

Anssi Tikkanen

Ilmanvaihdon toiminnan tutkimus ja kehittäminen koulurakennuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

13.05.2013

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Anssi Tikkanen Ilmanvaihdon toiminnan tutkimus ja kehittäminen koulurakennuksessa</p> <p>44 sivua + 2 liitettä 13.5.2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Talotekniikan koulutusohjelma</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>LVI-tuotantopainotteinen</p>
<p>Ohjaaja</p>	<p>lehtori Seppo Innanen</p>
<p>Tämä insinööriytyö on tehty osana EU:n rahoittamaa Smart Campus -projektia, jossa kehitetään useita kampusalueiden palveluja. Toimimme projektissa kolmen talotekniikan opiskelijan ryhmänä keskittyen Metropolia AMK:n Leppävaaran ja Myyrmäen kampusten ilmanvaihdon tutkimiseen.</p> <p>Tässä insinööriytyössä keskitytään kampusten ilmanvaihdon toiminnan ja sen riittävyyden tutkimiseen ilmamäärämittauksin sekä parannusehdotuksin. Ilmamäärämittausten ohella tarkasteltiin lämmöntalteenottojärjestelmiä ja lisäksi pyrittiin kehittämään parannuksia havaittuihin puutteisiin erilaisissa ongelmakohtissa.</p> <p>Smart Campus -projektin ensisijainen tavoite on parantaa energiatehokkuutta. Tämän lisäksi insinööriytyön tavoitteena oli tuoda esille varteenotettavia vaihtoehtoja tulevaisuuden varalle ja luoda selkeä käsitys ilmanvaihdon nykyisestä tilasta tutkittavissa kohteissa</p> <p>Tuloksena saatiin mittaustuloksia ilmamäärien, lämpötilasuhteiden ja SFP-lukujen osalta. Tutkimuksien piirissä oli yhteensä 37 ilmanvaihtokonetta erilaisine järjestelmineen, joista kattavia mittaustuloksia saatiin tuotettua 24:stä.</p> <p>Tärkeimpänä tuloksena työssä on havaittujen ongelmakohtien korjaamiseksi tehdyt parannusehdotukset Leppävaaran kampuksen liikuntasaliin ja Myyrmäen automaatiolaboratorioon osalta sekä ilmanvaihtojärjestelmien yleiskunnon arvioinnin yhteydessä esille tuodut ongelmakohtat.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>ilmanvaihto, ilmamäärä, Smart Campus, kehittäminen</p>

Author Title	Anssi Tikkanen Examination and development of air conditioning systems in a school building
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 13 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>This final year project surveyed air conditioning systems within school buildings. It was part of a bigger project called Smart Campus, in which the main goal was to lower energy consumption. Examination took place on both Leppävaara and Myyrmäki campuses. The purpose of this bachelor thesis was to accurately provide information on the current condition of air conditioning systems and make development proposals. In addition, based on user feedback, the gymnasium in Leppävaara and automation laboratory in Myyrmäki were under more specific examination.</p> <p>The main method used in this survey was air flow measurement of air handling units using a differential pressure instrument. The survey also included evaluation of specific fan power and temperature efficiency of the units. Due to circumstantial factors, some results are approximate. The general condition of the air handling units and air ducts were also under examination and detected flaws were reported.</p> <p>The most relevant outcome of this survey was the development proposals for improving campus air conditioning and comfort. The results include the air flows, temperature efficiencies, and specific fan powers of most of the air handling units.</p> <p>In the future it is important to consider fixing the detected flaws and pay attention to system maintenance. Small changes can improve indoor air in school buildings and lower energy consumption.</p>	
Keywords	air conditioning, Smart Campus, development, examination

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taustat ja tutkimuskohteet	2
2.1	Taustat	2
2.2	Tutkimuskohteet	2
2.3	Leppävaaran kampus	3
2.3.1	Leppävaaran A-osan ilmanvaihto	3
2.3.2	Leppävaaran B-osan ilmanvaihto	3
2.3.3	Leppävaaran ilmanvaihdon vaikutusalueet	4
2.4	Myyrmäen kampus	5
2.4.1	Myyrmäen A-osan ilmanvaihto	5
2.4.2	Myyrmäen B-osan ilmanvaihto	5
2.4.3	Myyrmäen ilmanvaihdon vaikutusalueet	6
2.5	Pilottiluokat	7
3	Teoria ja mittausmenetelmät	7
3.1	Tutkimuksiin liittyvä teoria	7
3.1.1	Ilmavirrat	7
3.1.2	Ilmanvaihdon ja sisäilman laatuvaatimukset	8
3.1.3	Ilmanvaihdon energiataloudellisuus	10
3.1.4	Ilmanvaihdon toiminnasta	11
3.2	Mittausmenetelmät	14
4	Mittaustulokset	16
4.1	Ilmamäärät	16
4.2	Lämpötilahyötysuhteet	19
4.3	SFP-luvut	20
4.4	Mittauksiin liittyvät ongelmat ja epävarmuustekijät	21
4.5	Tulosten analysointi	22
4.5.1	Vertailu suunnitteluarvoihin	22
4.5.2	Poikkeamien analyysi	23
4.5.3	Johtopäätökset	25
5	Ongelmakohtien tarkastelu ja parannusehdotukset	25

5.1	Leppävaaran liikuntasali	25
5.1.1	Tehdyt tutkimukset ja pohdinnat	27
5.1.2	Johtopäätökset	30
5.1.3	Parannusehdotukset liikuntasaliin	31
5.1.4	Päätelaitevalinta	32
5.2	Myyrmäen automaatiolaboratorio	34
5.2.1	Tehdyt tutkimukset ja pohdinnat	35
5.2.2	Johtopäätökset	37
5.2.3	Parannusehdotukset automaatiolaboratorioon	37
5.2.4	Toteutettava muutos	38
5.3	Muiden ongelmien tarkastelua	39
6	Korjausten kustannusarviointi	41
6.1	Leppävaaran liikuntasalin parannukset	42
6.2	Myyrmäen automaatiolaboratorion parannukset	42
6.3	Yleiset parannukset	43
7	Yhteenveto	43
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Leppävaaran liikuntasalin lämpökuvat	
	Liite 2. Kuvia ongelmakohdista	

1 Johdanto

Smart Campus on EU:n 2,5 vuotta kestävä hanke korkeakouluille, jossa tullaan kehittämään useita kampusalueen palveluita ja toimintoja. Näillä kehitystoimilla tullaan parantamaan energiatehokkuutta, oppimisympäristöä, palvelutarjontaa sekä logistisia toimintoja. Hankkeessa on mukana yhdeksän partneria neljästä eri maasta, ja Metropolia lähti hankkeeseen mukaan syksyllä 2012. [1]

Pilottikohteina ovat paikallisten korkeakoulujen kampusalueet, joista Metropolian osalta mukana ovat Espoon Leppävaaran sekä Vantaan Myyrmäen kampukset. Kehitystoimilla uudistetaan ja mahdollistetaan opiskelijoiden ja henkilökunnan hyvinvointia, jaksamista sekä viihtyvyyttä pyrkien samalla edesauttamaan energiatehokkaan ajattelun edellyttämää kulutustottumusten muutosta. [1]

Metropoliasta hankkeessa ovat mukana kaikki klusterit, joista talotekniikan LVI-opiskelijoista koostuvat ilmanvaihtoryhmämme aloitti työskentelyn projektille vuoden 2013 alusta. Kaikki kolme ryhmämme jäsentä ovat opintojen loppuvaiheessa, ja päädyimmekin mukaan projektiin tarpeesta saada aihe insinööryölle. Teemme yhdessä töitä Smart Campukselle, mutta jokainen tekee oman insinööryönsä projektin eri painopisteistä. Tehtäviimme kuuluu mm. ilmamäärämittaukset, tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutuksen tutkiminen ja suunnittelu sekä lukuisten erilaisten mahdollisten ongelmakohteiden selvittäminen ja parannusehdotusten pohtiminen.

Ensisijainen tavoitteemme on energiatehokkuuden näkökulmasta tutkia kampusten ilmanvaihdon toimivuutta ja sitä kautta mahdollisia säästö- ja parannuskohteita. Omassa insinööryössäni pääpaino on nimenomaan ilmanvaihdon riittävyyden ja toiminnan tutkiminen kampusolosuhteissa, sekä pyrkimys tuoda uusia näkökulmia havaittuihin ongelmiin. Lisäksi erityisempiä ongelmakohtia analysoidaan tarkemmin. Energiatehokkuutta ei kuitenkaan voida parantaa viihtyvyyden kustannuksella. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi silloin, jos ilmanvaihto ei alun perin ole riittävä ja sen parantamiseksi tehdyt toimenpiteet nostavat energiankulutusta.

2 Taustat ja tutkimuskohteet

2.1 Taustat

Metropolia AMK perustettiin vuonna 2008 Stadia- ja EVTEK-ammattikorkeakoulujen yhdistyessä. Nykyisessä muodossaan se on pääkaupunkiseudulla toimiva kansainvälinen ja monialainen koulutuslaitos. Koulutusaloihin kuuluu mm. tekniikan, terveysalan, liiketalouden ja kulttuurin alojen töihin johtavia tutkintoja. Nykyisellään Metropolian opiskelijamäärä on noin 16 700, ja henkilökuntaa on noin 1250 henkilöä. [2]

Näin suuressa lukuisia toimipisteitä kattavassa oppilaitoksessa vuotuinen energiankulutus on asia, johon on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Toimivan säästöratkaisun löytyessä säästöt voivat olla mittavia niin rahallisesti kuin ympäristön kannaltakin. Ilmanvaihdon rooli on myös hyvin tärkeä energiankulutuksen, viihtyvyyden sekä rakennusten elinkaaren kannalta.

Tässä projektissa tutkimme ilmanvaihdon nykyistä toimintaa ja pyrimme löytämään siitä kehityksen ja säästämisen kohteita niin, että sekä viihtyvyys että energiataloudellisuus kulkisivat rinta rinnan eikä kummastakaan tarvitsisi tinkiä. Tavoitteena on tuoda esille vartenotettavia vaihtoehtoja tulevaisuuden varalle ja luoda selkeä käsitys ilmanvaihdon nykyisestä tilasta tutkittavissa kohteissa.

2.2 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteina projektissa ovat Metropolia AMK:n Leppävaaran kampus Espoossa sekä Myyrmäen kampus Vantaalla. Tutkittavana ovat kaikki ilmanvaihtokoneet ilmamäärämittausten osalta. Näiden mittausten ja niissä tehtyjen havaintojen pohjalta sekä käyttäjiltä saadun palautteen ja muiden ryhmien tutkimusten perusteella on valikoitunut tarkemman tutkimuksen kohteeksi havaittuja ongelmakohteita. Tällaisia ovat esimerkiksi Leppävaaran liikuntasali, Myyrmäen automaatiolaboratorio sekä muutamat erilliset ilmanvaihtokoneet.

2.3 Leppävaaran kampus

Leppävaaran kampus sijaitsee Espoon Leppävaaran keskustassa junaradan varrella. Koulurakennus koostuu kahdesta osasta, joista A-osa on valmistunut vuonna 1988 ja laajennusosa B vuonna 2002. Leppävaaran toimipisteessä toimii laajasti eri tekniikan alan koulutusohjelmia, kuten talotekniikka, tietotekniikka, mediatekniikka, maanmittaustekniikka, rakennusalan työnjohto sekä tuotantotalous. Kampuksella toimii noin 2600 opiskelijaa sekä 185 henkilökunnan jäsentä. [1] Leppävaaran ilmanvaihtojärjestelmä kattaa neljä ilmastointikonehuonetta A-osalla ja yhden B-osalla. Vanhassa osassa on kaksitoista ilmanvaihtokonetta ja uudessa osassa kolme eli yhteensä 15 kappaletta.

2.3.1 Leppävaaran A-osan ilmanvaihto

Leppävaaran kampuksen alkuperäinen rakennus eli nykyinen A-puoli sekä sen ilmanvaihdon toteutus on valmistunut vuonna 1988. A-osalla sijaitsee normaalien opetustilojen lisäksi laboratoriotiloja, liikuntasali sekä auditorio. Tekniikka on kehittynyt valtavasti tähän päivään mennessä, ja tämä on huomioitava myös ilmanvaihtojärjestelmiä tarkasteltaessa.

Myös vaatimukset sisäilmanlaatua ja energiatehokkuutta koskien ovat muuttuneet vuosien saatossa, ja tämä tuo omat haasteensa vanhoja järjestelmien ylläpitämisessä ja päivittämisessä. Kiinteistön ns. vanhalla puolella on neljä ilmanvaihtokonehuonetta, joissa on yhteensä kaksitoista ilmanvaihtokonetta.

2.3.2 Leppävaaran B-osan ilmanvaihto

Vuonna 2002 valmistuneessa laajennusosa B:ssä sijaitsee yksi ilmanvaihtokonehuone, jossa on kolme ilmanvaihtokonetta. Laajennusosalla on opetustilojen lisäksi myös toimistotiloja sekä auditorio eli ns. suurluokka, jota palvelee oma IV-kone. B-osan ilmavaihto on luonnollisesti paljon modernimmin toteutettu, kuin A-osalla. Kaikki B-osan IV-koneet ovat taajuusmuuttajilla ohjattuja. Taajuusmuuttajaa käyttämällä sähkömoottori saadaan pyörimään käyttötilanteen vaatiman tarpeen mukaisella nopeudella, jolloin energiatehokkuus paranee.

2.3.3 Leppävaaran ilmanvaihdon vaikutusalueet

Taulukossa 1 on esitetty Leppävaaran kampuksen IV-koneiden vaikutusalueet. Huomioitavaa on, että joidenkin tilojen käyttötarkoitus on saattanut muuttua ja tämän lisäksi käyttäjämäärät ovat kasvaneet.

Taulukko 1. Leppävaaran IV-koneiden vaikutusalueet

IV-koneen tunnus	Vaikutusalue	Lämmöntalteenotto	Puhallinohjaus
<u>Leppävaara A-puoli</u>			
G301	Liikuntasali	Kiertoilma	2-nopeus
G302	Sosiaalitilat	Levy-LTO	1-nopeus
G303	Opetustilat	Pyörivä-LTO	1-nopeus
G304	Auditorio	Kiertoilma	2-nopeus
G305	Graafinen laboratorio	Levy-LTO	1-nopeus
G306	Graafinen luokat	Pyörivä-LTO	1-nopeus
G307	Ruokala	Ei LTO:ta	1-nopeus
G308	Aula	Pyörivä-LTO	1-nopeus
G309	Sähkötekn. laboratorio	Levy-LTO	1-nopeus
G310	Sähkötekn. luokat	Pyörivä-LTO	1-nopeus
G311	LVI-tekn- laboratorio	Levy-LTO	1-nopeus
G312	Sähkötekn. luokat	Pyörivä-LTO	1-nopeus
<u>Leppävaara B-puoli</u>			
G341	Toimistotilat	Pyörivä-LTO	Taajuusmuuttaja
G342	Toimistotilat	Pyörivä-LTO	Taajuusmuuttaja
G343	Suurluokka	Pyörivä-LTO	Taajuusmuuttaja

2.4 Myyrmäen kampus

Metropolian Vantaan toimipiste sijaitsee Myyrmäessä, ja se koostuu Leppävaaran tavoin vanhasta A-osasta sekä laajennusosasta B. A-osa on valmistunut vuonna 1988 ja B-osa vuonna 2001. Opiskelijoita Myyrmäessä on noin 2 300 ja työntekijöitä 136. Koulutusaloista Myyrmäessä toimivat mm. automaatiotekniikka, liiketalous, kemiantekniikka, materiaali- ja pintakäsittelitekniikka sekä bio- ja elintarviketekniikka. [1] Myyrmäen kampuksen ilmanvaihtojärjestelmä kattaa kolme konehuonetta vanhalla osalla, sekä yhden konehuoneen laajennusosalla. Ilmanvaihtokoneita on yhteensä 22.

2.4.1 Myyrmäen A-osan ilmanvaihto

Myyrmäen vuonna 1988 valmistuneen A-osalla on yhteensä kolmetoista IV-konetta, jotka sijoittuvat kolmeen eri konehuoneeseen. Yksi konehuoneista sijaitsee laboratoriosiiven päällä, toinen auditorion yläpuolella ja kolmas liikuntasalin yläpuolella. Kuten Leppävaarankin tapauksessa vanhemman osan koneet ovat jo suhteellisen iäkkäitä ja kauan palvelleita. Tässä rakennusosassa on paljon laboratoriota ja muita ilmanvaihdon kannalta haastavia tiloja, joissa ilmanvaihdon luotettava toimivuus ja hyvä epäpuhtauksien poistotehokkuus on erittäin tärkeää. Tällaiset tilat vaativat myös omanlaistaan tekniikka ja esimerkiksi erillisiä poistopuhaltimia onkin runsaasti. Ilmanvaihtokonehuoneet ovat hyvin ahtaita, jonka vuoksi luotettavien ilmamäärämittausten vaatimat tarvittavat suojaetäisyydet eivät aina toteudu.

A-osan auditorio on korjaustöiden vuoksi poissa käytössä, ja näin ollen myös pääsy sen yläpuolella sijaitsevaan viisi IV-konetta kattavaan konehuoneeseen on projektimme aikana estetty. Näin ollen koneet TK1–TK5 jäävät pois tarkastelusta.

2.4.2 Myyrmäen B-osan ilmanvaihto

Myyrmäen laajennusosa on valmistunut vuonna 2001, ja tässä osassa sijaitsee yksi konehuone, joka kattaa yhdeksän ilmastointikonetta. B-osan tilat koostuvat pääasiassa tavanomaisista opetus- ja toimistotiloista eikä esimerkiksi A-osan kaltaisia laboratoriotiloja ole näiden koneiden vaikutusalueilla.

2.4.3 Myyrmäen ilmanvaihdon vaikutusalueet

Taulukossa 2 on esitetty Myyrmäen kampuksen IV-koneiden vaikutusalueet. A-puolen koneista TK1-TK5 jäävät tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukko 2. Myyrmäen IV-koneiden vaikutusalueet

IV-koneen tunnus	Vaikutusalue	Lämmöntalteenotto	Puhallinohjaus
<u>Myyrmäki A-puoli</u>			
TK1	Opetustilat, käytävät	Pyörivä-LTO	1-nopeus
TK2	Opetustilat, käytävät	Pyörivä-LTO	1-nopeus
TK3	Aula	Kiertoilma	2-nopeus
TK4	Auditorio	Kiertoilma	2-nopeus
TK5	Puhelinvaihtehuone	Ei LTO:a	1-nopeus
TK11	Aulan toimistot	Pyörivä-LTO	1-nopeus
TK12	Ruokala ja keittiö	Ei LTO:a	2-nopeus
TK13	Orgaaninen kemia lab.	Ei LTO:a	2-nopeus
TK14	Kemia ja ymp.tek.lab.	Ei LTO:a	1-nopeus
TK16	Paineilmakompr. huone	Ei LTO:a	1-nopeus
TK17	Laboratoriot	Vesi/glykoli	2-nopeus
TK20	Liikuntasali	Kiertoilma	2-nopeus
TK21	Sosiaalitulat	Levy-LTO	1-nopeus
<u>Myyrmäki B-puoli</u>			
TK40	Opetus	Levy-LTO	Taajuusmuuttaja
TK41	Opetus	Levy-LTO	Taajuusmuuttaja
TK42	Luokat ja toimistot	Pyörivä-LTO	Taajuusmuuttaja
TK43	Suurluokka B301.2	Pyörivä-LTO	Taajuusmuuttaja
TK44	Suurluokka B101.2	Pyörivä-LTO	Taajuusmuuttaja
TK45	Maalauskaappi	Ei LTO:a	Taajuusmuuttaja
TK46	Maalivarasto	Ei LTO:a	Taajuusmuuttaja
TK50	Lämmönjakohuone	Ei LTO:a	Taajuusmuuttaja
TK51	Jäähdytyskonehuone	Ei LTO:a	Taajuusmuuttaja

2.5 Pilottiluokat

Projektin yhteydessä yksi pilotoitava hanke oli tarpeenmukaisen ilmanvaihdon soveltaminen opetustiloissa. Pilottikohteiksi valikoitui kaksi luokkaa Myyrmäen kampukselta. Pilottiluokat B243 ja B244 sijaitsevat molemmat ilmanvaihtokoneen TK41 vaikutusalueella, joten niiden valinta on perusteltua koneeseen asennettavan taajuusmuuttajankin takia. B243 oli normaali opetustila, joka hankkeen aikana muutettiin opintotoimistoksi, B244 on PC-luokka. Tarpeenmukainen ilmanvaihto toteutettiin Swegonin järjestelmillä.

3 Teoria ja mittausmenetelmät

3.1 Tutkimukseen liittyvä teoria

Ilmanvaihtojärjestelmiä tutkittaessa on kiinnitettävä huomiota useisiin eri seikkoihin. Ilmanvaihdon toiminnalla on merkittävä vaikutus ihmisten viihtyvyyteen, terveyteen ja esimerkiksi rakenteiden kuntoon. Oppilaitoksissa ilmanvaihto saattaa osittain olla vaikuttamassa myös opiskelijoiden jaksamiseen ja oppimisen laatuun. Riittävän ilmanvaihdon lisäksi myös sen lämpötila, kosteus ja erilaiset epäpuhtauksien pitoisuudet vaikuttavat viihtyvyyteen.

Myös erilaiset määräykset ja standardit asettavat vaatimuksia järjestelmien toiminnalle. Tällaisia ovat mm. sisäilmaluokitukset ja tilakohtaisiin ilmamääriin liittyvät säännökset. Energiatehokkuus on myös yhä enemmän tullut osaksi talotekniikkaa viime vuosina. Tämä näkyy esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden SFP-lukujen tiukemmissa vaatimuksissa. Mittauksia suoritettaessa on myös huomioitava ja ymmärrettävä virtausteknisiä sääntöjä ja kaavoja. Erilaisia mittausmenetelmiä tulee osata soveltaa tarpeen mukaan, sillä eri tilanteissa eri menetelmät soveltuvat parhaiten.

3.1.1 Ilmavirrat

Ilmanvaihtokoneista puhuttaessa ilmamäärät ilmoitetaan yleensä kuutioina sekunnissa (m^3/s) ja huonekohtaiset sekä päätelaitekohtaiset ilmavirrat litroina sekunnissa (dm^3/s ja l/s). Suunnitelmia tehtäessä tilat mitoitetaan yleensä periaatteella litraa sekunnissa

henkilöä tai neliometriä kohden. Kunkin ilmanvaihtokoneen kokonaisilmamäärät määräytyvät sen palvelemien alueiden yhteenlasketusta ilmamäärästä. Rakentamismääräyskokoelma D2:n osoittamat ohjearvot opetustiloissa ovat 6 dm³/s /hlö tai 3 dm³/s/m² [3, s.22]. On kuitenkin huomioitava, että kyseessä ovat minimiarvot ja hyviin sisäilmasto-olosuhteisiin pyrittäessä tavoitearvot ovat tiukemmat. Oheisesta taulukosta käyvät ilmi tarkemmat tilakohtaiset vaatimukset.

Taulukko 3. RakMK D2:n ohjearvot oppilaitosten ilmanvaihdolle

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Opetustilat	6	3		33 / 38 *	0,20 / 0,30	#4, *C1 ohje
Käytävät / Aulat		4		38 / 43		#2
Liikuntasali:						#3
– liikuntasalikäyttö		2		38 / 43	0,30	
– juhlasalikäyttö		6		33 / 38	0,25	
Luentosali	8	6		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ryhmätyötila	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Varastot			0,35			#S

#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.

#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.

#3 Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.

#4 Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.

#S Voi käyttää siirtoilmaa

3.1.2 Ilmanvaihdon ja sisäilman laatuvaatimukset

Sisäilman laadun kannalta oleelliset asiat ilmavirtojen lisäksi ovat ilman kosteus, -lämpötila sekä -hiilidioksidipitoisuus. Sisäilmayhdistys on laatinut erityiset sisäilmastoluokitukset, joihin on päivitetty uudet vaatimustasot vuonna 2008. Eri luokituksille on määritelty tavoitearvot, joiden mukaan rakennuksen ilmanvaihdolle määräytyy sen sisäilmastoluokitus. Sisäilmastoluokkia on kolme [4, s. 4]:

- S1-luokka, yksilöllinen sisäilmasto
 - Sisäilman laatu on erittäin hyvä, ei hajuja, ei vetoa, ei epäpuhtauksia, lämpötilaolosuhteet viihtyisät

- S2-luokka, hyvä sisäilmasto
 - Yleisesti hyvät olosuhteet, ei häiritseviä hajuja, tilan yllämpeneminen mahdollista kesäisin
- S3-luokka, tyydyttävä sisäilmasto
 - Rakentamismääräysten minimiarvot täyttyvät

Rakentamismääräyskokoelmat määrittelevät siis minimiarvot sisäilman olosuhteille, ja sisäilmaluokitukset täydentävät näitä määräyksiä paremman sisäilmaston saavuttamiseksi. Taulukossa 4 näkyy sisäilmastoluokitusten vaatimat ilmamäärät. Lämpötilojen hallinta ja muuntojoustavuus saattavat vaatia vieläkin suurempia ilmavirtoja [4, s.14].

Taulukko 4. Sisäilmaluokitusten mukaiset ilmamäärät

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka	
		dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1,5	13	1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2,0	11	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	9	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	7,0	8	5,0
Hotellihuone	10	15	1,5	12	1,0
Luokkahuone	2	11	5,5	8	4,0
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4,0
Aula	6	13	2,0	10	2,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5

Hiilidioksidipitoisuuden määre ilmoitetaan miljoonasosissa ppm. Yksi ilmanvaihdon riittävyyden mittari on riittävän alhaalla pysyvä hiilidioksidipitoisuus käyttäjämäärien mukaan. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus on käyttäjien viihtyvyyden kannalta yksi oleellisimmista seikoista. Sisäilmastoluokitusten mukaiset enimmäispitoisuudet ovat [4, s. 6]:

- Sisäilmastoluokka S1 – 750 ppm
- Sisäilmastoluokka S2 – 900 ppm
- Sisäilmastoluokka S3 – 1200 ppm

Smart Campus -projektin yhteydessä yksi projektiryhmä tutki tarkemmin myös kampusalueiden sisäilmaolosuhteita [1]. Nämä tutkimukset sisälsivät mm. hiilidioksidipitoisuuksien mittauksia sekä käyttäjäkyselyjä. Nämä tutkimukset tukevat tekemiämme tutkimuksia ilmanvaihtokoneista ja antavat yhdessä ilmamäärämittausten kanssa kuvan kampusten nykytilanteesta ilmanvaihdon toiminnassa.

3.1.3 Ilmanvaihdon energiataloudellisuus

Ilmanvaihtojärjestelmä on varsinkin suurissa rakennuksissa yksi merkittävä energian kuluttaja. Tämän vuoksi järkeville ja energiatehokkailla ratkaisuilla on mahdollista säästää paljon energiaa ja rahaa. Energiatehokkuus ei saa kuitenkaan tarkoittaa tinkimistä ihmisten viihtyvyydestä, terveydestä ja ylipäätään laadukkaasta sisäilmasta. Tekniikan kehittyä pystytään toteuttamaan laadukasta ilmanvaihtoa yhä vähemmällä kulutuksella käyttäen ratkaisuja, jotka palvelevat yhä enemmän kyseessä olevan rakennuksen käyttötapoja ja tarkoituseriä. Hyvä suunnittelu on avainroolissa tässä asiassa. Esimerkiksi lämmöntuotto- sekä jäähdytysjärjestelmien valinta on hyvin tärkeä ja oleellinen myös toimivan ilmanvaihdon kannalta. Mikäli tilaa lämmitetään tuloilmalla, on myös rakenteiden oltava todella tiiviitä ja ikkunoiden hyvin eristäviä toimivan ilmanvaihdon lisäksi. Muutoin energiaa saattaa haaskautua runsaasti. Usein lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutus on suuri osuus koko ilmanvaihtojärjestelmän kuluttamasta energiasta. Jotta sisäilman halutut olosuhteet lämpötilojen, ilman kosteuden sekä ilman vaihtuvuuden osalta saavutetaan, tulee kaikkien taloteknisten sekä rakennusteknisten järjestelmien olla kunnossa.

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutuksen käsitteellä tarkoitetaan puhaltimen sekä sen apulaitteiden, kuten pumppujen, taajuusmuuttajien ja säätölaitteiden käyttämää sähköenergiaa. Tuloilman lämmityksen ja jäähdytyksen kuluttama sähkö sen sijaan lasketaan osana lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien energiankulutusta [5, s. 1]. Ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku eli ominaissähköteho lasketaan jakamalla edellä mainittujen laitteiden ottama yhteenlaskettu sähköteho mitoittavalla ilmavirralla. Sama

kaava pätee sekä koko rakennuksen kattavan järjestelmän että yhden ilmanvaihtokoneen tapauksessa [5, s. 2].

SFP-luku määritellään ilmanvaihdon tehostamattomassa tilanteessa. Nykyisten määräysten mukaan rakennusten koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku saa olla enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän enintään $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ [5, s. 2]. SFP-luku on hyvä vertailuarvo uutta ilmanvaihtokonetta valittaessa ja kertoo hyvin selkeästi energiataloudellisimman vaihtoehdon. Vanhoissa järjestelmissä näihin lukuihin ei välttämättä päästä, mutta oiva keino parantaa vanhojen järjestelmien energiatehokkuutta on uusien standardien mukaisen puhaltimen hankkiminen. Tarpeenmukainen ilmanvaihto on myös energiatalouden kannalta varteenotettava ratkaisu esimerkiksi oppilaitoksissa.

3.1.4 Ilmanvaihdon toiminnasta

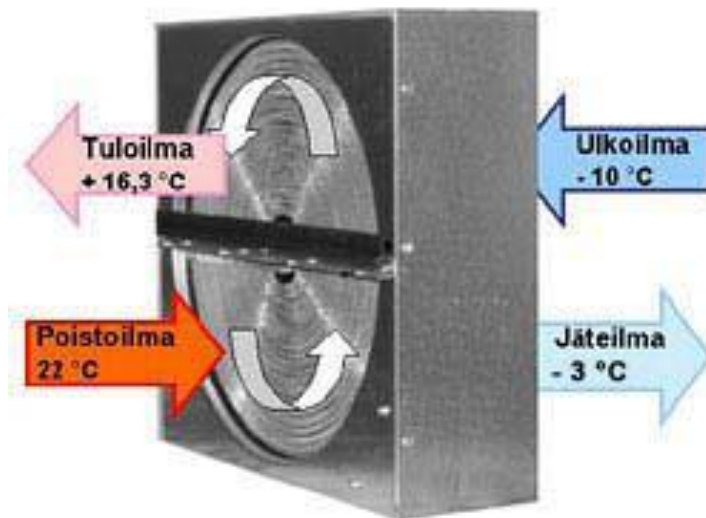
Tutkimuksen alaiset ilmanvaihtokoneet ovat keskenään hieman erilaisia. Osa koneista on yksinopeuksisia eli ne puhaltavat koko ajan vakioilmavirtaa. Joissakin koneissa on kaksinopeuspuhaltimet eli ne toimivat joko täydellä teholla tai puoliteholla. Uudemmissa koneissa on taajuusmuuttajakäyttö, jolloin puhaltimen sähkömoottorin pyörimisnopeutta voidaan säädellä tarpeen mukaan. Taajuusmuuttajat toimivat huonetiloissa olevien anturien automatiikkaan lähettämien signaalien perusteella ja säätyvät esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Tällöin energiatehokkuus paranee.

Lämmöntalteenotolla on suuri rooli ilmanvaihtojärjestelmien toiminnassa varsinkin Suomessa, jossa selvästi suurimman osan vuodesta sisäilma on lämpimämpää kuin ulkoilma. Huonetiloista poistettava ilma johdetaan lämmönsiirtimeen, jossa poistoilmaan sitoutunutta lämpöä siirtyy ulkoa ilmanvaihtokoneelle tulevaan raittiiseen ilmaan. Lämmöntalteenotolla voidaan saada selvää säästöä energiankulutuksessa, kun ulkoa otettavaa raitista ilmaa ei tarvitse lämmittää niin paljoa. Tutkittavissa kohteissa olevat ilmanvaihtokoneet jakautuvat pääasiassa seuraaviin kolmeen konetyyppiin lämmöntalteenoton perusteella:

- Pyörivän LTO:n ilmanvaihtokoneet
- Levylämmönsiirtimelliset ilmanvaihtokoneet

- Kiertoilmakäyttöiset ilmanvaihtokoneet.

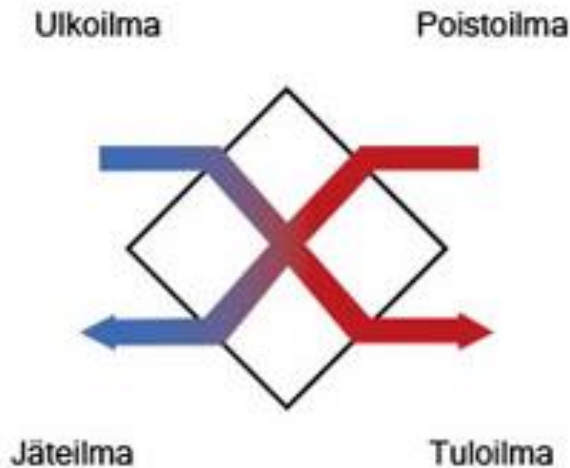
Pyörivässä lämmöntalteenotossa lämmön siirtyminen tapahtuu jatkuvasti pyörivän kennomaisen kiekon avulla. Kennon läpi virtaavasta poistoilmasta sitoutuu lämpöä kennostoon, josta lämpö puolestaan vapautuu saman kiekon läpi virtaavaan ulkoilmaan. Myös osa poistoilman sisältämästä kosteudesta siirtyy kennon kautta silloin, kun ulkoilma on kylmää ja kuivaa. Pyörivä kiekko toimii myös jäähdytyksessä kesäaikaan, kun ulkoilma on sisäilmaa lämpimämpää. Kennomaiset kiekot valmistetaan yleensä ohuesta alumiinista, ja sitä pyörittää sähkömoottori. Pyöriminen on suhteellisen hidasta, tavallisesti noin kaksitoista kierrosta minuutissa. Tämä on kuitenkin riittävä nopeus maksimaalisen hyödyn saavuttamiseen. On huomioitavaa, että mikäli tulo- ja poistoilmavirtojen ei haluta sekoittuvan, pyörivä lämmöntalteenotto ei välttämättä sovellu, sillä myös hajut ja haitalliset kaasut ym. siirtyvät kiekon välityksellä. Pyörivä lämmöntalteenotto voi kuitenkin soveltua tällaisissakin tilanteissa, mikäli tulo- ja poistoilman painesuhteiden tasapainosta voidaan olla täysin varmoja. Kuvassa 1 on esimerkki pyörivästä LTO:sta.



Kuva 1. Esimerkkikuva pyörivästä lämmönsiirtimestä.

Levylämmönsiirtimet ovat paikallaan olevia levypakkoja, jotka koostuvat vierekkäin olevista lamelleista. Joka toisesta lamellivälistä virtaa poistoilma ja joka toisesta tuloilma. Lamellit varaavat poistoilmasta saatavan lämmön ja lämpö siirtyy niiden läpi tuloilmaan. Levylämmönsiirtimet soveltuvat erityisen hyvin ilmanvaihtokoneisiin, joissa tulo- ja poistoilmojen ei haluta sekoittuvan keskenään. Tällaisia ovat esimerkiksi wc-ja

sosiaalitiloja palvelualueellaan sisältävät koneet sekä kaikenlaisia haitallisia aineita poistavat koneet. Tutkittavilla kampuksilla sosiaali- ja wc-tilojen ilmanvaihto on toteutettu levylämmönsiirtimillä, haitallisten aineiden poisto erillispoistoin. Kuvassa 2 esitetään levylämmönsiirtimen toimintaperiaate.



Kuva 2. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate.

Osassa ilmanvaihtokoneista ei ole lämmöntalteenottoa, vaan kiertoilmakäyttö. Tämä tarkoittaa sitä, että poisto- ja tuloilmakanavat yhdistyvät koneessa ja niiden välissä on sulkupelti. Pellin asentoa säätelällä määritetään, kuinka suuri osa poistoilmasta johdetaan takaisin tuloilmakäyttöön.

Lämmöntalteenotosta puhuttaessa käytetään termejä vuosihyötysuhde sekä lämpötilahyötysuhde, joka nykyään tunnetaan myös termillä lämpötilasuhde. Lämpötilasuhteella tarkoitetaan laitteen ominaisuutta, joka on tuloilman hyötysuhde, tulo- ja poistoilmavirtojen ollessa yhtä suuret. Mikäli näin ei ole, lasketaan lämpötilasuhde tulo- ja poistoilmavirtojen suhteen avulla [6]. Vuosihyötysuhde taas tarkoittaa koko rakennuksen ilmanvaihdolle laskettua arvoa, eikä se ole laitteen ominaisuus. Projektin yhteydessä laskimme nimenomaan ilmastointikoneiden lämpötilahyötysuhteita. Niiden laskemiseen käytettiin ympäristöministeriön LTO-opiaan määrittämiä seuraavia kaavoja [6]:

Tuloilman lämpötilasuhde:

$$\eta_t = \frac{(t_{iLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)}$$

Poistoilman lämpötilasuhde:

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)}$$

Tulo- ja poistoilmavirran suhde:

$$R_{LTO} = \frac{q_{iLTO}}{q_{pLTO}}$$

Tuloilman lämpötilasuhde erisuuruksilla tulo- ja poistoilmavirroilla:

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1 + R_{LTO})}{2} \eta_{t(R_{LTO})}$$

3.2 Mittausmenetelmät

Ilmanvaihtokoneiden ilmamäärämittauksissa mittausmenetelmänä oli paine-erojen mittaaminen. Mittausmenetelmät vaihtelivat kuitenkin hieman tapauskohtaisesti. Pääasiallisesti mittasimme pitot-putkella koneen pääkanavista ilmavirrat viiden pisteen menetelmällä. Mikäli kyseessä oli kantikas kanava, mittauspisteitä oli kuusi tai yhdeksän. Joissain tapauksissa tällä menetelmällä ei olisi saanut parasta tulosta, jolloin

mittaukset suoritettiin Halton PRA-säätölaitteiden mittausyhteistä tai Halton MSD-mittauslaipoista. Mittausten yhteydessä koneiden yleiskuntoa arvioitiin ja tehdyt huomiot kirjattiin muistiin. Lisäksi tulo-, poisto-, ulko- sekä jäteilman lämpötilat kirjattiin muistiin lämpötilahyötysuhteen laskemista varten.

Paine-eromittarilla saadaan siis mitattua kanavasta paine, jonka avulla voidaan laskea ilman nopeus ja tästä edelleen kanavan poikkipinta-alan avulla kanavassa kulkeva ilmamäärä. Ilman nopeus lasketaan painemittauksen (Pa) ja ilman tiheyden (ρ) avulla Bernoullin yhtälöstä johdetulla kaavalla [7, s. 12]:

$$v = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}}$$

Kun tiedetään ilman nopeus, saadaan ilmamäärä (m^3/s) laskettua kertomalla nopeus kanavan poikkipinta-alalla. Kaava edelleen Bernoullin lakien mukaan [7, s. 20]:

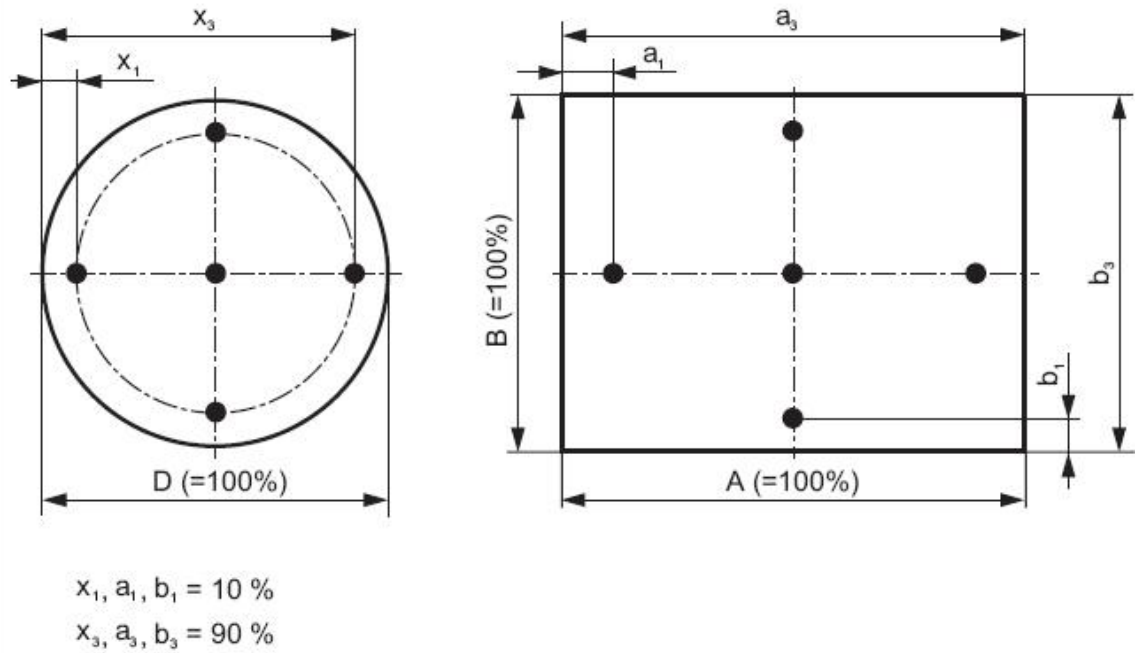
$$q_v = v \cdot A$$

Mikäli ilmamäärät mitattiin säätöpellin mittausyhteistä tai mittauslaitteesta, sovellettiin kaavaa laitteissa ilmoitettua kaavaa:

$$q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_m}$$

Tällöin ilmamäärä saadaan laskettua suoraan kertomalla mitatun paineen neliöjuuri valmistajan käyrästä saattavalla k-kertoimella.

Riittävän tarkan mittaustuloksen saamiseksi monipistemittauksen käyttäminen on hyvin tärkeää. Tällä menetelmällä saadaan huomattavasti vähennettyä mittausvirheen, ilman pyörteiden ja muiden häiriötekijöiden vaikutusta. Käytännössä menetelmä toimii siten, että kaikissa mitatuissa pisteissä lasketuista ilman nopeuksista lasketaan keskiarvo, jota käytetään varsinaisen ilmamäärän laskemiseen. Pisteet valitaan kanavan keskeltä sekä 10 % kanavan halkaisijasta otetulla etäisyydellä kaikista reunoista. Monipistemittauksen menetelmää havainnollistaa kuva 3.



Kuva 3. Monipistemenetelmän havaintokuva

4 Mittaustulokset

4.1 Ilmamäärät

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty saadut mittaustulokset ilmamäärien osalta konekohtaisesti molemmilta tutkimuksen alaisilta kampuksilta. Joissain tapauksissa mittauksia oli mahdoton suorittaa riittävässä luotettavuudessa, jolloin nämä jäävät tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukko 5. Leppävaaran ilmamäärämittausten tulokset.

IV-kone	Vaikutusalue	Pyörimisnopeus	Ilmamäärät (m ³ /s)			
			Mittattu		Suunniteltu	
<u>Leppävaara A-puoli</u>			Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
G301	Liikuntasali	1/2	0.62	0.75	0.75	0.75
G301	Liikuntasali	1/1	1.6	1.5	1.5	1.5
G302	Sosiaalitilat	1/1	1.8	2.3	2.2	2
G303	Opetustilat	1/1	4	4	3.4	3.4
G304	Auditorio	1/2	0.69	0.57	0.95	0.95
G304	Auditorio	1/1	1.6	1.7	1.9	1.9
G305	Graafinen laboratorio	1/1	2	2.9	3.25	3
G306	Graafinen luokat	1/1	1	1.3	2	1.95
G307	Ruokala	1/1	5	-	5.1	-
G308	Aula	1/1	-	-	1.5	1
G309	Sähkötekn. laboratorio	1/1	2.97	2.75	2.82	2.74
G310	Sähkötekn. luokat	1/1	1.57	2.6	2.44	2.5
G311	LVI-tekn- laboratorio	1/1	2.66	2.78	2.72	2.63
G312	Sähkötekn. luokat	1/1	2.33	2.8	2.27	2.4
<u>Leppävaara B-puoli</u>						
G341	Toimistotilat	Taajuusmuuttaja	5.1	5	5	4.8
G342	Toimistotilat	Taajuusmuuttaja	5.2	4.8	5	4.9
G343	Suurluokka	Taajuusmuuttaja	0.4	0.4	1.2	1.2

Leppävaaran mittausten osalta aulan aluetta palvelevan koneen G308 mittaaminen osoittautui mahdottomaksi, sillä koneelta lähtevät kanavat menevät suoraan koneen kammiosta alempaan kerrokseen. Keittiön ja ruokalan aluetta palveleva kone G307 on pelkkä tuloilmakone, poistoilma on toteutettu erillispoistoina kanavapuhaltimin.

Taulukko 6. Myyrmäen ilmamäärämittausten tulokset.

IV-kone	Vaikutusalue	Pyörimisnopeus	Ilmamäärät (m ³ /s)			
			Mitattu		Suunniteltu	
			Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
<u>Myyrmäki A-puoli</u>						
TK1	Opetustilat, käytävät	-	-	-	2.1	1.8
TK2	Opetustilat, käytävät	-	-	-	4.22	3.92
TK3	Aula	-	-	-	5.6	5
TK4	Auditorio	-	-	-	1.9	1.9
TK5	Puhelinvaihdehuone	-	-	-	0.25	0.125
TK11	Aulan toimistot	1/1	1.27	0.95	1.1	0.95
TK12	Ruokala ja keittiö	1/1	1.65	1.15	2	1.5
TK13	Orgaaninen kemia lab.	1/1	1.42	-	1.3	-
TK14	Kemia ja ymp.tek.lab.	1/1	1.74	-	1.6	-
TK16	Paineilmakompr. huone	1/1	-	-	0.8	0.75
TK17	Laboratoriot	1/1	3.82	3.01	5.9	4
TK20	Liikuntasali	1/2	0.8	0.6	1	1
TK21	Sosiaalitilat	1/1	1.17	0.7	0.82	0.64
<u>Myyrmäki B-puoli</u>						
TK40	Opetus	Taajuusmuuttaja	3.43	3.39	4.2	3.5
TK41	Opetus	Taajuusmuuttaja	1.72	1.49	3.1	2.4
TK42	Luokat ja toimistot	Taajuusmuuttaja	-	-	4.2	4.1
TK43	Suurluokka B301.2	Taajuusmuuttaja	-	-	1	1
TK44	Suurluokka B101.2	Taajuusmuuttaja	0.41	0.47	1	1
TK45	Maalauskaappi	Taajuusmuuttaja	-	-	2.5	2.5
TK46	Maalivarasto	Taajuusmuuttaja	-	-	0.1	0.1
TK50	Lämmönjakohuone	Taajuusmuuttaja	-	-	0.5	0.5
TK51	Jäähdytyskonehuone	Taajuusmuuttaja	-	-	0.1	0.1

Myyrmäen yksi konehuone oli kokonaan poissa käytöstä tutkimustemme aikana, joten ilmanvaihtokoneet TK1-TK5 jäivät tarkastelun ulkopuolelle. Lisäksi olemattomien suojaetäisyyksien ja kanavien pellitysten takia osaa uuden puolen koneista oli mahdotonta mitata. On myös huomioitava, että tarpeen mukaan taajuusmuuttajilla ohjattujen koneiden mittaustulokset eivät ole verrattavissa suoraan suunnitteluarvoihin.

4.2 Lämpötilahyötysuhteet

Lämpötilahyötysuhteet laskettiin tulo- ja poistoilmavirran korjattuna hyötysuhteena, ja laskelmissa otettiin huomioon eri suuruiset ilmavirrat korjauskertoimella. Tulokset on esitetty taulukossa 7. Hyötysuhteet ovat viitteellisiä ja mittareiden epätarkkuus ja monenlaiset epävarmuustekijät on syytä ottaa huomioon lämpötilahyötysuhteita tarkastellessa.

Taulukko 7. Lämpötilasuhteet

IV-koneen tunnus	Vaikutusalue	LTO-tyyppi	Lämmöntalteenotto					
			T-tulo °C	T-poisto °C	T-ulko °C	Ilmavirrat (m³/s)		Hyötysuhde %
Leppävaara A-puoli								
G301	Liikuntasali	Kiertoilma	-	-	-	-	-	-
G302	Sosiaalitilat	Levy-LTO	11	17	-8	1.8	2.3	58 %
G303	Opetustilat	Pyörivä-LTO	12	19	-10	4	4	72 %
G304	Auditorio	Kiertoilma	-	-	-	-	-	-
G305	Graafinen laboratorio	Levy-LTO	16	20	0,5	2	2.9	64 %
G306	Graafinen luokat	Pyörivä-LTO	18	20	-1	1	1.3	76 %
G307	Ruokala	Ei LTO:ta	-	-	-	-	-	-
G308	Aula	Pyörivä-LTO	-	-	-	-	-	-
G309	Sähkötekn. laboratorio	Levy-LTO	10	24	-6	2.97	2.75	62 %
G310	Sähkötekn. luokat	Pyörivä-LTO	14	19	-6	1.57	2.6	59 %
G311	LVI-tekn- laboratorio	Levy-LTO	19	20	-7	2.66	2.78	91 %
G312	Sähkötekn. luokat	Pyörivä-LTO	17	18	-7	2.33	2.8	78 %
Leppävaara B-puoli								
G341	Toimistotilat	Pyörivä-LTO	18	17	2	5.1	5	85 %
G342	Toimistotilat	Pyörivä-LTO	19	21	2	5.2	4.8	96 %
G343	Suurluokka	Pyörivä-LTO	-	-	-	-	-	-
Myyrmäki A-puoli								
TK1	Opetustilat, käytävät	Pyörivä-LTO	-	-	-	-	-	-
TK2	Opetustilat, käytävät	Pyörivä-LTO	-	-	-	-	-	-
TK3	Aula	Kiertoilma	-	-	-	-	-	-
TK4	Auditorio	Kiertoilma	-	-	-	-	-	-
TK5	Puhelinvaihtohuone	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK11	Aulan toimistot	Pyörivä-LTO	14	20	5	1.27	0.95	66 %
TK12	Ruokala ja keittiö	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK13	Orgaaninen kemia lab.	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK14	Kemia ja ymp.tek.lab.	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK16	Paineilmakompr. huone	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK17	Laboratoriot	Vesi/glykoli	-	-	-	-	-	-
TK20	Liikuntasali	Kiertoilma	-	-	-	-	-	-
TK21	Sosiaalitilat	Levy-LTO	12	21	5	1.17	0.7	58 %
Myyrmäki B-puoli								
TK40	Opetus	Levy-LTO	11	20	3	3.43	3.39	45 %
TK41	Opetus	Levy-LTO	-	-	-	-	-	-
TK42	Luokat ja toimistot	Pyörivä-LTO	-	-	-	-	-	-
TK43	Suurluokka B301.2	Pyörivä-LTO	-	-	-	-	-	-
TK44	Suurluokka B101.2	Pyörivä-LTO	18	22	5	0.41	0.47	76 %
TK45	Maalauskaappi	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK46	Maalivarasto	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK50	Lämmönjakohuone	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-
TK51	Jäähdytyskonehuone	Ei LTO:a	-	-	-	-	-	-

Lämpötilasuhteita ei voitu määrittää koneille, joiden ilmamääriä ei voitu mitata eikä koneille, joissa ei ole LTO:a tai on kiertoilmakäyttö. Osassa koneita lämpömittareita puuttui, ja näin ollen myös näistä ei saatu lämpötilasuhteita. Tällaisia olivat esimerkiksi Myyrmäen TK41 ja Leppävaaran G343.

4.3 SFP-luvut

Taulukko 8. SFP-luvut

IV-koneen tunnus	Vaikutusalue	Ilmavirrat (m ³ /s)		Nimellisteho (kW)		SFP-luku kw/(m ³ /s)	
		Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
<u>Leppävaara A-puoli</u>							
G301	Liikuntasali	1.6	1.5	3	3	1,9	2
G302	Sosiaalitulat	1.8	2.3	4	3	2,22	1,30
G303	Opetustilat	4	4	5,5	5,5	1,38	1,38
G304	Auditorio	1.6	1.7	3	3	1,88	1,76
G305	Graafinen laboratorio	2	2.9	5,5	3	2,75	1,03
G306	Graafinen luokat	1	1.3	3	3	3	2,31
G307	Ruokala	5	-	7,5	-	1,5	-
G308	Aula	-	-	3	1,5	-	-
G309	Sähkötekn. laboratorio	2.97	2.75	5,5	5,5	1,85	2
G310	Sähkötekn. luokat	1.57	2.6	4	4	2,55	1,54
G311	LVI-tekn- laboratorio	2.66	2.78	5,5	5,5	2,07	1,98
G312	Sähkötekn. luokat	2.33	2.8	4	4	1,72	1,43
<u>Leppävaara B-puoli</u>							
G341	Toimistotilat	5.1	5	11	7,5	2,16	1,50
G342	Toimistotilat	5.2	4.8	11	7,5	2,12	1,56
G343	Suurluokka	0.4	0.4	*Tarpeenmukainen ohjaus			
<u>Myyrmäki A-puoli</u>							
TK1	Opetustilat, käytävät	-	-	3	2,2	-	-
TK2	Opetustilat, käytävät	-	-	7,5	5,5	-	-
TK3	Aula	-	-	8	8	-	-
TK4	Auditorio	-	-	1,5	2	-	-
TK5	Puhelinvaihdehuone	-	-	0.34	0.05	-	-
TK11	Aulan toimistot	1.27	0.95	1,5	1,5	1,18	1,58
TK12	Ruokala ja keittiö	1.65	1.15	3	1,5	1,82	1,30
TK13	Orgaaninen kemia lab.	1.42	-	1,5	-	1,06	-
TK14	Kemia ja ymp.tek.lab.	1.74	-	2,2	-	1,26	-
TK16	Paineilmakompr. huone	-	-	-	-	-	-
TK17	Laboratoriot	3.82	3.01	11	8	2,88	2,66
TK20	Liikuntasali	0.8	0.6	*Ilmavirrat puoliteholla			
TK21	Sosiaalitulat	1.17	0.7	1,1	0,75	0,94	1,07
<u>Myyrmäki B-puoli</u>							
TK40	Opetus	3.43	3.39	11	7,5	3,21	2,21
TK41	Opetus	1.72	1.49	5,5	3	3,20	2,01
TK42	Luokat ja toimistot	-	-	7,5	5,5	-	-
TK43	Suurluokka B301.2	-	-	1,9	1,9	-	-
TK44	Suurluokka B101.2	0.41	0.47	*Tarpeenmukainen ohjaus			

Tavallisesti ilmanvaihtokoneille määritetään SFP-luvut standardin mukaan suuremman ilmavirran mukaan eli joko tulo- tai poistoilmavirralla [5]. Tutkittavien kampusten osalta haluttiin mitatuille koneille kuitenkin määrittää luvut erikseen molemmille puhaltimille. Tämä antaa paremman käsityksen erilaisten puhaltimien ominaisuuksista ja helpottaa vertailua nykypäivän vaatimuksiin. SFP-lukujen määrittämisessä on käytetty mitattuja ilmavirtoja sekä moottorien ominaistehoa. SFP-luvut on esitetty taulukossa 8.

4.4 Mittauksiin liittyvät ongelmat ja epävarmuustekijät

Tämäntyyppisiin manuaalisesti suoritettuihin ilmamäärämittauksiin liittyy aina tiettyjä epävarmuustekijöitä. Monipistemittauksilla kuitenkin saadaan paras mahdollinen tulos vallitsevissa olosuhteissa. Epävarmuus hieman kasvaa sellaisten koneiden osalta, joissa useampien tulo- tai poistoilmakanavien mittaustulokset on laskettu yhteen. Tällaisia koneita olivat esimerkiksi Myyrmäen TK17 sekä Leppävaaran G305 ja G306.

Lämpötilasuhteita määritettäessä epävarmuutta tuovat lämpötilamittarit, joiden täydestä toimivuudesta ei ole takuuta. Tuloksien perusteella kaikki mittarit eivät ole toimineet oikein. Esimerkiksi Leppävaaran G342:n ja G311:n yli 90 % lämpötilasuhteista voidaan päätellä, että kyseessä on mittarivirhe. Myös erilaisten säätilojen aikoina lasketut hyötysuhteet voivat hieman poiketa toisistaan. Lämpömittareiden toiminnan epävarmuutta tukee se, että silmämääräisten havaintojen perustella LTO-laitteiden toiminnassa ei havaittu ongelmia.

Suurimpia epävarmuustekijöitä olivat osittain puutteelliset tai mitättömät suojaetäisyydet. Tämä tarkoittaa sitä, että ahtaissa konehuoneissa kanavissa on käyriä tai säätöelimiä, jotka aiheuttavat ilman käyttäytymisen poikkeavasti. Muodostuu pyörteitä ja ilmavirtojen käyttäytymistä on hyvin hankala arvioida. Suojaetäisyydellä tarkoitetaan riittävää pituutta suoraa kanavaosuutta, jossa ilmavirran käyttäytyminen normalisoituu ja näin ollen mittaustuloksien luotettavuus kasvaa. Suojaetäisyydet määräytyvät laite- ja tapauskohtaisesti, mutta ovat yleensä suorassa kanavamitassa useita kertoja kyseisen kanavan halkaisijan mitta. Joissakin tapauksissa mittauksia ei voitu suorittaa ollenkaan suojaetäisyyksien puuttuessa ja osassa mitatuissakin tämä todennäköisesti näkyy tuloksissa. Myös SFP-lukuihin vaikuttavat nämä samat epävarmuustekijät, sillä mitattuja ilmamääriä käytetään SFP:n laskemiseen.

4.5 Tulosten analysointi

4.5.1 Vertailu suunnitteluarvoihin

Ilmamäärämittausten osalta voidaan todeta, että tulokset jakautuvat pitkälti kahteen kategoriaan. Melko suuri osa tuloksista vastaa sallittujen poikkeamien ja mittauksien virherajojen puitteissa suunniteltuja arvoja. On kuitenkin selkeästi havaittavissa, että suuriakin poikkeamia tuloksissa on, ja näiden tuloksien syitä tulee tutkia tarkemmin.

Parhaiten suunniteltuja arvoja vastaavat Leppävaaran uuden puolen koneet. Myös useat molempien kampusten vanhojen osien koneista näyttävät tulosten perusteella toimivan riittäväällä ilmavirroilla. Myyrmäen uuden puolen koneiden tulokset eivät ole varsinaisesti vertailukelpoisia suunniteltuihin arvoihin, sillä taajuusmuuttajat säätävät koneiden toimintaa tarpeen mukaisesti. Sama pätee Leppävaaran B-puolen koneeseen G343, joka toimii hiilidioksidianturin perusteella Joissakin tapauksissa mitatut tulokset ovat jopa suurempia kuin suunnitteluarvot. Näissä tapauksissa on mahdollista, että liian pienien suojaetäisyyksien takia tulokset ovat hieman vääristyneet.

Leppävaaran mittausten osalta oleellimmat vajaukset ilmamäärissä esiintyi seuraavissa koneissa:

- G305 – graafinen laboratorio
 - Suunniteltu tuloilma 3,25 m³/s, mitattu 2 m³/s
- G306 – graafinen luokat
 - Suunniteltu tuloilma 2 m³/s, mitattu 1 m³/s
 - Suunniteltu poistoilma 1,95 m³/s, mitattu 1,3 m³/s
- G310 – sähkötekn. luokat
 - Suunniteltu tuloilma 2,44 m³/s, mitattu 1,57 m³/s

Myyrmäen mittausten osalta oleelliset vajaukset ilmamäärissä esiintyi seuraavissa koneissa:

- TK12 – ruokala ja keittiö
 - Suunniteltu tuloilma 2 m³/s, mitattu 1,65 m³/s

- TK17 - laboratoriot
 - Suunniteltu tuloilma 5,9 m³/s, mitattu 3,82 m³/s

Myös ilmavirtojen perusteella lasketut SFP-luvut ovat verrannollisia mitattujen ilmamäärien poikkeamiin. Heikoimmat SFP-luvut ovat juuri samoissa koneissa, joissa myös ilmamäärät jäivät vajaiksi. Myyrmäen B-puolen koneiden TK40 ja TK41 yli 3 kw/(m³/s) olevat lukemat selittyvät koneiden taajuusmuuttaja-ohjauksella. Tällöin mitatut ilmavirrat eivät ole verrattavissa suunniteltuihin maksimiarvoihin, jolloin myös SFP-luku ei vastaa todellista. SFP-lukuja ei voi suoraan verrata nykyiseen koko ilmanvaihtokoneelle asetettuun maksimiarvoon 2,0 kw/(m³/s), sillä arvot on tässä tapauksessa määritetty kaikille puhaltimille erikseen.

4.5.2 Poikkeamien analyysi

Leppävaaran ilmanvaihtokoneelta G305 (Graaf. laboratoriot) lähtee kaksi tuloilman pääkanavaa, jotka ovat halkaisijaltaan 800 mm ja 630 mm. Koneen suunniteltu tuloilmamäärä on 3,25 m³/s, ja mitattu tulos jäi siis 1,25 m³/s vajaaksi. 800mm kanavasta mitattu ilmamäärä on noin 1,5 m³/s ja 630 mm:n kanavasta mitattu vain 0,5 m³/s. Molempien ilmamäärissä on siis vajausta, mutta huomiota herättää etenkin pienemmän kanavan alhainen ilmamäärä. Poistoilman ollessa suunnitellun suuruinen, tämä tarkoittaa käytännössä melko suurta alipainetta koneen palvelualueella. Tutkimme konetta mittausten yhteydessä, jolloin totesimme lämmöntalteenoton sekä lämmityspatterin olevan melko puhtaita ja suodattimien olevan vaihdettu asiallisesti. Mitään näkyvää syytä vajaukselle ei havaittu, joten vajaiden ilmamäärien voidaan arvella johtuvan esimerkiksi ongelmista kanavien tasapainotuksessa.

Koneen G306 (Graaf. luokat) osalta arviot ovat samansuuntaisia. Tosin tämän koneen osalta sekä tulo- että poistoilmamäärät jäivät melko selkeästi alle suunniteltujen arvojen. Molemmat puolet koostuvat kahdesta pääkanavasta, joiden halkaisijat ovat 630 mm ja 500 mm. Epätarkkuutta tässä tapauksessa voi lisätä se, että ilmamäärät on mitattu vajaiden suojaetäisyyksien vuoksi Halton MSD-mittauslaipoista, joilla on omat suojaetäisyytensä sekä kertoimensa ilmamäärän laskemiseen mitatusta paineesta. Mittayhteet ovat vuosien varrella saattaneet hieman kärsiä, joten tämä luo pientä epävarmuutta näihin mittaustuloksiin.

Kolmas huomiota herättävä poikkeama Leppävaaran osalta oli ilmanvaihtokone G310:n (sähkötekn. luokat) vajaaksi jäänyt tuloilmamäärä. Mitattu ilmamäärä on kolmanneksen suunniteltua pienempi ja vaje on merkittävä luokkatiloja palvelevassa ilmastointikoneessa. Vajauksen syitä tutkiessamme havaitsimme pääkanavassa huomattavan suuren vuotokohtan, joka on esitetty kuvassa 4. Kanavan sauma on ilmeisesti alun perinkin kiinnitetty huonosti, ja sitä paikkaamaan laitettu pikiteippi repsottaa myös irti. Huomattava osa ilmasta pääsee siis vuotamaan hukkaan.



Kuva 4. Leppävaaran IV-kone G310:n vuotokohta

Huomattavin poikkeama Myyrmäen ilmamäärämittauksissa oli IV-koneen TK17 (laboratoriot) tuloilmamäärä. Mitattu yhteenlaskettu tuloilmamäärä oli 3,82 m³/s, kun suunniteltu ilmamäärä on jopa 5,9 m³/s. IV-kone TK17 palvelee huomattavan suurta aluetta Myyrmäen kampuksen A-osasta. Sen takana on mm. paljon laboratorioita. Kone oli myös erityisen haastava mitattava. Sen tuloilmapuoli koostuu peräti viidestä koneelta lähtevästä pääkanavasta. Konehuone on äärimmäisen ahdas, ja suuret kanavat tekevät paljon mutkia, jolloin luotettavia suojaetäisyyksiä ei ole mahdollisuuksia saavuttaa. Myös koneen poistoilmavirta jäi vajaaksi, mutta sitä koskevat samat mittaustekniset ongelmat. Mittauksia ei voida siis pitää riittävän luotettavina tarkemman analyysin tekemiseen, mutta kenties olisi jatkoa ajatellen hyödyllistä mitata koneen palvelemien luokkatilojen ja laboratorioiden ilmamäärät erikseen ja tarkastella niiden riittävyyttä.

4.5.3 Johtopäätökset

Mittausprosessina kahden kampuksen IV-koneiden mittaaminen oli sen verran laaja, että tämän projektin puitteissa kaikkien koneiden tarkempaan tutkimiseen ei ollut resursseja. Spesifimmät tarkastelut perustuivatkin siis hyvin pitkälle saatuun palautteeseen ja käyttäjien havaitsemiin ongelmiin. Myös itse havaitsemamme ongelmat, kuten selkeät vuotokohdat ja reiät kanavissa koettiin myös merkittäväksi puutteeksi. Kuten todettua, kaikki mittaustulokset eivät välttämättä ole suoraan vertailukelpoisia suunnitteluarvoihin. Ilmamäärien riittävyys suhteessa nykyisiin opiskelijamääriin voi kuitenkin muodostua ongelmaksi, sillä tilojen käyttäjämäärät ovat kasvaneet suunnitellusta tilanteesta.

5 Ongelmakohtien tarkastelu ja parannusehdotukset

5.1 Leppävaaran liikuntasali

Leppävaaran toimipisteen liikuntasalista tehtyjen havaintojen ja saadun palautteen perusteella päädyimme tutkimaan tilan ilmanvaihdon toimintaa tarkemmin. Käyttäjäkokemusten ja omien havaintojemme perusteella tila on todella kylmä ja ilma vaihtuu huonosti. Liikuntasali on suunniteltu kokonaan ilmalämmitteiseksi radiaattoriverkkoon kuulumattomaksi tilaksi, joten ilmanvaihdon merkitys korostuu.

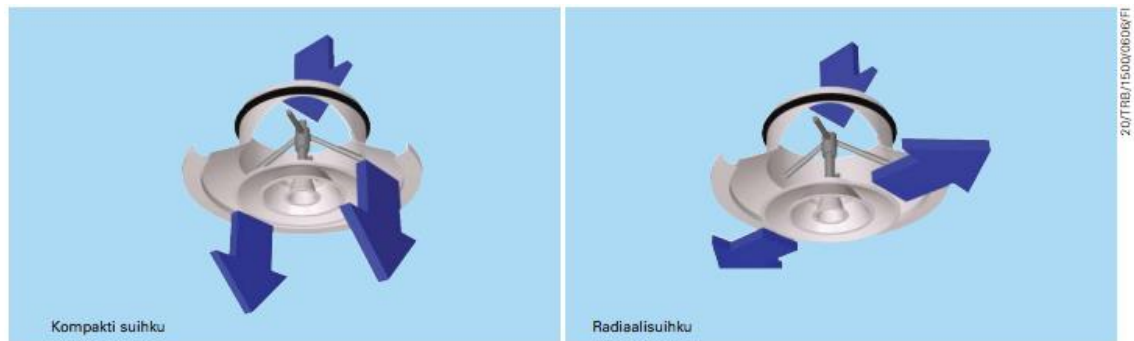
Ilmanvaihdolla pidetään sekä käyttäjät tyytyväisenä että rakenteet kunnossa. Salissa on myös aiemmin havaittu vesivahinkoja, joita ei ole perusteellisesti korjattu.

Liikuntasali sijaitsee alimmassa kerroksessa ja yläpohja rajoittuu ulkoilmaan. Rakennuksen kaksi seinää rajoittuu koko korkeudeltaan ulkoilmaan, ja pitkällä seinällä on koko seinän leveydellä noin metrin korkuinen ikkuna. Loput kaksi seinää rajautuvat ulkoilmaan noin puolen seinän korkeudelta, ja toisella pitkällä seinällä on suuri ikkuna.

Liikuntasalin kokonaisilmavirta on täydellä teholla 1,5 m³/s ja puolella teholla 0,75 m³/s. Ilma jaetaan liikuntasaliin kuudella tuloilmalaitteella, jotka on sijoitettu salin kulmiin ja keskelle. Tuloilmalaitteiden ongelma on, että niiden heittopituus ei ole riittävä tuloilman saattamiseksi oleskeluvyöhykkeelle. Lämpökamerakuvista kävi ilmi, että osa tuloilmalaitteista oli saanut mahdollisesti pallosta iskun ja vaihtanut asentoaan.

Ilmanvaihtokone G301 palvelee ainoastaan liikuntasalin aluetta. Koneessa on kiertoilmakäyttö eikä lämmöntalteenottoa. Arkipäivisin kone toimii täydellä teholla ja viikonloppuisin puolella teholla. Tutkimuksen alussa mittasimme ilmanvaihtokoneen ilmavirrat. Mitatut arvot vastasivat suunniteltuja hyvin. Pienet erot suunnitteluarvoihin olivat mittauksen virhemarginaalin rajoissa. Ilmanvaihtokoneen toiminnassa on havaittu ristiriitaisuuksia kiinteistöautomaatiikan valvomografiikkaan nähden. Valvomografiikka ei siis ole ajan tasalla todelliseen tilanteeseen nähden. Lisäksi totesimme, että koneen jäteilmapeltili ei avaudu, vaikka automaatio niin näyttäisi.

Tällä hetkellä tilassa on kuusi kappaletta Halton TRB-400-tuloilmalaitteita, jotka ovat malliltaan kartiohajoittimia. Tuloilmalaitteet voidaan säätää vaaka- tai pystysuuntaiseen ilmasuihkuun kuvan 5 osoittamalla tavalla, ja ne soveltuvat valmistajan mukaan sekä jäähdytys- että lämmityslaitteisiin.



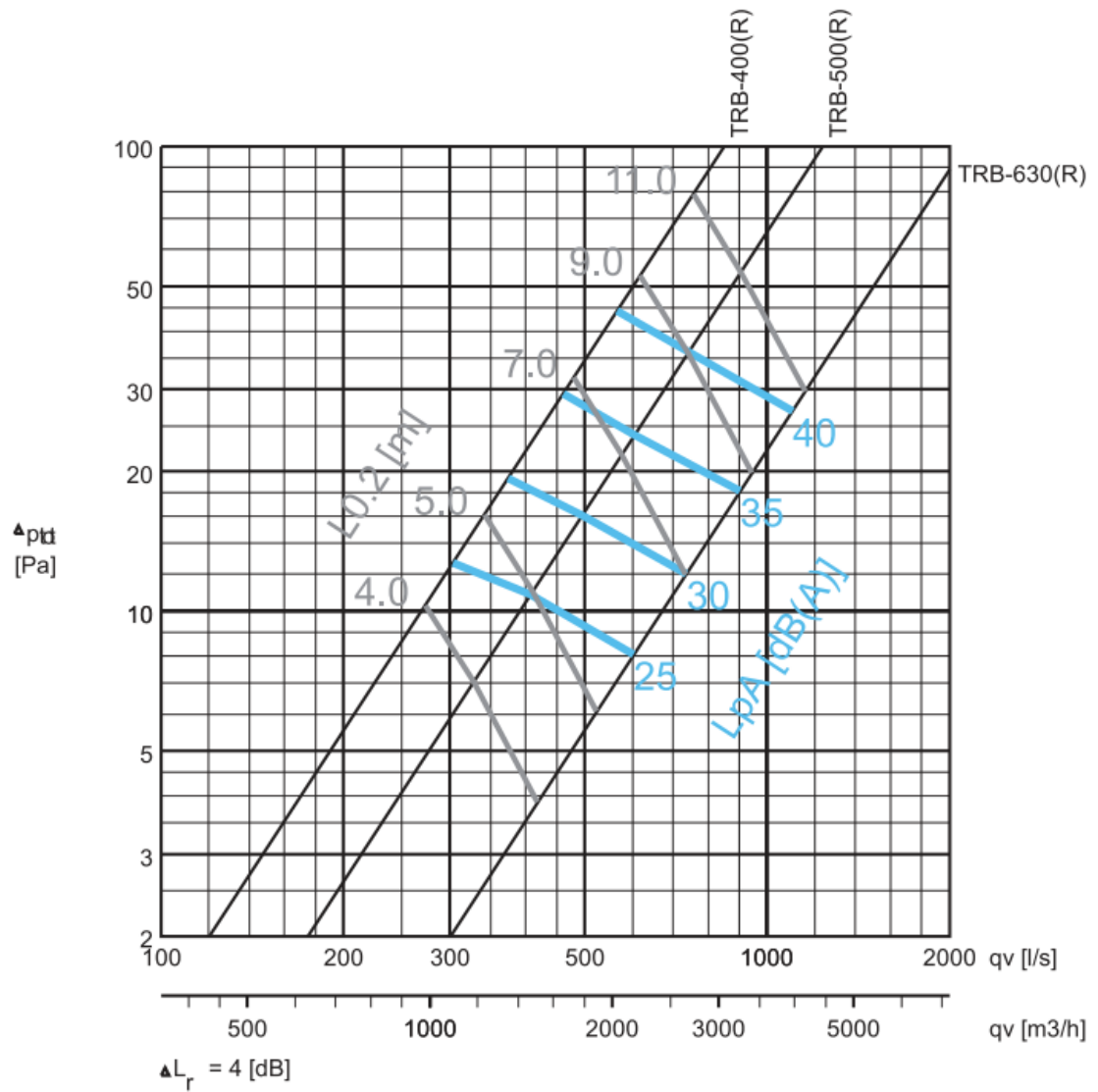
Kuva 5. Halton TRB

Teoriassa tämän tyyppiset tuloilmalaitteet toimivat korkeissa tiloissa, kuten liikuntasalissa. Leppävaaran liikuntasali on kuitenkin ilmalämmitteinen eli tilaan puhallettava tuloilma on huoneessa olevaa ilmaa lämpimämpää. Tämän seurauksena aiheutuu ongelma, sillä ylälämpoisellä tuloilmalla päätelaitteen heittokuvio ei ole enää suunnitellun kaltainen ja lämmin ilma pyrkii kerrostumaan tilan kattoon.

5.1.1 Tehdyt tutkimukset ja pohdinnat

Täydellä teholla tuloilmalaittekohtainen ilmavirta on tällä hetkellä $1,5 \text{ m}^3/\text{s} : 6 = 250 \text{ l/s}$. Kuvan 6 kuvaajan mukaan heittopituus L0.2 [m] alilämpoisellä ilmalla on alle 4 m.

Yhtenä vaihtoehtona heittopituuden parantamiseksi olisi vähentää tuloilmalaitteiden määrää neljään. Ratkaisu muuttaisi tuloilmalaittekohtaiseksi ilmavirraksi $1,5 \text{ m}^3/\text{s} : 4 = 375 \text{ l/s}$. Uusi heittopituus on kuvaajan perusteella noin 5,5 m.



Kuva 6. Halton TRB:n heittopituus

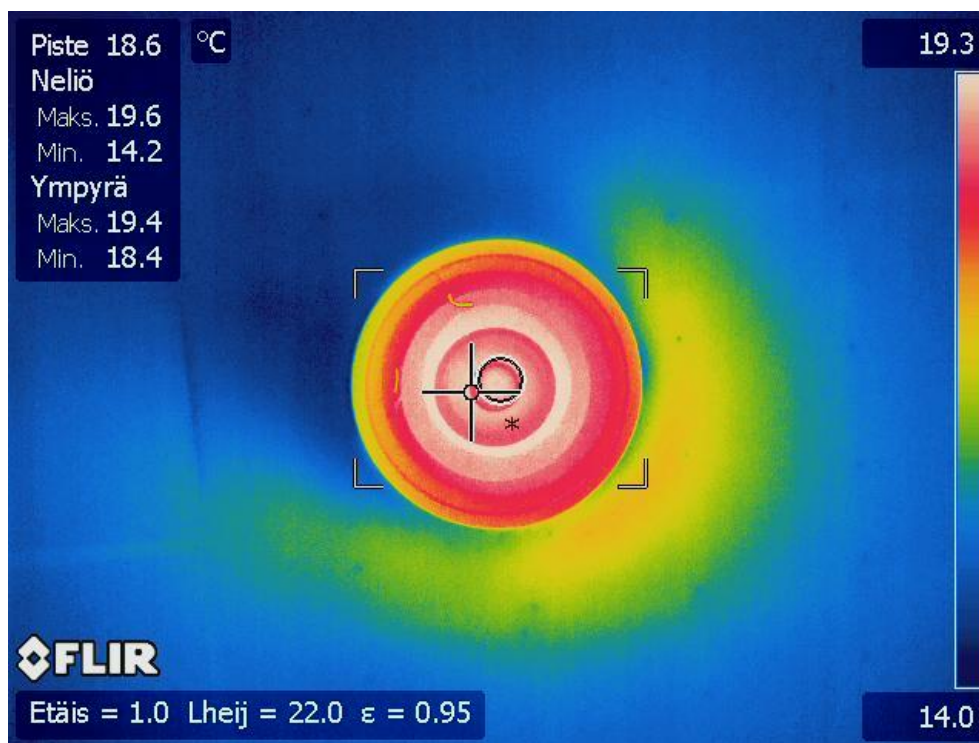
Puolella teholla tuloilmalaitekohtainen ilmavirta nykyhetkellä on $0,75 \text{ m}^3/\text{s} : 6 = 125 \text{ l/s}$. Edellisen kuvaajan mukaan heittopituus L0.2 [m] alilämpöisellä ilmalla on hyvin pieni.

Yksi vaihtoehto tässä tapauksessa olisi lisätä kahteen kanavan haaraan moottoripellit, joilla suljettaisiin jäljellä olevista neljästä haarasta puolet. Ratkaisu muuttaisi tuloilmalaitekohtaiseksi ilmavirraksi $0,75 \text{ m}^3/\text{s} : 2 = 375 \text{ l/s}$. Uusi heittopituus kuvaajan mukaan on noin 5,5 m.

Käytännössä ylikuumuutta ilmaa puhallettaessa heittopituudet jäävät lyhyemmiksi ja huoneen lämpötilajakauma suuremmaksi. Näin ollen on vaikea arvioida, riittäisikö edes 5,5 m:n heittopituus. Tavoitteena on, että ilmasuihku saataisiin kantamaan alas saakka. Muuten ilma pakkautuu salin yläosaan ja poistuu poistoilmalaitteeseen sekoittumatta alla olevaan kylmään ilmaan.

Liikuntasalissa suoritettiin lämpökamerakuvaukset 12.3.2013. Lämpökameran avulla pyrimme selvittämään mahdollisia kylmäsiltoja, vuotokohtia sekä tuloilman lämpötiloja päätelaitteissa. Kylmäsiltoja todettiin paljon, etenkin ikkunoissa ja nurkissa sekä elementtien saumoissa. Lämpökuvien perusteella havaittiin myös, että tuloilma jäähtyy useita asteita ilmanvaihtokoneelta päätelaitteelle. Samaan aikaan salissa suoritettiin lämpötilamittauksia dataa keräävillä loggereilla useista eri korkeuksista ja eri tuloilman lämpötiloilla. Näiden mittausten perusteella tuloilman lämpötilan muuttaminen ei merkittävästi paranna tilannetta eikä tila lämpene halutusti.

Kuvan 7 lämpökuvasta on havaittavissa, että ilma jakautuu tuloilmalaitteelta väärin, johtuen sen muuttuneesta säätöasennosta sekä ylikuumuudesta ilmasta. Kaikki lämpökuvat ovat tämän työn liitteinä.



Kuva 7. Lämpökuva liikuntasalin tuloilmalaitteesta

Lisäksi ilmanvaihtokoneella suoritettiin 13.3.2013 savukoe, jolla pyrittiin selvittämään tarkemmin tuloilmalaitteiden heittokuviota. Kokeessa käytettiin savupatruunoita, jotka asetettiin tuloilmakanavaan koneen painepuolelle puhaltimen jälkeen. Kokeessa pystyi silmämääräisesti havaitsemaan, että ilma pyrkii kerrostumaan tilan kattoon eikä heittopituus ole riittävä. Savu oli kuitenkin melko vaaleaa, joten tarkkoja päätelmiä tämän kokeen perusteella ei voida tehdä. Koe kuitenkin tukee väitöstä heittopituuden riittämättömydestä.

Liikuntasali muutettiin väliaikaisesti luokkatilakäyttöön, jolloin salin lämpötilan nostamisen tarve korostui entisestään. Saliin puhallettiin tällöin reilusti ylitämpöistä tuloilmaa. +30 °C:n lämpöisellä tuloilmalla salia saatiin lämmitettyä, mutta energiataloudellisuus kärsii huomattavasti tällaisessa tilanteessa.

5.1.2 Johtopäätökset

Liikuntasali rajoittuu suurimmalta osin ulkoilmaan, ja tilan lämpöhäviöt ovat näin ollen suuret. Resurssimme eivät riittäneet lämpöhäviöiden tarkastamiseen, joten emme pystyneet tarkistamaan, onko ilmanvaihtokoneella edes mahdollista lämmitää tilaa riittävän lämpimäksi. Lisäksi silmämääräisesti sekä lämpökuvien perusteella voidaan todeta, että päätelaitteet ovat saaneet osumia palloista ja ovat kääntyneet väärin asentoihin. Tämä aiheuttaa myös ilman jakautumisen väärin.

Korkean tilan lämmittäminen pelkällä tuloilmalla on hyvin haasteellista. Korkeaan tilaan soveltuvar paremmin ikkunoiden alle asennettavat patterit tai kattoon asennettavat vesikiertoiset säteilijät. Kattosäteilijöillä saadaan toteutettua tehokkaita ja siistejä lämmitysratkaisuja.

Tutkittuamme asiaa totesimme, että tuloilman päätelaitteet on ilmeisesti alunperin valittu väärän kokoisiksi. Kuvan 8 Haltonin pikavalintataulukosta käy ilmi, että TRB-400 -tuloilmaelimellä suositeltu vähimmäisilmavirta on 300 l/s, kun taas liikuntasalin tapauksessa ilmavirta on noin 250 l/s. Tästä seuraa, että heittopituus ei ole riittävä. Näin ollen voidaan taulukon perusteella todeta, että oikea päätelaitteen koko olisi tässä tapauksessa joko TRB-315 tai TRB-250.

PIKAVALINTA

qv	Pa	240	360	480	600	720	960	1320	1920	2640	3600	4800	6240	8400	10800	14400
	l/s	20	30	40	50	60	80	110	160	220	300	400	520	700	900	1200
	m ³ /h	72	108	144	180	216	288	396	576	792	1080	1440	1872	2520	3240	4320
TRB-100(R)	LpA	20	29	35	40	43										
	ΔPst	6	14	24	38	54										
	ΔPtot	10	22	40	62	89										
	Ld	-	-	-	-	-										
	Lmin	-	-	0,5	0,5	0,8										
	L0.2	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4										
TRB-125(R)	LpA		21	26	31	35	41	47								
	ΔPst		6	11	17	24	43	81								
	ΔPtot		10	17	27	24	43	81								
	Ld		-	-	-	-	-	-								
	Lmin		-	-	0,5	0,5	0,9	1,7								
	L0.2		1,0	1,4	1,6	2,0	2,6	3,2								
TRB-160(R)	LpA			20	25	29	35	42								
	ΔPst			6	10	14	25	48								
	ΔPtot			9	14	20	35	66								
	Ld			-	-	-	-	-								
	Lmin			-	0,5	0,5	0,6	1,2								
	L0.2															
TRB-200(R)	LpA					20	26	33	41	48						
	ΔPst					6	12	22	46	87						
	ΔPtot					9	15	29	62	117						
	Ld					-	-	-	-	5,0						
	Lmin					-	0,5	0,8	1,6	2,6						
	L0.2					1,4	1,8	3,0	4,4	6,0						
TRB-250(R)	LpA						18	25	33	40	46					
	ΔPst						5	9	20	38	70					
	ΔPtot						7	12	26	50	93					
	Ld						-	-	-	4,0	4,6					
	Lmin						-	0,5	0,9	1,7	2,6					
	L0.2						1,6	2,2	3,2	4,4	6,0					
TRB-315(R)	LpA							20	27	34	41	47				
	ΔPst							6	12	22	38	65				
	ΔPtot							9	16	30	54	92				
	Ld							2,4	2,8	3,4	4,0	4,6				
	Lmin							1,0	2,2	3,6	5,6	7,8				
	L0.2							2,5	3,4	4,8	6,2	8,2				
TRB-400(R)	LpA									25	32	38	45			
	ΔPst									9	16	27	49			
	ΔPtot									12	22	37	68			
	Ld									2,8	3,4	3,8	4,4			
	Lmin									2,2	3,6	5,2	7,8			
	L0.2									3,4	4,6	6,0	8,2			

Kuva 8. Halton TRB pikavalintataulukko

5.1.3 Parannusehdotukset liikuntasaliin

Tutkittuamme salia tarkemmin projektiryhmämme kanssa syntyi ajatuksia liikuntasalin tilanteen parantamiseksi. Pohdintoja ja ideoita tuli runsaasti, joista varteenotettavimmat päätyivät ehdotuksiksi.

Halvin ja helpoin toteutettava ehdotus tilanteen parantamiseksi on päätelaitteiden uudelleen säätäminen ja puhdistaminen. Puhdistus tulisi suorittaa vuosittain, jotta päätelaitteiden täysi kapasiteetti säilyisi käytössä. Lisäksi päätelaitteiden uudelleen säätämisen yhteydessä olisi syytä asentaa niiden ympärille suojakehikko, jotta pallojen osumat eivät vahingoittaisi päätelaitteita ja säädöt säilyisivät.

Toisena ehdotuksena on kahden päätelaitteen poistaminen käytöstä sekä kahden moottoripellin lisääminen 1/2-käyttöä varten. Tällä saataisiin päätelaitteiden heittopituus pidemmäksi molemmilla käyttöasteilla, ja täten ilmanlaatu ja lämpötila oleskelukorkeudella paranisi. Tämä ehdotus vaatisi pieniä muutostöitä, mutta olisi taloudellisesti kuitenkin suhteellisen pieni investointi.

Kolmas vaihtoehto olisi päätelaitteiden uusiminen vastaamaan paremmin tilan tarpeita ja suunniteltua tilannetta. Tämä tarkoittaisi käytännössä yhtä tai kahta kokoa pienempien kartiohajoittajien asennusta, joilloin päästäisiin tilanteeseen, jossa kaikki kuusi päätelaitetta puhaltaisivat lämmintä ilmaa tarpeeksi alas salin oleskelualueelle. Tällöin korjautuisi ongelma kylmän kokemuksesta sekä ilma myös vaihtuisi paremmin.

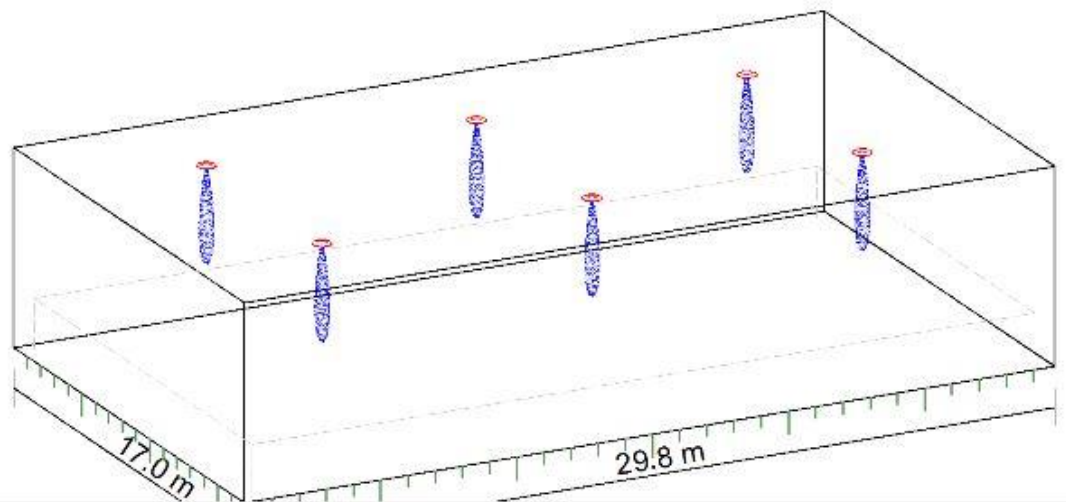
Yhtenä vaihtoehtona pohdittiin myös ilmaa kierrättävien koneiden asentamista salin kattoon. Esimerkiksi jonkinlainen impulssipuhallin voisi vauhdittaa ilman vaihtumista salissa ja myös parantaa ilman ja lämpötilan olosuhteita oleskeluvyöhykkeellä.

Lisäksi lämpöhäviöt olisi hyvä laskea uudelleen kosteusvaurioiden ja kylmäsiltojen aiheuttamien lisähäviöiden takia. Lämmitystavan muuttaminen voisi myös tulla kysymykseen optimaalisen toiminnan saavuttamiseksi. Toimivia lämmitysratkaisuja liikuntasalin tapauksessa olisivat esimerkiksi kattosäteilijät tai ikkunoiden alle asennettavat radiaattorit. Tällöin myös ilmanvaihdon toiminta paranisi, koska matalammalla tuloilman lämpötilalla päätelaitteiden heittopituudet olisivat optimaaliset.

5.1.4 Päätelaitevalinta

Ehdotuksesta päätelaitteiden uusimisesta ja uuden mallin oikeellisuudesta tehtiin tarkempia tutkimuksia Haltonin Hit-ohjelmalla, joka on erikoistunut päätelaitevalintoihin. Ohjelmaan syötettiin liikuntasalin mitat, tavoiteltu lämpötila sekä tuloilman ilmamäärä ja lämpötila. Kuvissa 9 ja 10 on nähtävissä heittopituuksien ero nykyisen TRB-400:n sekä yhtä kokoa pienemmän TRB-315:n välillä. On siis selkeästi havaittavissa, että pienemmät päätelaitteet antavat suuremman heittopituuden ja näin ollen saavat aikaan paremman ilman laadun ja ilman lämpenemisen.

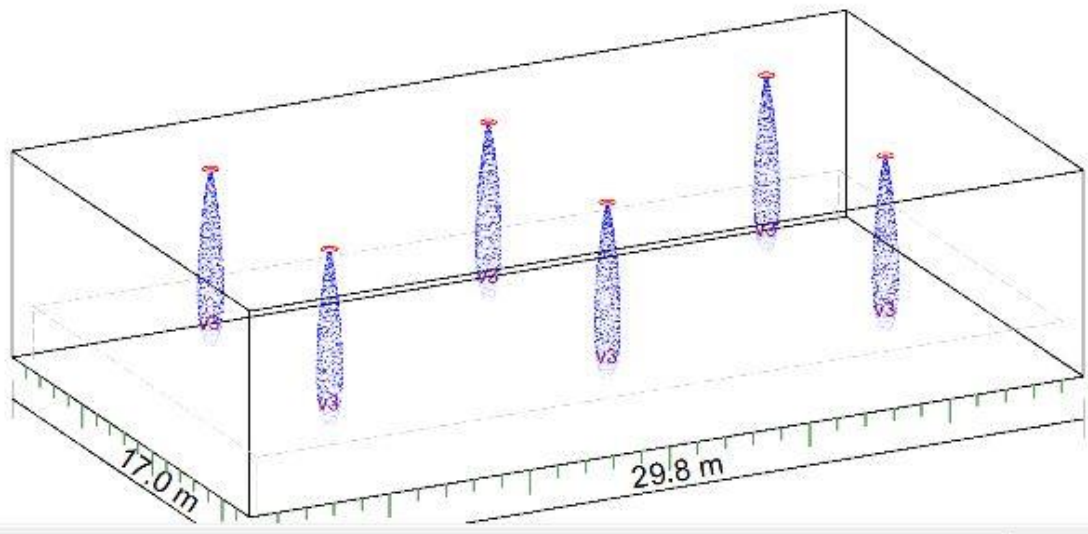
Heating		TRB-400(C)		2007 02
Room:		Supply air flow rate:	1500 l/s (6 x 250 l/s)	
Room size:	29.8 x 17.0 x 7.0 m		3.0 l/(sm ²)	
Occupied zone:	h=1.8 m / dw=0.5 m	Supply air temperature:	22.0 °C	
Room air:	18.0 °C / 50 %	Total pressure drop:	11 Pa	
Heat loss:	-	Total sound pressure level:	19 dB(A)	
Installation height:	7.00 m	Total heating capacity:	7282 W (6 x 1214 W)	
			14 W/m ²	
Velocity point				
v				
▲T				
v _{lim} = 0.20 m/s				



Kuva 9. Halton TRB-400 heittokuvio

Liikuntasalin tavoiteltuna lämpötilana on käytetty yleisesti hyvänä pidettyä +18 °C ja tuloilman lämpötilana +22 °C. Nykyisellä toteutuksella siis todistetusti heittokuvio jää vajaaksi ja näin ollen ilma ei lämpeä riittävästi eikä pääse vaihtumaan kunnolla. TRB-315 heittokuvioista puolestaan nähdään, että ilmasuihku saavuttaa oleskeluvyöhykkeen ja näin ollen parantaisi tilannetta huomattavasti.

Heating		TRB-315(C)		2007.02	
Room:		Supply air flow rate	1500 l/s (8 x 250 l/s)		
Room size:	29.8 x 17.0 x 7.0 m		3.0 l/(sm ²)		
Occupied zone:	h=1.8 m / dw=0.5 m	Supply air temperature:	22.0 °C		
Room air:	18.0 °C / 50 %	Total pressure drop:	31 Pa		
Heat loss:	-	Total sound pressure level:	28 dB(A)		
Installation height:	7.00 m	Total heating capacity:	7282 W (8 x 1214 W)		
			14 W/m ²		
Velocity point	v3				
v	-0.30 m/s				
ΔT	0.2 °C				
v _{lim} = 0.20 m/s					



Kuva 10. Halton TRB-315 heittokuvio

5.2 Myyrmäen automaatiolaboratorio

Metropolia AMK:n Myyrmäen toimipisteen automaatiolaboratorion ilmanvaihdosta saadun palautteen myötä tila päätyi tarkemman tutkimuksen kohteeksi. Opiskelijoiden ja henkilökunnan havaintojen perusteella tilan ilmanvaihto ei ole toiminut halutulla tavalla, ja ilma on erittäin tunkkaista. Luokkatila on aktiivisessa käytössä ja sisältää paljon erilaisia koneita ja elektroniikkaa, jotka osaltaan vaikuttavat huonelämpötilaan ja sitä kautta myös tilan viihtyisyyteen.

5.2.1 Tehdyt tutkimukset ja pohdinnat

Tilan ilmanjako on toteutettu kahdessa muuta kattopintaa korkeammalla olevissa syvennyksissä olevilla pääte-elimillä. Molemmissa on kaksi tuloilmalaitetta ja kaksi poistoilmasäleikköä. Tuloilmalaitteet ovat tyypiltään kattohajoittajia. Näiden alapuolella on arkkitehdin suunnittelema ritilämäinen metallikehikko. Kuvassa 11 on nähtävillä nykyinen toteutus.



Kuva 11. Myyrmäen automaatiolaboratorion tuloilmalaitteet

Jo alustavien silmämääräisten tutkimusten aikana havaittiin, että tilan ilmanjako on toteutettu huonosti. Päätelaitteet sijaitsevat ns. montuissa, joista ilma ei pääse jakautumaan tarvittavalla tavalla. Yhden tuloilmalaitteen kansi lisäksi repsottaa auki kehikkoa vasten ja aiheuttaa sen väärin toimimisen. Tämän lisäksi päätelaitteiden tyyppi ei välttämättä ole optimaalinen.

Havaitsimme myös, että laboratoriossa olevassa matalammassa osassa, josta ilmanvaihto on purettu tuloilman osalta tilojen muutosten yhteydessä, ilma ei vaihdu lainkaan. Muutama poistoilmaventtiili on jätetty paikoilleen. Tämä tila on ollut aiemmin muussa käytössä, ja jostain syystä automaatiolaboratoriota laajennettaessa sen

ilmanvaihtoon ei ole kiinnitetty huomiota. Kuvissa 12 ja 13 on nähtävillä havaintokuvaa laboratorion matalasta osasta.



Kuva 12. Automaatiolaboratorion tulpattu kanavisto



Kuva 13. Yleiskuvaa automaatiolaboratorion matalasta osasta

Laboratorio sijaitsee ilmanvaihtokoneen TK17 palvelualueella. Tämä kone palvelee erittäin isoa aluetta, joka kattaa paljon erilaisia tiloja. Koneen käyttöaste on korkea, ja se kuluttaa paljon energiaa. Koneelle tehtiin ilmamäärämittaukset, joissa saadut

ilmamäärät automaatiolaboratorion osalta vastaavat melko hyvin suunniteltuja arvoja. Ilma kuitenkin jakautuu väärin siitä syystä, että se törmää syvennyksien seinämiin eikä tästä syystä pääse leviämään tarpeeksi laajalle alueelle. Tämä aiheuttaa tunkkaisuuden tuntemuksia muualla laboratoriossa.

5.2.2 Johtopäätökset

Saadun palautteen ja ohjeistuksen perusteella IV-koneelle TK17 ei voida tehdä suuria muutoksia käyttöaikojen tai automaation osalta. Siispä tutkimukset jäivät osaltamme automaatiolaboratorion ilmanlaatua parantavien ehdotuksien laatimiseen. Kuten todettua ongelmana on ilman jakautuminen väärin, ja sen korjaamiseksi päätelaitteiden sijaintia tulisi muuttaa, ja lisäksi lisätä matalalle osalle päätelaitteet. Tuloilmalaitteet tulisi olla korkeamman osan kattopinnan alapuolella, jotta ilma pääsisi jakautumaan oikealla tavalla. Aivan ensimmäiseksi repsottava päätelaite tulisi laittaa oikeaan toimintakuntoon esimerkiksi huoltomiehen toimesta.

5.2.3 Parannusehdotukset automaatiolaboratorioon

Ensimmäinen ehdotus on tuloilmalaitteiden asentaminen nykyistä alemmas kattopinnan alapuolelle. Lisäksi ritilä tulee poistaa tai loveta siten, että ilmastointikanava mahtuu sen lävitse. Tärkeää olisi suorittaa myös pääte-elinten puhdistaminen ja viallisen laitteen korjaaminen toimimaan oikein. Tämän lisäksi matalampaan osaan tulisi suorittaa päätelaiteasennukset olemassa oleviin katkaistuihin kanaviin. Pääte-elinten laskemisen ohella lisäehdotuksena on tuloilmalaitteiden uusiminen. Uusien laitteiden heittokuviot ovat paremmin säädettävissä tilan vaatiman ilmanjaon kannalta.

Tämän lisäksi olisi hyvä suorittaa ilmanvaihdon aikaohjauksen uudelleentarkastelu. Pääkoneelle ja erillispoistoille voisi mahdollisesti asettaa erilliset aikaohjelmat. Erillispoistojen toiminta erillään pääkoneesta tulee tällöin varmentaa. Tämä muutos lisäisi energiataloudellisuutta, mutta koskee enemmän automaatiota kuin ilmanvaihtoa.

5.2.4 Toteutettava muutos

Saimme Smart Campus -projektille luvan toteuttaa muutostöitä Myyrmäen automaatiolaboratoriossa. Toteutuksesta tehdään suunnitelma, jota ei välttämättä ehditä kuitenkaan toteuttaa Smart Campus -projektin aikana. Muutos kattaa korkean osan päätelaitteiden laskemisen sekä niiden alla olevien koristeritilöiden poistamisen sekä matalalle osalle päätelaitteiden lisäämisen.

Korkealla osalla kahden syvennyksen ritilät poistetaan ja niissä olevat yhteensä neljä kappaletta tuloilmalaitteita lasketaan alemmaksi. Tämä toteutetaan irrottamalla päätelaitteet ja jatkamalla kutakin tuloilmakanavaa noin metrillä alaspäin. Tämän jälkeen puhdistetut ja uudelleen säädetyt päätelaitteet asetetaan takaisin paikalleen. Matalalle osalle tullaan lisäämään kaksi kappaletta tuloilmahajoittimia. Tällä osalla on olemassa vanhat kanavistot, jotka on tulpattu. Ennen vanhan kanaviston purkamista matalalla osalla on ollut kaksi tuloilmalaitetta, joiden molempien ilmamäärät ovat olleet 80 l/s. Uudet päätelaitteet on siis valittava tällä perusteella, sillä kanavisto on edelleen sama kuin aiemmin.

Ehdotamme tuloilmalaitteeksi matalaan osaan kuvan 14 mukaista Swegonin Eagle-tuloilmalaitetta. Eaglen etuna on, että siinä on kääntyvät suuttimet ja täten täysin joustava ja muutettavissa oleva heittokuvio. Tällaisessa tilanteessa joustavuus ja muokattavuus ovat tärkeitä, sillä tarkat ilmamäärät ja ilman käyttäytyminen ei ole tarkkaan tiedossa tämän tyyppisessä aiemmin puretussa kanavistossa. Eagle sopii myös tiloihin, joissa ei ole alakattoa. Sopiva koko päätelaitteelle olisi 200 mm, jolla äänitaso on noin 30 dB 76 l/s ilmamäärällä, joka ei ole vielä lainkaan häiritsevä. Kanavien jatkamisen tarve selvitetään ja kanavaa asennetaan lisää tarpeen mukaan, arviolta noin kuusi metriä. Kanavahaaroihin olisi hyvä lisätä myös säätöpellit, jotta tarvittaessa tuloilmamääriä voidaan muuttaa.



Kuva 14. Swegon Eagle F

Poistoilmaventtiileitä matalalla tilalla jo on olemassa, niiden lisäämisen tarve selviää tuloilmalaitteiden asennuksen jälkeen. Tällöin voidaan selvittää, riittävätkö nykyiset poistoilmaventtiilit vai muuttuko tila ylipaineiseksi, jolloin tulisi tarve lisätä poistoilmaa. Automaatiolaboratorio on kuitenkin ilmatilavuudeltaan suuri ja ilmaa poistuu myös ovien kautta viereisiin tiloihin, joten on epätodennäköistä, että ylipainetta muodostuisi tuloilmalaitteiden lisäämisen seurauksena.

5.3 Muiden ongelmien tarkastelua

Mittauksia tehtäessä tarkastelun piiriin kuuluivat myös ilmastointikoneiden ja niiden kanavistojen yleiskunto. Näissä havaitsimmekin puutteita, mikä on osittain ikääntyneestä laitteistosta johtuen ymmärrettävää. Muutamia korjattavissa olevia huomion arvoisia asioita on kuitenkin syytä ottaa esille. Hyvinkin pienellä vaivalla ja pienillä paikkauksilla olisi mahdollista saada aikaan säästöjä ja parempaa sisäilmaa.

Yksi suurimmista huomion kiinnittäneistä seikoista oli pienet reiät kanavissa. Reikiä oli lähes poikkeuksetta jokaisen koneen kanavissa, osassa jopa todella runsaasti. Suurin osa rei'istä on ilmeisesti tehty juuri ilmamäärämittauksia varten, mutta joko niitä ei ole paikattu mittausten jälkeen tai tehdyt paikat ovat irronneet ajan kuluessa. On melko vaikea arvioida, kuinka paljon rei'istä vuotaa ilmaa hukkaan. Yksittäisen reiän tapauksessa puhutaan kuitenkin hyvin pienestä hävikistä, mutta reikiä on runsaasti ja näistä yhteensä hukkaan vuotava ilmamäärä voi olla jo merkittävä. Kuvassa 15 on näkyvillä kanavoissa ilmenneitä reikiä.



Kuva 15. Paikkaamattomia reikiä kanavassa

Reikien lisäksi huomiota kiinnittivät joissakin kanavistoissa olevat saumakohtat, jotka repsottivat auki niin, että ilmaa vuotaa hukkaan. Yksi tällaisista on jo aiemmin käsitelty Leppävaaran IV-kone G310. Tämänkaltaisia havaintoja oli myös mm. koneen G303 kanavistossa.



Kuva 16. G303:n kanaviston vuotokohta

Tällaiset vuotokohdat ovat helposti paikattavissa, ja vuotojen tukkimisella voi olla kohtalaisen suurikin vaikutus koneen palveleman alueen sisäilmaan.

Suuri osa molempien kampusten ilmanvaihtokoneista on jo hyvin iäkkäitä, joten niissä on myös tästä johtuvaa kulumaa ja tietynlaisia vaurioita. Myyrmäen ilmanvaihtokoneessa TK17 havaitsimme ruostumakohdan kammiossa. Kammio on kuvan 17 mukaisesti syöpynyt osittain puhki ja kanavaeristeet repsottavat. Tämä on seurausta ilmeisesti puutteellisesta kondensiviemäröinnistä, jolloin kammioon kertynyt vesi on päässyt syövyttämään sitä. Tämän raportin liitteissä on lisää kuvia havaituista ongelmakohdista.



Kuva 17. Myyrmäen TK17 syöpynyt kammio.

6 Korjausten kustannusarviointi

Tehdyt korjausehdotukset ovat kokoluokaltaan asennustöinä suhteellisen pieniä sekä työn määrältään että materiaalikustannuksiltaan. Tehtyjen asennustöiden kustannukset

luonnollisesti riippuvat urakoitsijasta ja kiinteistön huoltosopimuksista. Työssäni en ota kantaa asennustöiden kustannuksiin. Tehdyt kustannusarviot perustuvat valmistajien nykyiseen julkiseen hinnastoon eivätkä sisällä mahdollisia alennuksia.

6.1 Leppävaaran liikuntasalin parannukset

Halton TRB päätelaitteen hinta 315-koolle on nykyisen hinnaston perusteella 212,52 € kappaleelta [8]. Liikuntasalissa on kuusi tuloilmalaitetta, jolloin niiden uusimisen kokonaishinnaksi muodostuu $212,52\text{€} * 6 = 1275,12\text{€}$.

Mikäli lisäksi asennettaisiin moottoripellit kahteen tuloilmahaaraan tulisi näiden hinnaksi $110\text{€} * 2 = 220\text{€}$ [9].

6.2 Myyrmäen automaatiolaboratorion parannukset

Swegonin Eagle Free-200-mallin päätelaitteet maksavat 342 € kappaleelta [9]. Näitä asennetaan laboratorioon kaksi kappaletta eli yhteishinnaksi päätelaitteille tulee 684€. URH-tyyppiset poistoilmaventtiilit maksavat koosta riippuen noin 20-30 € kappaleelta [8]. Niiden tarve ei ole kuitenkaan varmaa tässä vaiheessa, mutta kustannus on myöskin hyvin pieni.

Korkean osan 315-kokoiset kanavat maksavat nykyisen hintatason perusteella noin 15 €/metri. Tarve on noin neljä metriä, kuitenkin suosituksena hankkia kaksi kappaletta 3 metrin mittaisia pätkiä. Näiden hinnaksi tulisi 90 €. Matalan osan 200-kokoinen kanava on hinnaltaan noin 10 €/metri ja tarve noin kuusi metriä. Varalta on suositeltavaa hankkia kolme kappaletta 3 metrin mittaisia pätkiä, jolloin hinnaksi tulisi 90 €. Lisäksi kanavaosien, kuten käyrien, sisäliittimien ja kannakkeiden kustannuksiksi tulisi arvioilta 100 €. [10]

Näin ollen automaatiolaboratorion parannuksen materiaalikustannuksiksi muodostuisi $684\text{€} + 90\text{€} + 90\text{€} + 100\text{€} = 964\text{€}$. Vaikka tilaan tarvitsisi myös muutaman poistoilmaventtiilin, voidaan todeta materiaalikustannusten olevan noin 1000 €.

6.3 Yleiset parannukset

Suosittelava parannus on molempien kampusten kaikkien konehuoneiden kanavistojen läpikäynti ja paikkaus. Jokainen ilmanvaihtokone kanavistoineen olisi syytä käydä läpi ja paikata reiät ja saumojen vuotokohdat. Tämän jälkeen voisi tarkastella vaikutuksia sisäilman laadun ja ilmastämäärien muutokseen.

Näiden parannusten materiaalikustannukset tulisivat olemaan häviävän pienet verrattuna saatuihin hyötyihin. Reiät kanavissa voidaan tukkia tätä tarkoitusta varten tehdyillä muovisilla tulpilla, ja vuotavat saumat saa kuntoon niittaamalla saumat paremmin kiinni ja tiivistämällä pikiteipillä. Materiaalikustannusten suuruus tulisi olemaan todennäköisesti vain joitakin kymmeniä euroja. Miestyötunteja tähän korjaukseen tulisi kulumaan useita, mutta kaiken kaikkiaan korjauskustannukset olisivat todella pienet verraten saatavaan säästöön energiankulutuksessa sekä sisäilman laadun paranemisessa.

7 Yhteenveto

Tehtyjen tutkimusten ja suoritettujen mittausten perusteella voidaan todeta, että Smart Campuksen kaltaisille hankkeille on varmasti tilausta laajemmassakin mittakaavassa.

Esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmien toiminta ja riittävyys suhteessa kasvaneisiin opiskelijamääriin on syytä huomioida myös jatkossa, vaikka energiatehokkuuden parantaminen onkin projektin ensisijaisena ohjenuorana.

Tässä raportissa keskityttiin ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan tutkimiseen ja parannusehdotusten tuomiseen koulurakennuksille tyypillisissä kohteissa. Mittauksissa ja tutkimuksissa oli omat haasteensa ja kaikkia mittauksia ei kyetty projektin puitteissa suorittamaan. Tuloksia saatiin kuitenkin tuotettua melko laajasti.

Yksi tärkeimmistä tavoitteista työssä oli ongelmakohtien esille tuominen ja tämä tavoite mielestäni täyttyi hyvin. Smart Campus -projektin yhteydessä toimimme ryhmänä ja insinööritöissämme raportoimme eri vastuualueista. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa,

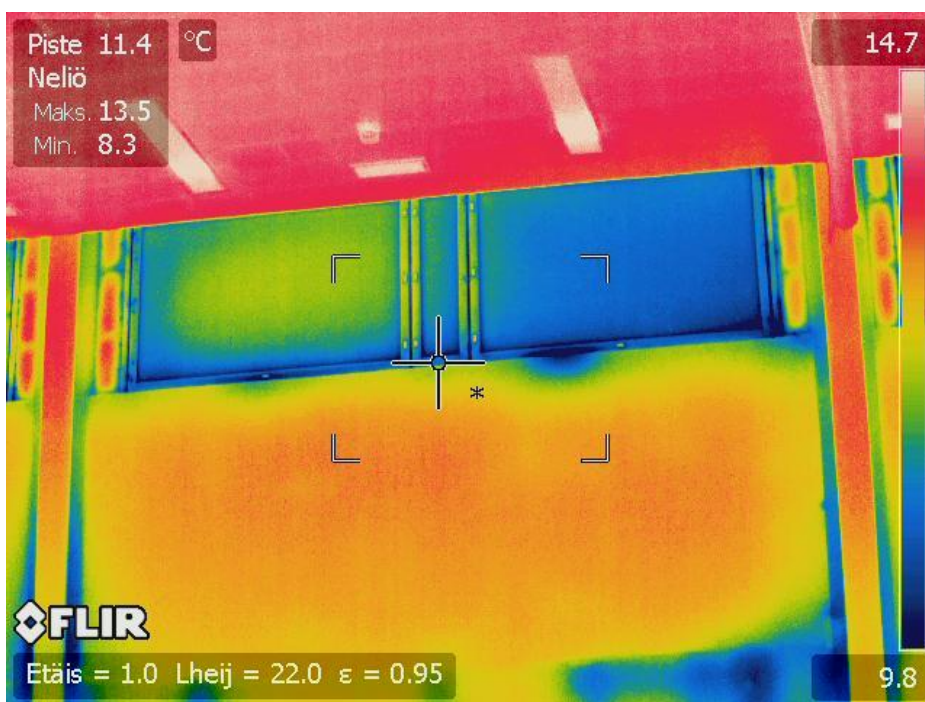
energiatehokkuutta ja esimerkiksi luokkatilojen käyttöasteita käsitellään myös ryhmämme toimesta toisissa insinööritöissä.

Ikääntyvien rakennusten ja niiden sisältämien järjestelmien päivittäminen vastaamaan nykypäivän standardeja on haaste. Kuitenkin on tärkeää, että kampusrakennusten ylläpitämisestä ei tingitä. Jo pienillä muutoksilla on mahdollisuus päästä huomattaviin säästöihin samalla opiskelijoiden ja henkilökunnan hyvinvointia edistäen.

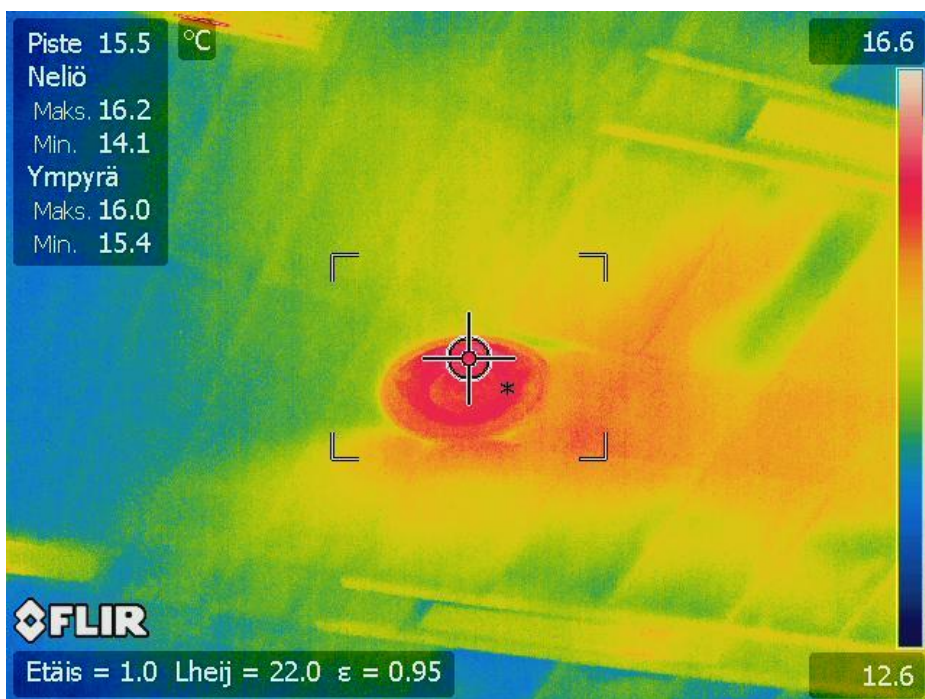
Lähteet

- 1 Smart Campus.2013. Verkkodokumentti.
<http://smartcampus.metropolia.fi/pilotit/> Luettu 29.3.2013
- 2 Metropolia Ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti.
<http://www.metropolia.fi/tietoa-metropoliasta/> Luettu 30.3.2013
- 3 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2003.
- 4 Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. LVI-kortti, LVI 05-10440. Sisäilmayhdistys, 2008.
- 5 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. LVI-kortti, LVI 30-10529. Rakennustietosäätiö, 2013.
- 6 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, LTO-opas 2010. Ympäristöministeriö, 2010.
- 7 Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet, Laiho Esa-Matti. Mikkelin teknillinen oppilaitos, Verkkodokumentti. Luettu 15.2.2013
- 8 Halton tuotehinnasto. Verkkodokumentti. 2013.
[www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/files/80515C402365A847C2257B3C0047CDFC/\\$file/halton_hinnasto_FIN_01042013.pdf](http://www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/files/80515C402365A847C2257B3C0047CDFC/$file/halton_hinnasto_FIN_01042013.pdf) Luettu 2.5.2013
- 9 Swegon tuotehinnasto. Verkkodokumentti. 2011.
http://www.swegon.com/PageFiles/61/Swegon_hinnasto_2011.pdf Luettu 2.5.2013
- 10 Lindab tuotehinnasto. Verkkodokumentti. 2012.
www.lindab.com/fi/Documents/Ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/Hinnasto%2016.4.2012.pdf Luettu 2.5.2013

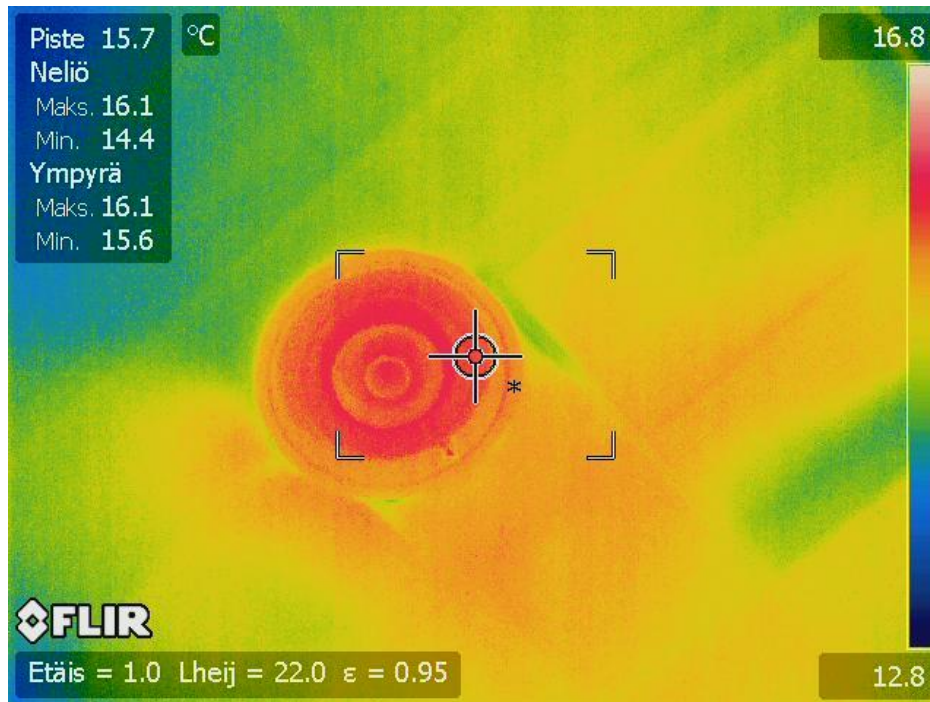
Liite 1: Leppävaaran liikuntasalin lämpökuvat



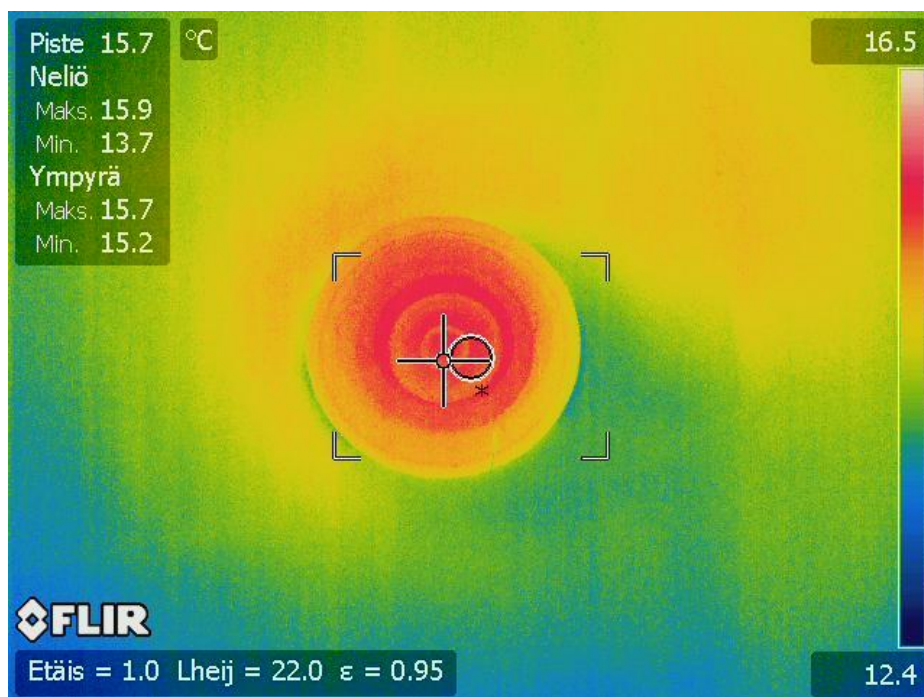
Kuva IR_2169



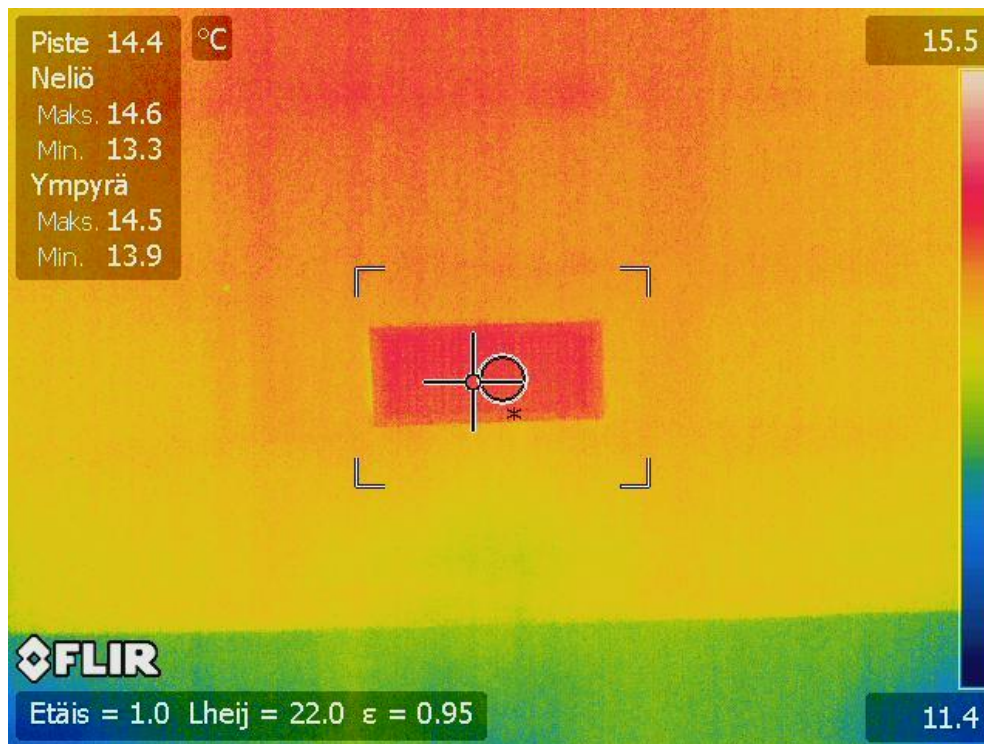
Kuva IR_2171



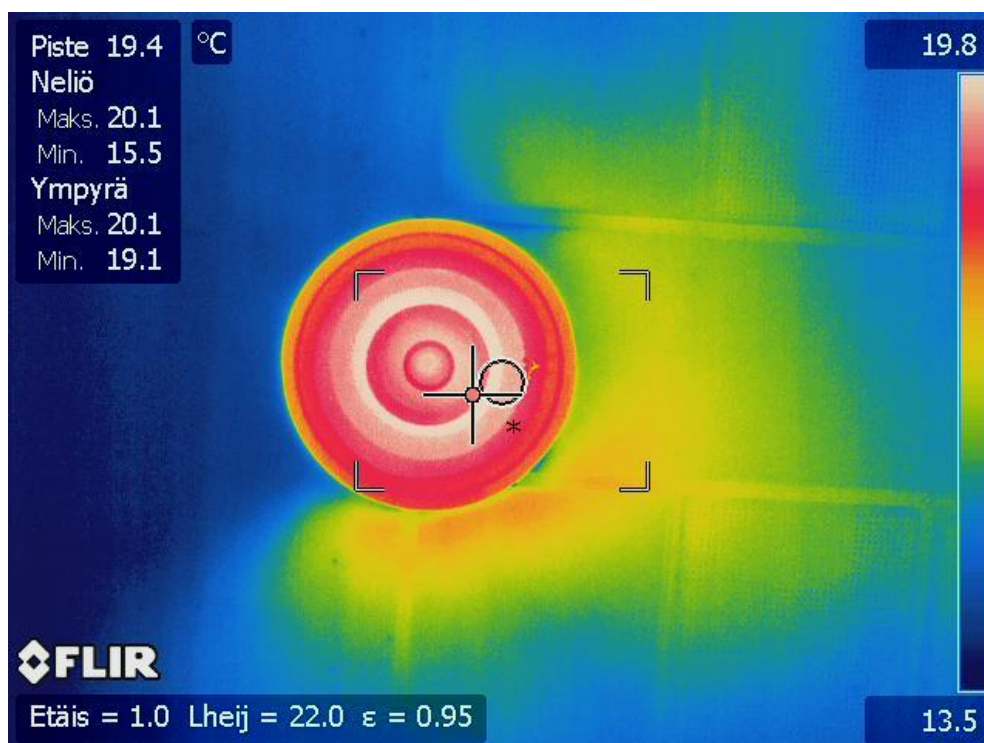
Kuva IR_2173



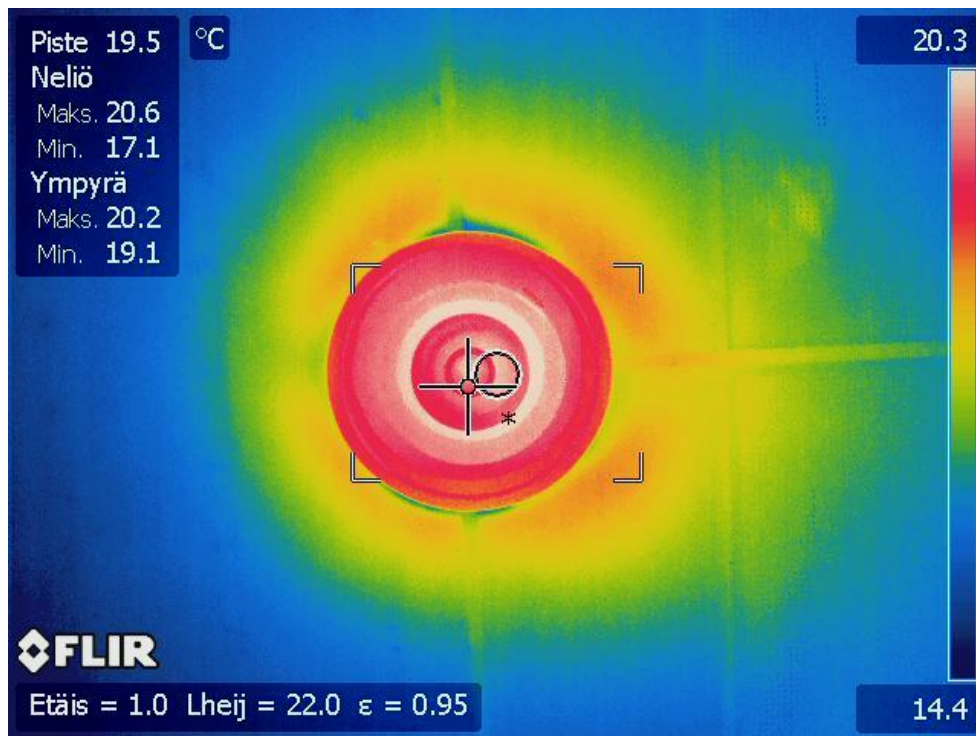
Kuva IR_2183



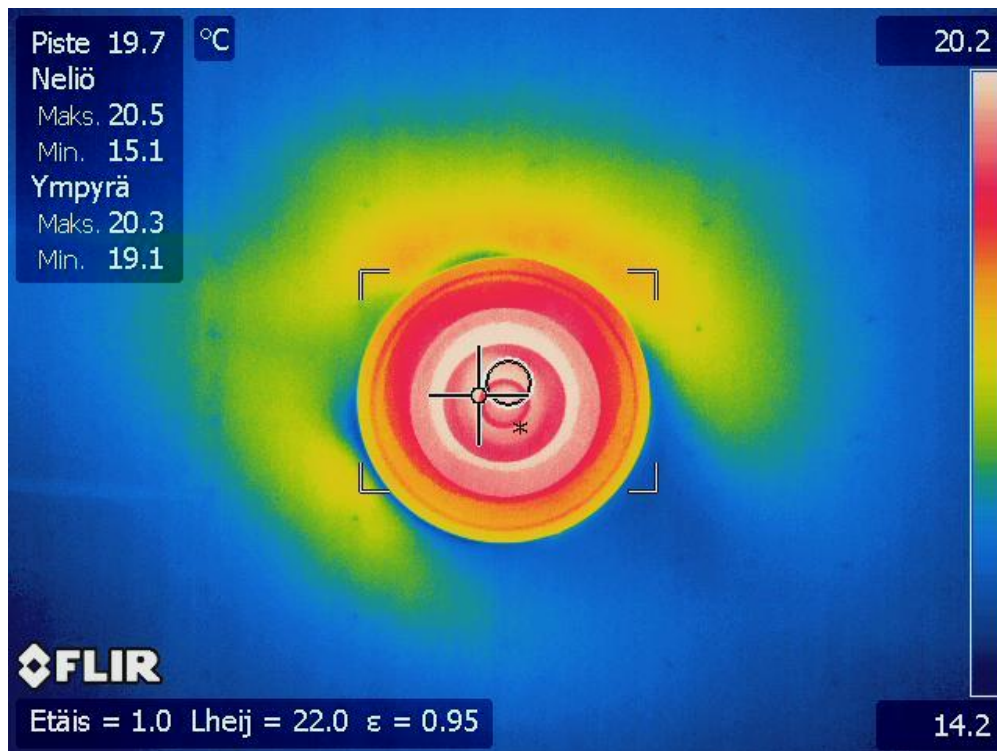
Kuva IR_2185



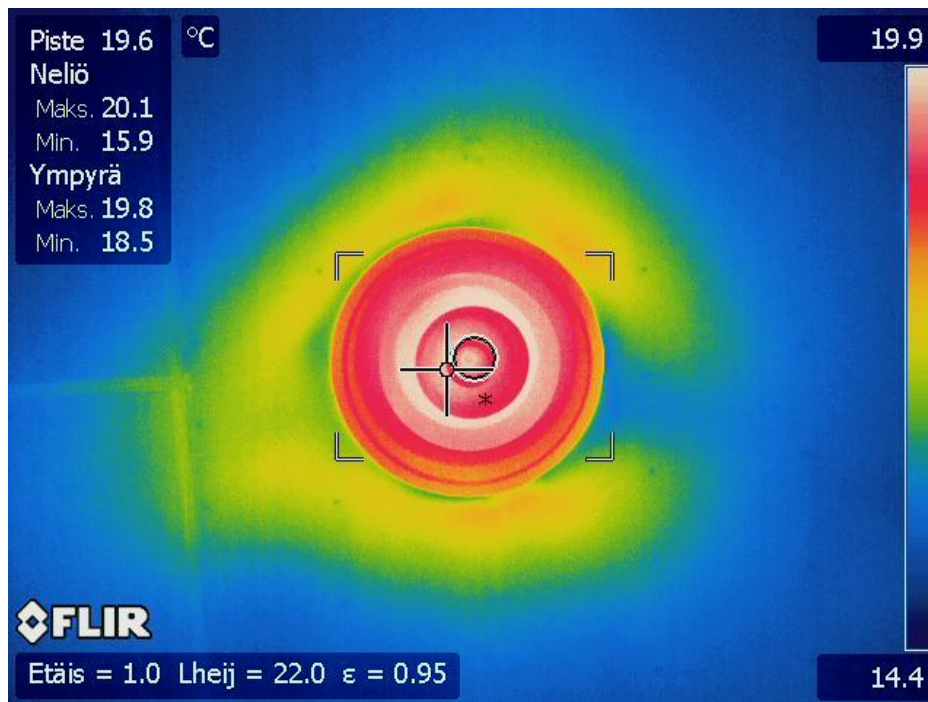
Kuva IR_2198



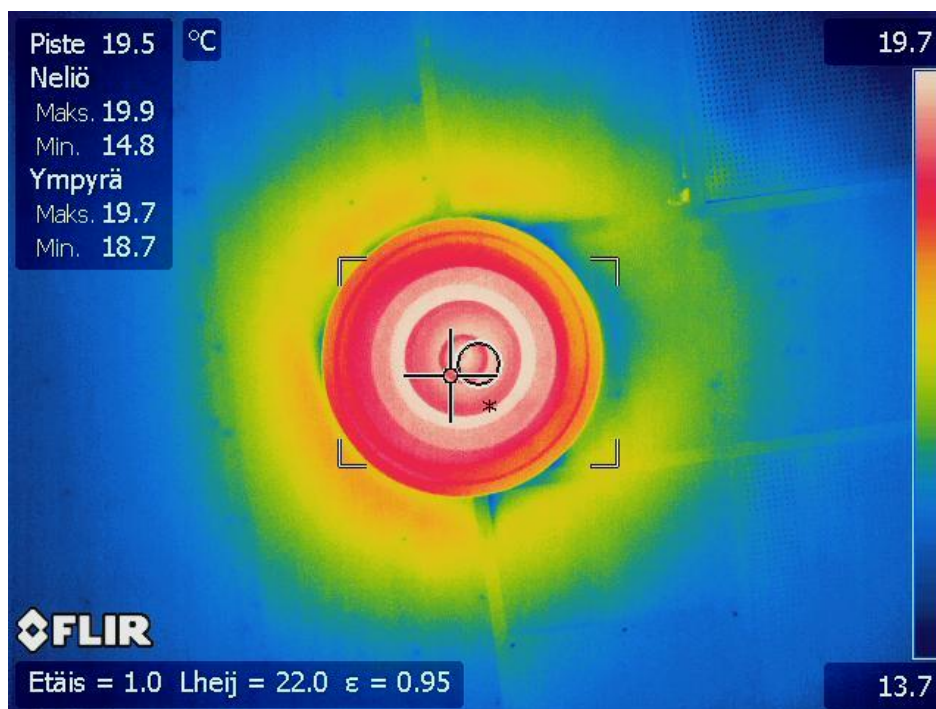
Kuva IR_2200



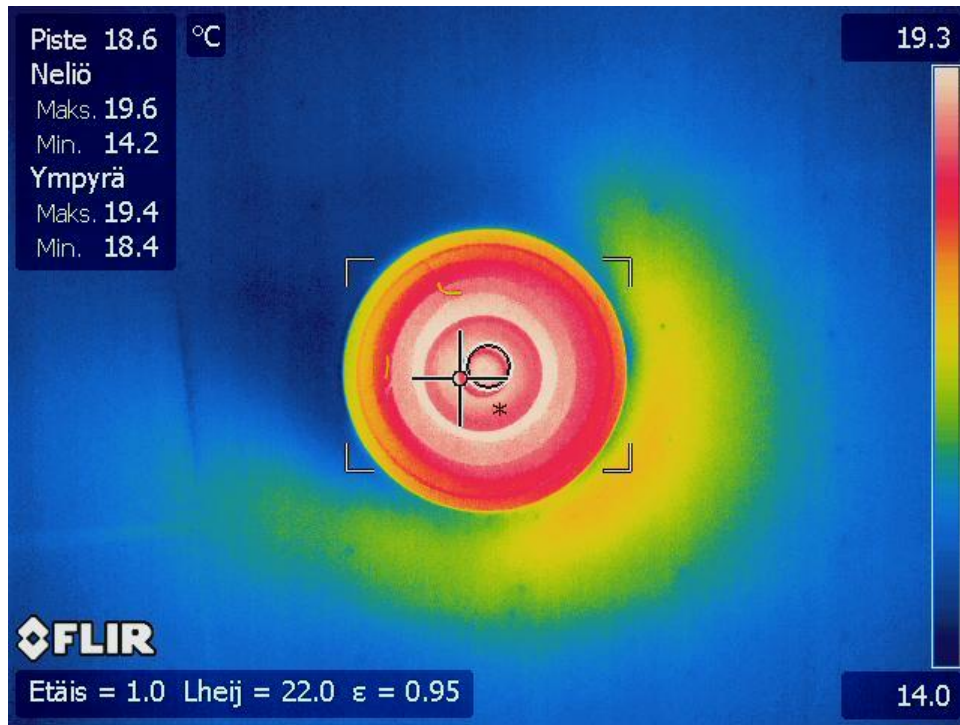
Kuva IR_2202



Kuva IR_2204

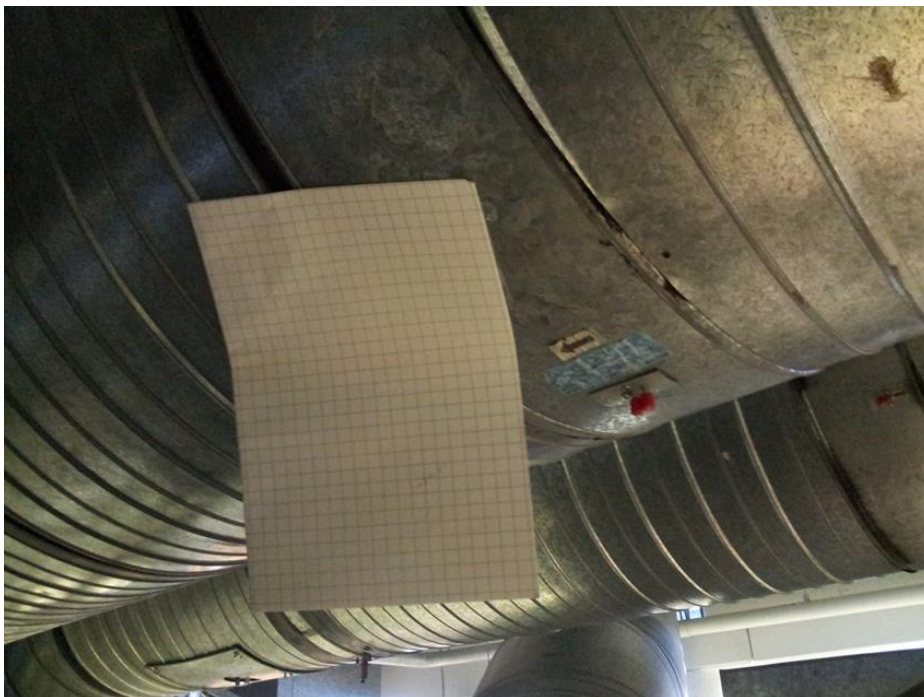


Kuva IR_2206



Kuva IR_2208

Liite 2: Kuvia ongelmakohtista



Kuva a) Leppävaara G303, vuotava poistokanava



Kuva b) Leppävaara G303, kammion irtonainen tiiviste



Kuva c) Leppävaara G310, vuotava sauma



Kuva d) Myyrmäki TK17, syöpynyt kammio