

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon
käytön yleisohje

ja

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon
käytön yleisohjeen perustelumuuisto

14.3.2019

Kuntien sisäilmaverkosto

Espoo, Helsinki, Jyväskylä, Kuopio, Lahti, Oulu, Tampere, Turku, Vantaa

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje

Yleisohjeen on laatinut kuntien sisäilmaverkoston asiantuntijaryhmä. Yleisohjeen perustelumuistion on laatinut Marianna Tuomainen ja sitä on kommentoinut työryhmä sekä seuraavalla sivulla luetellut henkilöt. Kuntien sisäilmaverkosto kiittää kaikkia asiantuntijatyöhön osallistuneita sekä kommentoijia.

Asiantuntijaryhmään kuuluivat:

Aitio Juuso	Salon kaupunki, tilapalvelut
Alanko Antti	Are Oy
Andelin Olli-Pekka	Vantaan kaupunki / tilakeskus
Arola Jouni	Lahden kaupunki, tilakeskus
Harju Riitta	Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala
Hartikainen Petri-Mikael	Kuopion Tilakeskus
Hyvärinen Anne	Terveysten ja hyvinvoinnin laitos
Järvi Kati	Turun kaupunki
Lignell Ulla	Keravan kaupunki
Melender Mikko	Espoon kaupunki, Tilapalvelut-liikelaitos
Ojanen Tuomo	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Rantanen Mikko	Salon kaupunki, tilapalvelut
Saari Mikko	Eurofins Expert Services
Saira Jaana	Espoon kaupunki, Tilapalvelut-liikelaitos
Stenlund Leena	Vantaan kaupunki / tilakeskus
Tuomainen Marianna	Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala
Petteri Väkelä	Vaasan kaupunki

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje

Ohjetta ja perustelumuiiota ovat kommentoineet:

Ahola Mervi	Sisäilmayhdistys ry
Airaksinen Miimu	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL
Andersson Tarja	Ramboll Finland Oy
Björkroth Marko	A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Eskola Lari	A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Hartikainen Tarja	Suomen Kuntaliitto
Hildén Sari	Helsingin kaupunki / kaupunkiympäristön toimiala
Hirvonen Esa	WSP Finland Oy
Hyvärinen Markku	Vahanen Rakennusfysiikka Oy
Keskikuru Timo	Senaatti-kiinteistöt
Kess Juho	RAKLI ry
Kilpikari Jyrki	Saint-gobain Finland Oy
Kontro Petteri	Jyväskylän kaupunki / Tilapalvelut
Kosonen Risto	Aalto yliopisto
Kosunen Hannu	Kuopion Tilakeskus
Kylliäinen Seppo	Lappeenrannan Toimitilat Oy
Lehtinen Maija	Espoon kaupunki, Tilapalvelut-liikelaitos
Marttila Tero	Tampereen yliopisto
Metiäinen Pertti	Valvira
Niemi Sami	Vahanen Rakennusfysiikka Oy
Pasanen Pertti	Itä-Suomen yliopisto
Pipatti Pasi	Senaatti-kiinteistöt
Pitkäranta Miia	Vahanen Rakennusfysiikka Oy
Puhakka Eija	Sweco Asiantuntijapalvelut Oy
Railio Jorma	asiantuntija
Rämö Hannele	Asumisterveysliitto AsTe ry
Salonen Heidi	Aalto-yliopisto, Sisäympäristötekniikka
Sariola Laura	Rakennustietosäätiö RTS sr
Seppänen Olli	emeritusprofessori
Strand Tiina	Suomen LVI-liitto SuLVI ry
Säteri Jorma	Metropolia Ammattikorkeakoulu
Tuovinen Hanna	Vahanen Rakennusfysiikka Oy
Vehviläinen Tommi	Sirate Group Oy
Vuolle Mika	Equa Simulation Finland Oy
Wallenius Pekka	Vantaan kaupunki / tilakeskus
Wirtanen Leif	Ramboll Finland Oy

Esipuhe

Kuntien sisäilmaverkosto aloitti vuorovaikutuksellisen toimintansa keväällä 2018 tavoitteena yhdistää voimia palvelutilojen sisäilmahaasteiden voittamiseksi. Kuntien sisäilmaverkostossa paneudutaan teemoihin, joiden ongelmia, toimenpidevaihtoehtoja ja näihin liittyviä kysymyksiä kuntien palvelurakennusten omistajat, tilahallinto, kiinteistöpäälliköt ja muut tilojen olosuhteista vastaavat joutuvat kohtaamaan jatkuvasti työssään. Ensimmäisenä teemana kuntien sisäilmaverkosto otti käsiteltäväkseen ilmanvaihdon. Helsingissä 4.9.2018 pidetyssä kuntien sisäilmaverkoston seminaarissa ”Ilmanvaihdon toiminta ja käytäjäjat” päätettiin laatia julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohje ja sitä tukeva perustelumustio.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohje on laadittu selkeyttämään ja yhdenmukaistamaan niitä periaatteita, joiden mukaan ilmanvaihtoa käytetään kuntien palvelurakennuksissa. Yleisohjeessa kerrotaan, miten ilmanvaihtoa suositellaan käytettäväksi. Yleisohjetta tukemaan on laadittu perustelumustio, jossa kerrotaan, miksi ilmanvaihtoa tulisi käyttää, kuten yleisohjeessa on esitetty. Yleisohjetta on hyvä lukea rinnan perustelumustion kanssa. Lukemista helpottamaan yleisohjeesta on linkit perustelumustion vastaavaan kohtaan. Perustelumustio on laadittu nimensä mukaisesti perustelemaan ja taustoittamaan. Perustelumustiossa kerrotaan tutkimustiedon avulla, miten ilmanvaihto vaikuttaa julkisten palvelurakennuksen sisäilmastoon.

Julkisilla palvelurakennuksilla tarkoitetaan kouluja, päiväkoteja, nuorisotiloja, leikkipuistorakennuksia, kirjastoja, kulttuurirakennuksia, terveysasemia, sairaaloita, vanhusten palvelutaloja ja vastaavia, jotka ovat julkisen toimijan omistamia ja ylläpitämiä. Näissä rakennuksissa on tyypillisesti paljon ihmisiä kerralla yhdessä tilassa, jolloin koneellinen ilmanvaihto on tarpeellinen poistamaan ihmisten sisäilmaan tuomia epäpuhtauksia kuten aineenvaihduntatuotteita, viruksia ja bakteereja sekä ihmisen toiminnasta syntyviä epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon avulla laimennetaan myös rakennusmateriaalien ja kalusteiden materiaali päästöjä. Monille julkisille palvelurakennuksille on tyypillistä, että tilojen käyttöaste vaihtelee paljon vuorokauden eri aikoina.

Ilmanvaihtojärjestelmän suurimmat haasteet sisäilmasto-olosuhteille aiheutuvat ilmavirtojen epätasapainosta. Vanhoissa ilmanvaihtojärjestelmissä on vähän säätömahdollisuuksia ja siten vaikeuksia vaikuttaa ilmavirtojen epätasapainoon. Uudemmissa ilmanvaihtojärjestelmissä ilmavirtojen tasapaino on kuitenkin helpompi saavuttaa. Näissä puhaltimien pyörimisnopeutta ohjataan automaatiojärjestelmällä, jolloin tulo- ja poistoilmavirtojen suuruuksia voidaan muuttaa suhteessa toisiinsa siten, että ne pysyvät tasapainossa. Riippumatta siitä kuinka hyvin ilmanvaihtojärjestelmä on säädetty, myös sääolosuhteet vaikuttavat rakennuksen vaipan yli vallitsevaan paine-eroon. Toistaiseksi vielä harvoissa rakennuksissa toteutettu rakennuksen vaipan yli tapahtuvan jatkuvatoimisen paine-eroseurannan avulla ohjattu ilmavirtojen säätö tulee lisääntymään.

Perustelumustiossa kerrotaan, miten eri ilmanvaihtojärjestelmät toimivat ja miten niiden käyttö rakennuksen käyttöaikojen mukaan vaikuttaa sisäilmasto-olosuhteisiin. Tuoreissa opinnäytetöissä on paneuduttu erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien käytön edellytyksiin ja ilmanvaihtojärjestelmän huolellisen tasapainottamisen oikeaoppiseen toteuttamiseen. Luvuissa 6 – 9 käsitellään ilmanvaihtojärjestelmän vaikutuksia sisäympäristön erilaisiin epäpuhtauksiin ja kosteuteen, koska näitä koskeviin kysymyksiin kuntatoimijat joutuvat usein vastaamaan. Luvussa 10 kerrotaan lämpöolosuhteista, sillä niillä on merkittävä vaikutus sisäilman raikkauten tuntuun ja ilmanjaon tehokkuuteen. Luvussa 11 käsitellään ilmanvaihdon vaikutuksia energiankulutukseen ja pohditaan ilmastonmuutosta. Lopuksi luvussa 12 kerrotaan rakennusautomaatiosta sekä kulutus- ja olosuhdeseurantajärjestelmistä, joilla voidaan valvoa sekä rakennuksen sisäilmasto-olosuhteita että energiankulutusta.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohjetta ei tule käyttää asuntoilmanvaihdon ohjeena. Asunnoissa oleskellaan ympäri vuorokauden tai ainakin iltaisin ja öisin eli juuri silloin, kun suuressa osassa palvelurakennuksia ei ole toimintaa. Lisäksi asunnoissa tapahtuvan toiminnan kosteustuotto on usein selvästi suurempaa kuin koulujen opetustiloissa, päiväkotien leikkitiloissa, kirjastoissa tai terveysasemilla. Ohje ei myöskään sovellu urheiluhalleille eikä kallioluolissa oleville käyttötiloille, joiden lämpötila on alle normaalien sisälämpötilojen.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje

Ilmanvaihdon käytön yleisohje on laadittu julkisten palvelurakennusten kiinteistönhoidosta ja ylläpidosta vastaaville henkilöille, joiden tehtävänä on huolehtia rakennusten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnasta ja hyvistä sisäilmasto-olosuhteista.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihtoa käytetään rakennuksen käyttöaikojen mukaan. Ilmanvaihtoa käytetään jatkuvasti, kun rakennuksen käyttö on jatkuvaa (esim. vanhusten palvelutalot ja sairaalat). Mikäli ilmanvaihtoa käytetään mitoitustehon lisäksi osateholla tai tarpeenmukaisesti, varmistetaan, että ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon on kaikilla tehotasoilla mahdollisimman pieni.

Kun rakennuksen käyttöaika rajoittuu päivä- ja mahdolliseen iltakäyttöön (esim. päiväkodit, koulut, nuorisotilat ja kirjastot), ilmanvaihtoa käytetään rakennuksen käyttöajan mukaan seuraavasti:

[Vakioilmavirtajärjestelmissä](#) joka huoneeseen jaetaan henkilömäärään tai pinta-alaan perustuva mitoitusilmavirta. Järjestelmässä ei ole huonekohtaista säätöä. Vakioilmavirtajärjestelmässä [ilmanvaihto käynnistetään mitoitusteholle](#) 2 tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista. Jos palvelualueen henkilökuormitus on huomattavasti mitoitustasoa pienempi, käytetään yleensä osatehoa. Ilmanvaihto siirtyy käyttöajan ulkopuoliseen ilmanvaihtoon 1–2 tuntia rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.

[Tarpeenmukaisesti säätyvässä eli muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä](#) ilmanvaihto käynnistetään mitoitusteholle 2 tuntia ennen käyttöajan alkamista. Tarpeenmukainen ilmanvaihto siirtyy käyttöajan alkaessa tarpeenmukaiseen ohjaukseen, jossa ilmanvaihto tehostuu osateholta mitoitusteholle lämpötilan, hiilidioksidipitoisuuden ja/tai läsnäolon perusteella. Ilmanvaihto siirtyy käyttöajan ulkopuoliseen ilmanvaihtoon 1–2 tuntia rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.

Rakennuksen käyttöaikaan sisältyvät siivous ja mahdollinen iltakäyttö (esim. liikuntasalit ja teknisen työn tilat).

Rakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto

Yhdestä kahteen tuntia rakennuksen tai ilmanvaihtokoneen palvelualueen käyttöajan päättymisen jälkeen yleisilmanvaihdon käyntiaika päättyy. Jos rakennusta tai ilmanvaihtokoneen palvelualueetta ei käytetä viikonloppuisin, ilmanvaihdolle laaditaan jaksotusohjelma, jolloin ilmanvaihto käy sekä lauantaina että sunnuntaina mitoitusteholla yhden tunnin ajan. Ilmanvaihto käynnistetään mitoitusteholle maanantaisin 3 tuntia ja muina arkipäivinä 2 tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista.

Mikäli [hygieniatiloissa](#) on pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto, hygieniatilojen ilmanvaihdon on rakennuksen käyttöajan ulkopuolella parempi olla pois päältä kuin aiheuttaa [alipaineen](#) vuoksi ilmavuoja rakenteiden kautta. Mikäli hygieniatiloissa on kuitenkin oma koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, hygieniatilojen ilmanvaihtoa käytetään myös rakennuksen käyttöajan ulkopuolella. Näiden ilmavirtojen tasapaino tulee varmistaa.

Ryömintätillisten alapohjien, radontuuletusjärjestelmien, putkitunneleiden, hissien ja jätehuoneiden erillispoistoja ei saa sulkea, sillä näiden erillispoistojen kuuluu alipaineistaa em. tilat käyttötiloihin nähden. Myöskään myrkkukaappien, akkutilojen eikä kemikaalitulojen erillispoistoja ei saa pysäyttää.

Keittiöiden erillispoistot (huuvat) on yleensä sähköisesti tai ohjelmallisesti lukittu tuloilmakoneen toimintaan. On kuitenkin varmistettava, että keittiöiden erillispoistot varmasti pysähtyvät tuloilmakoneen pysähtyessä.

Ilmanvaihtokoneiden käynnistäminen

Paineiskujen mahdollisuuteen on syytä kiinnittää huomiota. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaukselta vaaditaan käynnistysviive, jotta sulkupellit ehtivät avautua ennen puhaltimien käynnistymistä, jolloin paineiskua ei pääse syntyämään. Taajuusmuuttajat mahdollistavat puhaltimien hyvinkin pitkät käynnistysajat.

Ilmavirtojen vaikutus rakennuksen paine-eroon

Rakennuksen [paineolosuhteista huolehditaan](#) tasapainottamalla ilmavirrat huolellisesti, jotta ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon on mahdollisimman pieni. Jotta rakennuksen ilmavirrat saadaan tasapainoon kokonaisuutena ja palvelualueittain, ilmanvaihtosuunnitelmien ja -toteutuksen päivittäminen on yleensä välttämätöntä, sillä aiemmin poistoilmavirrat mitoitettiin tuloilmavirtoja suuremmiksi.

[Rakennuksen tiiviys](#) vaikuttaa oleellisesti rakenteiden kautta tulevaan ilmavirtaan. Tiiviissäkin rakennuksissa voi olla yksittäisiä ilmapuotokohtia, jotka voivat olla merkittäviä ilmapuotoreittejä suurella paine-erolla.

Jos ilmanvaihtoa käytetään mitoitustehon lisäksi [osateholla tai tarpeenmukaisesti](#), on varmistettava, että ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon on kaikilla tehotasoilla mahdollisimman pieni. Rakennuksessa olevien erillispoistojen korvausilman tarve tulee ottaa huomioon.

Kosteuskuorman huomioon ottaminen

Maanpinnan alapuolella sijaitsevissa kellaritiloissa, ryömintätalallisissa alapohjissa ja tiloissa, joissa on lämmöneristämättömät lattiat, sekä uima-allastiloissa, jatkuva ilmanvaihto on tarpeellinen kosteuskuorman pienentämiseksi.

Loma-ajat, yötuuletus ja perussiivous

Jos rakennusta ei käytetä loma-aikoina, ilmanvaihdolle laaditaan jaksotusohjelma, jolloin ilmanvaihto käy mitoitusteholla yhden tunnin vuorokaudessa. Loma-ajan päätyttyä ilmanvaihto käynnistetään 3 tuntia ennen käyttöajan alkamista.

Kun rakennus on kesällä päivisin käytössä, ilmanvaihtoa on hellejaksolla hyvä käyttää öisin yötuuletuksella mitoitustehon ilmavirroilla, mikäli ulkoilman lämpötila on vähintään 3 °C poistoilman lämpötilaa matalampi. Yötuuletuksen aikana lämmöntalteenotto ei saa olla toiminnassa.

Perussiivouksen aikana ja kaksi vuorokautta sen päättymisen jälkeen ilmanvaihtoa käytetään ympärivuorokautisesti. Lattiavahauksen aikana ja kaksi vuorokautta sen päättymisen jälkeen ilmanvaihtoa on suositeltavaa käyttää ympärivuorokautisesti. Mikäli vahauksesta aiheutunut haju on voimakasta vielä kahden vuorokauden jälkeen, ympärivuorokautista ilmanvaihtoa voidaan jatkaa tarpeen mukaan.

Ilmanvaihto uudisrakennuksessa tai peruskorjatussa rakennuksessa

Rakennuksen vastaanoton jälkeen ilmanvaihtoa käytetään mitoitustehon ilmavirroilla jatkuvasti vuoden ajan, jotta [rakennusmateriaalien ja kalusteiden päästöt](#) saadaan huuhdeltua sisäilmasta. Mikäli materiaali- päästöjen haju on voimakasta vielä vuoden jälkeen, ympärivuorokautista ilmanvaihtoa on hyvä jatkaa tarvittaessa vielä puolesta vuodesta vuoteen.

Ilmanvaihdolle lisääikaa esim. palvelurakennuksen iltakäytössä

Iltakäyttöajat huomioidaan ensisijaisesti rakennuksen [valvomojärjestelmässä](#), jossa asetetaan ilmanvaihdon aikaohjelmat. Tarvittaessa, esim. julkisen palvelurakennusten avautuessa ulkopuoliselle käytölle, tilankäyttäjälle luodaan mahdollisuus pidentää ilmanvaihdon käyntiaikoja esimerkiksi yhdestä viiteen tuntia kyseisellä palvelualueella. Käyntiajan pidennys voidaan tehdä liiketunnistimilla tai lisääikakytkimillä niihin rakennuksiin, joihin se on teknisesti mahdollista.

Tuloilman lämpötila

Ilmanvaihdon [tuloilman lämpötilan](#) tulee olla 2°C sisäilman tavoitelämpötilaa matalampi, jotta tuloilma sekoittuu tehokkaasti huoneilmaan. Tämä ei koske ilmalämmitteisiä järjestelmiä.

Ikkunatuuletus

[Ikkunatuuletus](#) on palvelukiinteistöissä sallittua. Ulkoa sisälle tuleva ilma on tällöin suodattamatonta, mutta tuuletusmahdollisuus parantaa käyttäjän tyytyväisyyttä. Kun tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa on hiilidioksidipitoisuuden perusteella tehostuva ilmanvaihto, ilmanvaihto ei tehostu, kun sisäilman hiilidioksidipitoisuus laimenee ulkoilmalla. Jos rakennuksessa on jäähdytys, ikkunatuuletusta kannattaa välttää, sillä se nostaa huonelämpötilaa ja heikentää jäähdytyksen tehokkuutta hellejaksolla. Siitepölykaudella ikkunatuuletus voi lisätä allergikkojen oireilua.

Erityistilanteet

Kunnan [sisäilma-asiantuntija](#) päättää ilmanvaihdon käyntiajoista niissä rakennuksissa, joissa on [kosteus- tai mikrobivaurioita](#). Ilmanvaihdon käyttö täytyy suunnitella rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaispiirteet huomioiden sekä vaipan yli olevia paine-eroja seuraten. Mikäli ilmanvaihto ei suurena rakennuksen vaipan yli olevaa paine-eroa, ilmanvaihtoa käytetään jatkuvasti. Jos vakioilmavirtajärjestelmissä termisen paine-eron aiheuttamia [ilmavirtamuutoksia](#) ei voida kompensoida, ilmanvaihtojärjestelmän pysäyttäminen yöajaksi voi pienentää rakennuksen vaipan yli olevaa paine-eroa.

Kun rakennuksessa tehdään [korjaus- tai purkutöitä](#), joissa osa tiloista osastoidaan ja alipaineistetaan, on huolehdittava, ettei viereisiin tiloihin aiheudu suurta alipainetta. Osastoinnin tulee olla tiivis ja viereisiin tiloihin voidaan tarvittaessa ohjata enemmän korvausilmaa. Korjaustoimenpiteiden jälkeen hienojakoinen rakennuspöly voi leijua ilmassa viikkoja, jolloin ilmanvaihtoa on hyvä käyttää jatkuvasti esim. kahdesta neljään kuukautta. Tämän tarpeen määrittelee sisäilma-asiantuntija arvioimalla korjaustöiden laajuutta ja vaikuttavuutta.

Kiinteistönhoidon ja käyttäjien opastus

Kiinteistöhoitohenkilökuntaa opastetaan ilmanvaihdon käyttämiseen tämän ohjeen mukaisesti. Varmistetaan, että ilmanvaihdon käytöstä vastaava ohjelmoi ilmanvaihdon aikaohjelmat valvontajärjestelmään.

Käyttäjiä opastetaan pyytämään hyvissä ajoin aikaohjelmaan tarpeenmukaista lisäaikaa iltakäytölle tai tietämään, missä tiloissa iltakäyttö on mahdollista esimerkiksi lisäaikakytkimellä tai liiketunnistimella. Lisäaikakytkimissä tai niiden välittömässä läheisyydessä on oltava selvästi merkitty kyltti, mitä kytkin tekee ja kuinka sitä käytetään.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuistio

Perustelumuistion sisällysluettelo

Käsitteitä ja lyhenteitä	11
1 Ilmanvaihdon merkitys julkisissa palvelukiinteistöissä	12
1.1 Ilmanvaihdon tarve ja määrä	12
1.2 Painovoimainen ilmanvaihto.....	13
1.3 Koneellinen poistoilmanvaihto	14
1.4 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	14
1.5 Hybridi-ilmanvaihto	14
1.6 Asetukset, ohjeet ja oppaat	15
1.6.1 STM:n asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista, 2015.....	15
1.6.2 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Valvira, 2016	15
1.6.3 Ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaitan ennaltaehkäisemiseen sekä selvittämiseen, Valvira, 2018	16
1.6.4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 2018.....	16
1.6.5 Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.....	16
1.6.6 Sisäilmasto- ja ilmanvaihto –opas, Talotekniikkainfo, ympäristöministeriön asetustekstiä opastava teksti, 2018.....	17
2 Paine-erojen hallinta.....	18
2.1 Ali- ja ylipaineisuuden vaikutukset sisäilman laatuun	18
2.2 Muita rakennuksen alipaineisuuteen vaikuttavia tekijöitä.....	19
2.3 Rakennuksen vaipan tiiviyyden vaikutus.....	19
2.4 Rakennuksen vaipan yli olevan paine-eron hallitseminen	20
3 Ilmanvaihtojärjestelmät	23
3.1 Vakioilmavirtajärjestelmät	23
3.2 Muuttuvilmavirtajärjestelmät	23
3.3 Osatehon ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käytön edellytykset.....	24
4 Ilmanvaihdon käyttäminen rakennuksen käyttöaikojen mukaan.....	25
5 Ikkunatuuletus	28
6 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet	28
6.1 Tuloilman suodattaminen	28
6.2 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen ja puhdistaminen	29
6.3 Hiukkasmaisten epäpuhtauksien sallitut pitoisuudet sisäilmassa	29
6.4 Ilmanvaihtokanavien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan ilmanvaihtoa käynnistettäessä.....	30
7 Ilmanvaihto rakennuksen osakorjausten aikana	30
8 Rakennusmateriaalien ja kalusteiden päästöt sisäilmaan	31

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto

8.1	Ilmanvaihdon vaikutus kemiallisten yhdisteiden pitoisuuteen	31
8.2	Materiaalien kyky adsorboida ja desorboida kemiallisia yhdisteitä	31
9	Kosteus.....	32
9.1	Sisäilman kosteus.....	32
9.2	Kosteusvaurioiden syntymekanismit.....	33
9.3	Uuden rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden suunnittelu ja toteutus.....	34
9.4	Kosteuden haihtuminen sisäilmaan	34
9.5	Tuloilmasuodattimien kastumisen estäminen	35
9.6	Kosteuden tiivistyminen ilmanvaihtokanaviin.....	35
10	Lämpöolosuhteet.....	35
10.1	Tuloilman lämpötilan vaikutus huonelämpötilaan	35
10.2	Kesäajan lämpötilat.....	36
10.3	Käyttäjän tekemät huonesäädöt ja opastus.....	36
11	Energia, CO ₂ -päästöt ja ilmastonmuutos	36
11.1	Energiatehokkuus- ja CO ₂ -päästövähennystavoitteet.....	37
11.2	Ilmastonmuutoksen vaikutukset	37
11.3	Ilmanvaihdon osuus energiankulutuksesta	38
11.4	Helsinkiläisen ala-asteen energiankulutus ja CO ₂ -päästöt jatkuvalla ja rakennuksen käyttöajan mukaisella ilmanvaihdolla	38
12	Rakennusautomaation valvontajärjestelmät sekä kulutus- ja olosuhdeseurantajärjestelmät	40
12.1	Valvomojärjestelmät	40
12.2	Kulutus- ja olosuhdeseurantajärjestelmät	40
13	Lähdeluettelo	41
LIITE 1.....		45

Käsitteitä ja lyhenteitä

aikaohjelma = valvontajärjestelmään laadittu aikataulu, jonka mukaan ilmanvaihto käynnistyy aamulla ennen käyttöajan alkamista ja päättyy illalla käyttöajan päättymisen jälkeen. Eri viikonpäivillä voi olla eripituiset käyttöajat.

huuhtelujakso = kahden tunnin jakso ennen rakennuksen käytön alkamista, jolloin ilmanvaihto käy mitoitusteholla. Maanantaiaamuisin ja lomajakson jälkeen huuhtelujakso on kolmen tunnin mittainen.

jaksottainen käyttö = lähdeviitteessä /6/, joka on Antti Alangon opinnäytetyö Ilmanvaihdon käyttötapojen ja käyttötasojen vaikutus sisäilmaan koulurakennuksissa, käytetään käsitettä ilmanvaihdon jaksottainen käyttö (ks. luku 8.1). Tässä ohjeessa ja perustelumuuuiossa tämän käsitteen sijaan käytetään ilmaisua rakennuksen käyttöaikojen mukainen ilmanvaihdon käyttö. Yleisohjeessa kerrotaan, että mikäli rakennuksen käyttö on jatkuvaa, ilmanvaihto on jatkuvaa. Mikäli rakennuksen käyttö päättyy illalla, ilmanvaihto käy 1 – 2 tuntia rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen käynnistyäkseen uudelleen aamulla **huuhtelujaksolle**. Lomajoille laaditaan jaksotusohjelma. Tässä jaksotus-käsite oli järkevää ottaa käyttöön.

mitoitusteho = ilmanvaihdon teho, joka vastaa normaalin toiminnan aikana suunnitellulle henkilömäärälle mitoitettua ilmanvaihdon määrää.

paineolosuhteet = paineolosuhteilla tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman tai rakennuksen eri osien välisiä ilmanpaine-eroja, ja ne määräytyvät ilmanvaihdon ja tilojen käytön sekä tuulen ja termisen paine-eron (savupiippuvaikutuksen) yhteisvaikutuksesta. Paine-erojen seurauksena syntyy ilmavirtauksia, jotka siirtävät mukanaan mm. lämpöä, kosteutta ja epäpuhtauksia.

sisäilma-asiantuntija = kunnalle palkattu useimmiten rakennusteknisen tai LVI-tekniisen koulutuksen sekä nykyään yhä useammin rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen saanut henkilö, joka mm. koordinoi rakennuksen sisäilmaongelman ratkaisuprosessia ja tilaa rakennuksen kuntotutkimukset. Jos kunnalla ei ole sisäilma-asiantuntijaa, kunnalla on kuitenkin teknisessä toimessa henkilö, joka tilaa rakennusten kuntotutkimukset ja osallistuu mahdollisen sisäilmatyöryhmän toimintaan.

tasapaino = Ilmanvaihdon tasapainolla tarkoitetaan ilmanvaihdolla varustetun tilan tai alueen tulo- ja poistoilmavirtojen tasapainoa. Mikäli terminen paine-ero ja tuuli eivät vaikuttaisi rakennukseen, ilmanvaihdon ollessa tasapainossa havaittaisiin, että rakennuksen vaipan yli oleva paine-ero olisi 0 Pa.

tehotaso = Ilmanvaihto voi toimia mitoitusteholla tai jollain osateholla, joka on tyypillisesti 20–50 % (tai 30–50 % tai 1/3 ja 2/3) mitoitustehosta, jota käytetään silloin, kun huoneessa tai rakennuksessa on selvästi vähemmän henkilöitä kuin mille huone tai rakennus on suunniteltu. Joissain tapauksissa ilmanvaihdon tehoa voidaan myös suurentaa mitoitustehosta (esim. ammatilliset oppilaitokset, joissa opetustilanteissa sisäilmaan tuotetaan runsaasti kaasumaisia yhdisteitä ja hiukkasia).

tiiviyys = rakennuksen tai sen rakenteen ilmanpitävyys

VOC = volatile organic compound = haihtuva orgaaninen yhdiste

TVOC = total volatile organic compounds = haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus

1 Ilmanvaihdon merkitys julkisissa palvelukiinteistöissä

1.1 Ilmanvaihdon tarve ja määrä

Ilmanvaihdon on tarkoitus poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia, hajuja ja liiallista kosteutta ja tuoda tilalle raikasta ilmaa. Ilmanvaihto vaikuttaa merkittävästi sisäilmasto-olosuhteisiin yhdessä rakennuksen lämmitysjärjestelmän ja aurinkosuojauksen, rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja materiaalipäästöjen kanssa. Lämmityskaudella tuloilmaa lämmitetään ja kesällä tuloilmaa voidaan viilentää rakennuksissa, joissa on jäähdytys. Tuloilman lämmittäminen kuluttaa lämpöenergiaa, minkä minimoimiseksi koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä poistoilmasta otetaan lämpöä talteen ja siirretään tuloilmaan. Koneellisissa järjestelmissä ilmanvaihdon ilmaa siirretään rakennuksessa puhaltimilla, mikä kuluttaa sähköenergiaa /1/.

Hyvän sisäilmaston luomiseen tarvittavan ilmanvaihdon määrä ja käyttöaika on suunniteltava siten, että saavutetaan epäpuhtauksille altistumisen minimi samalla, kun energiankulutus vastaa rakennuksessa toimivien ihmisten tarpeita eikä energiaa kuluteta turhaan /1/.

Finvac ry:n selvityksessä ”Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet” on taustatietoa ilmanvaihdon suuruudesta Suomessa ja muissa Euroopan maissa. Julkaisussa on myös ilmanvaihdon vähimmäisarvoja sekä asuinrakennusten että muiden kuin asuinrakennusten tilojen ilman laadun ylläpitämiseksi. Vähimmäisarvoilla ei voida merkittävästi vaikuttaa lämpöolosuhteisiin, mutta sisäilman hiilidioksidipitoisuus pysyy alle STM:n (sosiaali- ja terveysministeriön) esittämän toimenpidearvon ja ihmisperäisten epäpuhtauksien määrä pysyy kohtuullisena /1/ ja /34/.

Suomen suurimmat julkisten palvelurakennusten omistajat ohjeistavat koulujen, päiväkotien, yms. rakennusten talotekniikkasuunnittelussa käyttämään Sisäilmastoluokituksen S2-luokan ulkoilmavirran ohjearvoja, jotka ovat ilmanvaihdon vähimmäisarvoja suurempia /29/ ja /35/. Sisäilmastoluokituksen S1- ja S2-luokkien tavoitearvot ovat asetusten vähimmäisvaatimuksia tiukempia.

Väestötasolla voidaan tarkastella sisäilman aiheuttamaa kokonaishaittaa eli tautitaakkaa, kun otetaan huomioon sisäilman altisteiden lisäksi ulkoilman altisteet. Kuvassa esitetään Terveysperusteiset ilmanvaihdon ohjearvot ja niiden vaikutukset sisäilman terveysriskeihin –esityksen dia, jossa näytetään, miten sisälähteistä peräisin olevien altisteiden määrä (punaiset pylväät) ja ulkolähteistä peräisin olevien altisteiden määrä (siniset pylväät) muuttuvat, kun ilmanvaihdon määrä suurenee /2/.

Sisäilman altisteet ovat

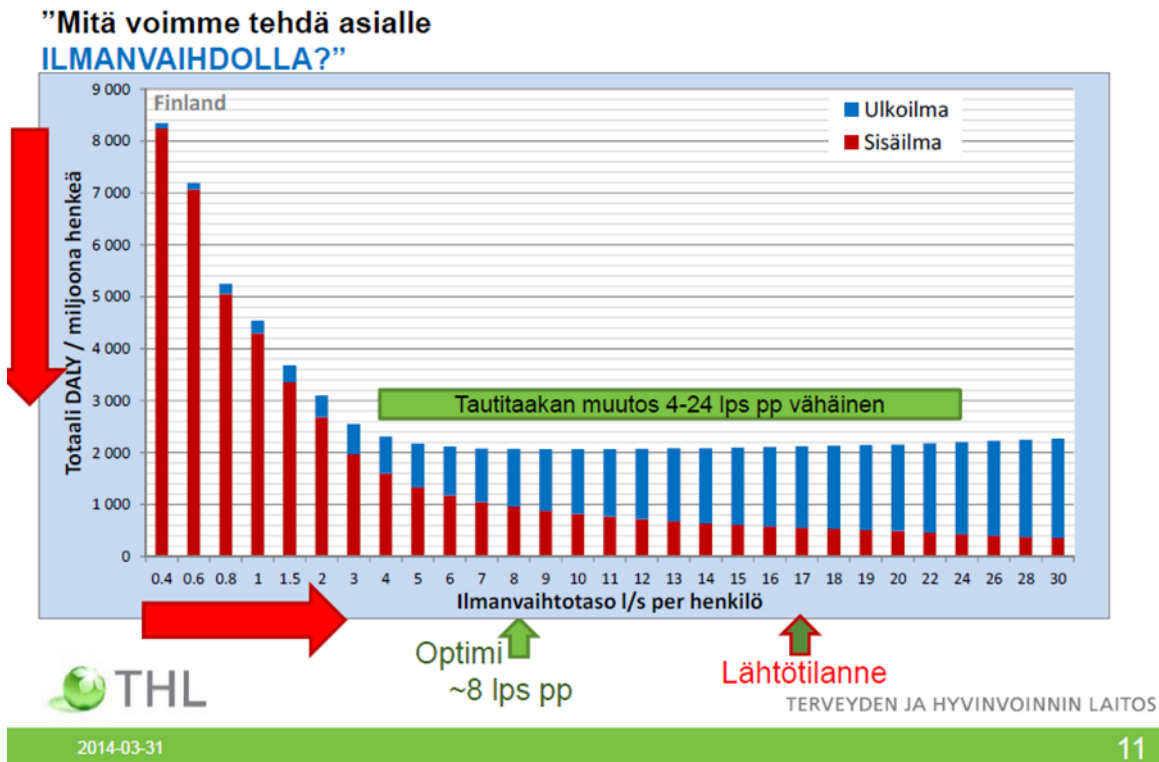
- kosteus- ja homevauriot
- radon
- passiivitupakointi
- häkä
- pienhiukkaset (PM_{2,5})
- kokonaishaihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC).

Ulkoilman altisteet ovat

- pienhiukkaset (PM_{2,5})
- bioallergeenit.

KokonaisDaly eli menetetyt terveet elinvuodet (haittapainotetut elinvuodet) Suomessa ovat kuvan 1 mukaan pienimmillään, kun ilmanvaihto on 8 l/s, hlö. Tätä pienemmällä ilmanvaihdon määrällä sisäilman altisteiden pitoisuus sisäilmassa on suurempi, jolloin sisä- ja ulkoilman yhteenlasketut altisteiden pitoisuudet ovat suuremmat kuin ilmanvaihdolla 8 l/s, hlö. Tätä suuremmalla ilmanvaihdon määrällä ulkoilman altisteiden pitoisuus sisäilmassa on suurempi, jolloin sisä- ja ulkoilman yhteenlasketut altisteiden pitoisuudet ovat suuremmat kuin ilmanvaihdolla 8 l/s, hlö. Ulkoilman hiukkaspitoisuus on kuitenkin Suomessa pieni, ja sen vaikutus tautitaakan muutokseen ilmanvaihdolla 8–24 l/s, hlö on vähäinen. Näin ollen ilmanvaihtoa voidaan

ilmanvaihtojärjestelmän mitoituksen salliessa tarvittaessa tehostaa esimerkiksi kaksinkertaiseksi ilman merkittävää tautitaakan muutosta (erityisesti ammatillisissa oppilaitoksissa, joissa opetustilanteessa sisäilmaan tuotetaan hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia).



Kuva 1. Ilmanvaihdon määrän vaikutus kokonaistautitaakaan.

Optimaalisen ilmanvaihdon lisäksi tarvitaan tehokas ulkoilman suodatus sekä sisäilman epäpuhtauslähteiden rajoittamiseen tähtäävät toimenpiteet. Tehokkaasti poistettavissa ovat radon, häkä ja passiivitupakointi, ja osittain vähennettävissä ovat materiaali-, kaluste- ja toiminnasta aiheutuvat päästöt, kosteusvauriot sekä toiminnasta aiheutuvat hiukkaset. Väestötasolla ulkoilman pienhiukkaset aiheuttavat 75 %, radon 15 % ja kosteusvauriot noin 10 % tautitaakasta /2/.

Koska rakennuksen käyttäjä ei yleensä tiedä, minkälaiselle henkilömäärälle huoneen ilmanvaihto on mitoitettu, joko huoneen sisäpuolelle tai käytäväseinälle voidaan oven pieleen laittaa kyltti, johon kirjoitetaan huoneen suositeltava enimmäishenkilömäärä. Esimerkiksi:

120 Lepohuone

Huoneen suositeltava enimmäishenkilömäärä on 16.

Sähköisessä huoltokirjassa oleviin rakennuksen pohja- tai inventointipiirustuksiin on myös hyvä kirjata, mitkä ovat tilojen suunnittelun perusteena käytetyt henkilömäärät.

1.2 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu paine-eroihin; ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero aiheuttaa ilmanvaihdolle tarpeellisen paine-eron, jota tuuli voi voimistaa. Kun sisäilman lämpötila on kesällä sama tai lähes sama kuin ulkoilman lämpötila, painovoimainen ilmanvaihto on paljon vähäisempi kuin talvella, jolloin suuren sisä- ja ulkoilman välisen lämpötilaeron vuoksi käsittelemätöntä kylmää ilmaa virtaa runsaasti korvausilma-aukoista sisälle ja poistohormeista ulos. Tämä saatetaan talvella kokea vedon tunteena.

Sääolojen vaihtelun vuoksi painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirtojen suuruus vaihtelee ja ilmavirtoja on vaikea säätää. Nykyiseen tiiviiseen rakennuskantaan järjestelmä sopii huonosti. Riittävä ilmanvaihtuvuusvaatimus ei toteudu kesällä pienen lämpötilaeron aikana.

Mikäli rakennuksessa on paljon ihmisiä, painovoimainen ilmanvaihto ei lämpimällä säällä yleensä poista riittävän tehokkaasti sisäilmasta hiilidioksidia, ihmisten muita aineenvaihduntatuotteita, viruksia ja bakteereja tai toiminnan aiheuttamia päästöjä. Jos sisäilman hiilidioksidipitoisuus on vähintään 1 550 ppm eli 1 150 ppm:ää suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, ilmanvaihtoa tulee tehostaa /34/. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksissa ikkunatuuletus tehostaa ilmanvaihtoa. Ikkunatuuletuksen kannattaa olla tehokas ja lyhyt, jotta mm. ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuus sisäilmassa pysyy kohtuullisena.

1.3 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmaa poistetaan rakennuksesta puhaltimen avulla. Tätä puhallinta kutsutaan huippuimuriksi, sillä se sijaitsee rakennuksen katolla. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa sisäilmaa poistetaan tiloihin johdettujen poistohormien ja niihin asennettujen poistoventtiilien kautta. Korvausilmaa siirtyy huoneeseen oven alaosaan jätettyjen rakojen tai siirtoilmasäleiköiden kautta. Ulkoilma virtaa huoneeseen ulkoseinässä olevien korvausilmaventtiilien kautta ja rakennuksen tiiviyydestä riippuen suurimmaksi osaksi hallitsemattomasti rakennusvaipan ilmapuotokohtien kautta.

Rakennuksen ulkovaipan sisäkuoren tulisi olla tiivis, jotta ilmanvaihtonormien mukainen riittävä ulkoilmavirta saataisiin tulemaan hallitusti haluttuun tilaan. Korvausilmaventtiilien kautta tulevan kylmän ilman johtaminen huonetilaan vedottomasti kylmimpänä vuodenaikana on usein haastavaa. Tämä saa tilankäyttäjän usein sulkemaan korvausilmaventtiilit, mikä johtaa ilmanvaihdon tehon pienentämiseen kylmimpänä vuodenaikana. Tiiviissä rakennuksessa koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä aiheuttaa rakennukseen suuren alipaineen.

1.4 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Kun poistoilmanvaihdon lisäksi ulkoilma puhalletaan rakennukseen puhaltimen avulla, kutsutaan ilmanvaihtojärjestelmää koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat useimmiten erillisissä ilmanvaihtokonehuoneissa. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tuloilman ja poistoilman suuruus on mitoitettu joko suunnitellun käyttäjämäärän tai huoneiden pinta-alan perusteella.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto pystyy oikein suunniteltuna ja toteutettuna täyttämään tärkeimmät sisäilman hallintakriteerit. Järjestelmän säädettävyys on hyvä. Myöskään veto ei rajoita käyttöä kylmimpänä vuodenaikana. Suunnitteluohjeiden mukaisesti toteutettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä aiheuttaa huomattavasti pienemmän alipaineen kuin koneellinen poistoilmanvaihto.

1.5 Hybridi-ilmanvaihto

Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmässä painovoimaista ilmanvaihtoa tehostetaan koneellisen ilmanvaihdon komponenteilla. Tavoitteena on, että hybridi-ilmanvaihtojärjestelmässä yhdistyisivät painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon hyvät puolet, ja ilmanvaihto pyritään toteuttamaan kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti /25/. Hybridi-ilmanvaihdon suunnittelua ja toimivan ilmanjaon ratkaisun löytämistä pidetään haastavana. Jotta hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä toimii hyvin, tavanomaista ilmanvaihtojärjestelmää suuremmat tilatarpeet on integroitava hyvin koko rakennuksen suunnitteluun /13/.

1.6 Asetukset, ohjeet ja oppaat

Tähän lukuun on kopioitu alla luetelluista asetuksista, ohjeista, oppaista ja perustelumuiatiosta sisäilmastoon, ilmanvaihtoon ja rakennusten terveydellisiin olosuhteisiin liittyvät tekstit.

- STM:n asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista, 2015
- Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Valvira, 2016
- Ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaitan ennaltaehkäisemiseen sekä selvittämiseen, Valvira, 2018
- Ympäristöministeriön Rakentamismääräyskokoelma: Terveellisyys: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys käsittää
 - 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 2018
 - Perustelumuiatio asetukseen 1009/2017
 - Sisäilmasto- ja ilmanvaihto –opas, Talotekniikkainfo, ympäristöministeriön asetustekstiä opastava teksti, 2018
 - Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa, FINVAC 2017, www.finvac.org
 - Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella, Optiplan, 2017
- RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018.

1.6.1 STM:n asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista, 2015

8 § Ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla rakennuksen käytön mukaisesti riittävä ja sen laadun tulee olla riittävän puhdasta. Ilmanvaihto tulee järjestää siten, että sisäilma vaihtuu koko oleskeluvyöhykkeellä. Riittämätön ilmanvaihto ei saa aiheuttaa 5 §:ssä tarkoitettua mikrobikasvun riskiä.

8 § Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja ylittyy, jos pitoisuus on $2\ 100\ \text{mg}/\text{m}^3$ ($1\ 150\ \text{ppm}$) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

8 § Rakennuksen käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihdon tulee olla sellainen, ettei rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai muista lähteistä vapautuvien ja kulkeutuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan aiheuta käyttöaikana tiloissa oleskeleville terveyshaittaa.

10 § Ulkoilmavirran tulee olla kouluissa, päiväkodeissa ja muissa vastaavissa oleskelutiloissa käytön aikana vähintään $6\ \text{dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden.

10 § Ulkoilmavirta saa kuitenkin olla $4\ \text{dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden, jos varmistutaan siitä, etteivät sisäilman epäpuhtauspitoisuudet tai lämpötila nouse niin suuriksi, että ne aiheuttavat terveyshaittaa taikka kosteus nouse niin suureksi, että se voisi aiheuttaa 5 §:ssä tarkoitettua mikrobikasvun riskiä.

1.6.2 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Valvira, 2016

Rakennuksen käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon tulee olla sellainen, että rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai muista lähteistä vapautuvien ja kulkeutuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan ei aiheuta käyttöaikana tiloissa oleskeleville terveyshaittaa. Tämä voidaan toteuttaa siten, että käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto on jatkuvasti päällä vähintään pienellä osateholla, ilmanvaihtoa käytetään jaksottaisesti tai ilmanvaihto käynnistetään niin aikaisessa vaiheessa ennen tilojen käyttöaikaa, että ilmanlaatu täyttää käytön aikana sille asetetut vaatimukset. Tämän lisäksi käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto ei saa aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisätiloihin esimerkiksi korvausilman puutteesta syntyneen liiallisen alipaineisuuden vuoksi. Rakennuksen ilmanvaihdon sammuttamista ei pidä suunnitella tai toteuttaa ennen kuin on selvitetty, ettei rakenteissa ole mikrobivaurioita, joista voi kulkeutua ilmanvaihdon sammuttamisen johdosta epäpuhtauksia sisäilmaan. (Sivu 18.)

Rakennuksen ali/ylipaineisuus vaikuttaa mm. vuotoilmavirran suuntaan ja huoneilman kosteuden tiivistymisriskiin pinnoilla tai rakenteissa. Jos rakennus on ylipaineinen ulkoilmaan nähden ilmanvaihdon toiminnasta johtuen, tulee ylipaineen syy selvittää ja ilmanvaihtoa tasapainottaa. Hetkellinen ylipaineisuus on mahdollista tuuliolosuhteista tai rakennuksen geometriasta johtuen, eikä vaadi korjaustoimenpiteitä. Jos alipaineisuus on yli 15 Pa, niin alipaineisuuden syy tulee selvittää ja ilmanvaihtoa mahdollisuuksien mukaan tasapainottaa. Tällä vähennetään vuotoilmavirtauksia ja niiden mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia. Rakennuksen geometria tai tuuliolosuhteet voivat myös aiheuttaa alipaineisuutta, jota voi olla vaikea korjata. (Sivu 18.)

1.6.3 Ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaitan ennaltaehkäisemiseen sekä selvittämiseen, Valvira, 2018

Korjauksessa käytettyjen uusien materiaalien emissiot voivat vaikuttaa merkittävästi sisäilman laatuun tai ihmisten kokemiin oireisiin. Tämän vuoksi korjausten jälkeen tulisi tilan ilmanvaihtoa käyttää normaalia suuremmalla teholla ja tiloissa tulisi harjoittaa tehostettua siivousta. (Sivu 33)

Jos tiivistyskorjaukseen päädytään, on varmistettava, että kaikki ilmapuotokohdat on huolellisesti kartoitettu ja niiden tiivistäminen on mahdollista. Mikäli rakenteeseen jää tiivistämättömiä kohtia, joiden kautta epäpuhtaudet voivat edelleen kulkeutua rakenteista sisäilmaan, tiivistyskorjauksella ei saavuteta toivottua lopputulosta. Lisäksi on huomioitava tiivistyskorjauksen elinkaari, materiaalit ja rakenneratkaisut, johon tiivistäminen soveltuu sekä tunnettava korjausten vaikutukset rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän säädöt on aina tarkistettava tiivistämisen jälkeen. (Sivu 41.)

1.6.4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 2018

9 § Erytysuunnittelijan on mitoitettava ilmanvaihtojärjestelmä siten, että oleskelutiloihin voidaan johtaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun edellyttämä ulkoilmavirta. Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana, jos rakennuksen tilan käyttötarkoituksen erityisluonteesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta.

10 § Ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti. Muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ja ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa.

21 § Erytysuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Pääsuunnittelijan, erityisuunnittelijan ja rakennusuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti suunniteltava rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä olevien epäpuhtauksien ja radonin siirtymistä sisäilmaan ja vältetään kosteuden siirtymistä rakenteisiin.

1.6.5 Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta

10 § Pykälän kolmannen momentin mukaan muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran olisi oltava vähintään $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$ neliömetrille suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ja ilman olisi vaihduttava kaikissa huonetiloissa. Ulkoilmavirtaa ei tarvitsisi pienentää mainittuun arvoon, mutta ulkoilmavirtaa ei saisi suunnitella pienennettäväksi mainittua arvoa pienemmäksi. Ilman olisi vaihduttava rakennuksen kaikissa tiloissa. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää olisi suunniteltava pidettäväksi käynnissä suunnitellun käyttöajan ilmavirtaa pienemmällä ilmavirralla tai suunniteltava käytettäväksi jaksoittain siten, että vähimmäisilmavirta toteutuu keskimääräisesti käyttöajan ulkopuolella.

Jaksoittaisen käyttötavan suunnittelussa on erityistä huomiota kiinnitettävä jatkuvasti päällä olevien hygieniatilojen ilmanvaihdon tuloilman saantiin ja painevaihteluiden välttämiseen.

1.6.6 Sisäilmasto- ja ilmanvaihto —opas, Talotekniikkainfo, ympäristöministeriön asetustekstiä opastava teksti, 2018

9 Ilmanvaihto tulee aina suunnitella tilojen ja niissä harjoitettavan toiminnan tarpeiden mukaan. Esimerkiksi korkeissa tiloissa asetuksen mukaiset henkilö- tai neliöperusteiset mitoitusvaatimukset johtavat hyvin pieneen ilmanvaihtuvuuteen, mikä ei riitä sisäilman laadun ylläpitämiseen. Esimerkiksi korkeavarastoissa varastoitavan tavaran hajuhaittojen poistamiseksi voidaan käyttää ilmanvaihtuvuutena 0,25 1/h. Korkeissa huonetiloissa tarvitaan yleensä ilmanvaihtuvuudeksi 0,5 1/h.

9 Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa on huomioitava ensikäytön lisäksi myös tilojen mahdolliset käyttö- ja muuntojoustovaatimukset.

9 Mikäli tiloissa on sisäilman laatua heikentäviä epäpuhtauskuormia, on ne otettava huomioon ilmajärjestelmän suunnittelussa. Epäpuhtauksien poistamiseksi tarvittavien kohdepoistojen suunnittelussa tulee huolehtia myös tuloilman hallitusta tuonnista tilaan, jotta kohdepoiston käyttö ei muuta tilan painesuhteita.

9 Tavanomaisten rakennusten ulko- ja ulospuhallusilmavirrat suunnitellaan yleensä yhtä suuriksi. Rakennuksen sisällä tilakohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat voivat olla eri suuret (esim. käytävän tuloilmaa johdetaan siirtoilmana WC-tiloihin), mutta ilmanvaihtojärjestelmän palvelemaan osaston tulo- ja poistoilman kokonaisvirtaamien tulee olla yhtä suuret.

9 Tilat, joissa on merkittäviä sisäisiä kosteuskuormia (esim. asuinhuoneistot, pesutuvat ja kuivaushuoneet), suunnitellaan ulkoilmaan nähden lievästi alipaineisiksi (2-5 Pa), jotta kostea sisäilma ei pääse tunkeutumaan rakenteisiin.

10 Ilmajärjestelmien tehostus ja pienennys suunnitellaan siten, että tulo- ja poistoilmavirrat säilyvät tasapainossa kaikissa tilanteissa.

10 Muiden kuin asuintilojen ilmanvaihtojärjestelmien ohjaus suunnitellaan siten, että ilmajärjestelmää voidaan säätää tila- tai vyöhykekohtaisesti tilojen kuormituksen tai sisäilman laadun mukaan. Yksinkertaisimmillaan ilmanvaihdon tehostus voi perustua lisäaikapainikkeisiin, tehostuskytkimiin tai läsnäolotunnistimiin. Tarpeenmukainen ohjaus ja energiatehokkuus voivat perustua myös ilmanvaihdon ohjaamiseen esimerkiksi huonelämpötilan tai epäpuhtauspitoisuuksien mittausten perusteella.

10 Muun kuin asuinrakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan ja rakennetaan siten, että käyttöajan ulkopuolella rakennuksen ilmanvaihtokerroin on vähintään 0,2 1/h ja että ulkoilmavirta on vähintään 0,15 (dm³/s)/m² koko rakennuksen lattian pinta-alaa kohden.

10 Jotta ilma vaihtuisi aina hallitusti kaikissa huonetiloissa, pidetään rakennuksen yleisilmanvaihtojärjestelmä käynnissä pienellä teholla myös käyttöajan ulkopuolella. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän minimi-ilmajärjestelmä on merkittävästi suurempi kuin 0,15 (dm³/s)/m², voidaan ilmanvaihtojärjestelmää käyttää jaksottain esimerkiksi aikaohjelman ja/tai olosuhdemittausten ohjaamana. Vaikka yleisilmanvaihtoa käytettäisiin jaksottain, pidetään hygieniatilojen ilmanvaihtoa kuitenkin jatkuvasti päällä pienellä teholla ja tuodaan jatkuvasti tiloihin hallitusti vastaava määrä tuloilmaa. Jaksottaisessa käyttötavassa on varmistettava, ettei rakennukseen synny haittaa aiheuttavia painevaihteluita puhallinten toistuvan käynnistymisen takia. Tämä voidaan tehdä pyörimisnopeusohjattujen puhallinten avulla käynnistämällä puhallimet minimipyörimisnopeudella ja nostamalla sen jälkeen puhallinten kierrokset hitaasti haluttuun toimintapisteeseen.

10 Ilmanvaihtokoneita tulee ohjata käyttöajan ilmajärjestelmälle riittävän ajoissa, esimerkiksi 1-2 tuntia, ennen käyttöajan alkamista, jotta mahdolliset epäpuhtauden tuulettuvat tiloista ennen niissä oleskelun alkamista.

2 Paine-erojen hallinta

2.1 Ali- ja ylipaineisuuden vaikutukset sisäilman laatuun

Ilmanvaihtojärjestelmä ei saa aiheuttaa rakennukseen liiallista ali- tai ylipainetta. Pääsääntöisesti uuden rakennuksen tai sen osan kokonaistulo- ja poistoilmavirrat mitoitetetaan yhtä suuriksi siten, ettei rakennusvaipan yli synny suuria paine-eroja /1/.

Alipaine nähtiin vuosikautia pelkästään positiivisena asiana, sillä rakenteiden läpi kulkeva ilma lämmitessään myös kuivattaa rakenteita. Lisäksi sisätilassa syntyvät epäpuhtaudet ja kosteus saadaan nopeammin ja tehokkaammin poistettua ulkoilmaan kuin jos huone on ylipaineinen. Huoneen ollessa ylipaineinen sisäilman kosteuskonvektion myötä rakenteeseen voi virrata kosteutta. Sisäilman pitkäaikainen ylipaine kuljettaa kostea sisäilmaa rakenteisiin niiden vuotoreittien kautta ja voi edistää kosteuden kerääntymistä ja biologista kasvua näihin kohtiin. Paine-erojen vaihdellessa epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan. Aiemmissa rakentamismääräyksissä (RakMK D2) ohjeistettiin *”suunnittelemaan rakennus yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saanut yleensä olla suurempi kuin 30 Pa.”* /5/ Näin suuri sallittu alipaine vaikutti siihen, että suunnittelijat mitoittivat kokonaispoistoilmavirrat 10–15 % kokonaistuloilmavirtoja suuremmiksi /12/.

Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirrat ovat tuloilmavirtoja suuremmat, rakennukseen muodostuu alipaine. Mm. ikääntyneissä kerroksellisissa vaipparakenteissa on ulkoa sisään tapahtuneista kuivattavista ilmavirtauksista huolimatta voinut kehittyä kosteus- ja mikrobivaurioita (ks. luku 9). Alipaine mahdollistaa epäpuhtauksien pääsyn sisäilmaan. Alipaineisessa rakennuksessa korvausilmaa tulee sieltä, mistä ilman on helpoin kulkea: avoimesta ikkunasta, lattiakaivoista tai rakennuksen epätiiviyskohdista, kuten ikkunaliittymistä, seinän ja lattian liittymistä, halkeamista tai läpivienneistä. Alipaine ei välttämättä aiheuta sisäilman laadun heikkenemistä ja siitä johtuvaa oireilua, mutta se on mahdollista, jos korvausilma tuo mukanaan sisäilmaan eristevillakuituja, kivipölyä, maaperän tai kosteusvaurioituneiden rakenteiden mikrobiepäpuhtauksia tai epämiellyttäviltä haisevia viemärikaasuja. Alipaine lisää myös maaperän radonpitoisen huokosilman siirtymistä huonetiloihin. Ilmavuodot rakenteiden kautta voivat siten heikentää sisäilman laatua, vaikka rakenteissa ei olisi kosteus- ja mikrobivaurioita.

Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksessa miltei kaikissa alapohjan soratäyttökerroksesta otetuissa näytteissä todettiin merkittävää aktiivista mikrobikasvua. Täyttökerroksen kosteus ja mikrobikasvusto eivät kuitenkaan ole merkkejä alapohjan kosteusvaurioista. Mikrobikasvu on luonnollista täyttökerroksen olosuhteissa. Maaperässä on siten aina mikrobeja, jotka voivat kulkeutua sisäilmaan alipaineen vaikutuksesta, jos alapohjan rakenteet ovat epätiiviiitä /30/ ja /31/. Jo aistittavan ilmanlaadun kannalta ilmavirran kulkeutumisen alapohjasta sisäilmaan tulisi olla mahdollisimman vähäistä. Tarvittaessa epäpuhtauksien kulkeutumista vähennetään teknisin toimenpitein, kuten parantamalla rakenteen ilmatiiveyttä, tai tuulettamalla tai alipaineistamalla alustäyttöä. Korjaustarpeet ja soveltuvat ratkaisut arvioidaan tapauskohtaisesti.

Julkisten palvelurakennusten hygieniatiloissa eli WC- ja pesutiloissa oleva koneellinen poistoilmavaihto, eli ns. likaisten tilojen poistoilmavaihto, on tyyppillisesti käynnissä jatkuvasti. Tällä ylläpidetään rakennuksessa pientä ilmanvaihtoa, kun tulo- ja poistoilmakoneet ovat pois päältä öisin ja viikonloppuisin. Koska vastaavansuuruista koneellista tuloilmavaihtoa ei usein ole, ns. likaisten tilojen eli hygieniatilojen poistoilmavaihto aiheuttaa rakennukseen alipaineen. Miten suuri vaikutus alipaineisuuteen hygieniatilojen poistoilmavaihdolla on, riippuu huippumurinin tehosta ja rakennuksen tiiviydestä.

Hygieniatilojen erillispoistopuhaltimien aiheuttama alipaineisuus vältetään uudisrakennuksissa suunnittelemalla hygieniatiloihin oma lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto. Ympäristöministeriön asetusta ohjeistavassa oppaassa kehoitetaan tällöin pitämään hygieniatilojen ilmanvaihtoa jatkuvasti päällä /21/.

Tuoreissa tutkimuksissa on selvitetty ylipaineistamisen vaikutuksia koulurakennuksen sisäilman laatuun. Koulurakennus pyrittiin ylipaineistamaan 5–7 Pascalin verran. Koska rakennus ei pysynyt jatkuvasti ylipaineisena, kenttätutkimusten perusteella ei voida vielä tehdä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta perusteellisia johtopäätöksiä ylipaineistuksen vaikutuksesta /13/ ja /14/.

2.2 Muita rakennuksen alipaineisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Alipaineeseen vaikuttavat ilmanvaihtojärjestelmän lisäksi myös tuuli sekä ns. savupiippuilmio. Savupiippuilmio eli terminen paine-ero syntyy ulko- ja sisäilman välisestä lämpötilaerosta, joka synnyttää paine-eron, jolloin ilmaa virtaa korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen. Lämmin ilma nousee ylöspäin ja pyrkii rakennuksen yläosista ulospäin. Mitä korkeampi rakennus on ja mitä suurempi on sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero, sitä suurempi on terminen paine-ero. Korkeissa rakennuksissa terminen paine-ero on huomattava. Korkeissa rakennuksissa, joissa porrashuoneesta on avoin ilmayhteys kerroksiin ja tiloihin, alimmat kerrokset ovat siten alipaineisia ja ylimmät kerrokset ylipaineisia ulkoilmaan nähden.

Korvausilma rakennuksen alaosista on usein sisäilmaa kylmempää. Alimpien kerrosten lämpöolosuhteet paranevat ja vetoisuus vähenee, kun ulkoseinien ja alapohjan ilmanläpäisevyys on hyvin pieni, kuilut ja läpiviennit ovat tiiviit sekä porraskuilut, hissiaulat ja lastauslaiturit on toteutettu omina osastoinaan /36/. Hissikuilujen tiivis osastoiminen erillisellä eteistilalla vähentää paine-eroja ulkovaipan ja käytävän tai aulan ovien yli /36/. Kerrosten rakenteet tulee olla tiiviisti erotettu porrashuoneesta, jotta kukin kerros voidaan säätää tulo- ja poistoilmavirtojen avulla tasapainoon.

Terminen paine-ero aiheuttaa muutoksia rakennuksen vaipan yli olevaan paine-eroon eri vuodenaikojen lisäksi myös vuorokauden eri aikoina silloin, kun yön ja päivän välinen lämpötilaero on suuri. Kylmänä talvi-, syys- tai kevätyönä paine-ero rakenteiden yli on suurempi kuin talvi-, syys- tai kevätpäivänä, jolloin aurinko voi lämmittää voimakkaastikin ulkoilmaa ja ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaero on pienempi /7/ ja /33/. Terminen paine-ero vaikuttaa myös säädettävyydeltään huonompien ilmanvaihtojärjestelmien ilmavirtoihin (ks. luku 3.1)

Termisen paine-eron aiheuttamia vuotoilmavirtoja vähennetään tiivistämällä rakenteita – sekä eri rakennusosien että eri tilojen välisiä rakenteita. Yläpohjan ja ulkoseinien välisten liitosten ja muille ylipaineelle altistuvien rakenteiden tiiviyyteen tulee kiinnittää myös huomiota.

Mikäli tuulen voimakkuus on 6 m/s tai enemmän, tuulen paine muodostaa 1950 – 80 –luvulla rakennettujen rakennusten tuulenpuoleiselle julkisivulle merkittävän ylipaineen ja julkisivun puoleisiin huoneisiin alipaineen sekä tuulen suojan puoleiselle julkisivulle alipaineen ja suojan puoleisiin huoneisiin ylipaineen riippumatta siitä, miten hyvin ilmavirrat on tasapainotettu. Nykyisissä, ilmatiiydydeltään paremmissa rakennuksissa jo pienemmällä tuulen voimakkuuksilla on suuri merkitys.

2.3 Rakennuksen vaipan tiiviyyden vaikutus

Mitä parempi rakennuksen vaipan tiiviys on, sitä suuremmaksi muodostuu paine-ero vaipan yli, kun ilmanvaihto, tuuli tai savupiippuilmio aiheuttavat ali- ja/tai ylipaineisuutta. Hataran rakennuksen rakenteissa on ilmapuotoikohtia, joiden kautta ilma pääsee helposti virtaamaan rakennukseen tai siitä ulos, eikä suurta paine-eroa pääse muodostumaan. Rakennuksen sisävaipan tiivistyskorjaukset alipaineistavat rakennusta, jos ilmanvaihtoa ei säädetä tasapainoon korjausten jälkeen. Toisaalta tiiviissä rakennuksessa ilmavirrat on mahdollista saada hataraa rakennusta paremmin hallintaan, kun ulkokuoren epätiiviyskohtien lisäksi rakennusten eri tilojen väliset läpiviennit, mm. LVIS-laitteiden läpiviennit, on tiivistetty.

Tiiviissäkin rakennuksissa voi olla yksittäisiä ilmapuotoikohtia, jotka voivat olla merkittäviä ilmapuotoreittejä suurella paine-erolla. On ensiarvoisen tärkeää, että uusissa, tiiviissä tavanomaisissa rakennuksissa, joissa rakennuksen käytöstä aiheutuva kosteuskuorma on pieni, ilmanvaihdon palveleman osaston kokonaistulo- ja poistoilmavirrat suunnitellaan yhtä suuriksi, jolloin koko rakennuksessa säilyy ilmapuotatasapaino /33/. Lisäksi kohdepoistoille, joiden ilmavirta on yli 1 % järjestelmän tai vyöhykkeen kokonaisilmavirrasta, tulee järjestää

korvausilma. Vyöhykkeeksi pitää tässä tapauksessa laskea myös tila, jonka erottavat seinät ovat ilmatiiviitä ja johon johtavat ovet ovat normaalisti suljettuina.

2.4 Rakennuksen vaipan yli olevan paine-eron hallitseminen

Rakennuksen paineolosuhteista huolehditaan tasapainottamalla ilmavirrat huolellisesti, jotta ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon on mahdollisimman pieni.

Vuonna 2018 julkaistussa diplomityössä on luotu toimintamalli, jolla voidaan vaikuttaa ilmatiiviydeltään parannetun rakennuksen vaipan yli olevan paine-eron hallintaan. Toimintamalli soveltuu myös hatarammankin julkisen palvelurakennuksen ilmanvaihtojärjestelmien tasapainottamiseen, kunhan hyväksytään, että rakenteiden epätiiviysohtien läpi voi virrata ilmaa. On tärkeää, että toimintamallin jokainen osa suoritetaan esitetystä järjestyksessä. Toimintamallissa on kaikkein tärkeintä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän **perussäädön jälkeinen hienosäätö vaipan yli vaikuttavia paine-eroja tarkkailemalla** ja käyttäjien sekä huoltohenkilökunnan perehdyttäminen sisäilman olosuhteisiin vaikuttavien järjestelmien käyttöön luovutusvaiheessa /7/.

Toimintamallin viisi osaa /7/:

1. Suunnittelu ja suunnitelmien tarkastus (ks. tämän perustelumuistion luku 2.1)

Rakennusten ilmavirtamitoitusten tai ilmanvaihtosuunnitelmien ja -toteutuksen päivittäminen on yleensä välttämätöntä, jotta rakennus saadaan tasapainoon kokonaisuutena ja palvelualueittain. Tulo- ja poistoilmavirtojen tulee olla huonekohtaisesti ja palvelualueittain yhtä suuret tai sen suuruiset, että niiden vaikutus rakenteiden yli vallitsevaan paine-eroon on mahdollisimman pieni. Muuttuneet käyttäjämäärät sekä huoneiden käyttötarkoitukset tulee myös ottaa huomioon päivitystyössä /7/.

2. Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastamisen ohjeet ovat saatavilla mm. Suomen LVI-liitto SuLVI ry:n verkkosivuilla <https://sulvi.fi/materiaalipankki/iv-kuntotutkimushanke/>. Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastamisesta on myös mm. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisessä kuntotutkimus –oppaassa /37/.

3. Ilmanvaihtojärjestelmän säätäminen

Ilmanvaihtojärjestelmän säätämisen prosessikuva (kuva 2) on kopioitu Ella Lahtisen diplomityöstä /7/. Suhteellisen säädön menetelmästä on tietoa mm. RT-kortissa LVI 32-10118 ja teoksessa Sandberg & Heinonen 2014 /33/. Ilmavirtojen tasapainotuksen onnistumisen takaamiseksi rakennuksessa ei saa olla käynnissä esim. muutos- tai korjaustöitä, muuttoa, ikkunoiden pesua eikä muuta runsasta kulkua tai ovien ja ikkunoiden avaamisia vaativia toimintoja. Tilapäisiä ja väliaikaisia tasapainotuksia voidaan kuitenkin toteuttaa myös em. tilanteissa, mikäli lopullinen tasapainotus toteutetaan myöhemmin. Työlle tulee taata riittävä aikataulu, eikä sitä voida toteuttaa poikkeuksellisissa sääolosuhteissa. Olosuhteet ovat poikkeukselliset, jos ulkolämpötila alittaa paikkakunnan mitoituskäytännön tai jos tuulen keskinopeus ylittää 5 m/s.

4. Paine-eron seurantamittaukset

Tasapainotustyön yhteydessä ja sen jälkeen rakennuksen ulko- ja sisäilman välisiä paine-eroja on suositeltavaa tarkkailla jatkuvatoimisilla seurantalaitteilla riittävän monesta mittauspisteestä. Mittauspisteet ja niiden lukumäärä tulee määritellä rakennuskohtaisesti, kuitenkin siten, että mittauspisteitä sijaitsee eri ilmansuunnilla, kerroksissa ja ilmanvaihdon eri palvelualueilla. Paine-eromittauksen sopiva pituus on vähintään kaksi viikkoa. Paine-eromittaukset osoittavat, missä ilmavirtoja tai ilmanvaihtokoneen pyörimisnopeuden taajuusmuuttajaohjausta tulee vielä hienosäätää, jotta paine-erot rakenteiden yli saadaan hallintaan.

5. Käyttäjien ja huoltohenkilökunnan opastaminen

Lopuksi tehdyn työn kruunaa kiinteistönhuollon ja käyttäjien perehdyttäminen rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan, jotta he ymmärtävät ilmanvaihdon merkityksen sekä oman toiminnan vaikutuksen hyvien sisäilmasto-olosuhteiden luomisessa.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto

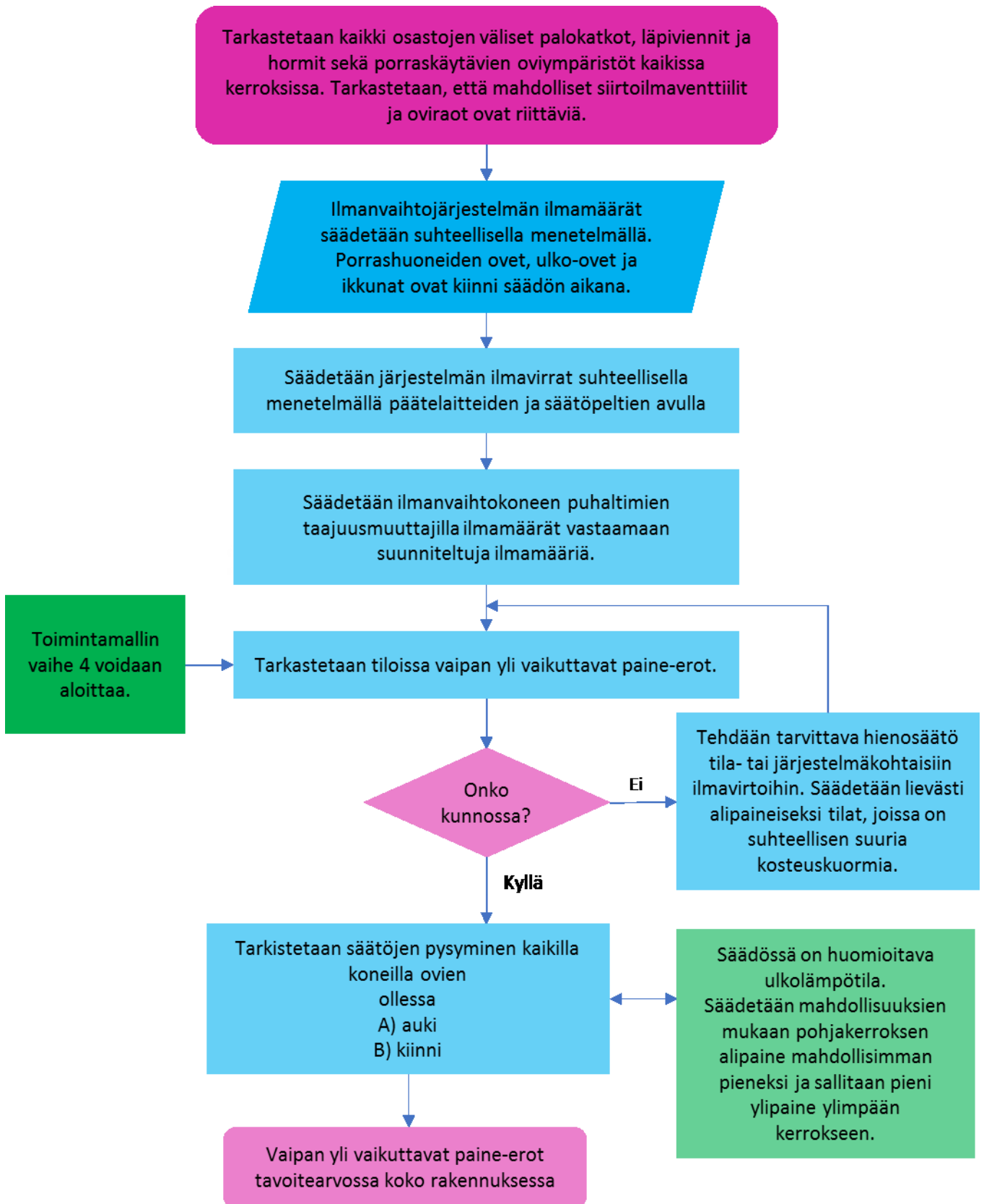
Suosittelavaa on, että tuulen nopeus ilmavirtoja säädettäessä on alle 5 m/s. Ilmavirtojen mittauspöytäkirjaan tulee kirjata säätötyön aikainen tuulen nopeus sekä ulkoilman lämpötila.

Ympäristöministeriö julkaisee vuoden 2019 aikana rakennusten paine-erojen mittausohjeen, jossa annetaan erikseen ohjeet vakioilmavirtaisen ja muuttuvilmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän säätämiseksi /38/. Tätä ohjetta tarvitaan myös opastamaan suunnittelijoita, millä keinoin ilmavirrat saadaan hallintaan. Hormivaikutuksen (termisen paine-eron) synnyttämien paine-erojen pienentäminen saattaa edellyttää myös ovien ja seinien käyttöä paine-erojen ja ilmavirtauksien pienentämiseksi /1/. Tämä tarkoittaa ovirakojen ja siirtoilma-aukkojen suunnittelua, joilla tulo- ja poistoilmavirtojen epätasapainoa saadaan tasattua /38/.

Ulko- ja sisäilman välisen paine-eron tavoitearvona voidaan käyttää -2 Pa, jolle on sallittava tietty toleranssi /38/. Ympäristöministeriön tulevassa ohjeessa paine-eron tavoitearvo ja vaihteluväli täsmentyvät, minkä vuoksi kuvasta 2 on poistettu paine-eron vaihteluväli. Kun ohje valmistuu paine-eron tavoitearvo ja vaihteluväli täsmennetään palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohjeeseen.

Paine-erojen mittaus ja säätö tulee tehdä

- rakenteiden tiiviyskorjausten jälkeen
 - ilmanvaihtojärjestelmän puhdistamisen tai puhdistamistarpeen arvioinnin jälkeen vähintään viiden vuoden välein
- ja suositellaan tehtäväksi
- epäiltäessä rakennuksen sisäilmaongelmaa.



Kuva 2. Ilmanvaihtojärjestelmän säädön prosessi /7/. Kuva on muuten sama kuin lähteessä, mutta kuvasta on poistettu paine-eron sallittu vaihteluväli.

3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Järjestelmätyypistä riippumatta uudemmissa ilmanvaihtojärjestelmissä on usein taajuusmuuttajaohjaus, jolloin sekä pääilmanvaihtokoneiden että erillispoistojen tehoa voidaan säätää portaattomasti. Taajuusmuuttajaohjauksella kanavistossa ylläpidetään haluttua painetta tai ilmavirtaa, jolloin ilmavirrat pysyvät suunnitteluarvojen mukaisina. Esimerkiksi suodattimen likaantuessa automatiikka ohjaa taajuusmuuttajaa säätämään ilmanvaihtokoneen tehoa, jotta paineet ja ilmavirrat pysyvät asetusarvossaan. Taajuusmuuttaja pienentää puhaltimien pyörimisnopeuksia, kun halutaan siirtyä osatehokäyttöön /7/.

Puhaltimia voidaan ohjata portaattomasti myös tasavirta- eli EC-moottoreilla. Erillisiä taajuusmuuttajia ei tällöin tarvita. Ohjauselektronikka voidaan integroida suoraan moottoriin. Pyörimisnopeutta ohjataan jännite- tai väyläviestein. Pyörimisnopeus säätty 10 %:sta 100 %:iin.

3.1 Vakioilmavirtajärjestelmät

Vakioilmavirtajärjestelmissä joka huoneeseen jaetaan henkilömäärään tai pinta-alaan perustuva mitoitusilmavirta. Järjestelmässä ei ole huonekohtaista säätöä. Kokonaisilmavirrat määräytyvät huonetilojen ilmavirtojen summasta /33/.

Uusissa järjestelmissä vakioilmavirtoja voidaan ylläpitää paineeseen tai ilmavirtamittaukseen perustuen taajuusmuuttaja- tai jänniteohjauksella, mikä mahdollistaa portaattoman säätöalueen. Tällöin myös osatehokäytön tehotasoo on säädettävissä.

Vanhoissa ilmanvaihtojärjestelmissä on tyypillisesti kaksiportainen säätömahdollisuus: ilmanvaihto on täydellä teholla (mitoitustehokäyttö) tai puoliteholla (osatehokäyttö). Puoliteho ei ole aina tasan 50 % täyden tehon ilmanvaihdosta, vaan se voi olla 30–50 % täyden tehon ilmavirrasta /6/. Ilmanvaihtokoneessa on yleensä yksi kaksinopeuksinen moottori. Osatehoa eli puolitehoa käytetään yleensä silloin, kun ilmanvaihtokoneen palvelualueen henkilökuormitus on huomattavasti mitoitustasoa pienempi tai kun ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmä ei liian kylmän ulkoilman vuoksi kykene lämmittämään tuloilmaa riittävästi. Vanhoissa ilmanvaihtojärjestelmissä, joissa ei ole lämmön talteenottoa, ulkoilmavirtaa joudutaan pienentämään puoliteholle talvella, kun ulkoilman lämpötila laskee alle tietyn pakkasrajan. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, että rakennuksen lämmönsiirtimen teho riittää sekä lämmitysjärjestelmän että ilmanvaihtojärjestelmän käyttöön. Osatehoa käytettäessä tulee huomioida ilmavirtojen pienennyksen vaikutus ilmanjakoon ja ilmavirtatasapainoon.

Etenkin vanhoissa vakioilmavirtajärjestelmissä ulkoilman lämpötilaeroista johtuva terminen paine-ero vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoihin niin vuodenaikoina, kun ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaero on suuri. Useampikerroksisissa rakennuksissa ylempien kerrosten tuloilmakanavissa virtaa saman verran enemmän ilmaa kuin alemmissa virtaa vähemmän. Lisäksi ylempien kerrosten poistoilmakanavista poistuu vähemmän ilmaa saman verran kuin alemmista kerroksista poistuu enemmän /12/ ja /33/. Tästä johtuen alempien kerrosten poistoilmavirrat ovat alempien kerrosten tuloilmavirtoja suuremmat ja ylempien kerrosten tuloilmavirrat ovat ylempien kerrosten poistoilmavirtoja suuremmat. Itse ilmanvaihtojärjestelmä myötävaikuttaa siten rakennuksen vaipan yli olevaan paine-eroon yhdessä terminen paine-eron kanssa.

Tämän ilmiön kompensoimiseksi korkeissa rakennuksissa voidaan asentaa kerroskohtaiset ilmanvaihtokoneet, jotta ilmanvaihto voidaan säätää tasapainoon ulkoilmaan nähden kerroskohtaisesti.

3.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmät

Muuttuvailmavirtajärjestelmässä huonetiloihin vietävää jäähdytys- ja/tai lämmitystehoa ja/tai ilman laatua säädetään tilakohtaisesti ilmavirtaa muuttamalla /33/.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon rakennuksissa, joissa ilmanvaihdon määrä on rakennuksen käyttäjien ja heidän toimintansa edellyttämän ilmanvaihtotarpeen mukainen, ilmamääräsäätimien eli IMS-laitteiden tai

tehostuspeltien (on/off-peltien) toimintaa ohjaa rakennusautomaatiojärjestelmä, johon huonesäätimet on liitetty. Huoneen lämpötila- ja hiilidioksidipitoisuutta mittaavilta antureilta ja/tai läsnäolotunnistimilta mittaustieto siirtyy huonesäätimen kautta IMS-laitteelle tai tehostuspellille. Kun lämpötila tai hiilidioksidipitoisuus ylittää asetusarvon, IMS-järjestelmän ilmavirrat suurenevat tai tehostuspellit aukeavat. Huoneen tulo- ja poistoilmavirrat voivat säätää IMS-järjestelmässä portaattomasti esimerkiksi 20 %:sta 100 %:iin. Tehostuspelleillä toteutetussa järjestelmässä säätö vuorostaan tapahtuu portaittain. Tehostuspellit sulkevat vähintään yhden tuloilmalaitteen ja yhden poistoilmaventtiilin, kunnes pellit avautuvat ja huoneen ilmanvaihto tehostuu tarpeen vaatiessa. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa kannattaa käyttää, kun tilan käyttöaste vaihtelee merkittävästi ja tiloilta vaaditaan muuntojoustavuutta /7/, /18/ ja /24/.

Muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä voidaan kompensoida termisen paine-eron aiheuttamia ilmavirtamuutoksia. Useampikerroksisen rakennuksen ilmanvaihtokanavissa ylläpidetään vakiopainetta painesäätimien avulla. Painesäädön avulla voidaan hallita ilmavirtoja kylminä vuodenaikoina sekä vuorokauden sisällä tapahtuvissa lämpötilavaihteluissa /33/.

3.3 Osatehon ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käytön edellytykset

Osatehokäytöllä pyritään optimaalisiin sisäilmasto-olosuhteisiin energiatehokkaasti (ks. luku 11.3).

Ilmanvaihdon osatehokäytön suunnitteluun ja toteutukseen liittyy tiettyjä huomioitavia asioita. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien painetasot sekä tulo- ja poistoilmavirrat tulee mitata ja säätää myös osateholla. Joissain rakennuksissa tuloilma ei virtaa osateholla riittävästi kanaviston kauimpiin päätelaitteisiin saakka. Osatehon tehotaso tulee määritellä ilmavirtojen tarkastusmittauksilla. Riippumatta siitä onko ilmanvaihto vakio- vai muuttuvailmavirtainen järjestelmä, on ilmavirtoja mitattaessa ja säädettäessä aina varmistettava kanaviston ilmavirtauksellisesti vaikein päätelaite ja selvitetävä, tuleeko kanaviston haastavimpaan pisteeseen tarpeeksi ilmaa.

Ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta mukaan muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ja ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa. Käytännössä ilmanvaihto-järjestelmässä, jonka ulkoilmavirta käyttöaikana on esim. $3,0 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$, on vaikeaa pienentää ilmavirtaa $1/20$ osaan ($0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$) eli 5 %:iin ja samalla varmistaa, että ilma vaihtuu kaikissa huonetiloissa kauttaaltaan. Tuoreessa tutkimuksessa on havaittu, että hyvin toteutetuissa ilmanvaihtojärjestelmissä rakennuksen jokainen huone tuulettui 30–40 %:n osateholla /6/.

Ongelmaksi on osoittautunut se, että osatehokäytöllä ilmanvaihtokanaviston tasapaino voi muuttua mitoitustehoon nähden, jolloin ilmavirrat eivät muutu samassa suhteessa kaikilla päätelaitteilla /6/. Tällöin tilakohtaiset paine-erot muuttuvat, jolloin voi syntyä rakenteiden kautta tapahtuvia hallitsemattomia ilmavirtauksia. Lisäksi ennen 1980-lukua rakennetuissa ilmanvaihtojärjestelmissä kanaviston mitoitus ja verkoston rakenne vaikeuttavat ilmavirtojen säätöä ja paineolosuhteiden hallintaa, koska ilmavirtojen säätö on tarkoitettu tehtäväksi päätelaitteiden avulla ja säätöpeltejä on vähän. /7/.

Ilmanvaihtojärjestelmissä, joissa ohjausmahdollisuudet ovat puutteelliset, osatehokäytön paine-erojen hallinta voi vaatia laajoja teknisiä toimenpiteitä. Korjaustoimenpiteet voivat pahimmassa tapauksessa maksaa kymmeniä tuhansia euroja. Osatehokäyttö edellyttää mieluiten kaikilta ilmanvaihtolaitteilta mahdollisuuden portaattomaan tehonsäätöön, joka uusissa ilmanvaihtojärjestelmissä jo toteutuu /6/.

Seuraavassa esitetään erilaisia keinoja vakio- ja muuttuvailmavirtaisten ilmanvaihtojärjestelmien osatehokäytön riskien hallintaan.

Kanavapaineanturin sijainti ja mittauspisteiden määrä

Painehojatussa ilmanvaihtojärjestelmässä kanavan staattista painetta ylläpidetään ohjaamalla puhaltimen kierrosnopeutta taajuusmuuttajalla. Kanavapaineen mittauspiste eli kanavapainelähtetimen sijainti vaikuttaa suuresti säädön onnistumiseen. Mittaus vaatii onnistuakseen mahdollisimman häiriöttömän virtauspaikan, eli riittävän pitkän suoran kanavan, sillä käyrät ja haarat aiheuttavat turbulენტista ilmavirtausta. Tehdyssä

tutkimuksessa on havaittu, että kanavapainemittaus yhdessä kanavahaarassa ei ollut riittävä. Jos puhallinta ohjataan vain yhdestä pisteestä, on kuormitustilanteesta riippuen mahdollista, että staattinen paine on liian pieni yhdessä tai useammassa haarakanavassa. Tämän vuoksi painemittaus tulisi olla useammassa kanavahaarassa /18/.

Tuloilman lämpötila

Hyvän ilman laadun kannalta on oleellista tuloilman tehokas sekoittuminen huoneilmaan. Sekoittumiseen vaikuttaa tuloilman heittokuviot, konvektiovirtaukset ja tuloilman lämpötila. Kun tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ilmavirrat ovat mitoitusilmavirtoja pienemmät, tuloilma ei välttämättä sekoitu tehokkaasti huonetilaan. Tuloilman heittokuvioiden parantamiseksi tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa tuloilman tulisi olla huoneilmaan nähden alilämpöistä. Neljän asteen lämpötilaerolla pienempikin ilmavirta laskeutuu tehokkaasti huoneilman sekaan. Vetoalituksia ei tulisi korjata nostamalla tuloilman lämpötilaa. Ensisijaisesti tulisi vähentää vetoa esimerkiksi tuloilman suuntausta muuttamalla.

Ilmanjaon suuntaukset

Ilmanjaolla on merkittävä vaikutus sisäilman laatuun. Tuloilma on tarkoitus johtaa oleskeluvyöhykkeelle mahdollisimman suoraan ja vedottomasti. Tuloilman lämpötilan ohella ilmanjakotavalla ja tuloilman suuntauksilla on merkittävä vaikutus koettuun sisäilman laatuun. Mikäli tiloihin johdetaan rakennuksen käyttöaikana osatehoilmavirtaa, tulee ilmanjaon toimintaan osateholla kiinnittää erityistä huomiota jo laitevalinnoissa. Merkittäviä oikosulkuvirtauksia, eli tuloilman virtausta suoraan poistoilmaan, ei saa esiintyä missään käyttötilanteessa.

Monissa vanhoissa tuloilmalaitteissa suuntausmahdollisuudet ovat usein rajalliset, ja mikäli ilmanjako on tehoton, on tuloilmalaitteiden uusimisen tarvetta suositeltavaa arvioida. Jos tuloilmalaitteissa on suunnattavia suuttimia, tulee selvittää suuttimien optimaalisin suuntaus. Ilmanjakoa ja suuntauksia voidaan havainnoida savukokeiden avulla.

Jatkuvatoiminen paine-eroseuranta

Jatkuvatoiminen paine-eromittaus tekee IoT-teknologian kehittymisen myötä tuloaan ja saattaa jo lähitulevaisuudessa vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmien säätöön ja rakennuksen yli vaikuttavan paine-eron hallintaan /38/. Jatkuvatoimisella paine-eromittauksella saavutetaan vähintäänkin ymmärrys vaipan yli vaikuttavista paine-erojen vaihteluista, kun anturit sijoitetaan eri julkisivuille ja eri kerroksiin ja lisäksi seurataan paine-erojen muuttumista eri ulkolämpötiloissa ja eri tuulen nopeuksilla. Paine-erojen mittaukseen ja ilmavirtojen säädön toteuttamiseen tarvitaan asiantuntemusta ja kokemusta /38/.

Useissa Senaatti-kiinteistön rakennuksissa paine-eroa seurataan rakennusten eri kerroksissa ja tiloissa, joiden tulee olla alipaineisia. Paine-eroantureiden mittausdata on liitetty rakennusautomaatioon. Etäseurannan avulla voidaan rakennuksen paine-eroja tarkkailla ja tarvittaessa säätää ilmavirtoja manuaalisesti paine-erojen tasapainottamiseksi itse rakennuksessa /26/.

4 Ilmanvaihdon käyttäminen rakennuksen käyttöaikojen mukaan

Ilmanvaihdon jatkuvan sekä rakennuksen käyttöaikojen mukaisen käytön vaikutuksia tilojen käyttäjien kokemuksiin sisäilman laadusta ja oireilusta selvitettiin Kuopion yliopistolla kyselytutkimuksen ja sisäilmaolosuhdemittausten avulla. Tutkimuksessa ilmanvaihtoa käytettiin jatkuvasti 24 tuntia vuorokaudessa mitoitusteholla, päivällä mitoitusteholla ja yöaikana puoliteholla tai päivällä mitoitusteholla ja yöaikana ilmanvaihto oli pois päältä (hygieniatilojen ja laboratoriodien poistoilmanvaihtoa lukuun ottamatta). Tuloksissa verrattiin keskenään jaksoja, jolloin ilmanvaihto oli päällä jatkuvasti ja jaksoja, jolloin ilmanvaihto siirrettiin osateholle tai pysäytettiin yöksi. Selviä ja yhteneviä vaikutuksia työympäristön muuttujiin tai koettuihin oireisiin ei eri tutkimusjaksojen ja rakennusten välillä havaittu. Tutkimuksessa ei voitu osoittaa, että ilmanvaihdon jatkuva käyttö koettaisiin sisäilman laatua parantavaksi tekijäksi verrattuna tilanteisiin, jolloin ilmanvaihto oli osateholla tai yöllä pois päältä /9/.

Kuntien sisäilmaverkoston laatimassa julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohjeessa on esitetty rakennuksen käyttöajan ja käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihdon käyttö. Ohjeessa on otettu huomioon vakio- ja muuttuvailmavirtaiset ilmanvaihtojärjestelmät. Nyrkkisääntönä on, että ilmanvaihtojärjestelmä käynnistetään mitoitusteholle kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista. Yleisilmanvaihdon käyntiaika päättyy 1–2 tuntia rakennuksen käytön päättymisen jälkeen. Rakennuksen valvomojärjestelmään laaditaan viikonlopuille ja loma-ajoille jaksotusohjelma, jolla ilmanvaihtokoneet käyvät mitoitusteholla tunnin vuorokaudessa. Taulukossa 1 esitettyjä yhden tunnin ilmanvaihtojaksoja vuorokaudessa voidaan verrata laskelmaan siitä, mitä ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on esitetty käyttöajan ulkopuoliseksi ilmanvaihdoksi vuorokaudessa: $0,15 \text{ l/s, m}^2 \Rightarrow 540 \text{ l/h, m}^2 \Rightarrow 12,9 \text{ m}^3/\text{vrk, m}^2$.

Julkisten palvelurakennusten ulkoilmavirtojen suunnittelussa on käytetty rakentamismääräyskokoelman D2 ulkoilmavirtojen ohjearvoja, ellei niitä ole suunniteltu määräystasoa paremmilla Sisäilmastoluokituksen ulkoilmavirtojen ohjearvoilla. Esimerkiksi opetustilan ulkoilmavirran ohjearvo on jo vuosikymmenten ajan RakMK D2:ssa ollut $3 \text{ l/s, m}^2 /5/$. Tällä ulkoilmavirran ohjearvolla koko rakennuksen ilmanvaihtokerroin on vähintään 1 l/h , usein yli 2 l/h ja joskus yli 3 l/h – riippuen huonetilojen korkeudesta. Ilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa ilma vaihtuu rakennuksessa tunnin aikana. Tuoreessa tutkimuksessa neljän koulun opetustilojen ilmanvaihtokertoimet olivat $2,9\text{--}4,6 \text{ l/h} /6/$. Tämä viittaisi siihen, että ulkoilman ohjearvona on käytetty Sisäilmastoluokituksen S2-luokan arvoa 4 l/s, m^2 (tai $8 \text{ l/s, hlö} /35/$. Kun ilmanvaihtoa käytetään julkisessa palvelurakennuksessa viikonloppuna tunnin ajan, koko rakennuksen ilma vaihtuu **vähintään 1–2 kertaa** tämän tunnin aikana.

Kun ilmanvaihto käynnistetään aamuisin kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkua, koko rakennuksen ilma ehtii tyypillisesti vaihtua vähintään 2–4 kertaa tänä aikana. Laskennallisesti tarkasteltuna yli 90 % sisäilman epäpuhtauksista poistuu, kun tilan ilmatilavuus vaihtuu kolme kertaa. Käytännössä riittää, että ilmanvaihto käynnistetään kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkua $/9/$.

Taulukko 1. Ilmanvaihto yhden tunnin aikana eri mitoitusilmavirroilla

Mitoitusilmavirta	Käyttöjakso	Kokonaisilmanvaihto
5,0 l/s,m ²	1 tunnin jakso / vrk	$5,0 \text{ l/s,m}^2 \times 3600\text{s} = 18,0 \text{ m}^3/\text{vrk,m}^2$
4,5 l/s,m ²	1 tunnin jakso / vrk	$4,5 \text{ l/s,m}^2 \times 3600\text{s} = 16,2 \text{ m}^3/\text{vrk,m}^2$
4,0 l/s,m ²	1 tunnin jakso / vrk	$4,0 \text{ l/s,m}^2 \times 3600\text{s} = 14,4 \text{ m}^3/\text{vrk,m}^2$
3,5 l/s, m ²	1 tunnin jakso / vrk	$3,5 \text{ l/s,m}^2 \times 3600\text{s} = 12,6 \text{ m}^3/\text{vrk,m}^2$
3,0 l/s,m ²	1 tunnin jakso / vrk	$3,0 \text{ l/s,m}^2 \times 3600\text{s} = 10,8 \text{ m}^3/\text{vrk,m}^2$
2,5 l/s, m ²	1 tunnin jakso / vrk	$2,5 \text{ l/s,m}^2 \times 3600\text{s} = 9,0 \text{ m}^3/\text{vrk,m}^2$

Ilmanvaihdon käyttäminen julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohjeen mukaisesti onnistuu parhaiten, kun mitoitustehon ilmavirrat ja paine-erot on edellä esitetyn (luku 2.4) mukaisesti hyvin säädetty. Huomiota tulee kiinnittää mm. paineiskujen, takaisinvirtauksen ja kylmissä tiloissa olevien ilmanvaihtokanavien ilman kondensoimisen mahdollisuuteen. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaukselta vaaditaan seuraavaa:

1. Käynnistysviive, jotta sulkupellit ehtivät avautua ennen puhaltimien käynnistymistä. Muuten suodattimille voi tulla kova paineisku, joka voi pahimmassa tapauksessa vaurioittaa niitä. Hitaat ja rauhalliset käynnistys- ja pysäytysrampit vähentävät mahdollisia paine-eroja, jotka aiheutuvat tulo- ja poistokoneiden eriaikaisesta käynnistymisestä.

2. Ulkoilmakanavissa on kunnolliset sulkupellit takaisinvirtausten ehkäisemiseksi. Myös pienemmissä erillispoistoissa on suositeltavaa olla sulkupellit, mutta vähintään perhospellit.
3. Kylmissä tiloissa sijaitsevat kanavat ovat kunnolla eristetty /6/.

Ilmanvaihdon yleisohjeessa esitetään, että hygieniatilojen erillispoistoilmanvaihto on parempi käyttää pääilmanvaihtokoneiden aikaohjelmien mukaisesti, mikäli rakennuksen hygieniatiloissa on pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto. Tämä ilmanvaihtotapa on käytössä etenkin vanhoissa, peruskorjaamattomissa rakennuksissa, joiden rakenteet eivät ole tiiviit. On hyvä kuitenkin rakennuskohtaisesti arvioida, miten suuri merkitys hygieniatilojen erillispoistoilla on rakennuksen alipaineisuuteen. Matalissa yksi- tai kaksikerroksisissa rakennuksissa hygieniatilojen erillispoistojen liittäminen yleisilmanvaihtokoneiden aikaohjelmaan on suositeltavampaa kuin korkeammissa rakennuksissa, joissa yöaikaisen termisen paine-eron mahdollistamana ilmaa voi virrata alempien kerrosten huoneilmasta poistoilmakanaviin ja purkautua ylempien kerrosten sisäilmaan. Kannattaa kuitenkin ottaa myös huomioon, että joissain rakennuksissa hygieniatilojen erillispoistot ottavat korvausilmaa lattiakaivoista ja myötävaikuttavat epämiellyttävien hajujen leviämiseen. Tämä paljastaa lattiakaivojen ja pesuallaiden viemäreiden ja/tai hajulukkojen korjaustarpeen. Toisissa rakennuksissa taasen hygieniatilojen poistoilmanvaihto vähentää hajujen määrää, jos hajuja aiheuttavat tekijät ovat jo WC- ja pesutilojen ilmassa tai huonepinnoilla.

Rakennusautomaatiojärjestelmässä hygieniatilojen ohjauspisteet ohjelmoidaan toimimaan pääilmanvaihtokoneiden ohjauspisteiden mukaisesti. Mikäli rakennusautomaatiota ei ole, lukitus voidaan tehdä suoraan kontaktorilta apukärkien kautta toimimaan pääilmanvaihtokoneiden käyntiaikojen mukaisesti.

Joissain rakennuksissa on järkevää toteuttaa pelkällä erillispoistolla toteutetuille hygieniatiloille hallittu korvausilman saanti. Elinkaarikustannuksiltaan saattaa olla edullista vaihtaa hygieniatilojen huippuimurit pieneen lämmöntalteenotolla olevaan IV-pakettikoneeseen. Kannattavuus riippuu mm. IV-pakettikoneen ja -kanavien asentamiseen käytettävissä olevasta tilasta.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valvira, 2016) todetaan, että *Rakennuksen ilmanvaihdon sammuttamista ei pidä suunnitella tai toteuttaa ennen kuin on selvitetty, ettei rakenteissa ole mikrobivaurioita, joista voi kulkeutua ilmanvaihdon sammuttamisen johdosta epäpuhtauksia sisäilmaan.* Vaikka palvelurakennuksissa tehtäisiin tämän ohjeen mukaisesti tutkimukset ja todettaisiin, ettei rakenteissa ole sisäilman laatua heikentäviä mikrobivaurioita, maaperässä on kuitenkin aina mikrobeja kuten luvussa 2 on kirjoitettu. Julkisissa palvelurakennuksissa työskennellään ja oleskellaan tiloissa, joiden rakenteet ovat kosketuksissa maaperään tai joissa on lyhyt ilmayhteys maaperään. Palvelurakennuksessa tavoitellaan mahdollisimman pientä paine-eroa vaipan yli, jotta maaperässä olevat epäpuhtaudet eivät pyrkisi rakenteiden mahdollisten epätiiveyskohtien kautta sisäilmaan. Etenkin mikäli koneellinen ilmanvaihto aiheuttaa yöaikaan sisätiloihin suurempaa alipaineisuutta kuin päiväsaikaan, ilmanvaihdon pysäyttäminen yöajaksi on parempi ratkaisu kuin sen jatkuva käyttö.

Mikäli rakennuksen rakenteissa on kosteus- tai mikrobivaurioita, sisäilma-asiantuntija päättää ilmanvaihdon käyntiajoista. Päätöstä varten tulee selvittää rakennuksen paine-eroa vaipan yli 1–2 viikon jatkuvatoimisella mittauksella eri kerroksissa ja eri julkisivuilla ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä ja ilmanvaihdon käydessä rakennuksen käyttöaikojen mukaan. Mittaustuloksista päätellään millä ilmanvaihdon käyttötavalla (jatkuvalla vai rakennuksen käyttöaikojen mukaisella) rakennuksen paine-ero vaipan yli on mahdollisimman pieni. Mikäli yleisilmanvaihto aiheuttaa rakennukseen alipaineen, tulo- ja poistoilmavirratt tulee mitata ja säätää mahdollisimman tasapainoon /38/. Ennen säätötyön toteutusta ilmanvaihdon pysäyttäminen rakennuksen käyttöaikojen ulkopuolella ei välttämättä ole huono ratkaisu. Tutkimuksessa /17/ ei suositella yleisilmanvaihdon pysäyttämistä kohteissa, joissa on kosteus- tai mikrobivaurio. Mikäli kosteusvaurio on aiheuttanut mm. muovimatoille tyypillisen materiaalivaurion, josta aiheutuu kemiallisten yhdisteiden päästöjä sisäilmaan, ilmanvaihdon tulee käydä jatkuvasti, kunnes pinnoitevaurio on korjattu.

Ryömintä- ja alustatilojen, putkikanaalien, jätehuoneiden ja hissikuilujen erillispoistojen tulee olla jatkuvasti käynnissä. Erillispoistot alipaineistavat nämä tilat käyttötiloihin nähden, jolloin epäpuhtauksia ei pääse leviämään em. tiloista käyttötiloihin. Alipaineen suuruudeksi riittää -2 – -4 Pa. Erillispoistojen käyntiä seurataan rakennusautomaatiojärjestelmässä ja paikallisesti puhaltimen toiminta varmistamalla.

Säännöllisessä työssä työpaikan radonpitoisuuden viitearvo on 300 Bq/m³ ilmaa. Jos työnaikainen radonpitoisuus on viitearvoa suurempi, radonpitoisuutta on pienennettävä tai altistumisaikaa lyhennettävä /43/. Rakenteiden tiivistäminen on ensisijainen keino radonpitoisuuden pienentämiseen. Ilmanvaihdon tasapainottaminen on myös toteutettava, jotta ilmanvaihto ei myötävaikuta radonin virtaamiseen sisäilmaan. Tarvittaessa ilmanvaihto voidaan käynnistää aamuisin 2–4 tuntia ennen käyttöajan alkamista, jotta käyttötilojen radonpitoisuus saadaan riittävän pieneksi /49/. Jos rakennuksen alapohjarakenteen alle on rakennettu radontuuletusjärjestelmä, jonka käyttö on tarpeellinen, erillispoiston tulee olla jatkuvasti käynnissä.

5 Ikkunatuuletus

Ikkunatuuletus on ennen kaikkea painovoimaisen ilmanvaihdon tehostamiskeino, mutta ikkunatuuletusta voi käyttää tarvittaessa myös koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä. Ihmisen tyytyväisyyttä edistää oleskeluhuoneessa oleva kunnollinen tuuletusikkuna/27/. Ikkunatuuletus on usein tehokas tapa vaihtaa tilan ilma ja myös jäähdyttää sisäilmaa esimerkiksi tilanteessa, jossa auringon säteily lämmittää tilaa liikaa /3/.

Sen sijaan, jos rakennuksessa on toimiva jäähdytysjärjestelmä, ei ikkunaa lämpimällä säällä kannata avata, sillä jäähdytyksen teho kykenee harvoin kompensoimaan ikkunan kautta virtaavan ulkoilman lämmön. Järjestelmissä, joissa ilmanvaihdon teho riippuu huoneen hiilidioksidipitoisuudesta, ilmanvaihto ei tehostu, mikäli ikkuna avataan. Ikkunan kautta tuuletettaessa pääsevät ulkoilman hiukkaset suodattamattomina sisäilmaan. Suomessa ulkoilma on kuitenkin eurooppalaisittain puhdasta /4/, vaikkakin teollisuuslaitosten, junaratojen ja isompien liikenneväylien läheisyys kannattaa huomioida ikkunatuuletuksessa. Lisäksi siitepölykautena ikkunatuuletus voi pahentaa allergikkojen oireita.

Ikkuna on muistettava sulkea lyhyen, mutta tehokkaan ikkunatuuletuksen jälkeen, ettei vesi tai lumi pääse kastelemaan huoneen sisäpintoja tai pakkaneen laskemaan huoneen lämpötilaa turhaan.

6 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Ilmanvaihtojärjestelmän hiukkasmaisten epäpuhtauksien epäillään lisäävän huoneilman hiukkaspitoisuutta silloin, kun ilmanvaihtoa käytetään rakennuksen käyttöaikojen mukaan jatkuvan käytön sijaan.

6.1 Tuloilman suodattaminen

Ilmansuodattimia koskeva testaus- ja luokitusstandardi SFS-EN 779:2012 on korvautunut vuoden 2018 alussa uudella SFS-EN ISO 16890 -standardilla. Ulkoilman laatu luokkia hiukkaspitoisuuden suhteen on kolme: ODA (P) 1 – ODA (P) 3. Tuloilman laatu luokkia hiukkaspitoisuuden suhteen on viisi: SUP 1 – SUP 5 /21/.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä tuloilma suodatetaan aina – ja yleensä myös poistoilma, varsinkin lämmöntalteenottolaitoksissa. Kun ilmanvaihtojärjestelmässä halutaan ylläpitää hyvää hygieniatasoa ja samalla varmistaa, että ulkoilmasta ei siirry järjestelmän kautta sisäilmaan terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, tulee tuloilmasuodattimien suodatusluokan olla kaupunkiympäristössä (ODA (P) 3) vähintään F7 (SFS-EN 779:2012) tai vähintään ePM1 50 % jälkimmäisenä tai ainoana tuloilmasuodattimena (SFS-EN ISO 16890) /21/. Sisäilmastoluokitus 2018:ssa on todettu, että Suomessa ulkoilman voidaan yleensä olettaa olevan ODA (P) 1 -tasoa ODA (P) 3 -tason sijaan /35/.

Suodattimia on karkea- ja hienosuodattimia. Karkeasuodattimia käytetään yleensä hienosuodattimien esisuodattimina. Yksiportainen suodatinjärjestelmä on myös tehokas, jos suodattimen suodatusluokka on F7, joka erottaa 80–90 % 0,4 µm:n suuruisista hiukkasista (SFS-EN 779:2012) tai ePM1 50–65 % /32/ ja /35/. Regeneratiivista (pyörivää) lämmönsiirintä käytettäessä poistoilman suodatusluokan tulee olla samaa tasoa kuin tuloilmassa, eli yleensä F7 tai ePM1 50 – 65 %. Muita lämmöntalteenottomenetelmiä käytettäessä poistoilma suodatetaan M6-luokan suodattimia käyttäen. Ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja

poistoilmasuodattimet vaihdetaan pääasiallisesti kaksi kertaa vuodessa tai silloin, kun paine-ero suodattimen yli kasvaa suureksi (suodattimet ovat tällöin niin likaiset, että tuloilmavirta pienenee selvästi).

Talotekninen teollisuus ja kauppa, Talteka ry on julkaissut verkkosivuillaan [tietoiskun](#) uudesta standardista, joka ottaa entistä paremmin huomioon ulkoilman laadun. Taulukko 2 selvittää tätä.

Taulukko 2. Suodattimien luokittelun pääluokat standardissa SFS-EN ISO 16890.

Pääluokka	Mittausväli (µm ja luokitus)	Määritelmä PM _x -hiukkasille
ePM ₁	0,3 ... 1 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 1 µm:n aukon 50-prosenttisesti
ePM _{2,5}	0,3 ... 2,5 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 2,5 µm:n aukon 50-prosenttisesti
ePM ₁₀	0,3 ... 10 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm:n aukon 50-prosenttisesti
Coarse	0,3 ... 10 ja erotusaste < 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm:n aukon alle 50-prosenttisesti

* Viittaus tarkkaan määritelmään on standardin SFS-EN ISO 16890 -johdantotekstissä.

6.2 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen ja puhdistaminen

Ilmanvaihtokanavien puhdistamistarve on hyvä tarkastaa viiden vuoden välein. Ilmanvaihtokoneiden puhdistamistarve on hyvä tarkastaa aina suodattimien vaihdon yhteydessä. Mikäli suodattimet ovat tiiviisti paikoillaan suodatinkelhyksissä, eikä niiden sivuitse tapahdu ohivirtausta, tuloilmakanaviin ei kerry merkittävästi ulkoilman epäpuhtauksia. Vanhoissa ilmanvaihtokoneissa suodattimien ohi tapahtuu enemmän ilmavirtausta kuin uusissa ilmanvaihtokoneissa, joissa suodattimien kiinnitysmekanismi on parempi.

Ilmanvaihtokanavien puhtauden tarkastamiseen ja ilmanvaihtojärjestelmän puhdistamiseen on mm. seuraavia ohjeita:

- [SuLVI, IV-kuntotutkimusopas](#), ohje 4, Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tutkiminen. Tässä oppaassa vanhojen ilmanvaihtojärjestelmien pölykertymän raja-arvot ovat liian väljät. Vanhojen ilmanvaihtojärjestelmien puhdistamisella päästään 0,7–1 g/m²:n pölykertymään.
- Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastusohje, Puhdas ja toimiva ilmanvaihto. Sisäilmayhdistys, julkaisu 18. Scanseri, Helsinki, 2011.
- Holopainen, R., ym. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Opetushallitus.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudesta huolehtiminen on kiinteistönhoidon keskeisimpiä tehtäviä. Huoltokirjaan on laadittu ilmanvaihtojärjestelmän huoltamisen viikko-, kuukausi- ja vuositehtävät. Kiinteistönhoidon työn valvontaan tulee kiinnittää erityistä huomiota.

6.3 Hiukasmaisten epäpuhtauksien sallitut pitoisuudet sisäilmassa

Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 50 µg/m³. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 25 µg/m³ (STM 2015). Tuloilmaluokkien SUP 1–3 raja-arvot ovat tiukemmat kuin em. STM:n asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisäilman hiukkaspitoisuudelle. SUP 4- luokan raja-arvot ovat samat, ja SUP 5 -tuloilmaluokan raja-arvot ovat suuremmat kuin asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Tuloilmaluokkiin SUP 1 ja SUP 2 päästään yleensä suodatustasolla ePM₁ 50–60 % /21/.

6.4 Ilmanvaihtokanavien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan ilmanvaihtoa käynnistettäessä

Yhtenä huolenä on esitetty, että ilmanvaihto aiheuttaa käynnistyessään paineiskun, joka mahdollistaa kanaviston epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmaan. Lisäksi huolta on ollut siitä, että kun ilmanvaihto on pois päältä, huoneilman pölyä virtaa tuloilmakanaviin, jolloin ilmanvaihdon käynnistyessä paineisku saisi pölyn irtoamaan kanavista sisäilmaan.

Tehdyssä tutkimuksessa ilmanvaihtojärjestelmien ei kuitenkaan ole käynnistyessään havaittu aiheuttavan minkään mitatun kokoluokan hiukkasten hetkellistä I/O-suhteen (sisäilman hiukkaspitoisuuden suhde ulkoilman hiukkaspitoisuuteen) nousua tai lukumäärän lisääntymistä sisäilmassa. Hiukkasten mahdollinen irtoaminen kanavasta ilmanvaihdon käynnistyessä on niin vähäistä, ettei sillä ole sisäilman puhtauteen merkittävää vaikutusta /6/.

Ilmanvaihdon yleisohjeessa todetaan, että ilmanvaihtojärjestelmän ohjaukselta vaaditaan käynnistysviive, jotta sulkupellit ehtivät avautua ennen puhaltimien käynnistymistä, jolloin paineiskua ei pääse syntymään. Lisäksi taajuusmuuttajaohjauksessa olevan tai EC-moottorilla varustetun puhaltimen pyörimisnopeutta voidaan nostaa hitaasti. Näin varmistetaan, että tuloilmakanavan pinnalla oleva pölykerros ei irtoa tuloilmaan. Lisäksi käyntiaikojen ulkopuolella, kun ulkoilmapelti on kiinni, tuloilmakanavaan ei muodostu alipainetta, jonka myötä huoneilma virtaisi tuloilmakanavaan.

Huolletussa P1-puhtausluokan ilmanvaihtojärjestelmässä on vähän epäpuhtauksia. Mikäli tuloilmakanavistossa on epäpuhtauksia, ne ovat yleensä suodattimien ohi virtaavan ilman kuljettamia ulkoilman epäpuhtauksia. Näitä epäpuhtauksia tulee sisäilmaan myös suoraan tuuletusikkunoiden kautta. Vanhojen rakennusten ilmanvaihtojärjestelmässä on usein ollut rakennusaikaisia epäpuhtauksia, sillä ennen 1990–2000 -lukua ilmanvaihtojärjestelmiä ei suojattu rakentamisen aikana. Näiden järjestelmien koneet ja kanavat on kuitenkin todennäköisesti puhdistettu useammin kuin kerran. Pidempään käytössä olleiden tuloilmajärjestelmien äänenvaimentimista voi irrota mineraalivillakuituja tuloilmaan. Äänenvaimentimia pinnoitetaan tästä syystä kuitujen irtoamista ehkäisevällä aineella tai poistetaan ja korvataan toisella tuotteella /16/.

7 Ilmanvaihto rakennuksen osakorjausten aikana

Kun osassa rakennusta tehdään purku- ja/tai korjaustöitä, työn alla olevat tilat osastoidaan ja alipaineistetaan (Ratu 82-0383 ja RatuTT 09-00939). Alipaineistuksella estetään purkutyössä syntyvän rakennusmateriaalipitoisen ja mahdollisesti mikrobipitoisen pölyn leviäminen osaston ulkopuolelle. Osaston paine-eroa ulkopuolisiin tiloihin seurataan jatkuvatoimisesti. Osastoinnin tulee olla tiivis. Viereisiin tiloihin voidaan tarvittaessa ohjata enemmän korvausilmaa /28/. Tarpeen tälle määrittelee sisäilma-asiantuntija arvioidessaan korjaustöiden laajuutta ja vaikuttavuutta. Opinnäytetyössä on kuvattu työmaan puhtauden hallinnan toimintamalli, joka soveltuu korjaustöihin, kun muu rakennus on normaalikäytössä /28/. Erityistä huomiota tulee kiinnittää ilmanvaihtokanavien suojauksiin ja tulppauksiin /28/.

Mikäli rakennuksen purku- ja/tai korjaustöiden takia suuri osa ilmanvaihtojärjestelmästä poistetaan käytöstä, tulee käyttöön jäävä ilmanvaihtojärjestelmän osa säätää niin, että paine-ero rakenteiden yli on mahdollisimman pieni ja huoneiden suunnitellut ilmavirrat toteutuvat.

Julkisivu- tai kattoremontin edellyttämän huputuksen aikana ilmanvaihtoa käytetään normaalitoiminnassa olevassa rakennuksessa jatkuvasti, jotta voidaan vähentää huputuksen aiheuttamaa rakennuksen ylläampemistä. Mikäli ilmanvaihdon ulkoilman ottoaukot jäävät huputuksen alle, ulkoilma on johdettava tuloilmakoneille huputuksen ulkopuolelta. Ulkoilmasäleikkö tulee toteuttaa huputuksen ulkopuolelle, mikäli mahdollista. Lisäksi tuloilmakoneissa voidaan mahdollisesti käyttää kemiallisia suodattimia. Näin estetään yllälämmön ja rakennustöistä aiheutuvien epäpuhtauksien (esim. bitumityöt) pääsy ilmanvaihtoon ja tätä kautta rakennukseen.

8 Rakennusmateriaalien ja kalusteiden päästöt sisäilmaan

Tämä luku on laadittu siitä syystä, että ilmanvaihdon käyttäminen rakennuksen käyttöaikojen mukaan ilmanvaihdon jatkuvan käytön sijaan epäillään vaikuttavan huoneilman materiaalipäästöjen suuruuteen silloin, kun rakennuksessa oleskellaan ja työskennellään.

8.1 Ilmanvaihdon vaikutus kemiallisten yhdisteiden pitoisuuteen

Eryyisesti uudet rakennusmateriaalit ja kalusteet päästävät sisäilmaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joista useat aistitaan erilaisina hajuina. Kun käytetään M1-luokan rakennusmateriaaleja, pienennetään sisäilman kemiallisten yhdisteiden kuormaa (<https://m1.rts.fi/>). Uusien materiaalien ja kalusteiden haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöt sisäilmaan vähenevät siten, että usein jo puolen vuoden kuluttua rakennuksen käyttöönotosta hajupäästöt ovat pienet.

Uusissa ja peruskorjatuissa rakennuksissa sekä rakennuksissa, jotka esim. toiminnan muutosten vuoksi kalustetaan pääosin uudelleen, ilmanvaihtoa tulee käyttää ensimmäisen vuoden aikana jatkuvasti, jotta materiaalipäästöt saadaan poistettua tehokkaasti sisäilmasta. Mikäli vuoden jälkeen epämiellyttävää materiaalihajua vielä esiintyy, voidaan päättää, että ilmanvaihdon jatkuvaa käyttöä jatketaan vielä kuusi kuukautta tai kokonainen vuosi, ennen kuin ohjausjärjestelmään asetetaan ilmanvaihdon aikaohjelmat.

Vuonna 2018 toteutetussa käyttötapavertailussa ilmanvaihdon jaksottaisen käytön ja osatehokäytön vaikutuksia käyttöaikaiseen sisäilman laatuun tutkittiin VOC-ilmanäyttein ja merkkiaine-päästöin. Sisäilman VOC-näytteet otettiin kahden koulurakennuksen opetustilasta sekä ilmanvaihdon osatehokäytöllä että jaksottaisella käytöllä. Tavoitteena oli tutkia eri käyttötapojen vaikutusta huuhtelujakson tehoon. Huuhtelujakson pituus ennen oletetun käyttöajan alkua oli kaikissa kohteissa sama eli kaksi tuntia. Näytteet otettiin molemmilla käyttötavoilla siten, että ensimmäinen näytteenotto aloitettiin yksi tunti ennen huuhtelujakson aloitusta ja toinen välittömästi huuhtelujakson jälkeen, kun käyttäjät oletetusti saapuivat tilaan. Tulosten vertailukelpoisuuden edistämiseksi tiloihin asetettiin 1-kloorioktaania astiaan merkkiaineeksi kaksi vuorokautta ennen näytteenottoa /6/.

VOC-mittausten mukaan merkkiaineena käytetty 1-kloorioktaani huuhtoutui tutkimuksessa käytetyillä aikaohjelmilla käyttöaikojen alkuun mennessä tehokkaasti sekä osatehokäytöllä että jaksottaisella käytöllä. Molemmissa mitatuissa kohteissa tilan oletetun käytön alkaessa merkkiaine- ja TVOC-pitoisuus oli samalla tasolla käyttötavasta riippumatta (taulukko 3) /6/.

Taulukko 3. VOC-pitoisuuksien huuhtoutuminen sisäilmasta kahdella eri ilmanvaihdon käyttötavalla.

	OSATEHOKÄYTTÖ			
	IV 30 %		Mitoitusteho	
Kohde	1-kloorioktaani µg/m ³	TVOC µg/m ³	1-kloorioktaani µg/m ³	TVOC µg/m ³
Kohde 3	26	30	15	20
Kohde 4	8	10	7	< 10
	JAKSOTTAINEN KÄYTTÖ			
	IV SEIS		Mitoitusteho	
Kohde	1-kloorioktaani µg/m ³	TVOC µg/m ³	1-kloorioktaani µg/m ³	TVOC µg/m ³
Kohde 3	160	170	14	20
Kohde 4	45	50	8	10

8.2 Materiaalien kyky adsorboida ja desorboida kemiallisia yhdisteitä

Rakennusmateriaalien kyky adsorboida sisäilmassa olevia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä itseensä ja desorboida niitä takaisin sisäilmaan riippuu sisäilmassa olevan haihtuvan orgaanisen yhdisteen höyrynpaineesta ja kiehumispisteestä. Useiden materiaalien adsorptio- ja desorptiokyvyn suhde on sitä pienempi, mitä suurempi on yhdisteen höyrynpaine. Mitä karheampi rakennusmateriaalin pinta on, sitä

suurempi adsorptiokyky materiaalilla on. Kovat ja sileät materiaalit eivät adsorboi yhtä paljon kuin karheat materiaalit. Materiaalin adsorptiokyky riippuu myös materiaalin huokoisuudesta, huokosten koosta, diffuusionopeudesta ja materiaalin painosta tai paksuudesta /8/.

Materiaalin desorptio- eli emissionopeus saavuttaa tasapainon, kun ilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus (TVOC-pitoisuus) pysyy vakiona. Silloin kun ilmanvaihto poistaa sisäilmasta yhdisteitä, sisäilman pitoisuus pienenee, mikä lisää emissionopeutta materiaalin pinnasta. Tämä johtuu siitä, että yhdisteet liikkuvat aina pienempään pitoisuuteen termodynamiikan lakien mukaan. Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus suurenee jonkin verran, kun ilmanvaihto ei ole käynnissä, mutta vain ns. tasapainopitoisuuteen saakka (liite 1 kuvat 6 – 8 ja 12).

Kun huonelämpötila nousee, materiaalin adsorptio- ja desorptiokyky suurenee. Desorptiokyky suurenee nopeammin kuin adsorptiokyky, minkä vuoksi lämpimässä sisäilmassa on suurempi TVOC-pitoisuus kuin viileässä sisäilmassa /8/.

9 Kosteus

Julkisten palvelurakennusten omistajat saavat usein kuulla epäilyjä siitä, että ilmanvaihdon pysäyttäminen rakennuksen käyttöajan ulkopuolella vaikuttaa rakennuksen kosteustuottoon tai kosteusvaurioiden syntymiseen. Tästä syystä perustelumuuuion luku 9 käsittelee kosteutta eri näkökulmista.

9.1 Sisäilman kosteus

Suhteellinen kosteus on ilman sisältämän vesihöyrypitoisuuden suhde ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästystilan vesihöyrypitoisuuteen. Ulkoilman suhteellinen kosteus on yleensä vuodenajasta riippumatta 50–90 % /15/. Ulkoilman kosteuspitoisuus on kesällä keskimäärin 10–15 g/m³. Syksyllä, talvella ja keväällä 0 °C lämpötilassa ulkoilman kosteuspitoisuus on 3–5 g/m³ ja talvella –10 °C:n lämpötilassa 1–2 g/m³ ja –20 °C:n lämpötilassa 0,53–0,88 g/m³. Kesällä ulkoilman kosteuspitoisuus on suurempi kuin talvella, koska lämpimässä ilmassa on enemmän vesihöyryä kuin kylmässä.

Talvella rakennusten lämmittäminen lämmittää luonnollisesti huoneilmaa. Ilmanvaihtokoneessa tuloilma lämmitetään tyyppillisesti –20 °C – +5 °C:stä +18–19 °C:een. Ulkoilman lämpötilan ollessa –20 °C – +5 °C sisäilman suhteellinen kosteus on 2–25 % ulkoilman lämpötilasta riippuen (liite 1 kuvat 4 ja 5). Lämmitettyyn sisäilmaan mahtuisi siis merkittävästi enemmän vesihöyryä kuin mitä siihen ulkoilmasta saadaan.

Keväisin ja syksyisin sisäilman suhteellinen kosteus vaihtelee yleensä 15 %:n ja 40 %:n välillä (liite 1 kuvat 3, 10 ja 11). Kesällä sisäilman suhteellinen kosteus vaihtelee yleensä 30 %:n ja 65 %:n välillä (liite 1 kuvat 1, 2 ja 9).

Sisäilman vesihöyrypitoisuuteen vaikuttavat ulkoilman vesihöyrypitoisuus, sisätilan kosteuslähteet, sisätilan ilmanvaihto, rakenteiden läpi poistuvan vesihöyryn määrä sekä vesihöyryn sitoutuminen rakennusaineisiin. Kahden viimeksi mainitun tekijän merkitys on yleensä melko pieni. Sisätilan kosteuslähteitä ovat esimerkiksi ihminen itse (hengitys, aineenvaihdunta), ruoan valmistus, suihkussa käyminen ja pintojen vesipesu (taulukko 4). Lisäksi rakennusten valmistumisvaiheessa betonin kuivuminen ja eräät pintakäsittelyt voivat tuottaa sisäilmaan suurenkin kosteustuoton. Tämä on yksi syy siihen, miksi ilmanvaihtoa tulee käyttää ympäri vuorokauden vuoden ajan rakennuksen valmistumisesta.

Julkisissa palvelurakennuksissa, kuten kouluissa, päiväkodeissa, kirjastoissa, nuorisotiloissa ja terveysasemilla, sisätilojen kosteustuotto on pääosin peräisin ihmisistä itsestään. Kouluissa ja päiväkodeissa sisäilmaan syntyy lisäksi kosteutta keittiössä ja pesutiloissa ja niissä ennen kaikkea suihkussa. Tällöin koneellinen ilmanvaihto on päällä, ja se tulee pitää käynnissä ainakin yhden tunnin ajan ruoan valmistuksen tai suihkussa käymisen jälkeen. Pesutilojen riittävän nopeaan kuivumiseen vaikuttaa ilmanvaihdon lisäksi huoneilman lämpötila. Mitä lämpimämpi pesutila on, sitä nopeammin se kuivuu.

Julkisten palvelurakennusten työ- ja oleskelutiloissa (mukaan lukien opetus-, leikki- ja ryhmätilat) ei ole sisäisiä kosteuslähteitä silloin, kun rakennusten käyttäjät eivät oleskele rakennuksessa iltaisin, öisin tai viikonloppuisin. Sisätilan kosteustuotto ei ole syy käyttää ilmanvaihtoa rakennuksen käyttöajan ulkopuolella em. palvelurakennuksissa. Ilmanvaihdon pysäyttäminen ei synnytä työ- ja oleskelutilaan äkillistä kosteuslähdeä (liite 1 kuvat 1 – 5 ja 9 – 11).

Taulukko 4. Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja /39/. Palvelurakennusten keittiötoiminnan kosteustuotto on asuinrakennuksen keittiötoimintaa suurempi.

Kosteuslähde	Kosteustuotto
Ihminen	40–300 g/h riippuen aktiviteetista (keskimäärin 90 g/h)
Kylpy	700 g/h
Suihku	2 600 g/h
Keittiötoiminta	600–1 500 g/h (päivittäinen keskiarvo noin 100 g/h)
Avoin vesipinta	40 g/m ² h
Kasvit	
Pienet kasvit	7–15 g/h
Keskikokoiset kasvit	10–20 g/h
Vaatteiden pesu ja kuivaus	
Lingottu pyykki	10–50 g/h /kg kuivaa pyykkiä
Vettä tippuva pyykki	20–100 g/h /kg kuivaa pyykkiä

Vaikka sisäilman kosteuspitoisuus on pieni, ilman vesihöyryä voi tästä huolimatta, erityisesti talvella sekä syys- ja kevät öinä, sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ollessa suuri, kulkeutua diffuusion tai konvektion vaikutuksesta ulkoilmaa vasten oleviin rakenteisiin, kuten yläpohjaan, katon ja seinän liittymään tai seinärakenteeseen. Lämmin huoneilma nousee huoneessa ylöspäin ja virtaa em. rakenteiden ilmapuotokehtien kautta ulos. Ulkoseinärakenteen lämmöneristeen sisäpintaan asennetaan höyrynsulku estämään tätä. Rakentamisvaiheessa höyrynsulun huolellinen kiinnittäminen on erittäin tärkeää, ettei lämmin sisäilma virtaa sen epätiivien saumojen kautta lämmöneristeeseen ja tuulensuojalevyyn, jossa ilman kosteus pääsisi tiivistymään. Lisäksi ulkoilmaa vasten olevien rakenteiden sisäpuolisten liitoskohtien tiiviiden varmistaminen ehkäisee konvektiovirtauksia /37/.

Sisäilman kosteus tiivistyy kylmälle pinnalle, kun pinnan lämpötila on alle ilman kastepisteen. Tästä syystä ilmanvaihtokanavia ja vesiputkia eristetään, ettei niiden pintalämpötila ole liian matala. Kosteuden kannalta ongelma on kesäaikainen lämmityksen ja ilmanvaihdon puute tiloissa, joiden kosteustekninen toiminta perustuu kosteuden haihtumiseen pinnoilta tai jotka kesällä jäähtyvät ja sen takia kostuvat. Tällaisia ovat mm. maanpinnan alapuolella sijaitsevat kellaritilat, ryömintätilalliset alapohjat ja lämmöneristämättömät lattiat. Näissä tiloissa jatkuva tuuletus on tarpeellinen. Tuuletuksessa tulee seurata alapohjan olosuhteita, jotta ne eivät viilene liikaa, ettei pääse muodostumaan kosteutta tai jäätymisongelmia.

9.2 Kosteusvaurioiden syntymekanismit

Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen tarkempaa kuvausta varten kannattaa perehtyä mm. ympäristöministeriön oppaaseen Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus /37/ ja sen lähdeaineistoon. Rakennusten kosteusvauriot ovat seurausta rakennevaurioista, jotka johtuvat suunnittelun, toteutuksen tai käytönaikaisesta virheestä tai rakenteiden ikääntymisestä. Lyhyesti kerrottuna siitä, että rakenteeseen pääsee ja jää enemmän kosteutta kuin sieltä poistuu, minkä vuoksi rakenteen kosteuspitoisuus suurenee ja rakenne voi kosteusvaurioitua. Mikäli rakenteella on suuri kosteudensitomiskyky, kestää kosteuspitoisuuden nousu pitkään niin suureksi, että rakenteeseen muodostuu kosteusvaurioita. Rakenteisiin voi kosteuden seurauksena syntyä mikrobiologisia vaurioita (homehtuminen ja lahoaminen) ja kemiallisia tai fysikaalisia vaurioita (ruostuminen, muovipehmittimien ym. materiaalien hajoaminen, materiaalien muodonmuutokset). Kosteuden lähteitä ovat mm. sadevesi, erityisesti viistosade, tuiskulumi, lumi ja sen sulaminen, maan pinta- ja vajovedet, vesi-, viemäri- ja lämpöputkien vuodot sekä suihku- ja pesuedet /37/.

Kosteusvaurioiden syntymisen riskiin vaikuttavat rakenteiden puutteet. Tällaisia puutteita ovat tyypillisesti julkisivun vesivuodot, ilmapuodot rakenteiden läpi, ikkunaliittymien epätiiviyys, kattovuodot, joissa vesi voi kulkea kattorakenteissa pitkiä matkoja ennen kuin valuu alas, sadevedenohjauksen puutteet, virheellinen maan muotoilu, kapillaarikatkon puuttuminen, jolloin maaperän kosteus voi nousta alapohjarakenteisiin, pesutilojen puutteellinen vedeneristys, höyrinsulun puutteet sekä liian kostean rakenteen pinnoittaminen rakentamisen aikana. Lisäksi rakenteiden tuuletuksen puutteet voivat johtaa kosteuden liialliseen viipymiseen rakenteissa. Tällaisia puutteita ovat julkisivun, ryömintätilan ja yläpohjan tuuletuksen puutteet. Julkisivun ja yläpohjan tuuletus tapahtuu painovoimaisesti, mutta maaperän suuren kosteustuoton vuoksi ryömintätilat tuuletetaan usein koneellisesti /37/.

Ulkovaipparakenteen ikääntyminen heikentää rakenteen kosteusteknistä toimintaa ja mahdollistaa kosteuden tunkeutumisen rakenteisiin. Mikäli julkisivun tuulettuminen on heikko, kosteusvaurion kehittyminen on todennäköistä ja mikrobivaurion syntyminen mahdollista /37/.

Rakennuksen rakenteiden epätiiviyyskohtien ja ilmapuotoreittien kautta rakenteissa olevien mikrobien aineenvaihduntatuotteet voivat päästä sisäilmaan, mikäli paine-erot rakenteen yli vaikuttavat ilmavirtaukseen ulkoa sisäänpäin.

Optimiolosuhteet homeiden ja muiden mikrobien nopealle kasvulle ovat 20–30 °C:een lämpötilassa ja suhteellisessa ilmakeuhudessa 95–99 %. Vähimmäiskosteus homekasvulle rakennusmateriaaleilla on noin 75–80 % /37/.

9.3 Uuden rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden suunnittelu ja toteutus

Ympäristöministeriön vuoden 2018 alussa julkaisema uusi asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta ohjaa selkeästi rakentamisen kosteudenhallinnan huolelliseen suunnitteluun ja toteuttamiseen.

Betonin ja muiden kosteutta sisältävien rakenteiden kuivumiselle on varattava riittävästi aikaa ennen kuin ne päällystetään vesihöyryn haihtumista merkittävästi vähentävällä materiaalilla. Rakenteiden kuivattamisesta ja ilmanvaihdon osallisuudesta kuivatukseen on tietoa mm. Sisäilmayhdistyksen [Terveelliset tilat -sivustolla](#). Rakenteiden kuivumiseen vaikuttavat kaikkein olennaisimmin ympäröivän ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Mikäli ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on yli 50–60 %, hidastaa se vesihöyryn haihtumista rakenteesta. Talvella rakenteilla olevan tilan ilman lämmittäminen riittää suhteellisen kosteuden pienentämiseksi 30–45 %:iin. Kesällä rakenteilla olevan tilan ilmaa voidaan joutua kuivattamaan.

9.4 Kosteuden haihtuminen sisäilmaan

Koulu- ja päiväkotirakennusten sisäilman suhteellinen kosteus on suurimman osan vuotta alle 50 %. Uusista rakenteista suoraan sisäilmaan haihtuvalla kosteudella ei ole sisäilmalle haitallisia vaikutuksia silloin, kun rakenteissa ei ole kylmäsiltoja, joihin kosteus voisi tiivistyä.

Pitkään käytössä olleiden rakennusten maata vasten olevissa betonirakenteissa voi olla niin suuri kosteuspitoisuus, että niistä haihtuu sisäilmaan kosteutta. Vanhemmissa rakennuksissa alapohjan kapillaarikatkoissa saattaa olla puutteita, minkä vuoksi kosteus pääsee nousemaan kapillaarisesti lattiarakenteisiin. Lisäksi kosteutta siirtyy diffuusiolla lattiarakenteisiin. Oleellista on, ettei maata vasten olevia lattia- tai seinärakenteita peitetä tiiviillä pinnoitteella, joka estää kosteuden haihtumisen sisäilmaan. Tiiviin pinnoitteen alle jäävä kosteus vaurioittaa pinnoitetta, minkä seurauksena pinnoitteesta voi vapautua ei-toivottuja kemiallisia yhdisteitä sisäilmaan. Tämä koskee luonnollisesti myös uusia rakenteita, joissa on edelleen rakentamisajan kosteutta.

Suomalaisissa koulu- ja päiväkotirakennuksissa ei ole normaalisti sisäilman liiallisen kosteuden ongelmaa, vaan sisäilman liiallisen kuivuuden ongelma /23/. Lämmityskaudella ilmanvaihdon käyntiajoilla ei ole juurikaan vaikutusta opetus- ja leikkutilojen sisäilman suhteelliseen kosteuteen. Sisäilman suhteellinen kosteus on lähes yksinomaan riippuvainen ulkoilman ja huoneen lämpötilasta.

9.5 Tuloilmasuodattimien kastumisen estäminen

Ulkoilmassa olevat bioaerosolit, kuten virukset, bakteerit ja sieni-itiöt, kulkeutuvat ulkoilman ottoaukon kautta tuloilmasuodattimelle, joka suodattaa ne ulkoilmasta. Kun tuloilmasuodattimet ovat kuivat, suodattimien pöykertymässä olevalle mikrobikasvulle ei ole edellytyksiä. Mikäli suodattimet kastuvat lumen tai sadeveden vaikutuksesta, mikrobeille saattaa muodostua suotuisat kasvuolosuhteet suodattimille kertyneessä pölyssä /10/, jolloin mikrobien kaasumaisia aineenvaihduntatuotteita saattaa vapautua tuloilmaan /11/.

Tärkein mikrobikasvua rajoittava tekijä on kosteuden puute. Tuloilmasuodattimien mikrobikasvua ehkäistään estämällä lumen ja veden pääsy suodattimille saakka. Ulkoilman sisäänoton sijainti on suunniteltava lumen kertymistä tai vallitsevia tuuliolosuhteita ajatellen oikein. Hyvä sijainti ulkoilma-aukolle on sisäpiha. Ulkoilman sisäänottonopeus (otsapintanopeus ulkoilmasäleikön etupinnalla) koko säleikön pinnalla tai säleikön jossakin osassa tulee olla kohtuullinen. Mekaanisilla lumi- ja sadevesiloukuilla hidastetaan lumen ja vedestä koostuvan hiukkasen liikettä. Lumisuijien säleet muodostavat ilman sisäänvirtausreitistä labyrinttimäisen, jolloin ilmavirta muodostuu turbulentiksi, vesi ja lumi jäävät säleisiin ja valuvat painovoiman vaikutuksesta alas /10/ ja /22/.

9.6 Kosteuden tiivistyminen ilmanvaihtokanaviin

Riski kosteuden tiivistymiseen ilmanvaihtokanavien sisäpinoilla on hyvin pieni tai olematon, kun kanavien eristykset ovat kunnossa, ilmanvaihtojärjestelmän sulkupellit ovat tiiviit, jolloin takaisinvirtausta ei tapahdu, ja kun kanavat kulkevat lämpimässä tilassa. Ilmanvaihtokanavat eivät toimi mikrobilähteenä, ellei kanavistoon pääse vettä. Veden kondensoitumiseen vaadittava kastepistelämpötila ja mikrobikasvun kannalta riittävä tiivistyminen tuloilmakanaviin on erittäin harvinaista. Kuopion yliopistossa tehdyssä väitöskirjassa ilmiötä tarkasteltiin teoreettisesti ja mittauksin /44/. Teoreettisesti ilmiön toteutuminen edellyttää, että kanavat on rakennettu kylmiin tiloihin ja huoneilma pääsee virtaamaan painovoimaisesti kanavaan ja takaisin. Tutkimuksessa tuloilman mikrobipitoisuudet olivat alhaiset eivätkä ne poikenneet sisäilman pitoisuudesta.

Julkisten palvelurakennusten tulo- ja poistoilmakanavat ovat sulkupellein suljettuna tilanteessa, jossa ilmanvaihtokoneet ovat pysähtyneenä. Tämä estää ilman liikkeen kanavissa. Hygieniatilojen poistoilmakanavissa ei tyypillisesti ole sulkupeljejä. Hygieniatilojen poistoilmanvaihdon käytöstä ja sulkupeltien suosituksesta on kirjoitettu luvussa 4. Ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä ei ole perusteita ilmanvaihtokanaviston mikrobikasvun estäjänä.

10 Lämpöolosuhteet

Rakennuksen lämpöolosuhteet vaikuttavat merkittävästi sisäilmaston laatuun ja viihtyvyyteen. Lämpöolosuhteet ovat jääneet liian vähälle huomiolle rakennusten sisäilmaongelmien ratkaisuisa.

10.1 Tuloilman lämpötilan vaikutus huonelämpötilaan

Vakioilmavirtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilman lämpötilan on hyvä olla pari astetta (2 °C) huoneen tavoitelämpötilaa (21–22 °C) matalampi. Tämä mahdollistaa tuloilman laskeutumisen oleskeluvyöhykkeelle, sekoittumisen huoneilmaan ja ilman vaihtumisen koko huoneessa, ei vain katon rajassa. Lämmityskaudella huoneilman tunkkaisuuden syy ei välttämättä ole riittämätön ilmanvaihto, vaan liian korkea tuloilman lämpötila.

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilman lämpötilan on hyvä olla 3–4 °C huoneen tavoitelämpötilaa (21–22 °C) matalampi (ks. luku 3.3). Tällä varmistetaan, että mitoitustehon ilmavirtoja pienempikin ilmavirta sekoittuu hyvin huoneilmaan ja ilma vaihtuu muuallakin kuin katon rajassa.

Mikäli tuloilman lämpötila on liian korkea, huonelämpötila nousee. Lämpötila saattaa nousta niin korkeaksi, että lämmityspatterin termostaatti aistii, että lämmitystä tulee vähentää. Lämmityspatteriin ei tällöin virtaa lämmintä vettä, minkä vuoksi ikkunan eteen ei nouse lämmintä ilmaa. Ikkunoista säteilee huoneeseen kylmää, joka koetaan vedon tunteena. Tällöin kiinteistöhuolto saattaa nostaa tuloilman lämpötilaa lisää, mikä heikentää sisäilman laatua entisestään.

Sisäilman lämmitysvastuu tulee antaa lämmitysjärjestelmälle. Yleensä lämmityspatterit sijaitsevat ikkunoiden alapuolella. Lämmityspatterin lämmittämä ilma nousee kylmän ikkunapinnan edestä ylös ja katkaisee kylmästäteilyn. Mikäli huoneilma tuntuu liian viileältä, tuloilman lämpötilan nostamisen sijaan tulee ensin selvittää syyt lämmitysjärjestelmän puutteisiin.

Monissa uusissa rakennuksissa on patteriverkoston sijaan lattialämmitys (esim. päiväkotit tai lastenkodin majoitusrakennus). Tällöin näkyvillä ei ole mitään lämmityselementtiä, mutta lattiat tuntuvat miellyttävän lämpimiltä. Uusi lämmitysjärjestelmän muoto käsittää huoneiden alakatossa sijaitsevat kattosäteilijät. Lämpö säteilee alaspäin säteilypaneelista, johon johdetaan lämmintä vettä.

10.2 Kesäajan lämpötilat

Lämmityskauden ulkopuolella (eli kesällä) päiväkodeissa, kouluissa, oppilaitoksissa sekä muissa vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötila saa olla korkeimmillaan 32 °C, kun taas palvelutaloissa ja vanhainkodeissa sekä muissa vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötila saa olla korkeimmillaan 30 °C (STM 2015).

Kun ulkoilman lämpötila on yli 20 °C, tuloilman lämpötila on myös yli 20 °C niissä kiinteistöissä, joissa ei ole jäähdystystä. Julkisissa palvelukiinteistöissä jäähdystystä pienennetään rakenteellisten keinojen avulla, kuten ulkoseinämateriaalivalintojen, ikkunoiden koon, aurinkosuojauksen sekä pihasuunnittelun avulla. Yöllä, kun ulkoilma on ainakin 3 °C ilmanvaihdon poistoilmaa viileämpää, koneellista ilmanvaihtoa käytetään mitoitusilmavirroilla (yötuuletus). Yötuuletuksen viilentävän vaikutuksen voi havaita aamupäivän ajan.

Uudisrakennuksissa auringonpuoleiset ikkunat tulee suunnitella pienikokoisiksi, ikkunalasi tulee olla säteilyläpäisevyydeltään optimaalinen ja ulkopuolisesta aurinkosuojauksesta tulee huolehtia (puut, muut varjostavat elementit, markiisit). Olemassa olevien rakennusten jäähdystystä voidaan pienentää asentamalla ikkunoihin sälekaihtimet, pitämällä sälekaihtimia kiinni niin paljon kuin mahdollista sekä sulkemalla työpäivän päättyessä kaikki lämpöä tuottavat laitteet (tietokoneet, valaistus, kopiokoneet, yms.).

10.3 Käyttäjän tekemät huonesäädöt ja opastus

Joskus tilassa työskentelevä henkilö on teipannut tuloilmalaitteen kiinni, jotta ilmanvaihto ei aiheuta vedon tunnetta. Hän on saattanut kääntää huonesäätimen tai lämmityspatterin termostaatin kiinni ja ihmettelee huoneen lämpöolosuhteita. Usein patteritermostaattien edessä on verhoja tai käyttäjien kalusteita, minkä vuoksi termostaatti aistii lämpötilaa vain rajatulta alueelta. Kiinteistönhoidon tulee aina ensin tarkistaa käyttäjän aiheuttamat sisäilmasto-olosuhteisiin vaikuttavat tekijät, ennen kuin tehdään kollektiivisia, koko järjestelmää koskevia muutoksia.

Mikäli huoneessa on painikkeita ja/tai säätimiä, joilla käyttäjä voi vaikuttaa sisäilmasto-olosuhteisiin, tulee käyttäjälle laatia rakennuksen käyttäjän opas. Oppaassa selostetaan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän pääperiaatteet sekä käydään läpi eri huoneiden huonesäätömahdollisuudet.

11 Energia, CO₂-päästöt ja ilmastonmuutos

Kunnat, kuntayhtymät ja kuntien liikelaitokset omistavat 7 % Suomen rakennuskannasta. Kuntien rakennuksista 85 % ovat julkisia palvelurakennuksia, joista koulujen osuus on 25 % ja lähes yhtä suuri osa on hoiva-alan käytössä /46/.

Lähes 40 % kaikesta Suomessa kulutettavasta energiasta kulutetaan rakennuksissa, joiden kasvihuonekaasupäästöt vastaavat yli 30 % kaikista Suomen päästöistä. Rakentamisen ja

rakennusmateriaalien aiheuttamat päästöt ovat noin 20 % rakennuksen koko elinkaaren päästöistä. Suurin osa rakennusten elinkaaren päästöistä syntyy rakennuksen käytön aikaisesta energiankulutuksesta /www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/.

Palvelurakennusten ilmanvaihdon yleisohjeen ja tämän perustelumuuiston tavoitteena on opastaa ilmanvaihdon energiataloudelliseen käyttöön taaten samalla hyvät rakennuksen käyttöolosuhteet. Ilmanvaihdon käyttäminen rakennuksen käyttöaikojen mukaan on energian järkevää käyttöä tarpeeseen.

11.1 Energiatehokkuus- ja CO₂-päästövähennystavoitteet

Suomen kunnat ovat sitoutuneet vapaaehtoisilla energiatehokkuussopimuksilla saavuttamaan energiankäytön tehostamistavoitteet. Kunta-alan energiatehokkuussopimus 2017–2025 on työ- ja elinkeinoministeriön, Energiaviraston ja Kuntaliiton välinen sopimus energian tehokkaammasta käytöstä kunta-alalla. Allekirjoittamalla liittyjäkohtaisen energiatehokkuussopimuksen kunta sitoutuu kunta-alan energiatehokkuussopimuksen (KETS) toimenpiteisiin ja tavoitteisiin. Tavoitteena vuodelle 2025 on vähintään 7,5 % energiansäästö verrattuna vuoteen 2015. Kunta-alan toimenpideohjelmaan liittyneitä kuntia ja kuntayhtymiä 1.2.2019 oli 80 kuntaa ja 6 kuntayhtymää (www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi).

Useat kunnat pyrkivät myös hiilineutraalisuuteen 17–32 vuoden tähtäimellä. Tavoitteeseen päästään vähentämällä CO₂-päästöjä noin 80 %. Tärkeimpiä keinoja suorien päästöjen vähentämiseen kiinteistöissä ovat energiankulutuksen vähentäminen, uusiutuvan energian kiinteistökohtainen hyödyntäminen ja energiatehokkuuden parantaminen.

Julkisen palvelurakennuksen asianmukaisella käytöllä ja ylläpidolla on oleellinen vaikutus sen energiankäytön tehokkuuteen. Kunnat teettävät rakennusten energiakatselmuksia, joiden avulla voidaan valita järkevät kiinteistön energiankäytön tehostamistoimenpiteet. Katselmuksessa käydään läpi, mihin energiaa kuluu ja miten energiankäyttöä voidaan tehostaa. Energiakatselmusten perusteella suurimmat ei-investointeja vaativat toimenpiteet, jotka edustavat noin 60 % katselmusten säästöpotentialista, ovat ilmanvaihdon käyntiaikoihin, rakennusten lämpötilaan ja valaistukseen liittyvät toimenpiteet (https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto).

Kiinteistön energiakulutusseurannalla seurataan rakennuksen kulutustasoa, havaitaan kulutuksen muutokset ja pystytään selvittämään muutosten syyt. Kulutusseuranta on kartta menneisyydestä tulevaan (https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto).

Energiatehokkuutta edistettäessä tulee aina huomioida, että rakennuksen käyttöolosuhteet ovat sopivat. Tästä syystä energian kulutusseurannan rinnalle on hyvä toteuttaa olosuhdeseuranta, jotta rakennuksen energiankulutusta ja sisäilmasto-olosuhteita voidaan seurata yhtä aikaa (ks. luku 12).

11.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Ihmiskunta tuottaa valtavia määriä kasvihuonekaasuja, jotka voimistavat luonnollista kasvihuoneilmiötä. Sen seurauksena ilmasto muuttuu /ilmasto.org/. Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen lämpötilat nousevat, sademäärät kasvavat, lumipeiteaika lyhenee ja myös routaa on aiempaa vähemmän. Lisäksi Itämeren pinta nousee ja jääpeite kutistuu. Laskelmien mukaan ilmasto näyttää muuttuvan enemmän talvella kuin kesällä /ilmasto-opas.fi/.

Ilmastonmuutoksen voimakkuus riippuu kasvihuonekaasupäästöjen määrästä. Pariisin ilmastopöytäkirja kehottaa etsimään keinoja ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Kasvihuonekaasuista tärkeimmän eli hiilidioksidin päästöjen tulee kääntyä jyrkkään laskuun, jotta ilmastonmuutoksen voimakkaiksi ennustetut vaikutukset minimoituvat /19/.

Maapallon lämpeneminen täytyy rajoittaa 1,5 asteeseen. Pariisin sopimuksen mukaiset päästövähennykset eivät IPCC:n mukaan riitä. Suomen ja EU:n voimassa oleva sitoumus merkitsee lämpötilan nousua hieman päälle kolmeen asteeseen. Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2017 yhteensä 56 miljoonaa CO₂t.

Hallitus on linjannut, että Suomen pitäisi olla vuonna 2045 hiilineutraali, jolloin päästöt ja niitä neutralisoivat hiilinielut ovat yhtä suuret /45/.

11.3 Ilmanvaihdon osuus energiankulutuksesta

Opetusrakennuksen lämpöenergian ominaiskulutuksen tilastokeskiarvo on 43 kWh/m³, ja sähköenergian ominaiskulutuksen tilastokeskiarvo on 14 kWh/m³/47/.

Ilmanvaihdon osuus palvelurakennuksen lämpöenergian kokonaiskulutuksesta on 20–50 % ja sähköenergian kokonaiskulutuksesta on 30–50 % /20/.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla saavutetaan sähkö- ja lämpöenergiankulutuksessa säästöjä, joiden suuruus riippuu rakennuksen ominaisuuksista sekä siitä, minkälainen tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmä rakennukseen valitaan ja miten sitä ohjataan. Kirjallisuudessa on esitetty sähkökulutuksessa 8–28 %:n ja lämpöenergiankulutuksessa 25–60 %:n säästöjä, kun vakioilmavirtajärjestelmästä on siirrytty tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon /40/ ja /41/.

11.4 Helsinkiläisen ala-asteen energiankulutus ja CO₂-päästöt jatkuvalla ja rakennuksen käyttöajan mukaisella ilmanvaihdolla

Seuraavassa on esitetty esimerkki tavanomaisen koulurakennuksen energiankulutuksesta ja sen aiheuttamista CO₂-päästöistä. Helsinkiläisen vuonna 1997 rakennetun ala-asteen (huoneistoala 3 420 m²) ilmanvaihtoa käytettiin jatkuvasti vuonna 2017 ja vuoden 2018 tammikuussa. Ala-asteen ilmanvaihtoa ryhdyttiin käyttämään rakennuksen käyttöaikojen mukaisesti helmikuussa 2018. Seuraavassa on esitetty ala-asteen lämpö- ja sähköenergiankulutukset vuoden 2017 yhtenätoista kuukautena, kun ilmanvaihto oli mitoitusteholla jatkuvasti käynnissä ja vuoden 2018 yhtenätoista kuukautena, kun ilmanvaihto toimi rakennusten käyttöaikojen mukaan arkisin opetustiloissa kello 7.00–16.00, liikuntasalissa kello 7.00–22.00 sekä ruokasalissa ja keittiössä kello 7.00–15.00. Öisin ja viikonloppuisin ilmanvaihtoa ei käytetty. Kesällä 2018 ilmanvaihtoa on käytetty jonkin verran ainakin heinäkuussa (mm. perussiivous) (taulukot 5 ja 6). Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmässä on lämmöntalteenotto.

Taulukko 5. Helsinkiläisen ala-asteen sääkorjattu lämpöenergiankulutus (kWh) vuosien 2017 ja 2018 helmikuusta joulukuuhun.

Kuukausi	Vuosi 2018 (kWh)	Vuosi 2017 (kWh)	Muutos (%)
2	82 248	129 536	-37
3	66 654	121 673	-45
4	39 557	76 057	-48
5	13 942	34 059	-59
6	8 380	22 883	-63
7	2 140	12 420	-83
8	3 930	12 214	-68
9	13 443	33 425	-60
10	42 216	66 839	-37
11	68 715	91 896	-25
12	72 024	109 110	-34
Yhteensä	413 249	710 112	

Taulukko 6. Helsinkiläisen ala-asteen sähköenergiankulutus (kWh) vuosien 2017 ja 2018 helmikuusta joulukuuhun.

Kuukausi	Vuosi 2018 (kWh)	Vuosi 2017 (kWh)	Muutos (%)
2	21 226	27 343	-22
3	21 826	30 247	-28
4	19 508	27 507	-29
5	19 187	29 027	-34
6	11 579	22 432	-48
7	18 642	20 878	-11
8	18 786	27 533	-32
9	20 406	33 046	-38
10	22 109	32 793	-33
11	24 025	32 231	-25
12	17 284	30 124	-43
Yhteensä	214 578	313 161	

Kaukolämpöenergian päästöt Helsingissä vuonna 2017 olivat 172 kgCO₂/MWh ja sähköenergian päästöt olivat 191 kgCO₂/MWh (www.helen.fi) (taulukko 7). Kaukolämpöenergian painotettuna keskihintana on taulukossa 8 käytetty 45 €/MWh ja sähköenergian painotettuna keskihintana 120 €/MWh.

Taulukko 7. Helsinkiläisen ala-asteen energiankulutus ja CO₂-päästöt vuosien 2017 ja 2018 helmikuusta joulukuuhun.

Helsinkiläinen ala-aste	Kaukolämpö-energian kulutus (MWh)	Sähköenergian kulutus (MWh)	Kaukolämpö-energian CO ₂ -päästöt (kgCO ₂)	Sähköenergian CO ₂ -päästöt (kgCO ₂)	CO ₂ -päästöt yhteensä (kgCO ₂)
11 kk vuonna 2017	710,1	313,2	122 137	59 821	181 958
11 kk vuonna 2018	413,2	214,6	71 070	40 988	112 059
Ero (%)	42 %	31 %	42 %	31 %	38 %

Taulukko 8. Helsinkiläisen ala-asteen energiankulutus ja energiakustannukset vuosien 2017 ja 2018 helmikuusta joulukuuhun.

Helsinkiläinen ala-aste	Kaukolämpö-energian kulutus (MWh)	Sähköenergian kulutus (MWh)	Kaukolämpö-energian kustannukset (€)	Sähköenergian kustannukset (€)	Energian kustannukset yhteensä (€)
11 kk vuonna 2017	710,1	313,2	31 954	37 584	69 538
11 kk vuonna 2018	413,2	214,6	18 594	25 752	44 346
Ero (%)	42 %	31 %	42 %	31 %	36 %

Ilmanvaihdon käyttö rakennuksen käyttöaikojen mukaan pienentää esimerkin kaltaisen koulurakennuksen CO₂-päästöjä noin 38 %. Lämpöenergian kulutus rakennuksen käyttöaikojen mukaisella ilmanvaihdolla oli noin 42 % pienempi ja sähköenergiankulutus noin 31 % pienempi kuin jatkuvalla ilmanvaihdolla.

12 Rakennusautomaation valvontajärjestelmät sekä kulutus- ja olosuhdeseurantajärjestelmät

12.1 Valvomojärjestelmät

Rakennusten lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiä ohjataan automaattisesti rakennusautomaatiojärjestelmän avulla. Taloteknisten laitteiden toimintaa seurataan automaatiojärjestelmän valvomokoneelta, joka sijaitsee yleensä ko. rakennuksessa. Valvomosta voidaan seurata esim. ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmalämpötiloja, lämmöntalteenoton toimintaa ja ilmanvaihtokoneiden tehotasoja.

Valvomojärjestelmässä asetetaan aikaohjauksella olevien laitteiden, kuten ovilukkojen, ilmanvaihtokoneiden puhaltimien, pumppujen tai valaistuksen, käynnistymis- ja pysähtymisajat. Viikkokalenterissa on normaalikäyntiaikojen lisäksi mahdollisuus ohjelmoida ennalta iltakäyttö, arkipyhä ja loma-ajat /48/.

Valvomojärjestelmän kautta valvotaan taloteknisten laitteiden poikkeamia asetusarvoista, ja ne ilmaistaan hälytyssymboleilla, jotka voivat olla vilkkuva kuvake, äänimerkki, tekstiviesti kiinteistönhoitajalle tai muu vastaava /48/.

Olosuhdeseurantaa varten valvomojärjestelmissä on erilaisia työkaluja kuten historiatrendejä, olosuhderaportteja ja käyntiaikaraportteja. Historiatrendeillä nähdään mittaushetkestä ajassa taaksepäin olevat mittaustulokset, joiden avulla vikatilanteiden syntymistä voidaan selvittää /48/.

Valvomojärjestelmät tarjoavat monipuolisempia mahdollisuuksia mittauksiin, valvontaan ja seurantaan kuin aina osataan käyttää. Valvomojärjestelmää hankittaessa tilaaja määrittää, miten valvontajärjestelmään tehdään valmiiksi eri trendiseuranta- ja raportointijärjestelmiä /48/. Lisäksi tilaajan tulee huolehtia, että urakoitsija aktivoi ne käyttöön. Mittausten luotettavuuden varmistamiseksi on mittausanturit säännöllisesti huollettava ja kalibroitava. Kiinteistönhoitajan koulutus valvomojärjestelmän käyttöön tulisi olla nykyistä parempaa, jotta kiinteistönhoitaja osaa paremmin seurata, analysoida ja valvoa talotekniikan toimivuutta sekä puuttua mahdollisiin epäkohtiin. Kiinteistönhoitajan oikeuksia tehdä muutoksia asetusarvoihin on usein rajattu, jolloin kiinteistönhoitajan tulee osata ottaa yhteyttä tahoon, jolla on oikeudet tehdä muutoksia.

Valvomojärjestelmissä on myös dynaamisia trendejä, joilla mitattuja arvoja voi seurata reaaliaikaisesti. Tämän toiminnon käyttökelpoisuus paranee, kun valvomojärjestelmää voi seurata Internetin kautta etänä. Tällöin eri alojen asiantuntijat voivat tarkastella rakennuksen mittaustietoja omalta työpisteeltään tai omalla mobiililaitteellaan mistä vain. Kun tarkastellaan näkymää, johon on esimerkiksi koottu ulkoilman lämpötila, sisälämpötilat useasta huoneesta, ilmanvaihtokoneiden tuloilman lämpötilat sekä lämmitysverkoston ja IV-
verkoston lämpötilat, saadaan paljon tarvittavaa tietoa sisäilmasto-olosuhteiden analysoimiseen /48/.

Euroopan unionin rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutos julkaistiin 19.6.2018. Direktiivin noudattamisen edellyttämät lait, asetukset ja hallinnolliset määräykset on saatettava voimaan viimeistään 10.3.2020. Jäsenvaltioiden on säädettävä vaatimuksia sen varmistamiseksi, että mm. palvelurakennukset, joiden lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien nimellisteho on yli 290 kW, varustetaan rakennusautomaatio- ja ohjausjärjestelmällä vuoteen 2025 mennessä. Rakennusten automaatio- ja ohjausjärjestelmillä on kyettävä mm. jatkuvasti seuraamaan, kirjaamaan ja analysoimaan energian käyttöä sekä mahdollistamaan sen mukauttaminen /42/.

12.2 Kulutus- ja olosuhdeseurantajärjestelmät

Rakennuksen lämpö- ja sähköenergian sekä käyttöveden kulutusta mitataan ja mittaustiedot raportoidaan kulutusseurantajärjestelmässä. Rakennuksen toteutunutta energiankulutusta voidaan verrata tavoite-energiankulutukseen ja aiempien aikajaksojen kulutukseen. Järjestelmästä voidaan seurata energiankulutuksen lisääntymisen ajankohtia sekä energiankäytön tehostamistoimenpiteiden vaikutuksia kulutukseen (https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutusseuranta).

Kulutusjärjestelmissä ilmoitetaan tyypillisesti /48/:

- mitattu kulutus
- normeerattu lämmönkulutus, jotta lämmönkulutusta voidaan vertailla samoina vuodenaikoina, jotka kuitenkin poikkeavat toisistaan sääolosuhteissa
- jaksotettu kulutus kalenterikuukausittain ja kalenterivuositain
- ominaiskulutus ja E-luku, jotta rakennustyyppjä voidaan verrata keskenään
- vertaiskulutus.

Kun tiedonsiirtoteknologia kehittyä, talotekniset järjestelmät voidaan integroida toiminnalliseksi kokonaisuudeksi. Rakennuksen automaatiojärjestelmään ja sen valvomojärjestelmään yhdistetään valaistuksen ohjausjärjestelmä, energianhallintajärjestelmä, erillinen olosuhdemittarointi sekä palo-, henkilö- ja toimitilaturvallisuusjärjestelmät. Erillisjärjestelmiin päästään yhdestä rajapinnasta, joka voi olla esimerkiksi rakennuksen sähköinen huoltokirja. Avoimet standardirajapinnat mahdollistavat osajärjestelmien liittämisen kokonaisuudeksi ja kommunikoidaan keskenään /48/.

Sisäilmasto-olosuhteita mittaavien antureiden hinnat ovat paljon aiempaa edullisempia. Perinteisten lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden lisäksi voidaan erilaisin anturein mitata jatkuvatoimisesti myös mm. haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta, pienhiukkasia eri kokoluokissa, paine-eroa ulko- ja sisäilman välillä ja valaistusvoimakkuutta. Antureita voidaan rakennuksessa asettaa useaan eri tilaan ja tiedonsiirto voi tapahtua myös langattomasti. IoT-teknologian hyödyntämistä varten rakennetaan uusia tiedonsiirtoverkkoja, jotka ovat avoimessa kaupallisessa käytössä eikä rakennusten sisäisiä kiinteitä verkkoja tarvitse kuormittaa.

Edellä kuvattujen mahdollisuuksien siivittäminä muutamat kunnat ovat ryhtyneet toteuttamaan olosuhde- ja kulutusseurantaa selvittääkseen kiinteistökantansa olosuhteita ja niiden vaikutusta energiankulutukseen. Näihin voidaan liittää myös palautejärjestelmä, jolla tilan käyttäjä voi antaa subjektiivisen kokemuksensa tilojen olosuhteista hyödyntäen paikallista- tai mobiilisovellusta. Kaikki kerätty tieto yhdistyy kootuksi informaatioksi kiinteistöstä ja sen eri huonetiloista. Kiinteistöhoito, käyttäjät ja asiantuntijat näkevät, mitä lämpöolosuhteita pidetään hyvinä, mikä ilmanvaihdon määrä tuntuu sopivalta ja milloin hajuvoimakkuus on hyväksyttävä. Lähitulevaisuudessa voidaan luoda uusia tavoitteita, raja-arvoja ja käyttömahdollisuuksia tehostamaan ja rajoittamaan energiankulutusta ja saavuttaa terveelliset, turvalliset ja viihtyisät sisäilmasto-olosuhteet.

13 Lähdeluettelo

/1/ Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet -hanke, loppuraportti 2018 [http://www.ym.fi/fi-](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys)

[FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys)

/2/ Hänninen, O. ja Asikainen, A. 2014. Terveysperusteiset ilmanvaihdon ohjeavot Euroopalle ja vaikutukset sisäilman terveysriskeihin Suomessa. Espoo SIY Raportti 32, SIY Sisäilmatieto Oy, s. 19 – 24. Ja <https://www.sisailmayhdistys.fi/content/download/1253/6665/version/1/file/Otto-H%C3%A4nninen.pdf>

/3/ Sisäympäristöongelmien ratkaiseminen kuntien rakennuksissa. Ohje toimintatavoista sisäilmaongelmia hoitaville ryhmille. 2010. Suomen Kuntaliitto. Kuntaliiton verkkojulkaisu. http://shop.kuntaliitto.fi/product_details.php?p=351

/4/ HSY:n Internet-sivu Tietoa hengitysilmaista

<https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/ilmanlaatu/tietoahengitysilmaista/Sivut/default.aspx>

/5/ D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003. <https://www.finlex.fi/data/normit/1921/D2s.pdf>

/6/ Alanko, A. 2018. Ilmanvaihdon käyttötapojen ja käyttötasojen vaikutus sisäilmaan koulurakennuksissa. Opinnäytetyö, UEF Aducate. Rakennusterveysasiantuntijan koulutus.

- /7/ Lahtinen, E. 2018. Painesuhteiden hallinta ilmatiiviydeltään parannetuissa palvelurakennuksissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 100 s + liitteet 38 s.
- /8/ Zhang, J.S., Zhang, J.S., Chen, Q., and Yang, X. 2002. "A critical review on studies of volatile organic compound (VOC) sorption on building materials," ASHRAE Transactions, 108(1), 162-174.
- /9/ Fingerroos, M., Kolari, S., Pasanen, P. ja Keskikuru, T. 2005. Ilmanvaihdon jatkuvan toiminnan hyödyt. Espoo SIY Raportti 23, SIY Sisäilmätieto Oy, s. 101 – 107
- /10/ Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. 3.6 Lumen ja kosteuden sisäänpääsyn estäminen. Ohje Ilmanvaihdon modernit parannus- ja korjausratkaisut (MIV) –tutkimusprojektista (2004). https://www.retermia.fi/wp-content/uploads/2018/09/MIV_lumen_esto.pdf
- /11/ Methodology for Modeling the Microbial Contamination of Air Filters; Yun Haeng Joe, 1 Ki Young Yoon, 2 and Jungho Hwang 1, *Published online 2014 Feb 11. doi: [10.1371/journal.pone.0088514]
- /12/ Kuurola, P. 2015. Ilmanvaihtolaitteiston aiheuttama paine-ero rakennuksen ulkovaipan yli Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 90 s + liitteet 42 s.
- /13/ Vornanen-Winqvist, C., et al. 2018. Julkisten uudisrakennusten sisäilmaongelmat sekä ilmanvaihdon ja puumateriaalien vaikutukset sisäilman laatuun. Aalto-yliopiston julkaisusarja. TIEDE + TEKNOLOGIA 4/2018
- /14/ Mattila, M. 2017, Ylipaineistuksen ja ilmanpitävyyden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan, Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- /15/ Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta J-H., Karlsson, P ja Ruuhela, R. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 – 2010, raportteja 2012:1. Helsinki: Ilmatieteen laitos.
- /16/ Kollanen, T. 2016. Sisäilman kuitukorjaukset. Opinnäytetyö, Rateko. Rakennusterveysasiantuntijan koulutus.
- /17/ Asikainen, V., Pasanen, P. ja Kokotti, H. 2015. Yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutukset rakennusten paine-eroihin ja sisäilman laatuun. Espoo: SIY Raportti 33, SIY Sisäilmätieto Oy, 247 – 252.
- /18/ Lipponen, Antti. 2017 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutuksen optimointi paineohjatussa VAV-järjestelmässä. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- /19/ Mäkelä, A., Lehtonen, I., Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Tuomenvirta, H. ja Drebs A. 2016. Ilmastonmuutos pääkaupunkiseudulla. Ilmatieteen laitos. Raportteja 2016:8.
- /20/ Sitowise 2017. Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä opetusrakennuksessa. Seminaari Helsingin kaupunkiympäristön toimialan rakennukset ja yleiset alueet –palvelussa 13.10.2017.
- /21/ Sisäilmasto- ja ilmanvaihto –opas, Talotekniikkainfo, ympäristöministeriön asetustekstiä opastava teksti, 2018.
- /22/ Asikainen, V., ja Peltola, S. 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus.
- /23/ Combi 2019. Sisäilman kosteuslisä ja lämpötilan sisäilmastoluokka kouluissa ja päiväkodeissa. https://research.tuni.fi/uploads/2019/02/5d47b2bb-combi_tk_3_13-sisailman-lampotila-ja-kosteuslisa.pdf
- /24/ Rantalainen, S. 2017. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän vertaaminen perinteiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.
- /25/ Vornanen-Winqvist C, Salonen H, Järvi K, Andersson M, Ahmed K, Toomla S, Mikkola R, Marik T, Kredics L, and Kurnitski J. Effects of ventilation improvement on measured and perceived indoor air quality in a school building with a hybrid ventilation system. International Journal of Environmental Research and Public Health. Special Issue Air Quality and Health. 2018, 15(2), 1414; doi:10.3390/ijerph15071414
- /26/ Keskikuru, Timo. Senaatti-kiinteistöt. Sähköposti M. Tuomaiselle 2.1.2019.

/27/ Farley, K.M.J. & Veitch, J.A. 2001. A Room with a View: A Review of the Effects of Windows on Work and Well-Being. Research Report (National Research Council Canada. Institute for Research in Construction), 2001-08-15

/28/ Kolari, S. 2011. Työmaatoteutuksen puhtauden hallinta vaiheittain etenevässä sisäilmakorjauksessa. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu.

/29/ Mykkänen, R. ja Tuomainen, M. 2018. Rakentamisen laadun ja riskien hallinta. https://www.ril.fi/media/rakentamisen-laadun-ja-riskien-hallinnan-vertailuraportti_-2018_02_16.pdf

/30/ Leivo, V., & Rantala, J. (2006). Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti; Vuosikerta 139.

/31/ Rantala, J. and Leivo, V. Thermal, moisture and microbiological boundary conditions of slab-on-ground structures in cold climate. Building and Environment, 2008, 5/31, 736-744.

/32/ Kotikumpu, V. 2017. Ilmastointikoneen suodattimien hankinnan kilpailutus. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu.

/33/ Sandberg, E. (toim.) 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1 sekä Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-julkaisut Oy.

/34/ STM 2015. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 2015. Helsinki: Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö.

/35/ Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset Sisäilmayhdistys ry, Rakennustietosäätiö RTS, RAKLI, SAFA, SKOL. Sisäilmayhdistys julkaisu 6.

/36/ Ranta-aho, I., Kosonen, R. ja Jokisalo J. 2016. Painesuhteiden hallinta korkeissa asuinrakennuksissa. Espoo: SIY Raportti 34, SIY Sisäilmätieto Oy, 55 – 60.

/37/ Ympäristöministeriö 2016. toim. Miia Pitkäranta. Rakennuksen kosteus ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

/38/ Björkroth, M., Eskola, L, Vinha, J ja Kosonen, R. 2019. Paine-eron mittaus- ja säätöohje. Espoo: SIY Raportti 37, SIY Sisäilmätieto Oy. 119-124

/39/ RIL 107-2000 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet

/40/ Chao, C. & Hu, J. 2004. Development of a dual-mode demand control ventilation strategy for indoor air quality control and energy saving. Building and Environment, 39, 385 – 397.

/41/ Laverge, J., Van Den Bossche, N., Heijmans, N. & Janssens, A., 2011. Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies. Building and Environment, 46, 1497 – 1503.

/42/ Haakana, M. 2018. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD). Energiatehokkuustyön kick-off – tilaisuus. 14.12.2018.

/43/ STUK Radon työpaikoilla. Esite. <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/luonnonsäteilylle-altistava-toiminta/radon-tyopaikoilla>.

/44/ Pasanen, P. 1998. Emissions from filters and hygiene of air ducts in the ventilation systems of office buildings. Kuopion yliopiston julkaisu ja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 80.

/45/ Näin tehdään hiilineutraali Suomi. 2019. Talouselämä nro 3, 25.1.2019. s. 36 – 39.

/46/ Ilmastonmuutos, hyvinvointi ja kuntatalous. 2012. Opas päätöksentekijöille ja valmistelijoille. Kuntaliitto.

/47/ Palvelusektorin ominaiskulutukset. 2018. Motiva Oy.

https://www.motiva.fi/files/15570/Palvelusektorin_ominaiskulutukset_2011-2017.pdf

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto

/48/ Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. Tietotekniset järjestelmät. 2017. ST-käsikirja 22. Sähkötieto ry.

/49/ Combi 2019. Sisäilman radonpitoisuudet palvelurakennuksissa.

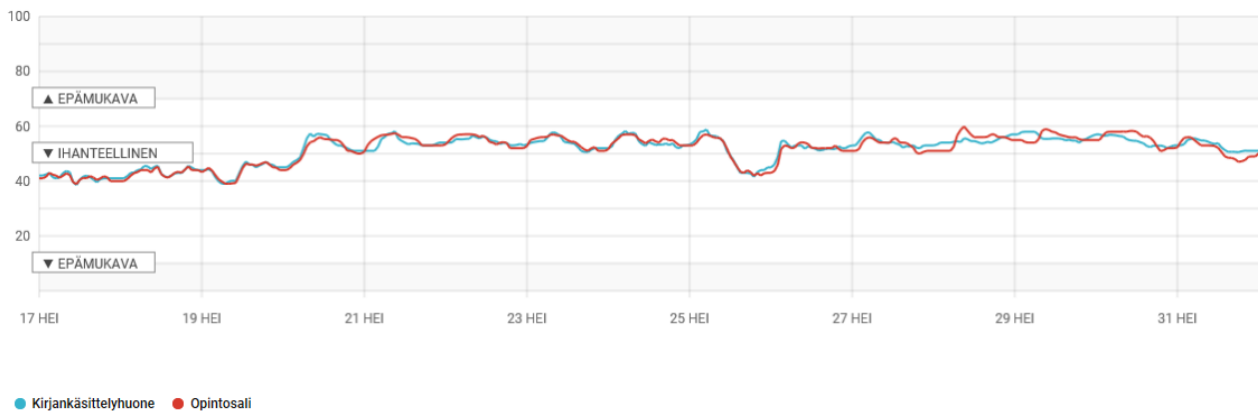
https://research.tuni.fi/uploads/2019/02/702e61bf-combi_tk_3_15-sisailman-radonpitoisuudet.pdf

LIITE 1

JATKUVATOIMISTEN SISÄILMASTO-OLOSUHDEMITTAUSTEN TULOKSIA HELSINKILÄISESSÄ KIRJASTOSSA SEKÄ KAHDESSA PERUSKOULUSSA

Kesä 2018

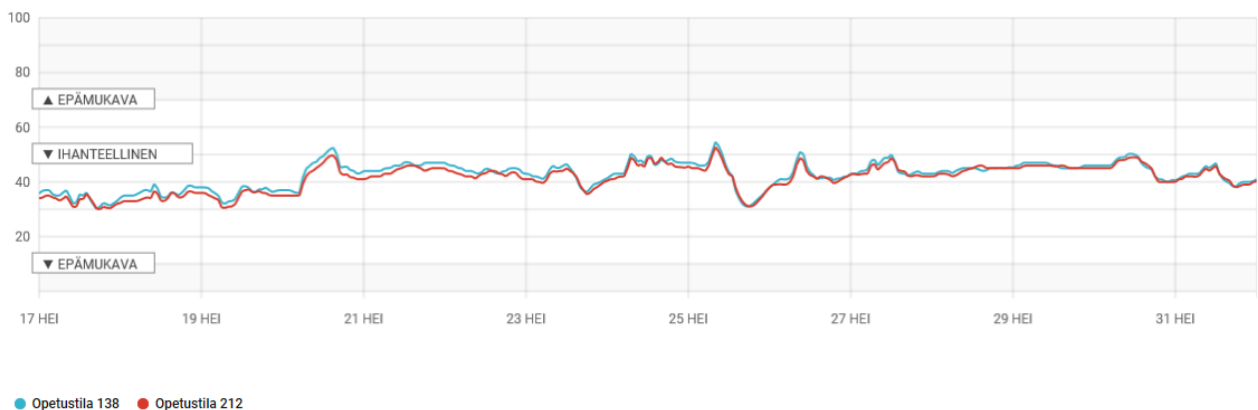
Sisäilman suhteellinen kosteus kirjastossa, jota käytetään jokaisena viikonpäivänä. Ilmanvaihto käynnistetään aamulla kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista ja pysäytetään tunti rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.



Kuva 1. Kirjaston sisäilman suhteellinen kosteus heinäkuussa 2018, kun ulkoilman lämpötila oli +17...+29 °C.

Kesä 2018

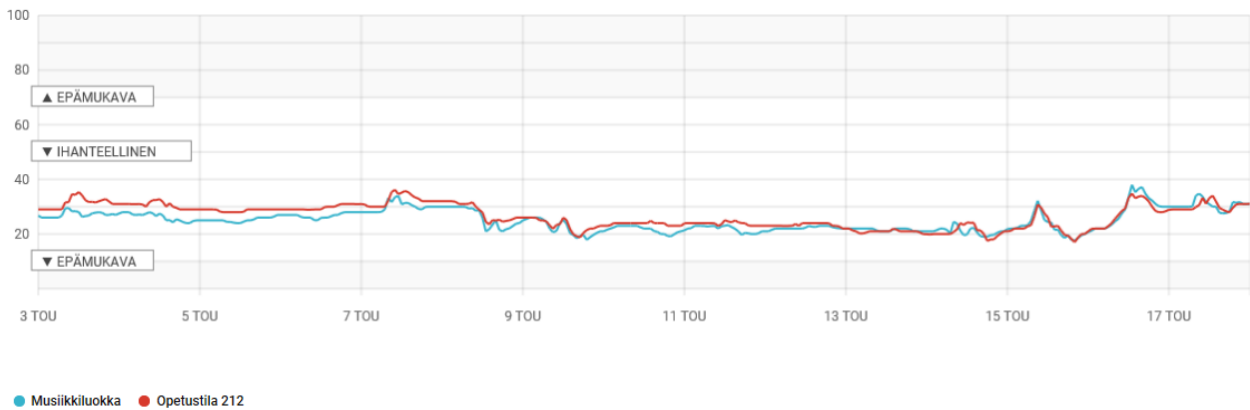
Sisäilman suhteellinen kosteus koulurakennuksessa, jota ei käytetty kuvassa 2 esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto toimi silti koulukäytön mukaisesti. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 5:00 ja pysähtyi illalla klo 20:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 17.7.2018 oli tiistai.



Kuva 2. Koulurakennuksen sisäilman suhteellinen kosteus heinäkuussa 2018, kun ulkoilman lämpötila oli +17...+29 °C.

Kevät 2018

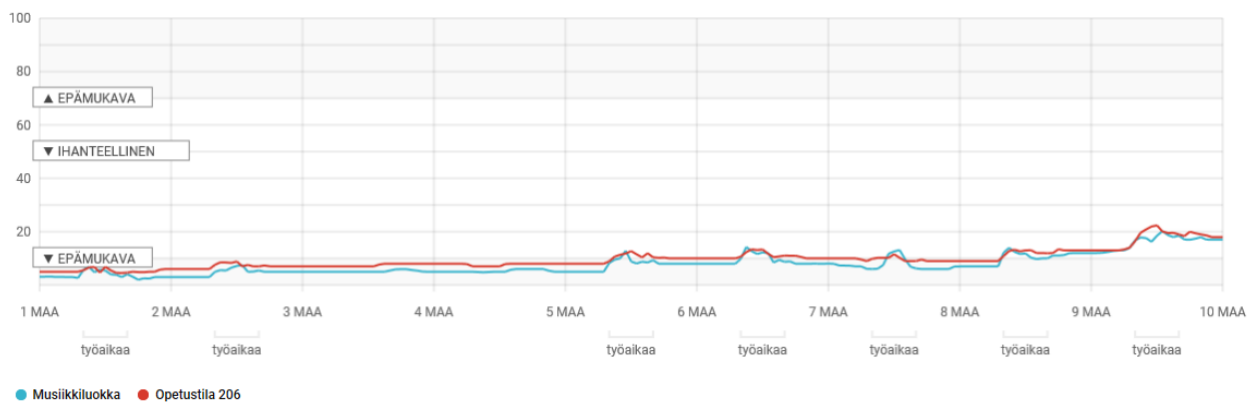
Sisäilman suhteellinen kosteus koulurakennuksessa, jota käytettiin kuvassa 3 esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 5:00 ja pysähtyi illalla klo 20:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 3.5.2018 oli torstai.



Kuva 3. Koulurakennuksen sisäilman suhteellinen kosteus toukokuussa 2018, kun ulkoilman lämpötila oli +5...+29 °C.

Kevättalvi 2018

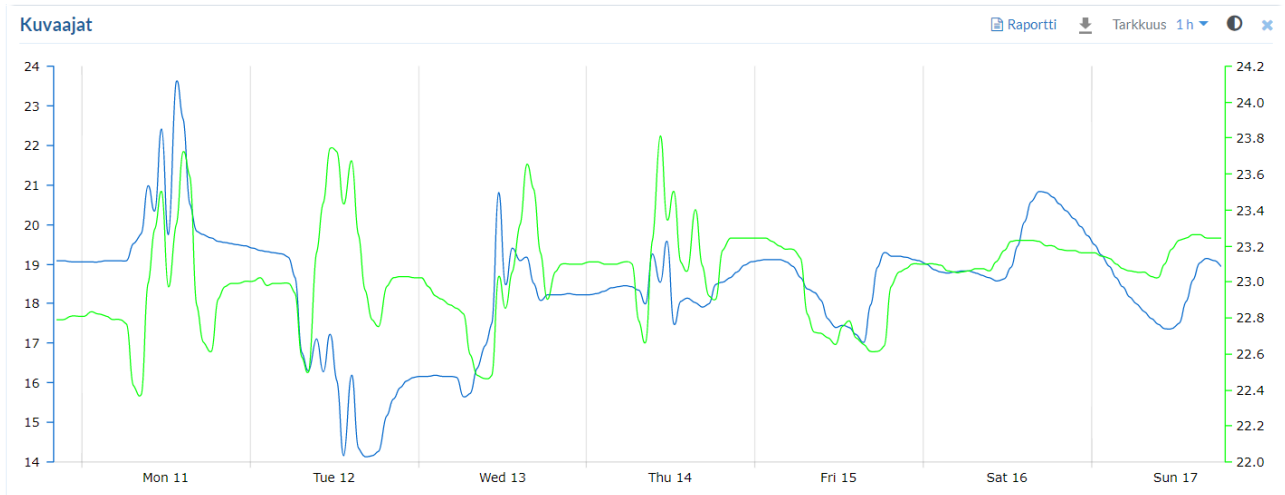
Sisäilman suhteellinen kosteus koulurakennuksessa, jota käytettiin kuvassa 4 esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 5:00 ja pysähtyi illalla klo 20:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 1.3.2018 oli torstai.



Kuva 4. Koulurakennuksen sisäilman suhteellinen kosteus maaliskuussa 2018, kun ulkoilman lämpötila oli koko mittausjakson pakkasella -17...-2 °C.

Talvi 2019

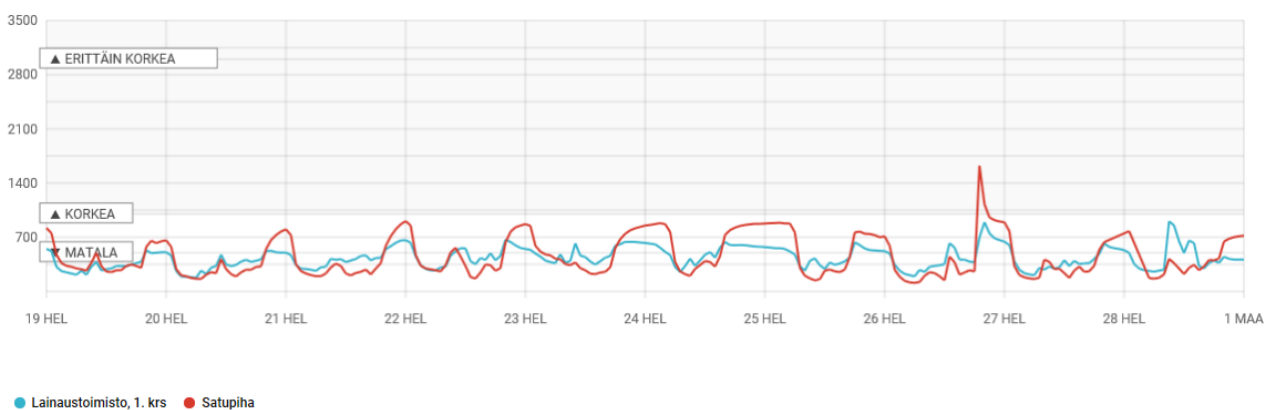
Huonelämpötila ja suhteellinen kosteus koulurakennuksessa, jota käytettiin esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 6:00 ja pysähtyi illalla klo 18:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 11.2.2019 oli maanantai.



Kuva 5. Koulurakennuksen huonelämpötila (vihreä käyrä) ja suhteellinen kosteus (sininen käyrä) helmikuussa 2019, kun ulkoilman lämpötila oli -4,5...+7 °C.

Talvi 2018

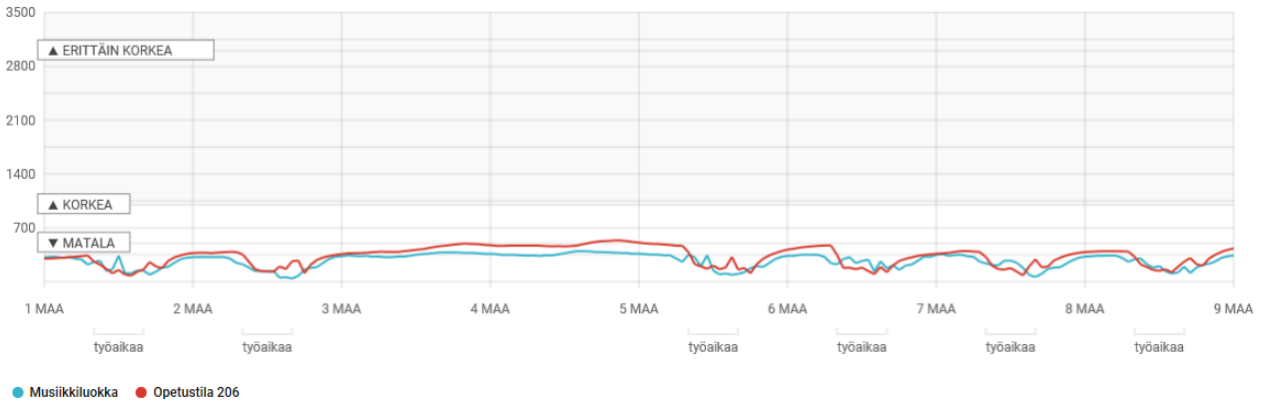
Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus kirjastossa, jota käytetään jokaisena viikonpäivänä. Ilmanvaihto käynnistetään aamulla kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista ja pysäytetään tunti rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.



Kuva 6. Kirjaston sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus helmikuussa 2018. Pitoisuuden yksikkö on ppb.

Kevät 2018

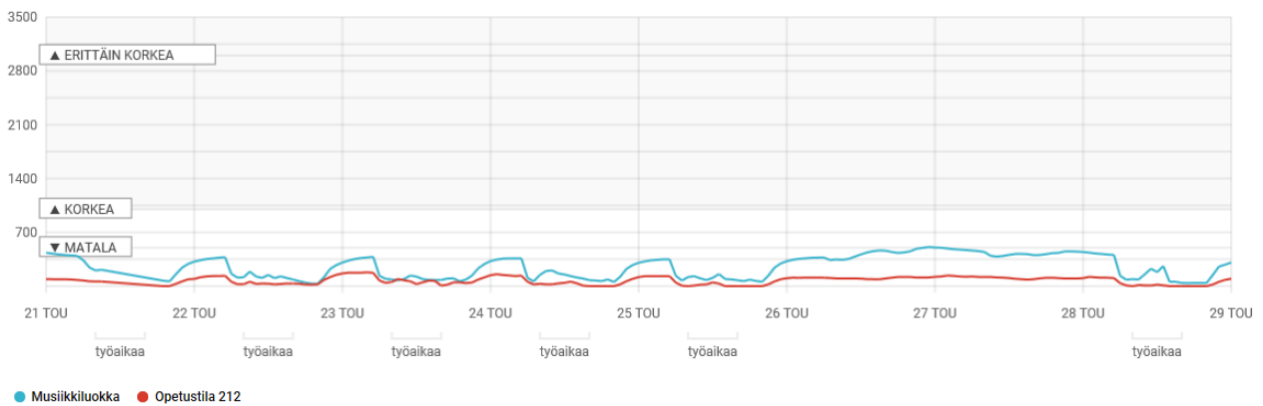
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus koulurakennuksessa, jota käytettiin kuvassa 7 esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 5:00 ja pysähtyi illalla klo 20:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 1.3.2018 oli torstai.



Kuva 7. Koulun sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus maaliskuussa 2018. Pitoisuuden yksikkö on ppb.

Kevät 2018

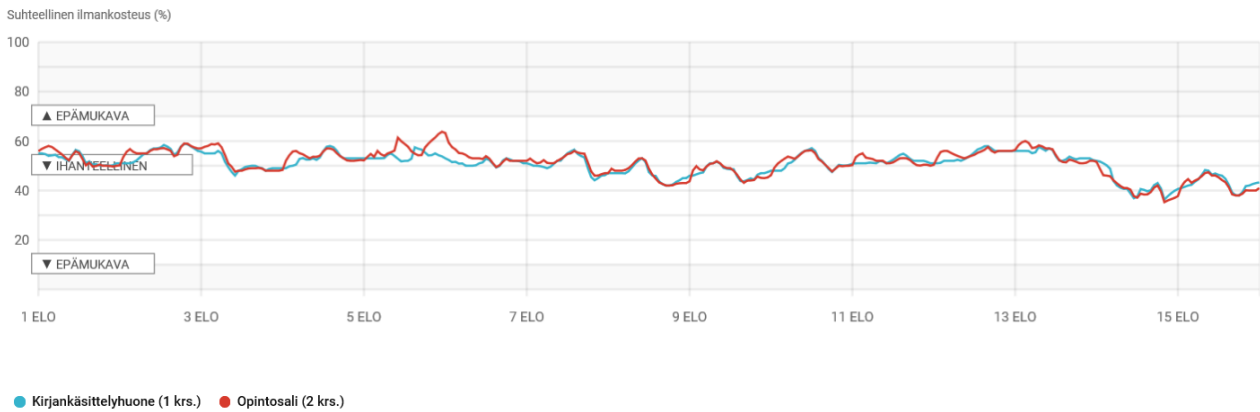
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus koulurakennuksessa, jota käytettiin kuvassa 8 esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 5:00 ja pysähtyi illalla klo 20:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 21.5.2018 oli maanantai.



Kuva 8. Koulun sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus toukokuussa 2018. Pitoisuuden yksikkö on ppb.

Kesä 2017

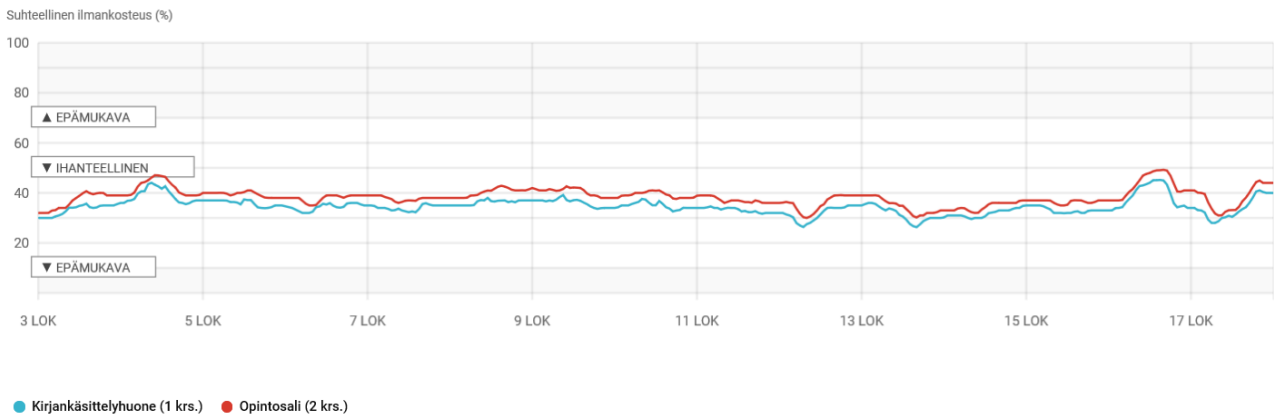
Sisäilman suhteellinen kosteus kirjastossa, jota käytetään jokaisena viikonpäivänä. Ilmanvaihto käynnistetään aamulla kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista ja pysäytetään tunti rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.



Kuva 9. Kirjaston sisäilman suhteellinen kosteus elokuussa 2017, kun ulkoilman lämpötila oli +11...+23 °C.

Syksy 2017

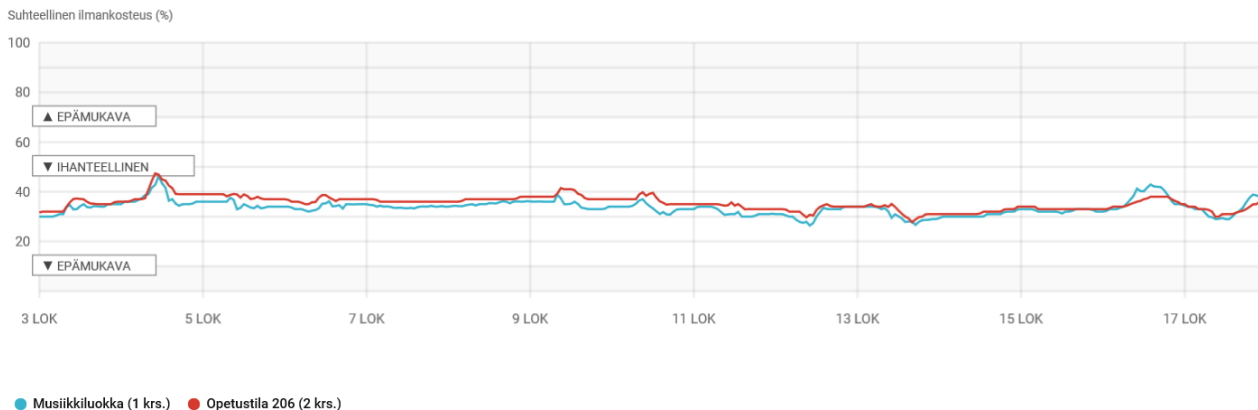
Sisäilman suhteellinen kosteus kirjastossa, jota käytetään jokaisena viikonpäivänä. Ilmanvaihto käynnistetään aamulla kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista ja pysäytetään tunti rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.



Kuva 10. Kirjaston sisäilman suhteellinen kosteus lokakuussa 2017, kun ulkoilman lämpötila oli +2...+13 °C ja oli sateista.

Syksy 2017

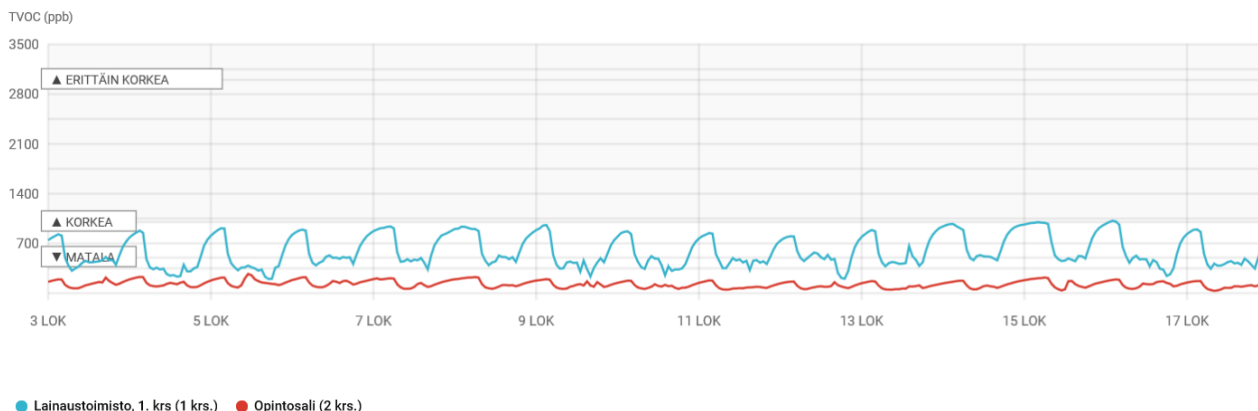
Sisäilman suhteellinen kosteus koulurakennuksessa, jota käytettiin kuvassa 11 esitetyllä mittausjaksolla. Ilmanvaihto käynnistyi arkisin klo 5:00 ja pysähtyi illalla klo 20:00. Viikonloppuisin ilmanvaihto oli pois päältä. 3.10.2017 oli tiistai.



Kuva 11. Koulurakennuksen sisäilman suhteellinen kosteus lokakuussa 2017, kun ulkoilman lämpötila oli +2...+13 °C ja oli sateista.

Syksy 2017

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus kirjastossa, jota käytetään jokaisena viikonpäivänä. Ilmanvaihto käynnistetään aamulla kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista ja pysäytetään tunti rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen.



Kuva 12. Kirjaston sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus lokakuussa 2017, kun ulkoilman lämpötila oli +2...+13 °C ja oli sateista.