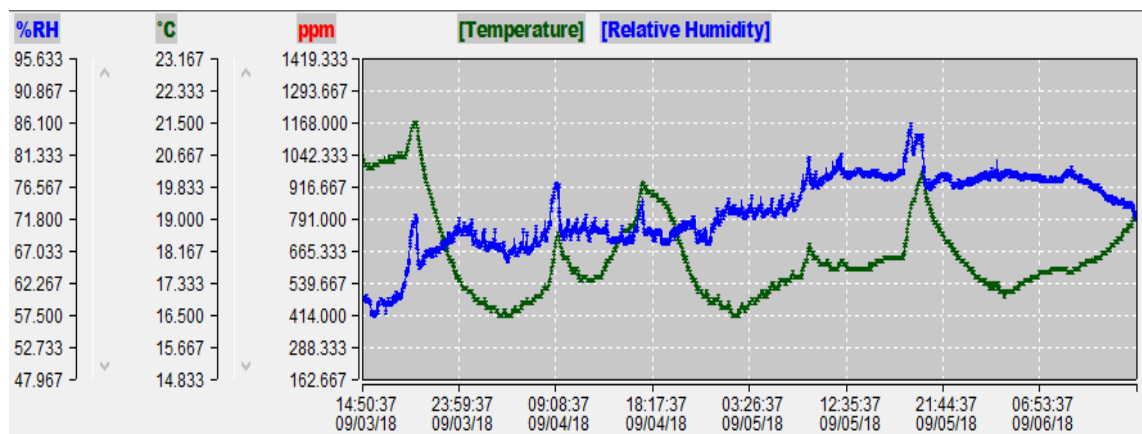
Kuvio 24. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1168.00 ppm, mitattu: 3.9.2018 19:25

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(1168.00 - 405.00)$ ppm = 763 ppm,
aikana: 3.9.2018 19:25

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 414.00 ppm, mitattu: 4.9.2018 13:33

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 478.45 ppm



Kuvio 25. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 21.50 °C, mitattu: 3.9.2018 19:44

Lämpötilan minimiarvo: 16.50 °C, mitattu: 4.9.2018 03:43

Lämpötilan keskiarvo: 18.03 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 86.10 RH %, mitattu: 5.9.2018 18:44

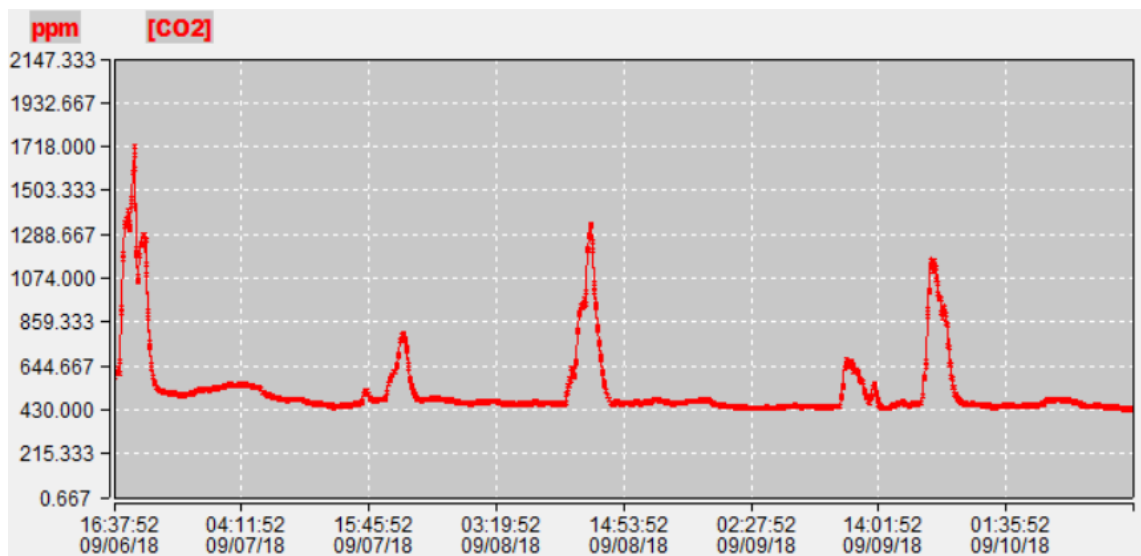
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 57.50 RH %, mitattu: 3.9.2018 15:56

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 72.79 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,15 m/s, mitattu 20.11.2018.

6.4.7 Ryhmäliikuntatilan mittaukset

Mittaus ajankohta oli 6.9.-10.9.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



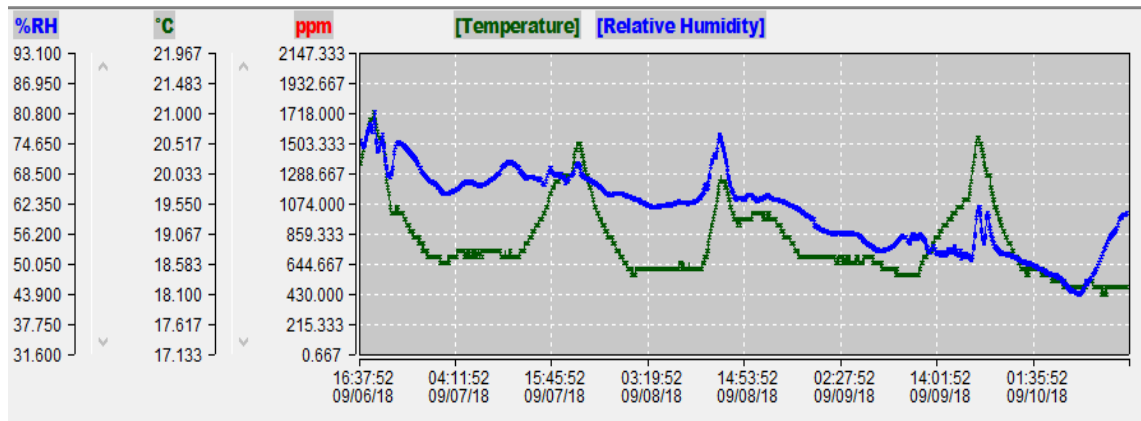
Kuvio 26. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1718.00 ppm, mitattu: 6.9.2018 18:31

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: (1718.00-405.00) ppm = 1313 ppm, aikana: 6.9.2018 18:31

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 430.00 ppm, mitattu: 10.9.2018 12:31

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 529.00 ppm



Kuvio 27. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 21.00 °C, mitattu: 6.9.2018 18:21

Lämpötilan minimiarvo: 18.10 °C, mitattu: 10.9.2018 09:48

Lämpötilan keskiarvo: 18.97 °C

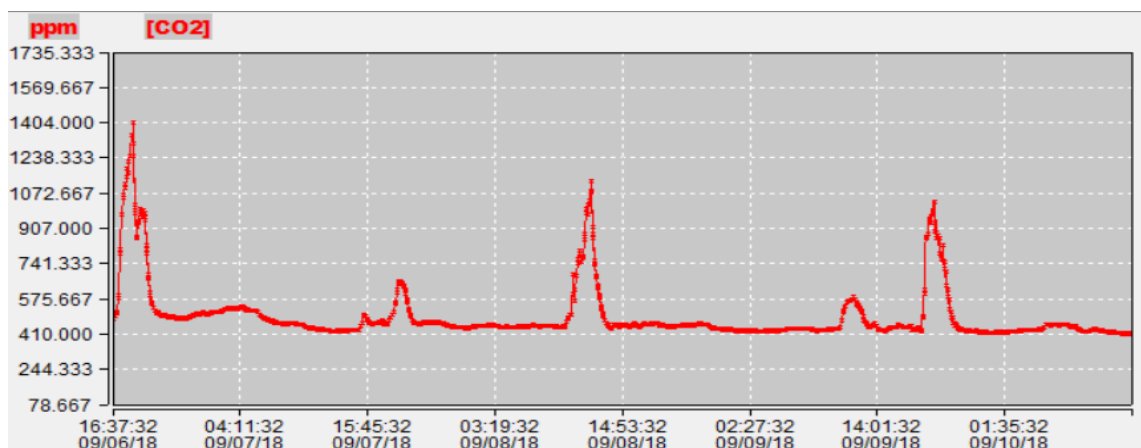
Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 80.80 RH %, mitattu: 6.9.2018 18:30

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 43.90 RH %, mitattu: 10.9.2018 06:59

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 60.93 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,00 m/s, mitattu 20.11.2018.

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



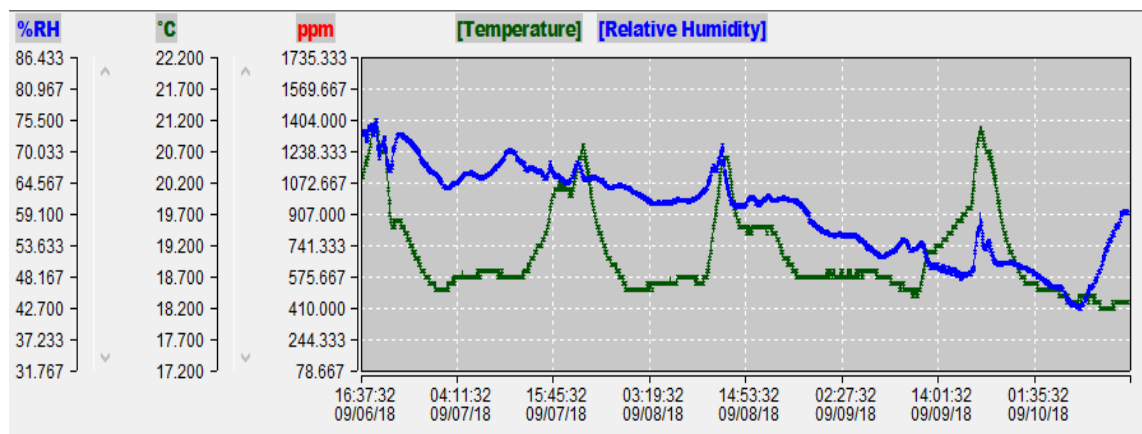
Kuvio 28. Hiilidioksidipitoisuus (ppm)

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 1404.00 ppm, mitattu: 6.9.2018 18:28

Tilassa oleva maksimi hiilidioksidipitoisuus: $(1404.00 - 405.00)$ ppm = 999 ppm,
aikana: 6.9.2018 18:28

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 410.00 ppm, mitattu: 10.9.2018 12:42

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 492.00 ppm



Kuvio 29. Lämpötila (°C) ja suhteellinen kosteus (RH %).

Lämpötilan maksimiarvo: 21.20 °C, mitattu: 6.9.2018 18:25

Lämpötilan minimiarvo: 18.20 °C, mitattu: 10.9.2018 09:28

Lämpötilan keskiarvo: 19.08 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 75.50 RH %, mitattu: 6.9.2018 18:30

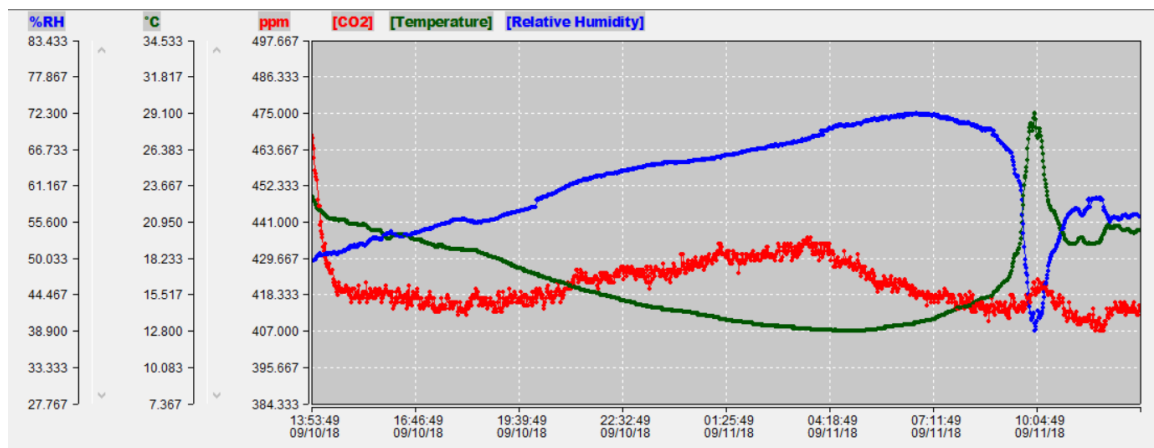
Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 42.70 RH %, mitattu: 10.9.2018 07:01

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 59.40 RH %

Vedon mittaustulokset: 0,12 m/s, mitattu 20.11.2018.

6.4.8 Ulkoilman mittaustulokset

Mittaus ajankohta oli 10.9.-11.9.2018. Alla olevissa kuvissa on esitetty hiilidioksidipitoisuus-, lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaustulokset. Tilassa tehtiin mittaukset kahdella mittarilla saman aikaisesti. Ensimmäisenä esitetty 1. mittarin mittaustulokset.



Kuvio 30. Ulkoilmanlaatu mittarilla 1.

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 475.00 ppm, mitattu: 10.9.2018 13:53

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 407.00 ppm, mitattu: 11.9.2018 11:42

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 421.30 ppm

Lämpötilan maksimiarvo: 29.10 °C, mitattu: 11.9.2018 10:00

Lämpötilan minimiarvo: 18.20 °C, mitattu: 11.9.2018 04:23

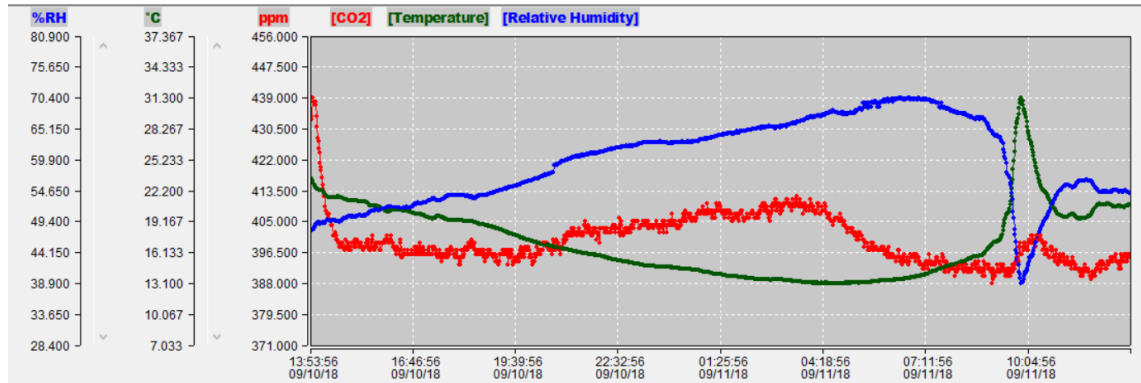
Lämpötilan keskiarvo: 16.75 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 72.30 %RH, mitattu: 11.9.2018 06:43

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 38.90 %RH, mitattu: 11.9.2018 10:01

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 61.56 %RH

Alla esitetty 2. mittarin mittaustulokset samana ajankohtana.



Kuvio 31. Ulkoilmanlaatu mittarilla 2

Hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo: 439.00 ppm, mitattu: 10.9.2018 13:57

Hiilidioksidipitoisuuden minimiarvo: 388.00 ppm, mitattu: 11.9.2018 09:03

Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo: 399.86 ppm

Lämpötilan maksimiarvo: 31.30 °C, mitattu: 11.9.2018 09:52

Lämpötilan minimiarvo: 13.10 °C, mitattu: 11.9.2018 04:01

Lämpötilan keskiarvo: 17.14 °C

Suhteellisen kosteuden maksimiarvo: 70.40 %RH, mitattu: 11.9.2018 06:26

Suhteellisen kosteuden minimiarvo: 38.90 %RH, mitattu: 11.9.2018 09:52

Suhteellisen kosteuden keskiarvo: 59.61 %RH

6.5 Hiilidioksidituoton perusteella laskettava ulkoilmavirta ja mittaustulosten vertailu kuntosalin ilmanvaihdon riittävyyteen vakioilmavirroilla

Spinningtilan mittaustuloksia tarkasteltaessa huomataan, että hiilidioksidin toimenpideraja ylitetään hetkellisesti ohjatun harjoituksen yhteydessä. Hiilidioksidituottoon perustuvalla tuloilmavirran määrittämisellä voidaan osoittaa myös, että ilmanvaihtoa pitäisi olla enemmän kyseiseen tilaan harjoituksen aikana. Ryhmäliikuntatilassa hiilidioksiditoimenpideraja ylitetään myös hetkellisesti harjoituksen yhteydessä. Tässäkin tilassa voidaan laskennallisesti todeta ilmanvaihdon olevan liian pieni huippukuormien tasaamiseksi.

Jos oletetaan, että tiloissa käytetään sisäilmaluokituksen 2018 S3 raja-arvoa, niin hiilidioksidipitoisuus tiloissa pysyy sallituissa raja-arvoissa (taulukko 1). Pois lukien spinning- ja ryhmäliikuntatilan huippukohdat urheilusuorituksen aikana. Tämä tarkoittaa, että ilmanvaihto vakioilmavirroilla tiloissa on riittävä hiilidioksidiarvojen perusteella.

Suhteellinen kosteus on toinen mikä ylittää rajan (70 %), mutta sekin vain spinning- ja ryhmäliikunta tiloissa, vain silloin kun tiloissa on menossa harjoittelu. Kosteus reagoi ilmanvaihtoon hitaammin ja kosteus poistuu tilasta huomattavasti hitaammin, kun hiilidioksidi (LVI 06-10600, 10). Pitää huomioida, että mittaustulokset on mitattu kesällä, jolloin ulkoilman kosteudenpitoisuus on suurempi ja kyseessä ovat suhteellisen pienet tilat, mihin tulee monta ihmistä tekemään raskasta fyysistä suoritusta ja tämän myötä ihmisistä vapautuva kosteus on suuri. Hetkellinen kosteuden nousu ei välttämättä haittaa, kunhan se ei jää tilaan.

Mittaustuloksista selviää, että tilojen lämpötilat eivät pysy 18 asteessa, jos se on tavoite arvoksi asetettu. Kahdessa mittarissa parhaimmillaan lämpötila nousee 40 asteeseen, mutta tässä kohdassa mittarit sijaitsivat lähellä ikkunaa ja päivällä aurinko paistaa siihen kohtaan kuumimmillaan. Tämä todennäköisesti nostaa lämpötilan alueella epämukavan kuumaksi. Tähän voisi todeta, että passiivinen suojaus auringolta voisi olla erinomainen ratkaisu, markiisit ulos ja parempi ikkunakalvo viilentäisi tilaa jonkin verran kesällä.

6.6 Mittaustulosten virhetarkastelu

Mittaustuloksiin on voinut vaikuttaa monikin asia. Esimerkiksi mittareiden sijainti. Kaikkia mittareita ei voitu sijoittaa optimaaliselle paikalle, ettei ne haittaa asiakkaiden tai työntekijöiden toimintaa. Lisäksi tiloissa, joissa mittaukset suoritettiin ei ilmamäärät ollut aina suhteessa saman suuruiset, eli tulo- ja poistoilmavirtaa yhtä paljon. Ilmanliike eli vedonmittauksien perusteella voidaan myös todeta, että osaan mittareista on voinut vaikuttaa veto. Tällöin hiilidioksidipitoisuus, lämpötila ja suhteellisen kosteuden mittauksen tuloksissa voi olla heittoja todelliseen tilassa olevaan tulokseen.

7 Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihto kuntosalissa

Hyvin suunnitellulla muuttuvailmavirtaisella IV-järjestelmällä ja sen ohjauksilla voidaan säästää merkittävästi kuntosalin käyttöaikaisessa energiakustannuksessa. Automaatiolla voidaan parantaa esimerkiksi tarpeenmukaista käyttöä, tehostusta tai tehon vähentämistä ja antureilla ilmanvaihdon tehostamista. (Ohjekortti LVI 06-10060, 2018, 7.)

7.1 Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon toiminta kuntosaliympäristössä

Muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä hyötyisi eniten antureista. Kuntosalin sisäilma ympäristö on niin paljon muuttuva ja käyttäjäriippuvainen. Varsinkin jos kuntosali on auki joka päivä kellon ympäri. Kuntosalilla täytyy huomioida kosteudenhallinta, lämpöviihtyvyys ja ilman liike. Edellä mainitut arvot kuntosaliympäristössä poikkeavat standardeista täysin ja niitä on vaikea noudattaa standardin mukaan, koska kuntosaliympäristön olosuhteita ei voi verrata standardeissa mainittuihin koti tai toimisto-oloihin. Arvot ovat myös osittain ristiriitaiset, koska

mainitut arvot vaikuttavat eri tavalla raskaampaan tai kevyempään fyysiseen rasitukseen.

7.2 Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon edut ja kustannus verrattuna vakioilmavirtaiseen

Muuttuvailmavirtainen ilmavaihtojärjestelmän isoin etu on sen mukautuvuus ympäristöön. Tilojen sisäilmaolosuhteita voitaisiin valvoa antureilla. Tärkeimmät mahdolliset anturit, mitkä valvoisivat sisäilmaolosuhteita, olisivat hiilidioksidipitoisuus, läsnäolo, suhteellinen kosteus ja lämpötila. Näiden avulla ilmanvaihtojärjestelmä tehostuisi tarpeenmukaisesti ja laskisi, kun ei ole tarvetta. Tämä on tärkeää varsinkin spinning- ja ryhmäliikuntatiloissa, missä tarvitaan isoa tehostusta harjoituksen aikana, koska tila on suhteessa pieni verrattuna ihmismäärään ja heidän tekemään fyysiseen rasittavuuteen. Spinning- ja ryhmäliikuntatilat ovat tyhjiä muina aikoina.

Järjestelmä tehostaa ilmanvaihtoa harjoituksen aikana ja harjoituksen jälkeen ilmanvaihto poistaa kosteuden ja hiilidioksidin asetusarvoon. Tämän jälkeen ilmanvaihto vaihtuu poissaolo asetukselle. Lisäksi ilmanvaihtoa voidaan tarpeen mukaan tehostaa ennen harjoituksen alkua, jotta ilma pysyy hyvälaatuisena heti harjoituksen alusta asti.

Kuntosali on auki joka päivä kellon ympäri, joten varsinkin yö aikaan säästöä tulisi mittavasti ilmanvaihtojärjestelmän ollessa poissaolo asetuksella. Tietenkin jos kosteusanturi vielä huomaisi kosteutta tiloissa, se poistaisi kosteuden asetusarvoon ja sitten siirtyisi poissaolo asetukselle. Kosteuden poisto on tärkeää rakenteiden hyvin voinnin kannalta.

8 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energialaskennat ja olosuhde simuloinnit

Kuntosalilla ilmanvaihtoa käytetään pääsääntöisesti kahdella teholla riippuen vuodenajasta. Kesäaikaan ilmanvaihto on 100 % teholla korkeampien ulkolämpötilojen, kuin ihmisestä johtuvien lämpökuormien ja kosteuden hallitsemisen takia. Korkeammilla ilmavirroilla saadaan yö tuuletuksen avulla poistettua aurinkosta- sekä ihmisistä tulleet lämpökuormat ulos, jolloin aamulla sekä aamupäivällä lämpötila tiloissa pysyy vielä sopivana.

Ilmanvaihdon energialaskelmissa Ilmanvaihtoa käytetään 50 % teholla tammi-, helmi-, maaliskuu-, huhti-, loka-, marras- ja joulukuussa. Tällä säästetään ilmanvaihdon lämmityskustannuksissa sekä vähennetään riskiä vedon tunteelle ja tarpeettomalle tilojen kylmenemiselle pakkaskeleillä. Muina kuukausina ilmanvaihto on 100% teholla, jota käytetään ilmanvaihdon energianlaskennassa. Kuntosalin nykyinen ilmanvaihto ei sisällä lämmöntalteenottolaitteistoa, joten tästäkin syystä ilmavirtoja joudutaan pienentämään kylmemmillä keleillä.

Lämmöntalteenottolaitteiston tuomaa säästöä ilmanlämmityskustannuksiin on laskettu osiossa 8.2. Energialaskennassa kesä-, heinä- ja elokuussa ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve ja ilmanvaihdosta talteen otettu energia on nolla, koska ne ovat pois käytöstä, ellei rakennukset käyttöä muuta edellytä (rakentamismääräyskokoelma D5, 2012, 22). Ilmanvaihtokone käyttää lämmitysenergiana kaukolämpöä. Ilmanvaihdon lämmitysenergia laskennassa käytetty MWh/€ hinta on otettu Joensuun alueelle, mikä on 58,15 MWh/€ (Fortum 2019). Ilmanvaihdon sähkökulutuksen laskennassa käytetty hinta on 59,90 MWh/€, mikä ei sisällä siirtomaksuja (Fortum 2019).

8.1 Käsin laskettu lämmitysenergian tarve

Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia laskettiin kaavalla (4). Kuukauden keskilämpötilat on otettu rakennusmääräyskokoelman D3 kuukausikohtaisesta ulkolämpötila tilastosta säävyöhykkeeltä kolme. Mittaukset on suoritettu Jyväskylän

lentoasemalla. Taulukossa 9 on esitetty kuukausi kohtaisesti tarvitsema lämpö-energiantarve kilowattitunteina.

Taulukko 9. Jyväskylän lentoasemalla mitatut ulkoilman keskilämpötilat (Rakentamismääräyskokoelma D3, 2012, 31). Ilmanvaihdon lämmitysenergian laskennallinen nettotarve (kWh).

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila °C	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve (kWh)
Tammikuu	-8,00	61469,28
Helmikuu	-7,10	59299,78
Maaliskuu	-3,53	50694,08
Huhtikuu	2,42	36351,24
Toukokuu	8,84	41750,90
Kesäkuu	13,39	0,00
Heinäkuu	15,76	0,00
Elokuu	13,76	0,00
Syyskuu	9,18	40111,72
Lokakuu	4,07	32373,82
Marraskuu	-1,76	46427,39
Joulukuu	-5,92	56455,32
Yhteensä (kWh)	-	424933,52
Yhteensä (MWh)	-	424,93

8.2 Käsin laskettu lämmöntalteenoton lämmitysenergian säästö

Taulukossa 10 on laskettu lämmöntalteenotto laitteiston tuomaa säästöä ilmanlämmityskustannuksiin. Laskennoissa käytetään taulukon 9 ulkoilmalämpötiloja. Ilmanvaihdesta talteen otettua energian määrää laskettiin kaavalla 7. Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila laskettiin kaavalla 5 ja lämmöntalteenotolla talteen otettu teho kaavalla 6.

Taulukko 10. Lämmöntalteenotolla saadut energiansäästöt kuukausittain

Kuukausi	Lämmöntalteenotto laitteen jälkeinen lämpötila (°C)	Lämmöntalteenotolla talteen otettu teho (W)	Ilmanvaihdesta talteen otettu energia (kWh)	Osto energian määrä lämmöntalteenottolaitteen jälkeen (kWh)
Tammikuu	5,3	44662,3	32156,9	29312,4
Helmikuu	5,8	43276,2	31158,9	28140,9
Maaliskuu	7,8	37778,2	27200,3	23493,8
Huhtikuu	11,0	28614,7	20602,6	15748,7
Toukokuu	14,4	37454,7	26967,4	14783,5
Kesäkuu	13,4	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	15,8	0,0	0,0	0,0
Elokuu	13,8	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	14,6	36407,5	26213,4	13898,3
Lokakuu	11,9	26073,6	18773,0	13600,9
Marraskuu	8,7	35052,2	25237,6	21189,8
Joulukuu	6,5	41459,0	29850,4	26604,9
Yhteensä (kWh)	-	-	238160,4	186773,1
Yhteensä (MWh)	-	-	238,2	186,8

Taulukossa 11 nähdään lämmöntalteenottolaitteiston tuomaa säästöä ilmanlämmityskustannuksiin. Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde on laskettu määräysten minimi arvon mukaan. (Ympäristöministeriön asetus. 2013, 7.)

Taulukko 11. Lämmöntalteenotolla saadut lämmitysenergian säästöt vuodessa.

	MWh/a	€/a
Ilmanvaihdon nettolämmitystarve	424,9	24709,9
Lämmöntalteenoton säästämä lämpöenergia	238,2	13849,0
Osto energian määrä lämmöntalteenoton jälkeen	186,8	10860,9
Lämmöntalteenoton vuosi hyötysuhde (%)	56,0	

Uuden ilmanvaihtokoneen muutostyö maksaisi lämmöntalteenoton kanssa n. 80 000 €. Taulukosta 12 nähdään arvioitu takaisinmaksuaika järjestelmälle.

Taulukko 12. Lämmöntalteenoton takaisinmaksuaika.

Arvioitu uuden ilmanvaihto järjestelmän hinta (€)	80 000
Arvioitu takaisinmaksuaika järjestelmälle (a)	5,7

8.3 Vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energiankulutus vuodessa

Ilmanvaihto järjestelmän vuosienenergiankulutus on laskettu lämmöntalteenotolla (taulukko 13) sekä ilman lämmöntalteenottoa (taulukko 14). Ilmanvaihto järjestelmän vuosienenergiankulutus voidaan laskea tarvittavasta ilmanlämmitysenergian tarpeesta, puhaltimien ja muiden ilmanvaihdon sähkölaitteiden sähkönkulutuksesta. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus on laskettu SFP-luvulle 1,6 kW/(m³/s). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 8.

Taulukko 13. Ilmanvaihdon energiankulutus lämmöntalteenoton kanssa.

	MWh/a	€/a
Osto energian määrä lämmöntalteenoton jälkeen	186,8	10860,9
IV:n sähköenergian kulutus	101,9	6105,9
Yhteensä	288,7	16966,7

Ilmanvaihdon energiankulutus ilman lämmöntalteenottolaitteistoa (taulukko 14).

Taulukko 14. Ilmanvaihdon energiankulutus ilman lämmöntalteenottoa.

	MWh/a	€/a
Ilmanvaihdon nettolämmitystarve	424,9	24709,9
IV:n sähköenergian kulutus	101,9	6105,9
Yhteensä	526,9	30815,8

Lämmöntalteenottolaitteiston vaihtaminen kiinteistöön olisi näiden tulosten perusteella erinomainen ratkaisu säästämään ilmanlämmitys kustannuksissa.

8.4 Simuloitu vakioilmavirtaisen ilmanvaihdon energiantarve ilman lämmöntalteenottoa ja lämmöntalteenoton kanssa

Simuloinneissa tuloilman lämpötilana käytettiin 16 astetta ja poistoilman lämpötilana 18 astetta. Simuloinneissa tarkkailuun laitettiin hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus ja lämpötilat tilakohtaisesti. Erityisesti huomiota kiinnitettiin ryhmäliikunta- ja spinningtilaan.

Simuloinneissa olevien ihmisten MET-arvoja muunneltiin liikuntamuodon ja fyysisyyden rasitettavuuden mukaan. Esimerkiksi alkulämmittely tiloissa oleville ihmisille määritettävät MET-arvot vaihtelivat, koska ihmisten alkulämmittely teho on todennäköisesti vaihtelevampaa kuin spinningurheilussa, jossa urheilu on ohjattua ja oletettavasti fyysinen rasitettavuus pysyy korkeana suurimmanosan harjoituksen ajasta. Ryhmäliikuntatilan MET-arvo oli 7 ja spinningtilan MET-arvo oli 9.

CLO-arvo simulointia varten määriteltiin ihmisille heidän pukeutumistyyliinsä mukaan, mitä on kuntosaliympäristössä nähty. Ryhmäliikunta- ja spinningtilaan CLO-arvo on eri, kuin vapaapaino- ja aerobisentilan.

Vakioilmavirtaisenjärjestelmän suunnitellut ilmavirrat saatiin nykyisessä voimassa olevasta ilmanvaihto suunnitelmasta. Taulukossa 15 nähdään simuloidun ilmanlämmityksen energiantarve.

Taulukko 15. Simuloidun CAV-järjestelmän ilmanvaihdon lämmitysenergiantarve

kWh	803448,0
MWh	803,4

Simuloidun vakioilmavirtaisenjärjestelmän energiankulutus lämmöntalteenoton kanssa (taulukko 16).

Taulukko 16. Simuloidun CAV-järjestelmän lämmöntalteenotolla saadut lämmitysenergian säästöt vuodessa.

	MWh/a	€/a
Ilmanvaihdon nettolämmitystarve	803,4	46717,7
Lämmöntalteenoton säästävä lämpöenergia	494,2	28737,7
Osto energian määrä lämmöntalteenoton jälkeen	309,2	17980,0
Lämmöntalteenoton vuosi hyötysuhde (%)	61,5	

Simuloitu CAV -järjestelmän energiankulutus lämmöntalteenotto laitteiston kanssa ja sille laskettu hinta (taulukko 17).

TAULUKKO 17. Simuloitu CAV-järjestelmän energiankulutus lämmöntalteenotolla.

	MWh/a	€/a
Osto energian määrä lämmöntalteenoton jälkeen	309,2	17980,0
IV:n sähköenergian kulutus	160,4	9608,0
Yhteensä	469,6	27587,9

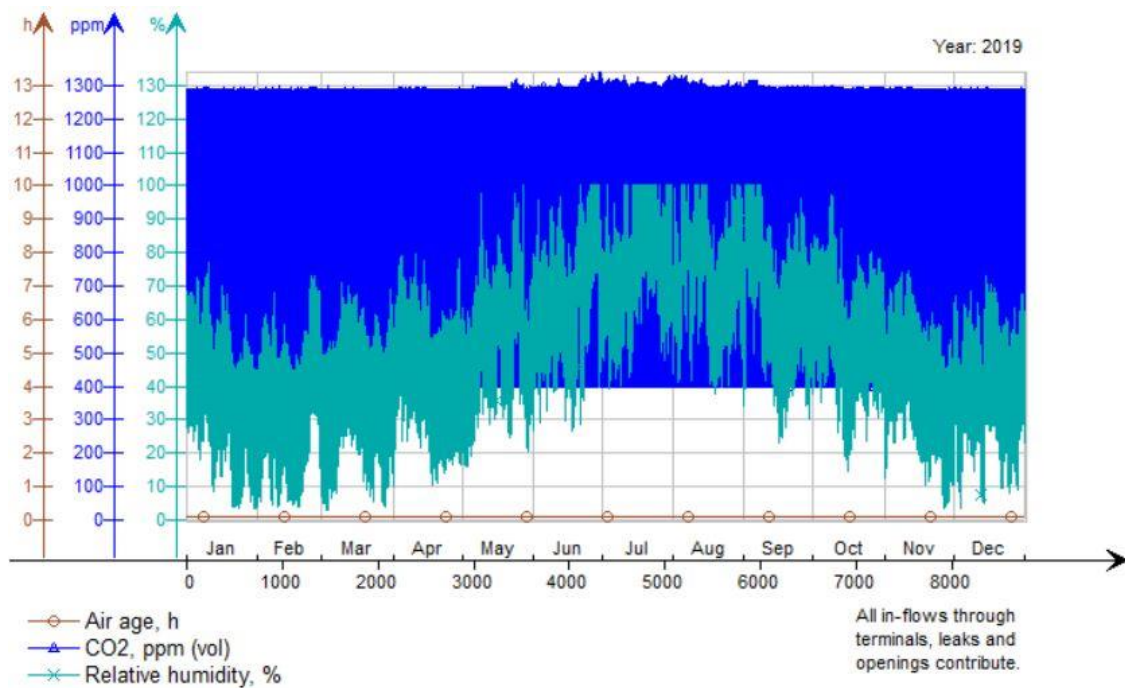
Simuloitu CAV -järjestelmän energiankulutus ja sille laskettu hinta taulukossa 18.

Taulukko 18. Simuloitu energiankulutus ilman lämmöntalteenottoa.

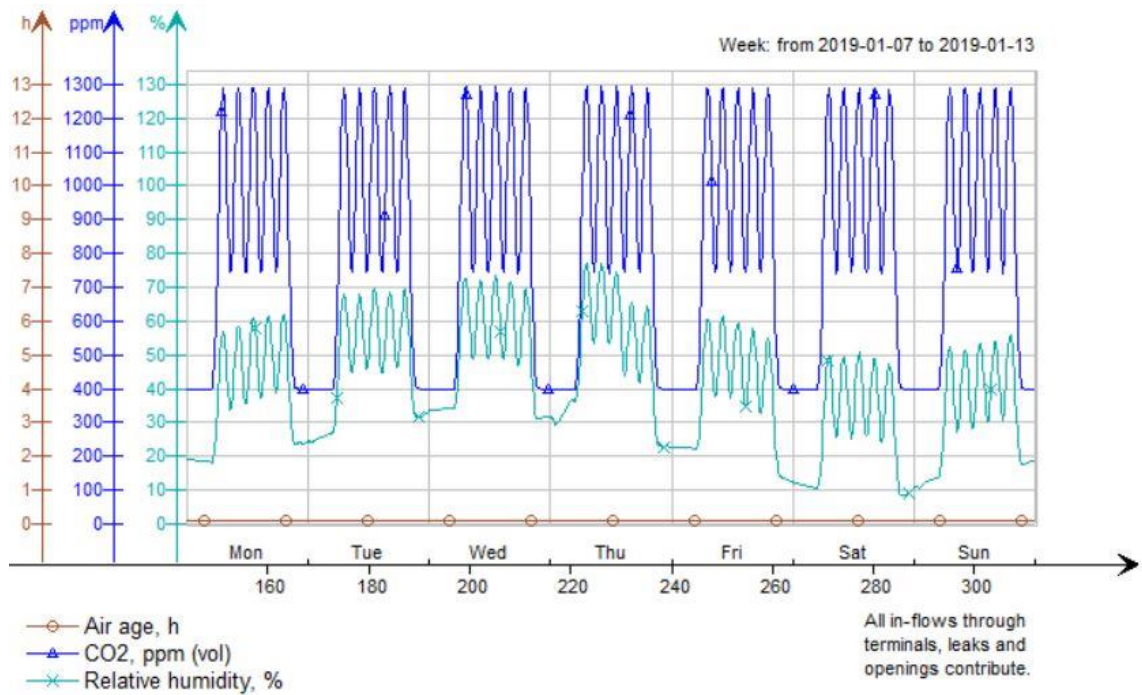
	MWh/a	€/a
Osto energian määrä lämmöntalteenoton jälkeen	803,4	46717,7
IV:n sähköenergian kulutus	164,1	9829,6
Yhteensä	967,5	56547,3

8.5 Spinningtilan olosuhdesimuloinnit

Kuviosta 32 nähdään vuoden ajalta tilan hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h).

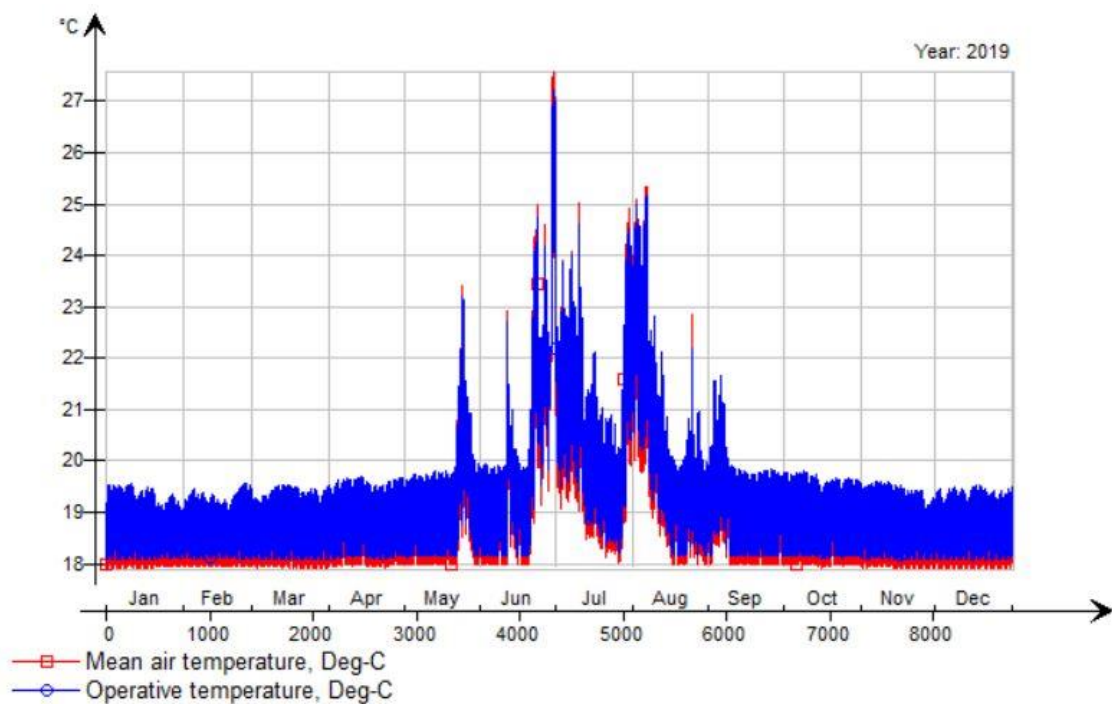
**Kuvio 32. Spinningtilan simuloinnin vuotuiset ilmanlaadun tulokset.**

Kuviosta 33 nähdään tammikuun ensimmäisen täyden viikon hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h).



Kuvio 33. Spinningtilan simuloinnin ilmanlaadun tulokset tammikuun ensimmäiseltä viikolta.

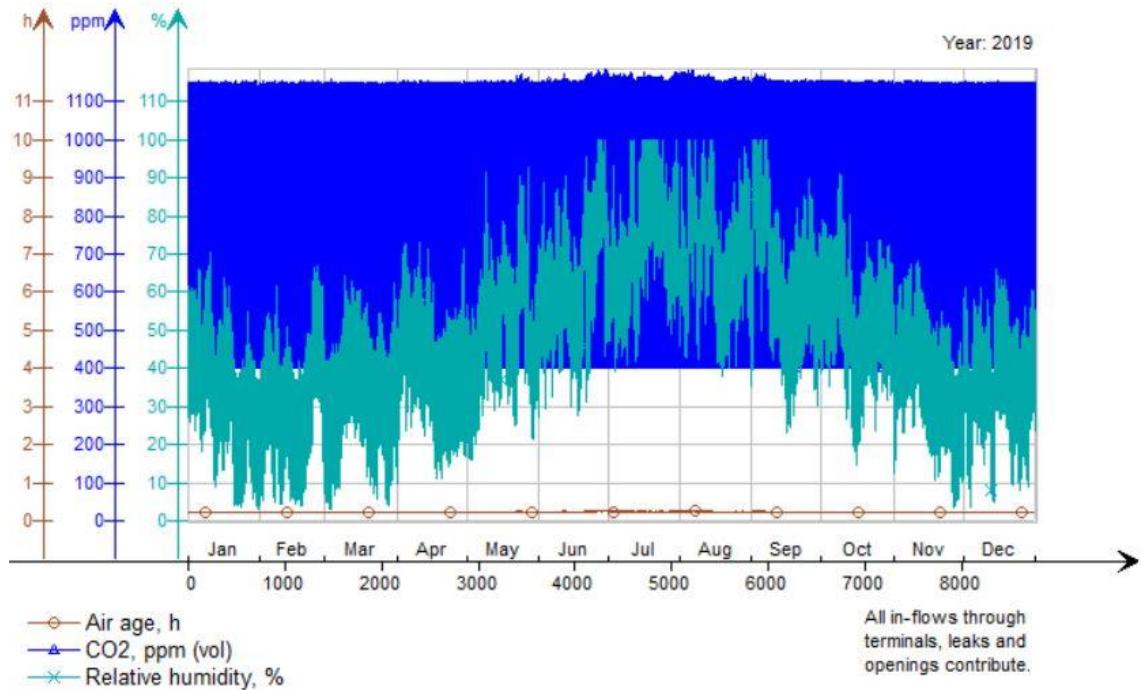
Kuviosta 34 nähdään vuoden ajalta operatiivisen- ja ilmanlämpötilan vaihtelut.



Kuvio 34. Spinningtilan simuloinnin vuotuiset lämpötilan (°C) tulokset.

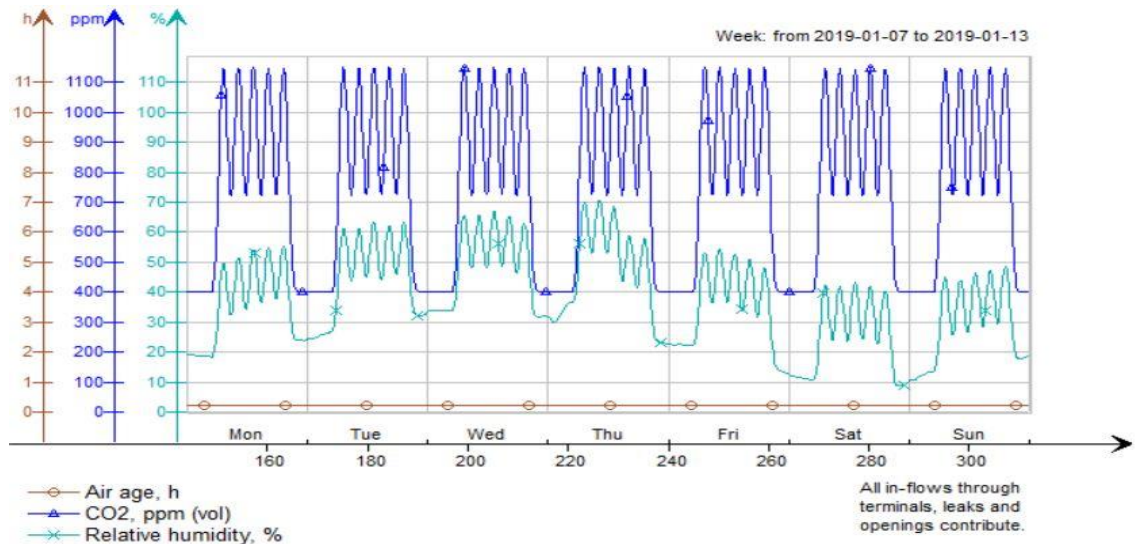
8.6 Ryhmäliikuntatilan olosuhdesimulointi

Kuviosta 35 nähdään vuoden ajalta tilan hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h).



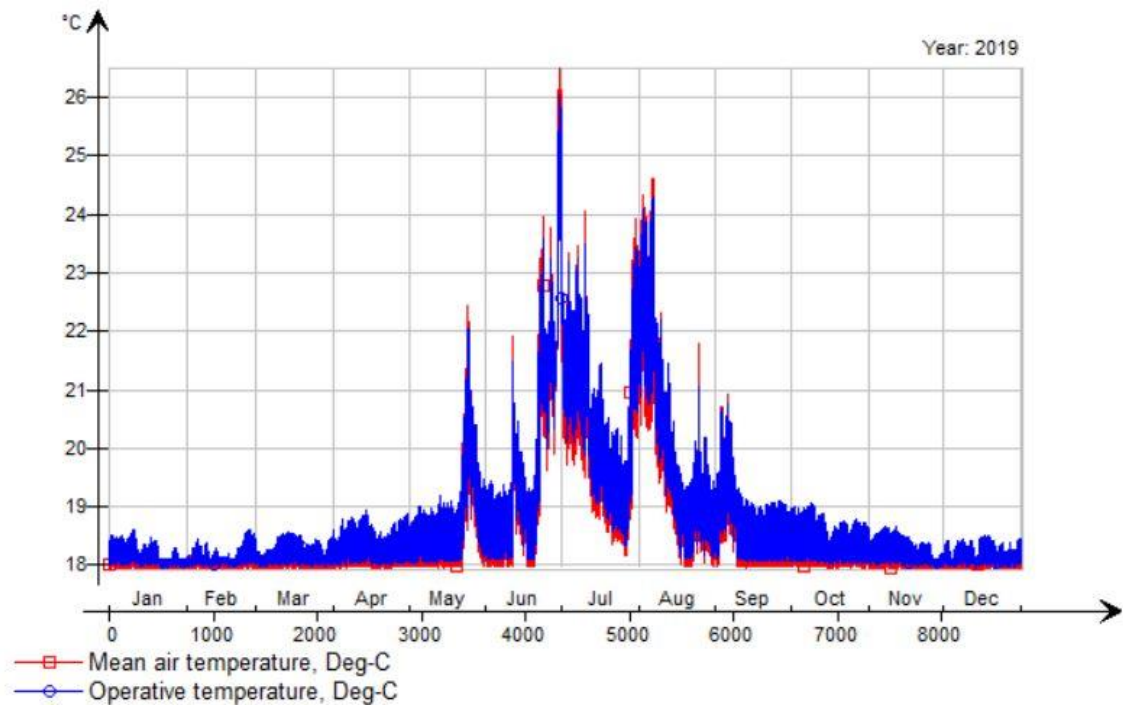
Kuvio 35. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin vuotuiset ilmanlaadun tulokset.

Kuviosta 36 nähdään tammikuun ensimmäisen täyden viikon hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h).



Kuvio 36. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin ilmanlaadun tulokset tammikuun ensimmäiseltä viikolta.

Kuviosta 37 nähdään vuoden ajalta operatiivisen- ja ilmanlämpötilan vaihtelut.



Kuvio 37. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin vuotuiset lämpötilan (°C) tulokset.

9 Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon energialaskennat ja simuloinnit

Simuloinneissa tuloilmanilman lämpötilana käytettiin 16 astetta ja poistoilman lämpötilana 18 astetta. Simuloinneissa tarkkailuun laitettiin hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus ja lämpötilat tilakohtaisesti. Erityisesti huomiota kiinnitettiin ryhmäliikunta- ja spinningtilaan.

VAV-järjestelmässä ilmanvaihdon ohjaus tapahtuu tilan hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Simuloinnin hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoina käytettiin sisäilma-luokitus 2018 S3 raja-arvoa.

9.1 Muuttuvilmavirtaisen ilmanvaihdon vuosienergiankulutus

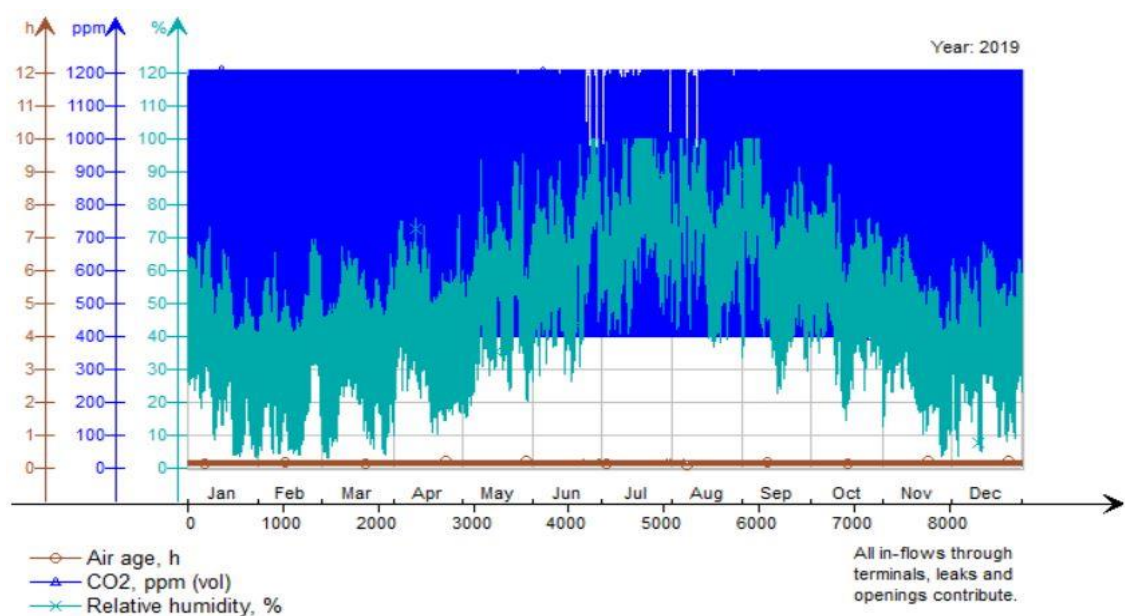
Järjestelmän vuosienergian kulutus voidaan laskea tarvittavasta ilman lämmitysenergian tarpeesta ja puhaltimien sähkönkulutuksesta. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus on laskettu SFP -luvulle $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Taulukko 19. Ilmanvaihdon energiankulutus lämmöntalteenoton kanssa.

	MWh/a	€/a
Simuloitu osto energian määrä lämmöntalteenoton jälkeen	105,3	6202,2
IV:n sähköenergian kulutus	29,6	1743,4
Yhteensä	134,9	7945,6

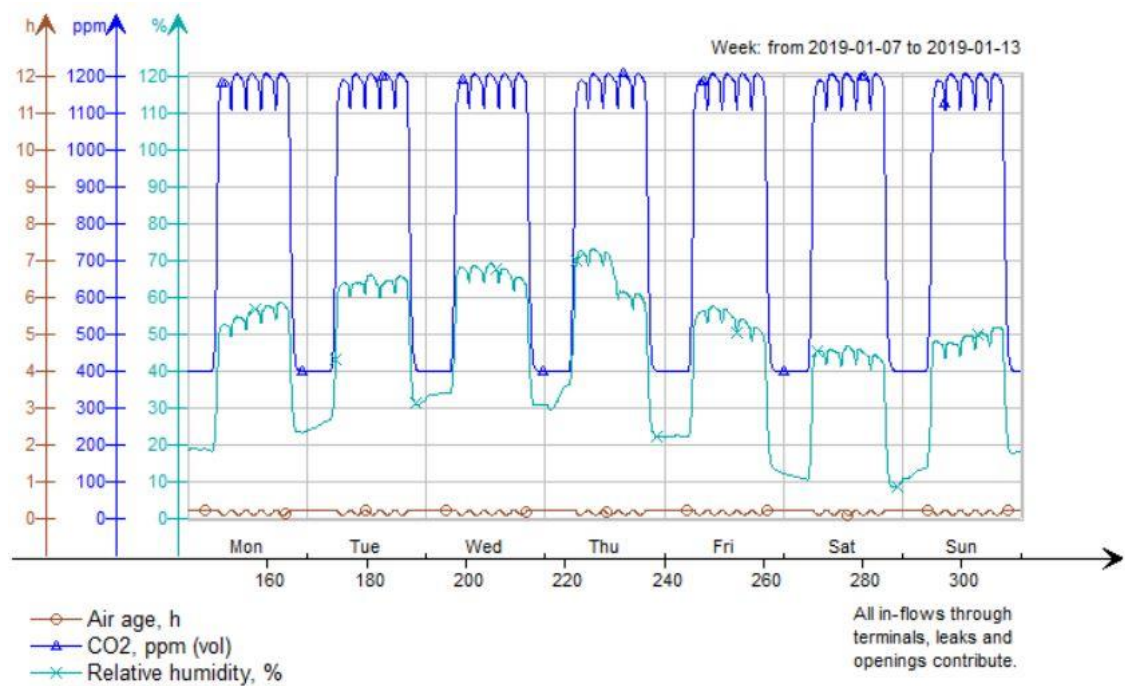
9.2 Spinningtilan olosuhdesimuloinnit

Kuviosta 38 nähdään vuoden ajalta tilan hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h). Simuloinnissa käytetty S3 luokkaa.



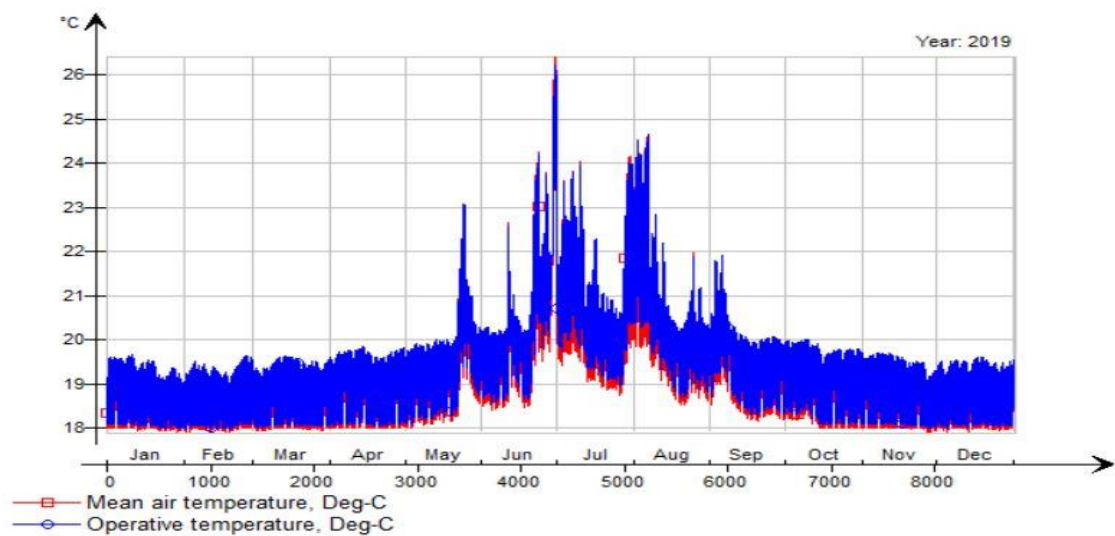
Kuvio 38. Spinningtilan simuloinnin vuotuiset ilmanlaadun tulokset.

Kuviosta 39 nähdään tammikuun ensimmäisen täyden viikon hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h).



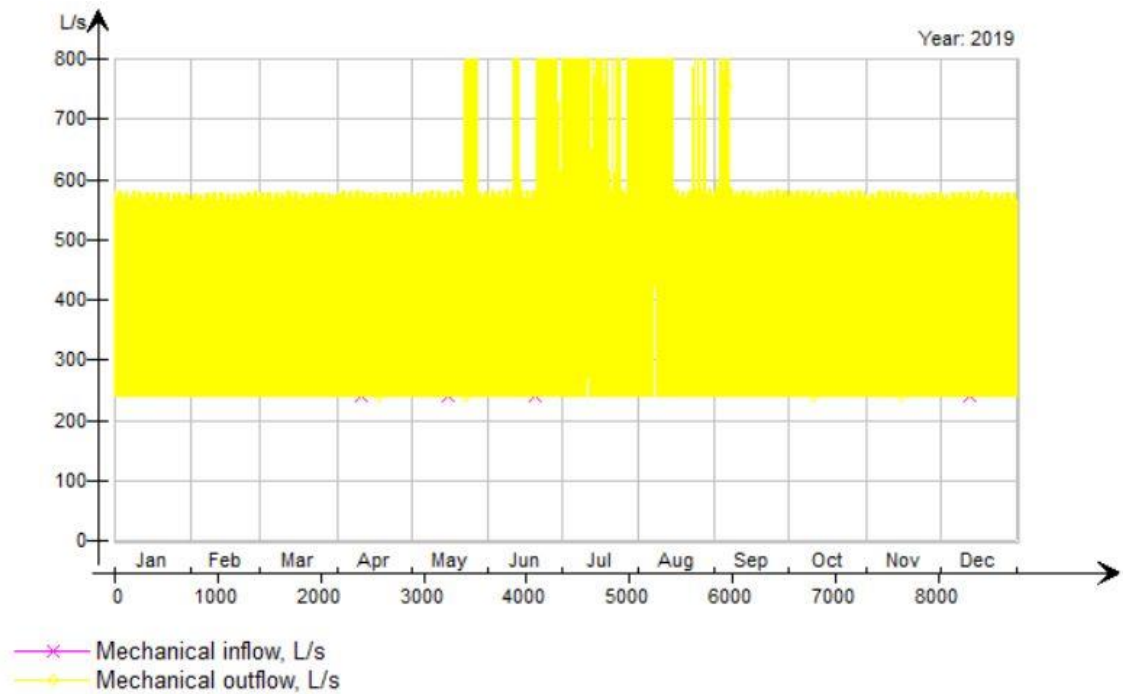
Kuvio 39. Spinningtilan simuloinnin ilmanlaadun tulokset tammikuun ensimmäiseltä viikolta.

Kuviosta 40 nähdään vuoden ajalta operatiivisen- ja ilmanlämpötilan vaihtelut.



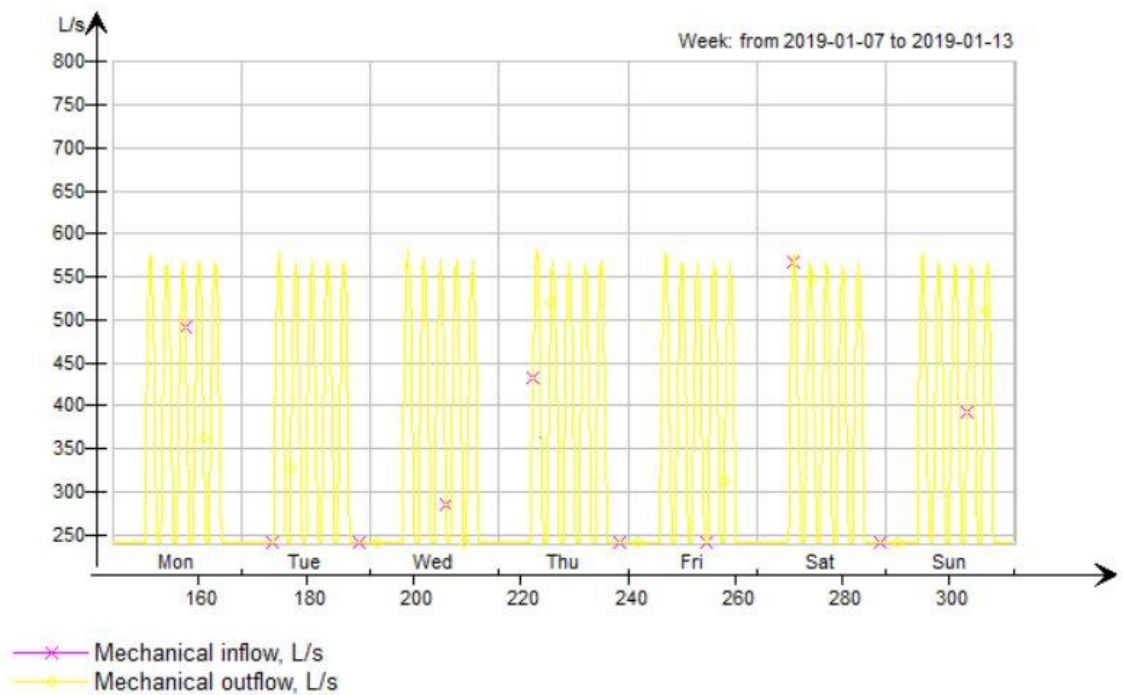
Kuvio 40. Spinningtilan simuloinnin vuotuiset lämpötilan (°C) tulokset

Kuviosta 41 nähdään muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon litramäärät vuodessa.



Kuvio 41. Spinningtilan simuloinnin vuotuiset ilmamäärän tulokset.

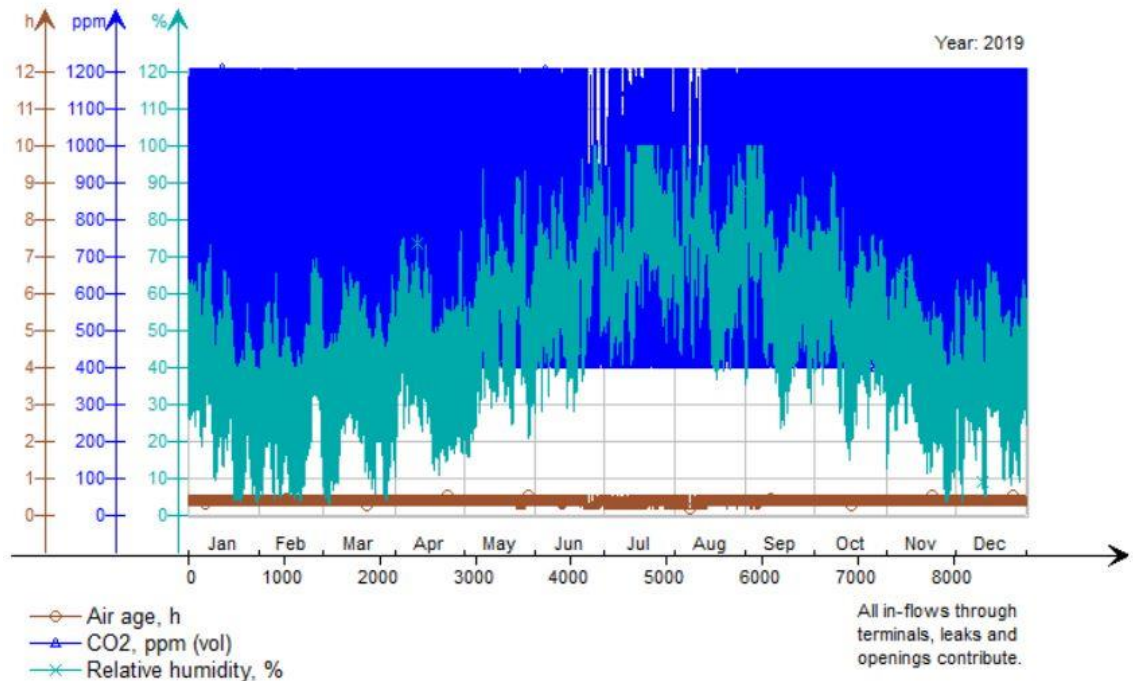
Kuviosta 42 nähdään muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon litramäärät tammikuun ensimmäiseltä täydeltä viikolta.



Kuvio 42. Spinningtilan tammikuun ensimmäisen viikon simuloinnin ilmamäärän tulokset.

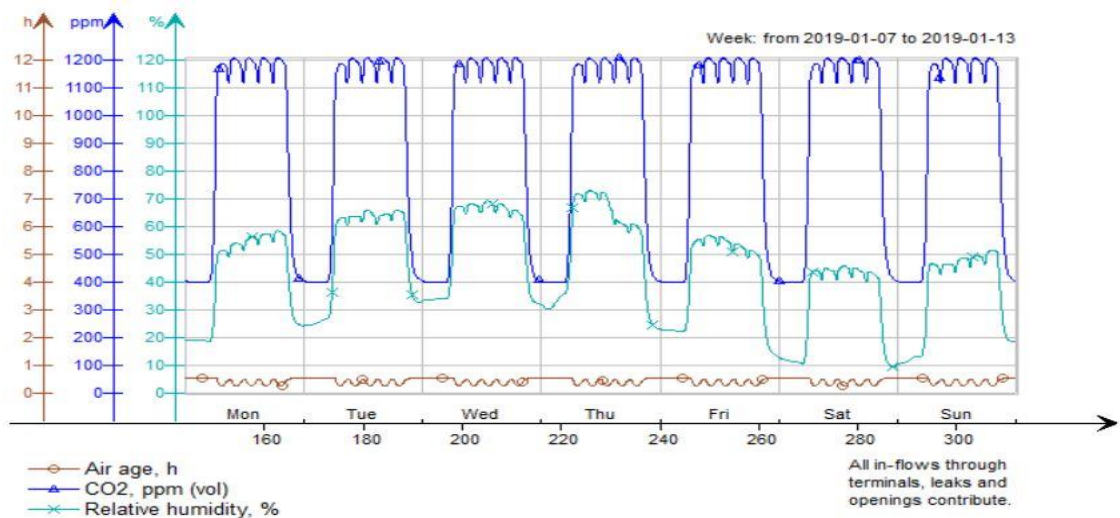
9.3 Ryhmäliikuntatilan olosuhdesimuloinnit

Kuviosta 43 nähdään vuoden ajalta tilan hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h). Simuloinnissa käytetty S3 luokkaa.



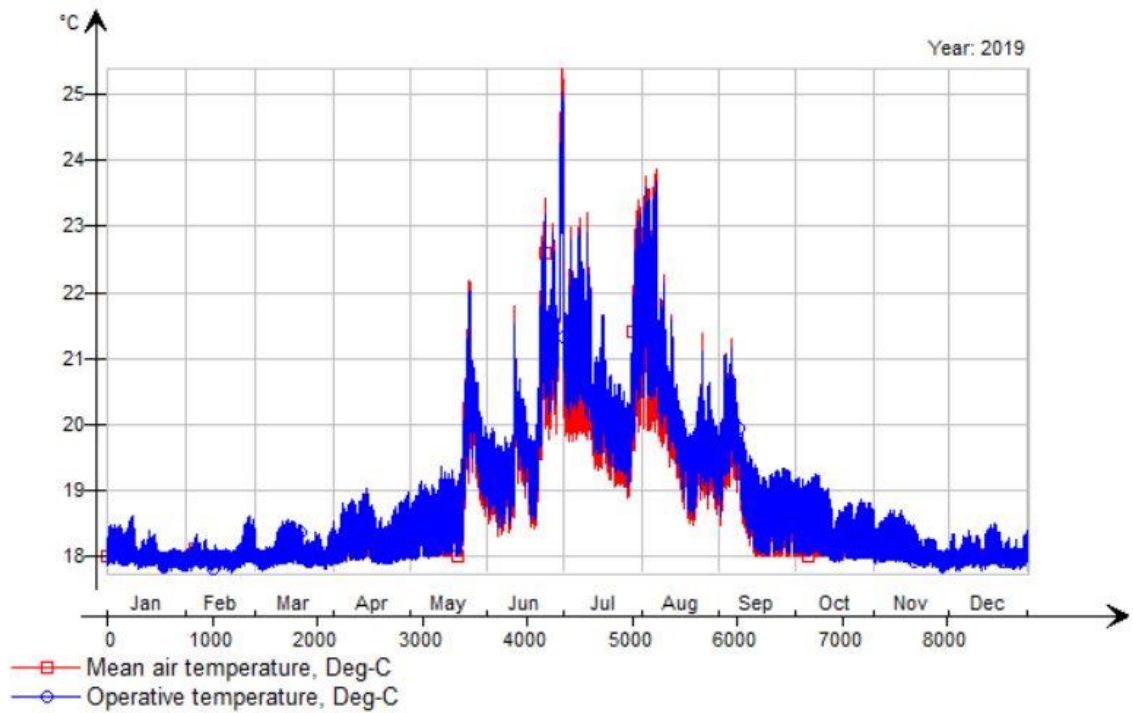
Kuvio 43. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin vuotuiset ilmanlaadun tulokset.

Kuviosta 44 nähdään tammikuun ensimmäisen täyden viikon hiilidioksidipitoisuus (ppm), suhteellinen kosteus (%RH) ja ilman ikä (h).



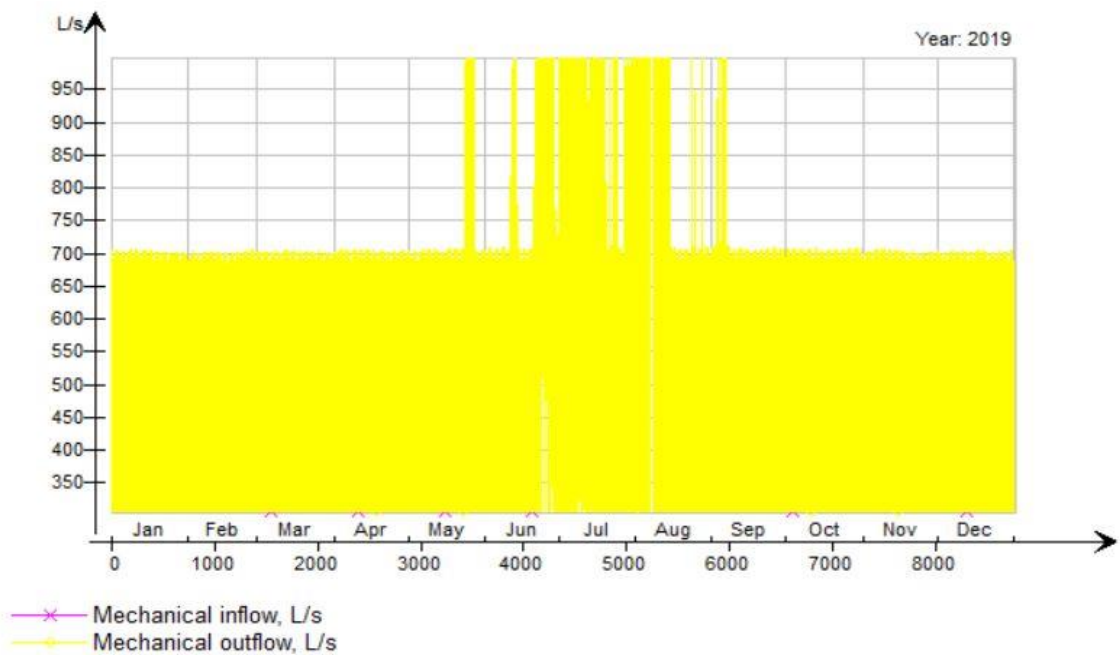
Kuvio 44. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin ilmanlaadun tulokset tammikuun ensimmäiseltä viikolta.

Kuviosta 45 nähdään vuoden ajalta operatiivisen- ja ilmanlämpötilan vaihtelut.



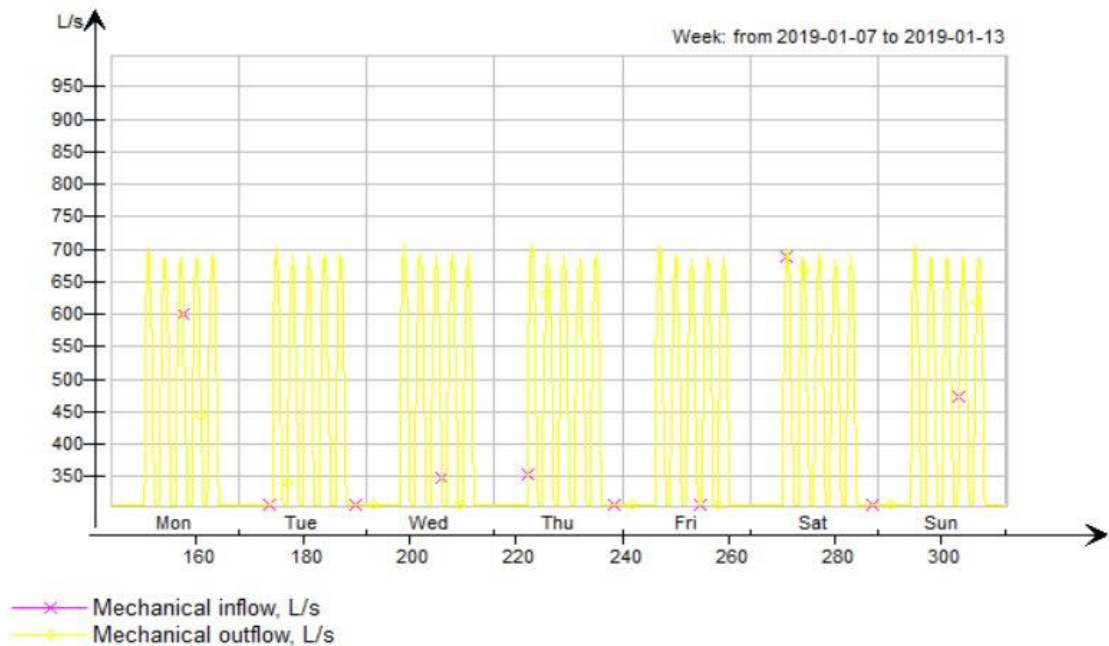
Kuvio 45. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin vuotuiset lämpötilan (°C) tulokset

Kuviosta 46 nähdään muuttuvavirtaisen ilmanvaihdon litramäärät vuodessa.



Kuvio 46. Ryhmäliikuntatilan simuloinnin vuotuiset ilmamäärän tulokset.

Kuviosta 47 nähdään muuttuvavirtaisen ilmanvaihdon litramäärät tammikuun ensimmäiseltä täydeltä viikolta.



**Kuvio 47. Ryhmäliikuntatilan tammikuun ensimmäisen viikon simuloinnin ilma-
määrän tulokset.**

9.4 CAV- ja VAV -järjestelmän simulointi tuloksien yhteenveto

Vakioilmavirtaisella järjestelmällä voidaan simulointituloksien perusteella todeta, että hiilidioksidipitoisuus ylittää sisäilmaluokitus 2018 S3 hiilidioksidipitoisuus raja-arvot spinning- ja ryhmäliikuntatilassa simuloidun harjoituksen aikana. Yön aikana harjoituksesta aiheutuneet hiilidioksidikuormat kerkeävät tasaantumaan täysin ulkoilman hiilidioksidin tasolle.

Muissa tilakohtaisissa simuloinneissa hiilidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet sisäilmaluokitus 2018 S3 raja-arvoja, joten erillisiä kuvia tilojen tuloksia ei otettu tähän opinnäytetyöhön. Kaikissa simuloinneissa voidaan havaita hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu, joka muodostuu ihmisten fyysisen aktiivisuuden aiheuttamasta hiilidioksidintuotosta.

Vakioilmavirtaisella ilmanvaihdolla missä ei ole jäähdytystä voidaan todeta, että kesäaikaan erityisesti touko-elokuun aikana lämpötilat kuntosalilla nousevat korkeaksi, jopa yli 26 asteeseen. Lisäksi simuloinneissa suhteellinen kosteus nousee kesäaikaan melkein 100 %:iin, mikä ei ole todenmukainen oikeassa tilanteessa. Simulointia voidaan verrata mittaustuloksiin. Esimerkiksi ryhmäliikuntatilan suhteellista kosteutta (kuvio 27 ja 29), minkä vaihteluväli on 43–80 % kesäaikaan, jolloin ulkoilman kosteus on vuodenaikaan nähden korkeimmillaan. Tämä perusteella voidaan todeta, että kosteus ei silloinkaan ole lähelläkään 100 prosenttia.

Kun muuttuvailmavirtaista järjestelmää verrataan simulointitulosten perusteella vakioilmavirtaiseen, huomataan, että muuttuvailmavirtaisella järjestelmällä päästään paljon pienempiin ilmavirtoihin ja silti pysytään S3 -luokan hiilidioksidipitoisuuden raja-arvossa. Pienemmät ilmavirrat tarkoittavat pienempiä energiakustannuksia. Kuviosta 42 ja 47 nähdään hiilidioksidipitoisuuden mukaan, että spinning- ja ryhmäliikuntatiloissa VAV-järjestelmä tehostaa vain silloin, kun tiloissa on ihmisiä ja pienentää tehoa heidän poistumisensa jälkeen. Kuvioista voidaan päätellä harjoittelu ajankohdat, milloin ihmisiä käy treenaamassa ja milloin ei.

Vaikka VAV-järjestelmä poistaa hiilidioksidin tehokkaasti tiloista, niin silti kuvioista 38 ja 43 nähdään, että vuositason $\%RH$ nousee kesäaikaan yli 100 %:iin. Emme usko, että kosteus niin korkealle pystyy nousemaan tiloissa ja mittaustuloksiinkin verraten ryhmäliikunta- ja spinningtiloihin tulee piikkimäisiä $\%RH$:n nousuja harjoituksesta. Ilmankuivain tai kosteuden poistamisen tehostaminen ei silti olisi ollenkaan huono ratkaisu.

Vaikka VAV-järjestelmä ”haistelee” hiilidioksidipitoisuutta ja lämpötilaa, ei silti riitä tehot poistamaan kaikkea lämpöä tiloista kesäaikaan. Kuvioiden 40 ja 45 nähdään, että kesäaikaan tiloissa lämpötila nousee epämukavan korkeaksi ja harjoittelu voi noina aikoina olla tukalampaan. Simulointien perusteella tiloissa olisi hyvä olla jonkinlainen jäähdytysjärjestelmä.

10 Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihdon simuloitu energian- säästöpotentialiaali

Muuttuvailmavirtainen järjestelmä simulointien perusteella antaisi kuntosalille merkittävän säästön energiankulutuksessa. Taulukossa 20 on yhteenveto CAV- ja VAV-järjestelmien energiankulutuksesta vuositasonalla. Lisäksi taulukkoon 20 on simuloitu sisäilmaluokituksen S1 ja S2 hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoilla muuttuvailmavirtaisen järjestelmän vuosienergiankulutus.

Taulukko 20. Ilmanvaihto järjestelmien yhteenlaskettu vuoden energiankulutus, säästö euroissa ja prosentteina.

	CAV	CAV+LTO	VAV S3	VAV S2	VAV S1
Lämmitys MWh/a	803,4	309,2	105,3	107,5	165,2
LTO:n talteen ot- tama energia MWh/a	-	494,3	177,6	203,9	295,5
Puhaltimien tarvit- sema sähköenergia MWh/a	164,1	160,4	29,6	78,1	108,9
Sähkö €	9829,6	9608,0	1773,0	4678,2	6523,1
Lämmitys €	46717,7	17980,0	6123,2	6251,1	9606,4
Yhteensä €	56547,3	27587,9	7896,2/	10929,3	16129,5
Säästö CAV -järjes- telmästä % ilman LTO: a	-	51,2	86,0	80,7	71,5

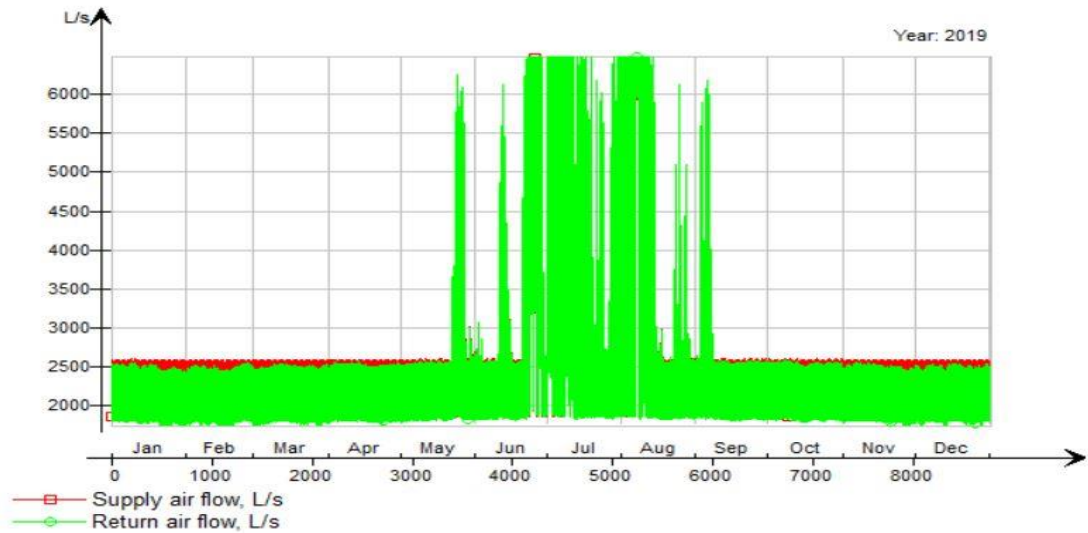
Taulukosta nähdään CAV-järjestelmään verrattuna, pelkkä LTO:n lisäys säästää jo yli 50 prosenttia energiankulutuksessa. Muuttuvailmavirtaisella S3 -luokalla säästäisi 86 prosenttia verrattuna CAV-järjestelmän energiankulutukseen. S1 ja S2 -luokissa säästö edelleen pienenee ja tiloihin vielä saadaan laadultaan pa-
rempi sisäilma.

Taulukon 20 mukaan voi päätellä, että muuttuvailmavirtainen järjestelmä olisi erinomainen ratkaisu kuntosaliin, mikä on käytettävissä koko ajan. Kuntosalin mahdollinen kokoaikainen käyttö vaikuttaa paljon ilmanvaihdon säästöpotentiaaliin. Muuttuvailmavirtaisen järjestelmän hyöty olisi erinomainen, kun ilmanvaihdon ei tarvitsisi olla päällä koko ajan ja voitaisiin hyödyntää tarpeen mukaan tiloihin tarvittavaa ilmavirtaa. Esimerkiksi spinning- ja ryhmäliikuntatiloissa ilmavirta olisi suurimman osan ajasta minimi asetuksella ja tehostus vain silloin, kun asiakkaita käy ohjatussa harjoituksessa.

Kuvioista 48, 49 ja 50 voidaan tarkastella puhaltimien ilmavirtojen muutokset muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä eri sisäilmaluokissa. Kuvioista voidaan todeta ilmavirtojen kasvavan, koska sisäilmaluokassa S1 vaaditaan enemmän ilmanvaihtuvuutta kuin S3 luokassa tilan hiilidioksidipitoisuuden raja-arvojen takia.

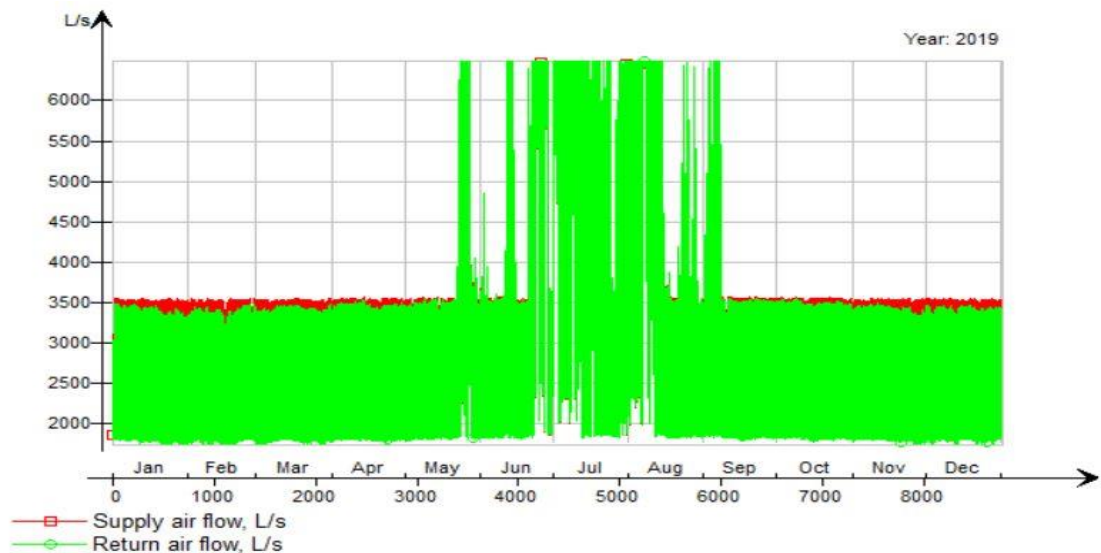
Hiilidioksidin lisäksi pitää kuitenkin huomioida tiloihin jäävä kosteus. Vaikka hiilidioksidi on tiloista poistettu niin kesäaikaan tiloihin voi jäädä harjoituksen jälkeen ihmisestä peräisin olevaa kosteutta, jonka poistosta olisi huolehdittava. Tätä varten tiloihin voitaisiin lisätä kosteusanurit, mitkä varmistaisivat kosteuden poiston.

Kuviosta 48 nähdään kuntosalin vuotuiset ilmavirrat muuttuvailmavirtaisella järjestelmällä, kun ilmavirtojenohjaus tapahtuu hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Hiilidioksidipitoisuus raja-arvo on asetettu sisäilmaluokituksen 2018 S3 mukaan, joka on 1200 ppm ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden ollessa 405 ppm.



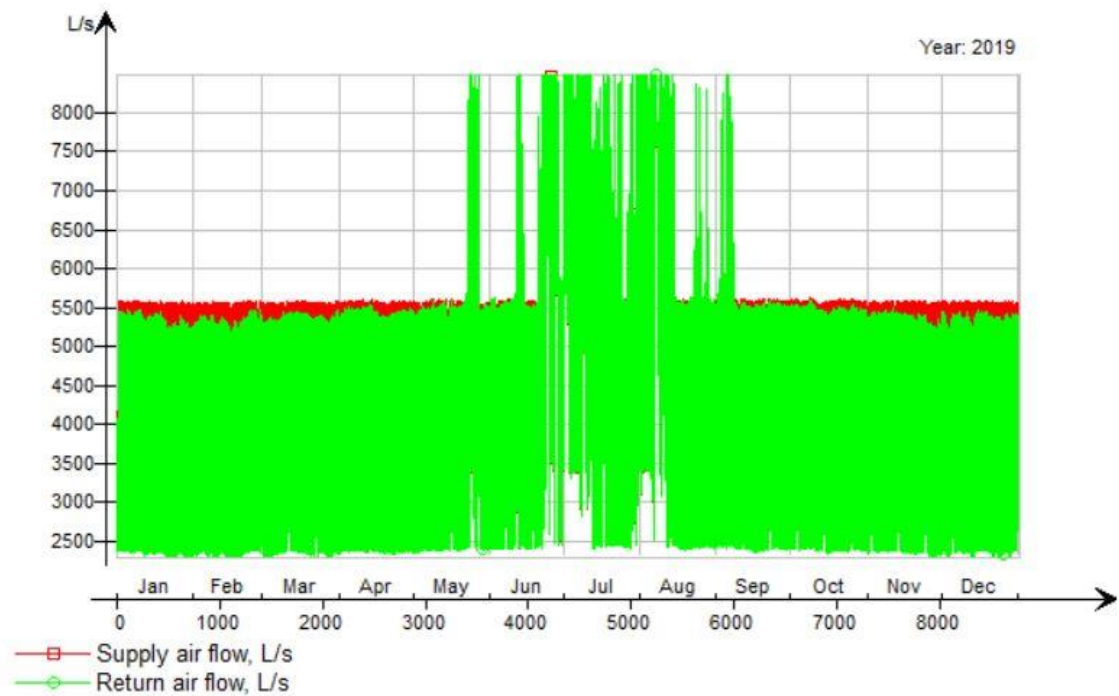
Kuvio 48. Simuloinnin S3-luokituksen vuotuiset ilmamäärän tulokset muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä.

Kuviosta 49 nähdään kuntosalin vuotuiset ilmavirrat muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä, kun ilmavirtojen ohjaus tapahtuu hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Hiilidioksidipitoisuus raja-arvo on asetettu sisäilmaluokituksen 2018 S2 mukaan, joka on 950 ppm ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden ollessa 405 ppm.



Kuvio 49. Simuloinnin S2-luokituksen vuotuiset ilmamäärän tulokset muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä.

Kuviosta 50 nähdään kuntosalin vuotuiset ilmavirrat muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä, kun ilmavirtojenohjaus tapahtuu hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Hiilidioksidipitoisuus raja-arvo on asetettu sisäilmaluokituksen 2018 S1 mukaan, joka on 750 ppm ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden ollessa 405 ppm.



Kuvio 50. Simuloinnin S1-luokituksen vuotuiset ilmamäärän tulokset muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä.

11 Pohdinta

Opinnäytetyössä haastavaksi osoittautui käyttää standardien mukaisia ohjeita, koska standardiarvot poikkeavat kuntosaliolosuhteista. Standardiarvot ovat tehty käytettäväksi asuinrakennuksiin. Esimerkiksi operatiivisen lämpötilan arvioiminen sopivaksi spinningurheilua harrastavalle on mahdotonta SFS EN 7730 mukaan, koska urheilijan MET-arvo voi olla 9 ja näin suurelle MET-arvolle ei löydy sopivaa operatiivista lämpötilaa. Standardien sijaan työssä käytettiin erilaisia LVI-ohjekortteja sekä tutustuttiin kuntosalissa käytettyyn IV-tekniikkaan.

Kuntosalissa tehtyjen mittauksien ja laskelmien perusteella muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä on mahdollista saavuttaa suuri energiansäästöpotentialiaali. Kuntosalin nykyisen vakioilmavirtaisen järjestelmän ilmavirrat ovat osittain ylimitoitettuja osaan tiloista käyttäjä tarpeeseensa nähden, mutta fyysisen kuormittavan harjoituksen aikana pienemmissä tiloissa ilmanvaihtoa voisi olla enemmän, johtuen suuresta hiilidioksidin ja kosteuden tuotosta sekä kesällä korkeiden lämpötilojen takia. Kuntosaliin riittäisi käyttöajan ulkopuolella pienempikin ilmavirta, mutta tietyissä piikkikohdissa nykyinen ilmavirta on välttämätön, minkä takia ilmavirrat on pidettävä entisellään. Nykyinen ilmavaihtokone ei kuitenkaan riitä pitämään kesällä lämpötiloja alle 24 asteen, johtuen auringosta sekä ihmisistä vapautuneesta lämpökuormasta. Tähän paras ratkaisu olisi jonkinlainen jäähdytysjärjestelmä.

Kuntosalin korkeilla huonelämpötiloilla hyvä puoli on, että lämmin ilman pystyy sitomaan enemmän kosteutta, jota kuntosalilla vapautuu kesäaikaan paljon asiakkaista harjoituksien aikana. Tällöin lämmin ilma sitoo asiakkaista haihtuvan kosteuden tehokkaammin kuin kylmä ilma ja ehkäisee kastepisteen muodostumista tiiviisiin pintoihin. Kylmempi ilma ei voi sitoa niin paljon kosteutta ja tämä voisi aiheuttaa kastepisteen muodostumisen, mikäli sisälämpötila olisi riittävän matala. Tämän vuoksi jäähdytysjärjestelmän käyttöönotto ja suunnittelu on tehtävä huolellisesti, huomioiden riittävän kosteuden poiston harjoittelu tiloista. Mikäli jäähdytysjärjestelmä rakennettaisiin kuntosaliin, jouduttaisiin tämän seurauksena tekemään kanavistoon muutoksia. Kanaviston eristämisen lisäksi

jouduttaisiin myös poistoilmapäätelaitteita lisäämistä tiloihin, minne jäähdytettyä ilmaa tuodaan.

Muuttuvailmavirtainen järjestelmä pienentäisi energiankulutusta huomattavasti il-mavirtojen tilakohtaisen tarpeenmukaisen ohjauksen avulla. Kosteus- ja hiilidiok-sidianturit olisivat optimaalisimmat tiloihin, koska antureiden avulla ilmavirrat sää-tyisivät tilakohtaisesti asetusarvoon. Kuntosalin vaihtelevien asiakasmäärien ja käyntiaikojen takia ilmanvaihdon täyttä tehoa ei tarvitse aina käyttää, koska sille ei ole tarvetta ja tästä syystä muuttuvailmavirtainen järjestelmällä oli käytännöllinen kuntosaliin. Muuttuvailmavirtaisella järjestelmällä energiansäästöä tulisi mahdollisesti 70–80 prosenttia verrattuna nykyiseen vakioilmavirtaiseen järjestel-mään, mikä on todella suuri näinkin isossa kiinteistössä. Tämä on kuitenkin si-muloitu tulos ja ei voida taata, että säästö olisi näin suuri.

Mikä tärkeintä, muuttuvailmavirtaisella ilmanvaihdolla saataisiin sisäilmalaadul-taan tarkemmin ohjautuva ja hallitumpi kuntosalirakennus. Muuttuvailmavirtai-sella järjestelmällä voitaisiin vaikuttaa vuodenajasta riippuvaan ulkoilman hiilidi-oksidi-pitoisuuden muutokseen ja välttyttäisiin ilmavirtojen ylimitoituksilta.

Jos yrittäjälle on mahdollista selvittää muuttuvailmavirtaisen tarkka kustannusar-vio ja simuloinnit pitävät varmasti paikkaansa, niin yrittäjä pystyisi laskemaan ta-kaisinmaksuajan muuttuvailmavirtaiselle järjestelmälle. Vaikka ilmanvaihtojärjes-telmä vaihdettaisiin, niin voitaisiin osittain hyödyntää nykyisiä ilmavaihtokanavia ja päätelaitteita. Muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä jouduttaisiin lisäämään säätöpeltejä, jotka säätävät ilmamäärät sopiviksi anturiohjauksen perusteella.

Tulosten perusteella vähintään kannattaisi kiinteistöön hankkia ilmanvaihtokone, missä on lämmöntalteenotto jäähdytysvarauksella ja mahdollisesti tarpeenmukai-sesti ohjattavat ilmamäärät. Olisi myös kannattavaa selvittää tarkka kustannus-arvio muuttuvailmavirtaisesta järjestelmästä ja sen takaisinmaksuajasta, koska energiakulutus VAV-järjestelmällä on huomattavasti pienempi kuin CAV-järjestelmällä.

Mittauksien vaikutus hiilidioksidin pitoisuuteen olisi erilainen, jos mittaukset olisi tehty talviaikaan. Myös sisäilmankosteudesta olisi saatu pienempi tulos. Talvella ulkoilman kosteus pienenee ja hiilidioksidin pitoisuus kasvaa.

Hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjatussa muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä olisi huomioitava ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden nousu. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus nousee joka vuosi n. 2,5 ppm ja nousun ennustetaan kiihtyvän vuosien saatossa. Tämä tarkoittaa myös sisäilmanlaadun heikkenemistä vuosi vuodelta. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmä ei reagoi ulkoilman hiilidioksidinnousuun, jouduttaisiin järjestelmä mitoittamaan reilusti ylikokoiseksi, jos järjestelmä olettaa ulkoilman hiilidioksidin pysyvän vakioarvona. Esimerkiksi jos spinningtilan hiilidioksidipitoisuuden raja-arvona haluttaisiin käyttää 1200 ppm huomioimatta ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden nousua, hiilidioksidipitoisuuden mukaan määräytyvät ilmavirrat nousisivat 2,5 l/s joka vuosi, jos ulkoilman hiilidioksidipitoisuus nousee 2,5 ppm vuodessa. Kymmenen vuoden päästä spinningtilan ilmavirran tarve kasvaisi 25 l/s. Mikäli kaikkien tilojen ilmavirrat kasvaisivat samassa suhteessa, jouduttaisiin tämän vuoksi ilmanvaihtojärjestelmä ylimitoittamaan reilusti suuremmaksi tämän hetkisestä tarpeestaan ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden nousun takia. Ilmavirtojen nostaminen kasvattaisi myös ilmanvaihtojärjestelmän energiakulutusta vuosi vuodelta suuremmaksi.

Tätä opinnäytetyötä voi hyödyntää mahdollisen uuden ilmanvaihdon saneeraukseen ja muuttuvailmavirtaisen järjestelmän kustannusarviointiin. Lisätutkimuksena olisi hyvä selvittää standardien mukaiset tyytymättömien osuudet kuntosaliympäristössä urheileville ihmisille.

Lähteet

ASHRAE Standard 55-2010. 2010. Thermal Enviromental Conditions of Human Occupancy.

Borodulin, K. Levälahti, E. Saarikoski, L. Lund, L. Juolevi, A. Grönholm, M. Jula, A. Laatikainen, T. Männistö, S. Peltonen, M. Salomaa, V. Sundvall, J. Taimi, M. Virtanen, S. Vartiainen, E. 2013. Kansallinen FINRISKI 2012 –terveystutkimus, Osa 2: Tutkimuksen taulukkoliite.

CO2-raportti. Tietoa ilmastonmuutoksesta.

<http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos> 10.1.2019

EQUA.se. IDA Indoor Climate and Energy.

<https://www.equa.se/fi/ida-ice> 6.2.2019

Fortum. 2019. Kaukolämmön hinnat pientaloille.

<https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/lammitys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-pientaloille> 10.2.2019

Heikkilä, M. 2009. Opas MET –arvojen käytöstä. Kirjallisen ohjeistuksen kehittäminen fysioterapeuteille ja fysioterapeuttiopiskelijoille. Fysioterapian koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5282/Heikkila_Milla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 3.1.2019.

Hengityслиitto. Sisäilman kosteus ja lämpötila.

<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila> 19.2.2019

Ilmatieteenlaitos. 2018. Ilmakehä-ABC.

<https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/Hiilidioksidi> 10.1.2019

Ilmatieteenlaitos. 2018. tammikuu - joulukuu 2018 sää ja tilastot.

<https://ilmatieteenlaitos.fi/tammikuu> 21.1.2019

Kutinlahti, E. 2018. MET –energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari. Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim 2018.

https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01039. 9.1.2019

LVI 06-10060. 2018. Sisäliikuntatilojen LVIA suunnittelu. Rakennustietosäätiö RTS rs 2017.

LVI-kortisto: Sisäilmaluokitus 2018.

Optiplan. 2017. Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormitusten perusteella.

REHVA-Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. Rakennusten pintalämmitys ja -jäähdytys, ohjekirja no 7. Forssan Kirjapaino Oy 2009.

Sandberg, E (toim). 2016a. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Forssa Print 2016.

Sandberg, E (toim). 2016b. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2. Tammerprint 2014.

Seppänen, O (toim). 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssan Kirjapaino Oy, Forssa 2004.

SFS-ISO 7730:2005. 2005. Ergonomics of the thermal environment

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Sisäilmasto, fysikaaliset tekijät.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Fysikaaliset-tekijat>

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. D3 Rakennusten energiatehokkuus.

Ympäristöministeriön asetus. 2013. Rakennuksen energiatodistuksesta. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010.

LVI-06-10060 ohjekortti. Sisäliikuntatilojen suunnitteluarvoja

laji	Kuor- mitus- taso MET	Tuloilma- määrä q_v/m^2 (*15)	Tuloilma- määrä $q_v/hlö$ (*15)	Ilman nopeus m/s	Suhteelli- nen kosteus %/RH	Tavoite- lämpötila °C	Lämpö- tilavaati- mus °C	CO ₂ - pitoisuus ppm	HUOM!
kuntosali- harjoittelu	3–6	4	25	0,2		17–24		1200	
painonnosto	3–6	4	25	0,2		17–24		1200	– Magnesiumpö- lyn poistosta huolehdittava
juoksumatolla juoksu	6–15	6	35	0,2		17–24		1200	
kuntopyöräily, spinning	3–10	8 (*13)	35	0,3		17–24		1200	
ryhmäliikunta, kuntopiiri	4–10	8 (*13)	35	0,3		17–24		1200	
crossfitt	6–10	6	35	0,3		17–24		1200	
jooga	2–4	4	15	0,2		20–40 (*14)		1200	
venyttely	2–3	4	10	0,2		20–21		1200	

(*13) Mitoituksessa tulee huomioida erityisesti tilan henkilöitiheys.

(*14) Tietty joogalajit edellyttävät erittäin korkeaa sisälämpötilaa.

(*15) Ilmamäärillä ei suoraan yhteyttä ilmoitettuihin MET arvoihin. Ilmamäärissä on huomioitu myös harjoittelun taukojen vaikutukset.

Kuntosali Energyn pohjakuva ja mittareiden sijainnit

