

Erno Vuoti

Sisäilmatutkijan ilmanvaihto-opas

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Korjausrakentaminen

Opinnäytetyö

23.3.2018

Tekijä(t) Otsikko	Erno Vuoti Sisäilmatutkijan ilmanvaihto-opas
Sivumäärä Aika	118 sivua + 1 liitettä 23.3.2018
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö Jukka Huttunen, DI Yliopettaja Hannu Hakkarainen, TKL
<p>Valtakunnallisen korjausvelan määrä kasvaa jatkuvasti. Usein korjaustarpeita aiheuttavat erilaiset sisäilmaongelmat. Erilaisten sisäilmatutkimusten parissa työskentely on osoittanut, että usein sisäilman laatuongelmiin vaikuttaa rakennetekniikan lisäksi myös puutteet ilmanvaihtotekniikassa. Sisäilmatutkimuksissa rakennusta tarkastellaan usein joko rakenteiden tai ilmanvaihdon näkökulmasta, mutta useinkaan sisäilmatutkija ei tunne molempia aloja riittävästi, voidakseen ymmärtää niiden yhteisvaikutuksia rakennusten sisäilmaongelmien syntyyn.</p> <p>Työn tarkoituksena oli laatia tiivistetty opas ilmanvaihtotekniikasta, selvittää ilmanvaihdon tyypillisimpiä sisäilmaongelmia aiheuttavia, tai niihin vaikuttavia, tekijöitä, sekä laatia työmaakäyttöön soveltuva ilmanvaihdon tarkastusasiakirja. Työ kirjoitettiin rakennusinsinöörin näkökulmasta sisäilmatutkijan käyttöön. Näin ollen työssä käytiin läpi tiivistetysti myös ilmanvaihtotekniikan teoriaa, joka ei välttämättä ole sisäilmatutkijan hallussa, etenkin mikäli tutkijan pohjakoulutuksena ei ole LVI-insinööri. Toisaalta työssä ei menty liian pitkälle ilmanvaihdon teknisiin yksityiskohtiin, koska ne vaativat laajempaa LVI-tekniikan tuntemusta, eivätkä ole välttämättömiä ilmanvaihdon alustavan tarkastuksen tekemiseksi. Lisäksi työstä rajattiin pois havaittujen ongelmien ja puutteiden korjausehdotukset, näistä on tarkoitus tehdä tulevaisuudessa erillinen LVI-insinöörin opinnäytetyö.</p> <p>Työn teoriaosuus toteutettiin tiivistämällä eri kirjallisuuslähteistä saatuja tietoja sisäilmatutkijalle sopivaksi kokonaisuudeksi. Sisäilmatutkimusten yhteydessä tehtävän ilmanvaihdon tarkastusmenettelyn laatimisessa käytettiin kirjallisuuslähteiden lisäksi apuna erityisesti tapaustutkimuskohteita. Kohteet olivat todellisia, aiemmin työelämässä suoritettujen sisäilmatutkimusten kohteina olleita rakennuksia.</p> <p>Opinnäytetyön keskeisimpiä havaintoja oli, että ilmanvaihtotekniikka on hyvin usein yksi osatekijä sisäilmaongelmien syntyyn. Ilmanvaihdon puutteet vaikuttavat ongelmien syntyyn monin eri tavoin, joko itsenäisesti tai yhdessä rakenneteknisten tekijöiden kanssa. Sisäilmatutkijan on tunnettava sekä rakenne- että ilmanvaihtotekniikkaa, jotta tutkimusten yhteydessä pystytään tekemään oikeita tulkintoja ongelmien synnystä, sekä välttämään vääriä korjaustoimenpide-ehdotuksilta tai ylikorjaamiselta.</p>	
Avainsanat	sisäilmasto, sisäilmaongelma, sisäilmatutkimus, ilmanvaihto, ilmanvaihtotarkastus, korjausrakentaminen

Author Title	Erno Vuoti Indoor Air Researcher`s Guide to Ventilation
Number of Pages Date	118 pages + 1 appendices 23 March 2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Renovation
Instructors	Jukka Huttunen, M.Sc., Project Manager Hannu Hakkarainen, Lic.Sc., Principal Lecturer
<p>The national maintenance backlog is continuously increasing. One common factor for the need to repair is different kind of indoor air problems. Working experience with a variety of indoor air problems has shown that problems with indoor air quality are often caused not only by the structural deficiencies but also by the deficiencies in ventilation. In indoor air researches, the building is often inspected either from the point of view of the structures or ventilation, but usually the indoor air researcher does not sufficiently understand both areas, or their interaction with the existence of indoor air problems.</p> <p>The purpose of the thesis was to compile a condensed guide on ventilation technology, to find out the factors in ventilation that cause or influence the most typically the indoor air problems, and to create a control document suitable for indoor air researches and ventilation surveys. The thesis was written from the point of view of a civil engineer to the use of an indoor air investigator. Thus, the thesis also summarizes the theory of ventilation technology, for the investigators not familiar with it, especially the ones with no education in HVAC. On the other hand, the study does not go too far into the technical details of ventilation because they require a broader knowledge of HVAC, which is not necessary to make a preliminary ventilation survey. In addition, renovation options for problems in ventilation were excluded from the present study but will be included in another thesis in future.</p> <p>The theoretical part of the thesis was carried out by summarizing the information obtained from different literary sources into a suitable form for indoor air investigator. In addition to the literature sources, the former indoor air researches were exploited to draft a control document for future ventilation surveys. The targets of former indoor air researches were actual buildings having suffered indoor air problems.</p> <p>The most important observations of the thesis were that the ventilation is very often one factor in the development of indoor air problems. The defects in ventilation affect the emergence of problems in many different ways, either independently or together with structural factors. The indoor air investigator must be familiar with both structural and ventilation technology to be able to make accurate interpretations of the factors having caused the problems, and to avoid false renovation proposals or over renovating the building.</p>	
Keywords	indoor climate, indoor air problem, indoor air research, ventilation, ventilation survey, renovation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Hankkeen tausta ja tutkimusongelma	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	2
2	Ilmanvaihtojärjestelmät	4
2.1	Painovoimainen ilmanvaihto	5
2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	8
2.3	Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto	12
2.4	Ilmastointi	15
2.4.1	Ilmastointikoneet	15
2.4.2	Ilmanvaihtokanavistot	17
2.4.3	Ilmanjako huonetiloihin	18
2.4.4	Päätelaitteet	20
3	Ilmanvaihdon suunnitelmat	24
3.1	Ilmanvaihtoa koskevat määräykset ja ohjeet	24
3.2	Piirustusmerkinnät	26
4	Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät	30
4.1	Fysikaaliset tekijät	32
4.1.1	Lämpötila ja ilman liikkeet	32
4.1.2	Ilman kosteus	35
4.1.3	Melu	36
4.1.4	Säteily	38
4.2	Kemialliset ja kaasumaiset epäpuhtaudet, hiukkaset ja kuidut	38
4.2.1	Kemialliset ja kaasumaiset epäpuhtaudet	39
4.2.2	Hiukkasmaiset epäpuhtaudet ja kuidut	43
4.3	Mikrobiologiset tekijät	45
4.4	Ilmanvaihdon rooli sisäilmaongelmissa	47
5	Tutkimuksen kulku	52
5.1	Tutkimussuunnitelma	54
5.1.1	Lähtötietojen hankkiminen	54
5.1.2	Käyttäjäkyselyt	55

5.1.3	Riskirakenneanalyysi	56
5.2	Tutkimusvaihe	57
5.2.1	Kenttätutkimukset	57
5.2.2	Tutkimusselostus	58
5.2.3	Lisätutkimukset	59
6	Ilmanvaihdon tarkastus osana sisäilmatutkimusta	61
6.1	Ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmien mukaisuuden kartoitus	62
6.1.1	Järjestelmän kartoitus aistinvaraisesti	62
6.1.2	Järjestelmän kartoitus tutkimusmenetelmin	63
6.2	IV-järjestelmän tekninen kunto	67
6.2.1	Järjestelmän ikä ja huolto	67
6.2.2	Järjestelmän kunto ja hygieenisuus	67
6.3	Järjestelmän sopivuus rakennuksen käyttötarkoitukseen	83
6.3.1	Ilmanvaihtojärjestelmän soveltuvuus rakennuksen kuormitukseen	83
6.3.2	Ilmanjakoratkaisut ja päätelaitteet	85
6.4	Käyttöasetusten ja toiminta-aikojen tarkastus	89
6.5	Ilmamäärien ja tuloilman lämpötilan tarkastus	93
6.5.1	Ilmamäärät	94
6.5.2	Tuloilman lämpötila	99
6.6	Ilmanvaihtojärjestelmän tarkentavat mittaukset	101
6.6.1	Rakennuksen painesuhteet ja tiiviys	101
6.6.2	Sisäilman hiilidioksidipitoisuus	105
6.6.3	Lämpötilat ja ilman kosteus	107
6.6.4	Pölymäärien sekä mineraalivillakuitulähteiden mittaus	109
6.6.5	Äänitasojen mittaus	111
7	Yhteenveto	113
	Lähteet	116
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmanvaihdon tarkastusasiakirja	

Termistö ja käsitteet

Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää, järjestelmän laadusta riippumatta (esim. painovoimainen, koneellinen, jne), jonka tehtävänä on ylläpitää ja parantaa sisäilman laatua ilmaa vaihtamalla.

Ilmastointi

Ilmastoinnin tarkoitus on tulo- tai kierrätysilmaa käsittelemällä hallita sisäilman puhtautta, lämpötilaa, kosteutta.

Kierrätysilma

Ilmaa, jota ei poisteta rakennuksesta, vaan joka palautuu takaisin samaan huonetilaan tai asuntoon.

Koneellinen ilmanvaihto

Ilmanvaihtotapa, jossa ilmanvaihto toimii tai sitä tehostetaan koneellisesti puhaltimien avulla.

Korvausilma

Ilmanvaihtotapa, jossa ilmanvaihdon ilman liikkeet tapahtuvat ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen aiheuttamien paine-erojen vuoksi, sekä muiden ulkoisten tekijöiden kuten tuulen vaikutuksesta.

Oleskeluvyöhyke

Alue, jolla ihmiset tyypillisesti oleskelevat huonetilassa. Alkaa yleensä lattiasta, ulottuu 1,8 m:n korkeuteen ja rajoittuu 0,6 m:n etäisyydelle seinistä tai muista kiinteistä rakennusosista.

Painovoimainen ilmanvaihto

Ilmanvaihtotapa, jossa ilmanvaihdon ilman liikkeet tapahtuvat ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen aiheuttamien paine-erojen vuoksi, sekä muiden ulkoisten tekijöiden kuten tuulen vaikutuksesta.

Pääte-elin

Venttiili tai muu ilmanvaihtokanavan päässä oleva laite, jonka avulla tuloilma puhalletaan halutulla tavalla huoneeseen, tai poistoilma kerätään huoneesta.

Poistoilma

Rakennuksesta ulos liikkuvaa tai puhallettavaa, likaista huoneilmaa. Käytetään myös nimitystä jäteilma.

Siirtoilma

Ilmaa, joka johdetaan tarkoituksellisesti huonetilasta toiseen esimerkiksi paine-erojen avulla.

Sisäilma

Rakennuksen tai rakenteiden rajaamalla alueella oleva ilma.

Sisäilmaongelma

Puute tai muu ongelma sisäilmastossa, joka vaarantaa terveyttä tai turvallisuutta, tai haittaa sisäilmastossa oleskelevia muulla tavalla.

Sisäilmasto

Käsite, joka kuvaa sisäilman lisäksi sen laadun, lämpö-, ääni- ja valaistusolosuhteiden yhdessä muodostamaa kokonaisuutta.

Sisäilmastoluokitus

Kuvaa sisäilmaston laatua, ja laatuun vaikuttavien tekijöiden määrää kolmessa eri laatuluokassa (S1: yksilöllinen sisäilma, paras laatuluokka, S2: hyvä sisäilma, S3: tyydyttävä sisäilma, täyttää eri asetusten ja määräysten vaatimukset).

Tuloilma

Rakennukseen tuotavaa puhdasta ulkoilmaa. Käytetään myös nimitystä raitisilma.

1 Johdanto

Viimevuosina erilaiset sisäilmaongelmat ovat nousseet yhä useammin otsikoihin niin rakentamista koskevassa kuin muussakin mediassa. Valtakunnallisen korjausvelan määrä kasvaa, ja jatkuvasti tulee esille uusia, etenkin julkisia rakennuksia, kuten kouluja, päiväkoteja ja toimistotiloja, joissa koetaan sisäilmaongelmia. Korjausrakentamisen alalla ollaan pikkuhiljaa oppimassa eri mekanismit, jotka vaikuttavat ongelmien syntyyn, mutta eri suunnittelualojen välillä ei edelleenkään tunnu olevan riittävästi yhteistyötä ja ratkaisumalleja ongelmien ratkaisemiseksi ja ehkäisemiseksi kustannustehokkaasti ja järkevästi. Ongelmiin vaikuttavat hyvin monet tekijät, mutta myös ongelmien esiintymistä voitaisiin ehkäistä useilla eri tavoilla. Aina ei tarvitsisi korjauksen lähtökohtana olla hyvin raskaat rakenteelliset toimenpiteet, joilla saadaan mahdollisimman monta mikrobia rakenteesta poistettua. Toisaalta raskaatkaan rakenteelliset korjaustoimenpiteet eivät auta saavuttamaan hyvää sisäilman laatua, mikäli ilmanvaihdossa on ongelmia joita ei samalla korjata kuntoon. Näin ollen ilmanvaihdon merkitys sisäilmakorjauksissa on yleensä hyvin suuri.

Sisäilmaongelmaisten rakennusten tutkimisesta ja korjaamisesta tekee hyvin haastavaa ihmisten yksilöllinen reagointi sisäilmaan. Toinen voi kokea sisäilman laadun moitteettomaksi, kun taas toinen samassa tilassa oleskeleva voi olla hyvinkin tyytymätön. Voidaankin sanoa, että sisäilman laatu on kokemukseräinen käsite, johon vaikuttaa hyvin moni eri tekijä. Aina koetussa sisäilmaongelmassa ei ole kyse rakenteiden kosteus- tai homevauriosta, vaan esimerkiksi sisäilman kosteus ja lämpö, vetoisuus, ilmanvaihtojärjestelmän puutteet, kemialliset ja hiukkasmaiset materiaalipäästöt sekä muut ilman epäpuhtaudet, kuten pölyisyys, voivat aiheuttaa koetut sisäilmahaitat. Useimmiten sisäilmaongelma aiheutuu kuitenkin monen eri tekijän summana, joiden aiheuttamia haittoja liian vähäinen ilmanvaihto voimistaa entisestään. [Ympäristöopas 2016; 14.]

1.1 Hankkeen tausta ja tutkimusongelma

Tyypillisiä sisäilmaongelmiin liitettyjä terveyshaittoja ja oireita ovat esimerkiksi väsymys, päänsärky, hengitysteiden, silmien, nenän, kurkun ja ihon ärsytys, tukkoisuus, yskä, kuumeilu sekä astma. Terveyshaittojen lisäksi heikko sisäilman laatu voi aiheut-

taa viihtyvyyshaittoja sekä alentaa työtehoa. Terveysvaikutusten syysuhdetta kosteus- ja homevaurioituneisiin rakennuksiin ei ole voitu luotettavasti todeta, koska terveysvaikutusten mekanismit ja niitä aiheuttavat tekijät eivät ole tiedossa. Lisäksi ihmiset reagoivat erilaisiin ärsykkeisiin hyvin eri tavoin. Erilaisten rakennusten kosteusvaurioiden saaman suuren mediahuomion vuoksi ihmiset kuitenkin yhdistävät herkästi oireilunsa asuntoihinsa tai kiinteistöihin joissa työskentelevät, ja näin syntyy epäily sisäilmaongelmasta. [Ympäristöopas 2016: 14; Suomalainen Lääkäriseura Duodecim 2016.]

Sisäilmaongelmaepäilyn jälkeen, sekä yksityiset henkilöt että myös ammattirakennuttajat, ottavat tavallisesti yhteyttä ongelman selvittämiseksi asiantuntijaan, joiden koulutus vaihtelee laajasti. Asiantuntijat voivat olla esimerkiksi pätevyityneitä rakennusterveysasiantuntijoita, sisäilma-asiantuntijoita tai kosteusvaurioiden kuntotutkijoita, joiden pohjakoulutuksena voi olla vaikkapa rakennusinsinööri. Tämän vuoksi LVI-tekniikka voi olla asiantuntijalle vieras käsite, etenkin uran alkuvaiheessa. Nykyisin tutkimuksia tehdäänkin usein rakennetekniikkaan painottuen, kun taas ilmanvaihtoa tarkastellaan lähinnä yksittäisinä toimenpiteinä ja muista tutkimuksista erillisinä kokonaisuuksina. Tämän vuoksi tutkimusten perusteella voi olla vaikea saada kokonaiskuvaa ilmanvaihdon toimivuudesta ja sen vaikutuksista sisäilmaongelmiin. Erityisesti rakenne- ja ilmanvaihtotekniikan ongelmien riippuvuussuhteet toisistaan sivuutetaan usein. Lisäksi lopputulos riippuu suuresti tutkijan kokemuksesta ja ammattitaidosta. [Jämström ym. 2016: 85-90.] Rakennusten ilmanvaihto on kuitenkin usein merkittävässä, jopa ratkaisevassa roolissa sisäilmaongelmien ratkaisemisessa. Näin ollen pohjakoulutustausta riippumatta jokaisen sisäilmatutkijan olisi syytä tuntea ainakin jossain määrin LVI-tekniikkaa, jotta tutkimusten yhteydessä voidaan ottaa alustavasti kantaa myös ilmanvaihdon toimivuuteen, ja pyytää tarvittaessa tarkempia IV-tutkimuksia tukemaan varsinaista sisäilmatutkimusta. Mikäli ilmanvaihdon merkitystä ongelmien syntyyn ei osata huomioida tutkimuksissa, on usein seurauksena turhat korjaustoimenpiteet tai ylikorjaaminen. Myös tutkimusten aiheuttamat kustannukset lisääntyvät, aikataulut viivästyvät ja tilojen käyttäjien mieliala laskee, jos tutkimuksissa ei saada ongelmien aiheuttajaa selville, ja jo tehtyjä tutkimuksia seuraa useita lisätutkimuksia.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

IdeaStructura Oy on korjausrakentamisen asiantuntijayritys, joka tarjoaa palveluita esimerkiksi rakennetekniikan, korjausrakentamisen, rakennusfysiikan sekä sisäilma-

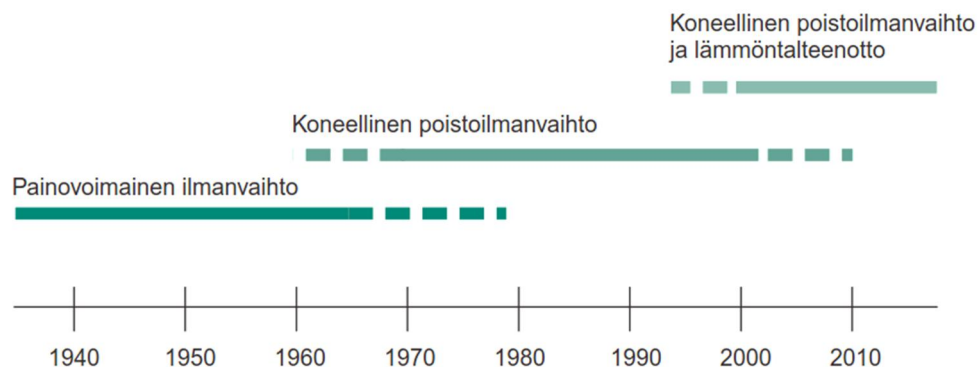
tekniikan osalla. Yrityksen henkilökunta koostuu pääasiassa rakennusinsinööreistä sekä arkkitehteistä, mutta LVI-insinöörejä yrityksen palveluksessa ei tällä hetkellä ole. Edellisinä vuosina yritys on tehnyt lukuisia erilaisia kuntotutkimuksia, joiden pääpainopiste on ollut sisäilmaongelmien selvittämisessä sekä sisäilman laadun parantamisessa. Kokemus onkin osoittanut, että useimmiten yksi merkittävimmistä tekijöistä ongelmien aiheutumisessa ovat erilaiset ilmanvaihdon puutteet. Tämän vuoksi IdeaStructura Oy on päättänyt selvittää ilmanvaihdon roolia sisäilmakorjauksissa.

Opinnäytetyö tehdään rakennusinsinöörin pohjakoulutuksen omaavan asiantuntijan näkökulmasta. Työn tarkoituksena on selvittää sisäilmatutkijalle riittävässä laajuudessa erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät sekä niiden komponentit, menemättä kuitenkaan liian syvälle teknisiin yksityiskohtiin, joihin ei voida ottaa kantaa ilman LVI-alan koulutusta. Työssä selvitetään lisäksi sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä tyypillisimpiä ilmanvaihdon toimintaan liittyviä puutteita. Lopputuotoksena on tarkoitus laatia sisäilmatutkijan käyttöön helposti lähestyttävä opas sekä tarkastuslista, joka toimii apuna ilmanvaihdosta johtuvien sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi tehtävän kuntotutkimuksen tutkimussuunnitelman laatimisessa, sekä auttaa toteuttamaan itse tutkimus siten, että ongelmaan liittyviä tekijöitä jää mahdollisimman vähän huomioimatta. Työn sekä sen yhteydessä laadittavan tarkastuslistan avulla voidaan sisäilmatutkimusten yhteydessä selvittää rakennetekniikan lisäksi alustavasti IV-tekniikkaan liittyviä yleisimpiä, sisäilman laatua heikentäviä puutteita, sekä arvioida esimerkiksi tarkempien ilmanvaihtoa koskevien kuntotutkimusten tarpeellisuutta.

Työssä keskitytään ilmanvaihtotekniikasta riippuvien ilmanlaadun ongelmien selvittämiseen, mutta ilmanvaihtotekniikan teknisten yksityiskohtien lisäksi myös havaittujen ongelmien korjaaminen on rajattu pois työn sisällöstä. IdeaStructura Oy:llä on tarkoitus teettää tulevaisuudessa jatkotyönä LVI-tekniikan opinnäytetyö, jossa selvitetään tarkemmin IV-tekniikan ongelmien erilaisia korjausratkaisuvaihtoehtoja.

2 Ilmanvaihtojärjestelmät

Asuinrakennusten yleisimmät ilmanvaihtojärjestelmät ovat painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto sekä koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto. Näistä yleisin suomalaisessa asuinrakennuskannassa on todennäköisesti edelleen painovoimainen ilmanvaihto, joka oli ennen 1960-lukua lähes ainoa ilmanvaihtotapa. 1960-luvusta lähtien yleisimmäksi uusien asuinrakennusten ilmanvaihtotavaksi nousi koneellinen poistoilmanvaihto. Koneellisia tulo-poisto-ilmanvaihtoja on rakennettu jo 1970-luvulla esimerkiksi Helsingin Merihakaan, mutta varsinaisesti niiden rakentaminen yleistyi vasta 1980-luvulla. Koneellinen poistoilmanvaihto palasi kuitenkin hetkeksi suosituimmaksi ratkaisuksi 1990-luvun lamakauden jälkeen, koska sen rakennuskustannukset ovat koneellista tulo-poistoa edullisemmat. Viime vuosina rakennuksiin on yleisimmin rakennettu lämmön talteenotolla varustettu tulo-poistoilmajärjestelmä, ja esimerkiksi julkisissa rakennuksissa ilmanvaihto onkin nykyään lähes poikkeuksetta koneellinen. Kuvasssa 1 on esitetty eri ilmanvaihtojärjestelmien käyttöä eri vuosikymmeninä. [Kerrostalot 1975–2000 2015: 82.]



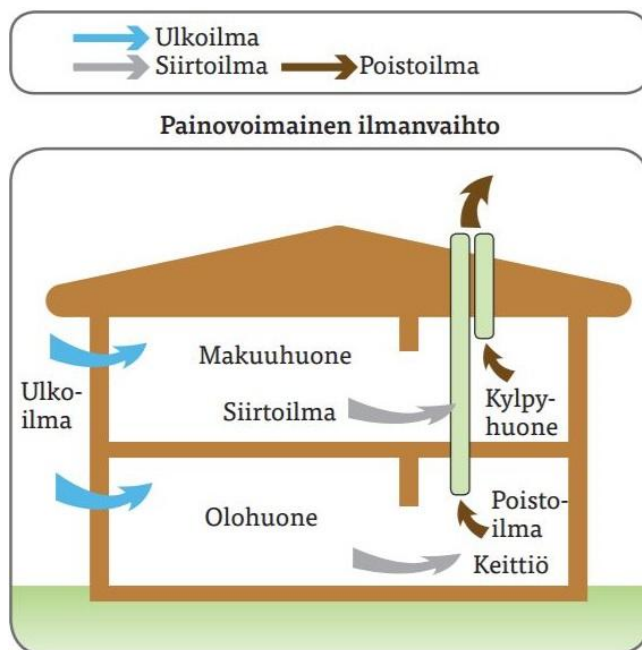
Kuva 1. Ilmanvaihdon kehitys asuinrakennuksissa [LVI 03-10378: 2].

Lisäksi on olemassa myös esimerkiksi erilaisia hybridi-ilmanvaihtoratkaisuja, joissa voidaan tehostaa painovoimaista ilmanvaihtoa apupuhaltimin, sekä erilaisia, lähinnä marginaalisessa markkinaroolissa olevia, pienoispuhallinjärjestelmiä. Tässä työssä keskitytään kuitenkin edellä mainittuihin kolmeen yleisimpään ilmanvaihtotapaan. Myös ilmanvaihtojärjestelmän osat käydään läpi yleisellä, sisäilmatutkijalle riittävällä tasolla, syventymättä tarkemmin kaikkiin järjestelmien yksityiskohtiin. Työstä on rajattu pois lisäksi teollisuusrakennusten ilmanvaihto, joka palvelee ensisijaisesti teollisuuden prosessia, ja vasta toissijaisesti työntekijöiden työolosuhteita.

2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan ilmanvaihtojärjestelmää, jossa poisto- tai tuloilmaa ei liikutella koneellisesti. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu ulko- ja sisäilman lämpötilaeroista syntyviin tiheyseroihin. Lämmitessään ilman tiheys pienenee, jonka vuoksi rakennusten alaosissa tai oleskeluvyöhykkeellä oleva lämmin ilma pyrkii nousemaan kylmää ilmaa kevyempänä ylöspäin, ja samalla rakennukseen virtaa kylmää ilmaa rakennuksen alaosien korvausilma-aukoista tai ilmanvuotokohdista. Ilmiötä kutsutaan ”savupiippuilmieksiksi”. [Seppänen & Seppänen 1996: 166.]

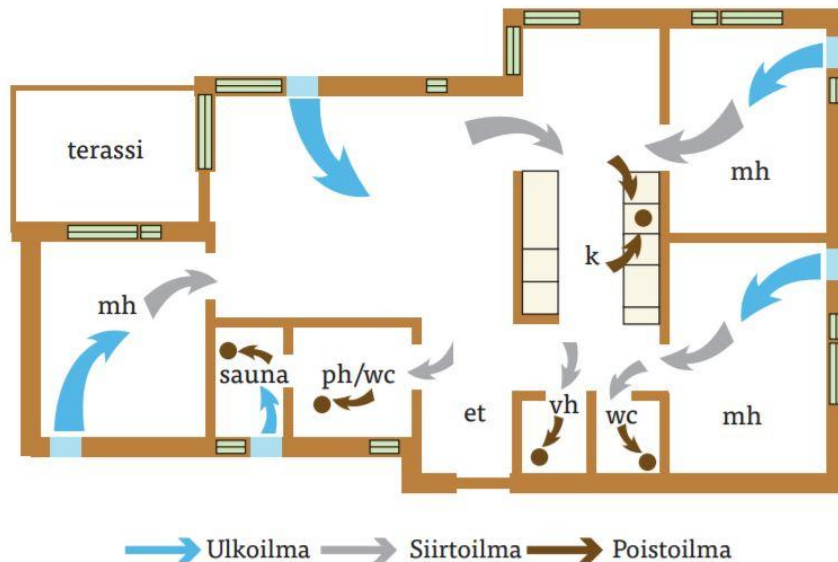
Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaatteena on, että tuloilma johdetaan ulkoilmasta rakennukseen korvausilmaventtiileiden kautta ja poistetaan poistoilmahormien kautta rakennuksen katolle (kuva 2). Järjestelmässä jokaisesta poistoilmaventtiilistä johdetaan oma hormi vesikaton yläpuolelle. Hormeja ei voida yhdistää, jotta vältetään riski ilman siirtymisestä yhdistettyjen hormien kautta huoneistoista toisiin. [Seppänen & Seppänen 1996: 166–168.]



Kuva 2. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate [Opas ilmanvaihdosta 2016: 5].

Ilmanvaihtotavasta riippumatta lähtökohtana on, että tuloilmapisteen tulisi sijoittaa ns. ”puhtaisiin” oleskelutiloihin, kuten olohuoneisiin ja makuuhuoneisiin, kun taas poistoilmapisteen sijoitetaan ”likaisiin tiloihin”, kuten keittiöön, WC:hen ja kylpyhuoneeseen.

Kun korvausilmaventtiilit sijoitetaan eri tiloihin poistoilmakanavien kanssa, saadaan ilma virtaamaan siirtoilmana rakennuksen läpi, olettaen että siirtoilman liikkeitä ei ole estetty ja rakennuksen vaippa on riittävän tiivis, jotta korvausilmaa ei vuoda liiallisesti hallitsemattomien epätiivelyskohtien kautta (kuva 3). [Opas ilmanvaihdosta 2016: 3].



Kuva 3. Tulo- ja poistoilmapisteidien sijoittelun periaatteet [Opas ilmanvaihdosta 2016: 3].

Painovoimainen ilmanvaihto on herkkä sääolosuhteiden vaikutuksille, kuten tuulen ja ulkolämpötilan muutoksille. Esimerkiksi kesäisin, kun ulkoilman lämpötila on lähellä sisäilman lämpötilaa, eivätkä tuuliolot tehosta ilmanvaihtoa, ilmanvaihdon toiminta heikkenee tai pahimmillaan ilma virtaa jopa väärään suuntaan poistohormissa aiheuttaen sisäilmaan hygieenisiiä haittoja. Ilmanvaihdon heikkeneminen saattaa aiheuttaa myös ilmankosteuden nousua liian korkeaksi erityisesti kesäaikaan. Painovoimaisella ilmanvaihdolla ei saavutetaakaan kaikissa olosuhteissa sisäilmastoluokkaa S3 (Sisäilmastoluokitus 2008), joka kuvaa sisäilmaston tyydyttävää, rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset täyttävää, tasoa [LVI 03-10378]. Ilmanvaihdon toimintaa voidaan ikkunatuuletuksen lisäksi tehostaa, ja ilman takaisinvirtausta ehkäistä esimerkiksi poistohormin päähän asennettavalla tuulihatulla tai -roottorilla. [Seppänen & Seppänen 1996: 166–168.]

Koska painovoimaisessa hormissa ilman liikkeen aiheuttava paine-ero on pieni, on poistokanavan oltava pystysuora, eikä siinä saa olla juurikaan mutkia tai vaakasiirtymiä. Rakennustiedon LVI-kortissa 03-10387 (Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus ja -parannus) on mainittu, että poistokanavan vaakasiirtymä saa olla

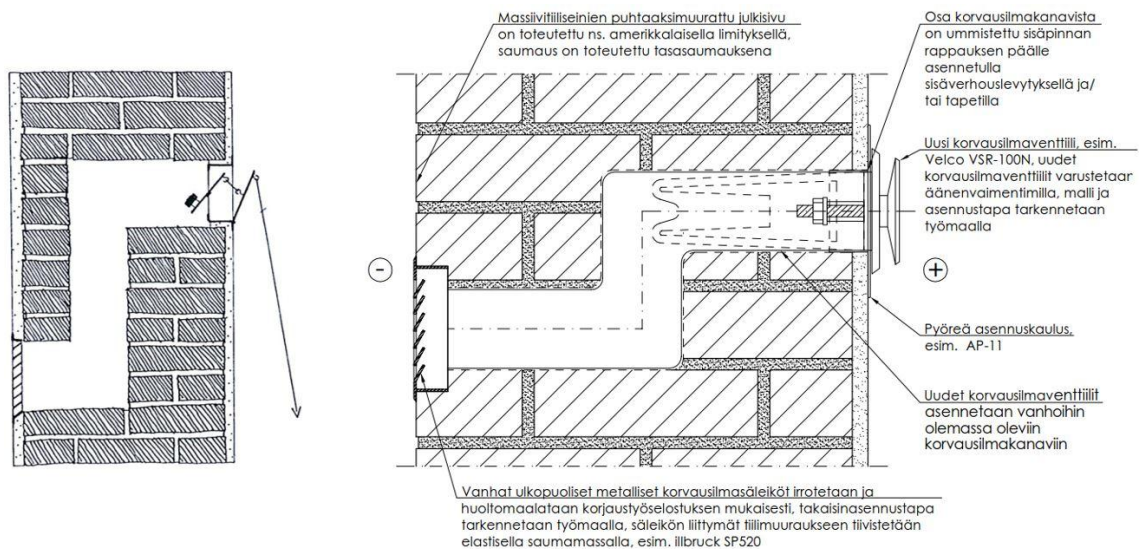
ainoastaan 10 % kanavan pituudesta. Näin ollen esimerkiksi 10 m:n korkeisen kanavan vaakasiirtymä saa olla enintään 1 m. Tämän vuoksi esimerkiksi asuinkerrostaloissa huoneiden sijoittelu rakennusrungon sisällä on merkittävästi rajoitetumpaa kuin koneellisella ilmanvaihdossa varustetussa rakennuksessa, koska poistokanavan täytyy sijaita eri kerroksissa kuta kuinkin samalla kohdalla. [LVI 03-10378.]

Etenkin vanhoissa asuinkerrostaloissa painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmakanavat ovat usein rakennusaineisia, kuten tiili- tai harkkomuurattuja, hormeja. Rakennusaineisten hormien huonoja puolia ovat esimerkiksi niiden vaatima tilantarve sekä epätiivisyys. Toisaalta tällaiset massiiviset hormit ovat kuitenkin hyviä palontorjunnan ja äänieristyksen kannalta. Ilmanvaihtohormien rakentamisessa eri aikoina käytettyjä materiaaleja on esitetty tarkemmin taulukossa 1. [Mäkiö ym. 1989: 179–183.]

Taulukko 1. Eri aikakausina käytettyjä ilmanvaihtohormien rakennusmateriaaleja. [Sandberg, Esa 2016: 213.]

Tiili- ja betonihormi	...1960
Kipsikalkkilaastihormi	...1960
Peltihormi, käsin tehty	...1970
Asbestisementtihormi	...1970
Kierresaumakanava (tiivisteetön)	1965...1980
Kierresaumakanava (kumirengastiivistein)	1970...
Suorakaidekanava, pelti	1965...
Ontelolaatta	1975...1990
Kierresaumakanava, EU	1995...
Muovikanava	2000...

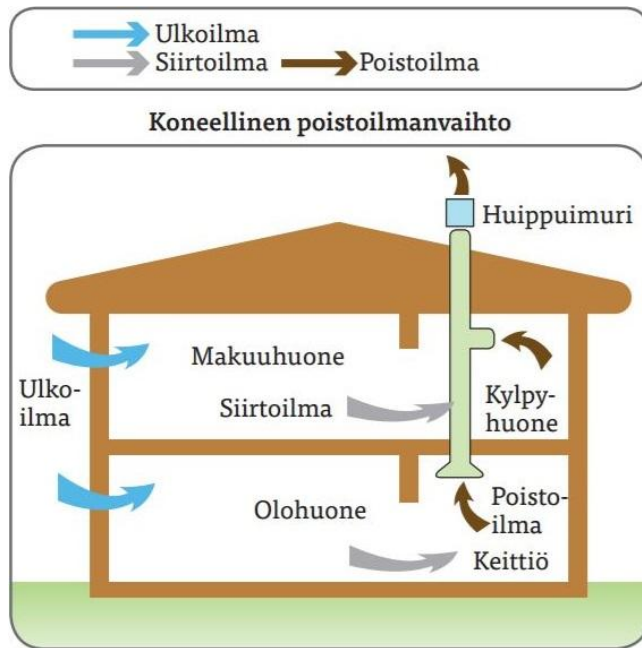
Tuloilmareitit ovat yleensä ulkoseinien tai ikkunoiden läpi tehtyjä kanavia (kuva 4). 1930- ja 40-luvuilla oli yleistä, että jokaiseen huoneeseen sijoitettiin ilmanvaihdon poistoilmakanava. Kanavien tilantarpeen rajoittamiseksi 1940-luvun jälkeen siirryttiin kuitenkin sijoittamaan poistopisteet lähinnä keittiöön, kylpyhuoneeseen ja WC:hen. [Mäkiö ym. 1989: 179–183.]



Kuva 4. Vasemmalla esimerkki korvausilmakanavasta 2-kiven tiilimuuratussa ulkoseinärakenteessa [Mäkiö ym. 2002: 131]. Oikealla periaatepiirustus vastaavan korvausilmakanavan varustamisesta nykyaikaisella itsesäätävällä korvausilmaventtiilillä.

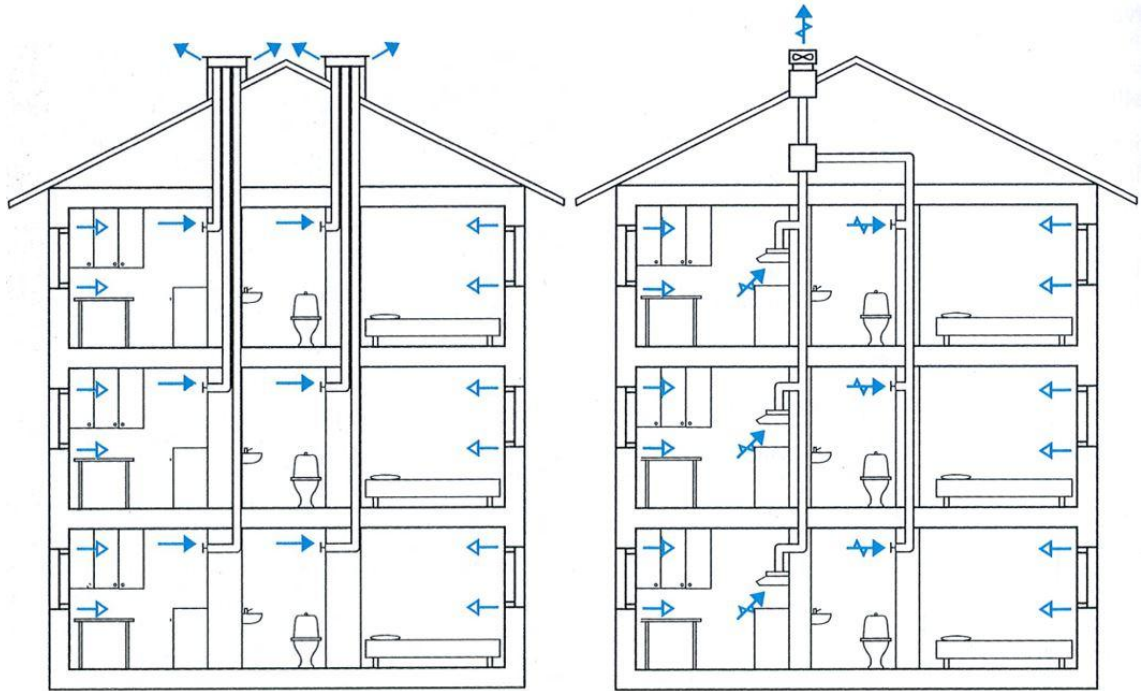
2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa rakennuksen tuloilman saanti on järjestetty vastaavasti kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, eli painovoimaisesti korvausilmakanavien kautta. Painovoimaisesta ilmanvaihdosta poiketen poistoilmanvaihto on kuitenkin tehostettu koneellisesti poistopuhaltimella tai huippuimurilla, joten ilmanvaihdon ilmavirtojen suuruus ei ole merkittävästi riippuvainen sääolosuhteista. Poistovirtojen määrää ja siten myös ilmanvaihdon tehokkuutta voidaan säätää puhaltimien kierrosnopeutta muuttamalla. Poisto- ja tuloilmapisteen sijoittelu vastaa yleensä painovoimaista ilmanvaihtoa. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate on esitetty alla (kuva 5). [Opas ilmanvaihdosta 2016: 6].



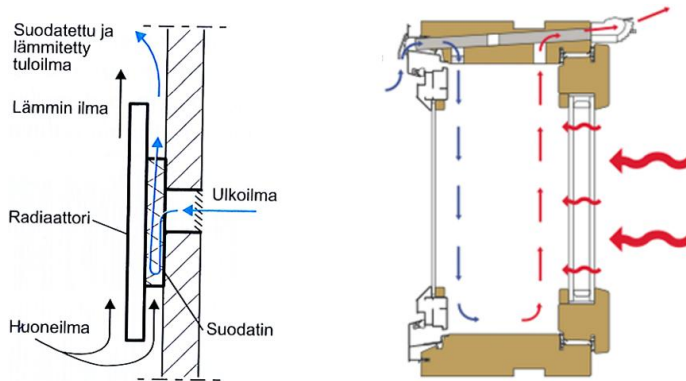
Kuva 5. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate [Opas ilmanvaihdosta 2016: 6].

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä poistokanavat voivat olla yhteis- tai erilliskanavia (ks. kuva 6). Näistä yleisemmällä yhteiskanavajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa eri kerrosten päällekkäisten tilojen poistoilma on johdettu samaan kanavaan, jota pitkin ilma johdetaan poistoilmakoneelle. Järjestelmä on yleinen etenkin kerrostaloissa. Erilliskanavajärjestelmässä taas jokaisesta huoneistosta on johdettu oma kanava esimerkiksi ullakolle, jossa kanavat on voitu yhdistää kokoojakammion välityksellä puhaltimelle, tai vaihtoehtoisesti kanavat on viety erillisinä vesikatolle saakka. Yhteiskanavajärjestelmän etuina voidaan pitää tilan säästöä erilliskanavajärjestelmään verrattuna. Toisaalta yhteiskanavat voivat aiheuttaa äänensiirtymishaittoja huoneistoista toisiin. Lisäksi yhteiskanavajärjestelmässä poistoilmamääriä ei voida säätää huoneistokohtaisesti muuten kuin säätöventtiilien avulla, koska poistokanavat ja laitteistot ovat yhteisiä. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon nähden koneellisten poistokanavien ilmavirrat mitoitetaan suuremmalle virtausnopeudelle, joten kanavat voivat olla pienempiä ja säästää näin ollen tilaa painovoimaisiin kanaviin nähden. [Seppänen & Seppänen 1996: 169–170.]



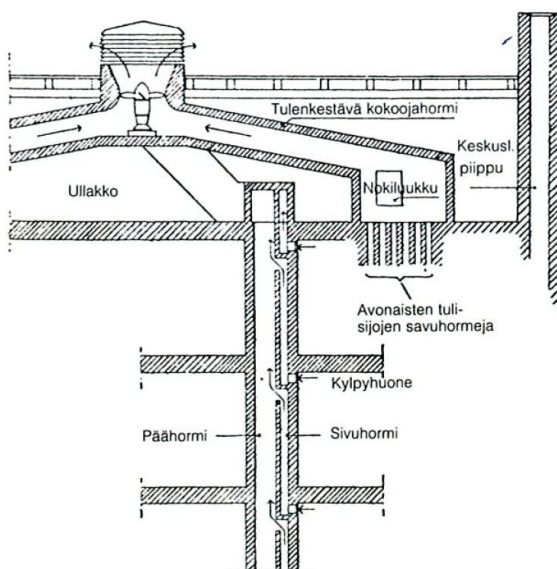
Kuva 6. Vasemmalla on esitetty koneellisen poistoilmanvaihdon erilliskanavajärjestelmän ja oikealla yhteiskanavajärjestelmän toimintaperiaatteet. Tavallisesti erilliskanavajärjestelmässä eri kerroksissa sijaitsevien asuntojen päällekkäisillä tiloilla on omat poistoilmakanavat, kun taas yhteiskanavajärjestelmässä päällekkäisillä tiloilla on yhteinen poistoilmakanava. Kuvasta poiketen vanhojen rakenneaineisten erillishormijärjestelmien hormit on usein yhdistetty ullakkotilassa vaakasuorin kokoojakanavin, ja johdettu ryhmittäin huippuimurille. [Seppänen & Seppänen 1996: 167–170.]

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa, vastaavasti kuin painovoimaisessakin järjestelmässä, korvausilman saanti perustuu rakennuksen vaippaan sijoitettuihin korvausilmakanaviin, sekä usein myös vaipan epätiivelyskohtien kautta tapahtuviin vuotoihin, mikäli hallittujen korvausilmakanavien kautta ei saada riittävästi korvausilmaa. Toisin sanoen koko järjestelmä perustuu rakennuksen sisäpuoliseen alipaineisuuteen ulkoilmaan nähden, jolloin hallitsemattomia ilmapuotoja rakenteiden läpi on lähes mahdotonta välttää, koska rakennukset eivät ole täysin tiiviitä. Tästä aiheutuu lisäksi helposti vedon tunnetta, koska korvausilmaa ei usein ole lämmitetty lainkaan. Poikkeuksena ovat esimerkiksi raitisilmapatterit tai korvausilmailmaikkunat, joiden avulla korvausilma saadaan esilämmitettyä sisääntulon yhteydessä (Kuva 7 7). Koneellisen poistoilmanvaihdon heikkoutena voidaan pitää lisäksi sen energiankulutusta verrattuna koneelliseen tulo-poisto-ilmanvaihtoon. Järjestelmään ei voida kytkeä lämmön talteenottoa, jossa poistoilman lämpö voitaisiin hyödyntää tuloilman lämmittämisessä. [Seppänen & Seppänen 1996: 170; Opas ilmanvaihdosta 2016: 6.]



Kuva 7. Erilaisia korvausilman lämmitystapoja painovoimaisessa ja koneellisessa poistoilmajärjestelmässä. Vasemmalla raitisilmapatteri ja oikealla korvausilmaikkuna. [Seppänen & Seppänen 1996: 120; oikealla olevan kuvan lähde: Biobe Oy, <http://www.biobe.fi/>.]

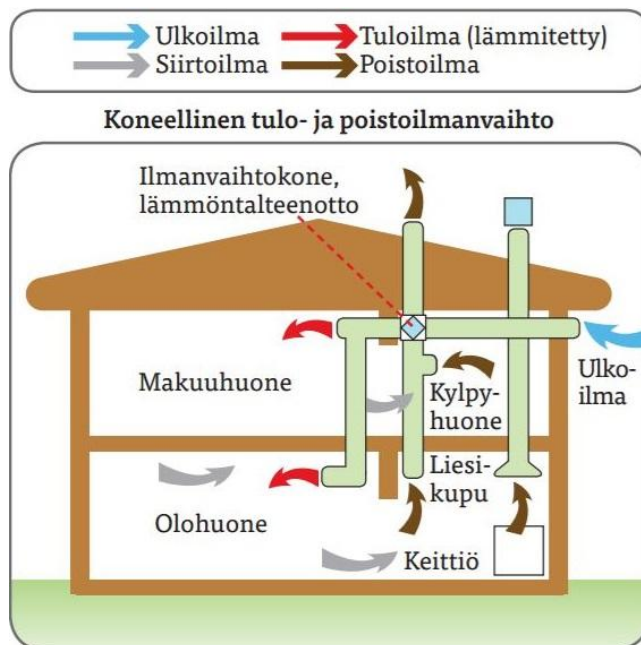
Etenkin koneellisen poistoilmanvaihdon alkuaikoina, 1960-luvulta eteenpäin, järjestelmän poistokanavat tehtiin usein rakennusaineisena esimerkiksi betonista valaen tai muurattuina (kuva 8). Myös asbestisementtikanavia käytettiin jonkin verran. Mäkiön ym. (1994: 220) mukaan kyseisten kanavien tiiviys on lähes poikkeuksetta puutteellinen ja kyseisen ajan laitteistot toimivat yleensä huonosti. 1970-luvun lopusta alkaen kanavissa on yleistynyt sinkitystä teräksestä valmistettujen pyöreiden kierresaumakanavien käyttö [Kerrostalot 1975–2000 2015: 82–85]. Kierresaumakanavat ovat selvästi rakenneaineisia tiiviimpiä, ja lisäksi virtausnopeudet ovat niissä selvästi suurempia, jolloin myös kierresaumakanavien koko voi olla rakennusaineisia pienempi [Mäkiö ym. 1994: 222].



Kuva 8. Rakennusaineisen yhteishormijärjestelmän poistoilman johtaminen vesikaton yläpuolelle ulkoilmaan [Mäkiö ym. 1989: 179].

2.3 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto

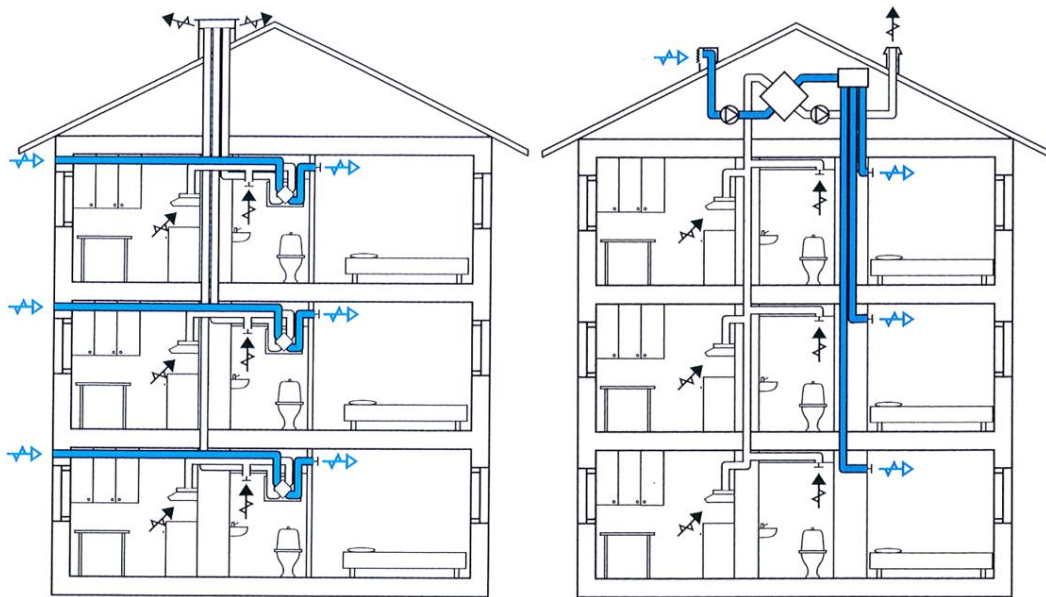
Nykyisin uudet rakennukset varustetaan pääasiassa koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Nimensä mukaisesti kyseisessä järjestelmässä sekä tulo- että poistoilmaa liikutetaan koneellisesti (kuva 9). Näin ollen sää- tai tuuliolosuhteet eivät mainittavasti vaikuta järjestelmän toimintaan, ja jokaiseen huoneeseen saadaan haluttu ilmavirta ja ilmanvaihto. Vastaavasti kuin muissakin ilmanvaihtojärjestelmissä, koneellisessa tulo-poisto-järjestelmässä tuloilma johdetaan ”puhtaisiin tiloihin” ja poistoilma kerätään ”likaisemmista tiloista”. Tämän vuoksi myös kyseisessä järjestelmässä varmistetaan ilman siirtyminen tilojen välillä esimerkiksi väliovien alle jätettävien ilmavälien tai muiden siirtoilmareittien avulla. [Opas ilmanvaihdosta 2016: 7].



Kuva 9. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon toimintaperiaate. [Opas ilmanvaihdosta 2016: 7.]

Asuinkerrostaloissa tulo-poistojärjestelmä voidaan toteuttaa asunto-, porrastai rakennuskohtaisesti (kuva 10). Asuntokohtaisessa järjestelmässä jokaiseen asuntoon sijoitetaan oma ilmastointikone, joten keskitettyjä tilavarauksia, kuten IV-konehuoneita, ei tarvita. Etuna on lisäksi, että jokaisen asunnon ilmanvaihtoa voidaan tarvittaessa helposti säätää erikseen. Ilmanvaihtoa voidaan käyttää esimerkiksi pienemmällä teholla, kun asunnossa ei olekella, ja näin säästää energiaa. Toisaalta asuntokohtaisessa järjestelmässä asunnosta on varattava tila konetta varten, joka

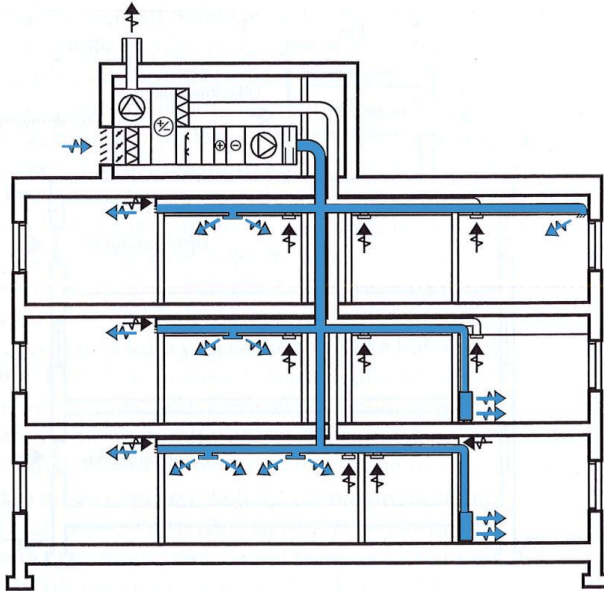
sisältää puhaltimen, lämmöntalteenottolaitteen sekä säätölaitteet. Keskitetyssä järjestelmässä useammalla asunnolla tai tilalla on yhteinen kone. Tilojen ilmamääriä voidaan tällöinkin säätää tilakohtaisilla venttiileillä, mutta säätöalue ei kuitenkaan yleensä ole niin suuri kuin asuntokohtaisessa järjestelmässä. Lisäksi ilmanvaihtokoneelle on varattava erillinen tila esimerkiksi rakennuksen ullakolta. [Seppänen & Seppänen 1996: 171–173.]



Kuva 10. Asuinkerrostaloissa koneellinen tulo-poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa asunto-, porraskohtaisesti tai asuntokohtaisesti. Vasemmalla on esitetty asuntokohtaisen ja oikealla rakennus- tai porraskohtaisen järjestelmän toimintaperiaate. [Seppänen & Seppänen 1996: 172–173.]

Julkisissa rakennuksissa, kuten esimerkiksi kouluissa, päiväkodeissa ja toimistorakennuksissa, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto on nykyisin lähes poikkeuksetta uusien rakennusten ilmanvaihtotapa. Toisaalta myös vanhojen rakennusten saneerauksissa vanha ilmanvaihto hyvin usein päivitetään koneelliseksi tulo-poistoilmanvaihdoksi. Näin ollen se onkin julkisten rakennusten yleisin ilmanvaihtotapa. Järjestelmän rakenne riippuu paljon rakennuksen koosta sekä käyttäjämäärästä. Pienissä rakennuksissa koko ilmanvaihtomäärä voidaan hoitaa yhden ilmanvaihtokoneen avulla, mutta suuremmissa rakennuksissa on useampia koneita, jotka palvelevat rakennuksen eri alueita. Näin ilmanvaihtoa pystytään helposti säätämään vähintäänkin aluekohtaisesti. Toisaalta tällaisten kokonaisuuksien hallitseminen on yleensä hankalampaa kuin yksikertaisissa järjestelmissä, ja esimerkiksi eri alueita palvelevien koneiden aiheuttamat painesuhteiden vaikutukset

muihin alueisiin on huomioitava järjestelmän säätöiden yhteydessä. Kuvassa 11 on esitetty esimerkkikaavio koneellisella tulo-poistoilmavaihdolla varustetusta toimistorakennuksesta.



Kuva 11. Julkisissa rakennuksissa ilmanvaihto on hoidettu lähes poikkeuksetta koneellisella tulo-poistoilmavaihdolla. Konehuoneiden ja IV-koneiden määrä riippuu rakennuksen koosta ja käyttäjämäärästä. [Seppänen & Seppänen 1996: 183.]

Koneellisen tulo-poistojärjestelmän etuna muihin ilmanvaihtojärjestelmiin on, että sisään tulevan tuloilman lämmittämiseen voidaan käyttää poistoilmasta lämmöntalteenottimella kerättävää lämpöenergiaa, joka parantaa järjestelmän energiatehokkuutta. Koska tuloilma kerätään ulkoa hallitusti tuloilmakanavilla, saadaan järjestelmällä kaikkiin huonetiloihin varmimmin riittävä ja hallittu ilmanvaihto nykyisissä tiiviissä rakennuksissa. Lisäksi hallittu tuloilma voidaan tehokkaasti suodattaa ennen jakelua rakennuksen sisälle. Suodatuksella voidaan tuloilmasta poistaa esimerkiksi katu- ja siitepölyjä. Koneellinen tulo-poistoilmavaihto mahdollistaa myös esimerkiksi lämmitysjärjestelmän yhdistämisen ilmanvaihtoon. [Opas ilmanvaihdosta 2016: 7].

Nykyisin koneellisen tulo-poisto-ilmanvaihdon kanavina käytetään pääsääntöisesti pyöreitä peltisiä kierresaumakanavia. Rakenneaineisiin kanaviin verrattuna ne ovat selvästi tiiviimpiä, halvempia sekä helpompia asentaa. Lisäksi ne säästävät huomattavasti tilaa. Mikäli poistoilmakanava ovat ylipaineisia, niiden tiiveydelle onkin asetettava erityisen tiukat vaatimukset, jotta vuodoilta huonetiloihin ja siten epäpuhtauksien pääsyytä sisäilmaan vältytään. Pyöreiden kanavien lisäksi käytetään

jonkin verran suorakaidekanavia esimerkiksi rakennuksen asettamien rajoitteiden vuoksi. Pyöreät kanavat ovat kuitenkin ilmavirtausten, äänenkehityksen, tiiviiden ja kustannusten osalta suorakaidekanavia edullisempia. [Seppänen & Seppänen 1996: 192.]

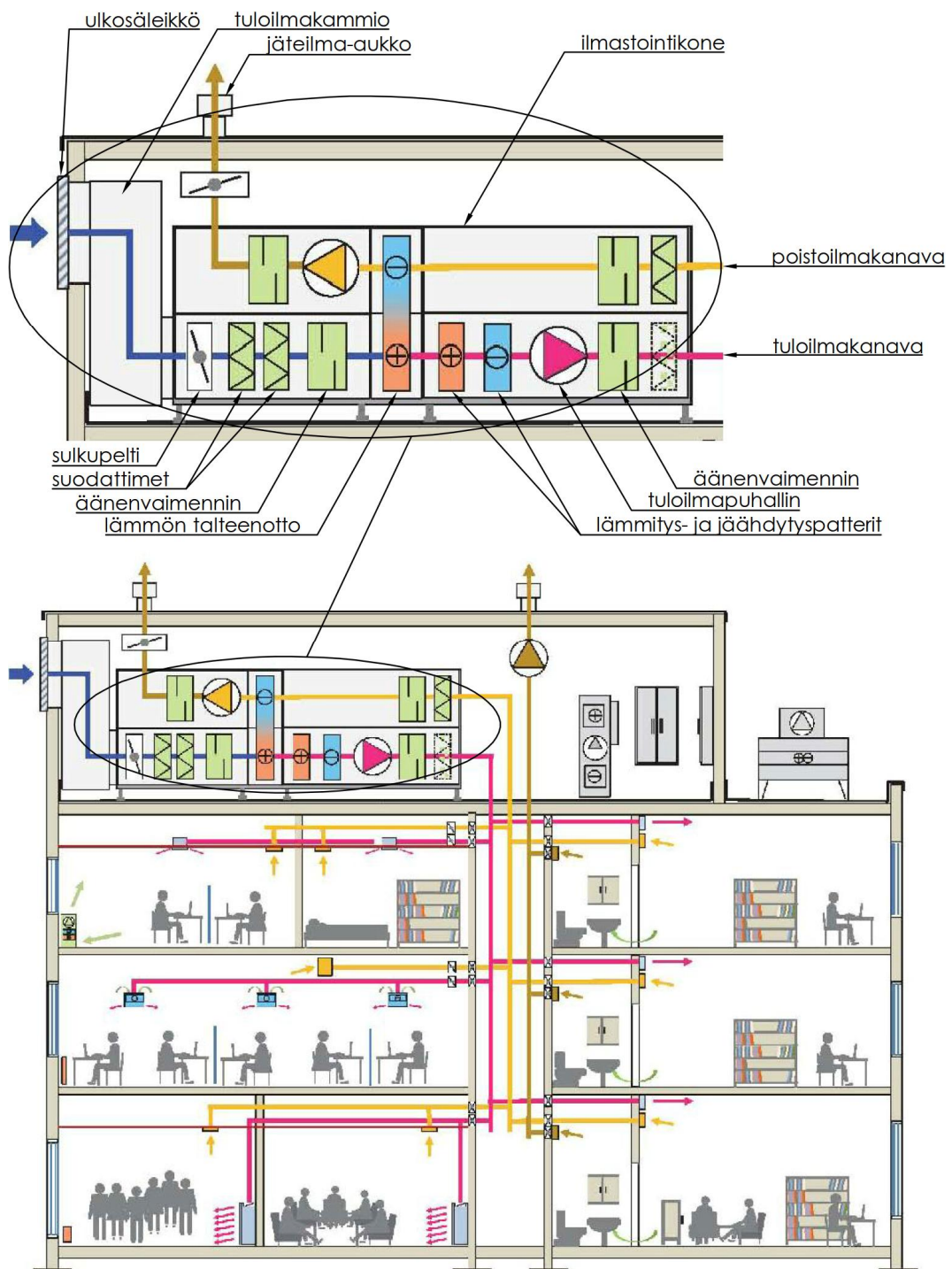
2.4 Ilmastointi

Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon yhteydessä puhutaan usein rakennuksen ilmastoinnista. Ilmastoinnin tarkoitus on ylläpitää ilmankäsittelyn avulla sisäilman laatua, toisin sanoen ilman lämpötilaa, kosteutta, puhtautta sekä ilmanvaihdon määrää. Ilmastointijärjestelmän osat koostuvat aina periaatteessa samoista osista, joita ovat ilmastointikone, kanavat sekä laitteet ja huonelaitteet. [Seppänen & Seppänen 1996: 180–183.]

2.4.1 Ilmastointikoneet

Ilmastoinnin keskeinen osa on ilmastointikone. Koneen tehtävänä on puhdistaa ulkoa otettava tuloilma suodattimen avulla, sekä käsitellä ilma haluttuun lämpötilaan ja kosteuteen lämmitys- ja jäähdytyspattereiden sekä ilmankostuttimen tai -kuivaimen avulla. Toisaalta ilmankostuttimet ja -kuivaimet ovat nykyisin hyvin harvinaisia, niitä käytetään lähinnä erityisolosuhteita vaativissa kohteissa, kuten museoissa ja musiikkituloissa. Lisäksi koneissa on nykyisin lämmöntalteenottolaite, jolla kerätään osa poistoilman hukkalämmöstä ja lämmitetään sillä tuloilmaa säästämällä lämmitysenergian tarvetta ja näin kustannuksia. Koneen puhaltimien avulla tuloilma johdetaan äänenvaimentimen kautta ilmastointikanavistoon ja jälleen huoneisiin, sekä poistoilma rakennuksen ulkopuolelle. Äänenvaimentimet sijoitetaan usein puhaltimen molemmiin puolin, jotta puhallinmelun pääsyä voidaan ehkäistä sekä huone- että ulkotiloihin. Poistoilmapuolella suodattimien tehtävänä on ennen puhaltimia erottaa poistoilman epäpuhtaudet koneen osien hygienian ja mahdollisten tuloilmapuolelle tapahtuvien vuotoilmojen vuoksi. Kuvassa 12 on esitetty tyypillisen ilmastointikoneen osat ja kuvassa 13 on esitetty miltä IV-konehuoneeseen asennettava, koko rakennusta tai rakennuksen osaa palveleva, ilmanvaihtokone voi todellisuudessa näyttää. Isommissa järjestelmissä koneisiin kuuluu lisäksi esimerkiksi erilaisia tulo- ja poistoilmakammioita. Toisaalta aina ei tarvita kaikkia osia, ja esimerkiksi pientaloissa käytettävät koneet ovat usein pienempiä sekä vähemmän varusteltuja, eivätkä tarvitse omaa ilmanvaihtokonehuonetta. Tyypillinen pieni teh-

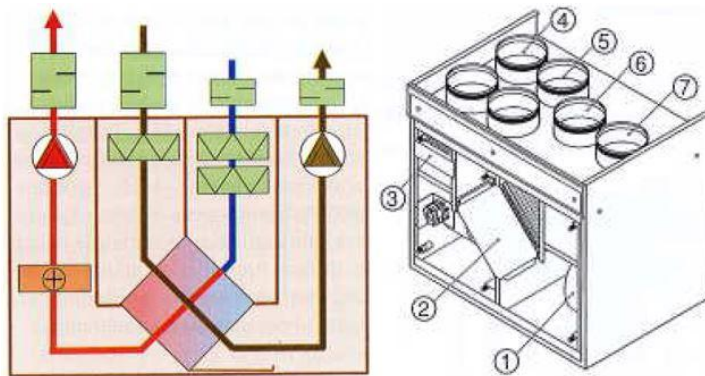
dasvalmisteinen ilmastointikone on esitetty kuvassa 14. [Seppänen & Seppänen 1996: 180–184.]



Kuva 12. Ilmastointijärjestelmiin kuuluvat ilmastointikone, kanavisto laitteineen sekä ilmanjakolaitteet huoneissa. Kuvassa on esitetty tyypillisen toimistorakennuksen ilmastointijärjestelmä. [Sandberg, Esa 2016: 22.]



Kuva 13. Havainnekuva tyypillisestä eri komponenteista koostuvasta koteloidusta IV-koneesta. [Kuvan lähde: Teknocalor Oy, www.teknocalor.fi.]

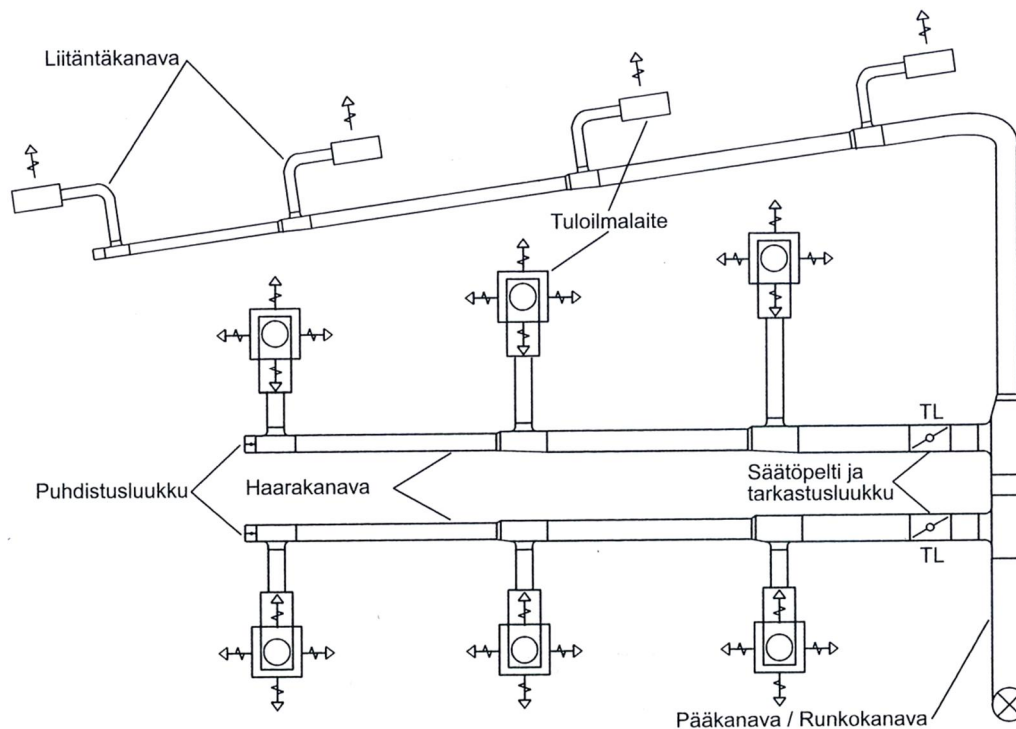


Kuva 14. Tyypillinen pieni tehdasvalmisteinen ilmastointikone, sisään otettava ulkoilma on esitetty sinisellä, tuloilma punaisella ja poistoilma ruskealla. Oikeanpuoleisessa kuvassa: 1) puhallin, 2) lämmön talteenottokeino, 3) suodatin, 4-7) kanavaliitännät. [Sandberg, Esa 2016: 157; Seppänen & Seppänen 1996: 184.]

2.4.2 Ilmanvaihtokanavistot

Kanaviston ja tuloilmalaitteiden tarkoitus on kuljettaa ilma tasaisesti suunnitellulla tavalla haluttuihin tiloihin. Tavallisissa huonetiloissa tuloilma tuodaan yleensä oleskelualueille. Tuloilmalaitteiden tai -elinten avulla ilma jaetaan tiloihin aiheuttamatta liikaa melua ja vetoa. Poistoilma kerätään yleensä sieltä missä se on likaisinta, tai muusta halutusta poistopisteestä, ja kuljetetaan poistoilmakanavaa pitkin jälleen IV-koneelle ja rakennuksen katolle. Tuloilmakanavat ovat yleensä lämmöneristettyjä kondenssikosteuden ehkäisemiseksi, ja jottei ilma lämpenisi liikaa ennen huoneisiin puhaltamista. Ilman siirtoon käytettävät kanavistot pyritään valmistamaan tiivistä pyöreistä kierresaumapeltiputkista, mutta usein joudutaan käyttämään paikoin myös suorakaidekanavia esimer-

kiksi tilanpuutteen vuoksi. Suorakaidekanavat ovat kuitenkin yleensä ilmavirtausten, äänenkehityksen, tiiveyden ja kustannusten osalta pyöreitä standardimittaisia pyöreitä kanavia heikompia. Kanavistoon kuuluvat olennaisena osana myös puhdistus- ja tarkastusluukut sekä säätöpellit. Tuloilman laadun kannalta on suodattimien lisäksi oleellista, että kanavisto voidaan puhdistaa säännöllisin väliajoin. Puhdistusluukkuja tulisi olla niin tiheästi, että koko kanavisto on puhdistettavissa, yleensä noin 8 m:n välein. Säätöpeltien avulla taas voidaan säädellä kanaviston osan ja sitä kautta huoneiden tuloilman määrää. Lisäksi tuloilmaa voidaan ilmanvaihtokoneen lisäksi lämmittää tai jäähdyttää tilakohtaisesti esimerkiksi kanavistoon asennettavilla lämmitys- tai jäähdytyslaitteilla. Kuvassa 15 on esitetty tyypillinen tuloilmakanavisto sekä eri osien nimitykset. [Seppänen & Seppänen 1996: 180–192.]

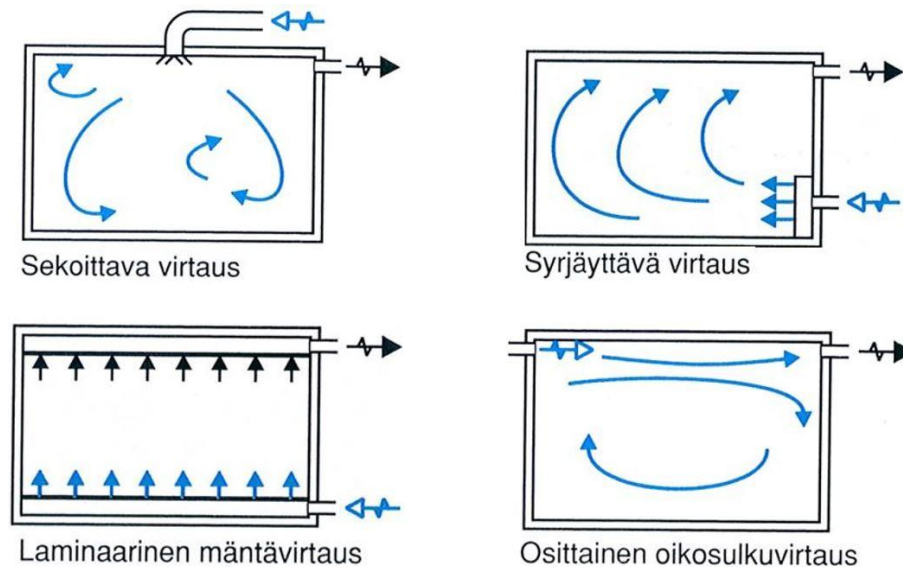


Kuva 15. Ilmastoinnin tuloilmakanaviston laitteita ja nimityksiä [Seppänen & Seppänen 1996: 191.]

2.4.3 Ilmanjako huonetiloihin

Tulo- ja poistoilmalaitteiden avulla tapahtuvalla ilmanjakoilla on merkittävä rooli ilmanvaihdon oikeanlaisessa toiminnassa. Huonolla ilmanjakoilla voidaan pahimmillaan pilata muuten hyvin rakennetun ilmanvaihdon toiminta. Hyvin toteutetun ilmanjaon tunnusmerkkejä ovat muun muassa, että huoneessa syntyvät epäpuhtaudet eivät leviä laajalle

alueelle huoneissa tai ympäristössä, epäpuhtaudet saadaan poistettua ja ilma vaihdettua oleskeluvyöhykkeellä mahdollisimman nopeasti ja ilman virtaussuunta on epäpuhtauslähteistä kohti poistoilmalaitteita. Ilmanjaon toteutuksella voidaan lisäksi vaikuttaa esimerkiksi oleskeluvyöhykkeiden lämpötiloihin tai vetoisuuksiin. Tapauskohtaisesti suunniteltava ilmanjakotapa voidaan luokitella neljään eri perustapaukseen, jotka on esitetty kuvassa 16. Näistä käytetyimpiä ovat sekoittava sekä syrjäyttävä virtaus. [Seppänen & Seppänen 1996: 193–198.]



Kuva 16. Ilmanjaon neljä perustapaa: sekoittava virtaus, osittainen oikosulkuvirtaus, laminaarinen mäntävirtaus sekä syrjäyttävä virtaus. Kuvissa tuloilma on merkitty sinisellä ja poistoilma mustalla. [Seppänen & Seppänen 1996: 193.]

Sekoittava ilmanvaihto on käytetyin ilmanvaihtotapa sekä tavanomaisissa huonetiloissa että teollisuudessa. Sekoittavan ilmanjaon tarkoitus on pyrkiä mahdollisimman tehokkaasti ja tasaisesti sekoittamaan tuloilma huoneilmaan puhaltamalla ilmasuihku tuloilmalaitteista suurella nopeudella. Näin tuloilmasuihku tunkeutuu syväälle huoneilmaan imien mukaansa myös huoneilmaa, joka samalla sekoittuu tehokkaasti tuloilmaan. Tällöin myös poistoilman laatu vastaa oleskeluvyöhykkeen ilman laatua. Näin saavutetaan tasaiset olosuhteet lämpötilojen sekä epäpuhtauksien suhteen koko huonetilassa. Sekoittava ilmanvaihto soveltuu käytettäväksi erityisesti silloin, kun lämpökuormat sekä epäpuhtauslähteet ovat kohtuullisen pieniä. Tulo- ja huoneilman lämpötilaerot edistävät ilman sekoittumista, näin ollen tuloilman sekoittuminen huoneilmaan hankaloituu, mikäli huonetilaa lämmitetään tuloilmalla. [Sandberg, Esa 2016: 228; Seppänen & Seppänen 1996: 194–198.]

Syrjäyttävän ilmanvaihdon periaatteena on, että puhdas ja raikas tuloilma tuodaan pienellä nopeudella suoraan oleskeluvyöhykkeelle huonetilan alaosaan. Näin pyritään luomaan oleskeluvyöhykkeelle mahdollisimman hyvät olosuhteet. Tuloilman pienen nopeuden tarkoitus on pyrkiä välttämään vedon tunnetta sekä hidastaa tuloilman sekoittumista huoneilmaan. Tuloilman lämmitessä huonetilassa, se nousee huonetilan yläosaan, ja jälleen huoneen yläosaan sijoitettuun poistoilmakanavaan kuljettaen myös epäpuhtauksia pois oleskeluvyöhykkeeltä. Tästä tulee nimitys ”syrjäyttävä ilmanvaihto”, vanha ilma syrjäytyy tuloilmalla. Syrjäytymisen toiminnan mahdollistamiseksi tuloilman on oltava hieman huoneilmaa viileämpää, mikäli ilma on liian lämmintä, se nousee huoneen yläosaan, mikäli taas ilma on liian kylmää, se valuu lattiaa pitkin aiheuttaen vedon tunnetta. Kyseinen ilmanjakotapa soveltuu erityisesti korkeisiin tiloihin, joissa on suuria lämpö- tai epäpuhtauslähteitä. Tyypillisimpiä käyttökohteita ovat esimerkiksi teatterit sekä teollisuus. Toisaalta syrjäyttävän ilmanvaihdon toiminta on kuitenkin todettu heikoksi esimerkiksi luokka- ja kokoustiloissa, joissa tulisikin mieluummin suosia sekoittavaa virtausta [Huttunen 2015]. [Seppänen & Seppänen 1996: 198–199.]

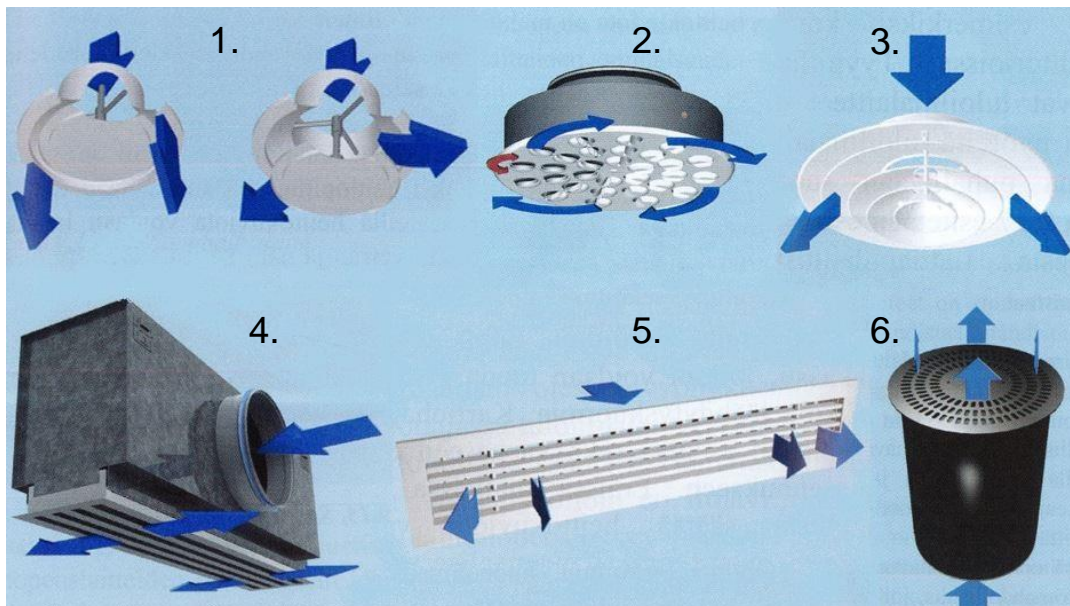
Laminaarisella mäntävirtauksella pyritään luomaan tuloilmavirran avulla koko huonetilaan yhdensuuntainen virtauskenttä, joka kuljettaa tehokkaasti epäpuhtaudet pois huonetilasta. Mäntävirtausta käytetään yleensä tapauksissa, joissa ilmanlaadulle on asetettu erityisiä vaatimuksia, kuten leikkaussaleissa tai muissa suurta ilmanpuhtautta edellyttävissä tiloissa. Laminaarisessa mäntävirtauksessa tuloilman nopeus on pieni, mutta kuitenkin riittävän voimakas syrjäyttämään häiriövirtaukset. Sen sijaan ilmamäärät ovat suuria, jotta koko huonetilaan saadaan tasainen ilmavirtakenttä. [Sandberg, Esa 2016: 226–227.]

Osittaisella oikosulkuvirtauksella tarkoitetaan lähinnä ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmalimien virhesijoittelua, jossa osa tuloilmasta virtaa suoraan poistoilmakanavaan. Tämä heikentää ilmanvaihdon tehokkuutta, ja sitä pyritään aina välttämään. [Seppänen & Seppänen 1996: 194.]

2.4.4 Päätelaitteet

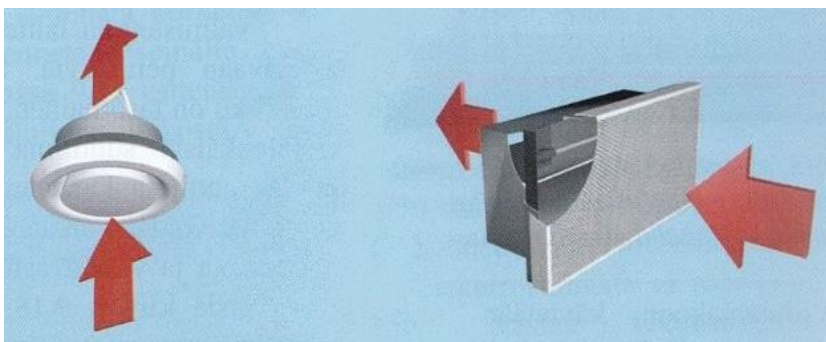
Ilmavirtausten suuntiin, sekä esimerkiksi vedon ja melun aiheutumiseen voidaan vaikuttaa erilaisilla tuloilmalaitteilla. Tuloilmalaitteita ovat esimerkiksi erilaiset säleiköt, ilmanhajottimet, suuttimet sekä rakomaiset päätelaitteet. Tyypillisimpiä tuloilmalaitteita on esitetty kuvassa 17. Tuloilmalaitteiden sijoitus ja tuloilmavirtojen suunnat sekä ilma-

virran muoto vaikuttavat oleellisesti huoneeseen muodostuviin ilmvirtakenttiin, ja näin ollen niiden valintaan onkin kiinnitettävä erityistä huomiota. [Seppänen & Seppänen 1996: 193–198.]



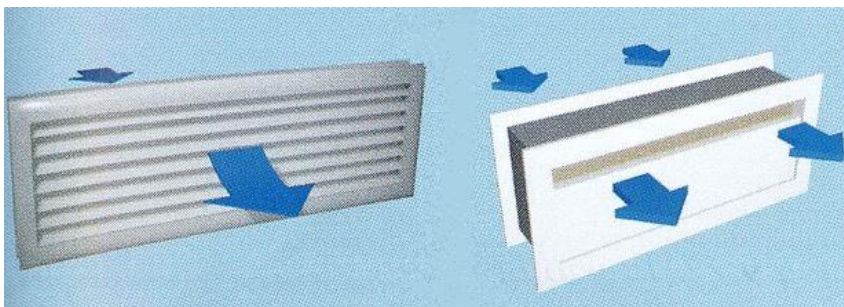
Kuva 17. Erilaisia tyypillisimpiä tuloilmaelimiä: 1) lautasventtiili, 2) monisuutinhajottaja, 3) kartiohajottaja, 4) rakohajottaja, 5) tuloilmasäleikkö, 6) lattiapuhalluslaite. [Sandberg, Esa 2016: 233-235.]

Sen sijaan poistoilmalaitteiden muoto taas ei vaikuta merkittävästi virtauskenttiin laitteiden läheisyydessä, joten niiden valinta on helpompaa kuin tuloilmalaitteiden. Poistoilmalaitteiden sijoitus kuitenkin vaikuttaa ratkaisevasti ilmanvaihdon tehokkuuteen. Poistoilmalaitteita ovat lähinnä erilaiset poistoilmaventtiilit sekä säleiköt (ks. kuva 18). Poistoilmalaitteisiin liittyy yleensä säätömahdollisuus, jonka avulla voidaan vaikuttaa niiden läpi kulkevien ilmavirtojen suuruuteen. [Seppänen & Seppänen 1996: 193–198.]



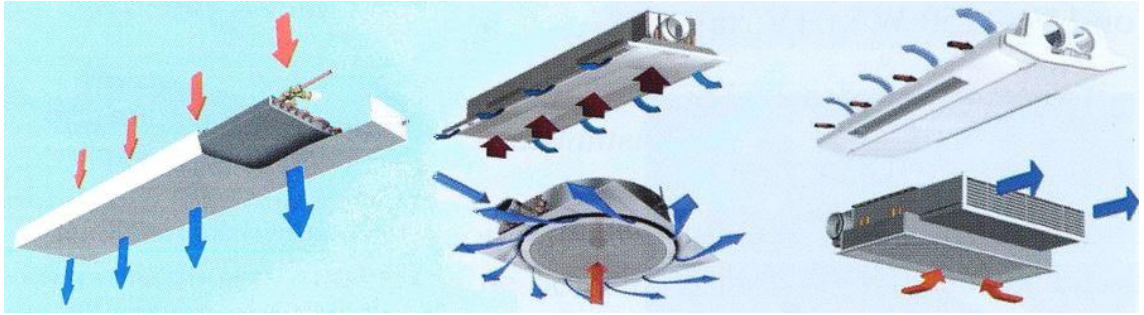
Kuva 18. Poistoilmaventtiili ja rei'itettyä etulevyllä varustettu poistoilmalaite. [Sandberg, Esa 2016: 236.]

Tulo- ja poistoilmalaitteiden lisäksi rakennuksissa käytetään erilaisia siirtoilmalaitteita, toisin sanottuna siirtoilmasäleikköjä. Käyttökohteita ovat yleensä tilat, joissa ovien raot eivät riitä tilavuudeltaan siirtoilmareiteiksi. Siirtoilmalaitteita voidaan lisäksi varustaa esimerkiksi äänenvaimentimin, jolloin tilasta toiseen kulkeutuvat ilmaäännet saadaan pidettyä paremmin kurissa. Esimerkkejä siirtoilmasäleiköistä on kuvassa 19. [Sandberg, Esa 2016: 237.]

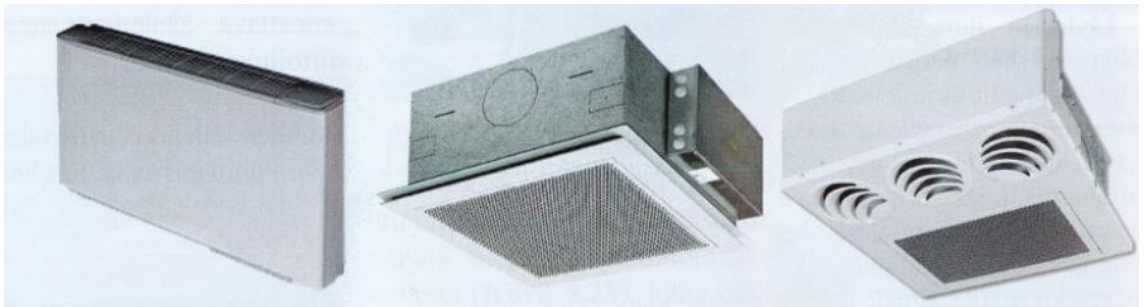


Kuva 19. Ovisäleikkö ja äänenvaimennuksella varustettu seinäsäleikkö siirtoilman liikuttelun vuoksi. [Sandberg, Esa 2016: 237.]

Muita päätelaitteita ovat esimerkiksi erilaiset ilmastointipalkit sekä puhallinkonvektorit, joiden avulla voidaan säädellä huoneilman olosuhteita. Näihin liittyy ilmanvaihdon lisäksi vesijärjestelmiä, joiden tarkoituksena on lämmittää tai jäähdyttää huoneen tuloilmaa. Esimerkiksi huonetilan kattoon sijoitettava aktiivijäähdytys- tai lämmityspalkki muodostuu jäähdytys- tai lämmitysveden kiertoputkesta ja siihen liittyvistä lamelleista joilla lisätään vesiputkien lämmönsiirtopintaa, sekä tuloilmakanavasta, jolla ilma puhalletaan palkista huoneeseen. Palkkien lävitse kulkeutuu lisäksi huoneilmaa, joka sekoituu puhtaaseen tuloilmaan. Passiivipalkki on vastaava laite, mutta ilman tuloilmakanavaa. Erilaisia jäähdytyspalkkiratkaisuja on esitetty kuvassa 20. Konvektorissa taas puhallinmoottori kierrättää ilmaa jäähdytys- tai lämmityspatterin lävitse ja jakaa sen huoneilmaan. Toisin kuin palkit, konvektorit ovat usein kondensoivia, joten ne tarvitsevat vedenpoistojärjestelmäksi joko viemäroinnin tai kondenssipumpun. Kuvassa 21 on esitetty erilaisia konvektoripuhaltimia. [Sandberg, Esa 2016: 237–239.]



Kuva 20. Vasemmalla on esitetty passiivijäähdytyspalkki, johon ei liity tuloilmaa, oikealla on erilaisia tuloilmalla varustettuja aktiivipalkkeja.



Kuva 21. Vasemmalla on seinälle asennettava puhallinkonvektori, ja kaksi oikeanpuoleista konvektoria ovat kattoon asennettavia.

3 Ilmanvaihdon suunnitelmat

Rakennusten ilmanvaihtoa, kuten muutakin rakentamista, koskee erilaisia velvoittavia määräyksiä sekä niitä selventäviä ohjeita, jotta rakennusten sisäilman riittävän laadukas taso täyttyy. Nämä määräykset on huomioitava ilmanvaihdon suunnittelussa. Erilaisten määräysten tunteminen on oleellista myös sisäilmatutkijan kannalta. Määräyksiä ei tarvitse osata ulkoa, mutta on tiedettävä mistä tarvittavaa tietoa kannattaa lähteä etsimään. Ilmanvaihdon teknisten suunnitteluasiakirjojen laatimiseksi taas on olemassa yleinen ohjeistus käytettävistä piirustusmerkinnöistä ja -tavoista. Myös piirustusmerkkien tunteminen on ratkaisevassa roolissa, kun sisäilmatutkija määrittää tarvittavia toimenpiteitä IV-järjestelmän kunnan selvittämiseksi.

3.1 Ilmanvaihtoa koskevat määräykset ja ohjeet

Rakentamista koskee sekä koko Euroopan unionin kattavia että kansallisia säädöksiä. EU-säädöksistä osa on sellaisenaan velvoittavia myös Suomessa, kun taas osa tuo mukanaan muutoksia kansallisiin säädöksiin. Kaikki EU-säädökset eivät ole kuitenkaan voimassa kaikissa EU-maissa. Direktiiveillä tarkoitetaan eurooppalaisia säädöksiä, joissa määriteltyihin tavoitteisiin on jokaisen EU:n jäsenvaltion pyrittävä, tosin jäsenvaltiot saavat itse päättää keinot tavoitteisiin pääsemiseksi. Asetukset taas ovat säädöksiä, joita on noudatettava kaikkialla EU:ssa. Ilmastointitekniikan kannalta juuri direktiivit ja erilaiset asetukset ovatkin merkittäviä. Näitä ovat esimerkiksi Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD), Energiatehokkuusdirektiivi (EED) sekä Rakennustuoteasetus (CPD). [Sandberg, Esa 2016: 29–30.]

Alueiden käyttöä ja rakentamista koskevat yleiset kansalliset edellytykset sekä olennaiset tekniset vaatimukset on säädetty maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/199, MRL). MRL:stä löytyy myös rakennusten, asuntojen sekä työtilojen terveellisiä oloja koskevat säädökset. Maankäyttö- ja rakennuslain 13 §:n nojalla on rakentamisessa säädetty sovellettavaksi määräyksiä rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Määräyksiä on kerätty Ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (Suomen säädöskokoelma 1009/2017). Uudet rakentamismääräyskoelman kumoavat asetukset ovat tulleet voimaan vasta vuoden 2018 alussa, joten

niiden käytöstä ja toimivuudesta ei ole vielä käytännön kokemusta. [Sandberg, Esa 2016: 28–35; Ympäristöopas 2016: 8–9.]

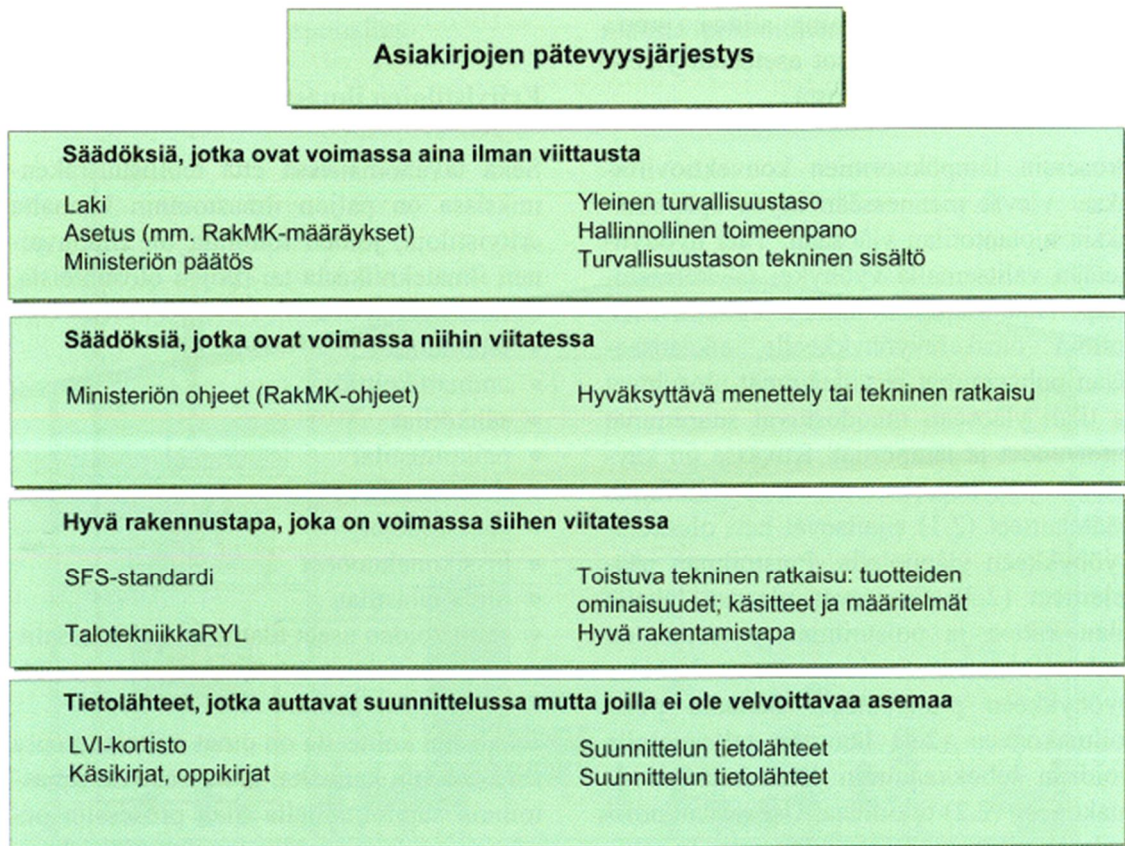
Aiemmin ilmanvaihtoa koskevat MRL:n säädökset sekä ohjeistus niiden noudattamiseksi on ollut kerättynä Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. Muita ilmanvaihtoa koskevia asetuksia sisältäviä rakentamismääräyskokoelman osia ovat olleet E7 (Ilmanvaihtolaitteiston paloturvallisuus), A2 (Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat), C1 (Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa), D3 (Rakennusten energiatehokkuus) sekä D5 (Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiatarpeen laskenta). [Sandberg, Esa 2016: 28–35; Ympäristöopas 2016: 8–9.]

Rakennusten terveellisyyteen liittyviä kansallisia säädöksiä on esitetty MRL:n lisäksi terveydensuojelulaissa (763/1994, TsL), työturvallisuuslaissa (738/2002) sekä lakien nojalla annetuissa asetuksissa ja määräyksissä, sekä näitä selventävissä ohjeissa. Tällaisia ovat esimerkiksi ns. asumisterveysasetus (STMa 545/2015) sekä sen soveltamisohje (Sosiaali- ja terveysalan lupavirasto Valvira, 2016). Suoraan tai välillisesti rakennusten terveellisyyteen liittyviä asioita on esitetty myös asuntokauppalaisissa (843/1994), asunto-osakeyhtiölaissa (1599/2009), kuluttajansuojalaissa (38/1978) sekä vahingonkorvauslaissa (412/1974). [Sandberg, Esa 2016: 28–35; Ympäristöopas 2016: 8–9.]

Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden sekä eri asetusten ja määräysten soveltamisohjeiden lisäksi ilmanvaihtoa koskevaa ohjeistusta hyvästä rakennustavasta löytyy esimerkiksi rakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista, TalotekniikkaRYL 2002:sta. Lähtökohtaisesti yleiset laatuvaatimukset perustuvat vapaaehtoisuuteen, eivätkä ne ole sinällään velvoittavia, usein niistä kuitenkin tehdään sitovia hankkeessa tapauskohtaisesti sopimalla. Muita lähtökohtaisesti vapaaehtoisia ohjeita on esitetty erilaisissa standardeissa. Sandbergin [2016: 33] mukaan standardit ovat ”hyvän vallitsevan käytännön kirjallinen kuvaus”. Standardeilla voidaan määrittää esimerkiksi rakennustuotteilta vaadittavia ominaisuuksia tai ominaisuuksien testausmenetelmiä yleistä ja toistuvaa käyttöä varten. Vaikka standardit ovatkin pääsääntöisesti vapaaehtoisia, on niistäkin moni saanut velvoittavan aseman lakien, asetusten sekä viranomaismääräysten ja -ohjeiden jatkona. Myös rakentamismääräyksissä on esitetty viittauksia eri standardeihin. Lisäksi on olemassa laaja valikoima erilaisia käsi- ja oppikirjoja IV-suunnittelua, rakentamista, sekä kunnossapitoa varten. Yksi tunnetuimmista ohjekortis-

toista lienee Rakennustieto Oy:n ylläpitämä LVI-kortisto. Kortistosta löytyy mm. ohjekortti Sisäilmastoluokitus 2008 (LVI 05-10440), jossa on esimerkiksi määritetty suunnittelun tavoite- ja lähtöarvot tulevan rakennuksen sisäilman laadun kannalta, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. [Sandberg, Esa 2016: 28–35.]

Erilaisia velvoittavia määräyksiä ja hyvää rakentamistapaa kuvaavia vapaaehtoisia ohjeita on suuri määrä, eikä niiden hallitseminen ole helppoa. Kokonaisuuden hahmottamiseksi on kuvassa 22 esitetty eri asiakirjojen pätevyysjärjestys.

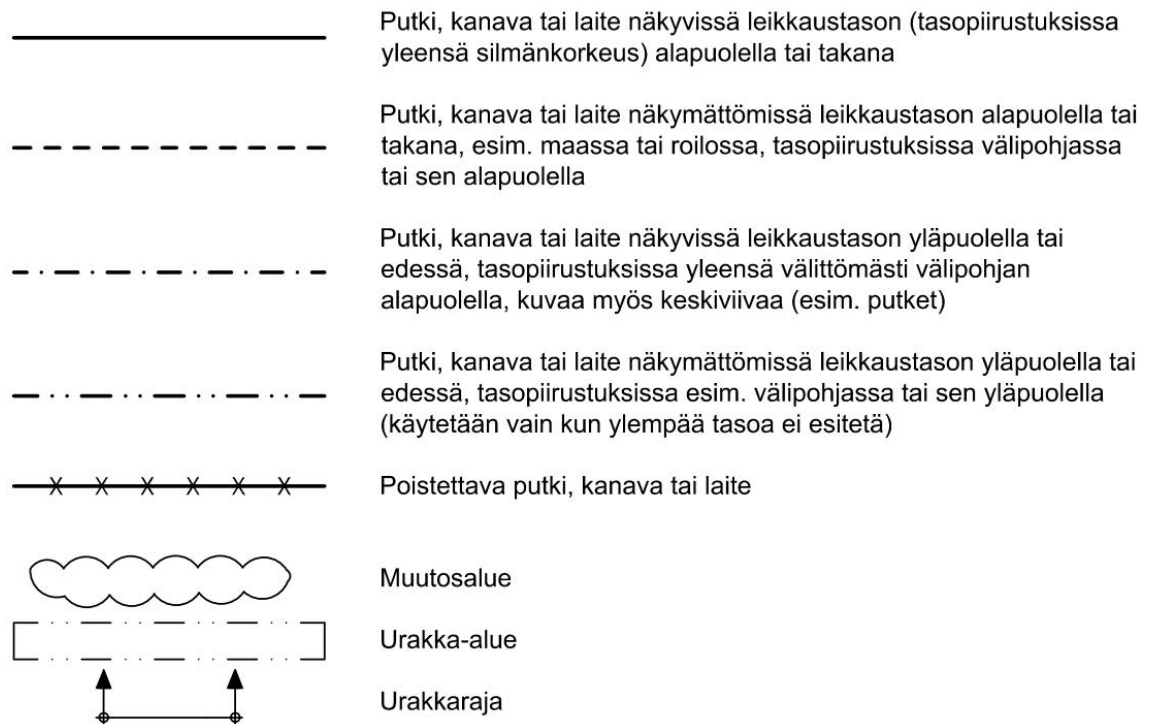


Kuva 22. Rakentamista koskevien eri kansallisten säädösten ohjeiden ja standardien pätevyysjärjestys. [Sandberg, Esa 2016: 22.]

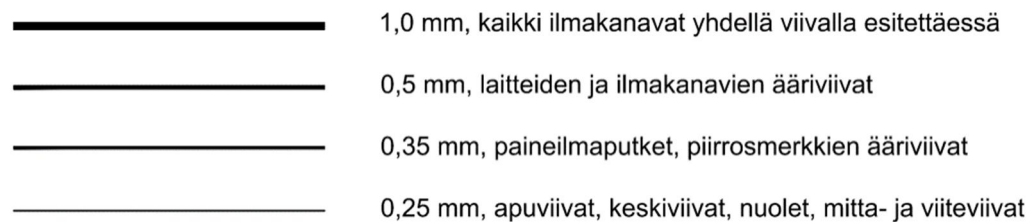
3.2 Piirustusmerkinnät

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D4 on esitetty yleiset piirrosmerkinnät, joita ilmanvaihdon suunnitelma-asiakirjoissa käytetään. Eri yritysten ja suunnittelijoiden välillä merkinnöissä on toisinaan pieniä eroavaisuuksia, johtuen esimerkiksi käytössä

olevasta piirustusohjelmistosta tai suunnittelijan oppimasta ja käyttämästä piirustusta-
vasta, mutta pääsääntöisesti suunnitelmat kuitenkin noudattavat yleisiä merkintätapoja.
Ilmanvaihtosuunnitelmien ymmärtämiseksi täytyy tuntea nämä ilmanvaihtoa koskevat
merkintätavat. IV-suunnitelmissa käytettyjä yleisiä viivatyypppejä ja leveyksiä, erilaisia
kanavia, ilmavirtoja, laitteita ja kojeita esittäviä merkintöjä sekä yleisimpiä käytettyjä
kirjainlyhenteitä on poimittu kuviin 23–27.






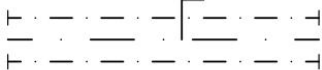
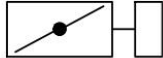




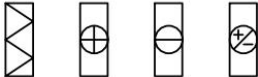
Kuva 23. Ilmanvaihtosuunnitelmissa käytettyjä yleisiä viivatyypppejä.



Kuva 24. Ilmanvaihtosuunnitelmissa käytettyjä yleisiä viivapaksuuksia.



Kuva 25. Yleisiä IV-suunnitelmissä käytettyjä kanavien ja ilmavirtojen merkintätapoja.

	ÄV-125	Äänenvaimennin Ø125 mm IV-kanavassa
	SP-125	Ilmavirran sulku- tai säätölaite Ø125 mm IV-kanavassa
	SP-125	Käsin ohjattava ilmavirran säätölaite Ø125 mm IV-kanavassa
		Käsin ohjattava ilmavirran säätölaite IV-kanavassa tasopiirustuksessa esitettynä
		Toimimootorilla varustettu säätölaite
		Palopelti
		Puhaltimen yleismerkki
		Kaksipyörimisnopeuksinen puhallin
		Jatkuvasäätöinen puhallin
		Suodatin, lämmitin (myös lauhdutin), jäähdytin (myös höyrystin), lämmöntalteenottolaite

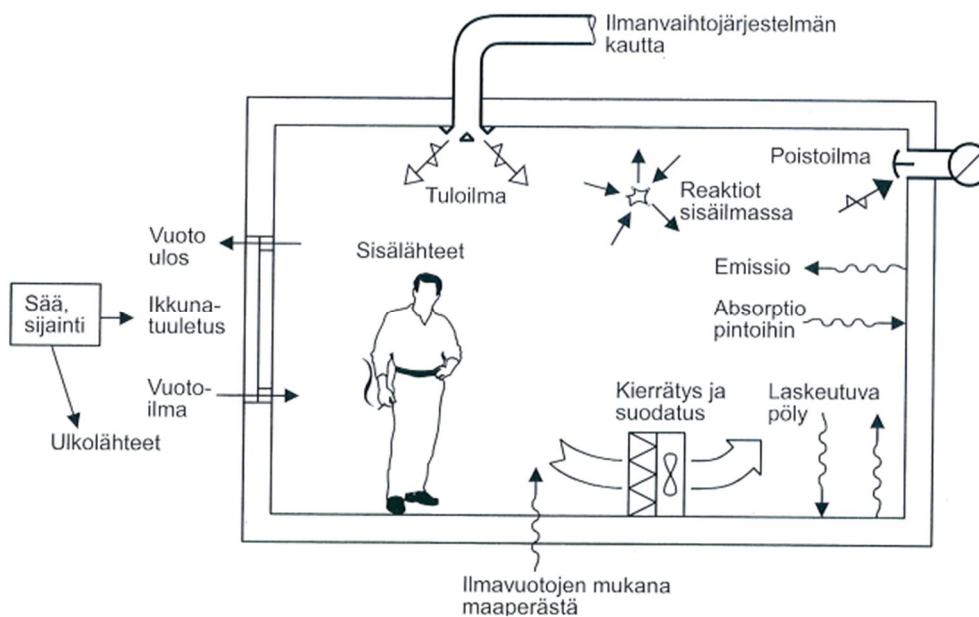
Kuva 26. IV-laitteiden ja kojeiden esitystapoja.

TK= tuloilmakoje	TL= tarkastusluukku	LTL= lämmöntalteenottolaite
F= puhallin	US= ulkosäleikkö	Ö= äänenvaimennusverhous
PF= poistoilmapuhallin	PP= sulkeutuva palonrajoitin (palopelti)	L= lämmöneristys
PK= poistoilmakoje	ÄV= äänenvaimennin	PE= paloeristys
TF= tuloilmapuhallin	OR= virtausrako ovesta (ovirako)	A30, A60, A120= kanavan paloluokka
PL= puhdistusluukku tai -yhde		

Kuva 27. Ilmanvaihtosuunnitelmiin liittyviä yleisimpiä kirjainlyhenteitä.

4 Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät

Vietämme lähes 90 % ajastamme sisätiloissa ja hengitämme lähes 15 000 litraa ilmaa vuorokausittain. Näin ollen rakennusten sisäilman laadulla on suuri merkitys sekä ihmisten viihtyvyyteen, mutta myös terveyteen. Heikkolaatuinen sisäilma voi vähentää viihtyisyyttä ja laskea esimerkiksi työtehoa, mutta pahimmillaan se voi myös alentaa terveyttä, aiheuttaa terveyshaittoja tai jopa sairastuttaa vakavasti. Kuvassa 28 on esitetty erilaisia sisäilman laatuun vaikuttavia epäpuhtauslähteitä. [Sisäilmaopas 2011: 3.]



Kuva 28. Erilaisia sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. [Seppänen & Seppänen 1996: 26.]

Rakennusten sisäilman koettuun laatuun vaikuttavat monet eri tekijät. Suomalaisessa rakennuskannassa yksi tyypillinen sisäilman laatua heikentävä tekijä ovat esimerkiksi erilaiset kosteus- ja mikrobivauriot, ja niiden aiheuttamat päästöt sisäilmaan. Sisäilman laatua voivat alentaa myös monet muut, kosteus ja mikrobivaurioista riippumattomat tekijät, kuten erilaiset fysikaaliset tekijät, erilaiset kemialliset ja hiukasmaiset materiaali-päästöt sekä pölyisyys. Tyypillisesti koettuun heikkolaatuiseen sisäilmaan liittyy useita eri tekijöitä, jotka yhdessä aiheuttavat koetut haitat. Esimerkiksi liian korkea lämpötila sekä kosteus voi lisätä voimakkaastikin joidenkin rakennusmateriaalien sisältämien kemiallisten aineiden päästöjä sisäilmaan ja liian heikko ilmanvaihto yleensä voimistaa muiden tekijöiden aiheuttamia haittoja. Liian voimakkaan ilmanvaihdon aiheuttamat paine-erot taas voivat lisätä vetoisuutta sekä vaipan epätiiveyskohtien kautta syntyviä vuotoilmavirtauksia, ja siten epäpuhtauksien kulkeutumista rakenteista sisäilmaan. Li-

säksi liian korkea lämpötila, kosteus tai vetoisuus voivat jo sellaisenaan aiheuttaa ihmisille oireilua, terveyshaittoja tai epäviihtyvyyttä. Toisaalta kaikkien sisäilman fysikaalisten ominaisuuksien vaikutuksia ihmisen terveyteen ei vielä toistaiseksi tunneta, ja lisäksi eri ihmiset reagoivat erilaisiin tekijöihin hyvin eri tavalla. Taulukossa 2 on esitetty yleisimpiä sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä sekä niiden aiheuttamia haittoja ja oireita. [Asumisterveysohje 2013: 13; Ympäristöopas 2016: 14.]

Taulukko 2. Yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden aiheuttamat haitat ja oireet. [Ympäristöopas 2016: 15.]

Epäpuhtaus tai muu häiritsevä tekijä	Tavanomainen lähde/ syy	Haitta/ oire
Allergeenit	Koti- ja lemmikkieläimet, siitepölyt, kemikaalit, pöly- ja varastopunkit, mikrobikasvustot	Allerginen nuha, silmä-, astma- ja iho-oireilu
Ammoniakki	Materiaalien kosteusvauriot, viemärit, lemmikkieläimet, tupakointi	Hajuhaitat, ärsytysoireet
Asbestikuidut	Useat eri rakennusmateriaalit	Syöpäriskin kasvu, asbestoosi
Formaldehydi	Lastulevyn ym. materiaalien kosteusvauriot, sisustustuotteet, tekstiilit ja pesuaineet	Hajuhaitat, ärsytysoireet, kosketusihottuma, syöpäriskin kasvu
Hiilidioksidi (CO ₂)	Ihmiset, lemmikkieläimet, heikko ilmanvaihto	Suuri pitoisuus viittaa tilojen käyttöön nähden riittämättömään ilmanvaihtoon. Erittäin korkeissa pitoisuuksissa väsymys, päänsärky.
Hiilimonoksidi (häkä, CO)	Tulisijat, liikenne	Häkämyrkytys, tukehtumiskuolema
Häiritsevät hajut	Materiaalien kosteusvauriot, ilmapuodot rakenteissa, materiaalit, kemikaalit, käyttäjät	Ärsytysoireet, epämukavuus
Vähäinen ilmanvaihtuvuus	Heikkotehoinen ilmanvaihto, IV-järjestelmän viat, ilmanjaon puutteet	Epäpuhtauksien kertymisestä aiheutuva oireilu ja epämukavuus
Liiallinen alipaineisuus rakennuksen ulkovaipan yli	Ulkoilmavirtoihin nähden liialliset poistoilmamäärät	Epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan
Kuiva sisäilma	Kylmä ja kuiva ulkoilma	Ihon ja limakalvojen ärsytysoireet, oireiluherkkyuden kasvu
Lämpötila, liian matala tai korkea, vetoisuus	LVI-järjestelmän puutteet ja säätövirheet, pintasäteily, ilmapuodot	Epämukavuus, sairastavuuden lisääntyminen
Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet	Kosteus- ja mikrobivauriot, ilmapuodot rakenteissa, IV-kanaviston epäpuhtaudet kosteissa järjestelmänosissa	Hengitystieärsytys, astma, allergiset sairaudet, hengitystieinfektioiden lisääntyminen, yleisoireet
Otsoni	Ilmanpuhdistimet, kopiokoneet	Hengitysteiden ärsytysoireet. Voimistaa allergeenien vaikutusta
PAH-yhdisteet	Vanhat kosteuseristeet, kivihiilipiki, polttotapahtumat	Hajuhaitat, syöpäriskin kasvu

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla

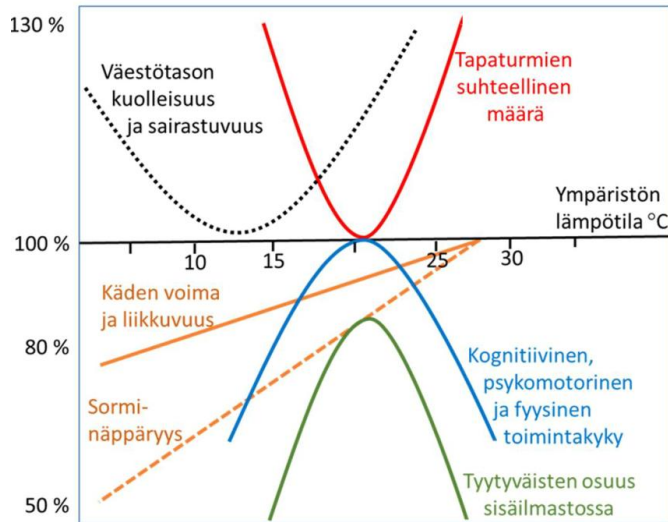
Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta		
PCB	Rakennusmateriaalit, mm. elementtisaumaussmassat ja maalit, lämmönsiirtonesteet	Syöpäriskin kasvu
Pienhiukkaset	Ulkoilma (teollisuus, liikenne) tupakansavu, kopiokoneet, kosteusvauriot, pienpoltto, kynttilät ja tulisi- jat	Viihtyvyyshaitat, sydän- ja hengityselinsairaudet, astma
Radon	Maaperä, rakennuksen alustäyttö	Keuhkosyöpäriskin kasvu
Teolliset mineraalivillakuidut	Lämmön- ja ääneneristysmateriaalit rakenteissa ja IV-järjestelmissä	Silmien ja hengitysteiden ärsytysoireet
VOC-yhdisteet (haihtuvat orgaaniset yhdisteet)	Kosteusvauriot, rakennusmateriaalit, sisustusmateriaalit, tekstiilit, pesuaineet, kosmetiikka, ihmiset ja lemmikkieläimet	Ärsytysoireet, astma
Öljyhiilivedyt	Rakennusmateriaalit (mm. valuasfaltti), öljyvahingot rakenteisiin ja maaperään rakennuksen alla	Hajuhaitat

4.1 Fysikaaliset tekijät

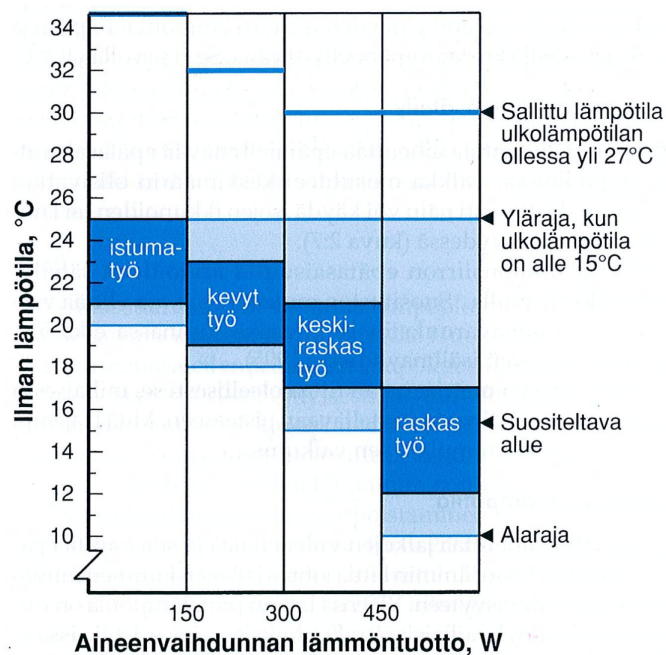
Sisäilman fysikaalisia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpötila ja pintojen lämpötilaerot, ilman kosteus, ilman liike, säteily (radon) sekä ilman liikkeiden, ilmanvaihtolaitteiden tai muiden ulkopuolisten lähteiden aiheuttama melu. Fysikaaliset tekijät vaikuttavat erityisesti ihmisten viihtyvyyteen sisätiloissa, mutta ne ovat yhteydessä myös muiden sisäilmatekijöiden, kuten epäpuhtauksien esiintymiseen ja voimakkuuteen sisäilmassa. Alla on esitetty tyypillisimpiä sisäilmaan vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä.

4.1.1 Lämpötila ja ilman liikkeet

Sisäilman fysikaalisista tekijöistä tärkeimpiä on lämpötila. Ihminen aistii herkästi lämpötilan muutokset, lämpösäteilyn sekä alhaisista pintalämpötiloista tai ilman virtausnopeudesta johtuvan vetoisuuden. Lisäksi lämpöaistimukseen ja viihtyvyydentunteeseen vaikuttavat kosteus, vaatetus sekä ihmisen toiminnan laatu. Viihtyvyyden lisäksi lämpötilan muutokset vaikuttavat myös esimerkiksi työtahokkuuteen. Liian lämpimässä tilassa työskentelyn on havaittu laskevan sekä fyysistä että ajattelua vaativan työn suoriutumista, kun taas liian matalat lämpötilat voi heikentää esimerkiksi sorminäppäryyttä. Lisäksi liian korkea lämpötila voi lisätä hengitystieoireilua ja kuivuuden tunnetta. Pitkäaikainen veto ja viileys taas saattavat aiheuttaa jopa terveyshaittaa. Lämpöolojen vaikutuksia ihmiseen on havainnollistettu kuvassa 29. Kuvassa 30 taas on esitetty sisäilman optimilämpötiloja työn kuormituksesta riippuen. [Asumisterveysohje 2013: 13–14; Tuunanen 2016: 7.]



Kuva 29. Lämpöolojen vaikutuksia viihtyvyyteen, toimintakykyyn, tuottavuuteen ja terveyteen. [Koskela ym. 2014.]



Kuva 30. Sisäilman optimilämpötilat sekä hyväksyttävät poikkeamat työn kuormituksesta riippuen. [Seppänen & Seppänen 1996: 17].

Ihmisille aiheutuneiden haittojen lisäksi liian alhaiset pintalämpötilat voivat johtaa esimerkiksi sisäilman kosteuden tiivistymiseen pinnoille tai rakenteisiin. Liian korkeat lämpötilat taas voivat kiihdyttää esimerkiksi kaasumaisten epäpuhtauksien vapautumista rakennusaineista sisäilmaan. Sisäilman sopiva lämpötila riippuu esimerkiksi rakennuksen käyttötavasta, mutta tyyppillisessä asuinhuoneistossa lämpötilan hyvänä tasona pidetään yleisesti + 20–22 °C:ta. Asumisterveysasetuksen [Sosiaali- ja terveysministe-

riö 2015: liite 1] mukaiset sisäilman lämpötilan toimenpiderajat on esitetty taulukossa 3. Ilman liikkeet voimistavat lämpötila-aistimuksia, ja niille on myös asetettu vastaavasti toimenpiderajat asumisterveysasetuksessa. Kyseiset toimenpiderajat on esitetty kuvassa 31. [Asumisterveysohje 2013: 13–14; Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Tuunanen 2016: 7.]

Taulukko 3. Lämpötilojen toimenpiderajat [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015].

Huoneisto- ja huonetila	Lämpötilojen toimenpideraja [°C]	Lämpötilaindeksi [TI]
Asunnot		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+18...+26	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+18...+32	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+16	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+18	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+11	61
Palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja vastaavat		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+20...+26	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lastenpäivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa	+20...+32	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella palvelutaloissa, vanhainkodeissa ja vastaavissa	+20...+30	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+16	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+19	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+11	61

Taulukossa 3 mainittua lämpötilaindeksiä käytetään silloin, kun lämpötiloja ei voida mitata hallitusti tasaisissa olosuhteissa (−5 °C ±1 °C:n ulkolämpötilassa sekä +21 °C ±1 °C:n sisälämpötilassa). Myös rakennuksen alipaineisuus on huomioitava lämpötilaindeksiä käytettäessä silloin, kun keskimääräinen alipaineisuus ylittää 5 Pa. Lämpötilaindeksi lasketaan yhtälöstä:

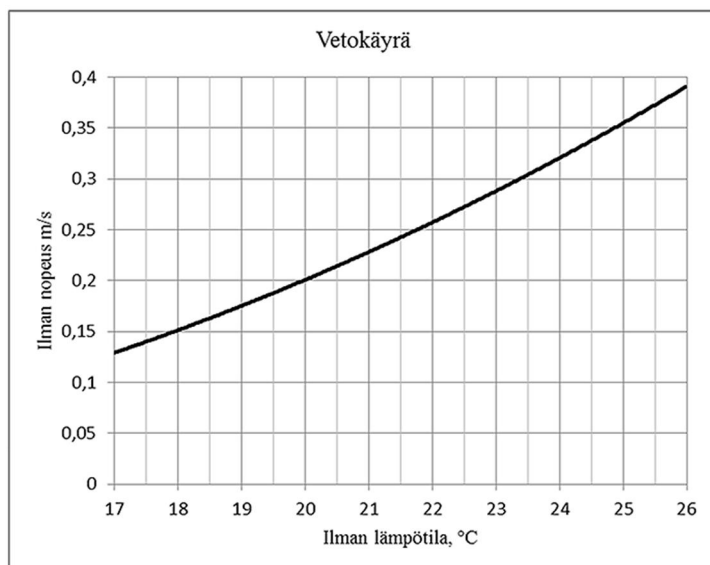
$$TI = \frac{(T_{sp} - T_o)}{(T_i - T_o)} \times 100\%$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila [°C]

T_i = sisäilman lämpötila [°C]

T_o = ulkoilman lämpötila [°C]

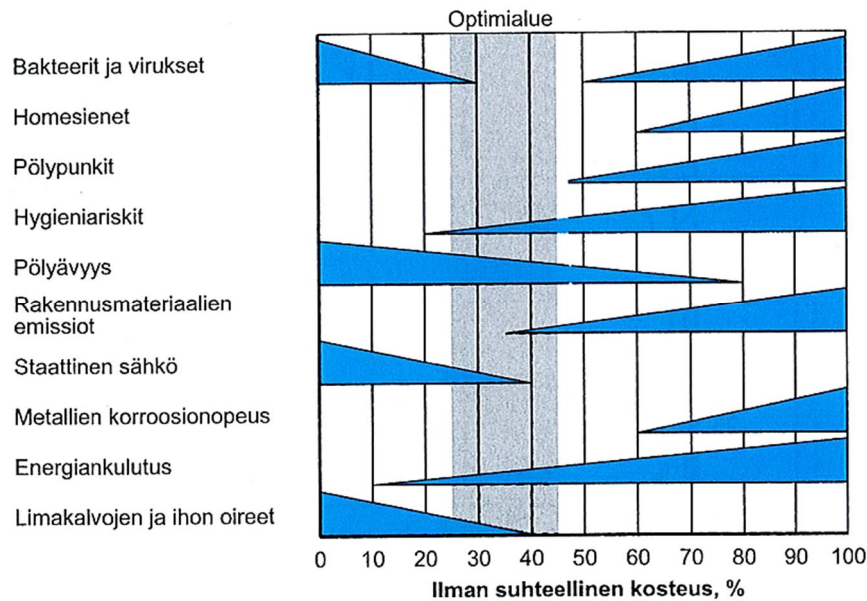


Kuva 31. Ilman virtausnopeuden enimmäismäärät [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015: liite 1].

4.1.2 Ilman kosteus

Sisäilman liiallinen kosteus voi vaikuttaa ihmisen viihtyvyyteen esimerkiksi lisääntyneenä hikoiluna sekä edistää pölypunkkien esiintymistä. Kuiva ilma taas hidastaa hengitysteiden värekarvojen liikettä ja heikentää liman poistumista hengitysteistä ja lisää staattista sähköisyyttä. Ilmankosteus vaikuttaa lisäksi ihmisten lämpöaistimuksiin ja siten vaikuttaa viihtyvyyteen. Rakennusten kannalta ilmankosteus on usein merkittävä tekijä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta. Liiallinen kosteus sisäilmassa lisää riskiä kosteuden tiivistymisestä sisäpinnoille tai rakenteisiin, ja siten esimerkiksi mikrobikasvun riskiä. Huoneilman turhaa kostuttamista tulisikin aina välttää. Toisaalta esimerkiksi julkisissa rakennuksissa on usein tehokas ilmanvaihto, jonka vuoksi sisäilman suhteellinen kosteus pysyy usein matalana. Tämä onkin yksi merkittävä tekijä kyseisissä rakennuksissa esiintyvälle ärsytysoireille. [Asumisterveysohje 2013: 20.]

Sisäilman kosteus riippuu ulkoilman kosteudesta, rakennuksen sisäpuolisesta kosteustuotosta sekä tilan ilmanvaihtuvuudesta. Sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla rakennuksen käyttötavasta ja ilmastollisista olosuhteista riippuen yleensä lämmityskaudella noin 20–50 % ja kesäisin noin 30–60 %. Asumisterveysasetuksen mukaan [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] huoneilman kosteus ei saa olla pitkäaikaisesti niin suuri, että siitä aiheutuu mikrobikasvun riskiä, mutta tarkkoja raja-arvoja kosteudelle ei ole annettu. Kuvassa 32 on esitetty huoneilman suhteellisen kosteuden vaikutuksia erilaisten epäpuhtauksien ja oireiden esiintyvyyteen. [Asumisterveysohje 2013: 20.]



Kuva 32. Huoneilman suhteellisen kosteuden vaikutuksia erilaisten epäpuhtauksien ja oireiden esiintyvyyteen. Viivan paksuus on verrannollinen tekijän suuruuteen [Seppänen & Seppänen 1996: 24].

4.1.3 Melu

Asuinrakennuksissa melun yleisimpiä vaikutuksia ihmiseen ovat esimerkiksi unen ja levon virkistävän vaikutuksen sekä nukahtamisen ja unen syvyyden heikkeneminen. Uni tai lepo häiriintyy yleensä, kun melu ylittää hetkellisesti 40–65 dB (A), tai pitkäaikaisesti L_{Aeq} -taso ylittää 25–35 dB(A). Ihmisten reaktiot meluun voivat esiintyä esimerkiksi elintoimintojen (esim. verenkierto, hormonitoiminta, näköaisti) tai käyttäytymisen (esim. aggressio, masentuneisuus) muutoksia. Melu voi aiheuttaa lisäksi pääkipua tai työtehon, tarkkaavaisuuden ja oppimiskyvyn heikkenemistä. Pahimmillaan kipukynnyksen ylittävä melu (n. 130 dB(A)) voi kuitenkin jopa lyhytaikaisenakin aiheuttaa kuulovaurion. Yleisimmin kuulovaurio kuitenkin aiheutuu pitkäaikaisen, yli vuosikymmeniä kestäneen päivittäisen altistumisen seurauksena yli 75–85 dB(A) melulle. Kuulon heikkenemisen lisäksi melu voi aiheuttaa häiritsevää tinnitusta eli korvien soimista. Haitat voivat olla pysyviä tai väliaikaisia. Lisäksi ihmisten reagoitiherkkyys niihin on yksilöllistä, ja vaihtelee eri aikojen ja ympäristöjen mukaan. Tästä johtuen melun aiheuttamien terveyshaittojen ja melun ominaisuuksien väliset riippuvuudet ovatkin lähinnä tilastollisia. Esimerkkejä erilaisista äänenvoimakkuuksista on esitetty taulukossa 4. [Asumisterveysohje 2013: 35–59.]

Taulukko 4. Esimerkkejä eri äänien voimakkuuksista. [RT 07-10881: 2.]

Äänitaso [dB]	Esimerkki äänenlähteestä	Oleskeluaika enintään
0	kuulokynnys	
20...25	makuuhuoneiden taustamelu yöllä	
30...40	ilmastoinnin taustamelu	
60...70	puheääni huoneessa	
70...80	voimakas puheääni, liikenne	8 tuntia
85...90	moottoripyörä	2...4 tuntia
90...110	disco tai rock-konsertti	2 tuntia...1 minuutti
110...130	kipukynnys	oleskelua ei suositella

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015: liite 2] on määritetty päivä- ja yöajan melun keskiäänitasojen toimenpiderajat asunnoille ja muille oleskelutiloille (taulukko 5). Lisäksi asetuksessa on esitetty sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpiderajat nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa (taulukko 6).

Taulukko 5. Päivä- ja yöajan keskiäänitasojen toimenpiderajat asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa. [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015: liite 2.]

Huoneisto ja huonetila	Päiväajan keskiäänitaso L _{Aeq} (klo 7–22)	Yöajan keskiäänitaso L _{Aeq} (klo 22–7)
Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoidopaikat ja vastaavat		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
Kokoontumis- ja opetushuoneistot		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-

Taulukko 6. Pienitaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpiderajat nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa. Päiväajan (klo 7–22) pientaajuuksille sovelletaan 5 dB taulukossa esitettyjä arvoja suurempia arvoja. [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015: liite 2.]

Kaista [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Yöajan (klo 22–7) L_{eq,1h} [dB]	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

4.1.4 Säteily

Ihmiselle haitallista säteilyä syntyy radioaktiivisen radonin hajoamistuotteena. Sisäilmaan radonia pääsee rakennuksen alapuolisesta maaperästä ja täytesorasta, talousvedestä sekä vähäisesti rakennusmateriaaleista. Muihin kaivoihin verrattuna porakaivovesien radonpitoisuus on keskimäärin kymmenkertainen, joten porakaivoveden käyttö voi lisätä sisäilman radonpitoisuutta selvästi. [Asumisterveysohje 2013: 31.]

Sisäilmasta radonin hajoamistuotteet taas kulkeutuvat hengitysilman mukana ihmisen keuhkoihin, joka lisää esimerkiksi keuhkosityövän mahdollisuutta. Keuhkosityövän puhkeamisriski on yksilöllistä, mutta siihen vaikuttavat muutkin ulkoiset tekijät, kuten tupakointi. Yleisesti asuntojen huoneilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ei saisi ylittää 400 Bq/m^3 , ja uudet asunnot on suunniteltava siten, että vuosikeskiarvo ei ylitä arvoa 200 Bq/m^3 . [Asumisterveysohje 2013: 31.]

4.2 Kemialliset ja kaasumaiset epäpuhtaudet, hiukkaset ja kuidut

Sisäilman fysikaalisten tekijöiden lisäksi sisäilman laatuun voivat vaikuttaa hyvin monet sisäilmassa olevat erilaiset kaasumaiset aineet, hiukkaset sekä kuidut. Kyseiset epäpuhtaudet voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Ne ovat yleensä peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ihmisen toiminnasta, kotieläimistä tai esimerkiksi teollisuudesta tai liikenteestä. Epäpuhtauksien pitoisuuksiin huoneilmassa vaikuttaa mm. fysikaaliset tekijät (etenkin lämpö ja kosteus sekä paine-erot riippuen epäpuhtauslähteen sijainnista), ilmanvaihdon tehokkuus, epäpuhtauksien kulkureitti sisäilmaan sekä epäpuhtauksien tuottomäärä epäpuhtauslähteestä riippuen. Alla on esitetty merkittävimpiä kemiallisia sisäilman laatua heikentäviä epäpuhtauksia. Näitä ovat esimerkiksi hiilidioksidi, häkä, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH), formaldehydit ja ammoniakki. Merkittävimpiä hiukkasmaisia epäpuhtauksia taas ovat esimerkiksi huonepöly, liikenteen ja teollisuuden hiukkaspäästöt, asbesti sekä teolliset mineraalikuidut ja tupakan savu. Tyypillisiä arkipäiväisiä materiaaleja, joista voi vapautua oireilua tai ärsytystä aiheuttavia päästöjä, ovat esimerkiksi jotkin linoleum-matot (vapautuvat VOC-yhdisteet) sekä painomusteet (orgaaniset liuotteet). Usein erilaisten päästöjen vapautumista sisäilmaan kiihdyttää esimerkiksi korkeat lämpötilat tai kosteusrasitus. [Asumisterveysohje 2013: 60; Hakkarainen 2014.]

4.2.1 Kemialliset ja kaasumaiset epäpuhtaudet

Hiilidioksidi

Yksi hyvä puutteellisen ilmanvaihdon mittari on sisäilman hiilidioksidipitoisuus. Sisäilmaan syntyy hiilidioksidia uloshengityksessä sekä esimerkiksi kaikessa palamisessa, kuten takan tai kynttilöiden polttamisessa. Keskikokoinen ihminen tuottaa levossa hengittäessään hiilidioksidia sisäilmaan noin 20 l/h ja toimistotyössä noin 24 l/h. Osa sisäilman hiilidioksidista on lisäksi peräisin ulkoilmasta, missä hiilidioksidipitoisuus on keskimäärin 350...400 ppm. Mikäli huoneilma ei vaihdu riittävän tehokkaasti, kohoaa myös sisäilman hiilidioksidipitoisuus, ja näin puutteellinen ilmanvaihto on helposti todettavissa mittaamalla. Hiilidioksidi ei kuitenkaan reagoi elimistön kanssa.

Sandbergin mukaan [2016: 63] sisäilman hiilidioksidipitoisuus kuvaa ilmanlaatua, koska hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrä on kutakuinkin verrannollinen hiilidioksidin tuottoon, vaikka hiilidioksidipitoisuus itsessään ei olisikaan haitallisen korkea. Haitalliseksi tunnettu työturvallisuuslain (738/2002) mukainen sisäilman hiilidioksidipitoisuus on Sosiaali- ja terveysministeriön mukaan [HTP-arvot 2016: 34] 0,5 % (5000 ppm). Ympäristöministeriön asetuksen mukaan [Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 2017] mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvona on määritetty, että hiilidioksidipitoisuus käyttöaikana voi hetkellisesti olla enintään 800 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. Tyydyttävää sisäilman tasoa kuvaavana hiilidioksidipitoisuuden enimmäistasona pidetään kumotun Rakennusmääräyskokoelman osan D2 sekä Sisäilmastoluokitus 2008:n luokan S3 mukaan arvoa 1200 ppm. Tasapainotilassa tämä vastaa ilmanvaihdon suuruutta 6,7 l/s/henkilö. Lisäksi Sisäilmastoluokitus 2008:ssa on määritetty hyvää sisäilmaa kuvaavan luokan S2 mukainen hiilidioksidipitoisuuden taso (> 900 ppm) sekä yksilöllistä sisäilmaan kuvaavan luokan S1 mukainen hiilidioksidipitoisuuden taso (> 750 ppm). [Sandberg, Esa 2016: 63–64.] Käytännön työelämässä on havaittu, että yleensä jo sisäilman hiilidioksidipitoisuuden kohotessa yli 900...1000 ppm:n, alkavat käyttäjät kokemaan sisäilman laadun tunkkaiseksi tai muuten puutteelliseksi. [Huttunen 2015].

Häkä

Häkä eli hiilimonoksidi on hiilen ja hapen yhdiste, jota syntyy epätäydellisessä palamisessa, esimerkiksi tulisijaa väärin käytettäessä. Häkää syntyy lisäksi polttomoottoreissa

sekä tupakoinnissa. Sisäilman liiallista häkäpitoisuutta voi olla mahdotonta huomata aistinvaraisesti ilman mittalaitteita, mikäli häkälähteeseen ei liity muita haisevia ja vaaroittavia yhdisteitä, koska häkä itsessään on hajuton ja väritön kaasu. Häkä syrjäyttää hapen veren hemoglobiinissa, ja voi näin aiheuttaa elimistössä hapen puutoksen. Lievä häkämyrkytys on havaittavissa usein esimerkiksi päänsärkinä, pahoinvointina, oksenteluna sekä hämäränäön heikentymisenä. Pahimmillaan häkämyrkytys voi johtaa kuolemaan, Suomessa kuoleekin useita henkilöitä vuosittain häkämyrkytykseen. Asumisterveysasetuksen [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] mukaan sisäilman hetkellinen hiilimonoksidipitoisuus ei saa ylittää arvoa $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. [Seppänen & Seppänen 1996: 34; Sosiaali- ja terveysministeriö 2015].

VOC-yhdisteet

Rakennus- ja sisustusmateriaaleista, lakoista ja liimoista sekä esimerkiksi pesuaineista pääsee sisäilmaan suuri määrä erilaisia kaasumaisia haihtuvia orgaanisia epäpuhtauksia. Näitä kutsutaan VOC-yhdisteiksi (volatile organic compounds). Sisäilman VOC-yhdisteiden määrä yleensä ulkoilmaa suurempi, ja usein kohonnut etenkin uusissa rakennuksissa. Yleensä yhdisteiden määrä laskee rakennuksen vanhetessa rakennusmateriaalien emissioiden vähentyessä. Mikäli ilmanvaihto toimii oikein, pitäisi yhdisteiden määrän pitäisi tippua normaalille tasolle tavanomaisesti noin puolessa vuodessa. Rakennusmateriaalien päästöihin vaikuttaa iän lisäksi kuitenkin myös esimerkiksi lämpötila sekä kosteus, jotka taas kasvattavat päästöjen määrää. Näin ollen kohonneisiin päästöihin voivat vaikuttaa esimerkiksi huoneilman liiallinen lämmittäminen tai erilaiset kosteusvauriot.

Erilaisia VOC-yhdisteitä on satoja, niitä ovat esimerkiksi aromaattiset hiilivedyt (tolueeni, bentseeni), aldehydit, halogenoidut yhdisteet, esterit ja alkoholit (etanoli, n-butanoli, propanoli). Niiden aiheuttamina tyypillisimpinä terveyshaittoina pidetään esimerkiksi silmien ja limakalvojen ärsytysoireita sekä päänsärkyä. Yleensä yksittäisten yhdisteiden määrä sisäilmassa on hyvin pieni, lähellä tunnistamisrajaa, mutta yksittäinenkin yhdiste voi olla haitallinen. Etenkin useamman yhdisteen yhteisvaikutusten epäillään olevan terveydelle haitallisia, mutta erilaisten yhdisteiden suuresta määrästä johtuen, niiden terveydellisiä yhteisvaikutuksia ei vielä kuitenkaan täysin tunneta. Yleensä sisäilman VOC-pitoisuudet esitetäänkin eri yhdisteiden kokonaispitoisuutena, josta käytetään nimitystä TVOC (total volatile organic compound). Asumisterveysasetuksen [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] mukaisesti tolueenivasteella määritetty haituvien or-

gaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden toimenpideraja on TVOC 400 µg/m³. Huoneilmassa olevan yksittäisen yhdisteen toimenpideraja vastaavasti on 50 µg/m³, jonka ylittyessä on selvitettävä yhdisteen mahdollinen haitallisuus mitatussa pitoisuudessa. Lisäksi asumisterveysasetuksessa on määritetty toimenpiderajat seuraaville yksittäisille yhdisteille: 2,2,4-trimetyyli-1,3pentaalidioli di-isobutyraatti (TXIB, 10 µg/m³), 2-etyyli-1-heksanoli (2EH, 10 µg/m³), naftaleeni (ei saa esiintyä hajua, 10 µg/m³) sekä styreeni (40 µg/m³). [Sandberg, Esa 2016: 66; Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Ympäristöopas 2016: 67–74.]

PAH-yhdisteet

Eräitä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kutsutaan PAH-yhdisteiksi. PAH-yhdisteet, eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt, ovat yleensä voimakkaan hajuisia yhdisteitä, joista useimmat terveydelle haitallisia. Tyypillisimpiä PAH-yhdisteiden lähteitä vanhoissa rakennuksissa ovat erilaiset kreosoottia eli kivihiilipikeä sisältävät materiaalit. Tällaisia ovat esimerkiksi vedeneristeinä käytetyt kreosoottitervaa sisältävät bitumituotteet, kuten sivelyt ja kermit. Myös erilaiset vanhat maalit, liimat ja puunkyllästeet sekä etenkin valuasfaltti sisältävät usein PAH-yhdisteitä. Sisäilmaan voi päästä PAH-yhdisteitä myös ulkoilman epäpuhtauksista, kuten pakokaasuista sekä muista savukaasuista. Lisäksi tupakan savu sisältää runsaasti PAH-yhdisteitä. Sisäilmaan päässeet PAH-yhdisteet tunnistaa usein aistinvaraisesti pistävästä ns. ”ratapölkyn” hajusta. [Ympäristöopas 2016; 78–79.]

Useat PAH-yhdisteet ovat terveydelle haitallisia, ns. karsinogeenisiä eli syöpää aiheuttavia epäpuhtauksia. Tunnetuin PAH-yhdiste on bentso(a)pyreeni, joka lisää keuhkosyövän riskiä. Tällä hetkellä sisäilman PAH-yhdisteille ei ole määritetty tarkkoja velvoittavia toimenpiderajoja naftaleenia lukuun ottamatta (ei saa esiintyä hajua, sisäilmapiitoisuuden toimenpideraja 10 µg/m³ [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015]). Tämän velvoittavan asetuksen lisäksi Työterveyslaitos on työpaikkojen osalta määrittänyt naftaleenin ohjeelliseksi tavoitetasoksi 2 µg/m³ [Työterveyslaitos 2010: 2]. Bentso(a)pyreenin osalta sisäilman haitalliseksi tunnetuksi pitoisuudeksi on sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa määritetty ohjearvo 10 µg/m³ [HTP-arvot 2016: 25]. Työterveyslaitos taas on työpaikkojen osalta määrittänyt bentso(a)pyreenin ohjeelliseksi tavoitetasoksi < 0,01 µg/m³ [Työterveyslaitos 2010: 2]. Muille PAH-yhdisteille ei ole määritetty sitovia tai ohjeellisia raja-arvoja. [Ympäristöopas 2016: 78–79.]

Formaldehydi

Formaldehydi on kemikaali, jota teollisuus käyttää esimerkiksi liima- sekä pintakäsittelyaineissa. Tyypillisimpiä formaldehydiä sisältäviä rakennusmateriaaleja ovat esimerkiksi lastulevyt, vuorivilla, laminaatit, päällysteet, hartsit, lakat, tekstiilit jne. Seppäsen & Seppäsen [1996: 65] mukaan vastaavasti kuin erilaiset VOC-yhdisteiden päästöt, myös formaldehydipäästöt pienevät usein rakennusmateriaalien ikääntyessä, ja kasvavat taas ilmankosteuden ja lämpötilan noustessa. Näin ollen sisäilman formaldehydipitoisuudet ovatkin korkeimmillaan syksyisin, kun ilmankosteus on suuri ja lämmityskausi alkanut. Kohonneet sisäilman formaldehydipitoisuudet voivat viestiä myös siten myös rakennusmateriaalien kosteusvaurioista.

Formaldehydin haju on voimakas (sisäilman formaldehydipitoisuuden hajukynnys noin $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ja se voi aiheuttaa oireilua jo pieninäkin pitoisuuksina ($5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Formaldehydin aiheuttamia tyypillisiä oireita ovat esimerkiksi hengitystie- ja silmäoireet. Korkeat pitoisuudet voivat aiheuttaa lisäksi päänsärkyä, pahoinvointia, väsymystä sekä iho-oireita. Asuintiloja koskevaksi toimenpideraja-arvoksi on Asumisterveysasetuksessa [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] määritelty sisäilman formaldehydipitoisuuden vuosikeskiarvorajaksi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja lyhytaikaisen 30 minuuttia kestävän mittauksen keskiarvorajaksi $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ympäristöoppaan [2016: 75] mukaan yli $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ formaldehydipitoisuus sisäilmassa on kohonnut ja viittaa epätavanomaisiin formaldehydilähteisiin. [Asumisterveysohje 2003: 62; Seppänen & Seppänen 1996: 34–35; Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Ympäristöopas 2016: 75.]

Ammoniakki

Toinen kohtalaisen yleinen voimakashajuinen sisäilman kaasumainen epäpuhtaus on ammoniakki. Myös epäorgaanisiin ammoniakkipäästöihin vaikuttavat usein erilaiset kosteusvauriot, tyypillisimpiä rakennusmateriaalien aiheuttamia sisäilman ammoniakkihaittoja aiheutuu kaseiini- eli valkuaisainepitoisen tasoitteen tai liimojen kostuessa ja hajotessa. Muita sisäilman ammoniakkilähteitä ovat esimerkiksi tupakansavu, lemmikkien eritteet sekä puhdistusaineet. Tavanomaisesti sisäilman ammoniakkipitoisuus vaihtelee välillä $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ärsytysoireita alkaa ihmisille yleensä aiheutumaan, kun ammoniakkipitoisuus kohoaa yli $160\text{--}410 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asumisterveysohjeen [2003: 59] mukaan sisäilmassa voidaan epäillä epätavanomaisia ammoniakkilähteitä, kun huonetilan sisäilman ammoniakkipitoisuus on kohonnut yli $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tällöin tulisi selvittää ammo-

niakkilähteen syy, kuten kosteus- tai viemärivero, joka on aiheuttanut tavanomaista korkeammat sisäilman pitoisuudet.

4.2.2 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet ja kuidut

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet jaetaan yleensä niiden koon mukaan. Suuriksi hiukkasiksi kutustaan hiukkasia, jotka ovat kooltaan yli 10 µm. Alle 10 µm:n kokoisia hiukkasia kutsutaan hengitettäviksi hiukkasiksi. Hengitettävät hiukkaset jaetaan vielä karkeiksi (10...2,5 µm) ja pienhiukkasiksi (< 2,5 µm). Karkeista hiukkasista käytetään merkintää PM₁₀ ja pienhiukkaisista merkintää PM_{2,5}. Lisäksi on olemassa vielä ultrapieniä tai ns. nanohiukkasia, joiden koko on alle 0,1 µm (PM_{0,1}). Ihmisten terveyden kannalta sisäilmassa olevien hiukkasten koolla on merkitystä, koska koko vaikuttaa niiden kykyyn tunkeutua elimistöön. Karkeat hiukkaset kiinnittyvät ylempiin hengitysteihin, ja aiheuttavat lähinnä ärsytysoireita, kuten nuhaa ja yskää sekä kutinaa ja kirvelyä silmissä ja kurkussa. Yleensä ne poistuvat elimistöstä nopeasti yskimällä, aivastelemalla ja liman mukana. Sen sijaan pienhiukkaset pääsevät kulkeutumaan keuhkojen ääriosiin saakka, joissa niiden mukanaan kuljettamat myrkylliset aineet imeytyvät kudoksiin. Toisaalta pienhiukkaset voivat jo itsessään koostua myrkyllisistä yhdisteistä. Ultrapienet hiukkaset voivat kulkeutua keuhkorakkuloista verenkiertoon saakka. [Sandberg, Esa 2016: 59–60.]

Sisäilman karkeista pölynlähteistä tyypillisimpiä ovat esimerkiksi rakennusmateriaaleista peräisin oleva sementti- tai betonipöly, kipsipöly sekä ulkoilmasta sisään kulkeutuva katupöly. Pienhiukkaset ovat useimmiten peräisin rakennusten ulkopuolelta, merkittävimpiä ulkopuolisia lähteitä ovat liikenne, teollisuus, lämmön- ja sähköntuotto sekä siitepölyt. Pienhiukkasia syntyy kuitenkin myös rakennusten sisällä. Tupakointi on usein merkittävin lähde, mutta myös lemmikkieläimet, ruoanvalmistus, iho, vaatteet, paperitavara, sisustustekstiilit ja pintaverhoukset aiheuttavat usein sisäilman pienhiukkaspäästöjä. Ohjeellisia enimmäisarvoja ilman sisältämille hiukkaspitoisuuksille on esitetty taulukossa 7. Asumisterveysasetuksen mukaiset velvoittavat enimmäisrajat hiukkasmaisille epäpuhtauksille on esitetty taulukon viimeisellä rivillä. Lisäksi tupakan savulle on määritetty oma raja-arvonsa, asumisterveysasetuksen mukaan sisäilman tupakan savu ei saa ylittää nikotiinipitoisuutena mitattuna arvoa 0,05 µg/m³. [Sandberg, Esa 2016: 60; Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Ympäristöopas 2016; 65.]

Taulukko 7. Ohjearvoja ulko- ja sisäilman pienhiukkaspitoisuuksille. [Sandberg, Esa 2016: 62.]

	PM ₁₀ [µg/m ³]	PM _{2,5} [µg/m ³]
Ulkoilman pitoisuus		
WHO:n ilman laadun ohjearvo (vuosikeskiarvo)	20	10
WHO:n ilman laadun ohjearvo (24 h keskiarvo)	50	25
Suomi, hiukkaspitoisuuden tavoitearvo (vuosikeskiarvo, VnP 38/2011)	40	25
HSY:n ilmanlaatuindeksi, hyvä taso (1 h keskiarvo)	20	10
Sisäilman pitoisuus		
RakMK osa D2 (2012) (24 h keskiarvo)	50	25
Sisäilmastoluokitus 2000, S1-luokka (24 h keskiarvo)	20	-
Asumisterveysasetus (STMa 545/2015) (24 h keskiarvo)	50	25

Mineraalivillat, eli kivi- ja lasivillat, ovat hyviä lämmön- ja ääneneristeitä. Lisäksi niitä voidaan käyttää esimerkiksi osastoinneissa tulipaloja vastaan. Mineraalikuitujen tyypillisimpiä lähteitä ovatkin erilaiset huonetilojen akustointi- ja äänenvaimennusvillojen suojaamattomat tai rikkoutuneet pinnat sekä ilmavuotojen kautta huoneilmaan pääsevät kuidut ulkoseinien ja ala-, väli- ja yläpohjien rakennuseristeistä. Rakenteiden lisäksi toinen merkittävä mineraalikuitujen lähde ovat ilmanvaihtokanavien lämmöneristeissä ja äänenvaimentimissa tai ääniloukuissa käytetyt mineraalivillat. Mineraalikuituja irtoaa rakenteista etenkin, mikäli ne ovat ikääntyneitä ja haurastuneita. Irtoamista edesauttaa myös mekaaninen rasitus, tärinät sekä ilmavirtaukset. Kuitujen koko vaihtelee yleensä 3...8 µm:n välillä. Iholle, limakalvoille tai hengitysteihin päädyttyään ne aiheuttavat usein esimerkiksi silmien ja nenän kutinaa, kirvelyä tai ärsytystä, tukkoisuutta ja nenän vuotoa, kurkun käheyttä ja kuivuutta, kasvojen ihon punoitusta ja kuivuutta sekä päänanahan ja korvakäytävien hilseilyä. Lisäksi Ympäristöoppaan [2016: 65] mukaan kuiduille altistuneet limakalvot voivat olla alttiimpia muille epäpuhtauksille, kuten erilaisille virus- ja bakteeri-infektioille. Epäorgaaniset kuidut kuitenkin liukenevat elimistöstä lopulta, joten niiden ei ole todettu aiheuttavan pitkäaikaista pysyvää haittaa, kuten keuhkotoiminnan muutoksia [Sandberg, Esa 2016: 63.]. Sisäilman mineraalikuitujen määrää arvioidaan ns. geeliteippimenetelmällä, jossa petrimaljan pohjaosa, tai vaihtoehtoisesti 100 cm² kokoinen puhdistettu tasopinta huoneessa rajataan, ja sille annetaan kertyä sisäilman hiukkasia kahden viikon jälkeen. Kertymästä otetaan näyte geeliteipillä, johon hiukkaset kiinnittyvät, ja näyte analysoidaan laboratoriossa valomikroskoopilla. Tulos ilmoitetaan yksikössä kpl kuitua/ cm². Asumisterveysasetuksessa [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] sekä Työterveyslaitoksen suosituksissa molemmissa teollisten mineraalikuitujen toimenpiderajaksi on määritetty 0,2 kuitua/ cm². [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Ympäristöopas 2016; 65–67.]

Eräillä kuitumaisilla silikaattimineraaleilla, kaupalliselta nimeltään asbestikuiduilla, on useita rakenteiden kannalta hyviä ominaisuuksia, kuten palonkesto, lämmön- ja ääneristyskyky sekä suuri vetolujuus. Niitä onkin käytetty ennen vuotta 1988 mm. putkistojen ja sähkölaitteiden lämmön- ja ääneristeenä, sekä lujitteena erilaisissa sementti- ja muovituotteissa, kuten sementtikuitulevyissä. Asbestikuidut ovat usein sitoutuneena rakennusmateriaaleihin, eivätkä sellaisenaan välttämättä pääse sisäilmaan, mutta materiaalien rikkoutuessa esimerkiksi purkutöiden yhteydessä ne useiden materiaalien tapauksessa vapautuvat. Asbestikuidut ovat yleensä 0,1...0,2 µm:n ja 5...20 µm:n kokoisia. Niiden huonona puolena on, että keuhkoihin päästyään ne eivät enää kulkeudu muiden kuitujen tapaan ulos, vaan jäävät keuhkoihin. Tästä voi riittävän suurina annoksina aiheutua esimerkiksi keuhkosityövän riskiä merkittävästi lisäävää asbestoosia. Riski keuhkosityövälle kasvaa entisestään, mikäli altistuu muillekin hiukkaspäästöille, kuten tupakan savulle. Sisäilman asbestipitoisuus ilmaistaan yksikössä kuitua/ cm³. Sekä asumisterveysasetuksen [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] että Asbestityön turvallisuudesta annetun (VNa 798/2015) mukaan sisäilman asbestikuitujen pitoisuus ei saa ylittää arvoa 0,01 kuitua/ cm³. [Sandberg, Esa 2016: 62–63; Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Ympäristöopas 2016: 79.]

4.3 Mikrobiologiset tekijät

Nykyisin sisäilmaongelmat yhdistetään hyvin usein mikrobeihin, tai tuttavallisemmin homeeseen. Ne ovat mikro-organismeja joita kutsutaan yhdessä mm. bakteereiden, virusten ja hiivojen kanssa mikrobeiksi. Mikrobeja esiintyy kaikkialla elinympäristössämme, niitä on myös jokaisessa rakennuksessa. Mikrobikasvustot voivat tuottaa sisäilmaan epäpuhtauksia ilmapvirtausten mukana ulkoilmasta, maaperästä tai rakenteiden sisältä sekä pinnalta kulkeutuvien mikrobien (mm. itiöt ja niiden osat), sekä niiden hajoamis- ja aineenvaihduntatuotteiden muodossa. Nämä voivat etenkin suurina pitoisuuksina aiheuttaa ihmisille oireilua, kuten silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita, kuumeilua, hengitystieinfektioita tai esimerkiksi pitkäaikaisairauksia, kuten astmaa. Osa mikrobeista on toksisia, eli ne synnyttävät myrkyllisiä ja terveydelle haitallisia aineenvaihduntatuotteita. Toksiinintuottajamikrobeja ja terveyshaittojen syntymekanismeja ei kuitenkaan tunneta vielä tarkasti. Ihmiset myös reagoivat mikrobeihin eri tavoin, joten terveyshaittojen ja mikrobien syy-yhteyttä on hankala varmuudella todeta, eikä myöskään tarkkoja raja-arvoja sisäilman mikrobeille ei ole voitu asettaa. [Asumisterveysohje 2003: 75; Sandberg, Esa 2016: 66–68]

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen happea, ravinteita, kosteutta sekä lämpöä. Happea ja ravinteita rakenteissa on lähes aina riittävästi. Usein myös lämpötila on riittävän korkea (yleensä yli +5...+10°C) etenkin rakenteiden sisällä, jotta mikrobien kasvaminen on mahdollista. Tärkein kasvua rajoittava tekijä onkin usein riittävä kosteus. Tavanomaisesti kasvu on mahdollista, kun ilman tai rakenteiden pinnan suhteellinen kosteus RH ylittää 75–80 %. Näin ollen kohonneet sisäilman tai materiaalin mikrobipitoisuudet ovatkin usein merkinä rakenteiden kosteusvaurioista. Lisäksi joidenkin mikrobilajikkeiden (esim. *Streptomyces*-lajit) on todettu indikoivan kosteusvaurioihin, koska niitä ei yleensä tavata terveessä ja vaurioitumattomassa rakenteessa, ellei niitä ole rakenteen pintaan kulkeutunut ulkopuolelta, esimerkiksi vuotoilmavirtausten mukana. Mikrobeja saattaa kulkeutua rakenteisiin ja sisäilmaan myös ulkoilmasta, ja muusta ympäristöstä, joten mikrobilöydökset eivät aina suoraan viittaa kosteusvaurioihin, ja niiden tulokinnassa on oltava erityisen huolellinen. Mikrobien kasvu nopeutuu yleensä lämpötilan ja kosteuden noustessa, kuitenkin tiettyihin rajoihin saakka. Luonnollisesti myös ilmanvaihdon toiminta vaikuttaa sisäilman mikrobipitoisuuksiin useilla tavoilla. Suuret ilmanvaihtomäärät pienentävät sisäilman mikrobipitoisuuksia tehokkaammin, mutta toisaalta liian suuri poistoilman määrä suhteessa tuloilman määrään voi aiheuttaa hallitsemattomia ilmapuotoja rakenteiden epätiivelyskohtien kautta, ja sitä kautta mikrobipäästöjä sisäilmaan. [Asumisterveysohje 2003: 75–78; Hakkarainen 2014]

Vaikka sisäilman mikrobipitoisuuksille ei ole määritetty tarkkoja velvoittavia raja-arvoja, on esimerkiksi Asumisterveysohjeessa [2003: 80–82] esitetty ohjearvoja kohonneiden pitoisuuksien tunnistamiseksi. Taajamassa sijaitsevien asuntojen sisäilman sieni-itiöpitoisuuksia pidetään kohonneina, mikäli ne ylittävät talviaikana 100–500 kpl/ m³, tai ovat yli 2 kertaa suurempia kuin vertailuasunnossa. Vastaavasti aktinomykeetti-itiöiden esiintymistä pidetään kohonneena, mikäli niiden määrä ylittää sisäilmassa 10 kpl/m³. Sisäilman bakteerien kokonaismäärän osalta yli 4 500 kpl/ m³ pidetään kohonneena. Mikäli mikrobikasvustoa arvioidaan materiaalinäytteiden perusteella, pidetään yli 10 000 kpl/ g tai 100 kertaa vertailunäytettä suurempaa sieni-itiöpitoisuutta kohonneena. Bakteeripitoisuuden ylittäessä 100 000 kpl/ g, viittaa se kohonneeseen kasvustoon. Aktinomykeettien osalta yli 500 kpl/g tai 10 kertaa vertailunäytettä suurempi pitoisuus viittaa normaalia suurempaan kasvustoon.

Kouluissa ja muissa niihin verrattavissa olevissa rakennuksissa mikrobipitoisuuksien ohjeelliset raja-arvot ovat asuntoja pienempiä. Niissä esimerkiksi sisäilmanäytteen sieni-itiöpitoisuutta tarkastellaan kolmessa osassa: ensin tarkastellaan suurimpia pitoi-

suuksia sisältäviä näytteitä, sitten mediaaninäytteitä ja lopuksi pienimpiä tuloksia. Jos suurimmissa tuloksissa useamman näytteen sieni-itiöpitoisuus on 50–200 kpl/ m³, voi löydös viitata sisäilman mikrobilähteeseen. Toisaalta vaurioitumattoman rakennuksen mediaanipitoisuus on yleensä alle 12 kpl/ m³, joten myös tämän pitoisuuden ylittävä mediaanipitoisuus voi viitata mikrobivaurioon. Vastaavasti vaurioitumattomassa rakennuksessa pienimmistä näytteistä jopa 25 % jää alle määritysrajan, eli ovat ns. nollanäytteitä, kun taas vaurioituneessa rakennuksessa nollanäytteitä ei yleensä löydy tai niitä on hyvin vähän. [Meklin ym. 2007: 23–24.]

Asumisterveysasetuksen [Sosiaali- ja terveysministeriö 2015] perusteella toimenpideraja ylittyy, jos rakennuksessa on korjaamaton kosteus- tai lahovaurio, aistinvaraisesti todettu ja tarvittaessa analyysillä varmistettu mikrobikasvusto sellaisessa rakenteessa joka ei ole kosketuksissa ulkoilman tai maaperän kanssa, tai mikäli rakenteessa tai tilassa on mikrobikasvua, jolle sisätiloissa oleva voi altistua. Mikrobinäytteille huomion-arvoista on, että ns. nollanäytteet eivät sulje pois kosteusvaurion mahdollisuutta, mutta toisaalta yksittäinen löydös ei myöskään suoraan tarkoita, että rakennuksessa olisi kosteusvaurio. Näytteiden tulkitsemisessa onkin oltava erityisen huolellinen, eikä esimerkiksi rakennuksen suuria korjauspäätöksiä voida tehdä pelkästään mikrobinäytteiden perusteella. Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden laajuutta suomalaisessa rakennuskannassa on arvioitu taulukossa 8.

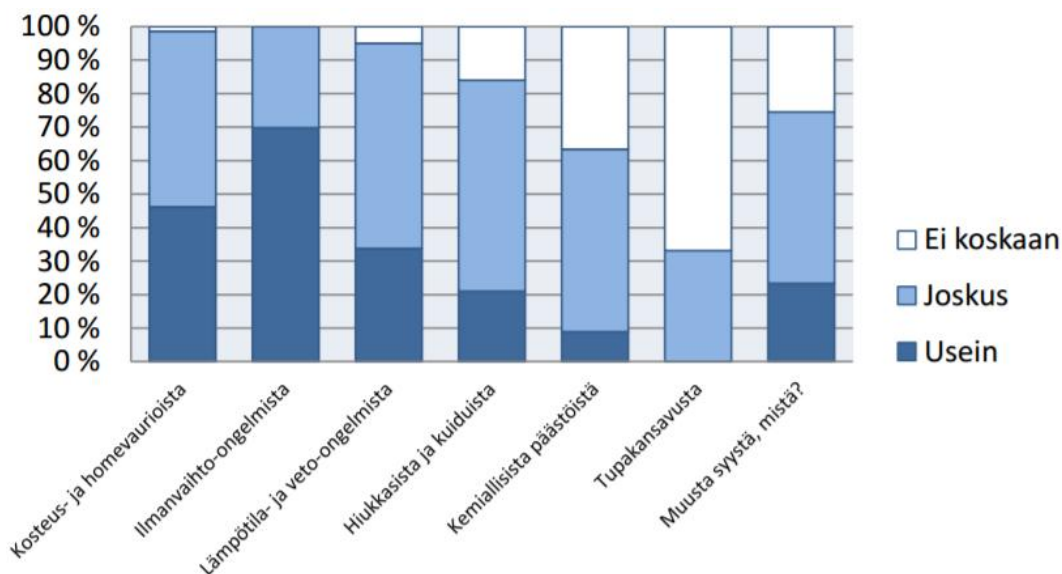
Taulukko 8. Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden yleisyys suomalaisessa rakennuskannassa. [Reijula ym. 2012: 11.]

Rakennus	Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden esiintyvyys [% kerrosalasta]	Asukkaita/ käyttäjiä/ työntekijöitä
Pien- ja rivitalot	7–10	224 500–336 900
Kerrostalot	6–9	103 000–154 000
Koulut ja päiväkodit	12–18	172 000–259 200
Hoitolaitokset	20–26	36 000–46 800
Toimistot	2,5–5	27 500–55 000

4.4 Ilmanvaihdon rooli sisäilmaongelmissa

Ympäristöministeriön Kosteus- ja hometalkoot-ohjelman yhteydessä on selvitetty kyselyillä muun muassa yleisimpiä kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmia aiheuttavia tekijöitä vuosina 2010–2015. Kyselyiden perusteella sisäilmaongelmat aiheutuvat

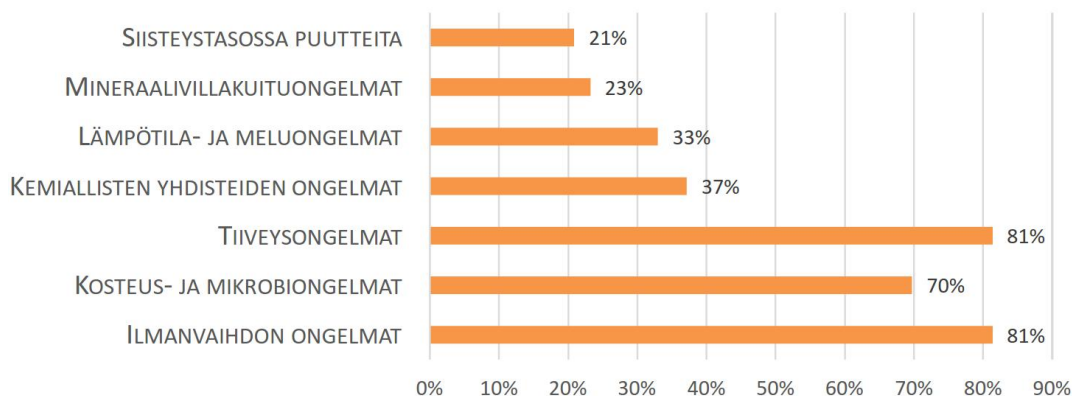
yleisimmin juuri ilmanvaihto-ongelmista. Muita tekijöitä yleisyysjärjestyksessä olivat kosteus- ja homevauriot, lämpötila- ja veto-ongelmat, muut erittelemättömät syyt, hiukkaset ja kuidut, kemialliset tekijät sekä tupakansavu (kuva 33). [Kosteus- ja hometal- koot. Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentä- miseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Loppuraportti 2011: 38.]



Kuva 33. Kuntien kiinteistöjen yleisimpiä sisäilmaongelmien aiheuttajia. [Kosteus- ja hometal- koot. Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentä- miseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Loppuraportti 2011: 38.]

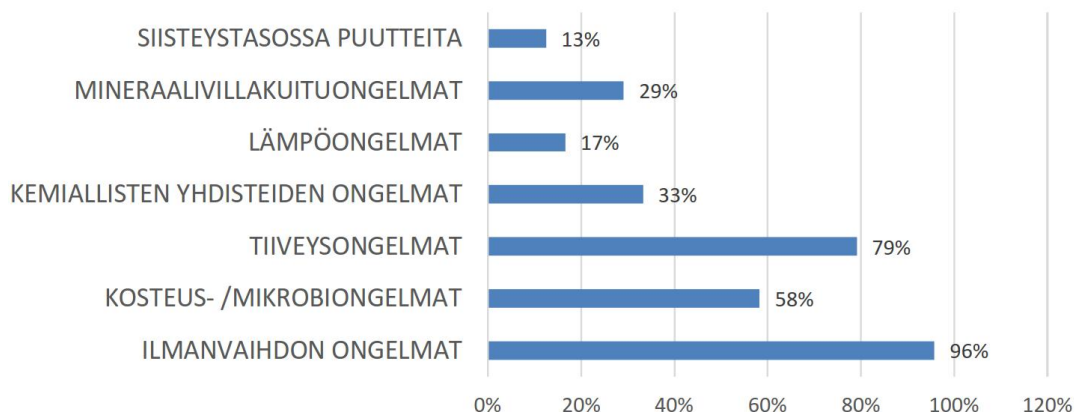
Vastaaviin lopputuloksiin on päässyt myös Kirsi-Maria Seikkula Rakennusterveysasian- tuntija-koulutuksensa lopputyössä. Seikkula selvitti työssään Kokkolan ja Pietarsaaren kaupunkien omistuksessa olevien rakennusten yleisimpiä sisäilmaongelmiin johtaneita syitä vuosina 2010–2016. Tutkittujen kohteiden koko vaihtelee muutaman hengen toi- mitiloista suuriin koulu- ja toimistorakennuksiin, mukana on sekä julkisia- että asuinra- kennuksia. Tulosten perusteella yleisin sisäilmaongelmien aiheuttaja on ollut ilman- vaihdon ongelmat (kuvat 34 ja 35). Molemmissa kaupungeissa seuraavaksi yleisimpiä olivat rakenteiden ja läpivientien tiiveysongelmat sekä rakenteiden erisuuruiset kos- teus- ja mikrobivauriot. [Seikkula 2017.]

2010-LUVULLA ESIINTYNEIDEN SISÄILMAONGELMIEN SYYT JA ESIINTYVYYS ERI
RAKENNUKSISSA [ONGELMARAKENNUKSIA 43 KPL]



Kuva 34. Vuosina 2010-2016 ilmenneiden sisäilmaongelmien yleisimmät aiheuttajat Kokkolan kaupungin omistamissa rakennuksissa. [Seikkula 2017: 33.]

2010-LUVULLA ESIINTYNEIDEN SISÄILMAONGELMIEN SYYT JA ESIINTYVYYS
PIETARSAARI [ONGELMARAKENNUKSIA 24 KPL]

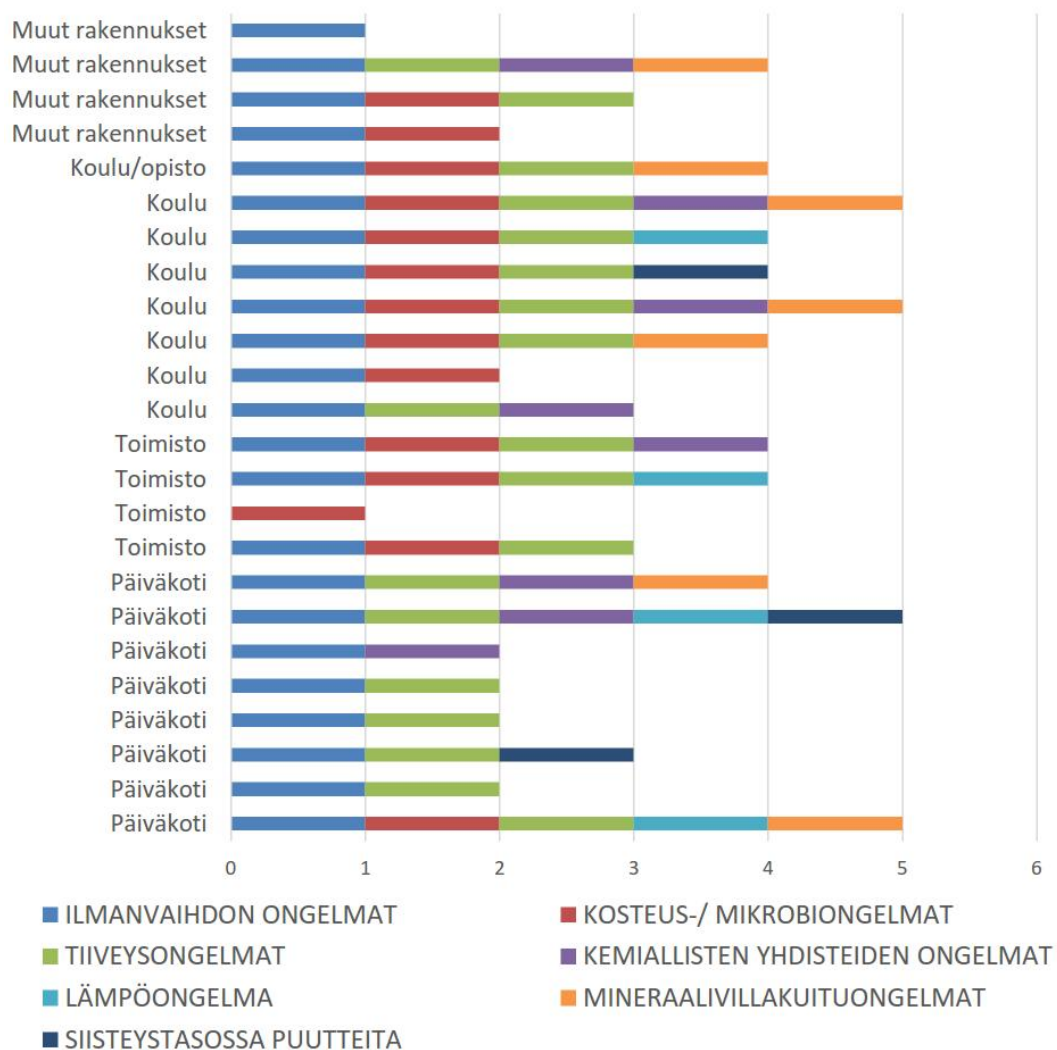


Kuva 35. Vuosina 2010–2016 ilmenneiden sisäilmaongelmien yleisimmät aiheuttajat Pietarsaaren kaupungin omistamissa rakennuksissa. [Seikkula 2017: 42.]

Seikkulan mukaan ongelmat eivät kuitenkaan useinkaan ole peräisin yksittäisestä tekijästä, vaan rakennukset ovat yleensä moniongelmaisia, eli niiden sisäilman laatua heikentävät useat eri osatekijät. Lisäksi yksittäinen sisäilman laatua heikentävä tekijä vaikuttaa yleensä vain paikallisesti rajatulla alueella, eikä koko rakennuksen osalla. Sen sijaan ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat koskettavat usein koko rakennusta tai rakennuksen osaa ilmanvaihtokoneen vaikutusalueesta riippuen. Esimerkkinä on todettu suurimpien ongelmanaiheuttajien (ilmanvaihto ja epätiiveydet) yhteistoiminta; ilmanvaihdon ongelmat aiheuttavat paine-eroja tilojen ja ulkovaipan yli, joka taas vahvistaa epätiiveyskohtien kautta tapahtuvia vuoilmavirtauksia, ja sitä kautta epäpuhtauksien pää-

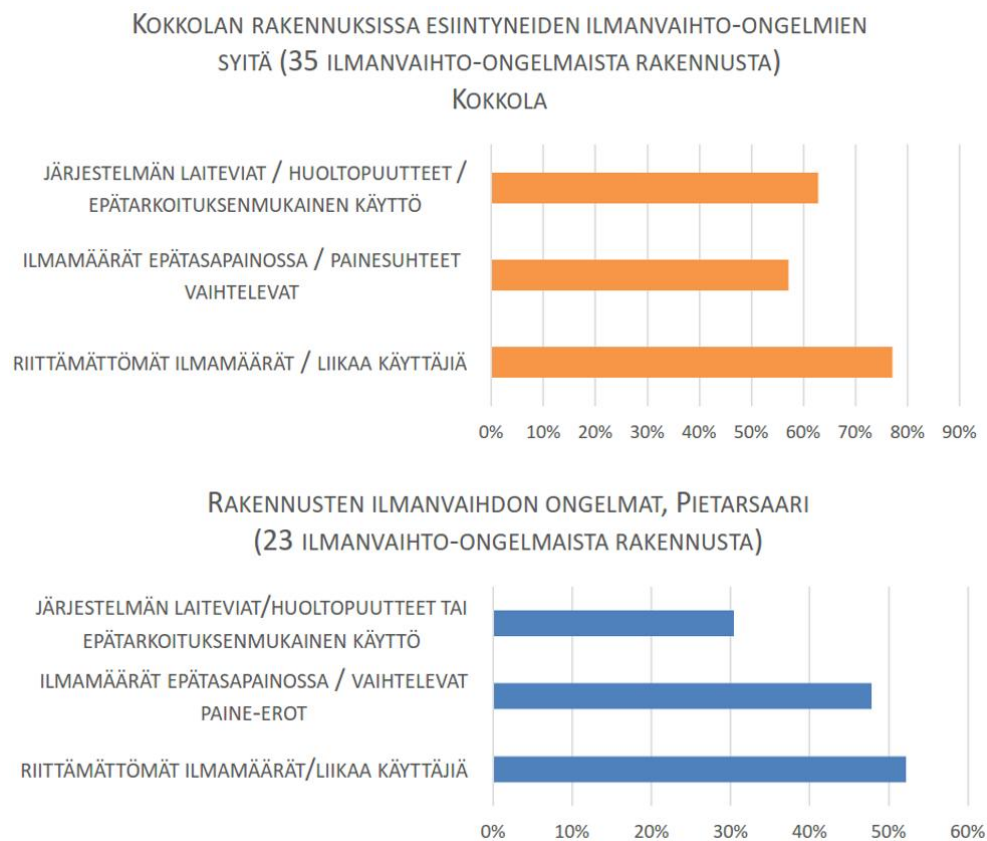
syä huonetiloihin. Yhteenvetona todetaan: ”Ilmanvaihdon ja rakennuksen tiiveysongelmien esiintyvyys yhdessä voi nostaa muiden sisäilman laatua heikentävien tekijöiden merkittävyyttä, joiden merkitys yksistään esiintyessään ei olisi niin suuri.” Tämä selviää hyvin kuvasta 36, jossa on esitetty Pietarsaarella sijaitsevien yksittäisten kohteiden sisäilmaongelmia aiheuttaneiden osatekijöiden esiintyvyyttä samanaikaisesti yhdessä. Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta ilmanvaihto on aina yhtenä osatekijänä havaituissa sisäilmaongelmissa. [Seikkula 2017.]

YKSITTÄISISSÄ KOHTEISSA VUOSINA 2010-2016 SISÄILMAONGELMIA
AIHEUTTANEIDEN OSATEKIJÖIDEN ESIINTYVYYS YHDESSÄ
PIETARSAARI



Kuva 36. Pietarsaarella sijaitsevien yksittäisten kohteiden sisäilmaongelmia aiheuttaneiden osatekijöiden esiintyvyys yhdessä ja samanaikaisesti. [Seikkula 2017: 43.]

Seikkulan selvityksen mukaan Kokkolassa ja Pietarsaassa tutkittujen rakennusten ilmanvaihdon yleisin ongelmakohta oli riittämättömät ilmamäärät suhteessa rakennusten/ tilojen käyttäjämääriin. Toiseksi yleisimpänä ongelmana voidaan pitää ilmamäärien epätasapainoa tai vaihtelevat paine-eroja. Seikkula havaitsi myös järjestelmien erilaisien vikojen, huollon puutteiden sekä väärinlaisen käyttötavan aiheuttavan ilmanvaihdon ongelmia. Lisäksi tuloksista on syytä huomioida, että usein rakennusten ilmanvaihdon toimintaan liittyi useita eri ongelmia samanaikaisesti, jolloin ilmanvaihdon merkitys sisäilmaongelmien aiheuttajana luonnollisesti korostuu entisestään. Ilmanvaihdon ongelmia Kokkolan ja Pietarsaaren kohteissa jaoteltuina kolmeen eri kategoriaan on esitetty kuvassa 37. [Seikkula 2017: 35–44.]

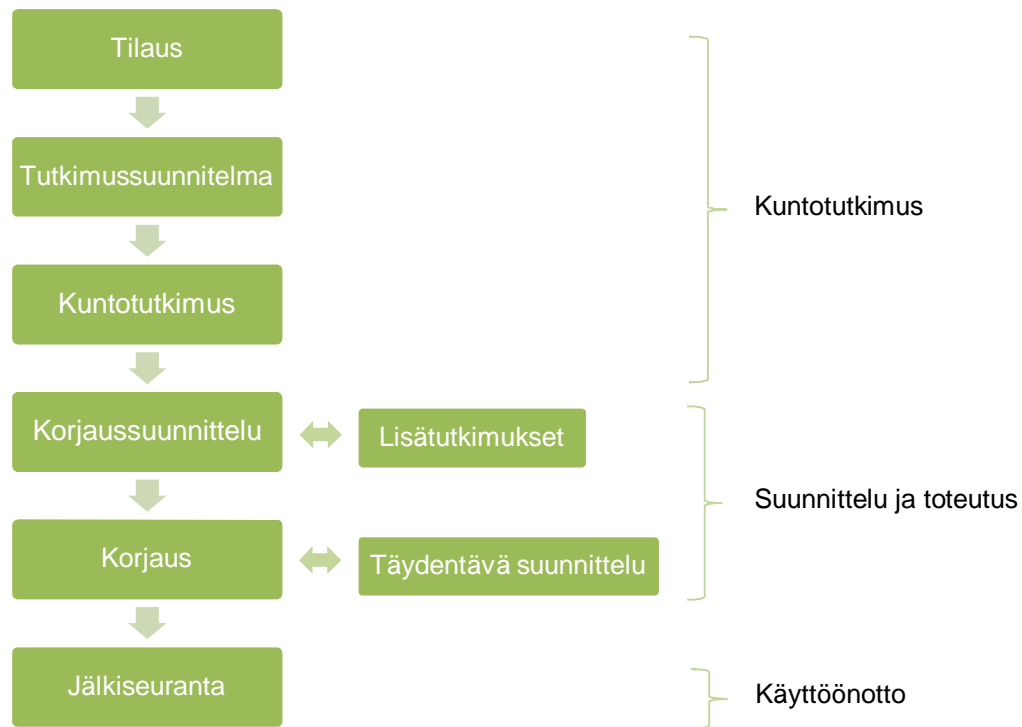


Kuva 37. Kokkolassa ja Pietarsaassa tutkittujen kohteiden sisäilmaongelmia aiheuttaneiden ilmanvaihdon puutteiden syyt kolmeen eri kategoriaan jaoteltuna, ja niiden osuudet kaikista ilmanvaihto-ongelmista. [Seikkula 2017: 35–44.]

5 Tutkimuksen kulku

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälän 166 mukaan [MRL 132/1999: §166] rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset eikä aiheuta ympäristöhaittaa tai rumenna ympäristöä. Asuntojen sekä erilaisten oleskelutilojen terveydellisistä vaatimuksista on säädetty lisäksi terveydensuojelulaissa [Terveydensuojelulaki 763/1994: §26 ja §27]. Näiden lakien mukaan rakennusten sisäilmaston tulee olla yksiselitteisesti sellainen, että se ei aiheuta niissä oleskeleville terveystahaitta. Näin ollen kiinteistön omistajan on viipymättä ryhdyttävä toimenpiteisiin, mikäli tilan haltija havaitsee sisäilmassa tai sisäolosuhteissa sellaisia puutteita, joista terveystahaitta voi aiheutua. Tämä johtaa yleensä sisäilmatutkimuksen käynnistämiseen.

Sisäilmatutkimuksen kulku ja eri vaiheet riippuvat oleellisesti tilaajan tarpeista ja ongelman laajuudesta. On mahdollista, että havaitun ongelman aiheuttajana on yksittäinen tekijä, esimerkiksi IV-koneen käyntihäiriö tai vääranlaiset säädöt, joka saadaan selvitettyä jo ensimmäisen kohdekäynnin yhteydessä, eikä raskaita kenttätutkimuksia valmisteluineen tarvita. Yleensä ongelmiin kuitenkin vaikuttavat useat erilaiset, toisistaan riippuvat ja riippumattomat tekijät. Esimerkiksi kosteus- ja sisäilmateknisen tutkimuksen yhteydessä on yleensä aina syytä, etenkin vanhemmissa rakennuksissa, tehdä myös ilmanvaihdon perustutkimus, koska ilmanvaihdon puutteet pahentavat yleensä muista tekijöistä johtuvia sisäilmaongelmia. Toisaalta taas tilaaja voi teettää tutkimuksen esimerkiksi koulurakennuksen peruskorjauksen lähtötiedoiksi. Näissä tapauksissa tutkimuksen laajuus on yleensä niin suuri, että kokonaisuuden hallitsemiseksi ja luotettavan sekä perusteellisen tutkimuksen onnistumiseksi on syytä noudattaa esimerkiksi kuviossa 1 esitetyn tapaista prosessikaaviota. [Ympäristöopas 2016; 20–38.]



Kuvio 1. Prosessikaavio tavanomaisen korjaushankkeen kulusta tutkimustilauksesta valmiin hankkeen jälkiseurantaan.

Sisäilmatutkijalla ei välttämättä ole LVI-alan koulutusta, eikä näin ollen myöskään riittävästi tietotaitoa ja pätevyyttä laajan sekä luotettavan ilmanvaihtojärjestelmän kuntotutkimuksen suorittamiseksi. Sisäilmatutkijalla tulisi kuitenkin olla vähintään perustiedot ilmanvaihdon toiminnasta, jotta sisäilmatutkimusten yhteydessä voidaan alustavasti selvittää ilmanvaihdon toimintaa sekä puutteita, ennen varsinaisen laajan IV-tutkimuksen tilaamista. Vastaavasti ilmanvaihtojärjestelmien tunteminen auttaa ymmärtämään ilmanvaihdon ja rakenteiden yhteistoimintaa, kuten esimerkiksi epäpuhtauslähteiden kulkeutumista rakenteista rakennukseen sekä niiden sisäilmavaikutuksia. Vaikka kyseessä olisi vain ilmanvaihtojärjestelmän alustava kartoitus, on se syytä ottaa huomioon jo tarjouksen sekä tutkimussuunnitelman laatimisen yhteydessä. Koska kappaleessa 4.4 esitettyjen tutkimustulosten sekä omien kokemusten perusteella rakennuksen ilmanvaihto on lähes aina yhtenä osallisena sisäilmaongelmien kokemiseen, tulisi ilmanvaihdon tarkastus suorittaa jo sisäilmatutkimuksen alkuvaiheessa, tai jopa ennen laajan sisäilmatutkimuksen käynnistämistä.

5.1 Tutkimussuunnitelma

Tutkimuksen tekeminen aloitetaan keräämällä riittävästi lähtötietoja sekä rakennuksesta, sen ilmanvaihtojärjestelmästä, että havaituista ongelmista. Lähtötietojen ja esiselvitysten sekä kohteeseen tutustumisen perusteella laaditaan tutkimussuunnitelmaraportti, jossa esitetään kaikki suoritettavat tutkimukset ja tarkastukset sijaintikarttoineen. Tutkimussuunnitelma toimii kenttätutkimusten apuna, mutta myös viestintävälineenä tilaajan kanssa. Ennen tutkimusten suorittamista tilaaja voi vielä halutessaan kommentoida suunnitelmaa, ja vaikuttaa näin tutkimuksen sisältöön. Tällaista menettelyä käytetään etenkin ammattilaisten, kuten kuntien, kaupunkien ja ammattirakennuttajien, toimiessa tilaajana.

5.1.1 Lähtötietojen hankkiminen

Kohteeseen tutustuminen ja tutkimussuunnitelman laadinta aloitetaan yleensä perehtymällä kohteesta saatavilla olevaan kirjalliseen lähtötietomateriaaliin sekä tekemällä ensimmäinen kohdekäynti. Lähtötietomateriaalina toimivat esimerkiksi kohteen alkupe räiset arkkitehti-, rakenne- ja LVIS-suunnitelmat, aiemmin tehtyjen korjausten suunnitelmat sekä työmaa-asiakirjat, kuten valvontamuistiot ja työmaapäiväkirjat, aiemmin suoritettut tutkimukset, selvitykset ja mittaukset sekä huoltokirja-aineistot. Ensimmäisen kohdekäynnin yhteydessä saadaan yleiskuva kohteesta, sekä pyritään jo alustavasti silmämääräisesti havainnoimaan esimerkiksi mahdollisia sisäilmariskejä, suunnitelma-poikkeamia ja muita ongelmakohtia.

Tavanomaisesti tutkimuksen tilaaja toimittaa tutkimuksen suorittajalle kaikki käytössään olevat lähtötiedot, jonka jälkeen tutkija vielä täydentää tarvittaessa lähtötietoaineistoa esimerkiksi rakennusvalvonnan arkistosta saatavilla suunnitelma-asiakirjoilla. Usein, etenkin vanhojen rakennusten osalla, rakennuksen vanhat suunnitelma-asiakirjat ovat huonolaatuisia tai muuten puutteellisia. Lisäksi rakennuksiin on monesti tehty muutoksia, joista ei löydy suunnitelmia, ja toisaalta taas joskus suunnitelmista löytyviä muutoksia ei ole toteutettu, tai niitä ei ole tehty suunnitelmien mukaisesti. Näin ollen tutkijan onkin hyvä suhtautua varauksella lähtötietomateriaaliin, ja todennettava lähtötietojen oikeellisuus ensimmäisen kohdekäynnin tai viimeistään tutkimusten yhteydessä, etenkin tutkimuksen kannalta merkittävistä yksityiskohdista.

Sisäilmatutkimuksen yhteydessä suoritettavan ilmanvaihtokartoituksen oleellisia lähtötietoja ovat esimerkiksi:

- IV-suunnitelmat ja työselostukset, ilmamäärien säätö- tai tarkastuspöytäkirjat sekä muut huollon dokumentit
- rakentamisen sekä korjausten ajan työmaa-asiakirjat sekä dokumentit, kuten valvontamuistiot
- luovutusasiakirjat:
 - ilmavirtojenmittauspöytäkirjat, äänimittauspöytäkirjat, kanaviston painekoepöytäkirjat, toimintakokeiden pöytäkirjat
- tekniset tiedot sekä esitteet koneista ja laitteista
- huoltokirja tai käyttö- ja huoltosuunnitelma
- aiemmin suoritettujen tutkimusten ja selvitysten raportit sekä mittauspöytäkirjat tuloksineen
- tiedot ilmanvaihdon käyntiajoista. [IV-kuntotutkimusohjeet 2016.]

Edellä mainittujen dokumenttien perusteella voidaan selvittää mm. ilmanvaihdon toimintaperiaate, mahdollisten IV-koneiden sekä liittyvien osien kuten ulkoilmakammioiden sijainnit, kanavistojen sekä tulo- ja poistoilmaelimiä sijainnit, suunnitellut siirtoilmareitit, ilmamäärät sekä ilmanvaihdon käyntiajat. Lisäksi niistä selviää mahdollisten työmaanaikana sekä korjausten yhteydessä suunnitelmiin tehdyt muutokset ja esimerkiksi työmaaolosuhteet sekä toteutuksen yhteydessä tehdyn valvonnan havaitsemat puutteet.

5.1.2 Käyttäjäkyselyt

Olennaisena osana kuntotutkimuksen lähtötilannekartoitusta ovat asukas- ja käyttäjäkyselyt. Käyttäjäkyselyjen avulla saadaan usein esimerkiksi kartoitettua ongelman laajuutta, vakavuutta sekä rajattua alueita, joissa ongelmia esiintyy. Suppeimmillaan käyttäjäkyselyt voivat olla esimerkiksi huoltohenkilökunnan, isännöitsijän tai muun rakennuksen tuntevan tahon haastatteluja. Tutkimuksen tarkoituksesta ja kohteen laajuudesta riippuen voidaan tehdä myös laajempia, koko käyttäjäkuntaa koskevia kyselyitä. Rakennuksen käyttäjillä on usein vuosien kokemus rakennuksesta, ja käyttäjäkyselyillä saadaankin usein arvokasta tietoa rakennuksen teknisestä kunnosta, ja etenkin aiemmin havaituista, tutkimusajankohtana jo mahdollisesti korjatuista vaurioista. Näitä voi-

vat sisäilmatutkimuksen yhteydessä olla esimerkiksi tapahtuneet vesivahingot ja niiden ajankohdat. Ilmanvaihdon tarkastuksen yhteydessä oleellisia tietoja ovat esimerkiksi poikkeuksellisten sääolosuhteiden aikana toistuvat ongelmat, poikkeavat hajut tai muut havainnot tiloista, jotka kärsivät sisäilman puutteellisesta laadusta, kuten hajuista, epä-sopivasta lämpötilasta tai vaikkapa vetoisuuden tunteesta. Toisaalta tuloksiin on aina syytä suhtautua varauksella, eikä niiden perusteella voida vielä tehdä lopullisia johtopäätöksiä rakennuksen kunnosta. [Ympäristöopas 2016; 23.]

Käyttäjäkyselyiden lisäksi voidaan tehdä myös sisäilmasto- ja oirekyselyitä. Nimensä mukaisesti näillä on tarkoitus kartoittaa rakennuksen käyttäjien kokemia sisäilman puutteita sekä oireenkuvauksen perusteella pyrkiä rajaamaan mahdollisia sisäilmaongelmanläheteitä koettuihin oireisiin viittaaviin lähteisiin. Koska käyttäjät reagoivat hyvin eri tavoin sisäilmastoon ja sen ongelmiin, tehdään oirekyselyitä yleensä vain suuremmille käyttäjämäärille (esim. yli 20 henkilöä), jotta kyselyillä on mahdollista havaita usein toistuvat ongelmat. Kyselyitä toteuttaessa tulee huomioida, että mikäli kyselyillä pyydetään tietoja henkilökohtaisista, terveyteen liittyvistä seikoista, tulee tieto- ja yksityisyydensuojasta huolehtia tarkoin. Oirekyselyt tuleekin teettää organisaatiolla, jossa tulokset käsittelee terveydenhuollon ammattilainen. Lähtökohtaisesti kyselyihin vastataan anonyymisti. [Ympäristöopas 2016; 23.]

Kyselyiden perusteella tehdyt, tutkimusongelman kannalta merkitykselliset seikat kirjataan tutkimusraporttiin, tavanomaisesti yhteenvedon muodossa. Käyttäjien ja huoltohenkilökunnan lisäksi lähtötietoja voi saada esimerkiksi isännöitsijöiltä tai aiempien korjausten suunnittelijoilta. Esimerkkejä käyttäjäkyselyiden kysymyksistä ja lomakkeista on esitetty esimerkiksi Ympäristöoppaan [2016] liitteessä 1. Sisäilmastokyselyt taas laaditaan useimmiten ns. Örebro-kyselyn pohjalta.

5.1.3 Riskirakenneanalyysi

Ensimmäisen kohdekäynnin, kirjallisten lähtötietojen sekä kyselyiden perusteella laaditaan riskirakenneanalyysi. Riskirakenneanalyysin tarkoituksena on selvittää rakennukseen liittyvät todennäköisimmät puutteet ja riskitekijät, kuten suunnittelu- tai toteutusvirheet, jotka voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Rakenteiden kannalta tällaisia voivat olla esimerkiksi rakennusajankohdalle tyypilliset, mutta myöhemmin rakennusfysikaalisesti riskirakenteiksi todetut ratkaisut. Sisäilman laadun kannalta selkeitä rakenteellisia puutteita voivat olla esimerkiksi maanvaraisen alapojan pintamateriaaliksi asennettu

liian tiivis muovimatto tai edellisissä korjauksissa rakenteen sisäpuolelle tehty lisälämmöneristys, joka aiheuttaa kosteuden kondensoitumista rakenteeseen. Muita tyypillisiä sisäilmaa heikentäviä rakenteellisia puutteita ovat esimerkiksi paikallavalettuihin kotelomaisiin rakenteisiin rakennusajankohtana jätetty muottilaudoitukset. Helsingin keskustan alueen vanhoissa rakennuksissa tyypillisiä paikallavalettuja kotelorakenteita ovat esimerkiksi ylä- ja alalaatallinen betonipalkkivälipohja. Kotelorakenteita voi liittyä myös ylä- ja alapohjiin, sekä esimerkiksi paikallavalettujen betoniportaiden alle.

Ilmanvaihdon kannalta riskitekijöitä arvioidaan usein järjestelmän iän, huolto- ja korjaushistorian sekä käyttäjähavaintojen perusteella [Ympäristöopas 2016; 28]. Sen sijaan rakenteelliselta kannalta järjestelmän riskitekijöitä voivat olla esimerkiksi puutteet rakennusaineisen kanaviston tiiveydessä, tai mahdolliset liian pitkät vaakasiirtymät. Muita tyypillisiä puutteita ilmanvaihtojärjestelmissä ovat esimerkiksi tulo- ja poistoilmakanavien liian pienet etäisyydet toisistaan, jolloin tuloilmakanavaan voidaan imeä likaista poistoilmaa. Ilmanvaihtokoneen varusteiden, kuten esimerkiksi lämmöntalteenoton kannalta riski voi olla pyörivällä lämmönsiirtimellä varustettu talteenotin, joka kierrättää osan pienen osan poistoilmasta takaisin tuloilmaan sekaan. Näin osa poistoilman epäpuhtauksista voi siirtyä tuloilmaan. Tällaisia ovat etenkin voimakkaasti siirtyvät hajut, kuten ruoanlaitosta syntyvä käry. Riskirakenneanalyysissä on syytä arvioida myös erilaisten rakenneteknisten puutteiden ja ilmanvaihdon yhteistoimintaa, kuten epätiivisyyskohtien esiintymistä rakenteissa. Hyvin usein esimerkiksi alapohjalaatan ja ulkoseinän liittymät ovat epätiivisiä, jolloin ilmanvaihdon aiheuttaman rakennuksen sisäpuolisen alipaineen vuoksi maaperästä pääsee kulkeutumaan epäpuhtauksia sisäilmaan.

Riskirakenneanalyysin perusteella tehdyt havainnot kirjataan ylös tutkimussuunnitelmaan, ja riskien toteutuminen tarkastetaan kenttätutkimusten yhteydessä. Riskien toteutumista voidaan joissain tapauksissa tarkastella myös laskennallisesti ennen tutkimusten suorittamista.

5.2 Tutkimusvaihe

5.2.1 Kenttätutkimukset

Sisäilmatutkimuksessa voidaan siirtyä kenttätutkimusvaiheeseen, kun tutkimussuunnitelma on laadittu ja tilaaja on hyväksynyt sen. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää

luotettavasti kaikki sisäilmaongelmien aiheuttajat sekä syyt niiden taustalla. Esimerkiksi pelkkien epäpuhtauksien, kuten mineraalikuitujen, puhdistaminen IV-järjestelmästä ei riitä, vaan lisäksi on selvitettävä ja korjattava kuitujen lähde ja varmistettava että ongelma ei uusiudu. Tutkimus toimiikin useimmiten suoraan korjaussuunnittelun lähtötietona. Näin ollen tutkijan/ tutkijoiden tulisi kyetä selvittämään kaikki sisäilmaongelmia aiheuttavat tekijät, jotta yksittäisiä tekijöitä ei jäisi korjaamatta, ja välttyttäisiin ongelman uusiutumiselta. Tutkimuksen lopputuloksena esitetään tarvittavat toimenpidesuositukset ilmanvaihtojärjestelmän korjaamisesta tai uusimisesta sekä tieto mahdollisesti tarvittavista lisätutkimuksista. [Ympäristöopas 2016; 16–19.]

Ehdotus sisäilmatutkimuksen yhteydessä tehtävän ilmanvaihdon perustarkastuksen sisällöstä on esitetty kappaleessa 6: *Ilmanvaihdon tarkastus osana sisäilmatutkimusta*. Kappaleessa on esitelty lisäksi tarkemmin kenttätutkimusmenetelmiä sekä -välineitä.

5.2.2 Tutkimusselostus

Suoritettujen tutkimusten perusteella laaditaan tutkimusselostus. Selostuksen alussa esitetään yleensä hankkeen yleistiedot, kuten osapuolet, kohteen yleisesittely, tutkimuksen taustat ja menetelmät sekä lähtötiedot. Selostuksen runko-osassa esitetään kaikki tutkimuksen yhteydessä tehdyt havainnot ja mittaustulokset, niiden syyt, sekä tulosten perusteella tehtyjen tulkintojen ja johtopäätösten avulla jatkotoimenpideehdotukset. Tutkimukset ovat usein hyvin laajoja, ja vaikeasti sisäistettäviä. Tämän vuoksi sekä ajan säästämiseksi tilaajan työtä helpotetaan yleensä laatimalla tutkimuksen loppuun yhteenveto tärkeimmistä tuloksista sekä toimenpideehdotuksista. Lisäksi edellä mainituista syistä selostuksen alkuun kirjoitetaan vielä usein tiivistelmä tutkimuksesta. Lisäksi selostukseen liitetään usein erilaisia liitteitä, joiden avulla tutkimuksen johtopäätöksiä on tehty, mutta jotka eivät tarkkuutensa vuoksi ole tilaajan kannalta sellaisenaan oleellista luettavaa. Näitä voivat olla esimerkiksi laboratorioanalyysien tulokset.

Tutkimusselostuksen esitystapaan ei ole olemassa yhtä oikeaa mallia, vaan selostuksen sisältö riippuu niin tutkijasta, tutkimuksen luonteesta, kuin tilaajan tarpeistakin. Tutkijan on kuitenkin huomioitava, että tutkimusselostuksen on oltava niin tarkka, että sen perusteella voidaan laatia kohteen korjaussuunnitelmat sekä toteuttaa korjaukset siten, että rakennukseen ei jää enää sisäilman riskitekijöitä. Näin ollen selostuksen on sisällettävä kaikki korjaussuunnitelmien laatimiseksi tarvittavat oleelliset tiedot, kuten esi-

merkiksi avattujen rakenteiden rakennetyypit ja tarkat tutkimuskartat. Kuviossa 2 on esitetty esimerkki tutkimusselostuksen sisällöstä. [Ympäristöopas 2016; 16–99.]

Sisällysluettelo	
Tiivistelmä	<ul style="list-style-type: none"> • lyhyt yhteenveto rakennuksen kunnosta, merkittävimmistä vaurioista, niiden syistä ja vaikutuksista sekä toimenpide-ehdotuksista
Tutkimuksen perustiedot	<ul style="list-style-type: none"> • esim. tutkimuksen ajankohta, tilaaja ja osallistujat sekä tutkimuksen ja menetelmien kuvaus
Kohteen yleiskuvaus ja tutkimuksen tausta	<ul style="list-style-type: none"> • kohde ja osoite, käyttö, rakennusvuosi, kuvaus rakennus- ja LVI-järjestelmistä • syyt tutkimuksen käynnistämiseksi • saadut lähtötiedot
Rakennetekniset tutkimukset	<ul style="list-style-type: none"> • tutkimuksen tulokset ja havainnot jaoteltuna esim. rakenneosittain • esitetään rakennetyyppi, havainnot ja mittaustulokset, johtopäätökset sekä toimenpide-ehdotus
Sisäilmaston tutkimukset	<ul style="list-style-type: none"> • tutkimusten tulokset ja havainnot jaoteltuna esim. tiloittain tai tutkimusmenetelmittäin • esitetään havainnot ja mittaustulokset, johtopäätökset sekä toimenpide-ehdotus
LVI-järjestelmän tarkastus	<ul style="list-style-type: none"> • ilmanvaihtotarkastuksen havainnot ja mittaustulokset • mahdollinen suositus laajemmasta LVI-tutkimuksesta
Haitalliset aineet	<ul style="list-style-type: none"> • mahdolliset havainnot tai epäilykset vaarallisista aineista
Muut havainnot	<ul style="list-style-type: none"> • tutkimuksen aikana tehdyt muut havainnot, jotka eivät liity itse tutkimukseen, mutta ovat rakennuksen toiminnan ja kunnan kannalta oleellisia
Yhteenveto toimenpide-ehdotuksista	<ul style="list-style-type: none"> • edellisissä kohdissa esitettyjen toimenpide-ehdotusten yhteenveto • jaottelu esim. kiireellisyysjärjestyksessä
Liitteet	<ul style="list-style-type: none"> • esim. paikannuskuvat, tutkimuskartat, laboratorioanalyysit, mittausdata yms.

Kuvio 2. Esimerkki Helsingin kaupungin kiinteistöjen sisäilmatutkimuksissa käytettävästä raportointimallista.

5.2.3 Lisätutkimukset

Mikäli sisäilmatutkimuksella ei ole riittävän luotettavasti kyetty selvittämään ongelman lähdettä, syntyy tarve lisätutkimuksille. Tutkimuksen yhteydessä voidaan lisäksi havaita sellaisia yllättäviä tekijöitä, jotka aiheuttavat tarpeita lisätutkimuksille, joita alkuperäinen

tutkimussuunnitelma ei ole sisältänyt. Lisätutkimustarpeita voi syntyä myös esimerkiksi suunnittelu- tai hankesuunnitteluvaiheissa, mikäli niiden pohjaksi tehdyn tutkimuksen laajuus ei ole ollut riittävä. Lisätutkimuksilla syvennetään alkuperäisen sisäilmatutkimuksen laajuutta tai tarkkuutta. Tutkimusten suorittamisesta ja raportoinnista sovitaan erikseen tilaajan kanssa. Mikäli lisätutkimukset ovat verrattain pieniä alkuperäisen tutkimuksen laajuuteen nähden, voidaan raportointi toteuttaa esimerkiksi revisioimalla alkuperäistä tutkimusselostusta. Vaihtoehtoisesti lisätutkimuksista laaditaan oma selostuksensa.

6 Ilmanvaihdon tarkastus osana sisäilmatutkimusta

Ilmanvaihdon tarkastus aloitetaan yleensä kartoittamalla järjestelmä. Kartoituksessa tarkastetaan mm. järjestelmän tyyppi, kanavareitit, tulo- ja poistoilman reitit ja muut ilmanvaihtojärjestelmän kannalta oleelliset tekijät. Kun järjestelmän yleiskuva on selvillä, voidaan järjestelmälle suorittaa aistinvarainen tarkastus. Tarkastuksen jälkeen selvitystä tarkennetaan vielä ilmanvaihtoon liittyvillä mittauksilla. Mittauksina tehdään ns. perusmittauksia, jotka suoritetaan jokaisen tarkastuksen yhteydessä, sekä tarkastuksen perusteella todettuja tarkentavia tutkimusmittauksia. Näiden avulla ilmanvaihdon toiminnasta saadaan riittävän hyvä yleiskuva, joka voi jo sinällään riittää sisäilmatutkimuksen tarpeisiin. Tarvittaessa jatkotoimenpide-ehtotuksena voidaan todeta tarve tarkemmille IV-tutkimuksille.

Tässä työssä esitetään, että sisäilmatutkimuksen yhteydessä suoritettava ilmanvaihtojärjestelmän perustarkastuksen tulisi sisältää yleensä vähintään seuraavat osa-alueet:

1. järjestelmän suunnitelmien mukaisuuden kartoitus
 - mikäli suunnitelmia ei ole saatavilla, tai niiden paikkansa pitävyyttä ei voida silmämääräisesti tarkastaa (esim. vanhat painovoimaisella ilmanvaihdolla toimivat asuinrakennukset), selvitetään IV-kanavien reitit tarkempien tutkimusten, esim. hormikuvauksen tai savukokeiden avulla tarkastuksen lähtötiedoiksi
2. järjestelmän teknisen kunnan tarkastus
 - ikä ja huolto
 - kunto ja puhtaus/ hygieenisuus
3. järjestelmän sopivuus rakennuksen käyttötarkoitukseen
 - sisäiset ja ulkoiset kuormitukset
 - vertailu sisäilman tavoitetasoihin sekä rakennusajankohdan ja nykyisiin vaatimuksiin
 - ilmanjakotapojen soveltuvuus rakennukseen ja huonetiloihin
4. käyttöasetusten ja toiminta-aikojen tarkastus
 - mikäli käyttöaikoja ei ole saatavilla, ne selvitetään tarkentavilla mittauksilla, esimerkiksi paine-erojen seurantamittauksella

5. ilmamäärien ja tuloilman lämpötilojen mittaus vähintään pistokoeluontoisesti ja vertailu suunniteltuihin arvoihin

Perustarkastuksessa havaittujen puutteiden perusteella suoritetaan lisäksi seuraavia tarkentavia mittauksia ilmanvaihtotavasta sekä rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuvassa laajuudessa:

- painesuhteiden mittaus, rakenteellisen tiiveyden arviointi ja mittaus
- sisäilman hiilidioksidipitoisuuden mittaus
- sisäilman ja pintojen lämpötilojen mittaus
- huoneilman suhteellisen kosteuden mittaus
- pölymäärien sekä teollisten mineraalivillakuitulähteiden kartoitus ja mittaus
- äänitasojen arviointi ja mittaus [Ympäristöopas 2016: 34.]

6.1 Ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmien mukaisuuden kartoitus

6.1.1 Järjestelmän kartoitus aistinvaraisesti

Ennen ilmanvaihtojärjestelmän kunnon aistinvaraista tarkastusta, tai sen yhteydessä, täytyy varmistaa, että järjestelmä on IV-suunnitelmien mukainen. Usein etenkin vanhoissa painovoimisen ilmanvaihdon asuinrakennuksissa, rakennusaineisiin IV-hormeihin on tehty luvallisia tai luvattomia muutoksia, jolloin hormireitit eivät vastaa suunnitelmia. Toisaalta vastaavissa kohteissa on usein tarkastuksen alussa edessä tilanne, että IV-suunnitelmia ei ole lainkaan saatavilla. Tällöin järjestelmän silmämääräinen kartoitus ei onnistu, ja järjestelmä on kartoitettava esimerkiksi hormikuvauksen tai savukokeiden avulla. Menetelmiä järjestelmän kartoitukseen on esitetty tarkemmin kappaleessa 6.1.2.

Nykyaikaisten, koneellisella tulo-poistoilmanvaihdolla varustettujen asuin- tai toimistorakennusten ilmanvaihtojärjestelmistä sen sijaan on yleensä laadittu tarkat suunnitelmat. Tarkatkaan suunnitelmat eivät kuitenkaan aina vastaa todellisuutta, joten kohdekäynnin yhteydessä on syytä varmistaa järjestelmän suunnitelmien mukaisuus myös uudemmissa kohteissa. Etenkin julkisissa rakennuksissa, kuten toimistoissa, kouluissa, päiväkodeissa ja vastaavissa, ilmanvaihtojärjestelmät on kanavoitu esimerkiksi avattiin alakattorakenteisiin, jolloin niiden reititykset ja kunto on suhteellisen helppo tarkastaa.

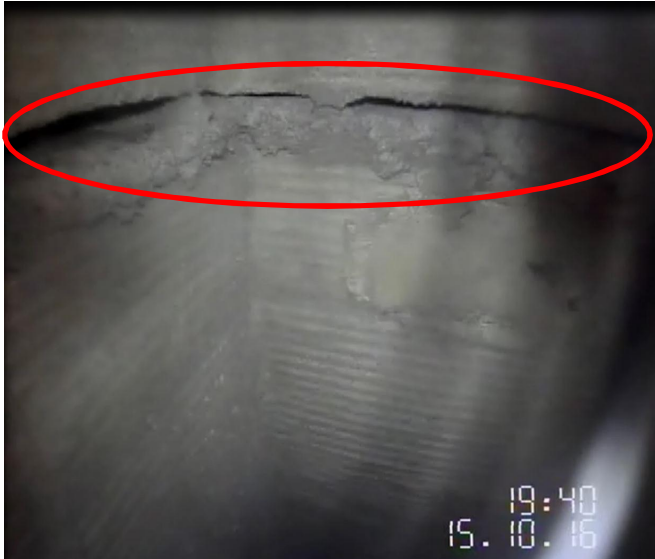
Järjestelmän kartoitus tehdään vertaamalla suunnitelmia kohteessa tehtyihin havaintoihin. Kartoituksen yhteydessä tulisi kiinnittää huomiota ainakin seuraavien yksityiskoh-
tien suunnitelmienmukaisuuteen:

- tuloilman ottopisteiden ja poistoilman ulospuhalluksen sijainti
- ilmanvaihtokone ja varusteet
- ilmanvaihtokanavien reititykset ja koko
- siirtoilmareitit
- äänenvaimentimet sekä muut varusteet kuten sulkupellit jne.
- pääte-elimien sijainti, malli ja tuloilmapuhalluksen suuntaus.

6.1.2 Järjestelmän kartoitus tutkimusmenetelmin

Hormikuvaukset

Vanhoissa, painonvoimaisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa, ilmanvaihtohormien kartoitus voidaan toteuttaa esimerkiksi videokuvauksella. Kuvauslaite on pitkän jatkovarren päässä sijaitseva videokamera, joka on varustettu valonlähteellä. Kuvauslaite pudotetaan yleensä katolta hormin sisään ja lasketaan rauhallisesti hormin pohjalle asti. Kuvauslaitteet on yleensä varustettu taivuteltavalla päällä, jolloin hormin pystyseinämissä olevien sivulähtöjen ympäristö saadaan myös kuvattua. Kuvauksella saadaan selvitettyä sivulähtöjen sijainnit ja sitä kautta hormin palvelualue. Lisäksi kuvauksella on mahdollista aistinvaraisesti tutkia esimerkiksi hormin rakenne, sisäpintojen ja liittymien kunto, hormin puhtaus ja mahdolliset tukokset sekä sivusiirtymät, jolloin näiden seikkojen selvitys hoituu kuvauksen yhteydessä ilman erillisiä tarkastuksia. Kameraa ei kuitenkaan ole mahdollista kääntää sivuhaarojen sisään, joten niiden reititys täytyy tarkastaa muuta kautta. Toisaalta painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei kuitenkaan voi olla pitkiä sivusiirtymiä, joten sivulähtöjen reitit ovat yleensä hyvin lyhyitä ja poistoilmaventtiilit löytyvät hormin seinästä tai sen läheltä. Esimerkki erään kohteen hormikuvauksen yhteydessä todetusta hormin tiiveyspuutteesta on esitetty kuvakaappauksen muodossa kuvassa 38.



Kuva 38. Kuvakaappaus hormikuvauksesta. Hormikuvauksen perusteella pystyttiin kyseisessä kohteessa selvittämään, että vanhat poistoilmahormit ovat betonielementtirakenteisia. Kuvakaappauksessa näkyy kahden elementin vaakasauma, joka on selkeästi epätiivis. Samaiselta videolta havaittiin myös kierresaumaputkin toteutettujen sivuhaarojen ja betonielementtihormin liittymien olevan epätiivisiä, ja hormien pohjalla havaittiin runsaasti rakennusjätettä. [Kuvan lähde: Suomen Hormistokeskus Oy.]

Pystykanavien lisäksi myös vaakakanavia voidaan tutkia videokuvaamalla vaakakanavien kuvaamiseen kehitettyjen johdollisten kameroiden tai kauko-ohjattavien kuvausrobottien avulla. Nämä soveltuvat hyvin esimerkiksi koneellisen tulo- poistoilmavaihdon kunnan ja puhtauden selvitykseen. Tyypillisiä vaakakanavien kuvaamiseen soveltuvista kameroista on esitetty kuvassa 39. Mikäli kuvauskalustoa ei ole itsellään käytössä, voi kuvauksen tilata myös lisätutkimuksena erilliseltä toimijalta, joka on erikoistunut kuvasten tekemiseen. Tämä lieneekin yleisin käytäntö tutkimuksissa.



Kuva 39. Erilaisia vaakakanavien kuvaamiseen soveltuvia kameroita. Vasemmalla on kanavan puhdistuslaitteella varustettu robottikamera ja oikealla johdollinen kuvauskamera. [Kuvan lähde: Lifa-Air Oy, <http://www.suomi.lifa.net>.]

Merkkiaine ja -savu

Ilmanvaihtojärjestelmän putkireittejä voidaan tutkia myös merkkiaineen tai merkkisavun avulla. Esimerkiksi painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä savua tai merkkiainetta levitetään järjestelmään poistoilmaventtiin kautta, ja merkkisavun kulkeutumista havainnoidaan visuaalisesti tai näkymätöntä merkkiaineita merkkiaineanalysaattorilla. Molemmille menetelmille yhteistä on, että ilman liikkeen suunta tulee tuntee etukäteen, jotta merkkiaineita osataan päästää ilmaan oikeasta pisteestä sekä arvioida oikeita havainnointipisteitä. Samoilla menetelmillä on lukuisia muitakin ilman liikkeiden tarkailuun sekä rakennusmateriaalien tiiveyden havainnointiin liittyviä sovelluksia. Niillä voidaan kanavareittien lisäksi tutkia myös ilmanvaihtokanaviston tiivyyttä ja paikantaa vuotokohtia esimerkiksi kierresaumakanavien liitoskohdista. Vastaavasti merkkisavulla voidaan havainnoida myös pääte-elimistä puhallettavan tuloilman liikkeitä.

Merkkiainetutkimuksessa ilmaan päästetään kaasua, jota ilmassa ei normaalisti juurikaan esiinny, tavanomaisesti esimerkiksi typpi-vety-seosta ja rikkiheksafluoridia. Kaasun kulkeutumista tutkitaan merkkiaineanalysaattorilla, joka ilmaisee kaasun havaitsemisen äänimerkillä. Merkkiainetutkimuksen etuna on, että sen avulla havaitaan hyvin pienä vuotokohtia järjestelmissä. Tämän vuoksi sitä käytetäänkin usein myös rakenteellisen epätiiveyden tutkimisessa sellaisissa kohteissa, joissa epätiiveydet ovat niin pieniä tai vaikeasti tavoitettavissa, että niitä ei voida silmämääräisesti havaita. Toisaalta itse merkkiaine on hajutonta sekä näkymätöntä, joten sen havaitseminen aistinvaraisesti ei onnistu. Tyypillinen typpi-vety-seoksella toimiva merkkiainelaitteisto on esitetty kuvassa 40. Ohjeita merkkiaineen käyttöön on annettu esimerkiksi RT-ohjekortissa 14-11197: *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein*. [RT 14-11197.]



Kuva 40. Tyypillinen merkkiainelaitteisto. Vasemmalla on typpi-vety-seosta sisältävä merkkiainekaasupullo ja oikealla kyseiseen merkkiaineeseen reagoiva analysaattori kantolaukussaan. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Ilmanvaihdon tutkimukseen soveltuvia merkkisavuja on useita erilaisia. Edullinen vaihtoehto on käyttää esimerkiksi savupatruunoita. Patruunoita saa useissa eri väreissä, joten niiden visuaalinen havainnointi on helppoa. Patruunoita on saatavilla lisäksi eri tuoksuisina, jolloin niitä voidaan havainnoida myös hajuaistin avulla. Toisaalta niiden savuntuottoaika on huomattavasti lyhyempi, kuin kalliimmilla savukoneilla, yleensä joitakin minutteja. Useimmilla savukoneilla savua voidaan tuottaa selvästi pidempiä aikoja niiden savunestesäiliöstä ja savunesteen kulutuksesta riippuen. Kuvassa 41 on esitetty malliesimerkki ilmanvaihdon tutkimiseen soveltuvasta savupatruunasta sekä savukoneesta.



Kuva 41. Esimerkkejä ilmanvaihtojärjestelmän tutkimiseen soveltuvista merkkisavuista. Vasemmalla on värjätty savupatruuna ja oikealla savukone. [Kuvan lähde: Pietiko Oy, <https://www.pietiko.fi/>.]

6.2 IV-järjestelmän tekninen kunto

6.2.1 Järjestelmän ikä ja huolto

IV-järjestelmän tekninen käyttöikä on yleensä noin 30 vuotta. Teknisen käyttöiän ylittäminen ei kuitenkaan välttämättä tarkoita, että ilmanvaihtojärjestelmä on välttämättä uusittava; paljon vanhempiakin järjestelmiä on edelleen käytössä. Toisaalta järjestelmässä on osia, joiden käyttöikä on huomattavasti esimerkiksi ilmanvaihtokoneita lyhyempi. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset rakennusautomaatiojärjestelmien anturit, jotka voivat rikkoontuessaan sotkea koko järjestelmän toimintaa. Sisäilma-asiantuntijan ei tule ottaa kantaa ilmanvaihtojärjestelmän uusintatarpeeseen, mutta mikäli järjestelmän ikä on selvitettävissä esimerkiksi vanhojen suunnitelmien, huoltokirjan, haastatteluiden tms. menetelmien avulla, tulisi se mainita tarkastusraportissa mahdollisen myöhemmän päätöksenteon tueksi. [Ympäristöopas 2016: 83.]

Oleellisia tietoja ilmanvaihtolaitteiston kunnosta sekä huoltotoimenpiteistä saadaan rakennuksen huoltohenkilökuntaa haastatteleamalla. Hyvä esimerkki käyttäjäkyselyn tai haastattelun oleellisista kysymyksistä on esitetty teoksessa *Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen* [Asikainen & Peltonen 2008: 35–39]. Toisaalta, jotta ilmanvaihtolaitteiden kunnosta pystyttäisiin pitämään huolta, tulisi kaikki järjestelmän huoltoa vaativat osat olla lisäksi kirjattuna esimerkiksi huoltokirjaan. Huoltokirjoja voi olla kiinteistöissä sekä fyysisenä paperiversiona että sähköisessä muodossa. Ennen järjestelmän tarkastamista, myös sisäilmatutkijan on syytä perehtyä huoltokirjan avulla huoltokohteisiin. Tyypillisimpiä huoltokohteita ovat esimerkiksi suodattimien vaihto ja muut järjestelmän puhdistustoimet, hihnojen ja hihnapyörien tarkastus, sulku- ja säätöpeltien toiminta, liikkuvien osien voitelu jne. Huoltokansiossa tulisi olla lisäksi ajantasaiset konekortit laitteista. Mikäli huoltokirjaa ei ole saatavilla, on syytä harkita erillistä laitteistokartoitusta sekä huoltokirjan laatimista ilmanvaihdon asiantuntijan toimesta. [Korkala & Laksola, 2012: 49.]

6.2.2 Järjestelmän kunto ja hygieenisuus

Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävä on tuoda sisälle rakennukseen raikasta ja puhdasta sisäilmaa, sekä toisaalta kuljettaa likainen ilma hallitusti ulos. Mikäli ilmanvaihtokanavistoon liittyy epäpuhtauksia, kuten pölyä, rakennusaikaista epäpuhtautta, mineraalikiui-

tuja tai mikrobeja, pääsevät ne tuloilman mukana leviämään huoneilmaan. Näin ollen etenkin tuloilmakanaviston puhtaus on perusedellytys toimivalle ilmanvaihdolle.

Tuloilmajärjestelmän likaantumiseen vaikuttavat suodattimien kunnan lisäksi etenkin rakennuksen sijainti, ulkoilman epäpuhtaudet sekä tuloilman ottoaukkojen sijainnit. Poistoilmajärjestelmän likaantumiseen vaikuttaa eniten taas tilojen käyttötarkoitus. Tavanomaisesti ilmanvaihtojärjestelmään kertyvä pöly on valtaosin epäorgaanista, mutta joukossa on myös orgaanista materiaalia. Orgaaninen epäpuhtaus on hyvä kasvualusta mikrobeille, mutta niiden kasvua rajoittaa usein kuitenkin oikein toimivissa järjestelmissä etenkin tuloilmapuolella alhainen kosteuspitoisuus. Tämän vuoksi ulkoilman kosteuden pääsyn estäminen IV-järjestelmään onkin tärkeää. Myös tarkastuksen yhteydessä on syytä kiinnittää huomiota järjestelmän likaisuuden lisäksi myös epänormaaliin kosteuteen. Hormeihin kertynyt pöly lisää myös järjestelmän aiheuttamaa palokuormaa. [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 4: 2.]

Puhtauden ja kunnan kannalta ilmanvaihtojärjestelmän tarkastettavia kohteita ovat:

- ulkoilmasäleiköt ja -kammiot
- suodattimet
- konehuoneet, IV-koneet sekä jäähdytys- ja kostutuslaitteistot
- kanavistot
- äänenvaimentimet
- päätelaitteet. [RIL 250-2011: 86–89.]

Asikaisen ja Peltolan [2008: 81] mukaan IV-järjestelmän puhtauden aistinvaraisessa tarkastuksessa voidaan noudattaa esimerkiksi taulukossa 9 esitettyjä puhtauskriteerejä. Taulukossa mainittu visuaalinen asteikko on esitetty pyöreiden kierresaumakanavien osalta kuvissa 49 ja 50, ohjeita muiden kanavatyyppejen tarkastamiseen on esitetty esimerkiksi LVI-ohjekortissa 39-10409, *Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus*. Mikäli kriteerit eivät täyty, on järjestelmä puhdistettava. Aistinvaraisen tarkastuksen lisäksi puhtautta ja esimerkiksi mineraalikuitujen esiintymistä voidaan tarkastella myös tarkempien tutkimusmenetelmien avulla kohdan 6.6, jolloin esimerkiksi pölyn laadusta ja määrästä saadaan tarkempia tietoja.

Taulukko 9. Esimerkki IV-järjestelmien aistinvaraisen tarkastuksen puhtauskriteereistä eri puhtausluokissa sekä tarkastusmenetelmistä. [Asikainen & Peltola, 2008: 8.]

Tarkastettava tekijä	Puhtausluokka P1/ P1v	Puhtausluokka P2/ P2v	Tarkastusmenetelmä
Tuloilmakanaviston ja koneen keskimääräinen pölykertymä	< 2,0 g/m ²	< 5,0 g/m ²	Visuaalinen puhtausasteikko ja rajatapauksessa suodatinke-räys
Yksittäisen tarkastuspisteen pölykertymä	< 4,0 g/m ²	< 10,0 g/m ²	Visuaalinen puhtausasteikko ja rajatapauksessa suodatinke-räys
Karkea lika (metallijäysteet, rakennusmateriaalit yms.)	Saa esiintyä pieniä määriä siellä täällä paikallisesti	Saa esiintyä pieniä yksittäisiä kasoja, mutta ei yhtenäistä vanaa	Visuaalinen asteikko (karkea lika)
Ilmanvaihtokoneesta peräisin olevat voiteluainejäämät	Puhdistettava		Visuaalinen puhtausasteikko
Ilmanvaihtotuotteiden valmistuksessa tuotettiin jääneet voiteluainejäämät	Jos järjestelmässä ei ole käytetty M1-luokiteltuja IV-tuotteita, järjestelmä ei voi olla öljyjäämien osalta P1- tai P2-järjestelmä. Järjestelmän puhtausluokka on P1v tai P2v		Järjestelmän asennusdokumentit (P1, P2 tai luokittelema-ton) ja visuaalinen puhtausasteikko
Päätelaitteiden pinnoilla oleva pölykertymä	Pölyä ei saa olla niin paljon, että siihen jää selkeä jälki sormella pyyhkäistäessä	Pölyä ei saa kasautua sormella pyyhkäistäessä	Silmämääräinen arvio, jonka tukena sormipyyhkäisy
Kuitulähteet	Järjestelmässä ei saa olla merkittäviä kuitulähteitä		Mahdolliset kuitulähteet kartoitetaan arvioimalla äänenvaimentimien kuntoa visuaalisesti. Tarvittaessa tehdään tarkempia tutkimuksia
Mikrobilähteet	Järjestelmässä ei saa olla merkittäviä mikrobilähteitä		Mahdolliset mikrobilähteet kartoitetaan arvioimalla järjestelmässä olevaa kosteutta tai kosteusjälkiä visuaalisesti. Tarvittaessa tehdään tarkempia tutkimuksia

Ulkoilmasäleiköt ja -kammiot

Ulkoilmasäleiköt- ja kammiot ovat ilmanvaihtojärjestelmän uloin osa, jonka kautta tuloilma otetaan sisään. Kaikkiin järjestelmiin ei liity varsinaisia kammioita, niitä käytetään yleensä lähinnä isojen IV-koneiden yhteydessä. Säleikköjen ja kammioiden tehtävänä on ehkäistä lumen ja sadeveden pääsyä IV-järjestelmään. Säleikköiden tehokkuus vaihtelee, ja etenkin kevyen tuiskulumen pysäyttäminen on usein ongelmallista. Tämän vuoksi säleikköjä voidaan varustaa sähkölämmittimillä, joka sulattaa lumen ja näin osaltaan auttaa lumen pysäyttämisessä. Toisinaan säleiköt voivat myös tukkeutua esi-

merkiksi syksyisin lehdistä, ja talvisin lumesta ja jäädästä. Ulkoilmasäleikköjen tulisi lisäksi olla sijoitettuja siten, että epäpuhtauslähteistä ei pääse hajuja tai epäpuhtauksia sisäilmaan. Tällaisia päästölähteitä ovat esimerkiksi pakokaasut, poistoilmakanavat tai viemäreiden tuuletusputket. Ulkoilmakammiot ovat suorassa yhteydessä ulkoilmaan, ja näin ollen niiden tulisikin olla lämmöneristettyjä. Lämmöneristeiden olemassaolo on syytä tarkastaa etenkin vanhojen järjestelmien osalta. Säleikköjen ja etenkin kammioiden puhdistus ja tarkastusväli on yleensä 1-2 kertaa vuodessa. [RIL 250-2011: 86.]

Ulkosäleiköistä huolimatta tuloilmakammioihin pääsee yleensä kosteutta, esimerkiksi tuiskulumen muodossa, joten kammiot tulee aina varustaa viemäröinnillä seisovan veden ja mikrobikasvustojen välttämiseksi. Järjestelmien puhtauden lisäksi viemäreiden olemassaolo ja toimivuus onkin toinen tärkeä kammioiden tarkastuskohta. [RIL 250-2011: 86.] Kokemusten perusteella kaivojen tulisi olla kuivakaivoja, joista vedet johdetaan rakennuksen sisällä, esimerkiksi IV-konehuoneen lattialla olevien vesilukollisten kaivojen läheisyyteen. Tyypillinen virhe on asentaa tuloilmakammioihin vesilukolla varustetut ns. normaalit lattiakaivot. Koska kaivoihin ei pääse ulkoa kosteutta tasaisesti, niiden hajulukot kuivuvat toistuvasti. Vesilukkojen kuivuessa tai muiden puutteiden vuoksi viemäri voi pahimmassa tapauksessa tuulettua alipaineiseen tuloilmakammioon, ja aiheuttaa näin viemärin hajun leviämisen koko IV-koneen palvelualueelle. Kuivakaivoja ei tämän vuoksi johdeta suoraan vesilukollisiin kaivoihin, vaan niiden läheisyyteen, jotta tuloilmakammion alipaine ei ime hajuja myöskään sisällä olevasta vesilukollisesta kaivosta sen kuivuessa. [Palviainen 2018].

Tarkastuskierroksen yhteydessä on syytä havainnoida tuloilmajärjestelmän lisäksi myös poistoilmakammioiden kuntoa. Poistoilman mukana rakennuksesta ulos kulkeutuu sisäilman epäpuhtauksia, joten erityisesti poistoilmajärjestelmän tiiveyteen tulisi kiinnittää huomiota, jotta likaista poistoilmaa ei pääse takaisin huoneilmaan. Kuvassa 42 on esitetty erään koulurakennuksen poistoilmakammio. Poistoilma puhalletaan jälkeenkäpäin rakennettuun kevytsoraharkoista muurattuun poistoilmakammioon, josta se johdetaan pihalla sijaitsevaan korkeaan savuhormiin, ja jälleen ulkoilmaan. Kuvassa näkyvät kierresaumaputket päättyvät heti harkkomuurauksen läpiviennin jälkeen. Putkiläpivienti itsessään on tiivis, mutta koska kevytsoraharkkoja ei ole slammattu tai muuten pinnoitettu, niitä voidaan pitää suhteellisen hyvin ilmaa läpäisevänä materiaalina. Tästä aiheutuu riski, että kammioon puhallettu likainen poistoilma pääsee ainakin osittain takaisin huoneilmaan harkkomuurauksen läpi.



Kuva 42. Erään koulurakennuksen kevytsoraharkoista muurattu poistoilmakammio. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy]

Ulkoilmakammioiden puhtauden lisäksi järjestelmän hygieenisyyteen vaikuttaa ulkoilma- ja jätelaitteiden sijainti. Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 [2017] mukaan uusissa rakennuksissa: *”ulkoilmaa ei saa ottaa ilmanlaatua heikentävän rakenteen tai rakennusosan kautta tai ulkoilman laatua pilaavien lähteiden läheisyydestä”*. Ulkoilman laatua pilaavana lähteenä voidaan pitää esimerkiksi poistoilmalaitetta. Tulo- ja poistoilmalaitteet onkin sijoitettava riittävän etäälle toisistaan, jotta poistoilman epäpuhtauksia tai hajuja ei pääse tuloilman joukkoon.

Aiemmin voimassa olleen Rakennusmääräyskokoelman osassa D2 oli annettu tarkempia ohjeita laitteiden sijoittelusta. Sen mukaan ulkoilmalaitteiden sijoittelu on tehtävä siten, että tuloilma on mahdollisimman puhdasta, eikä tuloilmaa saa ottaa myöskään sen laatua heikentävän rakenteen tai rakennusosan läpi. Ulkoilma- ja jäteilmalaitteiden sijoittelulle onkin annettu määräyksissä erilaisia pienimpiä sallittuja mittoja toisistaan sekä muista rakenneosista ja epäpuhtauslähteistä. Tuloilmalaitteiden etäisyyksiä eri epäpuhtauslähteistä on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Ulkoilmalaitteiden (tuloilma) sijoitus epäpuhtauslähteisiin nähden. [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012: 6.]

Epäpuhtauslähde	Etäisyys [m]
Ulkoilman laatua pilaavat lähteet, kuten jätteiden säilytyspaikat, autojen pysäköinti- ja lastauspaikat sekä ajoluiskat, tuuletusviemäreiden ja savupiippujen aukot, keskuspölynimurin ulospuhallus ja jäähdytystornit	8
Tuuletusviemärin ja savupiipun aukot, jos ne ovat yli 3 m ulkoilma-aukkoa korkeammalla	5
Maanpinta ja pihataso	2
Kattopinta (etäisyys voi olla pienempi, jos ilmanvaihtoa haittaavan lumipeitteen muodostuminen estetään jyrkän harjakaton avulla, lumisuojaus tai muulla luotettavalla tavalla)	0,9

Kuvassa 43 on esitetty erään koulurakennuksen kellarikerrokseen jälkeensä rakennetun ilmanvaihdon tuloilmakammion sijoittelu. Taulukon 10 mukainen tuloilma-aukon etäisyys maanpinnasta ei täyty. Tästä aiheutuu riski, että tuloilman mukana huoneilmaan kulkeutuu maanpinnan lähistöllä olevia epäpuhtauksia, kuten pakokaasuja ja tms. Lisäksi etenkin keväisin ja syksyisin, kun maanpinnalla on maatuva aine, voivat mikrobiperäiset epäpuhtaudet päätyä tuloilman mukana sisäilmaan. Toisaalta runsaslumisena talvena on myös mahdollista, että tuloilmakanavaa vasten kinostuva lumi pahimmillaan tukkii ilmanottoaukot.



Kuva 43. Erään koulurakennuksen tuloilmakammion sijoitus.

Jäteilma on jaettu sen likaisuuden mukaan neljään eri luokkaan, joiden perusteella jäteilmalaitteiden etäisyydet eri rakennusosista määräytyvät. Kyseinen poistoilmaluokitus on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Jäteilman poistoilmaluokat. [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012: 6.]

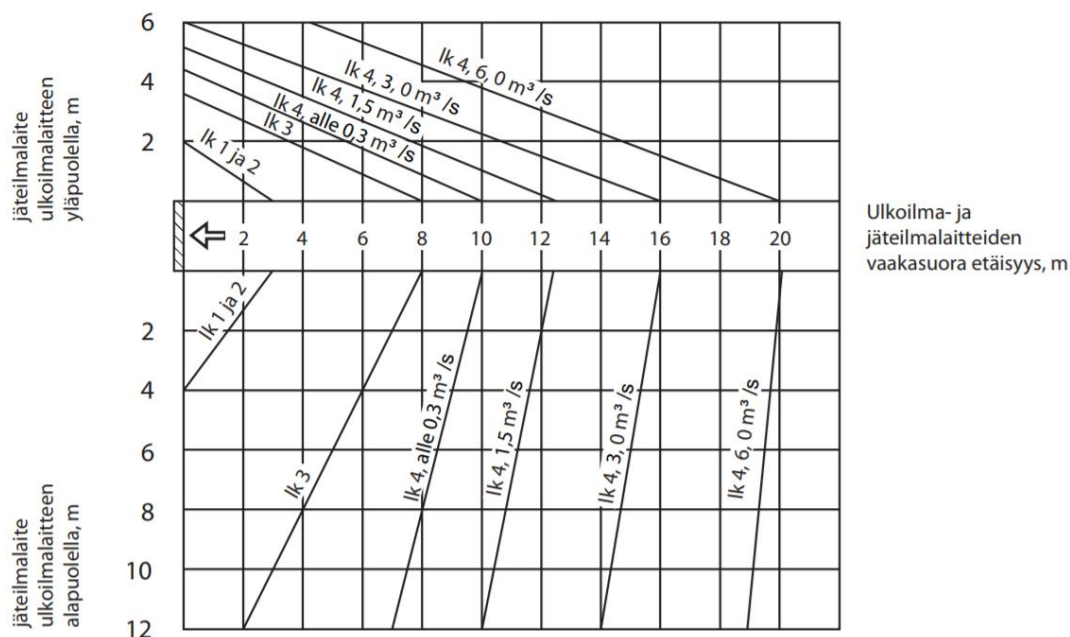
Poisto- ilmaluokka	Kuvaus ja käytön rajoitus	Tilaesimerkki
1	Poistoilma, joka sisältää vain vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä tai rakenteista. Ilma soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi.	Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta.
2	Poistoilma, joka sisältää jonkin verran epäpuhtauksia. Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa siirtoilmana esimerkiksi WC- ja pesutiloihin.	Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolatilat, joissa tupakointi on kielletty
3	Poistoilma tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut oleellisesti huonontavat poistoilman laatua. Ilmaa ei käytetä palautus tai siirtoilmana.	WC- ja pesutilat, saunat, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, piirustuksien kopiointitilat.
4	Poistoilma, joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilman hyväksyttävät pitoisuudet. Ilmaa ei käytetä palautus tai siirtoilmana.	Ammattimaisessa käytössä olevat veto-kaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot, pesuloiden likapyykkitilat. Autosuojat ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarvikejätehuoneet, kemialliset laboratoriot, tupakointitilat sekä hotellitilat, joissa tupakointi on sallittu.

Jäteilmalaitteiden pienimmät sallitut etäisyydet muista rakenneosista tai ympäristöstä eri poistoilmaluokissa on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Jäteilmalaitteiden pienin etäisyys muista rakenneosista tai ympäristötekijöistä. [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012: 7.]

Rakenneseosa tai muu ympäristön tekijä	Etäisyys [m]			
	Poistoilmaluokka			
	1	2	3	4
Alapuolella oleva avattava ikkuna	2	2	4	6
Samalla tasolla tai yläpuolella oleva avattava ikkuna tai oleskelutaso	3	3	6	10
Maanpinta tai pihataso	2	2	3	5
Kattopinta (etäisyys voi olla pienempi, jos ilmanvaihtoa haittaavan lumipeitteen muodostuminen estetään jyrkän harjakaton avulla, lumisuojaus tai muulla luotettavalla tavalla)	0,9	0,9	0,9	0,9
Naapuritontti (ei koske pientaloja)	2	2	5	8
Tuuletusviemärin ja savupiipun aukko	1	1	1	1
Painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon jäteilmalaitteiden välinen etäisyys	1	1	1	1

Lisäksi tulo- ja poistoilmalaitteiden välisille etäisyyksille on määritetty suojaetäisyydet. Nämä on esitetty kuvassa 44.



Kuva 44. Tulo- ja poistoilmalaitteiden väliset etäisyydet toisistaan. Viivojen väliarvot voidaan arvioida. [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012: 7.]

Suodattimet

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä suodattimia käytetään yleensä tuloilmakanavissa, kuten ulkoseinien tai ikkunoiden korvausilmaventtiileissä. Koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä suodattimet sijaitsevat tyypillisimmin järjestelmästä riippuen tuloilmavirrassa ilmastointikoneen molemmin puolin, ja poistoilmavirrassa ennen lämmöntalteenottoa. Myös erilaiset ilmaa kierrättävät, lämmittävät, jäähdyttävät tai kostuttavat konvektorit sisältävät usein suodattimen. Ilmanvaihtojärjestelmien suodattimien tehtävänä on ehkäistä järjestelmien likaantumista sekä ulkoilman epäpuhtauksien pääsyä sisäilmaan. Likaantuneen ilmanvaihtojärjestelmän teho ja kokonaisilmavirrat ovat usein puhdasta järjestelmää heikompia. Suodattimet ovatkin yksi järjestelmän tärkeimpiä tarkastettavia yksityiskohtia puhtauden ja kunnan osalta. [Seppänen & Seppänen 1996: 190–191.]

Suodattimien käyttöikä on yleensä 0,5...1 vuotta. Niiden huolto-ohjeiden mukainen vaihtoväli sekä suoritettavat vaihdot tulisi kirjata esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneessa sijaitsevaan huoltokirjaan tai koneen läheisyyteen, jotta se on helposti tarkastettavissa.

Huoltokirjan lisäksi suodattimien sekä suodatinkammioiden kunto on syytä tarkastaa silmämääräisesti avaamalla kammio ja irrottamalla suodatin, ks. kuva 45. Mikäli suodattimet ovat selvästi likaantuneita, tai ne ovat jostain syystä kastuneet, on ne syytä uusia. [Ympäristöopas 2016: 85; Holopainen ym. 2012: 76.]



Kuva 45. Vasemmalla erään terveysaseman ilmanvaihtokoneen tuloilmasuodattimet, kuvan karkeasuodatin on erityisen likainen ja vaihdon tarpeessa. Oikealla olevassa kuvassa on erään toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneen tuloilman esisuodatinmatto, joka on jo kokonaan tukkeutunut. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Suodattimien visuaalisen tarkastuksen lisäksi niiden kuntoa voidaan arvioida konetta sammuttamatta suodattimien yli vallitsevan paine-eron perusteella. Nykyaikaisissa ilmanvaihtokoneissa on tätä varten usein oma mittarinsa, josta paine-ero on helposti tarkastettavissa (ks. kuva 46). Mikäli paine-ero suodattimen yli on suurempi kuin kaksinkertainen verrattuna puhtaaseen suodatimeen, tai suurempi kuin mittavarustuksessa esitetty vaihtoraja, on suodattimet syytä vaihtaa. [Ympäristöopas 2016: 85; Holopainen ym. 2012: 76.]



Kuva 46. Ilmanvaihtokoneen suodattimen painehäviön mittauslaite. Kuvan ilmanvaihtolaitteen suodatin on vielä kunnossa. [kuvan lähde: IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 14: 9.]

Suodattimet jaetaan karkeisiin-, hieno- ja mikrosuodattimiin niiden hiukkasenerottelukyvyn mukaan. Mikrosuodattimet poistavat ilmavirrasta pienikokoisimmatkin hiukkaset, kun taas karkeat suodattimet poistavat vain suurimmat hiukkaset. Suodatinluokat ilmoitetaan karkeimmasta pienimpään seuraavin kirjaintunnuksin:

- karkeat suodattimet: G1–G4, M5–M6
- hienosuodattimet: F5–F9,
- mikrosuodattimet: E10–12 (EPA), H10–H14 (HEPA) ja U15–U17 (ULPA)

Näiden lisäksi on olemassa erilaisia sähköisiä ja kaasusuodattimia, mutta niihin ei puututa tässä työssä. Suodatinluokat määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen vaatimusten mukaan. Karkeita suodattimia käytetään yleensä lähinnä esisuodatukseen, ja hienosuodattimia pääsuodatukseen. Tyypillisimmät käytössä olevat suodatinluokat ovat teollisuuslaitoksissa M5, ja toimisto- sekä asuinrakennuksissa F7–F9. Suodattimien puhtauden lisäksi tarkastuksen yhteydessä tulisi selvittää myös käytössä olevien suodattimien suunnitelmienmukaisuus sekä oikea asennustapa (ks. kuva 47). Lisäksi huomiota suodatinkehysten tiiveyteen, jotta ilmavirta ei pääse ohittamaan suodatinta. [Sandberg, Esa 2016: 167–169.]

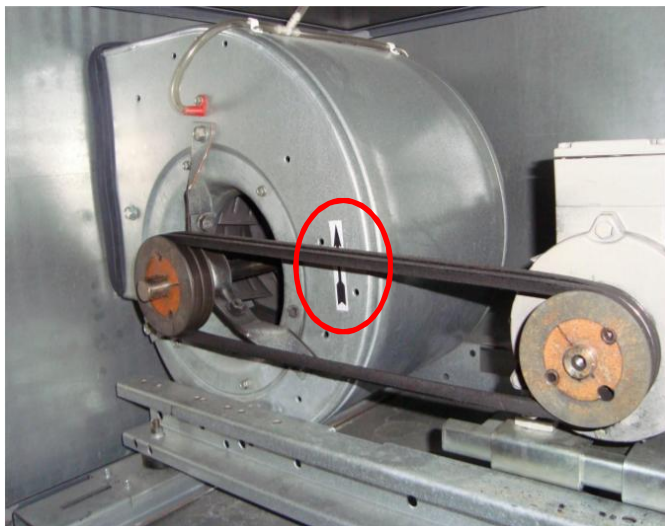


Kuva 47. Vaakasuuntaan asennettuna suodatinpussit eivät välttämättä aukea kunnolla ilmavirrasta huolimatta, ja pahimmillaan ne voivat maata suodatinkammion pohjalla ja kastua, kun ilmanvaihtokone käy pienellä teholla. Tämä taas luo edellytykset mikrobikasvulle suodattimessa, ja mikrobien leviämiselle ilmanvaihtoon. [Kuvan lähde: IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 14: 9.]

Konehuoneet, IV-koneet sekä jäähdytys- ja kostutuslaitteistot

Ilmanvaihtokoneet pysäytetään tai asetetaan huoltotilaan ennen tarkastuksen aloitusta. Tämä tulisi tehdä yhdessä rakennuksen huoltohenkilökunnan kanssa, joka tuntee parhaiten koneiden toiminnan. Tarkastuksessa kiinnitetään huomiota ilmanvaihtokonehuoneen sekä IV-koneiden ja -laitteiden yleiseen puhtauteen ja kuntoon. Ilmanvaihtokoneen sisältä voidaan aistinvaraisesti arvioida myös ilmanlaatua poikkeavien hajujen ja tunkkaisuuden perusteella. [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 10: 2.]

Yleisen puhtauden lisäksi ilmanvaihtokoneista tarkastetaan koneen osien välisten tiivisteiden kunto, jotta tulo- ja poistoilmat eivät sekoitu koneessa. Myös mahdollisen lämmöntalteenottokiekon harjatiivisteet olisi syytä tarkastaa ohivirtauksen välttämiseksi. Lisäksi ilmanvaihtokoneista tulisi tarkastaa mm. puhaltimien kiilahihnojen kunto sekä puhaltimien pyörimissuunnat. Oikeat pyörimissuunnat on esitetty usein puhaltimessa, mutta tietoja voi etsiä myös esimerkiksi ilmanvaihtokoneen tuotekortista tai huolto-ohjeesta. Myös IV-koneeseen liittyvien mittareiden toiminta tulisi arvioida tarkastuksessa. IV-koneet voivat aiheuttaa meluhaittoja, etenkin mikäli niitä käytetään suurella teholla, suuren käyntiäänen ja ilman liikkeiden aiheuttaman melun lisäksi esimerkiksi, mikäli niitä ei ole erotettu riittävin tärinänvaimentimin ympäröivistä rakenteista. Tästä syystä tarkastuksen yhteydessä kiinnitetään huomiota koneiden kiinnityksiin. Kokeneet ilmanvaihdon tarkastajat pystyvät arvioimaan IV-koneen toimintaa, kuten laakerien kuntoa, vuotoja tai vääriä ilmareittejä, pelkästään käyntiäänen perusteella. Toisaalta sisäilmatutkimuksen yhteydessä tehtävän tarkastuksen yhteydessä ei koneen toimintaa tarvitse paneutua liian syvällisesti, vaan koneen tarkempi tutkimus suoritetaan tarvittaessa IV-asiantuntijan toimesta. [Ympäristöopas 2016: 85; IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 10: 2.]



Kuva 48. Puhaltimen siipipyörän oikea pyörimissuunta on usein esitetty puhaltimessa nuolella. Tarkastuksen yhteydessä voidaan tarkistaa myös kiilahihnan kunto ja kireys. [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 9: 5.]

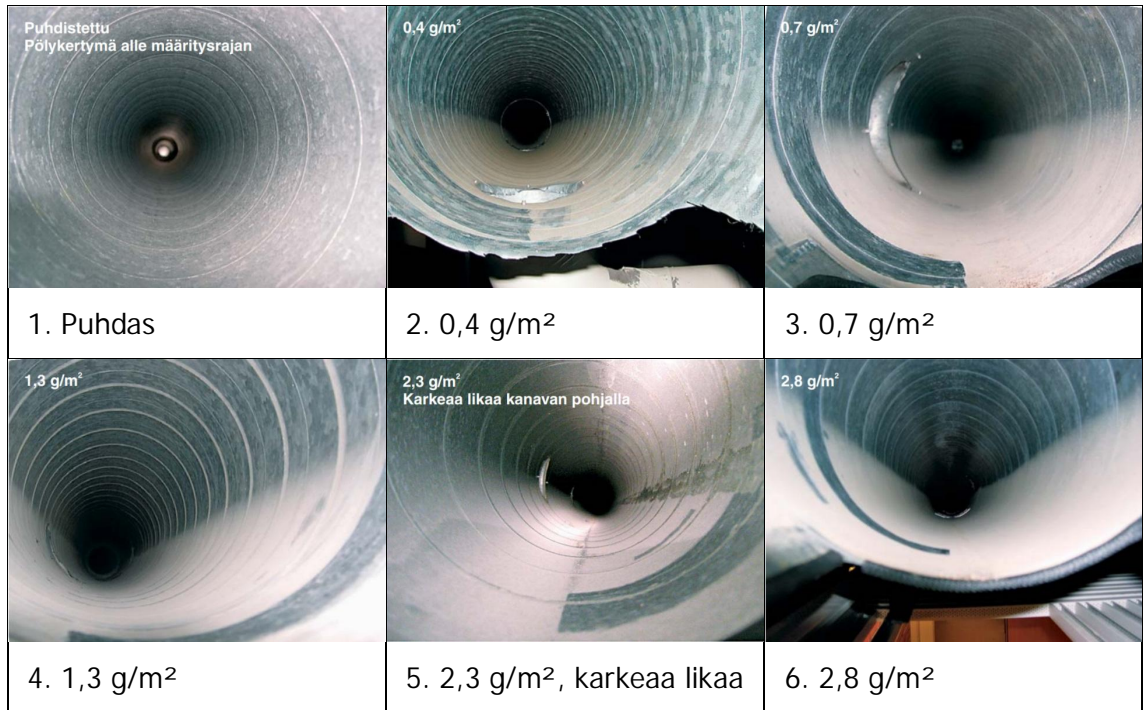
Kosteudelle alttiiden osien, kuten IV-koneiden ja mahdollisten jäähdytyslaitteiden osalta tarkastetaan etenkin niiden kondenssivesialtaat sekä viemäroinnin toteutus ja vesilukot. Mikäli altaiden pohjalla on kosteutta tai vettä, joka mahdollistaa mikrobikasvuston syntymisen, ovat kyseisten osien puhdistus- ja huoltotoimenpiteet ajankohtaisia. Myös konehuoneiden lattiakaivojen sekä vesilukkojen kunto tarkastetaan samassa yhteydessä. Esimerkiksi vesilukkojen puutteellinen toiminta saattaa aiheuttaa hajuhaittoja konehuoneisiin, ja mahdollisesti myös vuotoilman mukana ilmanvaihdon kautta sisäilmaan. [Ympäristöopas 2016: 85.]

Kanavistot

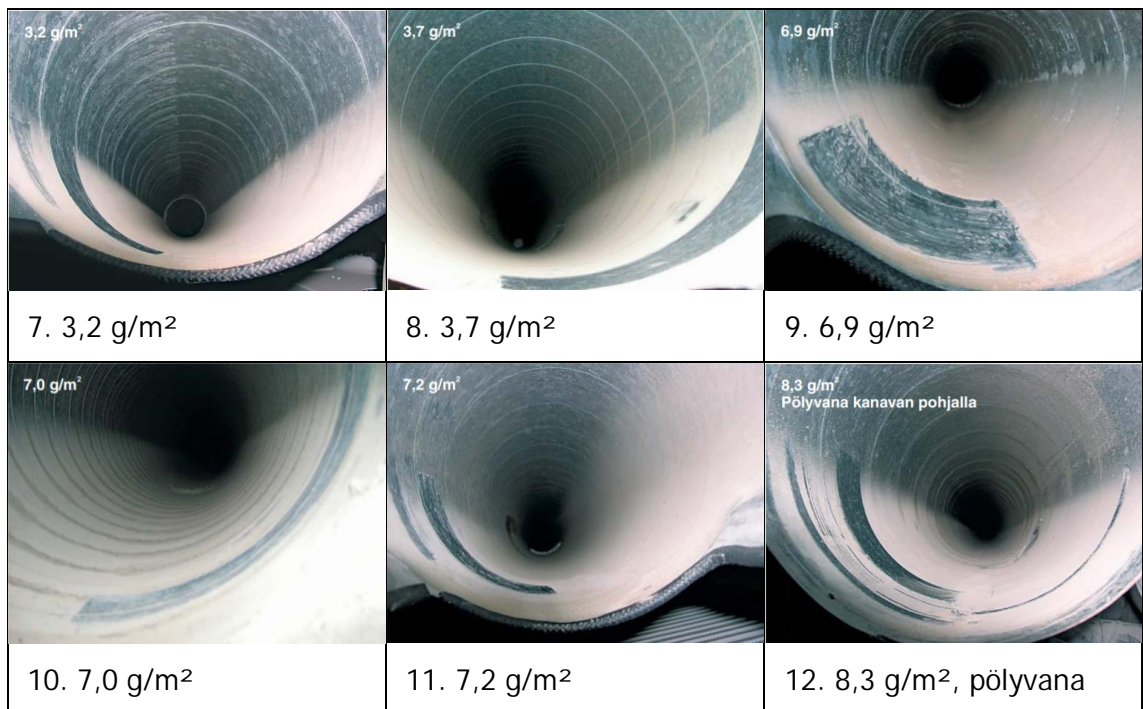
Nykyaikaisissa IV-järjestelmissä on kanaviston tarkastusta varten huoltoluukut. Kanavistojen puhtaus voidaan tarkastaa huoltoluukkujen lisäksi myös pääte-elimien kautta. Suomen LVI-liiton ilmanvaihtojärjestelmien kuntotutkimusohjeessa [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 4: 4] on esitetty, että kanavistojen puhtauden tarkastus tehdään järjestelmästä riippuen vähintään viidestä eri pisteestä. Lisäksi tarkastuspisteiden määrää tulisi kasvattaa aina yhdellä pisteellä jokaista alkavaa 200 vaakakanavametriä kohden, kun kanaviston yhteispituus ylittää yhden kilometrin.

Kierresaumakanaviston puhtauden arvioinnissa aistinvaraisin menetelmin voidaan käyttää hyväksi kuvissa 49 ja 50 esitettyä visuaalista arviointiasteikkoa. Ohjeita muiden kanavatyyppien tarkastamiseen sekä puhtauden tulkintaan ja toimenpidesuosituksen

tekemiseen on esitetty esimerkiksi LVI-ohjekortissa 39-10409, *Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus*. [LVI 39-10409, 2017.]



Kuva 49. Kierresaumakanavien visuaalinen puhtauden arviointiasteikko, kun pölymäärä alle 3 g/m². [LVI 39-10409, 2017: liite 1.]



Kuva 50. Kierresaumakanavien visuaalinen puhtauden arviointiasteikko, kun pölymäärä yli 3 g/m². [LVI 39-10409, 2017: liite 1.]

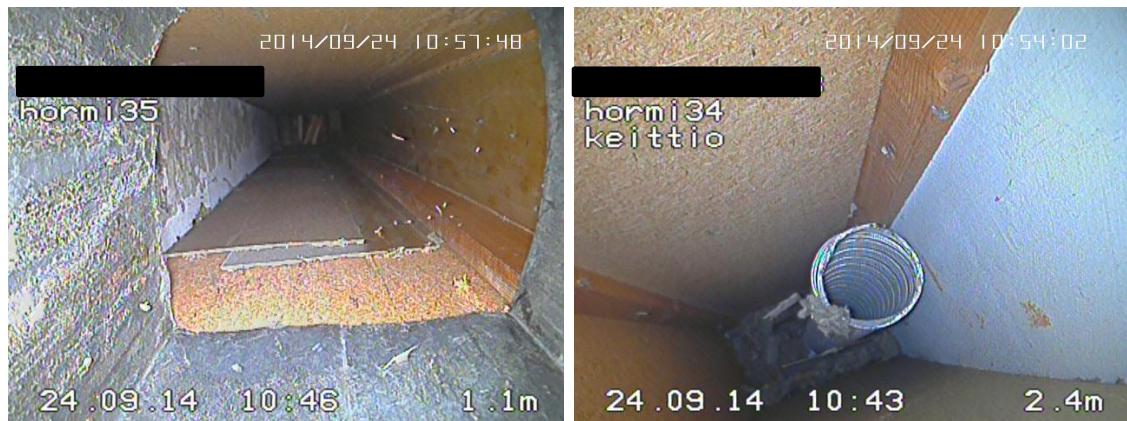
Tarkastetun kierresaumakanavan pölymäärää verrataan arviointiasteikon pölymäärään, jolloin saadaan arvio kanavan pölymäärästä. Arvioinnin apuna voidaan käyttää lisäksi seuraavia ohjeita:

- pölykertymä on alle 1 g/m², mikäli pyöreässä kanavassa ei ole klo 3 ja 9 kohdilla selkeää pölyrajaa.
- pölykertymä on yleensä yli 5 g/m², jos pölyä on kasaantunut kanavan pohjalle tai saumakohtiin.
- jos kanavassa on karkeaa likaa, sen vaikutus puhtaustasoon arvioidaan erikseen pölykertymän arvioinnin jälkeen. [LVI 39-10409, 2017.]

Tarkastuksen yhteydessä tulee kiinnittää huomiota myös kanaviston kuntoon. Yksi tarkastettava osa-alue on kylmissä tiloissa sijaitsevan kanaviston lämmöneristys. Erityisesti tuloilmakanaviston lämmöneristys olisi syytä tarkastaa, jotta puutteellinen tai puuttuva eristys ei aiheuta tuloilman lämpötilan muutoksia, tai kondenssikosteutta esimerkiksi yläpohjatilassa. Toinen tärkeä tarkastuskohde on kanaviston ilmantiiveys. Etenkin vanhoille, rakennusaineisilla ilmanvaihtokanavilla varustetuille rakennuksille tyypillisiä ongelmia ovat etenkin ilmanvaihtokanavien epätiiveydet. Epätiiviit ilmanvaihtokanavat aiheuttavat monenlaisia haittoja. Näitä ovat mm. meluhaitat, epäpuhtauksien leviäminen sisätiloihin sekä puhaltimien suuremmat koot ja suuremmat käsiteltävät ilmamäärät keskuskoneistossa. [Seppänen & Seppänen 1996: 192.] Epätiiveydet vaikuttava usein myös ilmanvaihtojärjestelmän paloturvallisuuteen. Vanhojen rakennusten rakennusaineisten hormien, kuten tiili- tai betonihormien, tiiveys on rakennusaineesta riippuen usein jo lähtökohtaisesti heikompi, kuin nykyaikaisten kierresaumahormien. Kierresaumahormit ovat itsessään tiiviitä, mutta niidenkin liitoksiin ja liittymiin voi jäädä epätiiveyskohtia. Kuvassa 51 on esitetty esimerkki erään asuinrivitalon hormirakenteista, jotka paljastuivat tutkimusten yhteydessä täysin epätiiviiksi.

Ilmanvaihtokanaviin voidaan rinnastaa myös siirtoilmareitit. Toisinaan rakennuksissa ilmaa liikutellaan siirtoilmana ”puhtaammista” tiloista ”likaisempia” kohti. Tyypillisiä esimerkkejä ovat esimerkiksi vanhemmat toimisto- tai koulurakennukset, joissa tuloilmapistete voi olla sijoitettu toimisto- tai luokahuoneeseen ja poistoilmapistete esimerkiksi käytävään, jolloin ilma liikkuu siirtoilmana erillisten siirtoilmasäleikköjen tai vastaavien kautta tilasta toiseen. Toinen vastaava esimerkki on esitetty kuvassa 57. Asuinrakennusten osalta tyypillinen esimerkki ovat vaikkapa kylpyhuoneiden kynnyksraot. Tavallisimmin asuinhuoneiston poistoilmapistete sijaitsee keittiön liesituulettimen ohella kylpyhuoneessa ja tuloilmapistete esimerkiksi makuuhuoneessa. Ilma liikkuu kylpyhuoneen

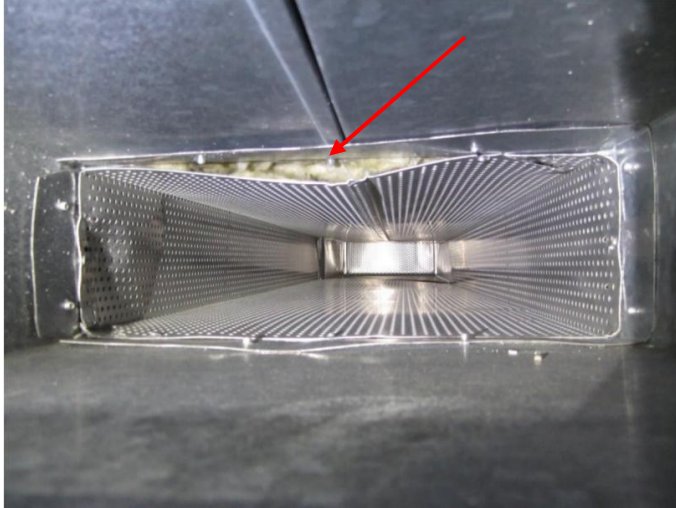
poistoilmapisteesen oven alapuolisen kynnyksraon kautta. Usein kynnyksraot ovat kuitenkin puutteellisia tai puuttuvat kokonaan, jolloin myös ilmanvaihdon toiminta hankaloituu. Ilmanvaihtokanavien tarkastuksen yhteydessä on siis syytä tarkastaa myös suunniteltujen siirtoilmareittien toiminta ja olemassaolo. Hygienian kannalta on syytä varmistaa, että ilma liikkuu aina ”puhtaammasta” tilasta ”likaisempaan”, sekä lisäksi esimerkiksi siirtoilmasäleikköjen puhtaus. [Huttunen 2015].



Kuva 51. Erään asuinrivitalon poistoilmakanavia. Vasemmalla on kylpyhuoneen lastulevyrakenteisen hormikotelon liitos katolle johtavaan metallikanavaan, metallikanava päättyy lastulevykotelon sisään, kanavan pohjalla oli lisäksi rakennusjätettä. Oikealla näkyy keittiössä sijaitseva poistoilmahormi, keittiön ns. ”kurtuputki” päättyy levyrakenteiseen hormikoteloon. Molemmissa tapauksissa poistoilma pääsi lastulevyrakenteisten hormikoteloiden levysaumoista takaisin huoneilmaan. Hormit eivät täyttäneet rakennusajankohdan tai nykyisiä määräyksiä esimerkiksi tiiveyden, palonkestävyyden tai nuohottavuuden osalta. [Kuvien lähde: Vahanen Oy.]

Äänenvaimentimet

Kanavistojen tarkastuksen yhteydessä tarkastetaan myös järjestelmään liittyvien äänenvaimentimien puhtaus ja kunto. Äänenvaimentimien sijainnit selviävät ilmanvaihtosuunnitelmista, tyypillisesti niitä käytetään esimerkiksi puhaltimen molemmin puolin, jotta puhallinmelun pääsyä voidaan ehkäistä sekä huone- että ulkotiloihin. Äänenvaimentimia on usein sijoitettu myös kanavistoon sekä esimerkiksi päätelaitteiden paineentasauslaatikoihin. Äänenvaimentimissa on käytetty usein mineraalivillapohjaisia äänieristeitä. Mikäli ääneneristeiden pinnat tai niitä suojaavat rakenteet ovat rikki tai epätiivitä, voi eristeistä päästä sisäilmaan mineraalikuituja, jotka taas voivat aiheuttaa rakennuksen käyttäjille esimerkiksi ärsytysoireita. Mikäli rakennuksen sisällä havaitaan merkkejä mineraalikuuduista, ovatkin ilmanvaihdon äänenvaimentimet yksi todennäköinen kuitulähde. Esimerkki vaurioituneesta äänenvaimentimesta on esitetty kuvassa 52.



Kuva 52. Kuvan ilmanvaihtokanaviston äänenvaimentimen ääneneristysmateriaalina on mineraalivillaa. Mineraalivillan pinnoitteena toimiva reikäpelti on kuitenkin vaurioitunut. Äänenvaimentimen läpi liikkuvat ilmavirrat voivat irrottaa villasta mineraalikuituja ja kuljettaa niitä huonetiloihin. [kuvan lähde: IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 12: 5.]

Päätelaitteet

Likaiset tuloilman päätelaitteet tuovat sisäilmaan epäpuhtauksia samaan tapaan kuin likaiset kanavistotkin. Päätelaitteiden puhtauden tarkastus suoritetaan laitteiden pinnalta sekä avaamalla laitteita siten, että puhtauden tarkastaminen myös säleikköjen yms. sisäpuolelta on mahdollista. Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi likaisuutta tulisi arvioida myös esimerkiksi pyyhkäisemällä elimen likaantuvaa pintaa sormella noin 10 cm:n matkalta. Pyyhkäisyn jälkeen pölyn kasaantumisen, pyyhkäisyjäljen sekä sormeen jääneen pölyn perusteella voidaan havainnoida elimen likaisuutta, ks. kuva 53.



Kuva 53. Toimistorakennuksen tuloilmakanaviston jäähdytinpalkkien alapuolisen suojalevyn pinta ei silmämääräisesti arvioituna näytä kovinkaan likaiselta, mutta jo pienikin pyyhkäisy sormella tuo levyn pölyisyyden esille. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Päätelaitteiden puhtauden lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa voidaan tarkastella aistinvaraisesti päätelaitteiden kautta ennen tarkempia ilmavirtamittauksia. Tulo- ja poistoelimiä voidaan tunnistella esimerkiksi kädellä. Tarvittaessa avuksi voidaan ottaa esimerkiksi paperinpala, joka taipuu helposti ilmavirrassa. Mikäli näin ei havaita lainkaan ilmavirtaa rakennuksen ollessa käytössä, on ilmanvaihtojärjestelmän toiminnassa tai automaatiossa puutteita, jotka on selvitettävä tarkemmin tutkimuksin.



Kuva 54. Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa voidaan selvittää aistinvaraisesti esimerkiksi paperipalan avulla. Vasemmassa kuvassa on tuloilmakanava, jonka kautta havaittiin selkeästi tuloilmavirta (paperinpala taipui ilmavirran mukana). Oikealla on poistoilmakanava, joka myös oli toiminnassa (paperinpala pysyi itsestään kiinni poistoilmakanavassa). [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

6.3 Järjestelmän sopivuus rakennuksen käyttötarkoitukseen

6.3.1 Ilmanvaihtojärjestelmän soveltuvuus rakennuksen kuormitukseen

Olellisena osana ilmanvaihdon tarkastusta, on selvitettävä rakennuksen ilmanvaihtomäärien riittävyys tilojen kokoon ja käyttäjämäärään nähden. Etenkin rakennusten korjausten, esimerkiksi tilojen käyttötarkoituksen muutosten yhteydessä, myös huonetilan käyttäjämäärä usein muuttuu. Mikäli käyttäjämäärä lisääntyy, ei vanha tuloilmamäärä yleensä enää riitä uuteen käyttötarkoitukseen, mikäli sitä ei alun perin ole selvästi yllimitoitu. Toisaalta myös näkemykset riittävästä ilmanvaihtomäärästä ovat muuttuneet vuosien kuluessa, ja ilmanvaihdon alkuperäinen, rakentamisen tai peruskorjauksen aikainen, ilmanvaihtomäärä ei välttämättä enää vastaa tämän päivän näkemystä hyvästä sisäilman laadusta. Nämä seikat tulee huomioida etenkin, mikäli rakennusta tai sen ilmanvaihtoa ollaan peruskorjaamassa tulevaisuudessa. Korjausten yhteydessä myös ilmanvaihtomäärät tulisi saattaa tämän päivän määräysten tai suositusten mukaisiksi. Erilaisten yleisimpien tilojen ulkoilmavirran mitoitusarvoja on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Tuloilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvoja Sisäilmastoluokitus 2008:n [RT 07-10946, 2008: 14] mukaan. Luokka S3 vastaa Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 [2012] mukaisia mitoitusarvoja.

Tila	Lattia-ala [m ² / hlö]	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/ D2	
		[dm ³ /s/ hlö]	[dm ³ /s/ m ²]	[dm ³ /s/ hlö]	[dm ³ /s/ m ²]	[dm ³ /s/ hlö]	[dm ³ /s/ m ²]
Toimitila	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
Ruokala ja kahvila	2	11	6...8	8	5...6	6	5,0
Kuumennus- ja jakelu-keittiö			10		10		10
Valmistuskeittiö			15..40		15..40		15
Astianpesuhuone			12..20		10..15		
Liiketila	6	13	2,5	10	2,0		2,0
Näyttelytila			4		4		4
Kirjasto			3		2	8	2,0
Salit (konsertti, teatteri, elokuva, koulun sali)		10		8		8	
Lämpö			5		5	0	5
Kuntosali			6,0		6,4		6,0
Liikuntasali			5,5		4,0		4,0
Liikunta- ja uimahalli, urheilijat			2,5		2		2
Liikunta- ja uimahalli, katsojat		10		8		8	
Lääkäriasema			3...4		2...3		
Sairaala (ei koske erikoistiloja)			3...6		2...3		
Potilashuone		15	2,0	15	1,5	10	1,5
Leikkaussali			15..20		15..20		
Laboratorio			2...5		2...5		
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,5
Kopiointi-, tulostushuone (poisto)			4		4		4
Työtilojen WC (poisto)		20		20		20	
Pesuhuone (poisto)			5		5		5
Pukuhuone			5		5		5
Löylyhuone			3		2		2
Siivoustila (poisto)			4		4		4
Jätehuone (poisto)			5...10		5...10		5

Ympäristöministeriön uusia rakennuksia koskevan asetuksen 1009/2017 [2017] mukaan: *”erityissuunnittelijan on mitoitettava ilmanvaihtojärjestelmä siten, että oleskelutiloihin voidaan johtaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun edellyttämä ulkoilmavirta.”* Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on asetuksessa määritetty vähintään 6 dm³/s henkilöä kohti käyttöaikana, mikäli käyttötarkoituksen vuoksi ei vaadita suurempia ilmavirtoja. Koko rakennuksen tuloilmamääräksi on lisäksi määritetty vähintään 0,35 (dm³/s)/m² lattian pinta-alaa kohti, kuitenkin siten että asuinhuoneiston ulkoilmavirta on vähintään 18 dm³/s.

Tilojen käyttötarkoitukseen tai käyttäjämäärään nähden liian pienet ilmamäärät aiheuttavat sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien kasvamista. Tyypillinen esimerkki tästä on vanhan koulurakennuksen ilmanvaihtoon nähden liian suuret oppilasmäärät. Tästä aiheutuu usein esimerkiksi sisäilman hiilidioksidipitoisuuden kasvaminen liian suureksi oppituntien aikana, joka taas saa sisäilman tuntumaan tunkkaiselta ja huonolaatuiselta. Tilannetta yritetään usein korjata esimerkiksi välituntien aikana ikkunatuuletuksen avulla. Toisaalta myös liian tehokas ilmanvaihto voi aiheuttaa viihtyvyysongelmia tai oireiluja. Liian suuret ilmamäärät saattavat tuntua esimerkiksi epämiellyttävänä vetona. Lisäksi ylimitoitettu poistoilmamäärä laskee sisäilman suhteellista kosteutta etenkin talvikausina, jolloin kuiva huoneilma voi aiheuttaa ärsytysoireita sekä herkistää tilojen käyttäjiä myös muille epäpuhtauksille ja niiden aiheuttamille oireille. Ilmanvaihtotarkastuksen yhteydessä onkin syytä kiinnittää huomiota, että mitatut ilmamäärät soveltuvat tilan käyttötarkoitukseen. [Huttunen 2015; Ympäristöopas 2016: 82.]

Vaikka alkuperäisistä LVI-suunnitelmista löytyisikin ilmanvaihdon mitoitusmäärät, on niiden toteutuminen käytännössä varmistettava vielä vähintäänkin pistokokein mittamalla. Mittausmenettelyistä on esitetty ohjeita kohdassa 6.5.

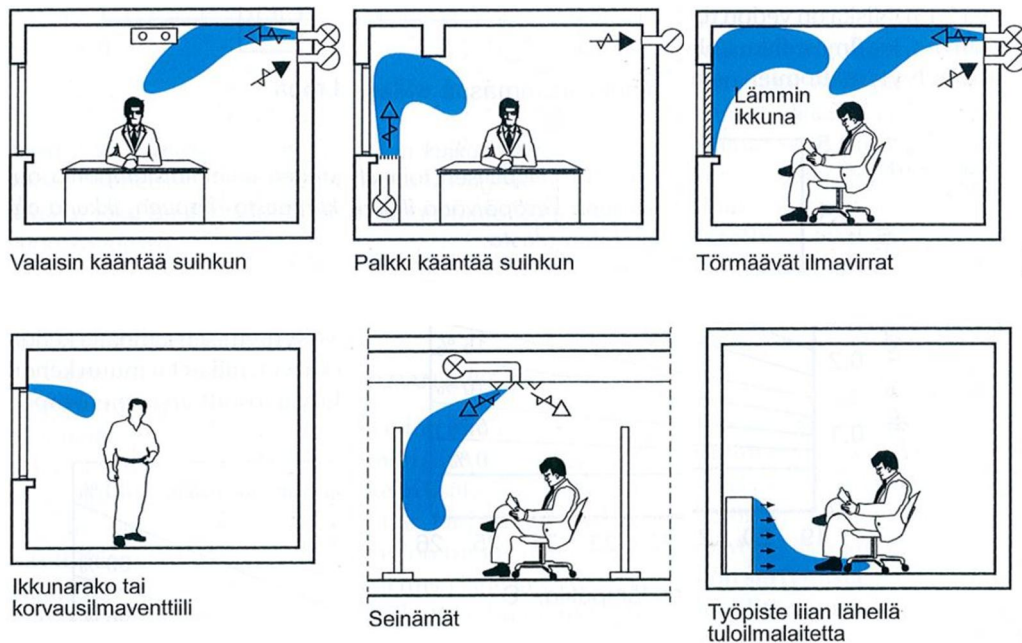
6.3.2 Ilmanjakoratkaisut ja päätelaitteet

Yksi tyypillinen sisäilman laaduntunnetta heikentävä tekijä on vääränlainen tai muuten puutteellinen ilmanjakotapa. Ilmajakotavan puutteet voivat aiheuttaa mm. vedon tunnetta, tunkkaisuuden tunnetta sekä kylmyyden ja kuumuuden tunnetta. Toimivan ilmanjakotavan peruseriaatteena on, että puhtaan tuloilman tulisi huuhdella mahdollisimman tasaisesti koko tuloilmakanavan palvelualueetta, aiheuttamatta kuitenkaan vedon tunnetta. Esimerkkejä vedon tunnetta aiheuttavista rakenteellisista tai ilmanjakotavasta johtu-

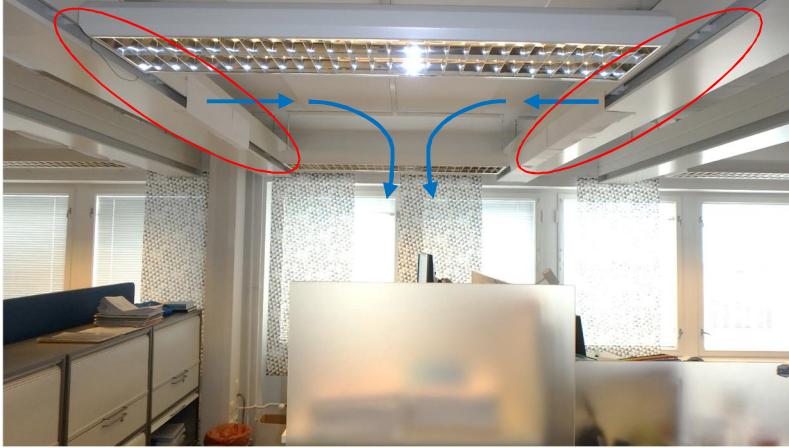
vista puutteista on esitetty kuvissa 55 ja 56. Tarkastuksen yhteydessä tulisikin kiinnittää huomioita ainakin seuraaviin seikkoihin:

- tuloilma jakaantuu tasaisesti huonetilaan ja huuhtelee sitä riittävästi
- pääte-elimet ovat suunnitelmien mukaiset ja ne puhaltavat tai hajottavat tuloilmavirran halutulla tavalla
- tuloilmavirtaa ei puhalleta tai käännetä rakenteilla suoraan oleskelu-
vyöhykkeelle tai työpisteelle
- tuloilmaa ei imetä suoraan poistoilmavaihtoon väärin sijoitetuilla pääte-
elimillä
- siirtoilmareitit ovat suunnitelmien mukaiset eikä niitä ole tukittu

Tarkastuksen lisäksi tietoa ilmanjakotapojen puutteista saadaan yleensä hyvin suoraan käyttäjiltä tai huoltohenkilökunnalta.

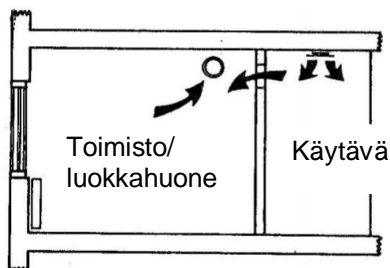


Kuva 55. Esimerkkitalanteita vedon syntymisestä ilmanvaihdon tai rakenteellisten puutteiden vaikutuksesta [Seppänen & Seppänen 1996: 22].



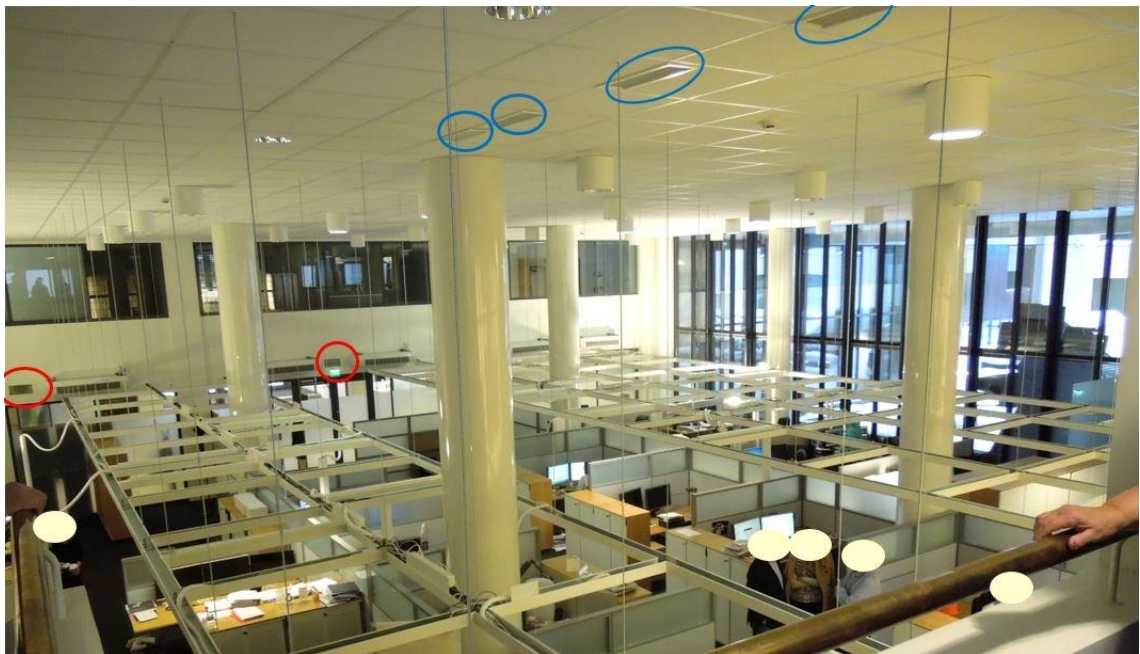
Kuva 56. Avotoimiston kattoon sijoitetut tuloilman jäähdytyspalkit puhaltavat viileää tuloilmaa toisiaan kohti, jolloin toisiinsa törmäävät ilmasuihkut kääntyvät alaspäin suoraan työpisteelle. Lisäksi viileä tuloilmasuihku jo itsessään pyrkii taipumaan alaspäin. Työpisteen käyttäjä on kokenut tuloilmasuihkun vedon tunteena ja pyrkinyt estämään sitä teippaamalla paperiesteitä työpisteen kohdalle tuloilmapalkkeihin. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Toinen usein toistuva puute ilmanvaihdon jakotavoissa on tulo- ja poistoilmaelinten vääränlainen sijoittelu. Esimerkiksi valtion rakennuttamissa 1970-luvun toimistotiloissa vakioratkaisuna oli, että tuloilma puhallettiin toimistotilojen väleissä kulkeville käytäville, josta se liikutettiin toimistohuoneissa sijaitsevien poistoilmaventtiileiden imun avulla virtaussäleikköiden kautta siirtoilmana toimistohuoneisiin (ks. kuva 57). Tämän järjestelmän avulla tapahtuvaa huoneen ilmanvaihdon määrää pidettiin kohtuullisena. [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 2: 22.] Omien kokemusten perusteella vastaavanlaista järjestelyä on käytetty toisinaan myös esimerkiksi koulurakennuksissa. Menettelyn ongelmana on, että raikas tuloilma imeytyy siirtoilmasäleikköjen kautta suoraan poistoilmakanavaan, eikä huuhtele huonetilaa tasaisesti. Käytännön kokemusten perusteella kyseisten järjestelmien ilmamäärät ovat myös mitoitukseltaan riittämättömiä, etenkin luokkatiloihin.



Kuva 57. Periaatepiirustus ilmanjakotavasta, jossa tuloilma puhalletaan käytäville, joista se liikutetaan toimistotiloihin siirtoilmana toimistoissa sijaitsevien poistoilmakanavien aiheuttaman imun avulla. [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 2: 22.]

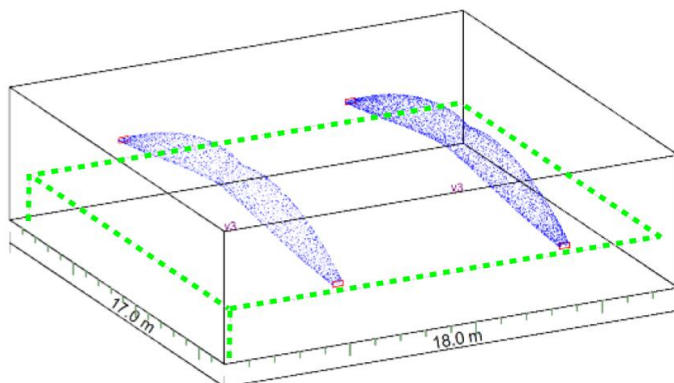
Korjausrakentamisen yhteydessä tulisi aina huomioida myös ilmanvaihdon toiminta. Etenkin tilojen käyttötarkoitusten tai huonejakojen muutoksissa tulisi aina vähintäänkin tarkastaa ilmanvaihdon toimivuus myös korjausten jälkeen. Käyttötarkoituksen muutosten yhteydessä myös huonetilan käyttäjämäärä usein muuttuu. Mikäli käyttäjämäärä lisääntyy, ei vanha tuloilman määrä yleensä enää riitä uuteen käyttötarkoitukseen, mikäli sitä ei alun perin ole selvästi ylimitoitettu. Toisaalta huoneistojaon, tai joskus jopa kalustejaon muuttaminen voi vaikuttaa tuloilman ilmasuihkun muotoon siten, että alkuperäinen ilmanjakotapa ei enää huuhtelee huonetta tasaisesti. Kuvassa 58 on esitetty tilanne, jossa huoneiston käyttötarkoituksen muutoksen jälkeen ilmanvaihdon toiminnan on huomattu olevan selvästi puutteellinen.



Kuva 58. Esimerkki erään toimistokonttorin puutteellisesta ilmanvaihdosta. Tilassa on aiemmin sijainnut avosali, joka myöhemmin muutettu avokonttoriksi, ilmanvaihtoa ei ole korjattu. Tuloilmakanavat sijaitsevat vastakkaisilla seinillä huonekorkeuden puolivälissä (punaiset ympyrät) ja poistoilma imetään katossa sijaitsevien kanavien kautta (siniset ympyrät). Tila on jaettu pieniin osiin siirtosermeillä. Jo silmämääräisesti arvioituna on selvää, että tuloilma ei pääse huuhtelemaan toimistopisteitä riittävästi, vaan imeytyy lähes suoraan poistoilmakanaviin. Myös käyttäjät ovat raportoineet puutteellisesta sisäilman laadusta. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Mikäli ilmanjakotavan toimivuudesta ei silmämääräisesti arvioimalla saada riittävää varmuutta, voidaan toimintaa tarkastella esimerkiksi savukokeiden avulla tai erilaisin tietokonemallinnuksin. Savukokeisiin soveltuvia välineitä on esitetty kuvassa 41. Merkisavua päästetään pääte-elimien läheisyyteen, jolloin ilman liikkeitä on helppo havain-

noida savun liikkeiden perusteella. Savukokeita on helppo suorittaa ilman syvempää IV-alan asiantuntemusta, mutta erityisesti palonilmaisimien reagointi merkkissavuun on selvitettävä huoltohenkilökunnalta ennen kokeiden suoritusta, tai ilmaisimet on kytkettävä kokeiden ajaksi kokonaan pois käytöstä. Tietokonemallinnusten käyttäminen taas vaatii jo enemmän ilmanvaihtotekniikkaan perehtyneisyyttä sekä mallinnusohjelmien hallitsemista, ja ne kuuluvatkin useimmiten esimerkiksi LVI-insinöörin toimenkuvaan. Esimerkki ilmanvaihdon tietokonemallinnetusta heittokuvioista on esitetty kuvassa 59.



Kuva 59. Kuvan 58 avokonttorin ilmanvaihdon mallinnettu heittokuvio. Kuvassa oleskelualue on rajattu vihreällä katkoviivalla ja tuloilmasuihku on piirretty sinisellä. Heittokuvioista varmistui, että tuloilmasuihku ei huuhtelee juuri lainkaan oleskelualueetta. [Kuvan lähde: Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy.]

6.4 Käyttöasetusten ja toiminta-aikojen tarkastus

Painovoimaista ilmanvaihtoa lukuun ottamatta ilmanvaihdon toiminta on usein aikaohjattua. Aikaohjauksen tarkoituksena on säästää energiaa käyttämällä koneita pienemällä teholla silloin kun ilmanvaihdolle ei katsota olevan niin suurta tarvetta. Toimivan ilmanvaihdon lähtökohtana kuitenkin on, että rakennuksissa tulisi olla aina vähintäänkin ns. perusilmanvaihto päällä, joka estää epäpuhtauspitoisuuksien sekä kosteuden nousua sisäilmassa [Seppänen & Seppänen 1996: 164–165].

Rakennusmääräyskokoelman osassa D2 on maininta, että rakennusten käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto voidaan järjestää pitämällä hygieniatilojen ilmanvaihto päällä jatkuvasti, tai käyttämällä ilmanvaihtoa jaksottaisesti. [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012: 11]. Tämä maininta onkin johtanut siihen, että vuosikymmeniä on ollut yleisesti käytössä menetelmä pitää käyttöaikojen ulkopuolella ainoastaan hygieniatilojen kohdepoistoilmanvaihto käynnissä. Rakennusten perusilmanvaihdon ol-

lessa pois päältä, jatkuva kohdepoistoilla tapahtuva poistoilma imeminen aiheuttaa rakennuksen alipaineisuuden kasvamisen, jolloin myös tilojen epäpuhtauspitoisuudet nousevat yleensä korkeiksi. Etenkin suurissa koulu- ja toimistorakennuksissa jopa kaksi kolmasosaa voi olla käyttöajan ulkopuoleista aikaa, ja usein ilmanvaihto kytketään päälle vasta ensimmäisten käyttäjien saapuessa tiloihin. Tämä johtaa ensimmäisten käyttäjien altistumisen epäpuhtauksille, jotka usein havaitaan esimerkiksi tunkkaisuutena tai viemäriin hajuna aamuisin. Tämän vuoksi perusilmanvaihtoa ei tulisi kytkeä milloinkaan kokonaan pois päältä, tai mikäli näin menetellään, se tulisi kuitenkin käynnistää useita tunteja ennen käyttäjien saapumista tiloihin. [Järnström ym. 2016: 85–90.]

Uusia asuinrakennuksia koskevassa asetuksessa [Ympäristöministeriön asetus 1009/2017] on määritetty, että muun kuin asuinrakennuksen tuloilmamäärän on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)}/\text{m}^2$ lattian pinta-alaa kohti. Lisäksi ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa. Tämä ei kuitenkaan koske rakennuksen laajennusta, jossa voidaan hyödyntää vanhan osan olemassa olevaa IV-järjestelmää, eikä sisäilman laatuun tule heikennystä tämän vuoksi.

Koneellisella poistoilmalla varustettujen rakennusten ilmanvaihdon säädöt ovat tyypillisesti nykyaikaisia koneellisia tulo-poisto-koneita suppeammat. Usein koneissa on vain yksi tehoasetus, jolloin kone on joko täysteholla tai kokonaan kiinni. Osa koneista on kuitenkin varustettu osateho-asetuksella. Esimerkiksi asuinrakennuksissa asetuksia hyödynnetään tyypillisesti siten, että arkisin ilmanvaihto on täysteholla aamuisin ennen valtaväestön heräämistä sekä iltapäivisin, kun useat asukkaat palaavat töistä ja laittavat esimerkiksi ruokaa. Muina aikoina ilmanvaihto voi käydä osateholla, kun ilmanvaihtuvuudelle ei katsota olevan niin suurta tarvetta. Ilmanvaihdon tehostuksessa tulisi huomioida, että tehostus aloitetaan riittävän aikaisin ennen tehostuksen tarvetta, jotta sisäilma ehtii vaihtua ajoissa. Esimerkiksi koulurakennuksissa Asikaisen ja Peltolan [2008: 61] mukaan ilmanvaihto olisi käynnistettävä kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöä. Ilmanvaihtoa voidaan usein myös tehostaa erillispuhaltimien avulla asuntokohtaisesti käsin, esimerkiksi liesituulettimen säätöjen avulla.

Uudemmissa järjestelmissä koneellista tulo-poistoilmanvaihtoa ohjataan usein rakennusautomaation avulla. Ilmanvaihdon toimintaa voidaan ohjata useiden eri parametrien, kuten aikaohjelmien tai ulkoilman lämpötilan avulla. Ilmanvaihto voidaan säätää siten, että ilmanvaihto tehostuu automaattisesti, kun esimerkiksi sisäilman hiilidioksidipitoisuus tai lämpötila ylittää tietyn esisäädetyin arvon. Etenkin suurempien kohteiden

nykyaikaisisten koneellisen ilmanvaihdon asetuksia, kuten käyntiaikoja voidaan tarkastaa ja muuttaa valvomon kautta tietokoneella. Valvomoista voidaan myös tarkastaa ilmanvaihdon hetkellistä toimintaa, kuten IV-koneiden syöttämiä ilmamääriä sekä esimerkiksi tuloilman lämpötilaa. Kuvassa 60 on esitetty erään toimistorakennuksen yhden tuloilmakoneen valvomosta tarkastetut käyntiajat.

307TK Tulollmakone toimistot 2.-7.krs

Uio_Times

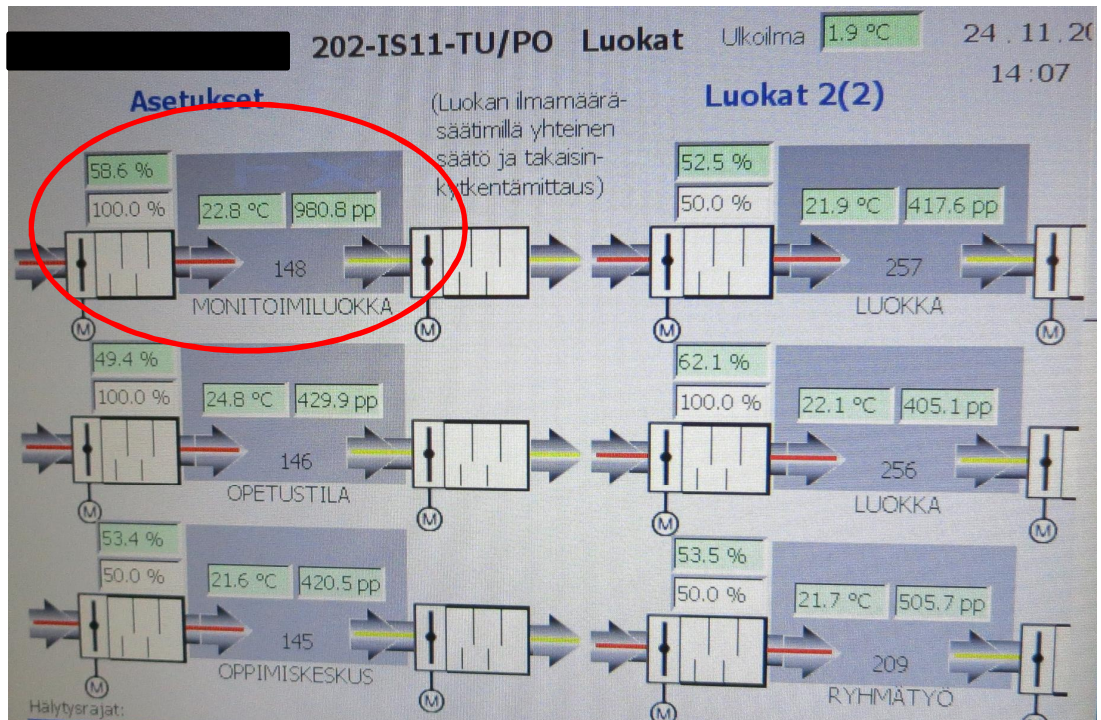
Node nimi VAKS_CPU2 UIO-32 3.03 Kelloasetus Pvm asetus Sivukellot 10:10:20 10.02.2016 10:10

Aikaohjelma 1 Kopioi/Liitä Kohde: 307TK Autom.

MAANANTAI	TIISTAI	KESKIVIIKKO	TORSTAI	PERJANTAI	LAUANTAI	SUNNUNTAI
05,00 19,00	05,00 19,00	05,00 19,00	05,00 19,00	05,00 19,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00

Kuva 60. Erään toimistorakennuksen tuloilmakoneen 307 TK käyntiajat valvomonäytöstä tarkastettuna. Kone on käynnissä ma-pe klo 05:00...19:00. Viikonloppuisin kone ei tuo rakennukseen tuloilmaa. IV-suunnitelmista voidaan tarkastaa kyseisen tuloilmakoneen palvelualue. Mikäli rakennuksen kyseisellä alueella tehdään töitä myös iltaisin tai viikonloppuisin, on kyseisen tuloilmakoneen aikaohjelmaa syytä muuttaa. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Nykyaikaiset koneelliset tulo-poistoilmajärjestelmät ovatkin usein hyvin monimutkaisia kokonaisuuksia, ja niinpä niiden automatiikassa voi myös esiintyä monenlaisia ongelmia. Järjestelmään voi liittyä useita eri tulo- ja poistoilmakoneita, jolloin väärin säädetynä eri palvelualueiden koneiden säädöt voivat aiheuttaa epätasapainoa painesuhteisiin. Rakennusautomaatiojärjestelmissä voi olla esimerkiksi ohjelmointivirheitä tai vääriä asetusarvoja, joka aiheuttaa järjestelmän virheellistä toimintaa. Esimerkki virheellisistä asetusarvoista on esitetty kuvassa 61. Toimintaan voi vaikuttaa lisäksi eri parametrejä mittaavien ja ilmanvaihtoa säättävien anturoiden rikkoontuminen, jolloin ilmanvaihtojärjestelmän toiminta häiriintyy. Anturat ovatkin yleensä lyhytikäisempiä kuin ilmanvaihtokoneet, joten ilmanvaihdon käyntihäiriötä aiheuttavissa ongelmatapauksissa niiden kunto olisikin syytä tarkastaa asiantuntijan toimesta. [Ympäristöopas 2016; 83.]



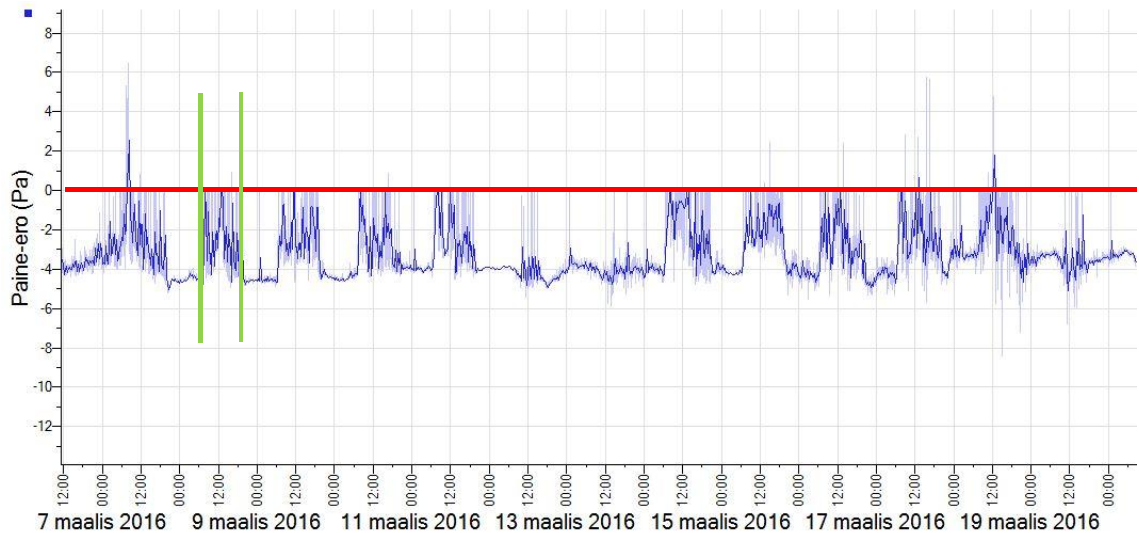
Kuva 61. Erään koulukohteen luokkien ilmamääräsäätimien valvomonäyttö. Monitoimiluokan 148 tuloilmamäärä oli ainoastaan ~59 % maksimituloilmamäärästä, vaikka sisäilman hiilidioksidipitoisuus oli noussut jo arvoon ~980 ppm. Ilmanvaihtoa olisi syytä säätää siten, että ilmanvaihto tehostuu jo pienemmillä sisäilman hiilidioksidipitoisuuksilla, jotta sisäilmaa ei koettaisi heikkolaatuiseksi. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Ilmanvaihdon käyntiaikojen selvitys mittaamalla

Mikäli koneellisen ilmanvaihdon käyntiaikoja ei pystytä selvittämään koneista tai valvomosta käsin, yksi hyvä keino käyntiaikojen selvittämiseksi on rakennuksen ja ulkoilman välisten paine-erojen mittaaminen. Paine-eromittaus tulisi suorittaa jatkuvana seurantamittauksena, jotta mittauksista voidaan todeta vuorokauden sekä viikonpäivien erot ilmanvaihdon toiminnassa. Sopiva mittausjakso voi olla esimerkiksi kaksi viikkoa. Lisäksi mittauksessa on huomioitava, että usein suuremmissa rakennuksissa on useita ilmanvaihtokoneita, näin ollen ennen mittausta on selvitettävä kunkin ilmanvaihtokoneen palvelualue, ja paine-ero on mitattava selvityksenalaisen koneen palvelualueelta.

Ilmanvaihdon toiminta vaikuttaa yleensä rakennuksen ja ulkoilman paine-eroihin niin voimakkaasti, että paine-eron seurantakäyrästä voidaan riittävällä tarkkuudella havaita merkittävät erot koneiden käyntitehoissa ulko-olosuhteiden aiheuttamista paine-eroon vaikuttavista tekijöistä, kuten tuulesta huolimatta. Tulkitsemista helpottaa lisäksi usein samoihin kellonaikoihin tapahtuvat paine-eron muutokset. Absoluuttisia käyntitehoja tai esimerkiksi ilmanvaihdon ilmamääriä paine-eromittauksella ei kuitenkaan saada selvi-

tettyä. Kuvassa 62 on esitetty esimerkki paine-eron seurantamittauksella saatu mitauskäyrä, josta pystyttiin tulkitsemaan ilmanvaihdon käyntiaikoja. Paine-eromittauksen suoritus on esitetty tarkemmin kappaleessa 6.6.



Kuva 62. Erään tulo-poistoilmanvaihdon varustetun vanhan koulurakennuksen kahden viikon paine-eroseurannan avulla saatu paine-erokäyrä. Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron nollassa on merkitty punaisella viivalla. Käyrässä näkyy selvä muutos arkipäivisin klo 7...20 välisinä aikoina (tiistai 8.3.2016 klo 7...20 rajattu vihreillä viivoilla). Tuolloin kyseisen tilan paine-ero suhteessa ulkoilmaan oli keskimääräisesti noin -2,5 Pa, kun muina aikoina paine-ero oli noin -4,5 Pa. Tästä voidaan päätellä, että myös ilmanvaihdon toiminnassa tapahtuu muutos kyseisinä aikoina, koska ulkoiset tekijät kuten tuuli, eivät aiheuta yhtä säännöllisiä poikkeamia paine-eroihin. Kyseisessä kohteessa oli ilta- ja yöaikaan päällä ainoastaan kohdepoisto hygieniatiloista, kuten WC-tiloista. Tämä aiheuttaa huone-tilojen alipaineisuuden kasvamisen verrattuna päiväaikaan, jolloin koko rakennuksessa oli käytössä tulo- ja poistoilmanvaihto. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

6.5 Ilmamäärien ja tuloilman lämpötilan tarkastus

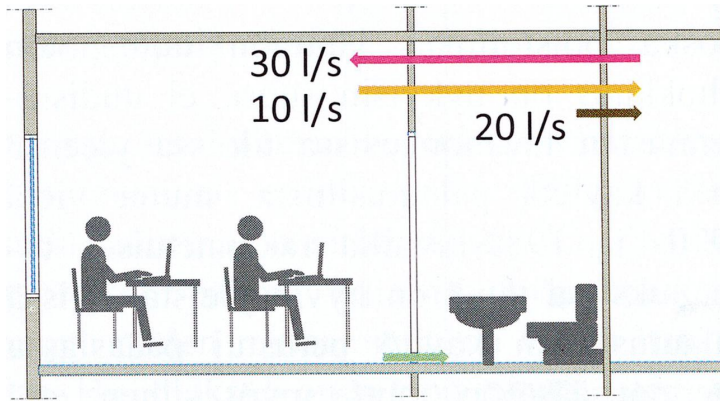
Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat ts. tilavuusvirrat ovat liian pieniä, ne aiheuttavat yleensä sisäilman laadun heikkenemistä. Liian suuret tilavuusvirrat taas aiheuttavat vedon tunnetta, meluongelmia sekä ylimääräistä energiankulutusta. Tulo- ja poistoilmavirtojen väärät suhteet taas voivat aiheuttaa epäpuhtauspäästöihin ulkoilmasta, rakenteista tai likaisista tiloista, sekä johtaa pahimmillaan kosteuden tiivistymiseen rakenteisiin ja sitä kautta rakenteiden vaurioitumiseen. Väärät tuloilman lämpötilat voivat vastaavasti aiheuttaa ilmanlaadun heikkenemistä; esimerkiksi liian lämmin tuloilma voi jäädä katon rajaan ja huuhtoutua poistoilman mukana ulos rakennuksesta huuhtelematta oleskeluvyöhykkeitä. Liian lämpimillä ja kylmillä sisäolosuhteilla on lisäksi vaiku-

tuksia esimerkiksi työtehoon ja viihtyvyyteen. Yksi tärkeimpiä ilmanvaihtotarkastuksen tehtäviä onkin huonetilojen ilmamäärien sekä tuloilman lämpötilojen tarkastus. [Holopainen ym. 2012.]

6.5.1 Ilmamäärät

Normaalisti asuinrakennuksissa ilmanjako pyritään toteuttamaan siten, että rakennukset ovat hieman alipaineisia suhteessa ulkoilmaan, jotta sisäilman kosteutta ei pääsisi höyrönsulun läpi vaipparakenteisiin, ja näin tiivistymään aiheuttaen pahimmassa tapauksessa kosteusvaurioita. Tyypillisesti kokonaispoistoilmavirta mitoitetaan noin 5-10 % tuloilmavirtaa suuremmaksi. Liian suuri ero virtojen välillä ei kuitenkaan ole hyväksi, koska riski rakenteiden läpi ulkoa sisään tapahtuvasta vuotoilmasta ja sitä kautta epäpuhtauksien pääsystä sisäilmaan korostuu, ja samalla rakenteiden viilentyminen vuotokohdissa ja sitä kautta vesihöyrön tiivistyminen rakenteisiin voi aiheuttaa ongelmia. [Sandberg, Esa 2016: 97.]

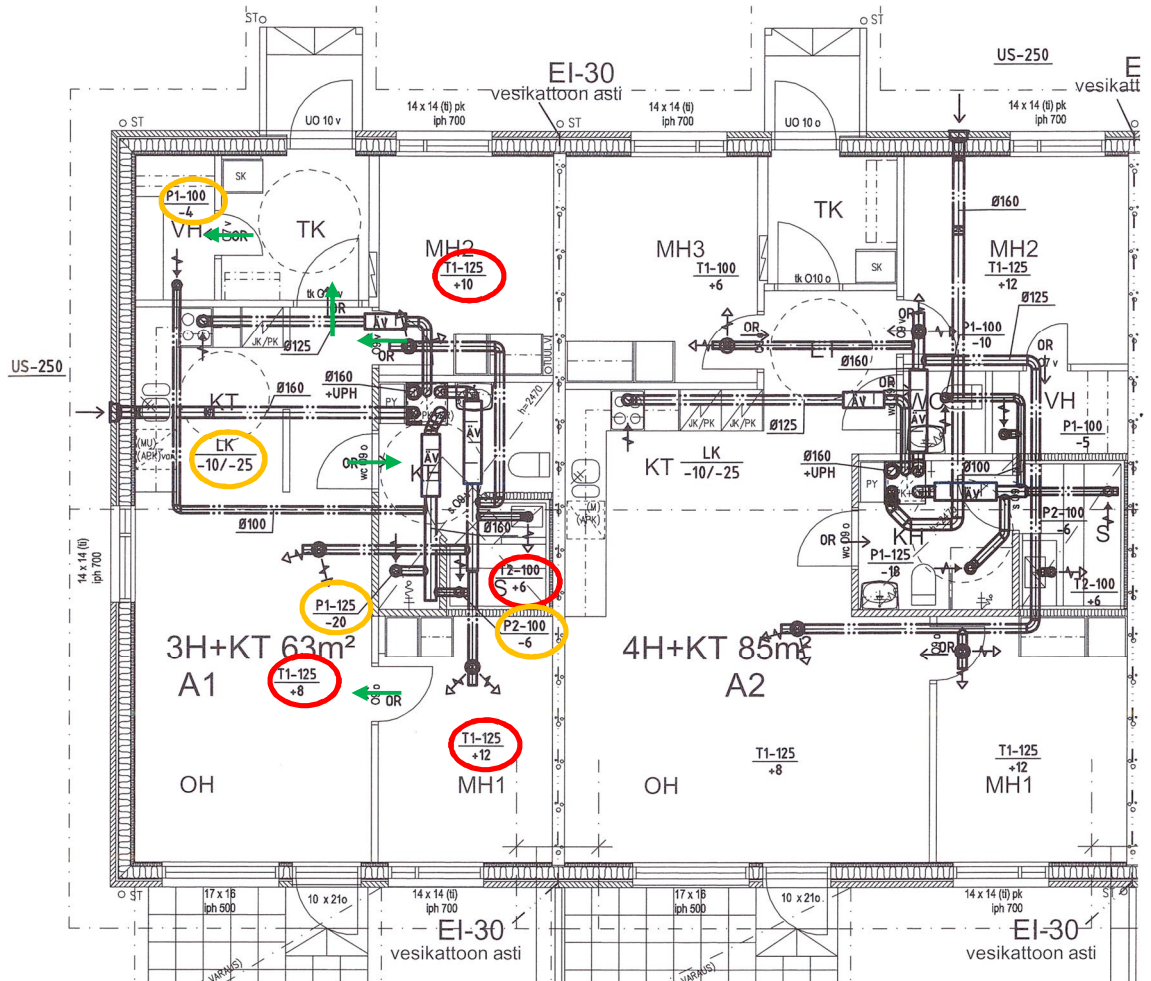
Mikäli kyseessä on monikerroksinen rakennus, voi kerrosten välisissä paine-eroissa suhteessa ulkoilmaan olla suuriakin eroja, joka tulee ottaa huomioon tutkimuksissa. Sen sijaan julkisissa- ja liikerakennuksissa, kuten kouluissa ja toimistoissa, tulo- ja poistoilman kokonaisvirrat suunnitellaan tyypillisesti saman suuruisiksi. Kokonaisilmamäärien tasapainosta riippumatta yksittäisten tilojen tulo- ja poistoilmanvaihdon määrässä on kuitenkin usein eroja. Esimerkiksi luokka- ja toimistohuoneissa molemmat ilmamäärät ovat tavanomaisesti yhtä suuria, mutta käytävätiloissa tuloilmamäärät ovat tyypillisesti poistoilmamäärää suurempi. Tämä johtuu siitä, että ilmaa halutaan kyseisissä tapauksissa liikutella siirtoilmana puhtaammista likaisempiin tiloihin, kuten WC- ja siivoushuoneisiin, joissa on tavallisesti vain poistoilmanvaihto. Tällöin kaikkien tilojen yhteenlasketut tulo- ja poistoilmamäärät ovat halutun mitoituksen suuruiset, joko hieman alipaineiset tai yhtä suuret (ks. kuva 63). [Sandberg, Esa 2016: 97.]



Kuva 63. Tyypillisen toimistuhuoneen ja viereisten tilojen ilmavirrat. Toimistuhuoneen tuloilmavirta on 30 l/s ja poistoilmavirta 10 l/s, viereisen WC-tilan poistoilmavirta on 20 l/s, joka siirtyy toimistosta siirtoilmana WC-tilaan. Kokonaisilmamäärät ovat tasapainossa. [Sandberg, Esa 2016: 97.]

Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 [2017] mukaan tilan suunniteltujen ilmavirtojen on toteuduttava huonekohtaisesti 20 %:n rajoissa ja ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisilmavirtojen vastaavasti järjestelmä- ja huoneistokohtaisesti 10 %:n rajoissa. Toisaalta uudet rakennukset ovat nykyisin niin tiiviitä, että 20 %:n mittatarkkuutta ei voida pitää riittävänä, jotta paine-erot eivät kasva liian suuriksi. Näin ollen olisikin parempi tähdätä esimerkiksi korkeintaan 5 %:n virhemarginaaliin mittatarkkuudessa. Lisäksi on syytä huomioida etenkin vanhojen laitteistojen osalla, että suunnitelmien mukaiset ilmamäärät eivät välttämättä vastaa nykyisiä määräyksiä ja ohjeita, vaan ne ovat yleensä laitteiston rakennusajankohdan määräystenmukaisia ilmamääriä. Tuloilmamääriä onkin hyvä verrata esimerkiksi Sisäilmastoluokitus 2008:n [RT 07-10946, 2008: 14] taulukon 2.4.3 mukaisiin ohjearvoihin, jolloin saadaan käsitys, kuinka hyvin ilmanvaihtojärjestelmä ja sen ilmamäärät vastaavat nykyistä käsitystä hyvästä sisäilmanlaadusta.

Suunnitellut ilmamäärät on esitetty yleensä LVI-suunnittelijan laatimissa tasopiirustuksissa. Ilmamäärät esitetään kussakin tilassa yksikössä litraa sekunnissa. Esimerkki suunniteltujen ilmamäärien esittämistavasta rivitalokohteessa on esitetty kuvassa 61. Suunniteltujen ilmamäärien lisäksi jo käytössä olevista kohteista on usein löydettävissä ilmamäärien tarkastusmittaukset, jossa on esitetty taulukkomuodossa kunkin tilan mitatut ilmamäärät sekä vertailuna tilojen suunnitellut ilmamäärät. Tutkijan ei ole kuitenkaan syytä luottaa vanhoihin tarkastusmittauksiin, vaan ilmamäärät on aina tarkastettava tutkimusten yhteydessä. Ilmamäärien mittaamisen sekä etenkin säätämisen yhteydessä on samalla tarkkailtava lisäksi paine-eroja sekä sen vaikutuksia ulkoilmaan sekä viereisiin tiloihin, jotta ilmamäärät saadaan tilakohtaisesti hienosäädettyä.



Kuva 64. Ote rivitalon IV-suunnitelmasta. Suunnitellut ilmamäärät on esitetty huonekohtaisesti, kuvassa huoneiston A1 tuloilmamäärät on ympyröity punaisella ja poistoilmamäärät oranssilla. Esimerkiksi +12 tarkoittaa, että huoneeseen tuodaan puhdasta tuloilmaa 12 l/s. Huoneiden välinen siirtoilma on osoitettu vihreällä nuolella. Kuvan tilanteessa ilmanvaihto on alipaineinen, koska poistoilmamäärä on 4 l/s tuloilmamäärää suurempi. Ilmamäärien yläpuolella on esitetty tulo/ poistoilmalinten tyyppi sekä kanavakoko. [Sandberg, Esa 2016: 329.]

Kun tilan poistoilmavirrat sekä tilavuus ovat tiedossa, voidaan niiden avulla arvioida lisäksi tilan ilmanvaihtuvuutta. Ilmanvaihtokerroin kertoo, kuinka monta kertaa kyseisen huonetilan sisäilma vaihtuu yhden tunnin aikana. Ilmanvaihtokerroin voidaan määrittää yhtälöstä:

$$n = \frac{Q}{V}$$

n = ilmanvaihtokerroin [1/h]

Q = eri poistoilmakanavista mitattujen ilmavirtojen summa [m^3/h]

V = tuuletettavan tilan tilavuus [m^3]

Alla on esitetty muutamia esimerkkejä ilmavirtojen tarkastamiseksi mittaamalla. Muita mittausmenetelmiä ja tarkempia ohjeita löytyy esimerkiksi Holopaisen ym. [2012] teoksesta *Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus*.

Ilmavirran mittaus päätelaitteesta

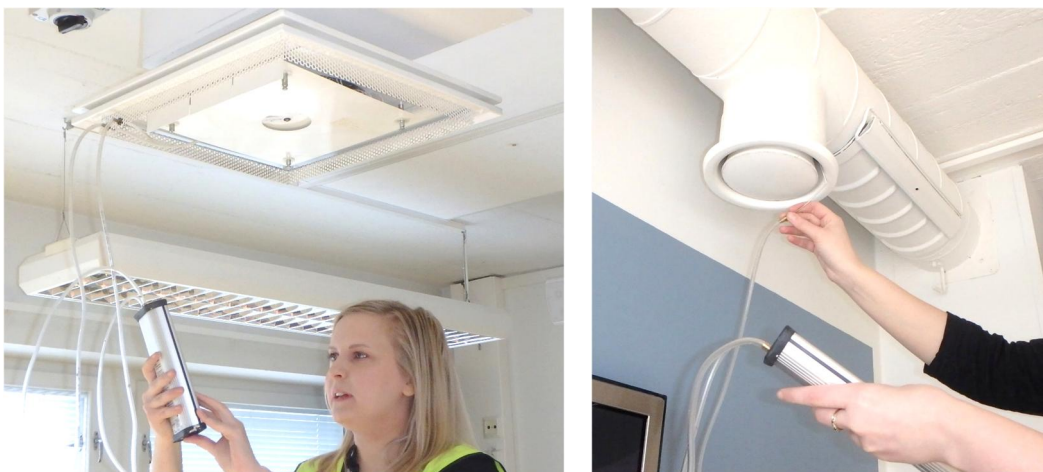
Ilmavirran mittaus voidaan tehdä joko päätelaitteista tai kanavistosta. Helpoin tapa määrittää tulo- tai poistoilmavirta päätelaitteesta, on käyttää mittaukseen läpivirtausmittaria, esimerkiksi balometriä eli ns. ”huppumittaria”. Huppumittari on erittäin käyttökelpoinen etenkin pienille lautasventtiileille, jotka saadaan asetettua kokonaisuudessaan hupun sisään. Sen sijaan esimerkiksi erilaisten ilmastointipalkkien ilmavirtoja ei voida määrittää huppumittarilla.

Ennen mittauksia tarkasteltavan tilan ovet ja ikkunat suljetaan. Mittaus aloitetaan asettamalla huppumittari tiiviisti laitteen ympärille. Mittaus suoritetaan kahteen kertaan, toisella kerralla mittaus tehdään ilman kuristusrengasta ja toisella kerralla asettamalla laitteen mukana tuleva kuristusrengas ilmavirran suuntaan nähden laitteen jälkeen (tuloilmaa mitattaessa laitteen ulkopuolelle ja poistoilmaa mitattaessa laitteen sisälle). Kuristusrengasta tehtävä on kompensoida painehäviötä. Mittari ilmoittaa mitatun ilmavirran kahden eri mittauksen perusteella muutamassa sekunnissa. Useimmat mittarit ilmoittavat ilmavirran lisäksi muitakin suureita, esimerkiksi ilmavirran lämpötilan ja ilmanpaineen. Kuvassa 65 on esitetty tuloilmakanavan ilmavirran mittaus huppumittarilla. [Huttunen 2015]



Kuva 65. Ilmavirran mittaus pääte-elimestä balometrillä. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

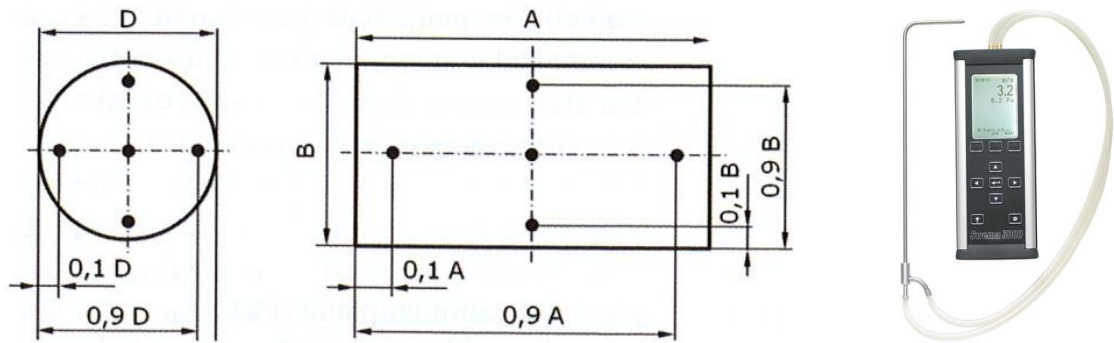
Mikäli ilmavirran mittaaminen päätelaitteesta ei onnistu huppumittarilla, voidaan ilmavirran määrittää myös laitteeseen syntyvän paine-eron perusteella paine-eromittarilla. Usein laitevalmistajat ovat asentaneet päätelaitteeseen valmiin mittausyhteen, johon paine-eromittari voidaan liittää. Lisäksi täytyy tuntea ilmavirran riippuvuus mittauspaine-erosta, eli K-arvo. K-arvo on usein ilmoitettu valmistajan toimesta päätelaitteessa. Mikäli mittaus tehdään lautasventtiilistä, on selvítettävä myös venttiilin asento eli avauma K-arvon määrittämiseksi. Venttiilin asento määritetään rakotulkilla, ja asennon perusteella K-arvo saadaan päätelaitteen valmistajan ohjeista. Kun K-arvo on selvitetty, syötetään se mittauslaitteeseen ja suoritetaan mittaus joko mittausyhteestä tai päätelaitteen sisäältä paine-eromittariin asennetun mittauskoukun eli painesondin avulla (kuva 66). Muita päätelaitteiden ilmavirtojen mittaukseen soveltuvia laitteita ovat esimerkiksi anemometritorvi sekä keskinopeusmenetelmään perustuvat siipipyöranemometrit. [Huttunen 2015.]



Kuva 66. Vasemmassa kuvassa on esitetty tuloilmavirran määrä paine-eromittarilla suoraan tuloilmaelimen mittausyhteestä. Vasemmassa kuvassa vastaava mittaus on suoritettu poistoilmaelimen sisäältä painesondin avulla. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Ilmavirran mittaus kanavistosta

Ilmanvaihtokanavien ilmavirtoja voidaan mitata esimerkiksi säätölaitteissa usein sijaitsevista valmiista mittausyhteistä, tai kanaviin voidaan porata väliaikainen reikä mittaus-tarten. Mittaus voidaan tehdä esimerkiksi paine-eromittarilla Pitot-putkea käyttäen. Mittauksessa täytyy huomioida, että ilmavirtojen nopeudet vaihtelevat kanavan poikkileikkauksen eri kohdissa. Kenttätutkimuksissa on usein käytössä ns. 5-pisteen menetelmä, jossa nimensä mukaisesti mittauspisteitä on 5. Menetelmän mittapisteet pyöreässä ja suorakaidekanavassa on esitetty kuvassa 67. [Holopainen ym. 2012: 95–106.]



Kuva 67. Ilmavirtojen mittauspisteet 5-pistemethodissa pyöreässä ja suorakaidekanavassa [Sandberg, Esa 2016: 70]. Oikealla olevassa kuvassa on esimerkki mittaukseen soveltuvasta paine-eromittarista (Swema 3000) sekä siihen liitetystä Pitot-putkesta [kuvan lähde: Widelinetekniikka, <http://www.widelinetekniikka.com>.]

Kun ilmavirrat on mitattu, voidaan kanavan tilavuusvirta laskea yhtälöstä:

$$q = A\bar{v}$$

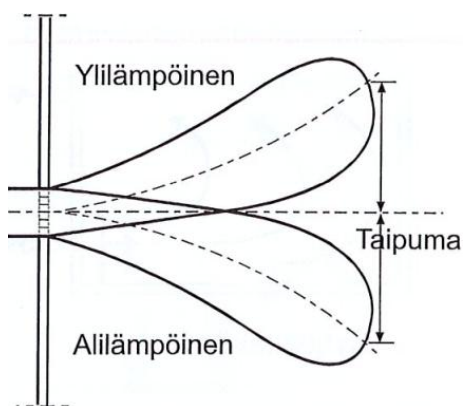
q = tilavuusilmavirta [m^3/s]

A = kanavan poikkileikkauksen pinta-ala [m^2]

\bar{v} = ilman keskimääräinen virtausnopeus [m/s]

6.5.2 Tuloilman lämpötila

Lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero lämpimän ja kylmän ilman välillä aiheuttaa lämpimän ilman kohoamista raskaamman kylmän ilman yläpuolelle. Tämä onkin kappaleessa 4.1.1 esitettyjen, ihmiseen kohdistuvien lämpötilavaikutusten sekä materiaali-päästöjen kasvamisen lisäksi yksi tyypillisimpiä lämpötilan aiheuttamia ilmanvaihdon puutteita. Mikäli tuloilma puhalletaan huonetilaan sisäilmaa lämpimämpänä, taipuu lämmin tuloilmasuihku yleensä kohti katonrajaa, ja sieltä edelleen poistoilmanvaihtoon, huuhtelematta näin varsinaista oleskeluvyöhykettä (kuva 68). Likainen poistoilma jää oleskeluvyöhykkeelle, ja aiheuttaa tuntemuksen puutteellisesta ilmanvaihdosta. Toisaalta liian viileä oleskeluvyöhykkeelle puhallettu tuloilma taas aiheuttaa vedon ja kylmyyden tunnetta, ja sitä kautta myös puutteita viihtyvyydessä. [Huttunen 2015.]



Kuva 68. Tuloilman lämpötila vaikuttaa ilmasuihkun taipumaan. Mikäli tuloilma on sisäilmaa selvästi lämpimämpää, taipuu ilmasuihku ylöspäin kattoa kohti, eikä näin huuhtele oleskeluvyöhykettä. [Seppänen & Seppänen 1996: 194.]

Toinen liian lämpimän tuloilman aiheuttama ongelma on sisäilman suhteellisen kosteuden laskeminen. Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä kylmää ilmaa enemmän kosteutta. Mikäli ilman absoluuttinen kosteuspitoisuus ei nouse ilman lämmitessä, laskee ilman suhteellinen kosteus. Näin ollen huoneilmaa lämpimämpi tuloilma aiheuttaa ilman suhteellisen kosteuden laskua. Kokemusten perusteella suhteellinen kosteus saattaa laskea huomattavastikin, jolloin liian lämmin tuloilma aiheuttaa usein kappaleessa 4.1.2 esitettyjä ärsytysoireita, ja saattaa herkistää tilojen käyttäjiä myös muille epäpuhtauksille ja niiden aiheuttamille oireille. Ongelmat korostuvat etenkin talviaikana, jolloin ilman suhteellinen kosteus on jo muutenkin kesäaikaan matalampi. Huttusen [2015] mukaan tuloilman lämpötilan tulisi lämmityskaudella olla +16...+19 °C siten, että tuloilma on aina 3...5 °C huoneilmaa viileämpää, jotta edellä mainittuja ongelmia voitaisiin välttää mahdollisimman hyvin. [Ympäristöopas 2016; 82.]

Tuloilman lämpötilaa voidaan tarkastella esimerkiksi IV-koneen läheisyydessä tai tuloilmakanavistossa olevien lämpömittareiden avulla (kuva 69). Tuloilman lämpötila ilmanvaihdon läheisyydessä voi kuitenkin olla eri kuin huoneilman tuloilma. Esimerkiksi jos tuloilmakanavisto kulkee rakennuksen yläpohjatiloissa, eikä sitä ole riittävästi eristetty, voi tuloilman lämpötila laskea useita asteita talvikausina. Näin ollen lämpötila tulisi tuloilmakanaviston lämpömittareiden lisäksi myös mitata läheltä pääte-elimä. [Huttunen 2015.]



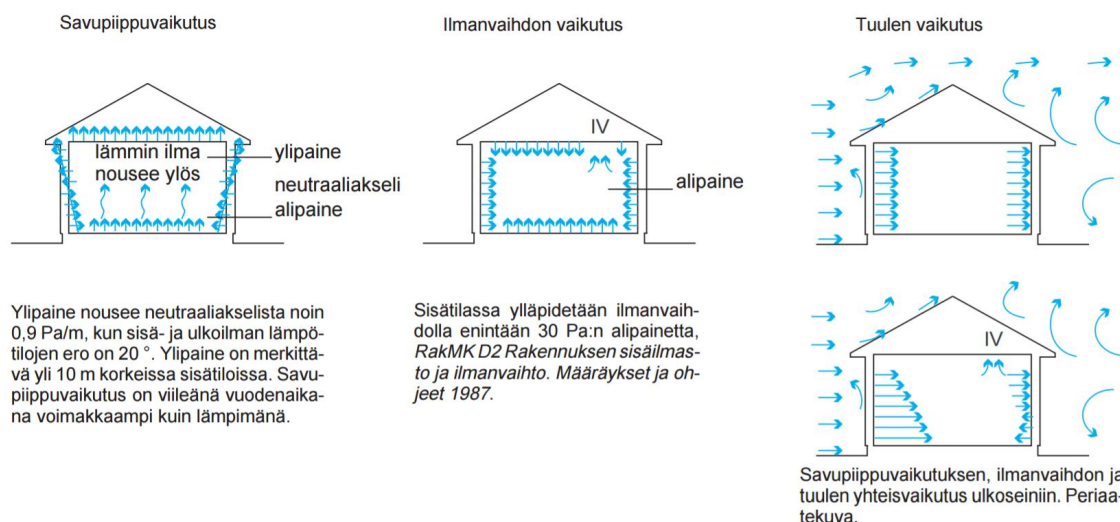
Kuva 69. Tuloilman lämpötilaa voidaan tarkastella ilmanvaihtokanaviston lämpömittareista. Kuvassa on erään kirjaston tiloja palvelevan ilmanvaihtokoneelta lähtevän tuloilmakanavan lämpömittari. Kuvasajankohtana tuloilman lämpötila oli noin $+21^{\circ}\text{C}$, jota pidettiin liian lämpimänä. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Yksi helppo menetelmä tuloilman lämpötilan määrittämiseksi on kohdassa 6.5.1 esitetty ns. huppumittari, eli balometri. Balometrit ilmoittavat usein mitattujen ilmamäärien lisäksi myös ilmavirran lämpötilan, joten erillistä lämpötilan mittausta ei tarvitse suorittaa. Vastaavasti myös erilasiin ilmavirtojen mittauksiin käytettäviin paine-eromittareihin on usein liitettävissä myös lämpötilamittari, jolla ilmavirtojen lisäksi voidaan määrittää myös niiden lämpötilat. Lämpötilamittauksiin on olemassa lukuisia muitakin soveltuvia laitteita. Suomen LVI-liiton mukaan [IV-kuntotutkimusohjeet 2016, ohje 15: 5] tuloilman lämpötila voidaan selvittää esimerkiksi lämpökameran avulla.

6.6 Ilmanvaihtojärjestelmän tarkentavat mittaukset

6.6.1 Rakennuksen painesuhteet ja tiiviys

Rakennuksen painesuhteisiin suhteessa ulkoilmaan vaikuttaa ensisijaisesti rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakennuksen korkeudesta ja sisäilman lämpötilasta riippuvainen savupiippuvaikutus sekä ulkoilman olosuhteet, kuten tuuli. [RT 05-10710: 3]. Rakennuksen paine-eroihin vaikuttavia tekijöitä on esitetty kuvassa 70.



Kuva 70. Rakennuksen kokonaispaine-eroihin vaikuttavat eri tekijät [RT 05-10710: 3].

Suunnittelemattomat ilmavuodot rakenteissa aiheuttavat monenlaisia sisäilman haittekkijöitä. Paine-erojen ja epätiiveyksien aiheuttamat hallitsemattomat ilmavuodot voivat aiheuttaa pahimmillaan rakenteiden vaurioitumisen. Esimerkiksi ulkoilmaan nähden ylipaineinen tila voi aiheuttaa lämpimän sisäilman kulkeutumista epätiiviykskohtien kautta rakenteisiin, sekä edelleen ilmassa olevan kosteuden kondensoitumista rakenteiden kylmiin pintoihin, joka voi johtaa kosteusvaurioihin. Jotta rakennus toimis rakennusfysiikkaalisesti oikein, eikä lämmintä ja paljon kosteutta sisältävää sisäilmaa työnnettäisi rakenteisiin, tulisi rakennukset suunnitella aina hieman alipaineiseksi. Taulukossa 14 on esitetty rakennusten tyypillisiä suositeltuja paine-eroja.

Taulukko 14. Rakennusten suositeltavia paine-eroja ilmanvaihtotavasta riippuen [Asumisterveysopas 2009].

Ilmanvaihtotapa	Suosittelava paine-ero [Pa]	Huomautuksia
Painovoimainen	0...-5 ulkoilmaan ±0 rappukäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen poistoilma	-5...-20 ulkoilmaan 0...-5 rappukäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan
Koneellinen tulo-poisto	0...-2 ulkoilmaan ±0 rappukäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan

Toisaalta rakenteisiin sekä ympäröivään ulkoilmaan ja maaperään liittyy aina epäpuhtauksia, kuten mikrobeja, jotka sisäilmaan päästessään voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Rakennuksen paine-erot sekä puutteet rakennusvaipan ilmanpitävyydessä ovatkin usein syy-seuraussuhteessa epäpuhtauksien kulkeutumiseen rakennusten

sisäilmaan. Suunnittelemattomia paine-eroja aiheuttavat ulkoilman olosuhteiden, kuten lämpötilan ja tuulen, lisäksi ilmanvaihdon puutteet. Paine-erot ja sitä kautta hallitsemattomien ilmavirtojen mukana ilmenevät ongelmat korostuvat etenkin erillispoistojärjestelmässä. Toisaalta ilmanvaihdon suunnitelmien mukaiselle toiminnalle käytössä olevasta järjestelmästä riippumatta on yleensä edellytyksenä rakennusvaipan riittävä ilmanpitävyys. [Järnström ym. 2016: 85–90.] Tästä voidaankin päätellä, että rakennusten ilmatiiveys onkin oleellisessa roolissa ilmanvaihdon oikeanlaisen toiminnan sekä sisäilman laadun kannalta. Toisaalta oma työelämän kokemus on osoittanut, että rakennusten ilmatiiveydessä on usein merkittäviäkin puutteita, etenkin vanhan rakennuskannan osalla.

Painesuhteiden tutkiminen

Jotta voidaan ymmärtää ilman liikkeitä rakennuksen sisällä sekä sisä- ja ulkoilman välillä, tulee mitata painesuhteita, eli ilmanpaine-eroja tilojen ja ulkoilman välillä. Ilma pyrkii liikkumaan korkeammasta paineesta matalampaan, eli mikäli rakennus tai sen tila on alipaineinen ulkoilmaan nähden, pyrkii ilma virtaamaan ulkoa sisään. Ilmavirtausten mukana kulkeutuu luonnollisesti myös epäpuhtauksia, jotka voivat vaikuttaa sisäilman laatuun. [Ympäristöopas 2016; 86.]

Tavallisesti paine-eroa mitataan elektronisilla mitta-antureilla sekä niihin kytketyillä tietoa keräävillä dataloggereilla. Paine-eroa suositellaankin mitattavaksi seurantamittauksina, esimerkiksi kahden viikon seurantajaksoina, koska paine-eroihin vaikuttavat useat eri tekijät. Näin voidaan määrittää esimerkiksi paine-erojen keskiarvoja sekä sulkea pois yksittäisiä hetkellisiä tekijöitä, kuten voimakkaan tuulen vaikutuksia paine-eroihin. Toisaalta mittaukset tulisivat suorittaa mahdollisimman suotuisissa olosuhteissa (tuulenopeus alle 5 m/s ja ulkolämpötilan ollessa -20 °C...+22 °C). Lisäksi ilmanvaihdon tulisi toimia mittausajanjaksolla normaalissa käyttötilassaan. [Ympäristöopas 2016; 86–88.] Esimerkki paine-eron seurantamittauksella saadusta paine-erokäyrästä on esitetty kuvassa 62. Lisäksi eräs paine-eron seurantamittauksiin soveltuva mittalaite on esitetty kuvassa 74.

Rakennuksen ilmatiiveyden tutkiminen

Painesuhteiden lisäksi sisäilmatutkimuksen yhteydessä on syytä vähintäänkin arvioida myös rakennuksen ilmatiiveyttä. Omien kokemusten perusteella ilmatiiveyden puutteita

voidaan usein rakennuksissa havaita jopa silmämääräisesti. Tyypillisiä vuotopaikkoja voivat olla esimerkiksi alapohjien ja ulkoseinien liittymät. Silmämääräisen arvioinnin tueksi havaintoja voidaan tarkentaa esimerkiksi merkkisavun avulla. Savun liikkeiden perusteella voidaan vuotokohtien lisäksi havainnoida myös ilman liikkeen suuntaa, jolloin saadaan tietoa myös painesuhteista; mikäli savu liikkuu alapohjan ja ulkoseinän liittymästä huonetilaa kohti, on huonetila alipaineinen alapohjaan nähden. Tällöin vuotoilman mukana sisäilmaan kulkeutuu alapohjasta todennäköisesti myös epäpuhtauksia. Merkkisavua tarkempi tutkimusmenetelmä on merkkiainetutkimus. Oikein toteutetun merkkiainekokeen avulla havaitaan rakenteisiin liittyvät hyvinkin pienet vuotokohdat. Merkkiainekoetta on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.1.2. Lisäksi vuotokohtia voidaan helposti selvittää myös lämpökameran avulla. Lämpökamerakuvauksen suoritusta on esitetty esimerkiksi ohjekortissa *KH 24-00368 Rakennuksen lämpökuvaus*.

Mikäli rakennuksen ilmatiiveydestä halutaan tarkempaa, vertailukelpoista dataa, voidaan rakennuksen vaipan tiiveys myös mitata. Mittauksessa rakennus alipaineistetaan 50 pascalin alipaineeseen. Yleensä paineistukseen käytetään tarkoitukseen kehitettyä alipaineistajaa. Samaan aikaan mittalaitteistolla määritetään ilman tilavuusvirta, joka rakennuksesta täytyy puhaltaa pois kyseisen paine-eron saavuttamiseksi. Tuloksena saadaan rakennuksen ilmanvuoto- eli q50 luku (aiemmin n50 luku). Q50 luku ilmoittaa kuinka paljon vuotoilmaa virtaa rakennuksen kokonaissisämittojen mukaan lasketun vaipan pinta-alan läpi tunnissa 50 Pa:n paineessa. Ilmanvuoto on sitä pienempää, mitä pienempi ilmanvuotoluku on.



Kuva 71. Rakennuksen alipaineistukseen soveltuva puhallinlaitteisto asennettuna erään koulu-
luokan välioveen. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan rakennusten ilmanvuotoluvun q_{50} sallittu enimmäisarvo on $4,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, mutta suositeltu arvo on huomattavasti matalampi $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$. Rakennuksen tiiveystulosten vertailemiseksi taulukkoon 15 on kerätty suomalaisen rakennuskannan tyypillisiä ilmanvuotolukuja. Lisätietoja ilmanvuotoluvun mittaamisesta on esitetty esimerkiksi RT-kortissa 80-10974 *Teollisesti valmistetun asuinrakennuksen ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje*.

Taulukko 15. Tyypillisiä rakennusten ilmanvuotolukuja (n_{50}) ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja (q_{50}). [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D5, 2012.]

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut [1/h]	Tyypilliset q_{50} -luvut [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0...3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5...1,5	Pientalo 1,0...3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0...4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0...5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5...3,0	Pientalo 3,0...5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0...8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0...10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0...7,0	Pientalo 5,0...10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0...20,0

6.6.2 Sisäilman hiilidioksidipitoisuus

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus on peräisin ulkoilmasta sekä ihmisistä. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on yleensä alle 400 ppm, joten liian korkea hiilidioksidipitoisuus sisäilmassa on yleensä pääosin ihmisistä johtuvaa. Näin ollen liian korkea sisäilman hiilidioksidipitoisuus onkin hyvä mittari puutteellisesta ilmanvaihdosta suhteessa tilan käyttäjämäärään. [Ympäristöopas 2016; 62–63.]

Sisäilman liian suuri hiilidioksidipitoisuus ei yleensä hieman kohonneena johda suoranaiseen oireiluun, mutta se aiheuttaa tunkkaisuuden tai muuten puutteellisen sisäilman laadun tunnetta. Mikäli käyttäjäpalautteessa on kuvailtu tällaisia tuntemuksia, tai si-

säilmatutkija itse havaitsee ilmanlaadun puutteelliseksi, on tiloissa syytä suorittaa hiilidioksidipitoisuusmittauksia. Vaikka Sisäilmastoluokitus 2008:n [RT 07-10946, 2008: 6] mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden tyydyttävän tason (S3-luokka) enimmäismäärä on < 1200 ppm, aletaan Huttusen [2015] mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuus yleisesti kokemaan puutteelliseksi ja tunkkaiseksi jo, kun hiilidioksidipitoisuus lähenee 900...1000 ppm:n pitoisuutta.

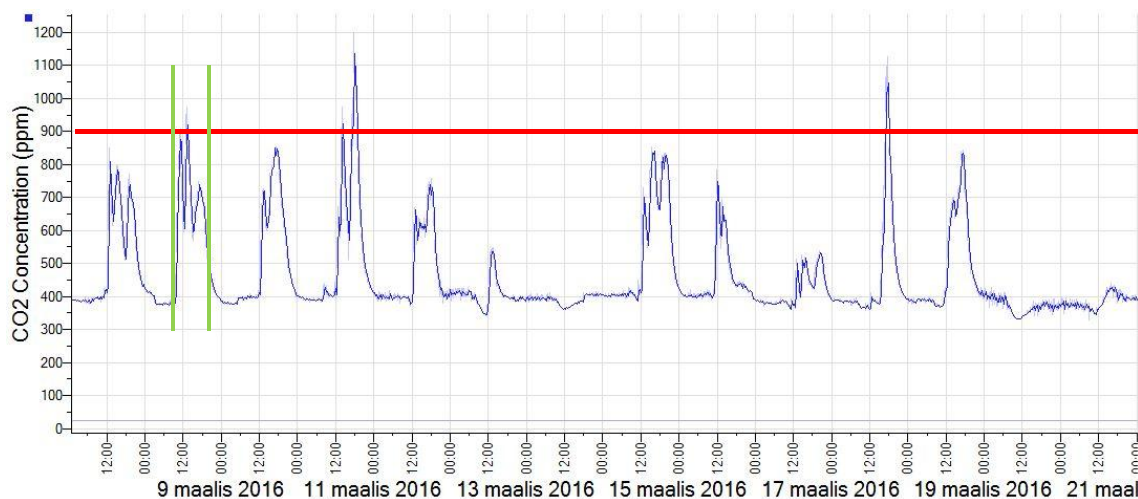
Sisäilman hiilidioksidipitoisuutta voidaan mitata lukuisilla eri mittalaitteilla. Usein käytössä on monitoimimittareita, jotka mittaavat hiilidioksidipitoisuuden lisäksi useita muitakin sisäilman parametreja. Toisaalta mikäli mittauksia halutaan tehdä useissa eri tiloissa yhtäaikaaisesti, pelkkää hiilidioksidipitoisuutta mittaavat laitteet ovat usein edullisempi vaihtoehto. Suositeltavaa on kuitenkin käyttää mittalaitetta, jossa on loggeriominaisuus, eli sillä voidaan tehdä pitkäaikaista seuranta pelkän hetkellisen mittauksen lisäksi. Kuvassa 72 on esitetty esimerkki loggaavasta hiilidioksidimittarista.



Kuva 72. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden seurantaan soveltuva loggeri Tinytag TGE-0010. Loggeriin kuuluu mittausyksikön lisäksi virtajohto sekä datakaapeli, jolla mittausdata saadaan siirrettyä tietokoneelle. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

Vastaavasti kuin muidenkin sisäilmamittausten yhteydessä, myös hiilidioksidipitoisuuden mittaukseen suositellaan jatkuvaa seurantamittausta esimerkiksi kahden viikon ajanjaksolla (ks. kuva 73). Näin mittauksella saadaan luotettavampi tieto pitoisuuksien vaihteluista käytön ja hiljaisen ajanjakson aikana. Tällöin mittauksella voidaan myös selvittää tilojen käyttöaikoja. Tilojen tulisi olla mittauksen aikana normaalissa käyttötilassa, eikä esimerkiksi ikkunatuuletusta tule tehdä. Mikäli seurantamittauksen suorittaminen ei onnistu, voidaan mittaus tehdä myös lyhytaikaisena, esimerkiksi muutaman

tunnin kestävänä mittauksena. Tällöin kuitenkin tulisi huomioida, että mittaus suoritetaan tilan normaalissa käyttötilanteessa käyttöjakson, esimerkiksi oppitunnin tai makuuhuoneissa yön loppuaikana, jolloin sisäilman hiilidioksidipitoisuus on todennäköisesti korkeimmillaan. Hiilidioksidimittari sijoitetaan oleskeluvyöhykkeelle. Sijoituksessa tulee kuitenkin huomioida, että se ei ole alttiina suoralle uloshengitykselle tai tuloilmapuhallukselle, jolloin tulokset saattavat vääristyä. [Ympäristöopas 2016; 62–63.]



Kuva 73. Erään tulo-poistoilmanvaihdon varustetun vanhan koulurakennuksen kahden viikon sisäilman hiilidioksidipitoisuuden seuranta-kaavio. Kaaviosta on rajattu vihreillä viivoilla ajankohta keskiviikko 9.3.2016 klo 10:00...19:00, jolloin sisäilman hiilidioksidipitoisuus on ollut koholla. Mittausten perusteella sisäilman hiilidioksidipitoisuus ei ylitä arvoa 1200 ppm, joka kuvaa Sisäilmastoluokitus 2008:n [RT 07-10946, 2008: 6] mukaista sisäilman tyydyttävää tasoa (S3-luokka). Huttusen [2015] kokemusten perusteella sisäilma koetaan usein tunkkaiseksi kuitenkin jo matalammillakin, noin 900...1000 ppm pitoisuuksilla (punainen viiva käyrästössä). Mittauskäyrästä voidaan lisäksi päätellä milloin tilat ovat olleet mittausjaksolla käytössä ja milloin tyhjillään. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

6.6.3 Lämpötilat ja ilman kosteus

Rakennuksen käyttäjien viihtyvyyteen vaikuttaa olennaisesti sisäilman lämpötila. Liian lämmin sisälämpötila tuntuu usein tunkkaiselta ja voi aiheuttaa esimerkiksi väsymystä. Viileä ilma koetaan usein raikkaammaksi, mutta toisaalta liian kylmä ilma koetaan yleensä häiritsevämpänä kuin kuuma ilma. [Hyvärinen 2015.] Rakennuksia suunniteltaessa oleskeluvyöhykkeiden huonelämpötilojen suunnitteluarvona käytetään sekä Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 että aiemman RakMK:n osan D2 mukaan lämmityskaudella lämpötilaa +21°C. Kesäkaudella suunnitteluarvona käytetään +23°C. Rakennuksen ollessa käytössä ei oleskeluvyöhykkeen lämpötila yleensä saa olla korkeampi kuin +25°C, arvosta voidaan kuitenkin hetkellisesti poiketa esimerkiksi tilanteis-

sa, jolloin ulkolämpötilan keskiarvo on pitkään yli +20°C. Lisäksi lämpötilan suunnittelun ohjeavosta voidaan perustellusta syystä poiketa tilakohtaisesti. Tällaisista tapauksista on esitetty esimerkkejä taulukossa 16.

Taulukko 16. Lämmityskauden tilakohtaisia lämpötilan ohjearvoja, kun huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole +21°C [Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012].

Tila	Huonelämpötila [°C]
Porrashuone	+17
Kylpyhuone, pesuhuone	+22
Kuivaushuone	+24
Myymälä	+18
- myymälän kiinteä työpiste	+21
Liikuntahalli	+18
Kirkkosali	+18
Tehdashalli, keskiraskas työ	+17
Autokorjaamo, katsastustilat	+17
Hissikuilu	+17

Myös sisäilman suhteellisen kosteuden määrällä on vaikutuksia ihmisten tuntemuksiin, vaikka ihmisillä ei varsinaista kosteusaistia olekaan. Suomen olosuhteissa ulkoilman suhteellinen kosteus on verrattain korkea lähes aina. Kesäisin myös sisäilman suhteellinen kosteus on usein korkea, mutta talvisin lämpimissä rakennuksissa sisäilman kosteuspitoisuus voi laskea hyvinkin matalaksi (10...20 RH%). Korkea sisäilman kosteuspitoisuus voi lisätä joidenkin rakennusmateriaalien, kuten lastulevyjen, epäpuhtauspäästöjä. Lisäksi monet sisäilman haittatekijät, kuten huonepölypunkit ja bakteerit vaativat yleensä kohonnutta kosteuspitoisuutta lisääntyäkseen. Kuiva sisäilma taas aiheuttaa usein ärtymisoireita esimerkiksi limakalvojen kuivuessa. Tämän lisäksi matala sisäilman suhteellinen kosteus lisää ilman pölyisyyttä. Optimaalisena sisäilman suhteellisenä kosteutena voidaan pitää noin 25...45 % (ks. kuva 32). [Seppänen & Seppänen 1996: 22–25].

Mikäli käyttäjäkokemusten tai tutkijan omien havaintojen perusteella sisäilmassa koetaan lämpöolosuhde- tai kosteusongelmia sekä esimerkiksi tunkkaisuutta, voidaan asiaa varmistaa mittaamalla. Mittauksia suunniteltaessa tulee huomioida, että hetkittäinen mittaus kertoo vain hetkittäisestä lämpötilasta tai suhteellisesta kosteudesta, joka saattaa vaihdella paljonkin esimerkiksi auringonpaisteen tai muiden ulkoisten ja rakennuksen sisäisten tekijöiden mukaan. Mittaukset tulisikin tehdä seurantamittauksena, esimerkiksi kahden viikon ajanjaksolla, jotta tuloksista voidaan luotettavasti selvittää esimerkiksi sisäilman olosuhteiden keskiarvot ja käyttäjien vaikutuksia niihin. Yksittäisten

rakenneosien, kuten ikkunoiden, vaikutuksia lämpöviihtyvyyteen voidaan lisäksi mitata hetkellisinä pintalämpötilanmittauksina. [Hyvärinen 2015.]

Olosuhteiden mittaukseen soveltuvia välineitä on lukuisia erilaisia. Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että monitoimimittalaitteet säästävät huomattavasti aikaa ja vaivaa. Yhdellä mittalaitteella voidaan seurantamitata yhtenäikaisesti esimerkiksi sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta sekä ulko- ja sisäilman välistä paineroa (ks. kuva 74). Mittauksessa tulee kiinnittää huomiota, että mittaus tehdään oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhykettä kuvaava mittapiste on huonetiloissa 1,1 m:n ja työpisteiden kohdilla 0,6 m:n korkeudella lattiasta. Pintalämpötilojen mittauksissa voidaan hyödyntää esimerkiksi lämpökameraa tai erilaisia lasermittareita.



Kuva 74. Sisäilman olosuhteiden mittaus Testo 435-4-mittalaitteella. Laite mittaa samanaikaisesti sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta sekä sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa. [Kuvan lähde: IdeaStructura Oy.]

6.6.4 Pölymäärien sekä mineraalivillakuitulähteiden mittaus

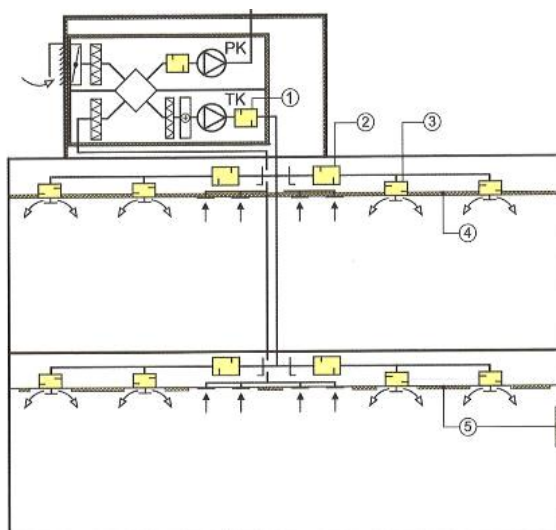
Mikäli käyttäjäkokemusten tai tutkijan omien havaintojen perusteella on syytä epäillä, että sisäilmassa on haitallisessa määrin ärsytysoireita aiheuttavia hiukkasia, pölyä tai teollisia mineraalikuituja, voidaan asia varmistaa esimerkiksi laskeumapölynäytteillä tai sisäilmasta otetuilla suodatinnäytteillä. Laskeumapölynäytteessä säännöllisesti siivoituilta pinnoilta kerätään pölyä esimerkiksi ns. geeliteipillä. Mikäli tarkoitus on tutkia ainoastaan kertyneen pölyn määrää jonkin tietyn laskeuma-ajanjakson, esimerkiksi viikon sisällä, lienee nopein tapa pölymäärän määrittämiseen optinen lukulaite (kuva 75).

Lukulaite mittaa teippinäytteen läpi pääsevän valon määrän, ja ilmoittaa pölyisyysasteen välittömästi. Tuloksen tulkinnassa voidaan hyödyntää esimerkiksi Sisäilmasto-
luokitus 2008:n [RT 07-10946, 2008] ohjeita. [Ympäristöopas 2016; 65–67.]



Kuva 75. Optinen pintapölymittari (BM Dustdetector) sekä geeliteippien painamiseen tarkoitettu tela. [Kuvan lähde: Poistoa Oy, <https://homesiivous.fi>.]

Mikäli pölyn koostumusta, kuten esimerkiksi mineraalivillapitoisuutta, halutaan selvittää tarkemmin, suoritetaan tutkimukset yleensä mikroskoipoimalla elektronimikroskoopilla ja tarvittaessa siihen kytketyllä alkuaineanalyysointilaitteella. Näytteet voidaan ottaa tarpeesta riippuen joko sisäilmasta tai laskeumanäytteenä. Kun kyseessä on mineraalikulutuspöly, tulisi kuitenkin kiinnittää huomiota, että näytteet otettaisiin siten, että niiden perusteella on mahdollista saada myös selvillä kuitujen alkuperä. Esimerkiksi kun epäillään tuloilmanvaihtolaitteiden toimivan kuitulähteenä, voidaan näyte ottaa tuloilmakanavan pinnalta geeliteippinäytteenä. Kuitulähde on joka tapauksessa selvítettävä tutkimuksen yhteydessä, jotta se voidaan poistaa korjausvaiheessa. Esimerkkejä yleisimmistä kuitulähteistä on esitetty kuvassa 76. [Ympäristöopas 2016; 65–67.]



Kuva 76. Tyypillisiä mineraalivillakuitujen lähteitä. 1: tuloilmapuhaltimen äänenvaimennin, 2: virtaussäätimen äänenvaimennin, 3: päätelaitteen äänenvaimennin, 4: alakaton akustointilevytykset, 5: katto- ja seinäpintojen akustointilevytykset. [Holopainen ym. 2012.]

6.6.5 Äänitasojen mittaus

Melu rakennuksissa aiheutuu usein esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoituksesta tai ulkopuolisesta liikenteestä rakennusosista kantautuvina runko- tai ilmaääninä. Tavanomaisesti myös ilmastointi on yksi rakennuksen merkittävimmistä äänilähteistä, ja voi väärin toteutettuna aiheuttaa häiritsevää melua. Ilmanvaihtojärjestelmässä ääntä aiheuttavia osia ovat puhaltimet, säätölaitteet, päätelaitteet, kanaviston mutkat ja haarat sekä virtausnopeutta lisäävät poikkipinnan muutokset. Toisaalta melua voi aiheuttaa myös IV-koneiden tärinät, jotka kantautuvat runkoääninä huonetiloihin. Melu haittaa keskittymistä, ja voi aiheuttaa jopa terveyshaittaa, mikäli se häiritsee nukkumista. [Asumisterveysohje 2013: 35–59.]

Mikäli käyttäjäkokemusten tai tutkijan omien havaintojen perusteella ilmanvaihtolaitteistosta aiheutuu häiritsevää melua, on melun lähde syytä selvittää. Äänilähde pyritään paikallistamaan kuuntelemalla, sekä selvittämällä suunnitelmista ääntä mahdollisesti aiheuttavat komponentit. Tyypillisimpiä ääntä aiheuttavia ilmanvaihtojärjestelmän osia on esitetty taulukossa 17. Tarkastuksen yhteydessä on syytä kiinnittää huomiota myös äänenvaimentimien kuntoon; muutoin oikein toimivan IV-järjestelmän meluhaittoja voivat aiheuttaa esimerkiksi rikkoutuneet äänenvaimentimet. [Asikainen & Peltola, 2008: 102.]

Taulukko 17. Ilmanvaihtolaitteiden äänen muodostus ja vaimennus. [LVI 30-10333: 3.]

Ääntä aiheuttaa	Ääntä vaimentaa
puhallin	äänenvaimentimet
säätölaitteet	päätevaimennus
päätelaitteet	huonevaimennus
mutkat, haarat yms. kanavaosat	mutkat
virtausnopeutta lisäävät poikkipinnan muutokset	kanavan haaroitukset

Ääntä voidaan pitää äänihaittana, kun melu tuntuu häiritsevältä. Tarvittaessa melua voidaan myös mitata erilaisilla äänitasomittareilla ja -analysaattoreilla (kuva 77). IV-laitteiden aiheuttamasta äänestä mitataan keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ sekä enimmäisäänitaso $L_{A,max}$. Mittauksessa on huomioitava mm. huoneen kalustus sekä taustamelun vaikutus mittaukseen. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty toimenpiderajat erilaisille äänenvoimakkuuksille. Lisäksi on esitetty esimerkki äänen mittaukseen soveltuvasta mittalaitteesta. Lisätietoa melun mittausmenettelyistä löytyy esimerkiksi Asumisterveysoppaasta [2009]. [Holopainen ym. 2012: 110–111.]



Kuva 77. Melunmittaukseen soveltuva äänitasomittari (Norsonic Nor131) [Kuvan lähde: MIP Electronics Oy, www.mip.fi].

7 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia heikosti ilmanvaihtotekniikkaa tuntevalle sisäilmatutkijalle opas, jonka avulla saa yleiskäsityksen ilmanvaihdon toiminnasta, memettä kuitenkin liian syvälle järjestelmien teknisiin yksityiskohtiin. Tähtäimenä oli, että sisäilmatutkija tuntee eri ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteet, sekä niiden merkityksen sisäilmaongelmien syntyyn. Lisäksi työn tavoitteeksi asetettiin ilmanvaihdon tarkastusasiakirjan laatiminen edustamani yrityksen käyttöön, kenttätutkimusten avuksi.

Ilmanvaihtojärjestelmien tutkimuksesta sekä tarkastuksesta on aiemminkin ollut saatavilla tietoa esimerkiksi oppikirjojen, opinnäytetöiden tai muiden ohjeiden muodossa. Sisäilmatutkijan näkökulmasta läpikäydyissä ohjeissa havaittiin kuitenkin seuraavia ongelmia:

- ohjeistus on laadittu järjestelmien kuntotutkimuksen tekemiseksi; kuntotutkimuksen sisältö on kuitenkin liian laaja sisäilmatutkijan käyttöön, lisäksi tutkimuksen tekemiseksi tarvittaisiin IV-tekniikan huomattavasti laajempaa tuntemusta, esimerkiksi LVI-insinöörin koulutusta
- ohjeistus on laadittu kattavan sisäilmatutkimuksen tekemiseksi, tällöin IV-tekniikan osuus ei ole helposti omaksuttavassa muodossa, vaan se joudutaan poimimaan ohjeistuksen eri kohdista pieninä palasina
- ohjeistus on tehty LVI-asiantuntijan näkökulmasta, esimerkiksi LVI-insinöörin opinnäytetyönä, jolloin ohjeistuksessa ei ole esitetty muille kuin LVI-asiantuntijoille olennaisia perustietoja ilmanvaihtotekniikasta
- ohjeistuksessa on käsitelty sisäilmatutkijalle olennaisia seikkoja, esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän tarkastettavia yksityiskohtia, mutta aihetta on käsitelty liian suppeasti.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ohjeistus, jossa edellä mainitut ongelmat on huomioitu.

Opinnäytetyön sekä sen lopputuotoksena laaditun tarkastusasiakirjan avulla sisäilmatutkija pystyy sisäilmatutkimuksen yhteydessä ottamaan alustavasti kantaa ilmanvaihdon rooliin sisäilmaongelmien synnyssä, sekä tekemään ilmanvaihtojärjestelmän alustavan kartoituksen, ennen mahdollisen tarkemman ilmanvaihtotutkimuksen toteuttamista. Ajatuksena oli, että näin sisäilmatutkimuksiin saataisiin hieman poikkitieteellistä nä-

kökulmaa, ja opittaisiin tuntemaan myös eri alojen tekniikoiden vaikutuksia toisiinsa. Täten korjaustoimenpiteet osattaisiin kohdistaa nykyistä paremmin oikeisiin ongelmanaiheuttajiin, ja säästettäisiin parhaimmillaan jopa merkittävästi korjauskustannuksissa, kun tutkimuksen vääriltä johtopäätöksiltä sekä korjaustoimenpiteiltä tai ylikorjaukselta vältyttäisiin.

Jo ennen työn toteuttamista käytännön työelämä oli opettanut, että rakenneteknisten puutteiden lisäksi koettuihin sisäilmaongelmiin vaikuttaa ainakin osatekijänä ilmanvaihdon toiminnan puutteet. Työn aikana kuitenkin selvisi, että ilmanvaihdon erilaiset ongelmat tai puutteet ovat itseasiassa huomattavasti luultua useammin yksi tekijä sisäilmaongelmissa. Tyypillisin ilmanvaihdon ongelma näyttäisi olevan riittämättömät ilmamäärät tilojen käyttäjämääriin nähden. Lisäksi huomionarvoinen havainto oli, että vaikka jokin ilmanvaihdosta johtuva tekijä ei välttämättä itsessään aiheuttaisi kokemusta huonosta sisäilman laadusta, se saattaa usein kuitenkin voimistaa muiden tekijöiden haittavaikutuksia. Toisaalta yksi tekijä saattaa vaikuttaa sisäilman laatuun heikentävästi usealla eri tavalla. Yksi monista esimerkeistä on vaikkapa liian lämmin tuloilma. Se voi jo itsessään aiheuttaa esimerkiksi työtehokkuuden laskua sekä kuivuuden tunnetta ja sitä kautta ärsytysoireita. Toisaalta liian lämmin, sisäilmaa lämpimämpi, tuloilma kerrostuu yleensä huonetilassa katonrajaan ja voi ohjautua päätte-elimien asettelusta riippuen suoraan poistoilmakanavaan huuhtelematta näin lainkaan oleskeluvyöhykettä. Tällöin sisäilma tuntuu yleensä tunkkaiselta ja vaikuttaa käyttäjien viihtyvyyteen. Lisäksi lämmin ilma kiihdyttää usein erilaisten materiaali-päästöjen, kuten vaikkapa VOC-yhdisteiden, haihtumista rakennusmateriaaleista huoneilmaan.

Itsekin sisäilmaongelmien parissa työskentelevänä rakennusinsinöörinä työn aihe kiinnosti minua erityisen paljon, eikä vähiten sen vuoksi, että oma pohjakoulutukseni ei ole sisältänyt LVI-tekniikkaan liittyviä kursseja yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta. Näin ollen valtaosa työssäni käsittelemistä asioista oli minulle uutta, ja työn tekeminen oli äärimmäisen opettavaista. Tulen varmuudella hyödyntämään lopputyötäni jatkossa myös käytännön työelämässä. Mielestäni lopputyöni tekeminen on lisännyt omaa ammattiosaamistani ilmanvaihtotekniikan osalta merkittävästi, en näe yhtään syytä miksi siitä ei olisi apua myös vastaavia töitä tekeville kollegoilleni.

Työn avulla ei varmastikaan saatu selvitettyä kaikkia erilaisia ilmanvaihtoperäisiä sisäilmaongelmien aiheuttajia. Toisaalta tämä ei ollut tarkoituskaan, vaan tavoitteena oli selvittää yleisimpiä ongelmanaiheuttajia, sekä laatia ohjeistus alustavan ilmanvaihto-

tarkastuksen laatimiseksi. Sisäilmatutkijan tehtävänä ei ole toteuttaa ilmanvaihtojärjestelmän kattavaa kuntotutkimusta, mutta tarvittaessa tutkijan olisi syytä pystyä osoittamaan tarve tutkimukselle sisäilmatarkastuksessa tehtävien havaintojen perusteella. Uskoisin, että tässä mielessä työn lopputulos on onnistunut.

Opinnäytetyön laajuudesta johtuen siitä rajattiin pois korjausvaihtoehtojen selvittäminen erilaisten IV:n puutteiden korjaamiseksi, joka olisi luonnollinen jatkotutkimuksen aihe työlle. Toisaalta järjestelmän korjaustoimenpiteet vaativat myös ilmanvaihdon laajempaa tuntemista, joten korjaustoimenpiteiden määrittäminen on LVI-insinöörin osaamisaluetta. Tutkimustyötä tullaankin myöhemmin jatkamaan korjaustoimenpiteisiin IdeaStructura Oy:n toimeksiannosta LVI-alan opiskelijan tekemänä insinöörityönä.

Lähteet

Asikainen, Vesa & Peltola, Susanna. 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa 1, 8/2016. 2016. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira, Helsinki.

Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. STM:n oppaita 2003:1. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.

Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö ja terveys -lehti.

Hakkarainen, Hannu. 2014. Rakennusfysiikan erikoisopintopaketti. Rakennustekniikan YAMK-koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu.

Holopainen, R., Pasanen, P., Railio, J., Säteri, J., Virranta, P. 2012. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Opetushallitus.

HTP-arvot 2016. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Julkaisuja 2016:8. 2016. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.

Huttunen, Jukka. 2015. Projektipäällikkö, IdeaStructura Oy, Kokkola. Keskustelu 9.3.2015.

Hyvärinen, Markku. 2015. Ilmanvaihto- ja ilmastointitekniikan opintopaketti. Rakennusterveysasiantuntijan koulutusohjelma. Rakennusteollisuuden koulutuskeskus Rateko.

IV-kuntotutkimusohjeet. 2016. Verkkodokumentti. Suomen LVI-liitto, SuLVI ry. <<https://www.sulvi.fi/materiaalipankki/iv-kuntotutkimushanke/>>. Luettu 7.2.2018.

Järnström, H., Nyman, M., Saari, M., Päckilä, T., 2016. Havaintoja ilmanvaihtojärjestelmistä sisäilmaongelmaisissa kohteissa. Teoksessa Ahola, Mervi & Säteri, Jorma. Sisäilmastoseminaari 2016. Sisäilmayhdistys raportti 34. Sisäilmätieto Oy.

Kerrostalot 1975–2000. 2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Korkala, Tapio & Laksola, Jaakko. 2012. Ilmastointi – Hoito- ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Kosteus- ja hometalkoot. Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Loppuraportti. 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö.

LVI 30-10333. 2002. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus asuinrakennuksessa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

LVI 03-10378. 2004. Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus ja -parannus. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto.

Meklin, T., Putus, T., Hyvärinen, A. Haverinen-Shaughnessy, U. Lignell, U., Nevalainen, A. 2007. Koulurakennuksen home- ja kosteusvauriot: Ohjeita ongelmien selvittämiseen. KTL:n julkaisuja C 9/2007.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P. 2002. Kerrostalot 1880-1940. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Sinkkilä, J., Tuunanen, A-M., Saarenpää, J. 1989. Kerrostalot 1940–1960. Porvoo: Rakennustietosäätiö, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen rakennuslaboratorio ja Rakennuskirja Oy.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J., Tähti, E. 1994. Kerrostalot 1960–1975. Helsinki: Rakennustietosäätiö ja Rakennustieto Oy.

Opas ilmanvaihdosta. 2016. Verkkodokumentti. Hengitysliitto.
<<http://www.hometalkoot.fi/file/15934.pdf>>. Luettu 13.1.2017.

Paloniitty, Sauli. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Palviainen, Tiina. 2018. Projektipäällikkö, IdeaStructura Oy, Helsinki. Keskustelu 9.2.2018.

Reijula, K., Ahonen, G., Alenius, H., Holopainen, R., Lappalainen, S., Palomäki, E., Reiman, M. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. Eduskunta.

RIL 250-2011. Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Saarijärvi: Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Rakennustietosäätiö.

RT 07-10881. 2006. Huoneakustiikka. Rakennustietosäätiö RTS Oy.

RT 07-10946. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäilmaston tavoitearvot, suunniteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 14-11197. 2015. Rakennusten ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Rakennustietosäätiö RTS Oy.

Sandberg, Esa. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Seikkula, Kirsi-Maria. 2017. Yleisimmät sisäilmaongelmia aiheuttaneet tekijät Kokkolan ja Pietarsaaren kaupunkien omistamissa rakennuksissa sekä rakennuksen sisäilma-tekniikan kehittämisen. Opinnäytetyö. Itä-Suomen Yliopisto, Koulutus ja kehittämisspalvelu Aducate, Rakennusterveys.

Seppänen, Olli & Seppänen, Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy.

Sisäilmaopas. 2011. Helsinki: Allergia- ja Astmaliitto ry ja Hengitysliitto ry. Verkko-dokumentti. <<http://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/oppaat/sisailmaopas.pdf>>. Luettu 17.3.2017.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Asetus 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Suomalainen Lääkäriseura Duodecim. 2016. Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas. Käypä hoito -suositus. Helsinki.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012. 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki.

Koskela, H., Pääkkönen, R., Rintamäki, H. 2014. Tavoitetasoperustelumuistio. Lämpöolot. Työterveyslaitos, Helsinki.

Tuunanen, Jutta. 2016. Energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuus toimistorakennuksen korjaus- ja muutostöissä. Parantuneen sisäilmaston vaikutus työn tuottavuuteen. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikka YAMK.

Työterveyslaitos. 2010. PAH-yhdisteiden tavoitetasoperustelumuistio. Helsinki: Työterveyslaitos.

Ympäristöopas 2016. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Ympäristöministeriön asetus 1009/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö.



ILMANVAIHDON TARKASTUSASIAKIRJA

Kohde:

Projekti:

Pvm:

1. KOHTEEN YLEISTIEDOT	
Nimi ja osoite	
Rakennusvuosi	
Käyttötarkoitus	
Kerrosluku	
Pinta-ala/ tilavuustiedot	
Pääasialliset runkomateriaalit	

2. KOHTEEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN YLEISTIEDOT	
Järjestelmä	<input type="checkbox"/> painovoimainen <input type="checkbox"/> koneellinen poisto <input type="checkbox"/> koneellinen tulo-poisto <input type="checkbox"/> muu, tarkempi kuvaus:
IV-koneiden lukumäärä	poistoilma: tuloilma: kohdepoisto: muut:
Korvausilman saanti	<input type="checkbox"/> ei ole <input type="checkbox"/> ikkuna/ ikk. tiiviste <input type="checkbox"/> raitisilmaventtiili <input type="checkbox"/> koneellinen <input type="checkbox"/> muu, tarkempi kuvaus:
Koneellisen järjestelmän käyttö	<input type="checkbox"/> täysteho <input type="checkbox"/> osateho <input type="checkbox"/> on-off <input type="checkbox"/> muu
Tehostetut käyttäjät	
Ilmanvaihtojärjestelmän ikä	

3. LÄHTÖTIEDOT	
Tekniset asiakirjat	<input type="checkbox"/> ilmanvaihtopiirustukset <input type="checkbox"/> työselostukset <input type="checkbox"/> työmaa-asiakirjat <input type="checkbox"/> IV:n mittauspöytäkirjat <input type="checkbox"/> äänimittauspöytäkirjat <input type="checkbox"/> painekoepöytäkirjat <input type="checkbox"/> toimintakoepöytäkirjat <input type="checkbox"/> huoltokirja- tai suunnitelma <input type="checkbox"/> aiempi kuntoarvio tai -tutkimus <input type="checkbox"/> muu, tarkempi kuvaus:
Haastattelut/ kyselyt	<input type="checkbox"/> huoltohenkilökunta <input type="checkbox"/> käyttäjät <input type="checkbox"/> muu:
Puutteet sisäilman laadussa haastatteluiden ja oman arvion perusteella	<input type="checkbox"/> lämpötilaongelmat <input type="checkbox"/> vetoisuus <input type="checkbox"/> tunkkaisuus <input type="checkbox"/> hajuhaitat <input type="checkbox"/> kuivuus/ kosteus <input type="checkbox"/> meluisuus <input type="checkbox"/> muu, tarkempi kuvaus:
Havaintujen puutteiden tarkempi kuvaus ja sijainti	

4. IV-JÄRJESTELMÄN KARTOITUS			
Lisätutkimustarpeet järjestelmän kartoittamiseksi	<input type="checkbox"/> hormikuvaus	<input type="checkbox"/> merkisavu tai -ainekoe	<input type="checkbox"/> muu:
Tarkempi kuvaus tutkimustarpeista ja -alueista			
Järjestelmä vastaa lähtötietoja	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> lähtötietoja ei saatavilla
Puutteita havaittu	<input type="checkbox"/> tuloilmanotto/ poistoilman ulospuhallus <input type="checkbox"/> IV-kanava-/ hormikoot <input type="checkbox"/> IV-kanavien eristyksset <input type="checkbox"/> ilmapirran säätölaitteet <input type="checkbox"/> lämmitys/ jäähdytyslaitteet <input type="checkbox"/> pääte-elimien sijainti <input type="checkbox"/> muu, tarkempi kuvaus:	<input type="checkbox"/> IV-koneet ja varusteet <input type="checkbox"/> IV-kanava-/ hormimateriaalit <input type="checkbox"/> sulkupellit <input type="checkbox"/> palopellit <input type="checkbox"/> kostuttimet <input type="checkbox"/> pääte-elimien puhalluskuvio/ tuloilman suuntaus	<input type="checkbox"/> IV-kanava-/ hormireiät <input type="checkbox"/> siirtoilmareitit <input type="checkbox"/> tarkastusluukut <input type="checkbox"/> äänenvaimentimet <input type="checkbox"/> pääte-elimien malli
Tarkempi kuvaus puutteista			

5. IV-JÄRJESTELMÄN HUOLTO			
Huoltokirja- tai suunnitelma	<input type="checkbox"/> saatavilla	<input type="checkbox"/> ajantasainen	<input type="checkbox"/> ei saatavilla
Huoltokirja sisältää tiedot	<input type="checkbox"/> kone/ laitekortit <input type="checkbox"/> vastualueet <input type="checkbox"/> aiemmat korjaukset	<input type="checkbox"/> säätö- ja toimintakaaviot <input type="checkbox"/> huoltotaulukko tms. <input type="checkbox"/> tulevat korjaukset	<input type="checkbox"/> koestusohjeet <input type="checkbox"/> valvontajärjestelmän tiedot <input type="checkbox"/> muu maininta
Havaitut puutteet huollossa	<input type="checkbox"/> suodattimien vaihto <input type="checkbox"/> sulku- ja säätöpellit <input type="checkbox"/> muu, tarkempi kuvaus:	<input type="checkbox"/> järjestelmän puhtaus <input type="checkbox"/> liikkuvien osien voitelu	<input type="checkbox"/> hihnat ja hihnapyörät <input type="checkbox"/> valvontajärjestelmien toiminta
Tarkempi kuvaus huoltokirjasta tai puutteista			

6. IV-JÄRJESTELMÄN KUNTO JA PUHTAUS			
Ulkoilmakammiot/ ilmanotto ja -poisto	<input type="checkbox"/> kammioiden puhtaus tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> kammioiden viemäröinti tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> tulo- ja poistoilmanoton sijainti tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> lämmöneristys tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	muut havaitut puutteet:		
Suodattimet	<input type="checkbox"/> suodattimien vaihtoväli tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> suodattimien puhtaus ja kuivuus tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> suodattimien asennustapa tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> suodatinluokat tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	muut havaitut puutteet:		
Konehuoneet, koneet, jäähdytys- ja kostutuslaitteistot	<input type="checkbox"/> laitteiden ja tilojen puhtaus tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> ilmanlaatu aistinvaraisesti tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> laitteiden ja tilojen viemäröinti tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> laitteiden tiiveys tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> puhaltimien pyörimissuunta ja kunto tark.	lisätiedot:	
<input type="checkbox"/> puutteita havaittu			
	<input type="checkbox"/> meluisuus ja tärinävaimentimet tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> mittareiden yms. laitteiden toiminta arvioitu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	muut havaitut puutteet:		
	Kanavistot	<input type="checkbox"/> puhtaus tarkastettu	lisätiedot:
		<input type="checkbox"/> puutteita havaittu	
		<input type="checkbox"/> tiiviys arvioitu	lisätiedot:
		<input type="checkbox"/> puutteita havaittu	
		<input type="checkbox"/> lämmöneristys tarkastettu	lisätiedot:
		<input type="checkbox"/> puutteita havaittu	
muut havaitut puutteet:			
Äänenvaimentimet	<input type="checkbox"/> puhtaus tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> kunto ja mineraalivillalähteet tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	muut havaitut puutteet:		
Päätelaitteet	<input type="checkbox"/> laitteiden puhtaus tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
	<input type="checkbox"/> toiminta, suuntaus ja soveltuvuus tarkastettu	lisätiedot:	
	<input type="checkbox"/> puutteita havaittu		
muut havaitut puutteet:			



ILMANVAIHDON MITTAUSPÖYTÄKIRJA
 Kohde:
 Projekti:
 Pvm:

7. ILMAMÄÄRÄT JA -LÄMPÖTILAT, MITTAUSPÖYTÄKIRJA										
TUULOILMA						POISTOILMA				
Tila	Mittauspiste	Pinta-ala/ henkilömäärä [m ² /hiöä]	Suunniteltu ilmamäärä [l/s]	Mittattu ilmamäärä [l/s]	Mittattu tuuloil- man lämpötila [°C]	Ilmamäärä täy- tää määräkysket <input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	Sisäilmasto- luokitus [S1/ S2/ S3]	Suunniteltu ilmamäärä [l/s]	Mittattu ilma- määrä [l/s]	Ilmamäärien erotus [± l/s]
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			
						<input type="checkbox"/> täytetään <input type="checkbox"/> ei täyhiä	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3			