

Henri Lerssi

**OHJE ILMANVAIHDON SUUNNITTELIJOILLE SISÄILMAONGELMAKOH-  
TEISSA**

# **OHJE ILMANVAIHDON SUUNNITTELIJOILLE SISÄILMAONGELMAKOHTEISSA**

Henri Lerssi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

---

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä(t): Henri Lerssi

Opinnäytetyön nimi: Ohje ilmanvaihdon suunnitteluun sisäilmaongelmakohteissa

Työn ohjaaja: Rauno Holopainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018

Sivumäärä: 28 + 24

---

Työn tarkoituksena oli laatia ohje, jossa selvitetään huomioon otettavia asioita, kun suunnitellaan ilmanvaihdon korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteeseen. Työn tavoitteena oli korostaa ohjeessa sellaisia suunnitteluratkaisuja, jotka varmistavat sisäilmaongelmaiseen rakennukseen hyvän ilmanvaihdon. Työn tilaajana toimi Ideestructura Oy.

Työssä pyrittiin käyttämään lähteinä pääasiassa lakeja ja asetuksia, määräyksiä ja ohjeita sekä standardeja. Tutkimuksena tarkasteltiin sekä kumottuja, että uudistettuja määräyksiä, jotka liittyivät muiden kuin asuinrakennusten ilmanvaihtoon. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin uudistunutta suodatinstandardia, yleisiä ilmanvaihdon ongelmia sekä sisäilmatutkimuksissa selvinneitä ilmanvaihdon ongelmia.

Ohjeessa esitetään asioita yleisten sekä sisäilmatutkimuksissa selvinneiden ilmanvaihdon ongelmien ratkaisuksi. Lisäksi ohjeessa selvitettiin suunnittelijalle, kuinka sisäilmaongelmaista kohdetta voidaan lähteä korjaamaan joko kevyesti tai uusien koko laitteisto. Suunnittelijaa opastetaan myös laatimaan kuvaus ilmanvaihdon toiminnan varmistamiseksi sekä tekemään ohje ilmanvaihtojärjestelmän huollosta ja ylläpidosta. Ohjeessa selvitettiin, mitä ilmanvaihdon toiminnan varmistava kuvaus sekä huollon ja ylläpidon ohje voisivat sisältää.

Ohjeen tavoitteena on saada ilmanvaihdon suunnittelijat panostamaan sisäilmaongelmakohteiden ilmanvaihdon suunnitteluun. Ohje antaa perustiedot asioista, joita sisäilmaongelmakohteiden ilmanvaihdon suunnittelussa ja korjauksessa tulisi ottaa huomioon. Sisäilmaongelmaisia kohteita on vielä paljon korjaamatta. Tämä ohje on vain pieni askel siihen suuntaan, että jokaisen Suomen rakennuksen ilmanvaihto saataisiin sellaiseksi, joka palvelisi niiden jokaista käyttäjää.

---

Asiasanat: ilmanvaihto, sisäilman laatu, asumisterveys, korjausrakentaminen

# SISÄLLYS

---

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	4
2 ILMANVAIHDON OHJEARVOT.....	6
2.1 Suunnitteluperusteet ja raja-arvot.....	6
2.2 Ilmanvaihdon suodatus .....	11
3 YLEISIÄ ILMANVAIHDON ONGELMIA .....	14
3.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmat .....	14
3.2 Koneellisen poiston ongelmat.....	14
3.3 Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon ongelmat.....	14
3.4 Huollon laiminlyönti ja väärinkäyttö .....	15
3.5 Rakennuksen alipaineisuus.....	16
3.6 Rakennuksen ylipaineisuus .....	16
3.7 Ilmanvaihdon suunnitteluratkaisuiden ongelmat.....	17
4 OHJE SISÄILMAONGELMAISEN RAKENNUKSEN ILMANVAIHDON KORJAAMISEEN ..	20
4.1 Järjestelmän suunnittelu mahdollisten muutosten varalle.....	20
4.2 Korvausilman lisäys ensihoitona .....	20
4.3 Rakennusten tiivistämisen vaikutus ilmanvaihtoon.....	21
4.4 Porraskäytävien hajuhaittojen poisto.....	21
4.5 Ilmavirtojen lisäys tarpeiden mukaisiksi.....	22
4.5.1 Tasapainotus ja puhdistus .....	22
4.5.2 Ilmanjaon korjaus.....	22
4.5.3 Ilmanvaihtokoneen uusiminen.....	23
4.5.4 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisut.....	23
4.6 Kuvaus ilmanvaihdon toiminnan varmistamiseksi .....	24
4.7 Ohje ilmanvaihtolaitteiston ylläpitoon ja huoltoon .....	24
5 YHTEENVETO .....	26
LÄHTEET.....	27
LIITTEET	
Liite 1 Korjaustoimenpide-ehdotusesimerkki	
Liite 2 Tutkimusselostus ja korjaustoimenpide-ehdotusesimerkki	

# 1 JOHDANTO

Sisäilmaongelmat ovat olleet otsikoissa 2010-luvulla erityisen paljon. Sisäilmaongelmakohteiden kuntoarvioita ja korjauksia tehdään jatkuvasti ympäri Suomea. Korjaukset keskittyvät sekä rakenteellisiin korjauksiin että ilmanvaihdon korjauksiin. Ilmanvaihdon vaikutus sisäilmaongelmakohteissa on kuitenkin jäänyt vähälle huomiolle, kun huomio on kiinnittynyt homeisiin, sieniin ja bakteereihin. Ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat saattavat olla useimmissa tapauksessa jopa pääsyyllinen huonoon sisäilmaan (1, s.40).

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena tehdä ohjeistus sisäilmaongelmakohteiden suunnittelijoille. Ohjeistuksen tavoitteena on saada sisäilmaongelmakohteisiin toimiva ja hyvä ilmanvaihto. Opinnäytetyössä muodostuvassa ohjeessa on tarkoitus ottaa esille sellaisia asioita, joita uudisrakentamisen suunnittelussa ei välttämättä tarvitse ottaa huomioon. Lisäksi opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia keveitä ilmanvaihdon korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteisiin. Opinnäytetyö keskittyy koulu-, päiväkotij- ja toimistorakennuksiin.

Työssä annetaan ohjeet tarpeellisen ja hyvän ilmanvaihdon suunnitteluun. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmavaihtoa, energiansäästöä ja säädettävyyttä ei toteuteta voimassa olevien minimisuositusten mukaisesti. Huonolle sisäilmalle altistuneet ihmiset usein myös tarvitsevat tavallista parempaa sisäilmaa. Tämän vuoksi on tärkeää, että sisäilmakorjauksen jälkeen rakennuksen ilmanvaihto olisi jopa selkeästi vähimmäisvaatimuksia suurempi. Lisäksi ohjeessa otetaan huomioon se, että sisäilmakorjauksissa usein rakennuksesta tehdään tiiviimpi, jolloin ilmanvaihdon vaikutus korostuu entistään.

Työn tilaaja on Ideestructura Oy. Tilaajan on tarkoitus käyttää opinnäytetyössä muodostuvaa ohjetta liitteenä korjausehdotuksissa sisäilmaongelmakohteissa, joihin yritys on tehnyt sisäilmatutkimuksen. Ideestructura Oy on lukuisissa sisäilmatutkimuksissa törmännyt ilmanvaihdon ongelmiin. Tavoitteena on painottaa korjausehdotuksissa ilmanvaihdon suunnittelun ja korjauksen vaikutusta onnistuneeseen sisäilmakorjaukseen.

## 2 ILMANVAIHDON OHJEARVOT

### 2.1 Suunnitteluperusteet ja raja-arvot

Ilmanvaihdon suunnittelussa vähimmäisarvoina on aikaisemmin yleisesti käytetty Rakentamismääräyskokoelman osan D2 (RakMK D2) antamia määräyksiä ja ohjeita. RakMK D2:n ohjearvoilla tavoitteena on ollut saavuttaa oleskeluvyöhykkeelle terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa. RakMK D2 velvoitti pääsuunnittelijaa huolehtimaan, että em. olosuhteet saavutetaan ja tarvittaessa suunnittelemaan vähimmäisarvoja suuremmilla ilmavirtojen arvoilla. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelun perustana tulisi aina olla rakennuksen maksimikuormitus, etenkin jos kyseessä on koulu- tai päiväkotirakennus, jossa ryhmäkoot ja tilan käyttö vaihtelevat. (2, s. 5.) Taulukossa 1 on lueteltuna RakMK D2 mukaiset ohjearvot rakennuksen ilmavirroille.

TAULUKKO 1. RakMK D2:n mukaiset ilmavirtojen ohjearvot (2, s. 26, 29)

Taulukko 2. Toimistorakennukset #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!		
Toimistohuone ja vastaavat tilat	8	1,5	0,35	<b>33 / 38 *</b>	0,20 / 0,30	*C1 ohje		
Neuvotteluhuone		4		33 / 38	0,20 / 0,30	#3		
Asiakastila		2		38 / 43	0,30 / 0,40	#2,		
Käytävätila		0,5		38 / 43	0,30	#2,		
Kahvio, taukotila		5		38 / 43	0,25			
Arkisto, varasto								
Tupakointitila: – rakennuksen käyttöaikana – rakennuksen käyttöajan ulkopuolella					20	38 / 43	0,30	#4
Kopiointihuone				1	10			#4
					4			
#1		Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.						
#2	Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.							
#3	Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.							
#4	Tupakointitilan on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.							

Taulukko 3. Oppilaitokset #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!		
Opetustilat	6	3	0,35	<b>33 / 38 *</b>	0,20 / 0,30	#4, *C1 ohje		
Käytävät / Aulat		4		38 / 43			#2	
Liikuntasali: – liikuntasalikäyttö				2	38 / 43	0,30	#3	
– 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							#S	
#1		Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.						
#2		Kiinteiden työpisteiden ilmannonopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.						
#3	Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaatvimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.							
#4	Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.							
#S	Voi käyttää siirtoilmaa							

Päiväkodit:	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Lepohuoneet	6	2,5	5	<b>28 / 33 *</b>	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Leikki- ja ryhmähuoneet	6	2,5		33 / 38	0,20 / 0,30	
Vesileikkihuone		2		33 / 38	0,20 / 0,30	
Eteinen		2		33 / 38	0,20	
Märkäeteinen						#3, #S
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilmannonopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Poistoilmavirtaa ja vastaavasti ulkoilmavirtaa suurennetaan kohdepoistojen ja / tai hajujen hallitsemisen edellyttämällä määrällä.					
#4	Poistoilma ympäröivien hygieni- ymv. tilojen kautta.					
#E	Erikoistilojen, kuten leikkaussalien, toimenpidehuoneiden, röntgentilojen, välinehuoltotilojen, potilaiden pesuun käytettävien tilojen jne. ilmanvaihto suunnitellaan tapauskohtaisesti.					
#S	Siirtoilmavirta					

RakMK D2:n ohjearvot vastasivat sisäilmastoluokituksen tyydyttävän sisäilmastoluokan S3 ohjearvoja. Sisäilmastoluokitus määrittelee myös luokat S2: hyvä sisäilmasto sekä S1: yksilöllinen sisäilmasto. Uudisrakennuksissa pyritään yleensä sisäilmastoluokkaan S2. Vanhoissa rakennuksissa yleisesti suunnitteluarvot vastaavat luokkaa S3. Suunniteltaessa luokan S3 mukaan suunnitellaan rakennuksen ilmanvaihto minimin mukaan. Luokan S2 mukaan suunniteltaessa otetaan huomioon myös haju-, epäpuhtaus-, veto-, lämpötila- ja ääniolosuhteet. Luokan S1 mukaan suunniteltaessa mikään em. olosuhteista ei saisi olla käyttäjälle häiritseviä. (3, s. 4.) Ilmanvaihdon tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan ovat taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset ilmanvaihdon tavoitearvot (3, s. 14)

Tila	Lattia-ala m <sup>2</sup> /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/D2	
		dm <sup>3</sup> /s per henkilö	dm <sup>3</sup> /s per neliö	dm <sup>3</sup> /s per henkilö	dm <sup>3</sup> /s per neliö	dm <sup>3</sup> /s per henkilö	dm <sup>3</sup> /s per neliö
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1,5	13	1,5		1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2,0	11	1,5		1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	9	4,0	8	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	7,0	8	5,0		5,0
Hotellihuone	10	15	1,5	12	1,0	10	1,0
Käytävä ja porrashuone			1		0,5		0,5
Hissikuilu			8		8		8
Luokkahuone	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5	6	6,0
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4,0		4,0
Aula	6	13	2,0	10	2,0		2,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5	6	2,5
Päiväkodin märkäeteinen (poisto)			5		5		5

Sisäilmastoluokituksen tavoitearvot ja suunnitteluohjeet uusittiin toukokuun 2018 aikana. Koulu-, toimisto- ja päiväkotirakennusten osalta ilmavirtojen ohjearvoissa tapahtui pieniä muutoksia. vertailemalla taulukkoa 2 ja 3 voidaan muutokset nähdä esimerkiksi päiväkotien ryhmätilojen osalta.

TAULUKKO 3. Sisäilmastoluokitus 2018 mukaiset ilmanvaihdon tavoitearvot (4, s. 16)

Tila	Lattia-ala m <sup>2</sup> /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm <sup>3</sup> /s, hlö	dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s, hlö	dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s, hlö	dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>
Toimitila, normaali tilatehokkuus	10–12	16	1,5	11	1,0	6	1,0
Toimitila, suuri tilatehokkuus	6–8	14	2,0	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	8	3,5	6	3,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	5,0	8	4,0	6	2,0
Hotellihuone		10		8		6	
Opetustila tai muu oleskelutila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali		10		8		6	
Päiväkodin ryhmätilat	3	12	4,0	8	3,0	6	3,0
Käytävä ja porrashuone			1,0		0,5		0,5
Käytävä, aula			1,5		1,0		1,0



Vuoden 2018 alussa RakMK D2 määräykset kumottiin ja tilalle tuli Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Merkittävintä muutoksessa oli se, että asetuksesta otettiin pois lähes kaikki ohje-arvot ja suorat ohjeet ilmavirroista. Vastuu siirrettiin suunnittelijalle vain toteamalla, että ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Lisäksi järjestelmä on suunniteltava siten, että keskeiset toiminnot ovat ohjattavissa, seurattavissa ja mitattavissa. Kunnossapidettynä ja oikeinkäytettynä järjestelmän tulee kestää toimintakuntoisena suunnitellun käyttöään. (5, luku 3, 8. §)

Kun määräykset suunnittelun perustana olleista ilmanvaihdon ohjearvoista kumottiin, laadittiin talotekniikan osaajien toimesta Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas sekä Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet -raportti antamaan suunnitteluperusta ja ohjearvoja tulevaisuuden ilmanvaihdon suunnittelulle.

*TAULUKKO 4. Ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa -oppaan mukaiset ilmavirrat toimistorakennuksissa, opetusrakennuksissa ja päiväkodeissa (6, s. 9)*

**Taulukko 3.2.1 Toimistorakennukset**

Huonetila	Ulko-ilmavirta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poisto-ilmavirta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Toimistohuone	6	1		Suunnittelu suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan
Avotoimisto tai kokonaan avoin työskentelyalue	6	1,5		Suunnittelu suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan, tilan kokonaispinta-alaa kohden
Neuvotteluhuone, kokoontumistila tai vastaava	6	3		Mitoitus suurempaan kokonaisilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan. Tarpeen mukainen ohjaus, jos yli 10 hengelle
Käytävä, joka on tarkoitettu vain läpikulkuun		0,5		Ilmavaihtoon tarkoitettu ilma voi olla siirtoilmaa toimistohuoneista
Kahvio, taukotila		2		
Varasto			0,35	
Tulostus-, kopiointi- yms. tilat			2	Mitoitus laitteiden mukaan, tuloilmana siirtoilmaa esim. käytävistä

Taulukko 3.3.1 Opetusrakennukset ja päiväkodit

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Koulurakennus	6			Oppilaiden, opettajien ja muun henkilöstön kokonaismäärän perusteella
Opetustilat (luokkahuoneet, pienryhmätilat jne.)	6	3		Taide- ja taitoaineet vähintään 8 dm <sup>3</sup> /s,hlö
Opettajainhuoneet		2		
Käytävät ja aulat		3		
Käytävät ja aulat, jotka on tarkoitettu vain läpikulkuun		1		
Ulkovaatteiden säilytystilat			3	
Sali, liikuntakäyttö		2		Suurimpaan ilmanvaihtoon johtava kriteeri määrää mitoituksen, ilmanvaihdon on oltava ohjattavissa salin käytön mukaan
Sali, juhlasalikäyttö	6			
Liikuntasali / katsomo	6 dm <sup>3</sup> /s,katsomopaikka			Mitoitus ja ilmanvaihdon ohjaus katsojamäärän mukaan
Sali, urheilutapahtumat	15-30	2-4		LVI 06-10600 <sup>1)</sup> ; ohjearvot lajikohtaisesti, ks. myös taulukko 3.9.1
Luentosali	6 dm <sup>3</sup> /s,paikka			Ilmanvaihdon ohjaus käytön ja tarpeen mukaisesti
Kirjastot, toimistotilat		2		
Ruokailutilat	6	3		Ruokailutilat ovat ruokailuajkojen ulkopuolella opetuskäytössä
Päiväkotien toimintatilat (ryhmätilat, lepohuoneet, salit, pienryhmätilat, eteistilat)	6	3		
Päiväkotien henkilökuntatilat		2		
Päiväkodin märkäeteinen			5	
Keittiö	ks. taulukko 3.13.1 Keittiöt ja niiden aputilat			
Hygieniatilat				ks. taulukko 3.14.1 Tiloja, joita on monessa rakennustyyppissä kuten hygieniatilat

1) LVI 06-10600 Sisäliikuntatilojen LVIA-suunnittelu. LVI-ohjekortti. Rakennustieto.

Edellä mainittujen asetusten ja ohjeistusten lisäksi on laadittu asumisterveysohje. Muiden kuin asunnon ilmanvaihdon osalta ohjeessa kerrotaan, että ulkoilmavirran tulee käytön aikana olla vähintään 4 dm<sup>3</sup>/s/hlö, jotta sisäilman hiilidioksidipitoisuus ei ylitä arvoa 2700 mg/m<sup>3</sup> (1500 ppm). Lisäksi epäpuhtauksien vähentämiseksi ulkoilmaa tarvitaan enemmän, yleensä 8...10 l/s/hlö. (7, s. 22.)

## 2.2 Ilmanvaihdon suodatus

Ilmanvaihdon suodatinstandardeja muutettiin Suomessa vuoden 2016 aikana, ja ne tulivat voimaan vuoden 2016 lopussa. Ilmansuodattimien testaus- ja luokitusstandardi SFS-EN 779:2012 korvataan uudella SFS-EN ISO 16890 -standardilla. SFS-EN 779:2012:n voimassaolo päättyy kesä-heinäkuun vaihteessa 2018. Uusi standardi mahdollistaa ilmansuodattimen vaikutuksen arvioimista sisäilman laatuun, kun tunnetaan paikallisen ulkoilman hiukkasmaisen aineksen (PM) arvot. Suodattimen valintaan tarvitaan jatkossa enemmän lähtötietoja ja asiantuntemusta.

Aikaisemman suodatinstandardin testaus- ja luokitusmenetelmät antoivat tuloksia, mutta ne eivät usein täsmänneet suodattimen todelliseen hiukkaserotustarpeeseen. Uudistettu standardi tarkastelee kohteen hiukkasastetta laajemmin, jolloin suodatin voidaan valita sellaiseksi, että rakennuksen sisäilma vastaa sosiaali- ja terveysministeriön asettamia hiukkaspitoisuuden rajoja. Selkein parannus tapahtuu pienten hiukkasten suodatuksessa, jotka ovat myös terveydelle eniten haitallisia.

Ulkoilman laatutaso arvioidaan hiukkaspitoisuuden suhteen (ODA P, outdoor air, particulate matter). Taulukossa 5 on esitetty ODA-luokitusten raja-arvot. (7)

TAULUKKO 5. Ulkoilman laatuluokat hiukkaspitoisuuden suhteen (7, s. 23)

Luokka	Kuvaus ja esimerkki	Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot (24 tunnin keskiarvo ja vuosikeskiarvo)	
		PM2,5	PM10
ODA 1 (P) (*)	Ulkoilma, jossa on pölyä ainoastaan tilapäisesti (esim. siitepölyä kesäisin). Esim. maaseudun ulkoilmaa	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup> (24h) 40 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)
ODA 2 (P)	Ulkoilma, jossa on suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia.	37,5 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup> (24h) 60 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)
ODA 3 (P)	Ulkoilma, jossa on erittäin suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia. Esim. Suuri osa isompien kaupunkien keskusta-alueista sekä teollisuusalueiden ympäristöistä	yli 37,5 µg/m <sup>3</sup>	yli 75 µg/m <sup>3</sup> (24h) yli 60 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)

Tuloilman suodatus suunnitellaan ulkoilman laatuluokan perusteella. Suodattimeksi valitaan sellainen suodatin, jolla saavutetaan STM:n asumisterveysohjeen mukainen sisäilman laatu hiukkasmaisten epäpuhtauksien osalta. Huomioon otetaan myös muut ilmavirrat, kuten suodattimien ohivuodot ja lämmöntalteenoton vuodot. Tuloilmalle on laadittu laatuluokat, jotka esitellään taulukossa

7. Tuloilmaluokilla SUP 1–3 saavutetaan STM:n asumisterveysasetuksen mukainen sisäilma. Luokat SUP 4 ja 5 vaativat rinnalleen todennäköisesti muita puhdistusratkaisuja. (8)

TAULUKKO 6. Tuloilman (SUP) luokitus. (8, s. 24)

Luokka	Kuvaus	Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot	
		PM2.5	PM10
SUP 1	Tuloilma - erittäin pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	6 µg/m <sup>3</sup>	12,5 µg/m <sup>3</sup>
SUP 2	Tuloilma - pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	12,5 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>
SUP 3	Tuloilma - keskimääräiset hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	18 µg/m <sup>3</sup>	37,5 µg/m <sup>3</sup>
SUP 4	Tuloilma - suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
SUP 5	Tuloilma - erittäin suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	32,5 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>

Taulukossa 7 on vanhentuvan suodatinstandardin mukaiset minimisuodatusluokat.

TAULUKKO 7. Ulko- ja tuloilmasuodattimien minimisuodatusluokat suodatinluokitus SFS-EN 779:2012 mukaan. (8, s. 25)

Ulkoilmaluokka	Tuloilmaluokka				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	M5 + F7	F7	F7	F7	
ODA (P) 2	F7 + F7	M5 + F7	F7	F7	*)
ODA (P) 3	F7 + F9 **)	F7 + F7	M6 + F7	F7	*)

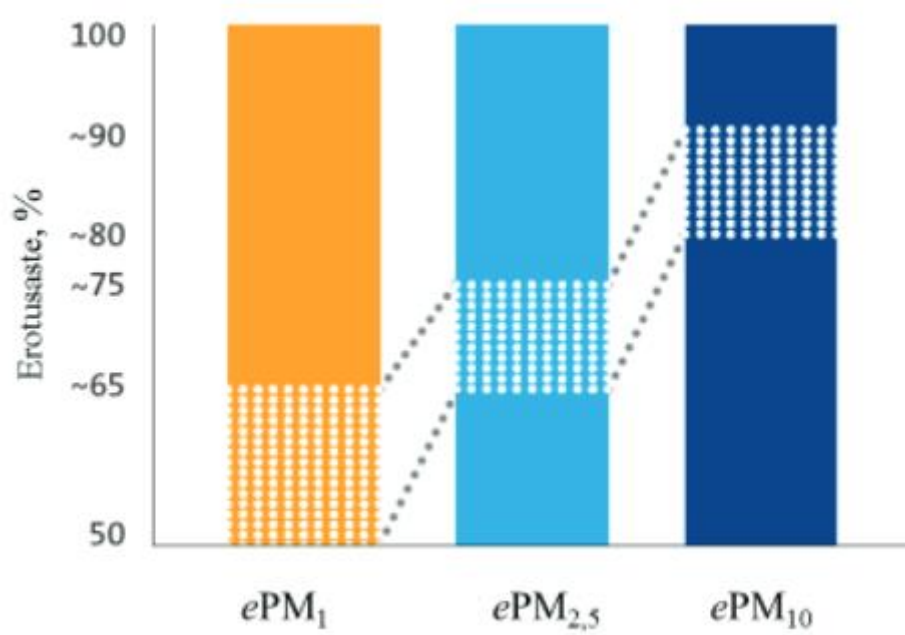
Taulukossa 8 on uudistetun suodatinstandardin mukaiset minimisuodatusluokat. Vertailemalla taulukkoja 7 ja 8 nähdään hyvin, kuinka uuden suodatinstandardin luokitukset ovat verrattavissa vanhaan suodatinstandardiin.

TAULUKKO 8. Ulko- ja tuloilmasuodattimien minimisuodatusluokat suodatinluokitus SFS-EN ISO 16890-1:2016 mukaan. (8, s. 26)

Ulkoilmaluokka	Tuloilmaluokka				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	
ODA (P) 2	ePM2.5 65% + ePM1 50%	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	*)
ODA (P) 3	ePM2.5 65% + ePM1 80% **)	ePM2.5 65% + ePM1 50%	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	*)

Huomattavaa on, että uudistetulla suodatinluokituksella suunniteltu kokonaishiukkaserotusaste voidaan saavuttaa useilla eri suodatinyhdistelmillä. Kuvassa 1 on havainnollistava kuva SFS-EN

779:2012 mukaisen F7 luokan suodattimen suodatusasteesta nykyisen standardin SFS-EN ISO 16890 mukaan.



KUVA 1. Havainnollistava kuva, kuinka standardin SFS-EN 779:2012 mukainen F7 luokan suodatin luokituu, kun sitä verrataan nykyiseen standardiin SFS-EN ISO 16890-1:2016 (9, s. 5)

### **3 YLEISIÄ ILMANVAIHDON ONGELMIA**

#### **3.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmat**

Painovoimaisen ilmanvaihdon suurin ongelma on ilmanvirtojen riittämättömyys. Painovoimainen ilmanvaihto perustuu ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamaan ilmanliikkeeseen. Kesäaikana lämpötilaero ei ole suuri, jolloin myös ilmanvaihto painovoimaisessa järjestelmässä jää usein riittämättömäksi. Riittämätön ilmanvaihto johtuu yleensä siitä, että ilmanvaihdon reittejä on vähän tai ne ovat likaantumisen vuoksi tukkeutuneet tai ne on suljettu. Tämä johtaa monesti siihen, että korvausilma rakennukseen tulee rakenteiden vuotoilmareittien kautta sisältäen rakenteista vuotoilmaan siirtyviä epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet huonontavat sisäilmanlaatua entisestään, koska korvausilmaa on vähän. Painovoimainen ilmanvaihto voidaan saada toimivaksi riittävällä ikkunatuuletuksella ja varmistamalla, että korvausilmareittejä on riittävästi ja ne pidetään puhtaana ja avoinna. Painovoimaista ilmanvaihtoa ei voi suositella tiloihin, joiden henkilömäärät ovat suuret. Etenkään talviaikana korvausilmaa ei saada johdettua tarpeeksi tilaan vedottomasti. (10; 11)

#### **3.2 Koneellisen poiston ongelmat**

Pelkästään koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetulla rakennuksella ongelmaksi syntyy yleensä liiallinen alipaine. Liiallinen alipaine johtuu yleisesti ulkoilmaventtiilien puutteesta. Tämä johtaa korostetusti samaan ongelmaan kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa: korvausilma tulee läpi rakenteista likaisena. Koneellinen poisto kuitenkin mahdollistaa toimivan ilmanvaihdon, jos ulkoilmaventtiilejä on tarpeeksi ja ne pidetään puhtaana ja avoinna. Ulkoilmaventtiilien lisäämisestä on huolehdittava etenkin, mikäli rakenteita tiivistetään sisäilmakorjauksen yhteydessä.

#### **3.3 Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon ongelmat**

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon ongelmat ovat usein virheet suunnittelussa, käytössä ja huollossa. Suunnittelun virheitä ovat yleensä esimerkiksi päätelaitevalinnat: ilmanjako on olennainen osa toimivaa ilmanvaihtoa ja epäonnistuneilla päätelaitevalinnoilla voi toimivallakin järjestel-

mällä saada epämukavan sisäilman. Esimerkkinä huonoista päätelaitevalinnoista on kuvan 2 poistoilmaventtiilit, joiden paineenalennuspellit ovat kauttaaltaan tekstiilipölyn peitossa. Tilaan oli suunniteltu oikea ilmavirta, joka ei kuitenkaan toteudu päätelaitteiden ollessa tukkeutuneet epäpuhtauksista. (12)



*KUVA 2. Poistoilmaventtiin liikaantunut paineenalennuspelti (12, s.4)*

Usein ilmanvaihtokoneet on valittu sellaisiksi, että säätövaraa ilmanvaihdon lisäämiseksi ei juuri ole. Tällöin tilamuutosten tai ryhmäkokojen kasvuun on hankala reagoida epämukavan sisäilman välttämiseksi. Käyttäjistä johtuvia ongelmia ovat yleensä esimerkiksi päätelaitteiden tukkiminen tuloilmasuihkun aiheuttaman vedon vuoksi. Tällaisia ongelmia on lähes mahdoton ennaltaehkäistä. (11)

### **3.4 Huollon laiminlyönti ja väärinkäyttö**

Yksi suurimmista sisäilmaongelmien aiheuttajista on ilmanvaihtokoneiden suodattimet ja etenkin niiden vaihdon laiminlyönti. Rakennusten ulkoilman ja sisäilman hiukkasmaisia epäpuhtauksien määrä vaihtelee riippuen sijainnista ja käyttötarkoituksesta. Tuloilmasuodattimen vaihtoväli riippuu mm. ulkoilman puhtaudesta, ilmanvaihtokoneen ilmavirrasta, käyttöajasta sekä suodatuspinta-alasta. Rakennuksessa, jossa oireillaan huonosta sisäilmasta tulisi suodattimet vaihtaa kaksi kertaa vuodessa. Jo hieman likaiset suodattimet vaikuttavat ilmanvaihdon tasapainoon ja tätä kautta myös rakennuksen paineisuuteen. Usein tuloilmasuodattimet likaantuvat enemmän ja nopeammin,

jolloin rakennukseen muodostuu alipainetta, kunnes suodattimet vaihdetaan. Alipaineen muodostuessa korvausilma tulee rakennukseen vuotoilmareittien kautta.

Päätelaitteiden puhtaanapito on vähintään yhtä tärkeää kuin suodattimien vaihto. Etenkin tiloissa, jossa on paljon epäpuhtauksia ja pölyä (askartelu-, käsi- ja tekstiilityöluokat) pitäisi huolehtia, että poistoilman päätelaitteet eivät ole herkästi likaantuvia (kuva 2). Päätelaitteiden puhdistaminen pitäisi kuulua tietyin väliajoin tehtäviin huoltotoimenpiteisiin, jotta varmistutaan toimivasta ilmanvaihdosta.

Kiinteistönhoidon tehtävä on pitää huolta siitä, että myös ilmanvaihtokoneen toimintaa valvotaan ja huolletaan tarpeeksi. Sisäilmatutkijana pitkään työskennellyt Jukka Huttunen on tavannut kiinteistöhoitajia, jotka eivät edes tieneet missä ilmanvaihtokone sijaitsee. (11)

### **3.5 Rakennuksen alipaineisuus**

Aikaisempien ohjeiden mukaan (RakMK D2) rakennus tuli suunnitella ilmanvaihdon osalta hieman alipaineiseksi. Rakennukset suunniteltiin alipaineiseksi, jotta välttyttäisiin sisäpuolella muodostuvan kosteuden kulkeutumiselta rakenteisiin. Toisaalta alipaineinen rakennus altistuu rakenteista irtoaville epäpuhtauksille. Rakennuksen ollessa voimakkaasti alipaineinen rakenteista vuotoilman mukaan vapautuvat epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan. Joissakin koulurakennuksissa koneellisen ilmanvaihdon aikaansaaman alipaineen vuoksi rakenteista siirtyneet epäpuhtaudet ovat aiheuttaneet tilojen käyttäjille sisäilmaoireita (13, s. 54).

Nykyisen asetuksen (1009/2017) ja -ohjeiden mukaan rakennus mitoitetaan ilmanvaihdon osalta tasapainoon. Tavoitteena on saavuttaa ulkovaipan yli 0...–10 Pa paine-ero (14). Tasapainoisella suunnittelulla pyritään minimoimaan rakenteelle ja sisäilmalle haitallinen ilmanliike ulkovaipan läpi. (8).

### **3.6 Rakennuksen ylipaineisuus**

Rakennusten ylipaineistuksesta on hyvin vähän tutkimustyötä tehtynä ja sen haittavaikutukset saattavat olla liioiteltuja etenkin tavanomaisissa rakennuksissa, kuten koulut ja toimistot, jossa kosteuskuorma ei ole kovin suuri. Swecon Asiantuntijapalvelut Oy:n tekemän tutkimuksen mukaan



5...7 Pa ylipaineiseksi säädetyn koulurakennuksen rakenteet eivät alistuneet haitalliselle kosteuskuormalle. Tutkimusta ei kuitenkaan voida pitää täysin onnistuneena, sillä ylipaineistetut tilat eivät pysyneet ylipaineisina koko kokeilujakson aikaa. Tutkimus suoritettiin talvella, jolloin ulkoilman absoluuttinen kosteus on pieni. Toimivan ilmanvaihdon johdosta myös sisäilma oli mittaushetkellä kuivaa ja tämän vuoksi suurikaan ylipaine ei aiheuttanut kosteusrasitusta rakenteille. Tutkimuksessa tehtiin myös laskennallinen mallinnus, jossa todettiin mitatulla ilmankosteudella kosteusrasituksen olevan vähäinen. Kun laskennallisessa mallinnuksessa lisättiin kosteuskuormaa, voitiin todeta kosteusrasituksen kasvavan merkittävästi, mikäli kosteuskuorma yli kaksinkertaistettiin mitattuun arvoon nähden. Erityskosteisiin tiloihin ylipaineistusta ei ainakaan voi täten suositella. Tavanomaisissa tiloissa, joissa sisäilman kosteuslisä on pieni ja ilmanvaihto toimii, ei ylipaineesta pitäisi olla haittaa rakenteille. (15, s. 91...96)

### **3.7 Ilmanvaihdon suunnitteluratkaisuiden ongelmat**

Suunniteltaessa koulurakennuksien ilmanvaihtoa usein on päädytty satsaamaan energiatehokkaiisiin säätötapoihin mutta sellaisiin päätelaiteratkaisuihin, jotka eivät palvele jokaista luokkatilan käyttäjää. Kun ilmavirrat mitoitetaan vaatimustasojen minimien mukaisesti ja päätelaitteiksi valitaan esimerkiksi syrjäyttävä ilmanvaihto, saattaa luokkahuoneen ilmanvaihto näyttää paperilla hyvältä mutta toteutus on käyttäjälle huono. Määräysten vaatima minimi-ilmanvaihto on määritelty riittäväksi, mutta jos tuloilma ei saavuta jokaista tilan käyttäjää, ilmanvaihto ei ole riittävä.

Päätelaitteen tarkka säädettävyys on myös tärkeä osa suunnittelua. Jos ilmavirtaa ei saada säädettyä tasaisesti koko käyttöalueelle, saattaa tuloksena olla edellä mainittu paperilla hyvä ilmanvaihto, joka ei käytännössä kuitenkaan palvele koko tilaa. Sisäilmatutkimuksissa suurille luokkatiloille epätasaisesti ilmaa jakaviksi päätelaitteiksi on todettu esimerkiksi syrjäyttävän ilmanvaihdon piennopeuslaitteet sekä sekoittavan ilmanvaihdon seinähajottajat. Tämä ei tarkoita, että em. päätelaitteet olisivat huonoja ilmanjakolaitteita, mutta ne ovat erityisen alttiita toimimaan huonosti, mikäli niiden ilmavirta ei pysy suunniteltuna. Kuvassa 3 havaitaan, kuinka tuloilmasuihkun heittopituus on liian lyhyt, jolloin osassa tilaa ilma vaihtuu heikosti. Poistoilmapäätelaitteiden ollessa samalla puolella luokkatilaa ilmavirta saattaa mennä oikosulkuvirtauksena poistoilmalaitteisiin. Hyvällä ilmanjaolla tarkoitetaan sitä, että tuloilmasuihku tavoittaa jokaisen tilan käyttäjän. (11; 16, s. 16)



*KUVA 3. Savukoneella tehty testi tuloilmalaitteen ilmanjaosta (16, s.17)*

Energiatehokkaan suunnittelun apukeinoina on uusissa kohteissa usein käytetty esimerkiksi hiilidioksidiantureita määrittelemään tilaan vain tarpeenmukainen ilmanvaihto. Varsinkin sisäilmaongelma-kohteissa hiilidioksidimittarilla säädettävän ilmanvaihdon on todettu reagoivan liian hitaasti. Tämä johtuu siitä, että ilmanvaihdon tehostuksen asetusarvo on saatettu laittaa liian korkeaksi. Ilman hiilidioksidipitoisuus ehtii nousta korkeaksi ennen ilmanvaihdon tehostumista. Sisäilmaongelma-kohteissa on suositeltavaa käyttää ilmanvaihtoa samalla teholla käyttöajanulkopuolella, jotta sisäilman laatu pysyisi mahdollisimman hyvänä myös käyttöajan ulkopuolella. Tasainen ilmanvaihto myös pitää materiaalipäästöiset hajut pois tilasta. Materiaalipäästöiset epäpuhtaudet ja hajut, kuten linoleumtaulu tai kumimatto yhdistetään usein homeisiin, sieniin tai mikrobeihin ja käyttäjät kokevat sisäilman epäpuhtaaksi. (11)

Jos hiilidioksidiantureita käytetään tilan ilmavirran säätämiseen, on huolehdittava, että ne sijoitetaan oikein. Joissakin kohteissa on hiilidioksidianturit sijoitettu tuloilmalaitteen läheisyyteen (kuva 4). Tällöin hiilidioksidianturi ei mittaa oleskeluvyöhykkeen pitoisuutta vaan raikasta tuloilmaa, jonka hiilidioksidipitoisuus ei vastaa tilan todellista hiilidioksidikuormaa. Käytännössä tilaan ajetaan jatkuvasti vain tyhjän tilan vaatimaa ilmanvaihtoa, vaikka tila olisi täydellä kuormituksella. (16, s. 15)



*KUVA 4. Hiilidioksidianturi on asennettu tuloilmalaitteen läheisyyteen. Yliopistokeskus Chydenius, Kokkola. (16, s.15)*

## **4 OHJE SISÄILMAONGELMAISEN RAKENNUKSEN ILMANVAIHDON KORJAAMISEEN**

### **4.1 Järjestelmän suunnittelu mahdollisten muutosten varalle**

Suunniteltaessa korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteiden ilmanvaihtojärjestelmään tulisi pyrkiä saavuttamaan rakennukseen kerralla kestävä ja pitkällä aikavälillä toimiva ilmanvaihto. Tämä tarkoittaa sitä, että uusien ilmanvaihtokoneiden ilmavirtoja on voitava tehostaa asetuksen 1009/2017 mukaan 30 %. Mikäli ilmanvaihtokone ja -kanavisto valitaan ns. tiukalla mitoituksella vain rakennuksen nykyisen käyttötarkoituksen mukaiseksi, jo pienet tilamuutokset saattavat aiheuttaa rakennukseen liian vähäisen ilmanvaihdon.

Pyrkimyksenä ilmanvaihdon ylimitoituksella on välttää se, että samaan rakennukseen joudutaan uusimaan ilmanvaihtolaitteisto lyhyen ajan sisään. Koulu- ja toimistorakennuksissa tilamuutoksia saattaa tapahtua hyvinkin tiheään (esimerkiksi luokkatiloja vaihdetaan opettajien toimistoiksi tai toimistohuoneesta tehdään neuvotteluhuone). Tällaisten muutosten yhteydessä usein myös unohdetaan säätää ilmanvaihto tilan nykyiseen käyttötarkoitukseen, joten ohjeistus ilmanvaihdon säädön tärkeydestä tilamuutosten yhteydessä on tärkeää. Ilmanvaihtojärjestelmän ylimitoituksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että sisäilman laatu ei heikkene suurten ilmavirtojen aiheuttaman vedon, ilman kuivumisen tai ilmanvaihtolaitteiston äänen vuoksi. Ilmanvaihtojärjestelmän ylimitoituksella tarkoitetaan sitä, että järjestelmää voidaan käyttää tarvittaessa suuremmilla ilmavirroilla. Lähtökohteisesti järjestelmä tulisi kuitenkin säätää rakennuksen todellisen kuormituksen mukaan.

### **4.2 Korvausilman lisäys ensihoitona**

Painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä sisäilmaongelman osasyllinen on lähes poikkeuksetta liian vähäinen ilmanvaihto (10). Edellä mainitussa järjestelmässä on usein myös kyse hieman vanhemmasta (1980-luku tai aiemmin) rakennetusta rakennuksesta. Vanhoihin rakennuksiin ei usein haluta tehdä kovin kalliita uudistuksia tai remontteja. Tällaisissa tapauksissa voidaan ilmanvaihdon parantamiseksi ehdottaa ainakin alustavasti korvausilmareittien lisäystä ja ilmanvaihdon tehostustilanteessa hetkellistä tuuletusta. Tilojen välisen ilmanvaihdon toiminnan kannalta on tärkeää, että tilojen väliset siirtoilmareitit toimivat suunnitelman mukaisesti.

### **4.3 Rakennusten tiivistämisen vaikutus ilmanvaihtoon**

Laajan sisäilmakorjauksen yhteydessä yleensä rakenteet tiivistetään, jotta rakenteiden epäpuhtaudet eivät kulkeutuisi sisäilmaan. Ilman vaihtuvuuden kannalta tämä tarkoittaa sitä, että rakenteiden läpi ei käytännössä korvausilmaa enää tule. Tämä taas johtaa siihen, että ilmanvaihdon merkitys rakennuksen sisäilman laatuun kasvaa merkittävästi. Mikäli rakennukseen jätetään painovoimainen ilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, tulee korvausilmareittejä järjestää korvaamaan aikaisempi rakenteiden läpi tullut korvausilmamäärä. Korvausilmareitit tulee järjestää asianmukaisilla korvausilman päätelaitteilla, joilla varmistetaan, että korvausilma pääsee esteettä rakennukseen.

Laajassa sisäilmakorjauksessa, jossa myös rakenteita tiivistetään tulisi ainakin ehdottaa koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteisto on sekä energiatehokas että rakennuksen sisäilman kannalta erityisen tärkeä osa. Rakenteita tiivistettäessä sisätiloihin muodostuva kosteus voidaan poistaa hallitusti vain toimivalla ilmanvaihdolla. Mikäli rakennukseen ei tehdä rakenteellisia korjauksia, saattaa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä jo hieman epätasapainoon säädettynä vain voimistaa rakenteiden epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan.

### **4.4 Porraskäytävien hajuhaittojen poisto**

Porrashuoneisiin vaaditaan nyky määräysten mukaan ilmanvaihdoksi 0,5 vaihtoa tunnissa. Vanhoissa kouluissa, päiväkodeissa ja toimistoissa on kuitenkin porraskäytäviä, joiden ilma vaihtuu korkeintaan oviin asennettavien ulkoilmasäleikköjen kautta. Tällaisissa tapauksissa porraskäytävän ilmasta muodostuu tunkkainen. Tunkkainen ilma edes pienessä osassa rakennusta voi aiheuttaa käyttäjille epävarmuutta koko rakennuksen sisäilman laadusta. Useassa kohteessa käyttäjät kokivat sisäilman laadun huonoksi ja tunkkaiseksi, mikäli heidän työpisteensä sijaitsi lähellä porraskäytävää (11). Vastaavanlaista ongelmaa aiheuttaa esimerkiksi luokkatiloissa olevat kumimatot tai linoleumtaulut, joiden hajut korostuvat riittämättömän ilmanvaihdon vuoksi. Sisäilmaongelma-kohteessa kaikki edellä mainitun kaltaiset vaarattomatkin hajuhaitat pyritään minimoimaan. Myös asumisterveysohje määrittelee, että ilmanvaihdon on oltava käyttöajan ulkopuolella sellainen, ettei rakenteista tai sisustusmateriaaleista kulkeutuvat epäpuhtaudet aiheuta käyttöaikana käyttäjille terveyshaittaa.

## **4.5 Ilmavirtojen lisäys tarpeiden mukaisiksi**

Sisäilmaongelmakohteina on usein myös rakennuksia, joissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Kun tällainen rakennus ajautuu sisäilmaongelmiin, voi osasyynä olla se, että ilmanvaihtolaitteisto ei enää toimi alkuperäisten suunnitelmien mukaan. Ilmanvaihtolaitteiston korjaustoimenpiteillä sisäilmaongelmakohteissa on tavoitteena saada rakennukseen hyvin säädettävissä ja seurattavissa oleva sekä ennen kaikkea riittävä ja rakennuksen käyttäjiä palveleva ilmanvaihto.

### **4.5.1 Tasapainotus ja puhdistus**

Aluksi kannattaa katsoa, kuinka paljon vanhaa laitteistoa voidaan hyödyntää, kun tällaisen rakennuksen ilmanvaihdon korjausta lähdetään suunnittelemaan. Vanhat päätelaitteet ja kanavistot voivat olla riittäviksi mitoitettuja jopa nykyohjeiden mukaan, mutta niiden huoltoa on laiminlyöty. Sisäilmastoluokitus ohjaa tarkistamaan kanaviston puhtauden viiden vuoden välein. Kanaviston nuohous, suodattimien vaihto ja ilmavirtojen tasapainottaminen ovat usein riittävät korjaustoimenpiteet rakennuksessa, jossa ilmanvaihtolaitteisto on mitoitettu vähintään sisäilmastoluokitus S3:n mukaan. Mikäli kanaviston puhdistus on suoritettu edellisen viiden vuoden aikana ja kanavisto todetaan silti likaiseksi, on suositeltavaa pienentää kanaviston puhtauden tarkastusväliä. Huolellisella siivouksella, etenkin tekstiili- ja yläpintojen puhtaanapidolla pidetään myös ilmanvaihtokanavisto puhtaampana.

### **4.5.2 Ilmanjaon korjaus**

Käyttäjät voivat kokea sisäilman riittämättömäksi myös silloin, kun rakennuksen ilmanvaihdon ovat kunnossa. Tämä kertoo yleensä siitä, että ilmanjako on jollakin tapaa epäonnistunut. Vanhat päätelaitteet voivat olla sellaisia, jotka eivät tuo tuloilmaa koko oleskeluvyöhykkeelle tai ne ovat huonosti sijoitettu. Erityisesti seinähajottajat ja huonosti sijoitetut syrjäyttävän ilmanvaihdon piennopeuslaitteet on todettu heikosti ilmaa jakavaksi päätelaitteiksi (17). Suositeltavia päätelaitteita suuriin ryhmä- tai luokkatiloihin ovat kattoon asennettavat suutinhajottajat tai suutinkanavat. Edellä mainitut päätelaitteet on helppo jälkiasentaa huoneen kattoon ja niiden ilmanjako on todettu hyväksi. Suutinkanaviin on suositeltavaa asentaa säätöpellit, jotta niiden ilmamäärästä voidaan jatkossa saada luotettavia mittaustuloksia ja täten varmistua ilmanjaon toimivuudesta.

Poistoilmalaitteiksi kannattaa valita mahdollisimman helppohuoltoiset mallit, jotka eivät likaannu kanaviston puhdistusvälin aikana.

### **4.5.3 Ilmanvaihtokoneen uusiminen**

Kohteissa, joissa vanhan ilmanvaihtokoneen ilmavirrat eivät riitä kattamaan rakennuksen vaatimia ilmanvaihdon määriä voidaan joutua joko uusimaan ilmanvaihtokone, -kanavisto ja -automaatiojärjestelmä tai lisäämään tietyille rakennuksen osalle uusi pienempi ilmanvaihtokone. Uusi ilmanvaihtojärjestelmä on suositeltavaa valita sellaiseksi, että sen ilmavirrat riittävät palvelemaan tiloja sisäilmastoluokitus S2:n mukaisilla mitoitusilmavirroilla. Tämän lisäksi ilmanvaihtokoneeseen on suositeltavaa jättää säätövaraa ilmamäärän lisäämiseksi. Säätövaralla pyritään välttämään mahdollisilta lisäkorjaustoimenpiteiltä, mikäli esimerkiksi rakennuksen tilaratkaisut muuttuvat sellaisiksi, että lisäilmavirroille on tarvetta. Lisäksi ilmanvaihtokoneen ylimitoituksella voidaan rakennukseen ajaa korjaustoimenpiteiden jälkeen jopa sisäilmastoluokituksen S1 mukaisia tai suurempia ilmamääriä.

Tilojen käyttäjät eivät usein ilmanvaihdon korjauksista huolimatta välttämättä huomaa eroa tarpeeksi selkeästi sisäilmassa, mikäli rakennukseen ajetaan vain minimivaatimusten mukaista sisäilmaa. Ajamalla rakennukseen suunniteltua käyttöajan ilmanvaihtoa ensimmäisen 6–12 kuukauden ajan korjaustoimenpiteiden jälkeisen käyttöönoton jälkeen vähennetään mahdollisia rakennekorjausten mukana tulleita hajuja. Lisäksi saadaan käyttäjien mielikuvat huonosta sisäilmasta pois.

### **4.5.4 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisut**

Mikäli koko ilmanvaihtojärjestelmää uusitaan, sisäilmaongelmakohteen tiloihin voidaan asentaa esimerkiksi hiilidioksidiantureilla säätyvä ilmanvaihto. Tällöin tulee kuitenkin huolehtia, että anturit sijoitetaan sellaiseen paikkaan, jossa ne mittaavat tilan todellista hiilidioksidikuormaa. Antureiden säätökäyrät tulee asettaa sellaisiksi, että ne reagoivat tarpeeksi nopeasti muuttuneeseen tuloilman tarpeeseen. Nämä erityishuomiot ovat tärkeitä, koska sisäilmaongelmakohteissa käyttäjät ovat yleensä erittäin herkkiä pienillekin sisäilman laadun puutteille korjaustoimenpiteiden jälkeen. Tämän takia on suositeltavaa rakennuksen käyttöajan aikana ajaa luokka- ja ryhmätiloihin tasaista ilmavirtaa myös sinä aikana, jolloin tilat ovat tyhjänä (esimerkiksi väli- ja ruokatunnit).

#### **4.6 Kuvaus ilmanvaihdon toiminnan varmistamiseksi**

Sisäilmaongelmakohteen ilmanvaihdon korjaussuunnitelmaa laadittaessa on olennaista huolehtia, että rakennuksen sisäilma saadaan myös pysymään jatkossa hyvänä. Ilmanvaihdon toiminnan varmistamiseksi olisi laadittava selkokielineen kuvaus ilmanvaihtolaitteiston toiminnasta. Kuvauksessa esitetään, kuinka ilmanvaihtolaitteisto toimii sen asennushetkellä. Kuvauksesta voidaan täten nähdä, jos jokin osa-alue ilmanvaihtolaitteistossa ei toimi kuten se on suunniteltu.

Kuvauksessa käytäisiin läpi ainakin ilmanvaihtokoneen toiminta ja tiedot (tulo- ja poistoilmavirta määrät, lämmöntalteenottolaitteisto, käyntiajat, puhaltimien tehot, suodattimien luokitus), päätelaitteiden toiminta (ilmanjako ja sen säädettävyys) ja ilmavirtojen mitoitusperiaatteet (henkilö-/neliömäärän mukaan mitoitus). Lisäksi kuvauksessa tulisi kertoa esimerkiksi ikkunoiden ja ovien auki pitämisen vaikutus ilmanvaihtoon sekä korostaa, että ilmanvaihtolaitteiston toimintaa ei saa häiritä esimerkiksi sulkemalla tai muuttamalla päätelaitteiden säätöä. Käytännössä kuvauksen ideana on kertoa suunnittelijalle, kiinteistönhoitajalle ja käyttäjälle, kuinka ilmanvaihto on suunniteltu toimivan rakennuksessa. Kuvaus tulisi toimittaa ja järjestää toimituksen yhteydessä koulutus kuvauksen sisällöstä rakennuksen kiinteistönhoitajalle ja käyttäjälle. Käyttäjille ja kiinteistönhoitajalle kuvaus toimisi myös ohjeena, jotta vältetään käyttäjistä johtuvat ilmanvaihtolaitteiston ongelmat jatkossa.

#### **4.7 Ohje ilmanvaihtolaitteiston ylläpitoon ja huoltoon**

Sen lisäksi, että on olemassa kuvaus ilmanvaihdon toiminnasta sisäilmaongelmakohteeseen, tulee laatia ohje laitteiston ylläpitoon ja huoltoon. Kiinteistönhoitaja on vastuussa myös ilmanvaihtolaitteiston toiminnasta käyttöönoton jälkeen ja hänen on syytä tuntea vastuualueensa ilmanvaihtolaitteiston ylläpidosta.

Ohjeessa kerrotaan kiinteistönhoitajalle lyhyesti, kuinka laitteistoa tulee huoltaa ja ylläpitää. Kiinteistöhuollolle ohjeessa tulee mainita suodattimien vaihtoväli sekä kanaviston ja päätelaitteiden puhdistamisen väli. Lisäksi ohjeessa tulee kertoa, kuinka ilmanvaihtoa voidaan tarvittaessa tehostaa.



Kiinteistöhuoltosopimuksessa tulee käydä ilmi sopiva tarkistusväli, jolloin kiinteistöhoitaja käy tarkistamassa, että ilmanvaihtolaitteisto toimii oikein. Suodattimien vaihtovälin tulee olla yksiportaisessa suodatuksessa korkeintaan kuusi kuukautta ja kaksiportaisessa suodatuksessa kärkeasuodattimen osalta korkeintaan kuusi kuukautta ja hienosuodattimen osalta korkeintaan vuosi. Tulo- ja poistoilmakanaviston puhtauden tarkistusväli on korkeintaan viisi vuotta. Entisessä sisäilmaongelmakohteessa aistinvaraisia tarkastuksia tulee kuitenkin kiinteistön huoltajan toimesta olla useammin, esimerkiksi kerran vuodessa. Ohjeessa tulee käydä ilmi, että ilmanvaihtojärjestelmän tarkastuksessa käydään läpi ainakin ilmanvaihtokoneen ja automaation toiminta, kanaviston, päätelaitteiden ja ilmanvaihtokoneen puhtaus sekä ilmavirrat.

Tämän lisäksi korjatussa sisäilmaongelmakohteessa on syytä myös suorittaa vähintään yksi täysi tarkastus koko laitteiston toiminnasta esimerkiksi vuosi käyttöönoton jälkeen. Tällä tarkastuksella varmistetaan, että laitteisto on lähtenyt toimimaan rakennuksessa suunnitellulla tavalla. Tarkastuksessa käydään läpi kaikkien tilojen ilmavirrat, tilojen hiilidioksidipitoisuudet käytön aikana pisto-koemaisesti, rakennuksen paine-ero ulkovaipan yli, tilojen väliset paine-erot, päätelaitteiden ja suodattimien puhtaus silmämääräisesti sekä ilmanvaihtokoneen säätöarvot. Tarkastuksen yhteydessä voidaan myös tarvittaessa laskea ilmanvaihtokoneen ilmavirta sellaiseksi, kuin rakennus normaalissa käyttötilanteessa vaatii, mikäli rakennuksen ilmanvaihtoa on tehostettu käyttöönoton jälkeiseksi ajaksi.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ohjeistus sisäilmaongelmakohteiden ilmanvaihdon suunnittelijoille. Ohjeessa oli tarkoitus esittää sellaisia huomioon otettavia asioita, jotka eroavat uudisrakennuksen suunnittelun periaatteista. Ohjeessa piti myös kertoa sellaisia ilmanvaihdon korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteisiin, jotka eivät varsinaisesti ilmanvaihdon suunnittelua vaadi. Ohjetta oli tarkoitus käyttää mahdollisesti Ideestructura Oy:n sisäilmatutkimusraporttien liitteenä, joka toimitettaisiin ilmanvaihdon urakoitsijalle/suunnittelijalle.

Ohje on tiivis ja lähestulkoon tilaajan tavoitteiden mukainen. Ohjeessa kerrotaan suunnittelijalle huomioon otettavia asioita sisäilmaongelmakohteiden ilmanvaihdon suunnitteluun. Ohjeessa ei suoraan anneta suunnittelijalle suunnitteluratkaisuja, vaan annetaan ehdotuksia, kuinka sisäilmaongelmakohteen ilmanvaihdon suunnittelua tulisi toteuttaa. Ohjeessa myös kehoitetaan suunnittelijaa antamaan käyttöopastus ilmanvaihdon käytöstä kiinteistön käyttäjille. Lisäksi ohjeessa käydään läpi eri asteisten ilmanvaihdon ongelmien korjaustoimenpiteitä. Ohje ei ole kovin yksityiskohdainen, mutta tärkeimmät huomioitavat asiat liittyen ilmanvaihdon suunnitteluun ja korjaukseen sisäilmaongelmakohteissa siinä tulevat esille.

Opinnäytetyössä käydään myös läpi RakMK D2:n uudistuksen vaikutuksia ilmanvaihdon suunnitteluun, suodatinstandardin muutosta sekä ilmanvaihdon ongelmia sisäilmaongelmakohteissa. Lisättyihin yleisiin ilmanvaihdon ongelmiin sisäilmaongelmakohteissa ohje tarjoaa vastaukset.

## LÄHTEET

1. Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi 2011. Loppuraportti. Kosteus- ja home-talkoot. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.hometalkoot.fi/file/15852.pdf>. Hakupäivä 26.05.2018.
2. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [https://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012\\_Suomi.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 29.03.2018
3. LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10440> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 15.5.2018.
4. LVI 05-10627. 2018. Sisäilmastoluokitus. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10627.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.5.2018
5. L 20.12.2017/1009 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>. Hakupäivä 15.5.2018
6. Seppänen, Olli – Lönnqvist, Siru – Säteri, Jorma – Railio, Jorma – Strand, Tiina – Ahola, Mervi 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista. Selvitys muiden kuin asuinrakennuksen tilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista ja selvitys asuinrakennuksen asuintilojen ja yhteistilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista. Helsinki: FINVAC ry. Saatavissa: <https://www.talotekniikkainfo.fi/esimerkit/ilmanvaihdon-mitoituksen-perusteet>. Hakupäivä 24.5.2018
7. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki. Saatavissa: [https://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje\\_pdf.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje_pdf.pdf). Hakupäivä 24.5.2018
8. Aavaharju, Harri – Hotokainen, Jari – Karkiainen, Sasu – Koivula, Urpo – Koskinen, Erkki – Saari, Mikko – Railio, Jorma – Järvinen, Jonne – Reinikainen, Mika – Hyvärinen, Juhani 2018. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. Saatavissa: <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>. Hakupäivä 15.5.2018

9. Jalkanen, Tero – Hyvärinen, Juhani – Koskinen, Erkki – Mylius, Christian – Railio, Jorma – Konkarikoski, Kimmo 2017. Ilmansuodattimien luokitus muuttuu. Saatavissa: [https://www.vttexpertservices.fi/Documents/Uutiset/Ilmansuodattimien\\_luokitus\\_muuttuu\\_sis%C3%A4ilmastoseminaari2017.pdf](https://www.vttexpertservices.fi/Documents/Uutiset/Ilmansuodattimien_luokitus_muuttuu_sis%C3%A4ilmastoseminaari2017.pdf). Hakupäivä 15.5.2018
10. Ilmanvaihto-ongelmat. 2017. Hengitysliitto. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihto-ongelmat>. Hakupäivä 15.5.2018
11. Huttunen, Jukka. Projektipäällikkö, Ideestructura Oy, Kokkolan toimipiste. Keskustelut toukokuun 2017 – elokuun 2017 aikana.
12. Junttila, Hannanoora – Huttunen, Jukka 2018. Sisäilmakatselmus. Kokkola: Ideestructura Oy.
13. Peltola, Susanna 2008. Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen. Teoksessa Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten tutkiminen. Vammala: Opetushallitus.
14. Kauppinen, Timo 2009. Rakennusten ilmanpitävyys. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110501.pdf>. Hakupäivä 15.5.2018
15. Mattila, Milla – Vornanen-Winqvist, Camilla – Jerkku, Ilkka – Kurnitski, Jarek. 2017. Rakennusfysiikka 2017. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Ylipaineistuksen ja ilmanpitävyyden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
16. Junttila, Hannanoora – Huttunen, Jukka 2017. Tutkimusselostus. Sisäilmatekninen kunto-tutkimus. Kokkola: Ideestructura Oy.
17. Huttunen, Jukka. Projektipäällikkö, Ideestructura Oy, Kokkolan toimipiste. Sähköpostiviesti. 31.01.20

## Koulu A

### EHDOTUS KOULUN A KORKEIDEN RADONPITOISUUKSIEN KORJAUSTOIMENPITEISTÄ

Tehtävänä on ollut selvittää erityisesti koulun A teknisen työn tiloissa mitattujen (JW-Inspect Oy:n radonmittausraportti 24.4.2017) korkeiden radonpitoisuuksien syitä ja mahdollisia korjaustoimenpiteitä.

Koulussa on käytössä koneellinen poistoilmanvaihto, jonka poistoilmamäärä teknisen työn tiloissa on n. 135 dm<sup>3</sup>/s luokkatilassa, 17 dm<sup>3</sup>/s maalaustilassa ja 7 dm<sup>3</sup>/s varastossa. Luokkatilassa on lisäksi purunpoistomuri. Tilan pinta-alat ovat yhteensä 72 m<sup>2</sup> ja poistoilmanmäärä on riittävä. Tuloilma on järjestetty tuloilma-aukolla (kuva 3), joka on 480\*125 mm kokoinen. Aukossa oleva alumiiniluukku ei kuitenkaan purunpoisto päälläkään aukea kuin hieman. Lisäksi aukossa oli tukkeena solumuovia (kuva 4), joka otettiin pois.

Luokkatila on ulkoilmaan nähden luonnollisesti alipainen, paine-ero on normaalitilanteessa 8 Pa ja purunpoisto päällä 30 Pa. Teknisen työn luokka on myös alipaineinen yläkertaan nähden. Alipaine johtuu koneellisesta poistoilmanvaihdosta ja sen johdosta tila myös imee itseensä helpommin maaperässä olevaa radonia.

Lattia- ja seinäliitokset olivat pääpiirteittäin hyvässä kunnossa, eikä selviä vuoto kohtia ollut lukuun ottamatta [ulkoseinän yläosaa verhomuurauksen kohdalta \(kuva 9\)](#), ikkunoiden liitoskohtia (kuva 7), korvausilmaventtiin läpivienni, ulko-oven alapuolinen kynnysrakenne (kuva 5) ja lisäksi porraskäytävää vasten olevassa seinässä oli aukko (kuva 10).

Teknisen työn luokan yläpuolella olevan luokan hieman korkea radonpitoisuus muodostuu todennäköisesti radonin vuotaessa välipohjan läpi. Korjaamalla teknisen työn luokan vuodot saadaan todennäköisesti myös yläpuolisen luokan radonpitoisuudet pieneneväan. Luokkatilan ilmanvaihtona toimi koneellinen poisto ja sen ilmamäärä oli 130 dm<sup>3</sup>/s, joka on huoneelle riittävä. Tila oli ulkoilmaan nähden alipaineinen 7 Pa, joka on täysin normaali koneellisen poiston rakennuksissa.


Suosittelemme suoritettavaksi seuraavia rakennusteknisiä toimenpiteitä.

- Reunimmaisena, ulkoseinää lähimpänä olevan akustiikkalevy rivin avaus.
- [Ulkoseinän tiivistys verhomuurauksen kohdalta.](#)
- Läpiviennin tiivistys korvausilma-aukon kohdalta elastisella saumamassalla, lisäksi varastoon menevän tuloilmaputken kotelon tiivistys.
- Ulko-oven alapuolisen kynnysrakenteen tiivistys elastisella saumauksella.
- Ikkunoiden tiivistys elastisella saumamassalla.
- Porraskäytävää vasten olevassa seinässä olevan aukon paikkaus ja tiivistys.
- Tuloilma-aukon läpän kevennys tai rei'itys, jotta sen läpi pääsisi kulkemaan ilma vapaammin. Vaihtoehtoisesti läpän tilalle voi vaihtaa esim. [Fläktwoods HSO säleikön.](#)

- **Tuloilmalaite, joka lämmittää ulkoilman** asennus sisäänkäynnin ikkunan yhteyteen. Esim. **Mobair 2075** ilmanvaihtolaite <https://mobair.fi/>, jolla saataisiin tilan alipainetta pienennettyä tehokkaasti.
- Vaihtoehtoisesti tuloilman lämmittävien korvausilmaventtiilien lisäys vanhan korvausilmaventtiin tilalle ja mahdollisesti myös sisäänkäynnin ikkunan tilalle. Esim. Mobair 2010
- Vaihtoehtoisesti tuloilmaikkunaventtiilien asennus ikkunoiden yhteyteen esim. **Biobe ThermoMax M**. Tämä ratkaisu saattaa tosin aiheuttaa kylmimmillä pakkasilla vedon tunnetta, koska ilma lämpenee vain ikkunoiden välissä olevalla ilmalla, joka ei kovilla pakkasilla ole kovin lämmin.

Edellä mainituista korjaustoimenpide ehdotuksista erityisen suositeltavaa on **lämmittävän tuloilmapuhaltimen asennus**. Tällä ratkaisulla varmistetaan, että tilan alipaine pienenee ja sen johdosta myös maaperästä tulevat radonvuodot pienenevät. Korvausilma saadaan tulemaan varmemmin suoraan ulkoilmasta rakenteiden ja maaperän sijaan, kun tuloilma puhalletaan sisään ja rakenteet tiivistetään.

Kokkolassa 22.6.2017  
IdeaStructura Oy



Henri Lerssi, Ins. opiskelija (AMK)

Jukka Huttunen, DI

Litteet

Kuvat





Kuva 1. Yleiskuva koulun vanhasta siivestä, jonka kellarissa sijaitsee teknisen työn luokka ja 1. kerroksessa luokkahuone, jossa oli myös mitattu hieman korkea radonpitoisuus.



Kuva 2. Tuloilman ulkoilmasäleikkö ja teknisen työn tilan ulko-ovi.



Kuva 3. Korvausilmaventtiilin sisäpuoli. Läppä on jatkuvasti melkein kiinni estäen korvausilman vapaan pääsyn tilaan.



Kuva 4. Korvausilmaventtiili oli tukittu solumuovilla estäen ilman vapaata kulkua sen kautta.



Kuva 5. Ulko-oven alapuolinen kynnysrakenne. Rakenteessa on näkyvä rako, joka tulee paikata.





Kuva 6. Korvausilmakanavan kotelo. Savukokeella huomattiin kotelon olevan epätiivis, savua laitettiin korvausilmasäleikön päästä koteloon.



Kuva 7. Ikkunoiden tiiviyys. Ikkunoiden karmeissa huomattiin olevan rakoa, jotka tulee tiivistää.



Kuva 8. Yleiskuva teknisen työn tilasta. Kuvassa näkyy tilaa palvelevan koneellisen poiston päätelaitteet.



Kuva 9. Välipohjan ja ulkoseinän välinen liitos.



Kuva 10. Väliessä oleva aukko.

## TUTKIMUSSELOSTUS

Sisäilmatekninen kuntotutkimus

3.2.2017





### 1.3 Tutkimuksen tavoite

Tehtävänä on ollut arvioida osoitteessa [REDACTED] sijaitsevan opetusrakennuksen muutamien luentosalien ja muiden opetustilojen sisäilman laatua sekä mahdollisten sisäilman laatuun vaikuttavien korjaustoimenpiteiden tarvetta. Tutkimuksen lähtökohtana olivat opiskelijoiden ja tilojen muiden käyttäjien kokemukset huonosta sisäilman laadusta kyseisissä tiloissa sekä erilaiset sisäilmaongelmiin viittaavat oireilut.

Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää em. opetustilojen sisäilman laatua sisäilmamittausten/-näytteenottojen avulla. Tutkimuksen kohteena olevista tiloista on ollut tavoitteena kerätä sisäilman VOC-näytteet, laskeutuneen pölyn koostumus- ja kuitunäytteet sekä sisäilman mikrobinäytteet viljelymenetelmällä ja Mycometer-menetelmällä tehtäviä analyyseja varten. Tavoitteena on ollut myös kartoittaa ko. opetustilojen sisäilmateknistä kuntoa aistinvaraisten menetelmien, ilmanvaihdon ilmamäärämittausten, kosteuskartoituksen ja yksittäisten kosteusmittausten sekä sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ja tilojen välisten paine-erojen seurantamittausten avulla tiloissa ilmenneiden sisäilmaongelmien syiden ja ongelmien laajuuden selvittämiseksi. Lisäksi tehtävänä on ollut esittää jatkotoimenpide-ehdotukset korjaustoimenpiteiden ja mahdollisesti tarvittavien lisätutkimusten suorittamiseksi.

Tutkimusten perusteella laaditussa selostuksessa on ollut tavoitteena esittää erilaisia rakennus- ja LVI-tekniisiä toimenpide-ehdotuksia sekä korjausvaihtoehtoja, joiden tehtävänä on ohjata tarvittavien korjausten laajuuden määrittämistä sekä korjausmenetelmien valintaa. Tavoitteena on ollut esittää mahdollisimman konkreettisia korjaustoimenpide-ehdotuksia ja muissa vastaavissa kohteissa hyväksi todettuja ratkaisuja sisäilmaolosuhteiden parantamiseksi.

Tutkimuksen tavoitteena ei ole ollut tutkia koko rakennusta ja sen kaikkia eri rakennusosia systemaattisesti kaikilta osiltaan, vaan tutkimuksen pääpaino on ollut ajankohtaiseen sisäilmaongelmaan liittyvissä kosteus- ja sisäilmateknisissä asioissa. Tutkimuskohteena olleiden tilojen valinta tehtiin pääasiassa tilojen käyttäjien toivomusten mukaan sen perusteella, missä tiloissa sisäilman laatu on koettu puutteelliseksi. Ongelmia on koettu lähinnä liitteenä olevan pohjapiirustuksen mukaisissa opetustiloissa 148 (Varvi), 146 (Ulappa), 256 (Pauha) ja 466 (Karvo), joihin tutkimukset kohdistettiin.

Kertaluonteiset sisäilmamittaukset-/näytteenotot sekä mm. ilmanvaihdon ilmapäämäämittaukset suoritettiin 3.1.2017, jolloin läsnä olivat osan aikaa kiinteistön vahtimestari sekä kiinteistönhoitaja. Ennen näytteenottoja sekä näytteenottojen aikana tutkimuksen kohteena olevissa tiloissa ei oleskellut käyttäjiä. Havaintoja täydennettiin vielä 31.1.2017 ilmanvaihdon osalta tilanteessa, jolloin osassa tiloista on läsnä käyttäjiä.

Tutkimuskäynnin ja näytteenottojen 3.1.2017 aikana ulkoilman lämpötila oli -9 °C ja maanpinta oli lumipeitteinen.

### 1.5 Tutkimuksen tekijä

IdeaStructura Oy  
Kutomotie 16  
00380 Helsinki

Tutkijat: Jukka Huttunen, puh. 041 515 2412 (yhteyshenkilö)  
Hannanoora Juntila  
Eetu Pulkkinen

### 1.6 Tutkimuskohteen yleiskuvaus

Tutkimuskohteena on vuonna 2006 valmistunut, yliopistokeskuksena toimiva koulurakennus. Rakennuksessa on 4 maanpäällistä kerrosta sekä kellarikerros. Kunkin kerroksen pinta-ala on noin 1100...1200 m<sup>2</sup>. Rakennuksessa ei ole sen lyhyestä käyttöhistoriasta johtuen toistaiseksi tehty merkittäviä rakennusteknisiä korjaus- tai muutostöitä. Myös sisätilojen pintamateriaalit ovat alkuperäiset.

Rakennuksen pääasialliset rakennusmateriaalit ovat teräsbetoni, tiili ja puu. Julkisivut ovat osaksi poltetusta tiilestä puhtaaksimuurattuja pintoja ja osaksi keraamisilla julkisivulankuilla (KeraTwin) verhottuja pintoja. Kantavina runkorakenteina ovat elementtirakenteiset teräsbetonipilarit, -palkit ja -seinät sekä delta-palkit ja osittain maanpinnan yläpuolella sijaitsevat kellarin paikallavalettu teräsbetoniseinät. Välipohjien kantavana rakenteena on ontelolaatat. Kantavat ulkoseinät ovat pääosin ulkopuolelta mineraalivillaeristettyjä teräsbetoniseiniä ja ei-kantavat ulkoseinät puurunkoisia, mineraalivillaeristettyjä seiniä. Väliseinät ovat massiivisia betonielementtirakenteisia ja kahi-tiilimuurattuja seiniä sekä kevyitä teräsrangallisia kipsilevyseiniä.

Rakennuksessa on MSE-tyyppin sisäänpäin avautuvia 2-puitteisia ja 3-lasisia puu-/alumiini-ikkunoita sekä MEK-tyyppin 3-lasisia kiinteitä ikkunoita. Osa ikkunoista on lisäksi avausmekanismilla varustettuja tuuletusikkunoita.

Rakennus sijaitsee loivasti itään/kaakkoon päin viettävällä tontilla ja se on perustettu koko alaltaan paaluilla. Perustusrakenteina ovat yksittäiset sekä jatkuvat paaluanturat ja niihin tukeutuvat perusmuurit. Näkyvät sokkelipinnat ovat maalaamattomia, teräsbetonirakenteisia kuorielementtejä. Rakennuspohja on salaojitettu rakennusrungon ulko- ja sisäpuolisin salaojain.

Alapohjarakenteina on sekä maanvaraisia että kantavia alapohjia. Kantavat alapohjat ovat pääosin ontelolaattarakenteisia, ryömintäfilallisia alapohjia sekä pienemmillä alueilla paikallavalettuja, maanvastaisia, kantavia teräsbetonilaattoja. Tutkimuksen kohteena olleiden luokkahuoneiden lattianpäällystämateriaaleina on linoleumimattoa ja puuparkettia.

Yläpohjan kantavana rakenteena on pääosin ontelolaatat, joihin tukeutuvat puiset vesikattorakenteet. Yläpohjan lämmöneristeenä on puhallettua mineraalivillaa ja höyrynsulkuna ontelolaattojen yläpinnalle asennettu muovikalvo. Yläpohjan tuulettuminen tapahtuu räystäillä olevien tuuletusrakojen kautta. Vesikaton kattomuotona on ulospäin kallistettu pulpettikatto ja vesikatemateriaalina on bitumikermikate. Vesikaton sadevedenpoisto on hoidettu riippukouruilla ja rakennuksen ulkopuolisilla syöksytorvilla.

Rakennuksessa on koneellinen tulo-/poistoilmanvaihto, joka on toteutettu kahdella ilmanvaihtokoneella. Ilmanvaihtokoneet on sijoitettu ullakkokerroksessa olevaan ilmanvaihtokonehuoneeseen.

## 2. Lähtötiedot

### 2.1 Käytössä olleet asiakirjat

Tätä tutkimusselostusta laadittaessa ovat olleet käytössä rakennuksen ilmanvaihtopiirustukset (Arkins Suunnittelu Oy 20.2.2006) sekä rakennepiirustukset (Insinööri-toimisto Nissilä & Cygnel Oy 20.2.2006).

Lisäksi käytettävissä on ollut kohteessa aiemmin tehdyn sisäilmakatselmuksen muistio (IdeaStructura Oy 26.11.2014). Mahdollisia kohteessa aiemmin tehtyjä muita tutkimuksia tai selvityksiä koskevia asiakirjoja ei ole ollut käytettävissä.

### 2.2 Kiinteistön ylläpidosta vastaavilta henkilöiltä ja käyttäjiltä saadut tiedot

Tutkimuksen tilaajalta ja kiinteistön ylläpidosta vastaavilta henkilöiltä saatujen tietojen mukaan rakennuksessa on viime vuosien aikana toteutettu aiemman sisäilmakatselmuksen muistiossa (IdeaStructura Oy 26.11.2014) esitettyjä korjaustoimenpiteitä. Hajuongelmia aiheuttaneet linoleumikiinnityspinnat on suurimmaksi osaksi poistettu ja luokkahuoneiden lattianurkkia sekä 1. kerroksen luokkahuoneiden lattiarasioiden sähköläpivientejä on tiivistetty. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisilmamäärät on pyritty tasapainottamaan filojen alipaineisuuden vähentämiseksi ja ilmanvaihtokanavat on nuohottu ainakin osittain vuonna 2015. Myös ilmanvaihtojärjestelmän vikaantuneita ilmamääräsäätimiä on uusittu ja ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoja on muutettu siten, että koneet ovat nykyisin käynnissä jatkuvasti, tosin öisin päiväaikaista pienemmällä teholla. Ilmanvaihtokoneen suodattimet on vaihdettu 2 kertaa vuodessa, edellisen kerran joulukuussa 2016.

Em. toimenpiteistä huolimatta käyttäjät ovat kokeneet ainakin tutkimuksen kohteena olevien luokkahuoneiden/luentosalien 148, 146, 256 ja 466 sisäilman laadun edelleen puutteelliseksi. Heikoimmaksi tilanne on saatujen tietojen perusteella koettu tilassa 148 (Varvi). Em. tiloihin on sijoitettu ilmanpuhdistimia sisäilman laadun parantamiseksi.

## 5. Muut havainnot ja mittaustulokset

### 5.1 Ilmanvaihto ja sen toimivuus

Rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto, joka on toteutettu kahdella tulo-/poistoilmakoneella. Lisäksi wc-tilojen ja muiden likaisempien tilojen poistoilmanvaihtoa varten on muutamia erillisiä poistoilmapuhaltimia. Ilmanvaihtokoneet on sijoitettu ullakkokerroksessa olevaan ilmanvaihtokonehuoneeseen. Raikasilmanto tapahtuu rakennuksen koillisjulkisivun yläosassa olevan säleikön kautta ja jäteilma puhalletaan vesikaton yläpuolelle. Koneellisen ilmanvaihdon lisäksi tilat on varustettu koneellisella jäähdytyksellä.

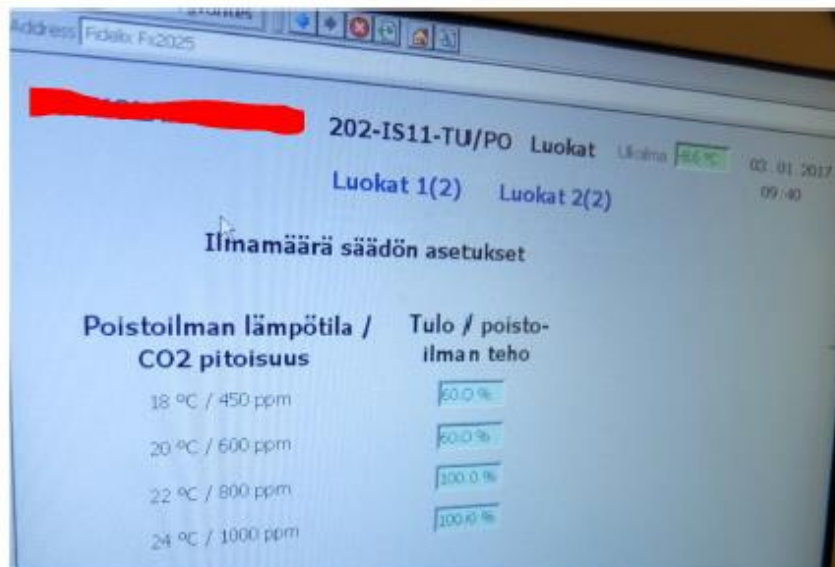
Luokkahuoneissa 256 (Pauha) ja 466 (Karvo) on syrjäyttävä ilmanvaihto, jossa tuloilmaa puhalletaan tilaan pienellä nopeudella lähellä lattiatasoa sijaitsevista piennopeuslaitteista ja poistoilmaelimet on sijoitettu tilan yläosaan. Syrjäyttävää ilmanvaihtoa käytetään yleensä erityisesti silloin, kun tavoitteena on johtaa tilaan riittävä määrä tuloilmaa veto- ja äänihaittoja aiheuttamatta. Luentosalissa 146 (Ulappa) ja 148 (Varvi) tuloilmaelimet ovat tavanomaisia käännettävillä suuttimilla varustettuja seinähajottimia (kuva 3). Luentosalit ja



luokkahuoneet on varustettu ilmanvaihdon tehoa tilojen käytön mukaan säätelyillä hiilidioksidiantureilla. Huoneilman hiilidioksidipitoisuuden lisäksi ko. tilojen ilmanvaihdon teho säätyy poistoilman lämpötilan mukaan kuvassa 4 näkyvällä tavalla.



Kuva 3. Luentosaleissa 146 (Ulappa) ja 148 (Varvi) tuloilmaelimet ovat tavanomaisia käännettävillä suuttimilla varustettuja monisuutinhajottajia. Poistoilmaelimet sijaitsevat alakattokoteloinnin alapinnalla. Kuvassa on käynnissä ilmamäärien mittaus Swemaflow 125 D ilmamäärämittarilla.



Kuva 4. Valokuva ilmanvaihtojärjestelmän valvomonäyttöä. Luokkahuoneiden ja luentosalien ilmanvaihdon teho riippuu poistoilman lämpötilasta ja kunkin tilan huoneilman hiilidioksidipitoisuudesta kuvan mukaisesti. Lämpötilan noustessa yli +22 °C:n ja/tai huoneilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden kohotessa yli 800 ppm:n ilmanvaihdon teho kasvaa 60 %:sta 100 %:iin.

Saatujen tietojen mukaan ilmanvaihtokoneet ovat nykyisin käynnissä ympäri vuorokauden, tosin öisin päiväaikaista/käytönaikaista pienemmällä, 60 % teholla.

Saatujen tietojen mukaan ilmanvaihtojärjestelmä on nuohottu ainakin osittain vuonna 2015. Kanaviston nuohouslaajuudesta ei ole tätä tutkimusselostusta laadittaessa tarkkaa tietoa. Rakennuksen kokonaisilmamäärä on tasapainotettu ja säätöarvoja muutettu samoihin aikoihin vuonna 2015. Ilmanvaihtokoneiden suodattimet on vaihdettu edellisen kerran joulukuussa 2016.

Tutkimusten yhteydessä 3.1.2017 tiloissa 146, 148, 256 ja 466 mitattiin ilmanvaihdon ilmamäärät. Mittaukset suoritettiin kaikissa em. tiloissa ilmanvaihtokoneiden käydessä tavanomaisella 60 %:n teholla sekä tilassa 148 myös täydellä 100 %:n teholla. Mittaushetkellä ulkoilman lämpötila oli -8...-9 °C ja tuulen nopeus oli 0...2 m/s kaakkoistuulta. Ilmamäärämittausten tulokset on esitetty taulukossa 5. Huom. Taulukkoon merkityt suunnitellut ilmamäärät vastaavat ilmanvaihtokoneen 100 %:n käyntitehoasetusta.

*Taulukko 5. Tilakohtaisten ilmamäärämittausten 3.1.2017 tulokset. Mittaukset tehtiin SwemaFlow 125 D sekä Swema 3000 md -mittareilla suoraan ilmanvaihdon pääte-elimistä ilmanvaihtokoneen käydessä tavanomaista käyttötilannetta vastaavalla 60 %:n teholla (sulkujen sisällä olevat ilmamäärät on mitattu ilmanvaihtokoneen käydessä 100 %:n teholla). Kunkin huonetilan nimen alle on merkitty ko. tilasta mittaushetkellä laskettu istumapaikkojen lukumäärä.*

Huonetila	Tuloilmavirta mitattu/suunniteltu [dm <sup>3</sup> /s]	Poistoilmavirta mitattu/suunniteltu [dm <sup>3</sup> /s]	Mitattu tuloilmavirta / pinta-ala [dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> ]	Mitattu tuloilmavirta / henkilö [dm <sup>3</sup> /s,hlö]
146 Ulappa 52 istumapaikka	+288 / +360	-245 / -360	2,5	5,5
148 Varvi 46 istumapaikka	+278 / +330 (+352 / +330)	-208 / -330 (-466 / -330)	2,7 <b>(3,4)</b>	6,0 <b>(7,7)</b>
256 Pauha 28 istumapaikka	+234 * / +360	-480 / -360	2,0	-
466 Karvo 30 istumapaikka	+130 / +180	-126 / -180	2,1	4,3

\* Mittaustulos 3/4 tuloilmaelimistä, 1 tuloilmaelimistä puuttui mittausyhde

Taulukossa 5 esitettyjen ilmamäärämittausten tulosten perusteella ilmanvaihtojärjestelmä ei kaikissa tutkituissa tiloissa ole tasapainossa (tulo- ja poistoilmamäärät keskenään erisuuret) ja mitatut tulo- ja poistoilmamäärät eivät kaikilta osin vastaa suunniteltuja ilmamääriä. Mittausmenetelmän tarkkuus on arviolta ± 10 %.

Vertailuksi todettakoon, että Sisäilmastoluokitus 2008:n tyydyttävän tason (S3-luokka) mukainen ohjearvo luokkahuoneiden ilmamäärille on 3,0 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup> tai 6 dm<sup>3</sup>/s,henkilö ja hyvän tason (S2-luokka) mukainen ohjearvo on 4,0 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup>

tai 8 dm<sup>3</sup>/s, henkilö. S3-luokan ohjearvot vastaavat tämänhetkissä rakentamismääräyksissä (RakMk D2) esitettyjä vähimmäisvaatimuksia. Taulukossa 3 esitettyjen ilmamäärämittausten tulosten perusteella tutkittujen tilojen ilmamäärät jäävät S3-luokan ohjearvojen alapuolelle ilmanvaihtokoneiden käytössä 60 %:n teholla. Ilmanvaihtosuunnitelmissa esitetyt, 100 %:n käyntitehoa vastaavat ilmamäärät sen sijaan täyttävät S3-luokan ohjearvot.

Ilmanvaihtokoneiden tehoa säätelevät tilakohtaiset lämpötila- ja hiilidioksidianturit, jotka on kiinnitetty luokkahuoneiden seinäpinnalle ja sähköasennuskouruihin noin 0,8...1,5 m:n korkeudelle lattiasta. Luokkahuoneessa 256 (Pauha) CO<sub>2</sub>-anturi on sijoitettu epätarkoituksenmukaisesti syrjäyttävän tuloilmaelimen välittömään läheisyyteen (noin 20 cm:n etäisyydelle), jolloin anturi mittaa hiilidioksidipitoisuutta käytännössä pelkästä raikkaasta tuloilmasta (kuva 4). Siten tilan ollessa käytössä anturi ei havaitse todellista, tilan oleskeluvyöhykkeellä vallitsevaa hiilidioksidipitoisuutta, joka on huomattavasti korkeampi kuin tuloilman hiilidioksidipitoisuus. Tämän seurauksena tilan ilmanvaihdon teho ei kasva 60 %:sta 100 %:iin, vaikka huoneilman hiilidioksidipitoisuus nousee korkeaksi. Tiloissa 146, 148 ja 466 CO<sub>2</sub>-anturit on sijoitettu kauemmas tuloilmaelimestä, joten ne toimivat oletettavasti jonkin verran paremmin reagoiden kuormitukseen. Toisaalta näissäkin tiloissa on ilmeistä, että anturit reagoivat turhan hitaasti varsinaisen oleskeluvyöhykkeen hiilidioksidipitoisuuden kohoamiseen. Kiinteistöhoitajan havaintojen mukaan järjestelmän säätöarvot on asetettu siten, että koneiden teho kasvaakin ensisijaisesti huoneilman lämpötilan kohoamisen eikä hiilidioksidipitoisuuden perusteella.



Kuva 5. Luokkahuoneessa 256 (Pauha) ilmanvaihdon tehoa ohjaava CO<sub>2</sub>-anturi on sijoitettu epätarkoituksenmukaisesti syrjäyttävän tuloilmaelimen välittömään läheisyyteen (noin 20 cm:n etäisyydelle), jolloin anturi mittaa hiilidioksidipitoisuutta käytännössä pelkästä raikkaasta tuloilmasta. Hiilidioksidianturi on merkitty kuvaan nuolella.



1. kerroksen luentosaleissa 146 (Ulappa) ja 148 (Varvi) tarkasteltiin ilmanjaon toimivuutta lämpökameran ja savukoneen avulla. Havaintojen mukaan ko. tiloissa tuloilmasuihku ei suuntaudu seinäpinnalla sijaitsevista tuloilmaelimistä kovinkaan tehokkaasti toiselle puolelle tilaa ainakaan ilmanvaihdon toimisessa 60 % teholla, vaan raitis tuloilma jää tuloilmaelimien lähetyville, mikä heikentää ko. tilojen ilmanvaihtuvuutta (kuvat 6 ja 7). Ilmanvaihdon toimiessa täydellä teholla heittopituus on suurempi, mutta ei siltikään yletä tilan toiselle reunalle asti. Ilmanjakoa heikentää lisäksi tuloilman hieman liian korkea lämpötila (ks. myöhemmin esitetyt lämpötilamittausten tulokset).

Tilojen ilmanvaihtoon liittyvänä seikkana havaittiin, että tiloissa 256 (Pauha) ja 466 (Karvo) ei ole lainkaan avattavia tuuletusikkunoita. Siten tilojen ilmanvaihdon tarpeenmukainen tehostaminen ikkunatuuletuksen avulla ei ole mahdollista.



Kuva 6. Lämpökameran kuva luentosalin 146 (Ulappa) tuloilmaelimien kohdalta. Raitis tuloilma jää tuloilmaelimien lähetyville, mikä heikentää ko. tilojen ilmanvaihtuvuutta. Ilmanjakoa heikentää lisäksi tuloilman hieman liian korkea lämpötila. Ks. myös seuraava kuva samasta tilasta.



Kuva 7. Luentosalin 146 (Ulappa) ilmanjaon toimivuutta tutkittiin myös savukoneen avulla. Tuloilmasuihku ei suuntaudu seinäpinnalla sijaitsevista tuloilmaelimistä kovinkaan tehokkaasti toiselle puolelle tilaa, mikä heikentää tilan ilmanjakoa. Savukokeita tehtiin ilmanvaihdon toimiessa sekä 60 %:n että 100 %:n tehoilla. Kuvassa tuloilmavirtaus on kääntynyt osittain jo takaisinpäin heittopituuden jäädessä lyhyeksi ilmanvaihdon toimiessa 60 % teholla.

Ilmamäärämittausten yhteydessä mitattiin kertaluonteisesti myös tutkittavien tilojen paine-erot suhteessa viereisiin käytäviin ja ulkoilmaan. 1. kerroksen luentosali 146 (Ulappa) oli jopa noin 10..12 Pa alipaineinen ja luentosali 148 (Varvi) vastaavasti noin 8...10 Pa alipaineinen suhteessa ulkoilmaan. Suhteessa viereiseen käytävään tilat 146 ja 148 olivat 0...1 Pa alipaineisia. 2. kerroksen luokkahuone 256 (Pauha) oli noin 5...6 Pa alipaineinen suhteessa ulkoilmaan ja 0,5...1 Pa ylipaineinen suhteessa käytävään. 4. kerroksen luokkahuone 466 oli noin 0,5 Pa alipaineinen suhteessa käytävään. Tila 466 sijaitsee rakennusrungon keskellä, joten sen paine-eroa suhteessa ulkoilmaan ei mitattu. Paine-erojen mittaushetkellä sää oli lähes tyyni, joten tuuliolosuhteilla ei ollut vaikutusta mittaustuloksiin. Ilmanvaihtojärjestelmän ollessa säätötarkkuuden rajoissa tasapainossa ovat koneellisella tulo-/poistoilmanvaihdon varustetut rakennukset tavallisesti noin 1...3 Pa alipaineisia suhteessa ulkoilmaan. Alipaineen kasvaessa rakenteiden kautta tapahtuvat ilmapuodot voimistuvat merkittävästi ja samalla myös epäpuhtauksien sisäilmaan kulkeutumisen riski kasvaa.

Ilmamäärä- ja paine-eromittausten lisäksi tutkimuksen kohteena olleista tiloista mitattiin huoneilman sekä ilmanvaihdon tuloilman lämpötilat. Mittaushetkellä 3.1.2017 tilat olivat tyhjillään ja ulkoilman lämpötila oli -8 °C. Lämpötilamittausten tulokset on esitetty taulukossa 6.



Taulukko 6. Huoneilman sekä ilmanvaihdon tuloilman lämpötilat 3.1.2017. Mittaukset tehtiin Swema 3000 md -mittarilla termopari- lämpötila-anturia käyttäen. Huoneilman lämpötila mitattiin huoneilman keskeltä noin 1,1 m:n korkeudelta lattiapinnasta ja tuloilman lämpötila vastaavasti suoraan tuloilmaelimestä. Mittausten aikana ulkolämpötila oli -8 °C.

Huonetila	Huoneilman lämpötila [°C]	Tuloilman lämpötila [°C]
146 Ulappa	+22,1	+19,1
256 Pauha	+20,7	+19,0
466 Karvo	+21,1	+19,5

Taulukossa 6 esitettyjen lämpötilamittausten tulosten mukaan huoneilman lämpötiloissa ei ole tutkittujen tilojen osalta huomautettavaa ainakaan tilojen ollessa tyhjiään. Mitatut huoneilman lämpötilat vaihtelivat välillä +20,7...+22,1 °C. Sisäilmastoluokitus 2008:ssa esitettyjen tavoitearvojen mukaan huoneilman lämpötila koetaan viihtyisäksi sen ollessa +21...+22 °C. Sen sijaan tuloilman lämpötilaksi mitattiin eri tiloissa +19,0...+19,5 °C suosituksen ollessa +16...+19 °C, minkä perusteella tuloilma oli ainakin mittausajankohtana liian lämmin. Luokkahuoneita palvelevan ilmanvaihtokoneen 202TIK valvomonäytöllä tuloilman lämpötilan asetusarvoksi oli asetettu +17,4...+17,7 °C, mutta luokkahuoneisiin virtaava tuloilma on todellisuudessa asetusarvoa lämpimämpää ilman lämmitessä kanavistossa matkalla luokkahuoneisiin. Liian lämmin tuloilma aiheuttaa jo itsessään tunkkaisuuden tunnetta, lisää kuivasta ilmasta aiheutuvia terveysoireita ja tuloilman ollessa huoneilmaa lämpimämpää jää se katonrajaan ja kulkeutuu poistoilmaventtiileihin huuhtelematta kunnolla varsinaista oleskeluvyöhykettä. Liian lämpimästä tuloilmasta aiheutuvien ongelmien välttämiseksi tilojen lämmitys tulisikin hoitaa ensisijaisesti lämpöpatteriverkoston avulla eikä tuloilman lämpötilaa nostamalla.

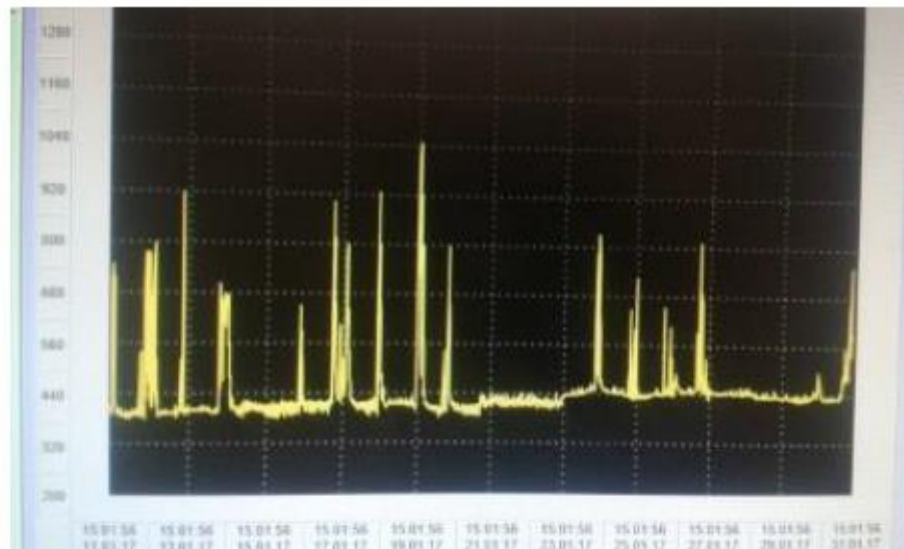
Ilmanvaihtojärjestelmään liittyvänä seikkana havaittiin ilmanvaihtokanavien sisäpinoilla ja pääte-elimien taustalla olevan ainakin osassa kanavista suhteellisen paljon pölyä ajatellen sitä, että järjestelmää on nuohottu vuonna 2015. Ilmanvaihtokanavien puhtauden arvioitiin tarkoitetun visuaalisen puhkausasteikon perusteella satunnaisesti valitussa kanavassa oleva pölykertymä oleva noin 0,4 g/m<sup>2</sup>. Havaintojen mukaan ilmanvaihtokanavissa ja pääte-elimissä oleva pöly on enimmäkseen hienojakoista kipsipölyä, betonipölyä tms., joka voi olla mahdollisesti peräisin rakennusajalta.



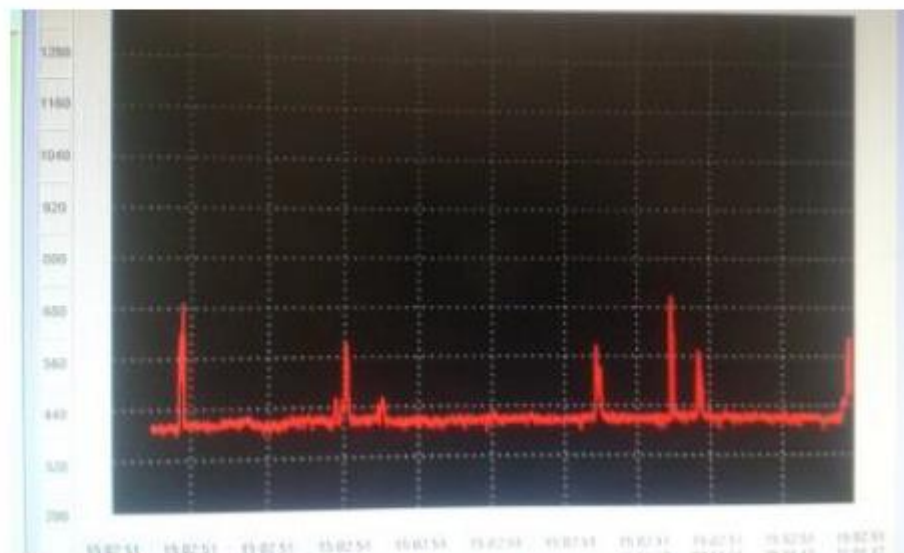
Kuva 8. Ilmanvaihtokanavien sisäpinoilla havaittiin olevan jonkin verran pölyä. Ilmanvaihtokanavien puhtauden arvioitiin tarkoitetun visuaalisen puhtausasteikon perusteella kuvan kanavassa oleva pölykertymä on noin  $0,4 \text{ g/m}^2$ . Kuva on otettu tilan 466 (Karvo) kohdalta tuloilmakanavasta. Mahdollisesti kyseistä kanavanosaa ei ole nuohottu vuonna 2015 tehtyjen nuohousten yhteydessä.

## 5.2 Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden seurantamittauksen tulokset

Tutkimusten yhteydessä sisäilman hiilidioksidipitoisuuden seuraamiseksi tallennettiin automaatiojärjestelmään liitettyjen hiilidioksidiantureiden lukemia ajanjaksolla 11.1.-31.1.2017. Seurannan aikana tilat olivat normaalisti käytössä ja niissä oli vaihteleva määrä henkilöitä. Mittaustulokset on esitetty kiinteistöhoitajan toimittamissa kuvissa 9-11.

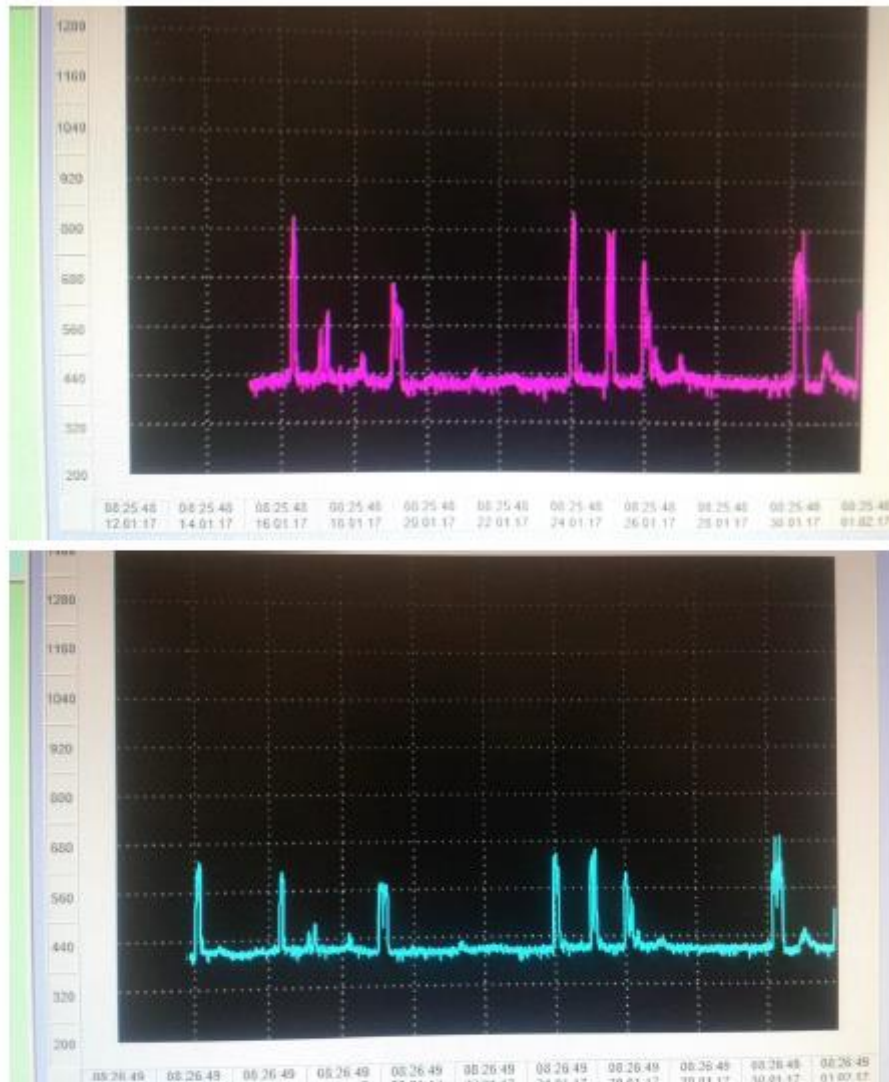


Kuva 9. Automaatiojärjestelmän tallentamat hiidioksidipitoisuuden arvot tilassa 146 (Ulappa) ajanjaksolla 11.1.–31.1.2017. Ajanjaksolla korkein mitattu hiidioksidipitoisuus oli noin 1040 ppm.



Kuva 10. Automaatiojärjestelmän tallentamat hiidioksidipitoisuuden arvot tilassa 148 (Varvi) ajanjaksolla 11.1.–31.1.2017. Korkein mitattu hiidioksidipitoisuus oli noin 700 ppm.





Kuva 11. Automaatiojärjestelmän tallentamat hiilidioksidipitoisuuden arvot tiloissa 256/257 (Ulappa) ajanjaksolla 14.1.–31.1.2017. Ylempi kuvaaja koskee tilaa 256 ja alempi luokan takaosan tilaa 257, jossa hiilidioksidianturi sijaitsee tuloilmaelimen välittömässä läheisyydessä (ks. kuva 5). Korkein mitattu hiilidioksidipitoisuus oli noin 850 ppm.

Kuvien 9-11 mittaustuloksia tulkittaessa on huomioitava, että anturit eivät sijaitse missään tilassa optimaalisesti tilan yläosassa, tilan keskellä tai poistoilmaelimen läheisyydessä vaan tilan alaosassa sekä kohdilla, joihin voi osua raitis tuloilmasuihku (ks. edellä kohdassa 5.1 esitetyt havainnot). Kohdekäynnin 31.1.2017 mitattiin hiilidioksidipitoisuudet kertaluonteisesti tilassa 146 (Ulappa) sekä oleskeluvyöhykkeeltä ja kiinteän anturin läheisyydestä. Havaintona oli se, että kiinteän anturin läheisyydessä CO<sub>2</sub>-lukema oli 150...200 ppm alhaisempi verrattuna tilan keskiosaan. Tilassa oli tuolloin läsnä noin 15 henkilöä.

Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden enimmäisarvot ovat hyvän tason (S2-luokka) mukaan 900 ppm ja tyydyttävän tason (S3-luokka) mukaan 1200 ppm. Parhaassa S1-luokassa raja-arvo on 750 ppm. Yleisesti huoneilma aletaan kokea tunkkaiseksi hiilidioksidipitoisuuden lähestyessä 900...1000 ppm:n pitoisuutta. Hiilidioksidipitoisuus kuvaa samalla suuntaa antavasti myös muiden ihmisistä peräisin olevien epäpuhtauksien ja usein myös hajusteiden pitoisuutta sisäilmassa. Mittaustulosten perusteella tutkittujen tilojen huoneilman hiilidioksidipitoisuudet ovat hyväksyttävällä tasolla, mutta käytännössä hiilidioksidipitoisuus on ajoittain noussut mitattua suuremmaksi antureiden epäonnistuneesta sijainnista johtuen.

## 6. Johtopäätökset

Tutkimuksen perusteella tutkimuksen kohteena olleet tilat 146, 148, 256 ja 466 ovat kosteusteknisesti moitteettomassa kunnossa. Sisäilmateknisesti tilanne on myös varsin hyvä, sillä sisäilman laatua ovat jo tehtyjen korjaustoimenpiteiden jälkeen heikentäneet enää lähinnä ilmanvaihtojärjestelmän hiilidioksidi-/lämpötilaohjauksen toiminnassa olevat puutteet sekä tuloilman korkeahko lämpötila. Kyseiset puutteet on käytännössä mahdollista korjata varsin pienillä toimenpiteillä.

Tutkimuksen kohteena olleissa tiloissa tehdyssä kosteuskartoituksessa sekä niistä kerätyissä sisäilman mikrobinäytteissä ei esiintynyt viitteitä kosteusvaurioista tai muusta mikrobiähteestä rakennuksessa. Kohteesta kerättyjen kaikkien sisäilmanäytteiden tuloksia voidaan pitää jopa poikkeuksellisen puhtaina. Myöskään sisäilman laatuun heikentävästi vaikuttavia rakenteellisia ilmapuotoireittejä ei havaittu. Jo tehtyjen lattianurkkien sekä sähköläpivientien ilmatiivistysten todettiin olevan riittäviä. Ainoastaan ikkunoiden ja niiden karmiliittymien kautta todettiin tapahtuvan paikallisia ilmapuotoja, mistä voi aiheutua lähinnä vetohaittaa kylmänä vuodenaikana.

Havaintojen mukaan tutkittavien tilojen ilmanvaihdon toimintaa heikentää ilmanvaihdon tehoa ohjaavien tilakohtaisten hiilidioksidiantureiden osittain epätarkoituksenmukainen sijoittelu, jonka seurauksena ilmanvaihto ei tehostu ainakaan riittävän nopeasti vaikka huoneilman hiilidioksidipitoisuus kohoaa korkeaksi oleskeluvyöhykkeellä. Heikoin tilanne on tältä osin tilassa 256, jossa CO<sub>2</sub>-anturi sijaitsee tuloilmaelimen vieressä. Tilojen sisäilman laatua heikentää hieman myös hieman liian lämmin tuloilma, joka heikentää ilmanjakoa ja aiheuttaa tunkkaisuutta. Lisäksi tutkitut tilat ovat tavanomaista alipaineisempia, mikä viittaa tilakohtaisten tulo- ja poistoilmamäärien epätasapainoisuuteen. Jonkin verran vaikutusta sisäilman laatuun voi olla myös osaan ilmanvaihtokanavista kertyneellä pölyllä, joka voi aiheuttaa erilaisia ärsytysoireita herkimmille.

Niissä tiloissa, joissa lattianpäällystemateriaalina on linoleumimatto, on huoneilmassa aistittavissa lievää linoleumille tyypillistä hajua. Kerättyjen VOC-näytteiden perusteella haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet tutkituissa tiloissa eivät kuitenkaan ylitä asetettuja raja-arvoja, joten esimerkiksi lattianpäällysteiden uusimista ei voida pitää tarpeellisina/perusteltuna toimenpiteenä. Linoleumimattojen aiheuttamaa hajuhaittaa voidaan osaltaan vähentää tehostamalla tilojen ilmanvaihtoa. Nykytilanteessa ongelmana on se, että opetustuntien alussa hajuhaitat korostuvat ja samalla havaitaan helposti kun ilmanvaihto on ollut pienemmällä teholla tilan olta vailla käyttäjä.

Lähinnä marginaalisena sisäilman laatua heikentävänä tekijänä ovat yksittäisten tilojen kattopintojen akustiikkalevyissä havaitut, pinta-alaltaan pienet, paljaat mineraalivillapinnat, joista voi irrota teollisia mineraalikuituja. Kerättyjen laskeutuneen pölyn näytteiden perusteella teollisten mineraalikulujen määrä tiloissa on kuitenkin vähäinen eikä kuitujen määrä ylittänyt sille asetettua raja-arvoa yhdessäkään tilassa.

## 7. Toimenpide-ehdotukset

Tutkimuksen perusteella suosittelemme seuraavia sisäilman laatuun vaikuttavia rakennus- ja ilmanvaihtoteknisiä toimenpiteitä.

- Ilmanvaihtojärjestelmän tilakohtaisten hiilidioksidiantureiden sijoittelu uudestaan siten, että anturit eivät ole tuloilmaelinten läheisyydessä. Toimenpiteen tarkoituksena on parantaa ilmanvaihdon hiilidioksidiohjauksen toimivuutta ja siten tehostaa tilojen ilmanvaihtuvuutta. CO<sub>2</sub>-anturin sijoittelua tulee ehdottomasti muuttaa ainakin luokkahuoneessa 256. Suositeltavin paikka anturille on poistoilmaelimen läheisyydessä, jolloin ne reagoivat nopeimmin olosuhteisiin. Antureiden sijainnin muuttamisen ja tähän liittyvien säätöjen sijasta vaihtoehtoisesti on mahdollista harkita koko hiilidioksidiohjauksen ohittamista ja jopa tilakohtaisten ilmamääräsäätimien poistamista käytöstä järjestelmän yksinkertaistamiseksi, luotettavuuden parantamiseksi sekä ilmamäärien säätämisen helpottamiseksi. Tilojen ollessa arkipäivinä pääosin koko ajan käytössä myös energiansäästön kannalta tyydyttävään lopputulokseen olisi todennäköisesti päästävä pelkällä aikaohjauksella sekä tiloihin asennettavien lisäaikakytkimien avulla.

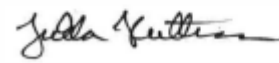


- Lisäselvitykset koskien ilmanvaihtokanaviston puhtautta ja tarvittaessa vähintään likaisten kanavaosuuksien nuohous sekä pääte-elimien huollellinen imurointi ja nihkeäpyyhintä. Puhdistamista edellyttäviä kanavia todettiin ainakin tilassa 466 (Karvo).
- Ilmanvaihtokanaviston puhdistamisen jälkeen tilakohtaiset ilmamäärät on luonnollisesti säädettävä ja tasapainotettava uudelleen. Ks. myös ensimmäisen kohdan toimenpide-ehdotus koskien automaation karsimista pois ilmamäärien säädöstä.
- Tuloilman lämpötilan pieni alentaminen siten, että se on jatkossa suoraan tuloilmaelimestä mitattuna +16...+19 °C ulkoilman olosuhteista riippumatta. Lisäksi sisäilman ja tuloilman lämpötiloja tulee seurata ja tarvittaessa säätää siten, että tuloilman lämpötila on aina sisäilman lämpötilaa 3...5 astetta alaisempi. Myös lämpöpattereiden riittävä teho ja patteritermostaattiventtiilien toimivuus tulee tarkistaa, jotta lämmittäminen tapahtuu jatkossa tuloilman sijasta ensisijaisesti lämpöpattereilla. Kylmyys- ja vetohaittojen esiintyessä suositusarvojen sisällä (sisäilma välillä +21...+22 °C ja tuloilma alle + 19 °C) tulee tilanteeseen reagoida patteriverkoston tehoa kasvattamalla, tarvittaessa tuloilmaelimien puhallussuuntaa/ilmanjakoa säätämällä sekä vaatetuksella, ei tuloilman lämpötilaa nostamalla.
- Harkinnan mukaan tilan 256 (Pauha) joidenkin ikkunoiden varustaminen painikkeilla ja aukipitolaiteilla ajoittaisen ikkunatuuletuksen mahdollistamiseksi tarvittaessa. Ilmanvaihtojärjestelmän ollessa tasapainossa ei hetkellisellä ikkunatuuletuksella ole juuri vaikutusta rakennuksen muiden tilojen ilmanvaihdon toimivuuteen.
- Mikäli sisäilman laatu koetaan vielä edellä mainittujen toimenpiteiden toteuttamisen jälkeen puutteelliseksi, on 1. kerroksen luentosaleissa 146 ja 148 mahdollista parantaa ilmanjakoa kanavoimalla osa tuloilmasta huonetilan keskelle. Myös tilojen 256 ja 466 sisäilmaolosuhteita olisi mahdollista parantaa kanavoimalla tuloilmaa syrjäyttävien tuloilmaelimien sijasta/lisäksi myös katon kautta.
- Luokkahuoneiden ikkunoiden tiivisteiden kunnon tarkastaminen ja uusiminen tarvittaessa. Tilassa 256 on syytä harkita myös ikkunoiden yläosien karmiliittymien tiiviyden varmistamista.

Kokkolassa 3.2.2017  
IdeaStructura Oy



Hannanoora Junttila, DI



Jukka Huttunen, DI

Liitteet Ks. Sisällysluettelo