

Jussi Viitanen

TARPEENMUKAISTEN ILMANVAIHTO- JÄRJESTELMIEN TOIMIIVUUDEN VER- TAILU HELSINKILÄISISSÄ KOULUISSA

Opinnäytetyö
Talotekniikka

2017



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Jussi Viitanen	Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2017
Opinnäytetyön nimi Tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimivuuden vertailu helsinkiläisissä kouluissa		43 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja Helsingin kaupungin Kiinteistövirasto, Tilakeskus		
Ohjaaja Heikki Salomaa		
Tiivistelmä Tässä Helsingin kaupungin Tilakeskuksen toimeksi antamassa opinnäytetyössä tutkitaan koulurakennuksissa olevien tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimivuutta. Toimivuutta tarkastellaan järjestelmien käyttäjien, huoltajien ja suunnittelijoiden näkökulmista ja pyritään määrittämään millaiset tarpeenmukaiset ilmanvaihtojärjestelmät ovat olleet toimivia. Tavoitteena on saada luotua tilaajalle kuva siitä, minkälaisia järjestelmiä tulevaisuuden hankkeissa kannattaa suosia ja mahdollisesti määrittää nykyjärjestelmien ongelmakohtia. Tutkimuksen kohteeksi päätettiin kolme koulurakennusta Helsingissä. Näiden kohteiden järjestelmiä tarkasteltiin perehtymällä saatavilla oleviin automaation mittausdataan, kohteiden piirustuksiin ja toimintaselostuksiin ja haastatteluihin jotka tehtiin kohteiden isännöitsijöille ja huoltajille. Tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien ongelmia ei suoraan voida osoittaa, vaan ne ovat monien asioiden summa. Kohteiden järjestelmissä ilmenevät ongelmat koostuvat laitteiden normaalista kulumisesta, virheistä asennusvaiheessa, vääränlaisista säädöistä ja huollon sekä käytön virheistä.		
Asiasanat ilmanvaihto, ilmanvaihtojärjestelmät, ilmanvaihtolaitteet, ilmastointi, rakennusautomaatio		

Author (authors)	Degree	Time
Jussi Viitanen	Bachelor of engineering	April 2017
Thesis Title		
Functionality of demand based ventilation systems in schools in Helsinki		43 pages 4 pages of appendices
Commissioned by		
City of Helsinki, Building administration, facility administration		
Supervisor		
Heikki Salomaa		
Abstract		
<p>This bachelor's thesis assigned by the Building administration of the City of Helsinki is about the functionality of demand based ventilation systems in school buildings. Functionality will be assessed from the users', caretakers' and designers' point of view. Main point of this thesis was to view different ventilation systems and try to find out which have been working properly thus creating basis for the building administration to decide what kind of ventilation systems they will use in the future and possibly to find out what kind of problems there are in the existing systems</p> <p>Three schools in Helsinki were assigned for this thesis. Systems in these buildings were studied by collecting all available automation data, blueprints, manuals and by interviewing property managers of the schools.</p> <p>The issues with demand based ventilation systems can't be pointed out to any specific reason, they are a sum of many problems often unrelated to one another. The problems with the systems consist of the normal wear and tear of instruments and equipment, mistakes made when building the system, incorrect adjustment of the equipment and mistakes made by the users and maintenance.</p>		
Keywords		
ventilation, ventilation systems, ventilation equipment, Air conditioning, building automation		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ILMANVAIHDOSTA YLEISESTI.....	7
2.1	Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmistä.....	8
2.1.1	Painovoimainen ilmanvaihto.....	9
2.1.2	Koneellinen poistoilmanvaihto.....	9
2.1.3	Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto.....	10
3	TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO.....	11
3.1	Ilmavirtojen mittaamisesta ja säädöstä.....	12
3.1.1	Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus.....	14
3.2	Säätölaitteista.....	14
3.3	Ilmanjako.....	15
4	KOhteiden JÄRJESTELMÄT.....	17
4.1	Ilmanvaihto Poikkilaakson koulussa.....	17
4.2	Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels.....	21
4.3	Myllypuron ala-asteen ilmanvaihtojärjestelmä.....	29
5	KOhteiden ISÄNNÖITSIJÖIDEN JA KÄYTTÄJIEN HAASTATTELUT.....	33
5.1	Poikkilaakson ala-aste.....	33
5.2	Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels.....	33
5.3	Myllypuron ala-aste.....	34
6	KOhteista KERÄTYN AUTOMAATIODATAN KÄSITTELY.....	34
6.1	Poikkilaakson ala-aste.....	35
6.2	Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels.....	36
6.3	Myllypuron ala-aste.....	37
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	38
8	POHDINTA.....	40

LÄHTEET.....	42
--------------	----

LIITTEET

Liite 1 Teknisten isännöitsijöiden haastattelun runko

Liite 2. Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje,
IV-järjestelmiä koskevat ohjeet

1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa rakentamisessa energiankulutuksen vähentäminen on polttava puheenaihe. Jatkuvasti kiristyvät energiankulutusta koskevat määräykset vaikuttavat merkittävästi myös talotekniikka-alaan. Energiaa rakennuksissa kuluttavat lämmitys, ilmanvaihto, lämpimän käyttöveden tuottaminen, valaistus ja sähkölaitteet.

Energiansäästöyiden lisäksi tärkeää on rakennusten käyttötarkoituksen mukaiset sisäilmasto-olosuhteet. On todettu, että sisäilmalla on merkittävä vaikutus kiinteistön käyttäjien hyvinvointiin ja tehokkuuteen. [1.]

Helsingin kaupungin kiinteistöviraston Tilakeskus on toimeksiantanut tämän opinnäytetyön selvittääkseen koulurakennuksissa käytettävien tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimivuutta. Opinnäytetyössä tutkittiin kolmea koulua Helsingissä: Poikkilaakson koulu, Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels, ja Myllypuron ala-aste. Opinnäytetyössä ei tehdä erillistä sisäilmastotutkimusta, vaan sisäilman olosuhteita tarkastellaan automaatioidatan perusteella, niin laajalti kuin mahdollista.

Ilmanvaihtojärjestelmien muutos vakioilmavirtajärjestelmistä tarpeenmukaisiksi johtuu tahdosta pienentää järjestelmien energiankulutusta. Periaatteessa kun ilmavirtaa ohjataan hetkellisen tarpeen mukaan, voidaan vähentää järjestelmän kuluttamaa energiaa ja muodostaa säästöjä. Kuitenkaan tarpeenmukaiset ilmanvaihtojärjestelmät eivät ole täysin ongelmattomia jo pelkästään niiden lisääntyneiden automaatiojärjestelmien määrän vuoksi verrattuna perinteiseen vakioilmavirtajärjestelmään. Yleisesti tarpeenmukaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä voidaan saavuttaa paremmat sisäilmasto-olosuhteet ja parempi energiatehokkuus, mutta vakioilmavirtajärjestelmiin verrattuna huomattavasti suurempaa automaatiota joudutaan todennäköisesti huoltamaan useammin.[2.]

2 ILMANVAIHDOSTA YLEISESTI

Rakennusten sisäilmastoa ohjataan erilaisilla ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmillä, joiden päätarkoituksena on hallitusti poistaa likaantunut ilma ja tuoda puhdasta ja raikasta ilmaa sinne missä sille on tarve. Ilmastointijärjestelmillä myös voidaan hallita tilojen lämpöolosuhteita ja/tai ilmankosteutta. Vuosien varrella ilmastointijärjestelmät ovat kehittyneet painovoimaisista järjestelemistä, koneelliseksi poistoilmajärjestelmiksi ja nykyään koneelliseksi tulo-poistoilmajärjestelmiksi. Tulevaisuudessa ilmastointijärjestelmien suunta on yhä enemmän se, että ne voisivat automaation avulla kohdistaa tulo- ja poistoilmamäärät jokaisen tilan tarpeen mukaan sen sijaan, että tulo- ja poistoilmavirrat pysyvät tasaisina. Jo nyt uudisrakennuksissa on tarvetta sisäilmaston olosuhteiden ohjaamiselle, etenkin lämpötiloja pyritään kuumimpien aikojen huippuina leikkaamaan, jolloin ilmastointijärjestelmät tulee varustaa jäähdytysmahdollisuudella.

Terveellisen ja viihtyisän sisäilmaston saavuttamiseksi on olemassa määräyksiä ja ohjeita kuten, Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2, Sisäministeriön asumisterveysasetus sekä Sisäilmayhdistys ry:n sisäilmastoluokitus. [3;4;5.] Tutkituissa koulurakennuksissa suunnittelussa on käytetty Helsingin kaupungin suunnitteluohjeita, jotka ovat linjassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 (SRMK D2) ohjeistusta ilmanvaihtojärjestelmien suhteen. SMRK D2:ssa määrätään, että ulkoilmavirta on oltava yleensä, vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ja, että oppilaitosten opetustiloissa ilmavirran tulee olla $6 \text{ dm}^3/\text{hlö}$, kuten kuvassa yksi tulee esille.

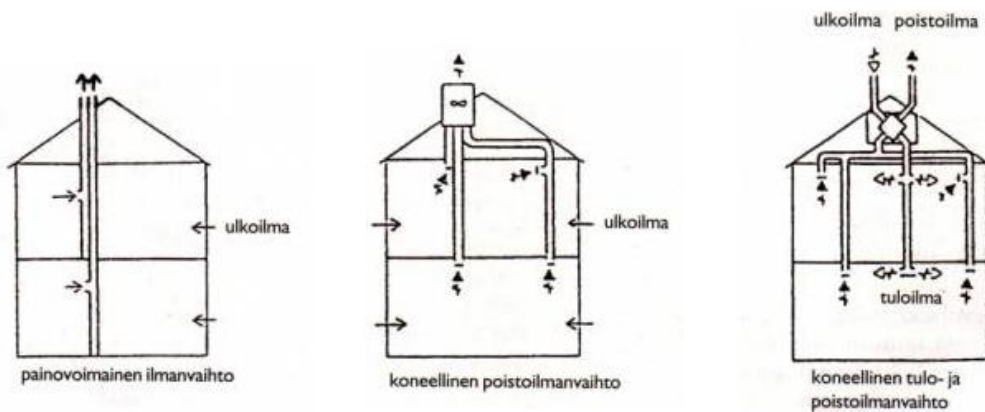
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Opetustilat	6	3		33 / 38 *	0,20 / 0,30	#4, *C1 ohje
Käytävät / Aulat		4		38 / 43		#2
Liikuntasali:						#3
– liikuntasalikäyttö		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 ilmankäytön ohjevarvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttölaitteisiin.					
#4	Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					
#S	Voi käyttää siirtoilmaa					

Kuva 1. Ilmavirrat oppilaitoksissa (SRMK D2, 2011)

2.1 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmistä

Ilmanvaihtojärjestelmät voidaan pääosin jakaa kolmeen ryhmään, painovoimaiset, koneelliset poistoilmajärjestelmät ja koneelliset tulo-poistoilmajärjestelmät. Tässä kappaleessa käsitellään järjestelmiä yleisellä tasolla ja myöhemmin tarkennetaan oppinäytetyön kannalta olennaista tietoa.

Ilmanvaihtojärjestelmiä ei pidä sekoittaa ilmastointijärjestelmiin. Yleinen ero niiden välillä on, että ilmastointijärjestelmillä pystytään laajemmin vaikuttamaan rakennusten, tai tilojen olosuhteisiin kuten lämpötilaan ja ilmankosteuteen. [6.]



Kuva 2. Ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteet (Sisäilmäyhdistys, 2008)

2.1.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu termisiin voimiin sisä- ja ulkoilman olosuhteiden välillä. Lämpötilaerot ulko- ja sisäilman välillä saavat aikaan sen, että likaantunut ilma poistuu yhteishormien kautta katolle, ja joko ilmanvaihtoventtiileistä tai karmiventtiileistä tilalle tulee uutta raitista ilmaa. Kuten esitetään kuvan 2 vasemmassa reunassa.

Painovoimaista ilmanvaihtoa on käytetty rakentamisessa vuosikymmenten ajan, ja sen suurin etu on se, että järjestelmä ei tarvitse toimiakseen minkäänlaisia puhaltimia. Täten se ei kuluta ilmanvaihtoon puhallinenergiaa vaan energiaa kuluu etenkin talviaikaan, kun korvausilma otetaan suoraan ulkoilmasta, jolloin se joudutaan lämmittämään huonetilassa. Energiankulutuksen lisäksi tästä voi aiheutua vedontunnetta Ongelma järjestelmässä kuitenkin on, että sen toimivuus perustuu lämpötilaeroihin, jotka Suomessa vaihtelevat vuoden aikojen mukaan voimakkaasti.. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihtojärjestelmän painesuhteet saattavat myös vaihdella, mikäli ulkona tuulee kovasti ja tämä aiheuttaa vaihtelevaa imua poistoilmaventtiileissä. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon ei myöskään voida tehdä lämmöntalteenottoa.

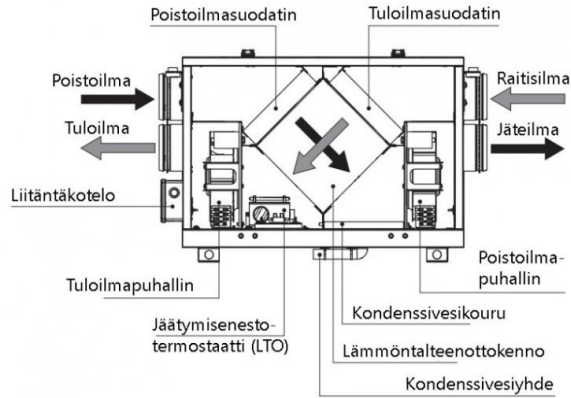
2.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa asuntojen ns. ”likaisista tiloista” kuten keittiöistä ja kylpyhuoneista johdetaan poistoilma yhteishormien kautta poistoilmapuhaltimen voimalla katolle ja ulos. Järjestelmä toimii yleensä aikaohjauksella, jossa ilmaa poistetaan enemmän likakuormien oletettuina piikkiaikoina, kuten aamuisin ja iltapäivisin. Korvausilma otetaan kuten painovoimaisessakin ilmanvaihdossa rakenteiden läpi korvausilmaventtiilein tai ikkunan karmissa olevalla korvausilmaukolla. Koneellinen poistoilmanvaihto on esitetty kuvassa 2 keskellä. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa korvausilman lämmittäminen on myös huonetiloissa olevien lämmityslaitteiden ja -järjestelmien vastuulla. Lisäksi lämpöenergiaa hukataan jatkuvasti, kun likaantunut huoneilma puhalletaan yhteiskanavien kautta suoraan ulkoilmaan ilman lämmöntalteenottoa. Koneellinen poistoilmanvaihto on

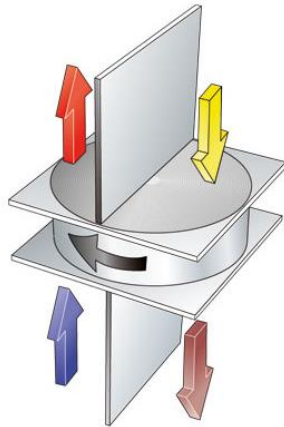
kuitenkin toimintavarmuudeltaan painovoimaista ilmanvaihtoa parempi, sillä poistoilmapuhallin toimii ulkoilman olosuhteista huolimatta. Koneellisten poistoilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi poistoilman lämmöntalteenotolla.

2.1.3 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo- poistoilmanvaihdossa sekä poistoilma, että tuloilma tuodaan hallitusti rakennukseen. Järjestelmä mahdollistaa tuloilman suodattamisen, sekä lämmöntalteenoton poistoilmasta. Yleensä poistoilmaventtiilit asetetaan likaisiin tiloihin ja tuloilmaventtiilit makuuhuoneisiin ja oleskelutiloihin. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon toimintaperiaate on esitetty kuvan 2 oikeassa reunassa. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen pientalokohteen ilmastointikone ristivirtalämmönsiirtimellä. Kuvassa 4 on esitetty pyörivän lämmönsiirtimen toimintaperiaate. Koneellisessa tulo-poistoilmanvaihdossa suurimmat hyödyt ovat sisäilmaolosuhteiden hallinta, lämmöntalteenotto poistoilmasta ja tuloilman suodattaminen. Lisäksi järjestelmiä pystytään yleensä tehostamaan tarpeen vaatiessa, eivätkä välttämättä ole sidottuja aikaohjelmaan. Kuitenkin koneelliset tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmät ovat hankintakustannuksiltaan kalliimpia kuin painovoimaiset- ja koneelliset poistojärjestelmät. Lämmöntalteenottolaitteet ovat kehittyneet vuosien varrella aina tehokkaammiksi, yleisin lämmöntalteenottolaite pientaloissa on ristivirtalämmönsiirrin, jossa poistoilman lämpö siirtyy johtavan metallilevyn kautta viileämpään tuloilmaan. Pyörivä lämmönsiirrin kerää lämpöä poistoilmasta ja kiekon pyörähtäessä tuloilmaa vasten tämä lämpö siirtyy tuloilmaan samalla sekoittaen hie- man tulo- ja poistoilmoja. Tulo- ja poistoilmojen sekoittuminen on kuitenkin hyvin vähäistä, ja jokseenkin kohonnutta VOC-yhdisteiden ja asetonin kohdalla. [7.] Pyörivän lämmönsiirtimen etu on myös, että se ei tarvitse kondenssivedenpoistoa ja siirtää kosteutta tuloilmaan. [8.]



Kuva 3. Pientalon ilmanvaihtokone ristivirtalämmönsiirtimellä [8.]



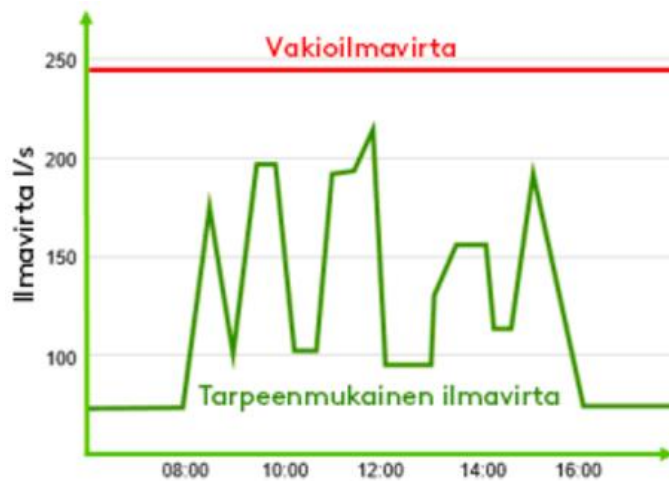
Kuva 4. Pyörivä lämmönsiirrin, jossa punainen nuoli kuvaa tuloilmaa ja keltainen nuoli poistoilmaa [9.]

3 TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ilmamäärät pyritään sovittamaan siten, että rakennuksesta ei poisteta, eikä sinne puhalleta enempää ilmaa kuin on tarpeen. Käyttöaikana rakennuksen ilmavirtaukset voivat muuttella pienimmästä sallitusta virtaamasta ylöspäin. Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä tavoitellaan energiasäästöjä, kun vähennetään puhaltimien kuluttamaan energiaa, sekä tuloilman lämmittämiseksi tarvittavaa energiaa. Järjestelmää ohjataan erilaisilla anturoinneilla tila- tai vyöhykekohtaisesti. Anturoinneissa voidaan käyttää esimerkiksi hiilidioksidi-, läsnäolo-, lämpötila-, ja VOC-antureita eli epäpuhtausanturi. Anturitietojen perusteella pyritään määrittämään tilan vaatima ilmamäärä, ja ilmanvaihtojärjestelmä muuttaa puhaltimien, säätöpeltien ja mahdollisesti päätelaitteiden

asentoja siten, että ilma voidaan johtaa tilaan. Monesti järjestelmät suunnitellaan ns. vakiopaineisiksi, jolloin puhaltimilla pidetään tietty paine jossakin kanaviston osassa, jolloin saadaan vaadittu ilmamäärä päätelaitteista.

Kuvassa 5 punaisella on piirretty vakioilmavirran määrä esimerkiksi toimistorakennuksessa ja vihreällä todellinen, läsnäoloon perustuva ilmavirta eri aikoina. Kuvasta nähdään kuinka ilmavirrat voivat muuttua kun, suuremmalle ilmamäärälle ei ole tarvetta[10.]



Kuva 5. periaatekuva ilmavirroista ajan funktiona (Swegon, 2016)

IMS-järjestelmät, eli VAV-järjestelmät (Variable Air Volume) sopivat hyvin rakennuksiin ja tiloihin, joissa tarvitaan suuria ilmamääriä ja joissa lämpötilat ovat riippuvaisia ihmisten määrästä tilassa sekä tilan kuormituksen vaihtelu on suurta. Ilmavirtoja ohjataan kanavasta mitattavan hiilidioksidipitoisuuden avulla säätöpellein.

3.1 Ilmavirtojen mittaamisesta ja säädöstä

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan ennen ilmanvaihtojärjestelmien mittausta ja säätöä tulee tarkastaa, että ilmanvaihtojärjestelmä on niin valmis, että mittaus- ja säätötyöt voidaan tehdä. Kriteerit esitetty kuvassa 6.

Toimintakokeet suoritetaan ennen ilmavirtojen mittausta ja säätöä. Ennen kokeiden aloittamista tarkistetaan, ettei rakennus tai ilmanvaihtojärjestelmä ole niin keskeneräinen, että se vaikuttaisi ilmavirtoihin, paineisiin tai siirtoilman virtaussuuntiin. Tällöin tarkistetaan, että rakennus on riittävän puhdas, tiloissa ei enää tehdä pölyäviä rakennustöitä, ilmanvaihtolaitteiden suodattimet on asennettu sekä ovet ja ikkunat ovat paikallaan. Rakennuksen ja sen ilmanvaihtojärjestelmän riittävän puhtauden vähintään silmämääräinen tarkastus varmennetaan rakennustyön tarkastusasiakirjaan.

Kuva 6. Määräys ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennuksen valmiudesta ennen mittausta ja säätöä [SRMK D2 4.1.2.2]

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ilmavirtojen on toteuduttava huoneissa 20 % ja ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisilmavirtojen 10 % rajoissa. [3.] Tarpeenmukaisia ilmanvaihtojärjestelmiä on yleisellä tasolla kuvattuna kahdenlaisia, vakiopaineen mukaan säädettyjä sekä ilmavirran mukaan säädettyjä. Perustavan laatuinen ero näiden välillä on se, että vakiopainejärjestelmissä puhaltimella pyritään pitämään tiettyä painearvoa yleensä tuloilman jakokanavassa, eli kanavassa, josta ilma hajotetaan eri tiloihin. Ilmavirran mukaan säädettyissä järjestelmissä ilmavirta voidaan ohjata muuttumaan esivalittujen minimi- ja maksimiarvojen välillä. [11.]

Vakioilmavirta järjestelmät tasapainotetaan suhteellisella menetelmällä, jossa säätö tapahtuu enimmäkseen päätelaitteita säätämällä. Säätö aloitetaan avamalla kaikki päätelaitteet täysin auki, jonka jälkeen paine-eromittauksella etsitään laite, jonka mitatun ja suunnitellun ilmavirran suhde on pienin. Tämän jälkeen järjestelmän äärimmäisimmän tai vaikeimman laitteen ilmavirta säädetään siten, että se on sama kuin pienin suhde. Tämän jälkeen jokainen päätelaite säädetään vastaamaan äärimmäisimmän laitteen suunnitellun ja mitatun ilmavirran suhdetta. Lopuksi säätöpeltiä säätämällä saadaan jokaiselle laitteelle suunniteltu ilmavirta. Nykyisistä ilmanvaihtokanaviston suunnitteluohjelmista saadaan päätelaitteille ja säätöpelleille omat säätöarvot, joten järjestelmä voidaan periaatteessa tasapainottaa myös niiden perusteella. Jälkikäteen tarkastellaan, löytyykö poikkeavia ilmavirtoja ja jos järjestelmää ei saada esisäätöjen perusteella tasapainoon, täytyy tehdä suhteellinen tasapainotus.

3.1.1 Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus

Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmä on niin sanottu itsesäätyvä järjestelmä. Tämä tarkoittaa, että kun toimittaja tai valmistaja on asettanut suunnitellut ilmavirta-arvot ilmavirtasäätimille ja kanavat asetetaan suunnitellun paineen alaisiksi, ilmavirtojen pitäisi asettua oikein. Vaihtoehtoisesti tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä voidaan tasapainottaa suhteellisella menetelmällä siten, että säätimet asetetaan täysin auki ja tehdään tarkistusmittauksia minimi arvoilla, sekä tilojen todennäköisillä ilmavirran tarpeilla. Itsesäätyminen edellyttää kuitenkin, että järjestelmä on rakennettu, huollettu ja käyttöön otettu oikein.[6.]

3.2 Säätolaitteista

Ilmavirtoja kanavistossa säädellään erilaisilla säätöpelteillä sekä huonetiloissa olevilla päätelaitteilla. Vakioilmavirtajärjestelmissä voi riittää, että päätelaitteet ja säätöpellit säädetään vain järjestelmän käyttöönoton yhteydessä, sillä järjestelmien ilmavirtoja ei välttämättä tarvitse koskaan muuttaa. Tarpeenmukaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä säätöpeltejä ja mahdollisesti päätelaitteita ohjataan avautumaan sekä sulkeutumaan rakennusautomaation avulla. Ilmanvaihtojärjestelmissä on myös kanavaan sijoitettuja ilmavirran mittauslaitteita. Tyypillisimpiä säätölaitteita ovat, moottoripellit ja iris-pellit sekä suorakaiteen muotoiset säätöpellit, joista mallit on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Erilaisia kanavaan asennettavia säätöpeltejä (vas. Fläkt Woods, 2016, Swegon, 2016, Lindab, 2016)

Ilmavirtoja voidaan siis mitata suoraan huonetilojen päätelaitteilta, mutta varsinkin IMS-järjestelmissä kanavissa on ohjaukseen käytettäviä ilmavirran mittauslaitteita. Eri valmistajien mittaussyhteitä on esitetty kuvassa 8. Kuvassa on ultraäänellä ilmavirtaa mittaava laite (vas) ja perinteinen paine-eromittauksella toimiva laite.



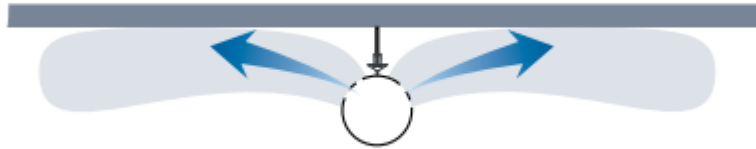
Kuva 8. Kanavaan asennettavia ilmavirran mittauslaitteita (vas. Lindab Ultralink, 2016, oik, FläktWoods, mittarengas, 2016)

3.3 Ilmanjako

Ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelussa, sisäilmaston laatuun vaikuttaa myös huomattavasti valittu ilmanjakotapa. Ilmanjakotavat jaetaan yleisimmin suurnopeus-, piennopeus-, sekoitus-, syrjäytys- ja mäntäilmanjakoon. Näistä jokainen soveltuu hieman erilaiseen tilailmastointiin eli tavoitteen asetteluun, jolla pyritään luomaan tilaan tietynlainen lämpö-, epäpuhtaus-, ja kosteusjakauma. Erilaisilla ilmanjakolaitteilla pystytään luomaan erilaisia ilmanjakotapoja. [11.] Ilmastointijärjestelmien ilmanjaossa tulee huomioida myös mahdollinen jäähdytys ja ilmankosteutus.

Tuloilman ja etenkin jäähdytyksen saaminen oleskeluvyöhykkeelle voi tapahtua vaikuttamalla ilmanvaihdon päätelaitteen heittopituuteen. Kun ilmaa puhalletaan päätelaitteelta, tätä kutsutaan Coanda-ilmiöksi. Ilmiötä hyödynnetään ilmavirtojen ohjaamisessa oleskeluvyöhykkeelle. Kun jäähdytetty ilma kulkee esimerkiksi kattopintaa pitkin, voidaan se johtaa pienemmällä virtausnopeudella oleskeluvyöhykkeelle pienemmällä vetoriskillä. Coanda-ilmiö on havainnollistettu kuvassa 9. Il-

miö perustuu ilmavirran nosteeseen, sekä sen liikemäärään kun ilmaa puhalletaan päätelaitteesta. Coanda-ilmiöön vaikuttaa pinnan tasaisuus, johon ilmaa puhalletaan, joten mikäli esimerkiksi kattoon on asennettu valaisimia liian lähelle kattopintaa, se voi aiheuttaa ilman putoamisen oleskeluyöhykkeelle liian aikaisin ja lisätä vedontunnetta sekä heikentää ilman sekoittumista huoneessa.[5.]



Kuva 9. Coanda-ilmiö saa viileän tuloilman tarttumaan pintaan ja liikkumaan sitä pitkin, jolloin virtausnopeutta tuloilmalaitteella voidaan alentaa. Kuvassa havainnollistettu, kuinka ilma tarttuu suutinkanavalta lähtiessään kattopintaan. [Climecon, 2016]

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa huomioitavaa ovat virtausnopeudet päätelaitteilla, jotta tuloilma saadaan johdettua oleskeluyöhykkeelle. Tämän vuoksi IMS-järjestelmien kanssa tulisi käyttää päätelaitteita, jotka kykenevät säätämään ilmavirran mukaan. Kuten esimerkiksi kuvassa 10, keskellä oleva tasauslaatikollinen tuloilmahajotin.



Kuva 10. Erilaisia ilmanvaihdonpätelaitteita (vas, FläktWoods, 2007, Fläktwoods 2016, Onninen, 2017)

4 KOHTEIDEN JÄRJESTELMÄT

4.1 Ilmanvaihto Poikkilaakson koulussa

Helsingin Jollaksessa vuonna 2001 valmistuneella Poikkilaakson ala-asteella ilmanvaihtoa hoitaa kaksi tulo- ja poistoilmakonetta. Ensimmäiset koneet hoitavat itse ala-asteen ja päiväkodin ilmanvaihtoa ja niiden piirissä olevissa tiloissa on tarpeenmukainen ilmanvaihto. Toinen puoli, jossa sijaitsevat koulun teknisentyön luokat ja liikuntasali ovat vakioilmavirta-ilmanvaihdon piirissä. Ala-asteen ja päiväkodin ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottoa hoidetaan pyörivällä lämmönsiirtimellä ja liikuntasalin ja muiden tilojen lämmöntalteenotto on tehty ristivirtalämmönsiirtimellä. Vessojen ja keittiötilojen poistoilma on johdettu rakennuksesta ulos huippuimureilla kuten myös teknisentyöntilojen laitteiden ja koneiden kohdepoistot.

Päiväkodin ja ala-asteen ilmanvaihto on suunniteltu siten, että tuloilmakone pitää vakiopainetta suureessa tuloilmakanavassa, esitetty kuvassa 11. Tuloilma painetaan hajotuskanavia pitkin luokkatilojen seinän vierustoilla oleviin tuloilmaritilät, joiden päällä huoneiden lämmityspatterit ovat, esitetty kuvat 12, 13 ja 14.

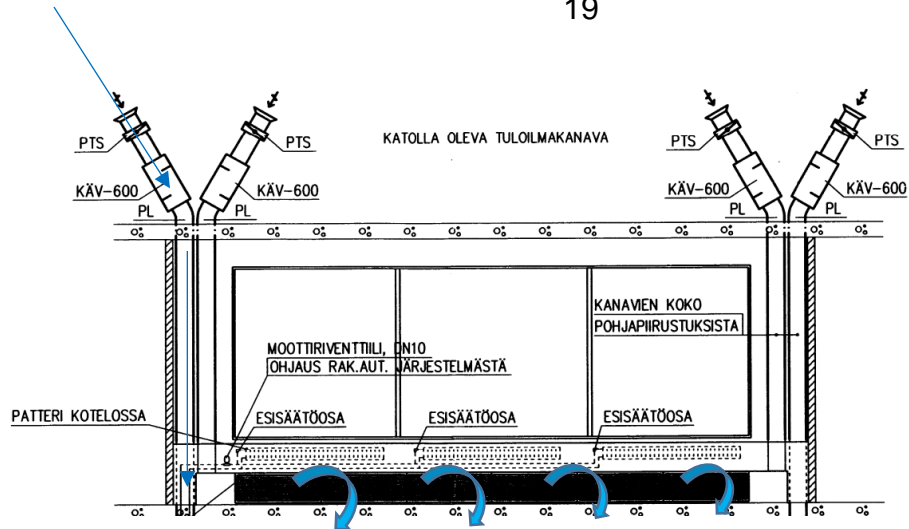


Kuva 11. Tuloilmakanava ja luokkiin lähteviä hajotuksia Poikkilaakson koululla



Kuva 12. Tuloilmaritilä (alla) ja lämmityspattereiden kotelointi

Luokissa ilmanvaihtoa ohjaavat hiilidioksidianturi ja lämpötila-anturi. Myös tilojen lämpötilaa ohjataan keskitetysti lämpötila-anturin mukaan. Tuloilman määrää säädetään hiilidioksidi-anturilla siten, että kun hiilidioksidipitoisuuden mittaus ko-
hoaa yli raja-arvonsa, tuloilmakanavassa oleva moottoripelti alkaa avautua lisä-
ten tuloilman määrää. Kuitenkin, mikäli huoneilma alkaa jäähtyä liikaa, automaa-
tio ohjaa lämpötila-anturin tiedon perusteella moottoripeltiä sulkeutumaan. Huo-
neiden lämmityspattereille menevän menoveden virtaamaa säätelee toimimoot-
tori, jota lämpötila-anturi luokkatilassa ohjaa.



Kuva 13. Tuloilma laitteiden toimintaperiaate Poikkilaakson koululla. Tuloilma liikkuu isosta kanavasta sinisen nuolten osoittamaan suuntaan ylipaineen ansiosta. Mustana näkyvän tuloilmasäleikön päällä lämmityspatterit.



Kuva 14. Luokkatilaan lähtevä tuloilman hajotusputki ja rikkoontunut peltimoottori

Poikkilaaksoissa ala-asteen ja päiväkodin puolen poistoilma hoidetaan keskitetysti ruokailutilan ja auditorion päällä katon rajassa olevasta poistoilma säleiköstä.

Kouluun ei ole rakennettu erillistä poistoilmakanavistoa ilmastoinnin konehuoneen ulkopuolelle, vaan luokista ja huoneista likaantunut ilma siirtyy siirtoilmaventtiilien kautta yleisiin tiloihin ja sitä kautta ruokala-auditorion kautta eteenpäin. Siirtoilmalaitteet ovat käytännössä äänieristettyjä peltisiä kanttikanavia jotka ovat yhteydessä käytäviin luokkatilojen ulkopuolella.



Kuva 15. Siirtoilmalaite Poikkilaakson ala-asteella

Isännöitsijäkyselyn mukaan ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ei ole tullut paljon valitusta, vaan ilmanlaatua tiloissa on pidetty yleisesti hyvänä. Ongelmia on eniten aiheuttanut huonetilojen antureiden viat, ja niistä suurin osa on jo jouduttu vaihtamaan. Kohteessa olevien peltimoottorien asentotieto on luettavissa automaatiojärjestelmästä. Viime aikoina peltimoottorit ovat alkaneet jumiutua, vika ilmenee siten, että vaikka automaatio pyrkii ajamaan moottoria auki se saattaa olla pysähdyksissä joko liian auki tai kiinni.

4.2 Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels

Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels rakennettiin vuonna 2009, jolloin kohteessa otettiin käyttöön IMS-järjestelmä. Ilmastointijärjestelmän uudistaminen aloitettiin vuonna 2014, jolloin kohteen ilmastointijärjestelmä muutettiin vakioilmavirtajärjestelmäksi. Sisäilmasto-ongelmien ilmettyä kohteessa tehtiin kartoitus ilmastointijärjestelmän toimivuudesta ja uuden järjestelmän suunnittelun ohjaukseksi. Ongelmia kohteessa oli esimerkiksi WC-tilojen poistoilmamäärissä, jotka olivat noin 20% alhaisemmat kuin suunnitellut arvot. Lisäksi rakennuksessa IV-konehuoneen lähellä ja ala-aulassa kerrottiin olevan ääniongelmia. IMS-järjestelmän mitaletkuja oli irrallaan, vaikka valmistaja oli käynyt tekemässä niille huoltotöitä. Alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän kanavapaine oli liian alhainen, sillä sitä oli laskettu, ilmeisesti ääniongelmien vuoksi, jolloin suunniteltuihin ilmamääriin ei päästy. Rakennuksessa tehtyjen ilmamäärämittausten yhteydessä kanavapainetta oli korotettu, jolloin ilmamäärät olivat oikein lähes jokaisessa luokkatilassa. Selvityksen mukaan koulun auditorioon suoraan yhteydessä olevien maahan rajoittuvien erillistilojen poistoilmamäärät olivat suunnitellusta huomattavasti liian alhaiset, jolloin mahdolliset epäpuhtaudet ja haitta-aineet ovat jääneet huoneilmaan. Huoneilmasta epäpuhtauksien epäiltiin sekoittuneen pyörivässä lämmöntalteenotossa raittiiseen tuloilmaan, mutta sisäilmastoseelvitystä ei asiasta tehty. Lisäksi rakennuksen jäähdytyslaitteiden lauhduttimet on sijoitettu rakennuksen sisällä oleviin erillisiin tiloihin, joista ilma siirretään samaan kuiluun tulo- ja poistoilman runkokanavien ja tulo- ja poistoilmasäleikköjen kanssa, josta se puhalletaan suoraan ulos. Ilmanvaihto näissä erillisissä tiloissa on ollut riittämätöntä. Tämä on heikentänyt jäähdytysjärjestelmän toimintaa, kun lauhduttimet eivät saa riittävän viileää ilmaa. Edellä mainittuihin syihin perustuen rakennuksen ilmastointijärjestelmän saneeraamiseen päädyttiin, kun havaittiin käyttäjien sisäilmaoireilua ja ilmastointijärjestelmän kuvatus mukaisia epäkohtia.

Rakennuksen keskitetty ilmastointijärjestelmä pyörivällä lämmönsiirtimellä (201TK1/PK1), oli suunniteltu siten, että jokaiseen luokkatilaan tulee oma lämpötila-anturi ja CO₂-anturi, jonka perusteella luokkien ilmavirtoja ohjataan. Ilma on jaettu rakennukseen kierresaumatulla kanavalla ja IMS-laitteita on asennettu ala-

kattojen sisään. Lisäksi auditorion ilmanvaihtoon on suunniteltu oma pienempi ilmanvaihtokone(201TK2/PK2) ristivirtalämmöntalteenotolla, joka hoitaa auditorion ilmanvaihdon lisäksi rakennuksen erillispoistoja. Pienempää ilmavaihtokonetta käytetään myös kun rakennuksessa ei ole tarvetta suuremmille ilmamäärille eli lähinnä yöaikaan ja koulun ollessa suljettuna. Tämä kone on kytketty samaan kanavistoon kuin suurempi ilmastointikone, joka hoitaa rakennuksen muuta ilmanvaihtoa, kuitenkin siten, että se voi käynnistyä, vasta kun pääilmanvaihtokone on pysähtynyt.

Ilmastointijärjestelmän saneerauksen yhteydessä, luokka- ja toimistotilojen ilmanvaihto muutettiin tarpeenmukaisesta vakioilmavirtajärjestelmäksi, ja IMS-laitteet lukittiin auki siten, että ne vastaavat tilojen nimellistä maksimi-ilmavirtaa. Koulun esiintymissalin ilmanvaihto on edelleen tarpeenmukainen. Esiintymissalissa ilmanjako on hoidettu kattoon asennetuilla suutin- ja imukanavilla, sekä salin istuimien alle rakennetulla ilmanjakokammioilla, josta tuloilma on johdettu tilaan istuimien alle asennetuista säleiköistä. Luokka- ja toimistotiloissa ilmanjako tapahtuu alakaton pintaan asennetuilla hajottajilla. Ilmanvaihtoa ohjaa aikaohjelma, jonka mukaan pääilmanvaihtokone on toiminnassa kello 7 – 16 välisenä aikana ja osajärjestelmä 201TK2/PK2 muina aikoina. Kuvat 15 -23 kuvaavat Sandelsin koulun iv-järjestelmän laitteita ja periaatteita.

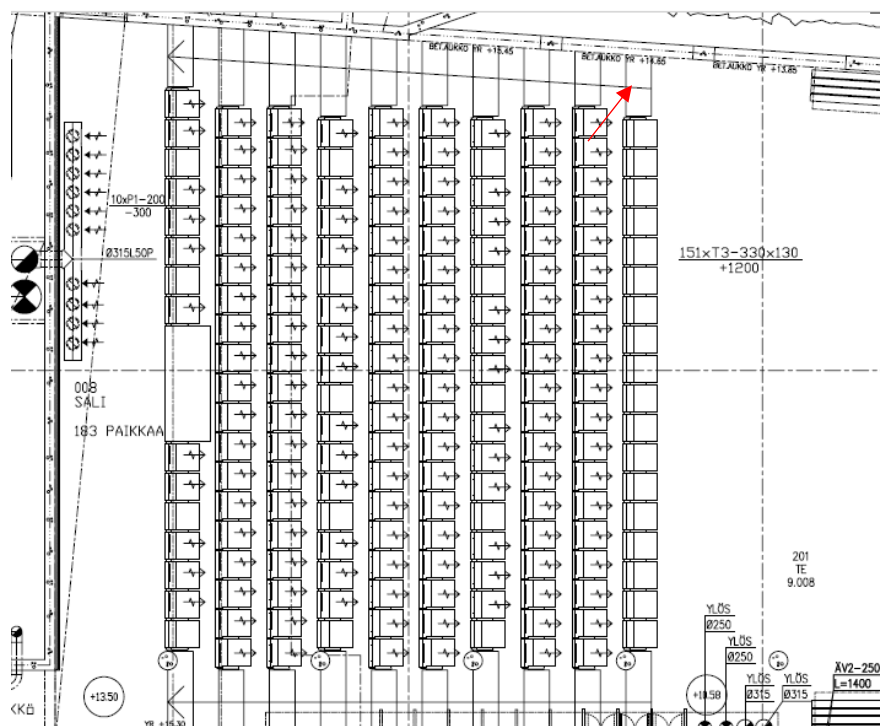


Kuva 16. Pienempi ilmanvaihtokone Sandelsin koululla(201TK2/PK2), oikealla puolella näkyy osa pääilmanvaihtokoneesta (201TK1/PK1)



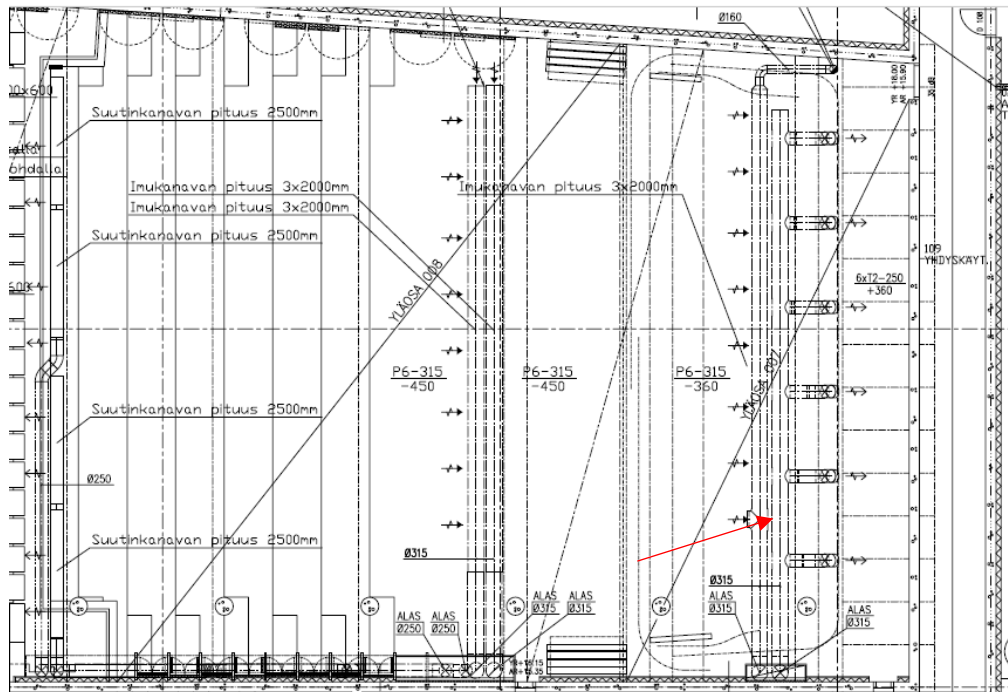
Kuva 17. Maahanrajoittuva kalliin louhittu seinäpinta esiintymistilassa Sandelsin koululla. Kuvan ottoapaikka on merkattu kuvaan 17. punaisella nuolella.

Kuvassa 17 esitetyn maaperään rajoittuvan seinän on osittain epäilty olevan huoneilman epäpuhtauksien lähde kun tilan ilmanvaihto ei ole toiminut riittävän tehokkaasti.



Kuva 18. Sandelsin koulun esiintymissalin tuloilmahajotukset istuimien alla ja poistoilmalaitteet.

Esiintymissalin katsomoon puhalletaan ilmaa istuimien alle rakennetusta tuloilmakammioista säleikköjen läpi, kuten kuvassa 18 esitetään. Osa tilan poistoilman päätelaitteista näkyy katsomon takaosassa. Muita poistoilmalaitteita ovat katossa olevat suutinkanavat jotka on esitetty kuvissa 19 ja 20, tilan tuloilman suutinkanavan kanssa.



Kuva 19. Tulo- ja poistoilmasuuttimet esiintymissalin ja katsomon katossa. Punaisella nuolella esitetty kuvan 19. suutin- ja imukanavat.

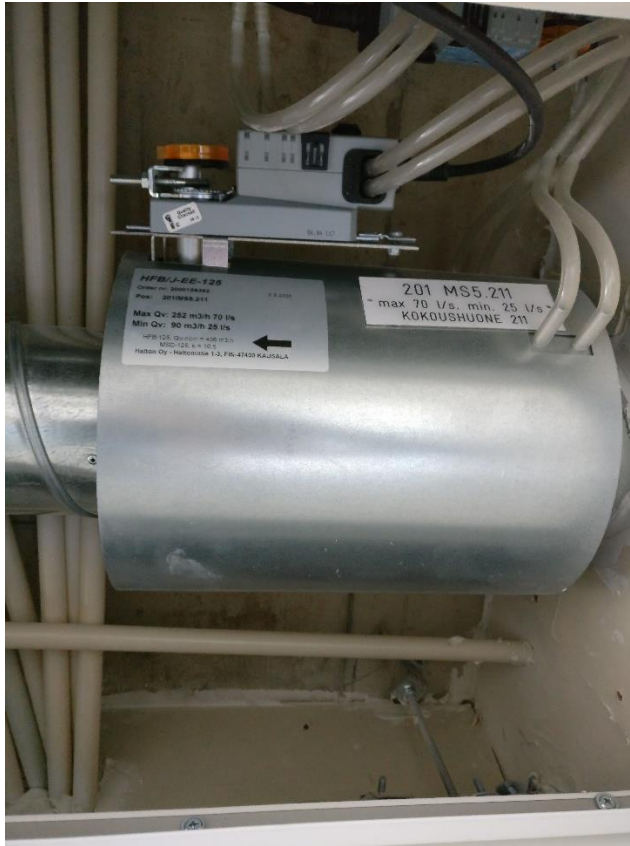


Kuva 20. Tulo- ja poistoilmasuuttimien kotelointi, poistoilman suuntaa kuvaa keltaiset nuolet ja tuloilmaa siniset, esiintymislava kuvan ulkopuolella oikealla



Kuva 21. Tuloilmalaite kokoustilassa

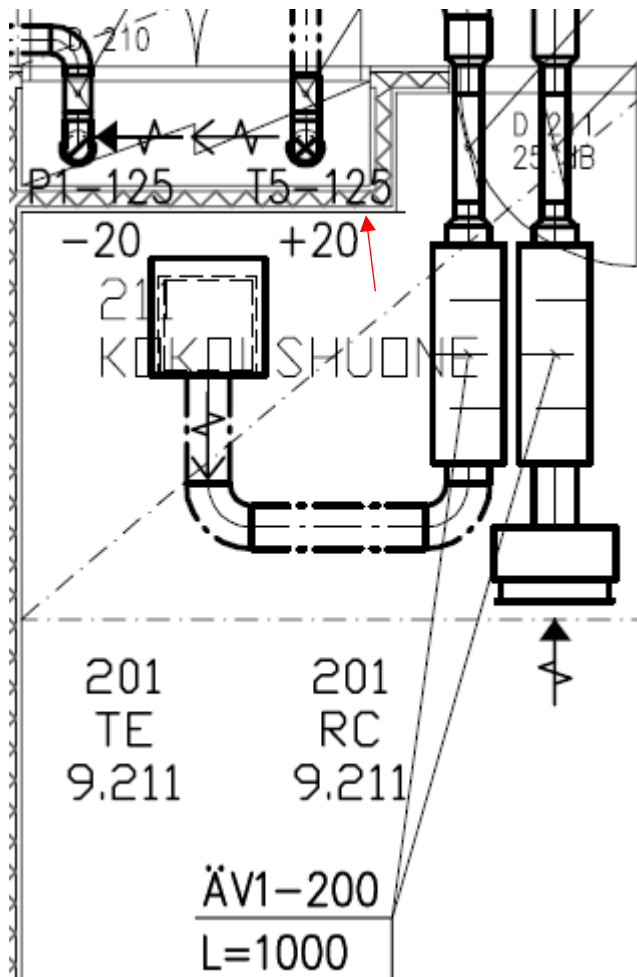
Kuvassa 21 on esitetty tyypillisesti IMS-järjestelmässä käytetty tuloilmanpääte-laite. Tässä tapauksessa sitä kuitenkin käytetään kuten vakioilmavirtajärjestelmän päätelaitetta erona, että säätö tapahtuu kuvassa 22 esitetyllä IMS-laitteella.



Kuva 22. Kokoushuoneen tuloilmalaitteen lukittu IMS-laite



Kuva 23. Lämpötila ja hiilidioksidianturi kokoushuoneessa



Kuva 24. Kokoushuone ilmanvaihtokuvassa, lämpötila-hiilidioksidianturin paikka merkitty punaisella nuolella

Kokoushuoneen ilmanvaihtoa ohjattiin hiilidioksidianturin mittaustiedon perusteella, ennen kuin järjestelmä muutettiin vakioilmavirtajärjestelmäksi. Kuvassa 23 on esitetty hiilidioksidi- ja lämpötila-anturi. Lämpötilan mittaustietoa käytetään huoneen lämmityksen ohjaukseen. Kuvassa 24 on huoneen ilmanvaihtokuvaan merkitty hiilidioksidi- ja lämpötila-anturin paikka.

4.3 Myllypuron ala-asteen ilmanvaihtojärjestelmä

Myllypuron ala-asteella ilmanvaihtojärjestelmä on ilmamääräsäätöinen. Järjestelmä on otettu käyttöön vuonna 2014 samalla kun rakennukseen on tehty perusparannus. Ala-asteen ilmanvaihtojärjestelmä toimii kuudella erikokoisella ilmanvaihtokoneella, joiden konehuoneet on rakennettu koulurakennuksen eri siipien katoille. Eri alueista vastaavien koneiden lämmöntalteenottolaitteet ovat neste-kiertoisia tai pyöriviä. Huonetilojen ilmamääriä ohjataan tarpeen mukaan hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Järjestelmässä on ollut ongelmia sen käyttöönotosta asti. Yleisimmät valitukset ovat tulleet huonetilojen välisistä lämpötilaeroista, kun huoneiden kuormitus on ollut lähes yhtä suurta. Ongelmia mahdollisesti voivat aiheuttaa lämpötila- ja hiilidioksidi anturin sijainti luokkatilassa, sekä mahdollisesti jos IMS-järjestelmää käytetään jäähdyttämiseksi voivat IMS-laitteiden asetukset, joiden mukaan ilmamäärät säätyvät, olla väärin asetettu. Huomautukset epätasaisista sisäilman lämpöolosuhteista voivat johtua myös lämmitysjärjestelmän epätasapainosta, mikäli patteriverkosto ei ole kunnolla tasapainossa, voi se aiheuttaa joihinkin tiloihin liian korkeita lämpötiloja.

Rakennuksen yhden ilmanvaihtokoneen pyörivä lämmönsiirrin on kouluisännän mukaan viallinen, se käytössä ollessaan pyörii hetken, mutta sen jälkeen pysähtyy. Paikalla käyneen automaatioasentajan mukaan laitteen automaatiossa ei ollut vikaa, mutta syytä selvitettiin vielä. Kuvissa 24 – 28 esitetty Myllypuron ala-asteen IV-järjestelmän osia ja periaatteita.



Kuva 25. Ilmanvaihtokone Myllypuron ala-asteella



Kuva 26. Esimerkki lämpötila- ja hiilidioksidianturista Myllypuron ala-asteella. Keskusradion alapuolella, luokan oven viereen asennettuna

Kuvassa 25 on esitetty yksi Myllypuron ala-asteen nestekiertoisella lämmöntalteenotolla varustetuista ilmanvaihtokoneista kuvassa 26 puolestaan hiilidioksidija lämpötila-anturi asennettuna luokkatilan oven viereen.



Kuva 27. Suutinkanavia luokkatilassa Myllypuron ala-asteella. Suutinkanava on yleinen tarpeenmukaisen ilmanvaihdon päätelaite. Ilmavirran suuntaa kuvaa sininen nuoli.

Kuvassa 27 esitettynä on Myllypuron ala-asteen luokkatilojen yleisin tuloilmalaite, joita on useampia asennettuna yhden IMS-laitteen vaikutusalueelle. Suutinkanavalla huonetiloihin voidaan pienellä ilmannopeudella saada paljon ilmamassaa liikkeelle sen pituuden vuoksi. Kuvassa 28 on esitetty luokkatilojen poistoilman lautasventtiilit. Lautasventtiilit on lukittu tiettyyn asentoon, jolloin poistoilmamäärien lisääntyessä, ne voivat aiheuttaa äänihaittoja.



Kuva 28. Poistoilmavettiilit luokkatilassa Myllypuron ala-asteella



Kuva 29. Tuloilmasäleiköt Myllypuron ala-asteen ruokalassa. Poistoilmasäleiköt kotelon alapinnassa. Tuloilma merkattu sinisillä nuolilla ja poistoilma keltaisilla

5 KOHTEIDEN ISÄNNÖITSIJÖIDEN JA KÄYTTÄJIEN HAASTATTELUT

Haastattelut isännöitsijöille tehtiin Helsingin kaupungin kiinteistöviraston toimistolla Helsingissä. Jokaisessa isännöitsijähaastattelussa haastateltiin kyseisen kohteen teknistä isännöitsijää. Käyttjähaastattelut pidettiin kohteissa vierailun yhteydessä, jolloin haastateltiin kyseisen koulun kouluisäntää, jonka tehtävänä on toimia talonmiehen roolissa, tilata tarvittavia huoltoja ja raportoida tekniselle isännöitsijälle mahdollisista ongelmatilanteista.

5.1 Poikkilaakson ala-aste

Isännöitsijän haastattelussa kävi ilmi, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnassa ei pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta ole ollut ongelmia. Suurimmat ongelmat ovat aiheutuneet rikkoontuneista antureista tai epäkuntoon menneistä säätöpelleistä. Järjestelmän monimutkaisuudesta johtuen sen toiminnan ymmärtäminen oli vaikeaa myös isännöitsijälle. Hän kertoi olleensa vastuussa Poikkilaaksosta seitsemän vuoden ajan, että kohteen automaatiohuolloista oli vastaanut sama henkilö jo liki kymmenen vuoden ajan ja kouluisäntänä toimineen saman henkilön useita vuosia, mutta myös, että kouluisäntä oli vaihtunut viimeisen puolen vuoden aikana kahdesti. Isännöitsijän mukaan ilmastointijärjestelmästä ei paljon valituksia tule, mutta yleisimmin valitukset liittyvät automaation määrään, etenkin vikatilanteissa, kun etsitään syytä ongelmaan. Järjestelmälle tehdään vain tarvittuja vuosihuoltoja kuten suodattimien vaihtoja ja säleikköjen puhdistuksia. Isännöitsijä arvioi, että järjestelmän tullessa teknisen käyttöikänsä päähän se tullaan saneeraamaan joko vakioilmavirtajärjestelmäksi tai rakentamalla kokonaan uusi ilmanvaihtojärjestelmä.

5.2 Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels

Sandelsin koulun isännöitsijän mukaan, tässä alun perin 2009 valmistuneessa koulussa ilmastointijärjestelmässä oli ongelmia painesuhteissa, käytönopastuksessa, sekä toteutuksessa. Isännöitsijä kertoi, että rakennuksessa alkoi ilmetä

hajuhaittoja sekä silmien kirvelyä käyttäjillä. Ennen järjestelmän saneerausta sille tehtiin vain perushuoltoja kuten suodattimien vaihtoja ja muita puhdistustöitä. Osittain isännöitsijä arveli ilmastointijärjestelmän ongelmien johtuvan suunnittelussa tulleista virheistä, automaation liian laajoista käyttöoikeuksista sellaisille käyttäjille, jotka eivät ole riittävän perehtyneitä järjestelmään sekä rakennusvaiheessa tapahtuneista virheistä. Saneerauksen jälkeen isännöitsijän mukaan vakioilmavirtajärjestelmä on toiminut oikein ja valitukset sisäilmasta ovat loppuneet tai vähentyneet huomattavasti.

5.3 Myllypuron ala-aste

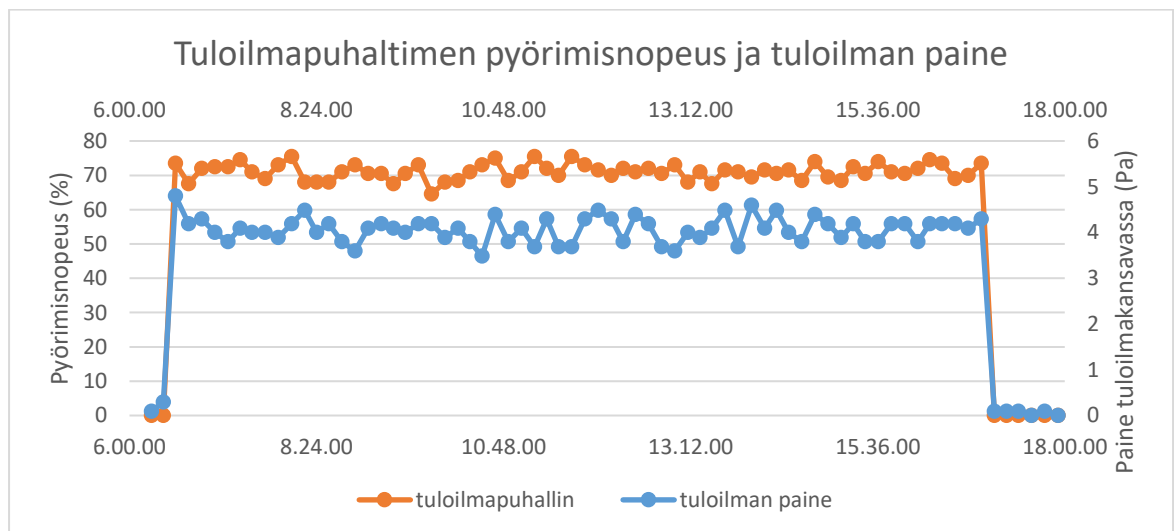
Myllypuron ala-asteen isännöitsijä kertoi, että ilmanvaihtojärjestelmän 2013 valmistuneen perusparannuksen jälkeen, siinä on ollut jatkuvasti ongelmia painemittareiden ja LTO-laitteiden kanssa. Näiden vikojen korjausten lisäksi järjestelmälle on tehty vain normaaleja huoltoja saneerauksen jälkeen. Valituksia käyttäjiltä on tuottanut lämpötilaerot huoneiden välillä ja huolto on ilmoittanut, että automaatiojärjestelmästä saadut tiedot eivät vastaa huonetiloista ja laitteista mitattuja tietoja. Mittaustulosten virheitä mahdollisesti voivat aiheuttaa väärin paikkoihin asennetut anturit, tai laitteiden väärät asetusarvot. Lämpötilaeroja voi aiheuttaa lämpötila-anturin väärä sijainti sekä lämmitysjärjestelmän epätasapaino. Isännöitsijän mukaan Myllypuron ala-asteen osalta selvitetään vielä onko osa korjauksista urakoitsijan vastuulla.

6 KOHTEISTA KERÄTYN AUTOMAATIODATAN KÄSITTELY

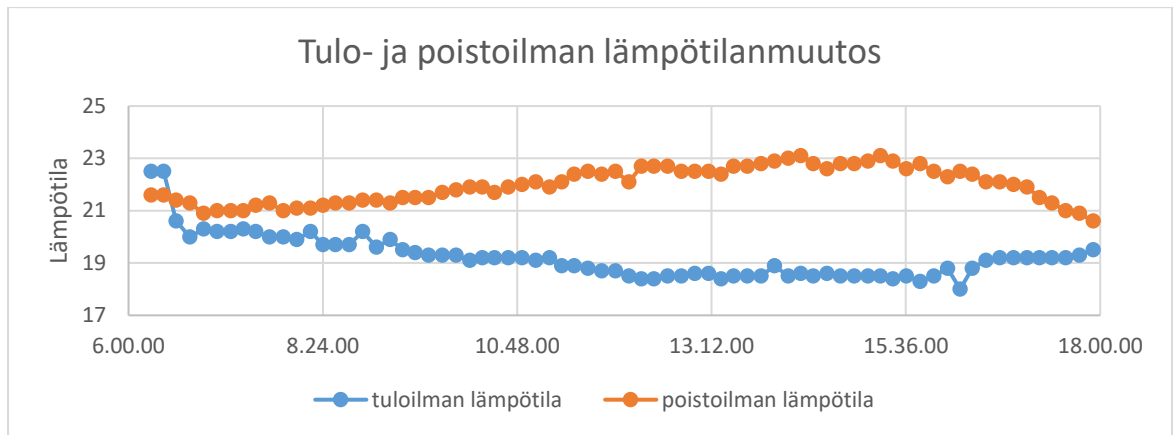
Koulujen automaatiosta pyrittiin keräämään tuloilmapuhaltimen pyörimisnopeutta, lämpötiloja tulo- ja poistoilmakanavistoissa sekä hiilidioksidipitoisuutta. Automaation perusteella tarkoituksena oli tutkia ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta tarkastelemalla hiilidioksidin määrän muutosta ja paineen muutosta järjestelmässä.

6.1 Poikkilaakson ala-aste

Poikkilaakson ala-asteen koulun automaatiojärjestelmästä kerättiin lämpötila- ja paineanturitietoja viikon ajalta 16.3.2017 – 24.3.2017. Hiilidioksidianturien tietojen kerääminen epäonnistui automaatiojärjestelmässä ilmenneen vian vuoksi. Automaatio oli asetettu tekemään trendiseurantaa ja mittaamaan suureita minuutin välein. Kuvassa 29 esitetty yhden koulupäivän ajalta kuinka järjestelmä käynnistyy kuuden jälkeen ja pitää sen jälkeen vakiopaineen järjestelmässä, kunnes käyttöaika päättyy ennen kuutta illalla. Kuvassa 30. on esitetty, kuinka tulo- ja poistoilman lämpötila muuttuu koulupäivän aikana. Kuvasta nähdään kuinka käyttäjän ulkopuolella puhaltimien ollessa pysähtyneinä lämpötilat kanavistossa tasoittuvat kunnes päivällä on tarvetta viileämmälle tuloilmalle ja myöhemmin ilta-päivällä kun koulussa ei ole niin paljon oppilaita lämpötilat alkavat taas tasoittua. Mittaustulosten perusteella järjestelmä vaikuttaa toimivan oikein. Molempien kuvien mittaukset on tehty 20.3.2017.



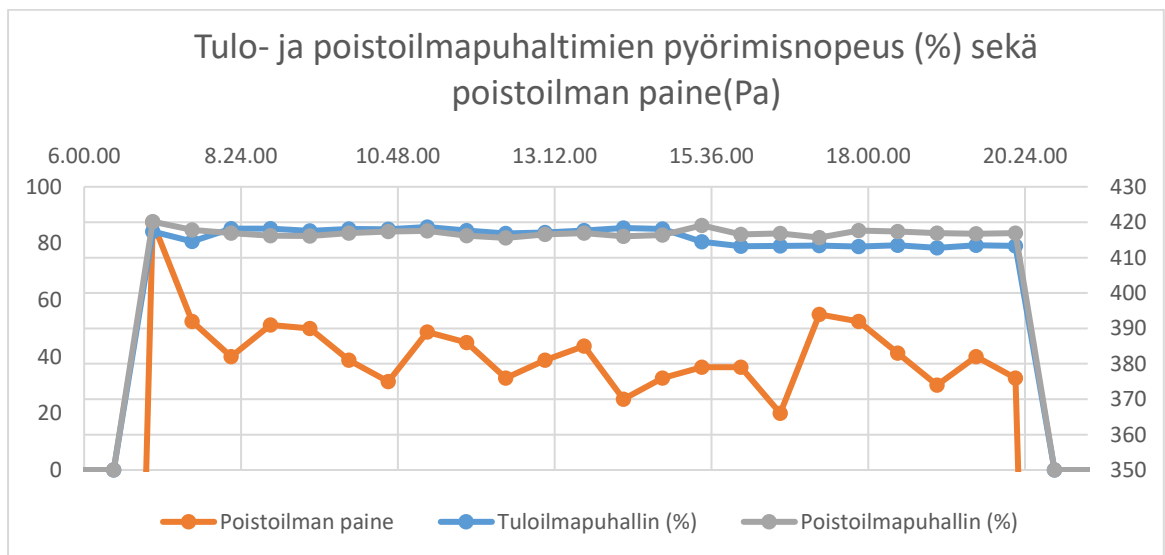
Kuva 30. Vakiopainejärjestelmän paine ja puhaltimen pyörimisnopeus käyttöaikana.



Kuva 31. Poikkilaakson koulun ilmanvaihtojärjestelmästä mitatut lämpötilat koulupäivän aikana.

6.2 Musiikki- ja kulttuurikoulu Sandels

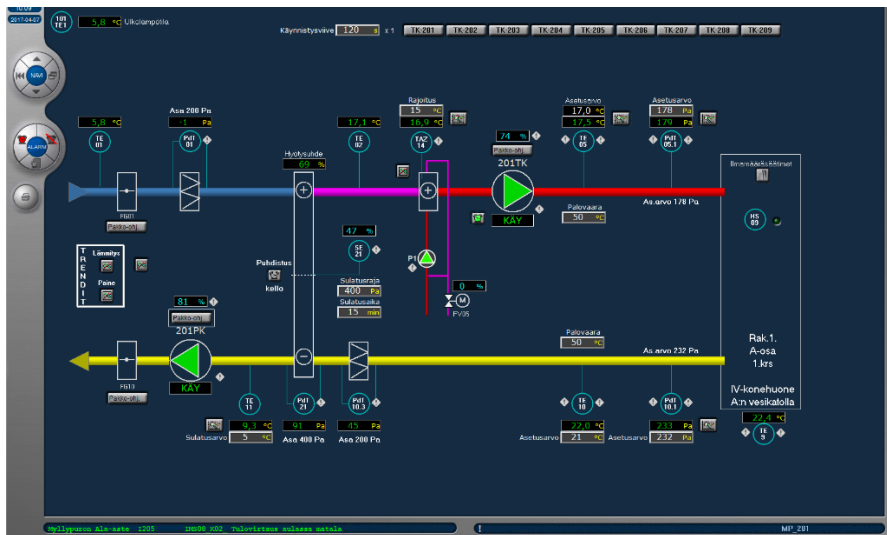
Sandelsin koululla, automaatiojärjestelmä oli asetettu tekemään trendimittausta ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilman paineesta pääilmanvaihtokoneelta. Tuloilmanpaineen mittausletku on ollut irti, sillä puhaltimen taajuuden kasvaessa, kanavapaine ei mittauksen mukaan ole noussut. Mittaus on otettu 45 min välein. Järjestelmän pystyy myös asettamaan tekemään trendimittausta hiilidioksidipitoisuuksista ja lämpötiloista, mutta niitä ei oltu tehty.



Kuva 32. Paineenmuutos sekä puhaltimien pyörimisnopeudet pääilmanvaihtokoneella Sandelsin koululla koulupäivän aikana. Mitattu 4.4.2017

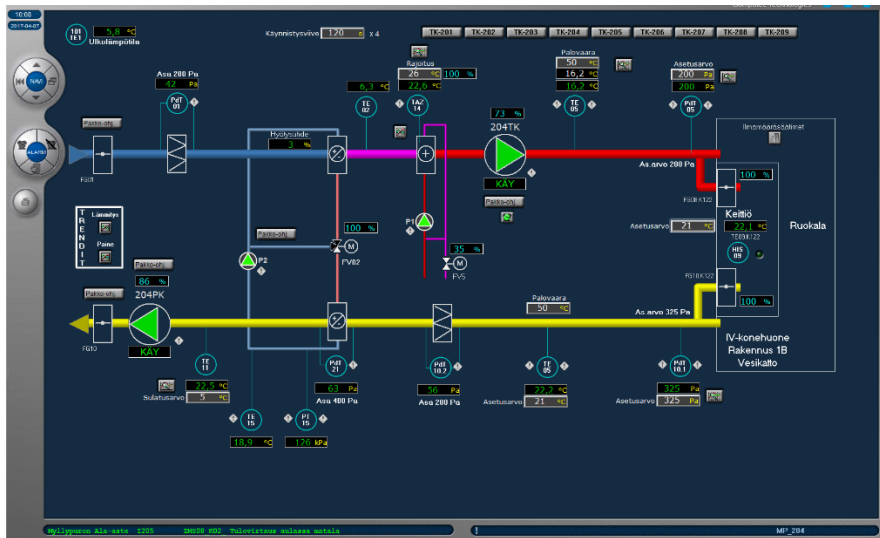
6.3 Myllypuron ala-aste

Myllypuron ala-asteella automaatiojärjestelmän datan keräämistä ei voitu suorittaa, sillä automaatioidatan keräämiseen järjestelmästä olisi tarvittu erillinen ohjelmisto, jota ei ollut asennettu tietokoneelle, josta automaatiota ohjattiin. Automaatioidata olisi syytä pystyä keräämään sieltä, missä automaation säätö tapahtuu, etenkin kun kyseessä on kohde, jonka huolto ei ole automaation rakentaneella yrityksellä. Automaatio oli ohjattu tekemään trendiseurantaa, poistoilman hiilidioksidipitoisuudesta, tulo- ja poistoilman kanavapaineesta sekä tulo- ja poistoilmapuhaltimeiden pyörimisnopeuksista. Kuvissa 33 ja 34 on esitetty Myllypuron ala-asteen automaation käyttöliittymästä otetut kuvat.



Kuva 33. Automaation ohjaus pyörivällä lämmöntalteenotolla varustetulle ilmanvaihtokoneelle

Kuvassa 33 on esitetty pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen automaation ohjausnäkyminen. Tästä näkymästä voidaan säätää puhaltimien nopeuksia sekä tarkastella tallennettuja trendejä. Näkymästä on myös pääsy jokaisen kyseisen koneen vaikutuspiirissä olevan IMS-laitteen mittaustietoihin. Kuvassa 34 on esitetty sama näkyminen nestekiertoisella lämmöntalteenotolla varustetulle koneelle, mutta siinä voidaan myös ohjata nestekiertoisen lämmöntalteenoton pumppua ja moottoriventtiilejä.



Kuva 34. Nestekiertoisella lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihokoneen automaation ohjaus

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Helsingissä on tehty päätös, ettei uusia IMS-järjestelmiä rakenneta. Tämän päätöksen taustalla on epävarmuus liittyen järjestelmien perusteisiin ja niiden toimintaan. Rungas automaation määrä tuottaa vaikeuksia, etenkin kun henkilöstö vaihtuu usein, eikä siten käytännön kokemusta järjestelmän käytöstä ja ongelmien ratkaisusta siirry tilaajan henkilöstön sisällä. Parhaiten isännöitsijöiden mukaan todettiin toimivan niiden järjestelmien, joiden käyttö ja huolto ovat olleet pitkään samojen ihmisten hoidettavana. Merkittävää rahallista erotusta ei kohteiden erilaisuuden vuoksi pystytty todentamaan, mutta isännöitsijöiden haastattelujen perusteella ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien yleisimmät viat ovat olleet automaation tai toimilaitteiden toimintaan liittyviä.

Helsingin kaupungin päätös olla tilaamatta uusia IMS-järjestelmiä perustuu pitkälti kokemuksiin automaation jatkuvasta hajoamisesta ja korkeista huoltokustannuksista. Osaltaan opinnäytetyössä ilmenneet ongelmat tukevat tätä perustelua ja järjestelmiin on jouduttu tekemään paljon etenkin automaation liittyvää huoltoa. Kuitenkin on huomioitava vaatimukset tilojen sisäilmalle ja verrattava onko mahdollista tuottaa vaadittuja olosuhteita kustannus- ja energiatehokkaasti muilla kuin IMS-järjestelmillä.

IMS-järjestelmien ongelmien syntymissyytiä ei suoraan voida asettaa järjestelmän vastuulle. Niille yhteistä on ongelmien alkaminen heti urakka-ajan jälkeen kun järjestelmä on otettu käyttöön. Tämän vuoksi tulee vaikutelma, että järjestelmää ei ole saatettu sen toimivuuden vaatimalle tasolle ennen käyttöönottoa. Tämä voi tietenkin osittain johtua siitä, että järjestelmät voivat olla vaikea selkoisia, eikä kaikista toiminta- ja säätöperiaatteista ole riittävän syvällistä tietoa suunnittelijan ulkopuolella.

Ongelmien syyt koostuvat mahdollisesti suunnittelun aikana tehdyistä virheistä, asennusvaiheessa tapahtuneista virheistä ja virheistä huollossa ja käytössä. Huoltovirheitä esimerkiksi saattaa olla IMS-laitteiden mittaletkujen irti jättäminen kanavien nuohousten yhteydessä, asennusvaiheen virheitä voi olla IMS-laitteiden, säätöpeltien ja mittalaitteiden asennukset väärille suojaetäisyyksille tai IMS-laitteiden ja ilmanjakolaitteiden väärät asetusarvot. Suunnittelussa tapahtuneet virheet voivat olla esimerkiksi tuloilmalaitteiden heittopituuksien ja hajotussuuntien huomioimatta jättäminen valaisimien sijoittelussa.

8 POHDINTA

Ilmanvaihtojärjestelmien siirtyminen vakioilmavirtaisista tarpeenmukaisiksi ei ole ollut kivutonta, ja etenkin paljon automaation varassa olevien järjestelmien toimintavarmuus ja käyttöikä riippuvat paljon siitä, kuinka tarkkaan järjestelmän suunnittelu, toteutus, vastaanotto, säätö ja huolto on hoidettu.

Kohteissa ilmenneitä ongelmia ei voi suoraan verrata toisiinsa, mutta niitä kuitenkin yhdistää samankaltaisuudet, kuten iso osa niistä tuntuu ilmenevän automaation vikoina sekä, miten isännöitsijät ja huoltajat ovat kuvailleet järjestelmien automaation monimutkaisuutta ja vikojen paikantamisen vaativuutta automaation ilmoitusten joukosta.

Helsingin kaupungin Rakennusviraston tekemä kehitysprojekti, jossa selvitettiin raameja tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toteuttamiselle, on hyvä alku järjestelmien kehittämiseksi sellaiseen suuntaan, että päästäisiin eroon niiden ongelmista. Kehitysprojektissa viitataan myös Helsingin kaupungin lähes nollaenergiarakentamisen suunnitteluohjeisiin, joiden määrittelyn yhteydessä IMS-järjestelmien elinkaarikustannuksia on arvioitu ja niiden hyödyllisyys on todettu. Suunnitteluohjeiden päivittämisessä, voisi olla mahdollisuus saada ohjattua IMS-järjestelmiä helpompikäyttöisiksi, esimerkiksi vaatimalla keskittämään IMS-laitteet paikkoihin joista niihin on helppo päästä käsiksi.

Jatkossa IMS-järjestelmien toteuttamista varten olisi syytä selvittää erilaisten urakkamuotojen vaikutusta toiminnan varmistamiseksi ja pohtia olisiko syytä esimerkiksi harkita IMS-järjestelmien yhdistämistä automaatiourakkaan. Urakan taakuajan jo päätyttyä kysymyksiä on noussut siitä, kenen vastuulle kuuluu rikkoon-tuneiden laitteiden korjaaminen, kun ongelmat ovat jatkuneet käyttöönotosta saakka. Mahdollisesti myös urakka-ajan valvonnan lisääminen ja käyttöönotto tarkastusten vaatimusten kiristäminen voisivat ehkäistä järjestelmissä ilmeneviä ongelmia.

Tulevaisuudessa olisi syytä tarkastella mahdollisuutta koulurakennusten hankkimista elinkaarihankkeina. Elinkaarihankkeen etuna olisi järjestelmissä ilmenevien

ongelmien vastuunjaon selkeytyminen ja huoltotoimenpiteiden pysyminen urakoitsijan vastuulla, jolloin huoltajille siirtyy tärkeää tietoa järjestelmästä ja sen toiminnasta. Elinkaarihankkeena järjestelmien toteuttaminen vaatisi kuitenkin lisää selvitystä rakennusten elinkaaren ajan huoltokustannuksista ja vertailua siihen kuinka paljon ne kasvavat elinkaaren aikana. Elinkaarihankkeessa huoltokustannukset ovat selvillä elinkaarisopimuksen ajalle. [12.]

Tilaaajan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella, IMS-järjestelmien kustannus- ja energiansäästömahdollisuudet on huomioitu, mutta riskejä ei haluta ottaa sen suhteen, että IMS-järjestelmät aiheuttaisivat mahdollisesti sisäilmaongelmia rakennuksiin tulevaisuudessa. Myöskin kulut joita muodostuu huollon määrästä ovat osaltaan johtaneet järjestelmien hylkäämiseen.

Tulevaisuudessa IMS-järjestelmien palauttamista tulisi harkita, mutta myös pyrkiä kehittämään menetelmiä joilla ne voidaan hankkia ja saattaa toimiviksi.

LÄHTEET

- [1.] Sisäilmayhdistys ry, 2008, Sisäilman vaikutukset, www-dokumentti, Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-vaikutukset>
- [2.] Tekes, 2012, Energiatehokkaat ratkaisut, PDF-dokumentti, Saatavissa: https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/tekes_energiatehokkaat_ratkaisut.pdf
- [3.] D2, Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, 30.3.2011
- [4.] Asumisterveysasetus, 23.5.2015
- [5.] Sisäilmayhdistys ry, 2008, Sisäilmastoluokitus 2008, PDF-dokumentti, Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/03/sisailmasto-luokitus2008-esittely.pdf>
- [6.] Sandberg, E, 2016, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Helsinki, Talotekniikka julkaisut Oy
- [7.] Soininen, V, 2009, Kiinteistöjen energiansäästötoimien vaikutus sisäympäristön laatuun ja terveyteen, PDF-dokumentti, Saatavissa: http://www.ece.hut.fi/enete/Kiinteistojen_energiansaaston_vaikutus_asumisterveyteen.pdf
- [8.] Motiva oy, 2016, Energiatehokas koti, Pyörivä lämmöntalteenotto, WWW-dokumentti, päivitetty 19.1.2016, Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto/pyoriva_lammonsiirrin
- [9.] Inspectorsec oy, 2017, Verkkokauppa, Airsec 85H-ilmanvaihtokone, Saatavilla: <https://www.inspectorsec.fi/kauppa/ilmanvaihtokoneet/304-ilmanvaihtokone-airsec-85h.html>
- [10.] Philsventilation ab, 2014, Roterande värmväxlare, WWW-dokumentti, Saatavissa: <http://www.pihlsventilation.se/privatkund/v%C3%A4rmv%C3%A4xlare-13896327>
- [11.] Sandberg, E, 2016, Ilmastointilaitoksen mitoitus, Helsinki, Talotekniikka julkaisut Oy

[12.] Climecon oy, 2016, Tuote-esite, PDF-dokumentti, Saatavissa: <http://www.climecon.fi/tuotteet.php?k=616153>

[13.] Rakennusteollisuus, 2015, Elinkaarihanke vaihtoehtoisena investointimalina, Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi>

Teknisten isännöitsijöiden haastattelun runko

- Henkilö:
- Asema:
- Kohteesta vastuussa vuodesta:
- Mitä toimenpiteitä kohteessa on tehty? Ovatko ne olleet onnistuneita? Minkälainen järjestelmä?
- Mikä on yleisin ilmanvaihtojärjestelmään liittyvä valitus?
- Mikä on ilmanvaihtojärjestelmän yleisin huoltotoimenpide?
- Kuinka paljon ilmanvaihtojärjestelmän huoltoon on käytetty rahaa viimeisen kahden vuoden aikana?
- Onko järjestelmän käytöstä ja ylläpidosta pidetty ohjausta huoltomiehille?
- Muuta:

Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamishoje, IV-järjestelmiä koskevat ohjeet

G3 ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄT

G3.1 Yleistä

Ilmastointijärjestelmät tulee rakentaa niin energiatehokkaasti kuin mahdollista.

Ilmavirrat mitoitetaan SRMK D2:n mukaan huomioiden sisäiset kuormat. Opetus- ja päivähoitotiloissa ei käytetä jäähdytystä. ATK-luokat ja kouluisännän tila jäähdytetään tarpeen mukaan.

Järjestelmä tulee suunnitella niin joustavaksi kuin mahdollista huomioiden eri tilojen erilaiset käyttötarpeet ja käyttöajat. Tämä tarkoittaa sitä, että kojeiden lukumäärä voi olla perinteistä suurempi. Järjestelmien tulee pääasiassa perustua läsnäolo-ohjaukseen ja tarpeenmukaisuuteen (ilman laatu) ainakin tiloissa, joissa toimii enemmän kuin kaksi henkilöä (esim neuvotteluhuoneet, lasten päiväkotien ryhmätilat, oppilaitosten luokat). Tällöin ilmamääräsäätöinen järjestelmä tulee suunnitella niin toimintavarmaksi ja helposti säädettäväksi sekä huollettavaksi kuin mahdollista.

Ilmanvaihtojärjestelmät tulee suunnitella siten, että niiden säätäminen on mahdollisimman helppoa ja yksiselitteistä. LVI-suunnittelijan tulee tehdä ilmavirtojen säätöohjelmaselostus ilmanvaihtokonekohtaisesti.

Ilmamääräsäätöinen järjestelmä tulee suunnitella siten, että se on helposti säädettävissä. IMS-laitteita voi olla sarjassa maksimissaan kaksi kappaletta edellyttäen, että kullakin vyöhykkeellä on oma painesäätönsä. **IMS-laitteet tulee sijoittaa siten, että ne ovat helposti huollettavissa ja että niistä on helposti luettavissa säätimen asento.**

Rakennusvalvonnan kanssa on tapauskohtaisesti selvitettävä, voiko koulujen luokkatiloissa ja toimistorakennuksissa käyttää käytäväpoistoa ennenkaikea peruskorjaustapauksissa. Samoin on sovittava rakennusvalvonnan kanssa, voiko päiväkotirakennuksessa ja mahdollisesti myös kouluissa käyttää **samanaikaisuuskertoimia**. Varsinkin päiväkotirakennuksissa lasten käytössä olevien huonetilojen kuormitukset vaihtuvat huomattavasti.

Kojeissa tulee käyttää aina niin energiatehokkaita moottoreita kuin markkinoilla on yleisesti saatavilla.

Lämmön talteenotto toteutetaan niin energiatehokkaasti kuin mahdollista huomioiden sähköenergian tarve. Myös sosiaalitulojen ja keittiön kojeet tulee varustaa lämmön talteenotolla.

SFP-luku saa olla enintään 1,8. (Korjauskohteissa enintään 2,0, jos konehuone- ja kanavien asennustiloja ei ole tarpeeksi)

Valmistus- ja lämmityskeittiöiden poistoilmasta tulee lämpö ottaa talteen joko nestekiertoisella lämmöntalteenotolla (lamellipatterit) tai levylämmönsiirtimellä. Keittiön poistoilma tulee puhdistaa ennen lämmön talteenottoa esim otsonoinnilla.

Kun käytetään IMS-järjestelmää, tulee LVI-suunnittelijan laatia seikkaperäinen ilmanvaihdon säätö- ja mittausohjelma.

Jos käytetään yötuuletusta, tulee varmistaa, että sitä ei käytetä lämmityskauden aikana eikä liian korkealla ulkolämpötilalla.

G3.1.1 Ilmastointikoneiden käyntiaikaprofiilit ja laitteistojen mitoitus

Ilmavaihtokoneiden käyntiajat ja tehot:

Lasten päiväkotia ja koulu:

1/1 teho	20 % käyntiajasta
2/3 teho	60 % käyntiajasta
1/3 teho	20 % käyntiajasta

Koulun liikunta- / juhlasali

1/1 teho	10 % käyntiajasta
2/3 teho	20 % käyntiajasta
1/3 teho	70 % käyntiajasta

Ilmastointikojien mitoitus päiväkodeissa on 70 % yhteenlasketuista ilmavirroista. (Tulee tarkistaa tapauskohtaisesti. Muiden rakennusten ilmanvaihtokojien ilmavirta on yleensä 100 % yhteenlasketuista tuloilmavirroista. Jos tiloilla ei ole yhtäaikaista käyttöä, voidaan kojeiden ilmavirtoja poikkeuksellisesti pienentää rakennuttajan kanssa sovitulla tavalla.

Kanavat, päätelaitteet ja ulkosäleiköt mitoitetaan aina 100 % yhteenlasketulla ilmavirralla.

G3.2 Ilmastointikoneet

Koteloiduissa koneissa otsapintanopeus saa maksimissaan olla 1,6 m/s (Korjauskohteissa enintään 2,0 m/s, jos isompia koneita ei mahdu). Kojeidien puhaltimien tulee olla suorakäyttöisiä.

Moottoreina (myös huippumurit) tulee käyttää 3,0 kW:n (5,5 kW:n, kun niitä on saatavilla) saakka EC-moottoreita tai niiden tulee olla energiatehokkuudeltaan EU:n energiadirektiivin mukaista luokkaa IE2 tai EFF1.

Sosiaali- (WC-) tilojen (hygieniatilojen) kojeet ovat levylämmönsiirtimellä varustettuja kojeita. Tuloilma tulee johtaa muualle kuin suoraan ao tiloihin.

Keittiöiden (yli 0,3 m³/s) poistoilmakanavisto tai –höyrykupu tulee varustaa laitteistolla, jolla rasva hajotetaan siten, että se ei tartu kanavistoon eikä lämmön talteenottopatteriin. Lämmön talteenottopatterin lamellivälän tulee olla normaalia harvempi ja patterin tulee kestää painepesu. Jos lämmön talteenottopatteri asennetaan ulos esimerkiksi huppuimurin yhteyteen, tulee patterin välittömässä läheisyydessä olla lämmitetty tila, jossa sijaitsee vedenottopiste, pistorasia ja tila painepesurille

G3.3 Ilmanvaihtokanavat varusteineen

Kanavistot tulee mitoittaa väljiksi. Säätäpeltejä tulee olla riittävästi, jotta säädöt pystytään tekemään.

G3.4 Päätelaitteet

Tuloilmalaitteet tulee valita siten, että osailmavirroilla tilat huuhtoutuvat riittävästi eikä täydellä ilmavirralla ylitetä sallittuja ilmavirran nopeuksia eikä heitto pituuksia.

G3.5 Ilmanvaihdon erillisjärjestelmät

Myös erillisjärjestelmien suunnittelussa ja laitevalinnoissa tulee kiinnittää erityistä huomiota energiatehokkuuteen.