

Marika Raatikainen

Yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö toimistorakennuksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinööriytyö

11.10.2016

Tekijä Otsikko	Marika Raatikainen Yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö toimistorakennuksissa
Sivumäärä Aika	40 sivua + 0 liitettä 11.10.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	osaamisaluepäällikkö, lehtori Jorma Säteri talotekniikan asiantuntija, FL Timo Keskkikuru
<p>Opinnäytetyön tilaajana on Senaatti-kiinteistöt, joka on Suomen suurin toimitilakiinteistöjen omistaja. Senaatti-kiinteistöjen pääasiallisena tehtävänä on tuottaa ja kehittää kiinteistöpalveluita ja niihin läheisesti liittyviä muita palveluja ensisijaisesti valtion virastoille ja laitoksille sekä huolehtia hallinnassaan olevasta kiinteistövarallisuudesta.</p> <p>Opinnäytteen tavoitteena oli selvittää toimistorakennusten yleisilmanvaihdon jaksoittaisen käytön periaatteita kirjallisuuden, haastattelujen sekä esimerkkikiinteistöstä saadun tiedon perusteella. Lisäksi työn tarkoituksena oli aiheesta laaditun tutkimustiedon ja nykyisen lainsäädännön sekä olemassa olevien käyttökokemusten (esimerkkikiinteistö) perusteella laatia ohjeistus yleisilmanvaihdon jaksoittaisesta käytöstä rakennuksen käyttöajan ulkopuolella. Opinnäytetyössä myös tarkastellaan erilaisten ilmanvaihdon käyttötehotilanteiden vaikutusta rakennuksen paine-eroihin ja energian kulutukseen sekä selvitetään ilmanvaihdon minimitoimintaa ja järjestelmän teknisiä reunaehdoja.</p> <p>Yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö soveltuu toimistorakennuksiin ja jaksoittaisella käytöllä voidaan alentaa rakennuksen energiankulutusta. Mikäli yleisilmanvaihto toteutetaan jaksoittaisella käytöllä, yöaikaisen tuuletusjakso vähimmäisaika olisi 1 h/kerta ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden optimoimiseksi (tuuletusjaksoja 3–4 h:n välein). Tuuletusjakson aikana yleisilmanvaihtoa käytetään normaalia käyttöä vastaavasti (100 %). Tilojen sisäilman laadun varmistamiseksi ilmanvaihto käynnistetään vähintään 2 tuntia ennen ensimmäisten käyttäjien saapumista tiloihin ja viikonlopun jälkeisenä arkipäivänä ilmanvaihdon käynnistys voitaisiin toteuttaa 1 tunti aiemmin kuin muina arkipäivinä.</p> <p>Mikäli toimistorakennusten yleisilmanvaihtoa käytetään jaksoittain tai osatehokäytöllä, rakennuksen paine-erot suositellaan mitattavaksi ulkovaipan yli rakennuksen painesuhteiden varmistamiseksi riittävässä laajuudessa ja mittausjakson tulee olla ajaltaan riittävän pitkä ja edustava. Lisäksi ilmanvaihdon osatehokäytöllä on varmistettava, että tilojen ilmanvaihtuvuus on riittävä kaikissa tiloissa esimerkiksi toiminnan aikaisin ilmamäärämittauksin tai osatehokäytön laskennallisella mallintamisella.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, jaksoittainen käyttö, toimistorakennus, sisäilma

Author Title	Marika Raatikainen The intermittent use of ventilation in the office buildings
Number of Pages Date	40 pages + 0 appendices 11.10.2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Jorma Säteri, Head of department Timo Kesikuru, Ph.lic., HVAC specialist
<p>The aim of this final year project was to examine the operation of intermittent ventilation in office buildings outside office hours. The study was based on literature, interviews and information about a sample building. The thesis examined the impact of various ventilation power situations, building pressure differentials and energy consumption, as well as the minimum power of ventilation and technical system boundaries.</p> <p>Based on this study, guidelines for the use of intermittent ventilation outside the office hours are proposed with exact instructions on the minimum times to use the ventilation in the night-time and before the beginning of office hours. Furthermore, if the general ventilation system is used intermittently, or on minimum power during the night-time in office buildings, the building pressure differentials should be measured. Also, air flow measurements should be made if the system is used differently during nighttime and daytime.</p> <p>In conclusion, intermittent ventilation can be used in office buildings if it is turned on early enough. Intermittent ventilation can also save some energy costs, because ventilation time-schedule is optimal in relation to office hours.</p>	
Keywords	ventilation, indoor air, office building, intermittent use

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	2
3	Sisäilma	3
3.1	Sisäilman laatuun vaikuttavat fysikaaliset tekijät	3
3.1.1	Lämpö	3
3.1.2	Kosteus	4
3.1.3	Ilman liike ja veto	5
3.1.4	Sisäilman epäpuhtaudet	5
3.2	Lakisääteiset määräykset ja ohjeet	7
3.3	Sisäilmastoluokitus	7
3.4	Sisäilmastoluokitus ja tilojen ilmanvaihtuvuus käyttöajan ulkopuolella	8
3.5	Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys ja painesuhteiden vaikutus rakenteisiin ja niiden kosteustekniseen käyttäytymiseen	9
3.6	Alipaineen merkitys rakennevuodoissa ja haitallisten aineiden kulkeutumisessa	11
4	Ilmanvaihtojärjestelmät	13
4.1	Yleistä ilmastointitavoista	13
4.2	Vakioilmanvaihto	13
4.3	Vakio-ilmavirta-ilmastointi	14
4.4	Ilmastointipalkki-ilmastointi	16
4.5	Puhallinkonvektori-ilmastointi	17
4.6	Muuttuvan ilmavirran ilmastointijärjestelmä	19
4.7	Energian kulutuksesta erilaisilla ratkaisuilla	20
4.8	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toiminta osateholla.	22
4.9	Ilmanvaihtolaitteiden tekninen minimitiho	23
5	Jaksoittainen ilmanvaihto	24
5.1	Yleistä	24
5.2	Esimerkkirakennuksen ilmanvaihtojärjestelmät ja automaatio	25
5.3	Näkökulmia toimitilojen ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluun	26
5.4	Havainnot järjestelmän toiminnasta, käyttökokemukset ja esimerkkikiinteistössä suoritettut mittaukset sekä jaksottaisen ilmanvaihdon käytön edut ja käyttöön liittyvät suositukset	27

5.4.1	Esimerkkikiinteistössä suoritettavat paine-eromittaukset	28
5.4.2	Yleisilmanvaihdon jaksottainen käytön vaikutus rakennuksen energiankulutukseen	30
5.4.3	Yleisilmanvaihdon jaksottaiseen käyttöön liittyvät suositukset ja parannusehdotukset	32
6	Pohdinta	35
	Lähteet	38

ESIPUHE

Opinnäytetyössäni käsittelen toimistorakennusten yleisilmavaihdon jaksoittaista käyttöä. Rakennusten ilmanvaihto ja sisäilmaan liittyvät tutkimukset ovat olleet osa työnkuvaani jo ennen insinööriopintojen alkua. Opinnäytteen tullessa ajankohtaiseksi Senaatti-kiinteistöjen talotekniikan asiantuntija Timo Keskikuru ehdottikin opinnäytetyön aihetta ennalta tutun aihepiirin alalta, jonka myötä minulla on ollut hyvä tilaisuus syventyä ilmanvaihdon yhteen osa-alueeseen aiempaa paremmin.

Työn ohjaajana Senaatti-kiinteistöjen puolelta toimi talotekniikan asiantuntija FL Timo Keskikuru ja ohjaavana opettajana osaamisaluepäällikkö Jorma Säteri. Lämpimät kiitokset molemmille hyvistä ideoista, rakentavista kommentteista ja ohjauksesta.

Haluan kiittää myös Are Oy:n suunnittelupäällikkö Heikki Mäkeä sekä Koja Oy:n Kirsi Virtaa kehittävästä keskustelusta, kommentteista ja ajatusten vaihdosta. Ilman teidän pyyteetöntä panostanne moni matkan varrelle osunut kysymys olisi jäänyt vajavaiseksi tai ilman vastausta.

Kaikista suurin kiitos kuuluu kuitenkin perheelleni, joka on jaksanut tukea, rohkaista ja kuunnella ajoittain raskaan työelämän ja opiskelun yhteensovittamisessa.

Kuopiossa 11.10.2016

Marika Raatikainen

1 Johdanto

Yksi suurimmista sisäilman laatuun vaikuttavista tekijöistä on rakennuksen ilmanvaihto. Rakennuksen ilmanvaihtoa tarvitaan viihtyisän ja terveellisen sisäilman ylläpitämiseksi tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa. Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä käyttötarkoituksensa mukaisesti on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia sekä kosteutta ja tuoda puhdasta korvausilmaa tiloihin. Rakennuksen käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihdon tulee olla sellainen, ettei sisustus- ja rakennusmateriaaleista tai ihmisperäisistä lähteistä vapautuvien tai kulkeutuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan aiheuta käyttöaikana tiloissa oleskeleville terveys- tai viihtyvyyshaittaa. Hyvin toimivan ilmanvaihdon perusedellytyksenä on, että rakennuksen ilmanvaihtoa käytetään ja huolletaan oikein ja tilojen ilmavirrat on säädetty suunnitelmien mukaisesti ja ilmamäärät on mitoitettu tilojen käyttöä vastaaviksi.

Ilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutuksista, mm. rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen käyttäytymiseen ja sisäilman laatuun, on keskusteltu lähiaikoina runsaasti myös valtamediassa. Keskustelua ovat osaltaan ohjanneet rakennuskannassamme todetut kosteus- ja mikrobivauriot, rakentamisen laadun poikkeamat ja huonolle sisäilmalle altistuneet käyttäjät. Koska rakennusten ilmanvaihto on yksi rakennuksen suurimmista energiankuluttajista, yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö tai ilmanvaihdon osatehojen käyttö on hyvin yleistä erityisesti niissä rakennuksissa, jotka ovat tyhjiillään pitkiäkin aikoja tai rakennusten käyttö ajoittuu tiettyihin, sidottuihin vuorokauden aikoihin. Opinnäytetyöhöni valittu esimerkkikohde edustaa julkista palvelu- ja toimistorakennusta, jonka käyttöaikaprofiili on hyvin vakiintunut arkityöpäivien mukaiseen käyttöön eikä rakennuksessa ole käyttäjiä ilta- ja yöaikaan eikä viikonloppuisin. Tästä johtuen esimerkkirakennuksen yleisilmanvaihtoa käytetään jaksoittain virka-ajan ulkopuolella.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää toimistorakennusten yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön periaatteita, hyötyjä sekä mahdollisia haittoja ja käyttöön liittyviä reunaeh-toja kirjallisuuden, käyttökokemusten ja haastattelujen perusteella. Lisäksi työn tarkoituksena on tutkimustiedon ja nykyisen lainsäädännön sekä olemassa olevien käyttökokemusten (esimerkkikiinteistö) perusteella laatia ohjeistus yleisilmanvaihdon jaksottai-

seen käyttöön liittyen huomioiden ilmanvaihdon toteutus olemassa olevassa rakennuskannassa ja energiatehokkaassa rakentamisessa. Opinnäytetyössä yhtenä osana myös tarkastellaan erilaisten ilmanvaihdon käyttötehotilanteiden vaikutusta rakennuksen paine-eroihin ja sähköenergian kulutukseen.

2 Yritysesittely

Rakennushallitus huolehti valtion kiinteistövarallisuudesta vuoteen 1995 saakka, minkä jälkeen se lakkautettiin ja valtion kiinteistöomaisuus jaettiin viideksitoista kiinteistöyksiköksi. Suurimmaksi kiinteistöyksiköksi muodostui Valtion kiinteistölaitos. Valtion kiinteistölaitos toimi aluksi virastomuotoisena vuoteen 1999 saakka, minkä jälkeen siitä tuli liikelaitos ja nimi muutettiin Senaatti-kiinteistöiksi. [1.]

Senaatti-kiinteistöjen pääasiallisena tehtävänä on tuottaa ja kehittää kiinteistöpalveluita ja niihin läheisesti liittyviä muita palveluja ensisijaisesti valtion virastoille ja laitoksille sekä huolehtia hallinnassaan olevasta kiinteistövarallisuudesta. Senaatti-kiinteistöt on Suomen suurin ja monimuotoisin toimitilakiinteistöjen omistaja ja kiinteistökantaan kuuluu arvokiinteistöjä sekä asiakkaan erityistarpeisiin suunniteltuja tiloja ja toimistorakennuksia. Lisäksi Senaatti-kiinteistöjen hallinnassa on myös merkittävä osa kulttuurihistoriallisesti ja rakennustaiteellisesti arvokkaita rakennuksia.

Senaatti-kiinteistöjen palveluksessa on tällä hetkellä hieman yli 300 työntekijää viidessä eri alueorganisaatiossa. Senaatti-kiinteistöjen alueorganisaatiot on jaettu maantieteellisesti seuraavalla tavalla: Etelä-Suomi, Länsi-Suomi, Keski-Suomi, Itä-Suomi ja Pohjois-Suomi. [2.]

Opinnäytteessä tarkastellaan yleisilmanvaihdon jaksottaista käyttöä Senaatti-kiinteistöjen omistamassa toimistorakennuksessa. Esimerkkikohde sijaitsee Itä-Suomessa ja se on suuri, 2000-luvulla peruskorjattu toimistotalo.

3 Sisäilma

Rakennusten sisäilmasto muodostuu sisäilmasta ja siihen vaikuttavista fysikaalisista tekijöistä. Tilojen riittävä ilmanvaihto ja toimivat rakenteet ovat edellytyksenä hyvälle sisäilmalle. Rakennuksen sisäilmaa voidaan pitää hyvänä, jos suurin osa rakennuksen käyttäjistä on tyytyväisiä sen laatuun eikä siitä aiheudu terveydellistä haittaa tilojen käyttäjille. [3.]

3.1 Sisäilman laatuun vaikuttavat fysikaaliset tekijät

Sisäilman fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat ensisijaisesti käyttäjien kokemaan sisäympäristön viihtyvyyteen ja laatuun. Sisäilman fysikaaliset tekijät voidaan karkeasti jaotella seuraaviin tekijöihin: lämpö, kosteus, ilmavirtaukset, säteily, valaistus ja melu. Fysikaalisia tekijöitä itsessään ei pidetä epäpuhtauksina, mutta niistä voi aiheutua tilojen käyttäjille oireilua ja terveyshaittaa. [4, s. 13.]

3.1.1 Lämpö

Lämpötilaa voidaan pitää yhtenä sisäilman tärkeimmistä laatutekijöistä. Ihmisen kehon lämpötasapaino määrittää sen, miten viihtyisäksi ihminen tuntee olonsa. Lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötilan lisäksi lämpösäteily, ilman virtausnopeus, ilman kosteus, vaatetus ja ihmisen oma toiminta. [4, s. 9.] Sisäilmayhdistyksen mukaan sopiva sisälämpötila on yksilöllistä, mutta keskimääräinen ihmisen sopivana pitävä lämpötila on 20–22 °C (tyytymättömien arvioitu osuus 10–30 %). Lämpöolosuhteisiin suurin tyytyväisten osuus saavutetaan silloin, kun käyttäjä voi säätää huonelämpötilaa haluamukseen. [5.] Huonelämpötila on silloin oikea, kun tilan käyttäjä ei osaa sanoa, pitäisikö lämpötilan tilassa olla korkeampi vai alhaisempi. Oikea lämpötila tuntuu miellyttävältä, siinä viihdytään eikä se väsytä tai aiheuta kylmän tai vedon tunnetta. [6, s. 7.] Liian korkea lämpötila voidaan kokea ajoittain tunkkaiseksi, mikä osaltaan vaikuttaa koettuun sisäilman laatuun ja viihtyvyyteen.

Huoneilmassa olevien epäpuhtauksien syntyyn vaikuttavat huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Huoneilman lämpötilan ollessa korkea monien materiaalien epäpuhtauspäästöt lisääntyvät. Kun lämpötila kohoaa, ilman suhteellinen kosteus alenee, jolloin

ilma koetaan kuivemmaksi ja tunkkaisemmaksi. Myös liiallinen kosteus voi heikentää aistittua sisäilman laatua. [6, s. 11.]

Wargockin & Wyonin [7, s. 215] sekä Seppäsen ym. [8.] tekemissä tutkimuksissa on havaittu, että suorituskyky ja työteho alenevat, jos sisäilman lämpötila nousee liian korkeaksi. Seppäsen tutkimuksessa työtehon alenema havaittiin, kun sisäilman lämpötila nousi yli 22 °C:seen ja vastaavasti Wargockin & Wyonin (2007) tekemässä tutkimuksessa lasten suorituskyky keskittymistä ja loogista päättelykykyä vaativissa tehtävissä laski, kun sisäilman lämpötila nousi 20 °C:sta 25 °C:seen [7, s. 215].

Taulukossa 1 on esitetty Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset tavoitearvot sisälämpötilalle sisäilmastoluokissa S1, S2 ja S3 sekä Asumisterveysasetuksen 545/2015 mukaiset sisälämpötilan toimenpiderajat.

Taulukko 1. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset sisälämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokissa S1–S3 [9, s. 5] sekä Asumisterveysasetuksen 545/2015 mukaiset toimenpiderajat (* asunnot, ** Palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja vastaavat tilat) [10].

Vuodenaika	S1	S2	S3	Asumisterveysasetus (545/2015)
Talvi	20,0–21,5 (±0,5)	20,0–21,5 (±1)	18,0–21,0 (±1)	18,0–26,0* 20,0–26,0**
Kesä	20,0–24,5 (±0,5)	20,0–24,5 (±1)	18,0–25,0 (±1)	20,0–26,0* 20,0–30,0**

3.1.2 Kosteus

Asumisterveysasetuksen 545/2015 5 § mukaan huoneilman kosteus ei saa pitkäkestoisesti olla niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteille, laitteille tai niiden pinnoille mikrobikasvun riskiä [10].

Mikrobikasvun syntyyn vaikuttavat huoneilman suhteellisen kosteuden lisäksi myös muut kasvuolosuhteet, kuten lämpötila ja ravinnon määrä. Asetuksen 545/2015 5 §:ssä ei säädetä tarkkoja suhteellisen kosteuden rajoja, koska huoneilman kosteus voi vaihdella lyhytkestoisesti ulkoilman kosteudesta ja rakennuksen sisällä tapahtuvista toiminnoista riippuen hyvinkin paljon. Huoneilman suhteellisen kosteuden suosituksena oli aiemmin 20–60 %, mutta uuden asetuksen myötä suhteellisen kosteuden tarkka numeerinen

vaihteluväli on poistunut. Sisäilman kosteutta tuleekin arvioida suhteellisen kosteuden lisäksi kosteuslisänä. Mikäli kosteuslisä on enemmän kuin 3–4 g/m³ mikrobikasvun riski rakenteissa ja sen pinnoilla kasvaa. Sisäilman suhteellinen kosteus voi myös ajoittain olla alhainen. Kuiva huoneilman voi heikentää ilman poistumista hengitysteistä ja heikentää liman poistumista ylähengitysteistä. Tällöin limakalvojen vastustuskyky tulehduksia vastaan voi heikentyä. Liian alhainen ilmankosteus myös lisää staattisen sähkön muodostumista. [11.]

3.1.3 Ilman liike ja veto

Vedon tunne syntyy iholla lämpöaistimuksena. Lämmön siirtymiseen vaikuttavat ilman nopeuden lisäksi kylmistä pinnoista johtuva lämpösäteily ja liian vähäinen vaatetus. Vedon tunne on subjektiivista. Vetoa voi aiheuttaa ilmanvaihto sekä ilmavuodot rakenneliitoksien kautta (eristepuutteet, epätiivit rakenneliitokset), korkeissa lämpötiloissa tuloilman alhainen lämpötila, tuloilman alhainen lämpötila suhteessa sisälämpötilaan, pääte-laitteiden suuntaukset sekä virtausesteet tuloilmavirran tiellä. Lisäksi kylmät ja isot pinnat voidaan aistia vetoisina. Vedontuntemuksen herkkyyks kasvaa alle 20 °C:n lämpötiloissa. Veto itsessään ei aiheuta sairauksia tilojen käyttäjille, mutta se voi voimistaa alhaisissa lämpötiloissa kylmän vaikutusta, aiheuttaa palelua ja toimintakyvyn alenemista. Korkeissa lämpötiloissa vedon tunne taas vastaavasti voi parantaa lämmönsietokykyä. [12.]

Taulukossa 2 on esitetty Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset ilman liikenopeuksien tavoitearvot sisäilmastoluokissa S1, S2 ja S3.

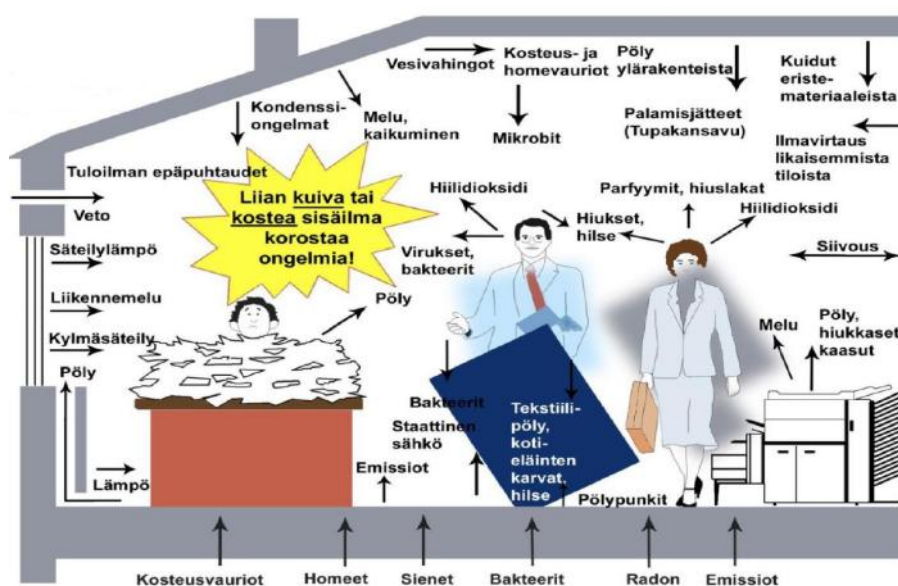
Taulukko 2. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset ilman liikenopeuden tavoitearvot sisäilmastoluokittain [9, s. 6].

Suure	S1 (m/s)	S2 (m/s)	S3 (m/s)
T _{ilma} =21 C	<0,14	< 0,17	0,2 (talvi)
T _{ilma} =23 C	< 0,16	< 0,20	-
T _{ilma} =25 C	< 0,20	< 0,25	0,3 (kesä)

3.1.4 Sisäilman epäpuhtaudet

Sisäilman laatuun vaikuttavat epäpuhtaudet voidaan karkeasti jakaa biologisiin ja kemiallisiin epäpuhtauksiin. Biologiset epäpuhtaudet ovat pääasiassa sieni-itiöitä ja niiden ai-

neenvaihduntatuotteita ja bakteereita. Kemialliset epäpuhtaudet voidaan vastaavasti jakaa koostumuksensa perusteella orgaanisiin ja epäorgaanisiin epäpuhtauksiin. Orgaaniset ja epäorgaaniset epäpuhtaudet voidaan vielä jakaa olomuotonsa perusteella kaasumaisiin ja hiukkasmaisiin epäpuhtauksiin. [13, s. 7.] Kuvassa 1 on esitetty tyypillisimmät sisäilman epäpuhtauslähteet, joiden pääasiallisina lähteinä voidaan pitää tilojen ilmanvaihtoa, rakennusten käyttäjiä (ihmisperäiset epäpuhtaudet), rakennusmateriaaleja sekä ilmavuotojen mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia rakenteista, maaperästä ja liikenteestä.



Kuva 1. Sisäilman tyypillisimmät epäpuhtaudet ja -lähteet [14].

Sisäilman epäpuhtauksien poistumiseen sisäilmasta vaikuttaa oleellisesti tilan ilmanvaihdon tehokkuus ja riittävyys. Rakennusmateriaaleista peräisin olevat emissiotasot laskevat nopeasti rakennuksen käyttöönoton jälkeen ja primääriemissioiden osuus pienenee alkuvaiheessa nopeasti. Sisäilman laadulle merkittäväksi emissioiden käyttäytymisen kannalta on vuorovaikutus tilan muiden materiaalien kanssa, kun sink-ilmio huomioidaan. Jos emissiolähde ajatellaan vakioiseksi, sink-ilmio voi heikentää varastoituvan aineen haihtumista sisäilmaan ja aiheuttaa haihtumisen kestoon viipymää ja viivästyttää emittoituneen aineen poistumista sisäilmasta. [13, s. 10.] Huoneilman epäpuhtauksien sekä kosteuden poistamiseksi tilojen ilmanvaihdon käyttöajat ja tehokkuus on mitoitettava riittäväksi huomioiden tiloissa syntyvien epäpuhtauksien (materiaaliemissiot, ihmisperäiset epäpuhtaudet) ja kosteuden määrä.

3.2 Lakisääteiset määräykset ja ohjeet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 antaa ohjeita ja määräyksiä siitä, kuinka ilmanvaihtojärjestelmä tulee suunnitella ja rakentaa rakennuksen käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se osaltaan luo edellytykset terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle. [15, s. 5.]

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan toimistorakennukset on suunniteltava ja rakennettava siten, että käyttöajan ulkopuolella ulkoilmavirta on vähintään $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$. Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,2 \text{ 1/h}$ huoneessa, jonka vapaa huonekorkeus on $2,5$ metriä. Käyttöajan ulkopuolella voidaan ilmanvaihto toteuttaa joko ilmanvaihdon jaksoittaisella käytöllä tai pitämällä hygieniatilojen ilmanvaihtoa jatkuvasti päällä. [15, s.10.]

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän painesuhteet on suunniteltava siten, että puhtaampi ilma virtaa puhtaamista tiloista niihin tiloihin, joissa syntyy runsaammin epäpuhtauksia (esimerkiksi WC- ja märkätiloihin). Rakennus on yleensä suunniteltava ulkoilmaan nähden alipaineiseksi kosteusvaurioriskin vuoksi (pois lukien erikoistilat, jotka voidaan suunnitella ylipaineiseksi ulkoilmaan nähden). Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan alipaine ei kuitenkaan saa olla 30 Pa suurempi eivätkä paineet saa aiheuttaa rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta. Lisäksi rakennuksen tavanomainen käyttö tai sään vaihtelut eivät saa merkittävästi muuttaa rakennuksen tai huonetilojen paineita tai heikentää ilmanvaihtoa. [15, s. 19.]

3.3 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokitus 2008 on rakentamisessa vapaaehtoisesti sovellettava ohjeistus. Sisäilmastoluokitusta voidaan käyttää tavanomaisissa työ- ja asuintilojen uudisrakennushankkeissa sekä soveltavin osin korjausrakentamiskohteissa. Sisäilmaluokitus 2008 ei itsessään ole viranomaisohje tai sen tulkinta.

Sisäilmastoluokitus 2008 on laadittu rakennuskohteen rakennuttajan, omistajan, suunnittelijoiden ja rakennuksen käyttäjien apuvälineeksi sisäilmaston tavoitearvojen määrittämisessä rakennushankkeissa. Luokituksen tarkoituksena on täydentää Suomen rakentamismääräyksiä, rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja rakentamiseen liittyviä asiakirjoja, kuten rakennusselostusohjetta, LVI-selostusohjetta, urakkarajaliitteen mallia, RT- ja LVI-ohjekortteja sekä muita rakentamiseen liittyviä asiakirjoja. [9, s. 3.]

Sisäilmastoluokituksessa on annettu sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvoja. Sisäilmastoluokituksen mukaiset sisäilmaston tavoitearvot on jaettu kolmeen eri luokkaan, jotka ovat S1, S2 ja S3. Sisäilmastoluokituksen tavoitearvot on pyritty asettamaan siten, että luokka S3 vastaa maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain vaatimuksia eli viranomaistason vaatimuksia. Sisäilmastoluokka S2 vastaa sisäilmaston perustasoa, jossa lämpöolojen, ilman laadun sekä ääni- ja valaistusolosuhteet ovat hyvät. S1-luokka eroaa S2-luokasta lähinnä lämpöolojen ja yksilöllisen säädön osalta sekä ihmisperäisten epäpuhtauksien määrä on pienempi S1-luokassa. Lisäksi olosuhteiden pysyvyys on parempaa S1-luokassa kuin S2-luokassa. S1-luokka onkin sisäilmastoluokista parhain mahdollinen. [9, s. 4.]

3.4 Sisäilmastoluokitus ja tilojen ilmanvaihtuvuus käyttöajan ulkopuolella

Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan normaalin käyttöajan ulkopuolella rakennuksen perusilmanvaihdon on oltava $0,1-0,2 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ rakennuksesta peräisin olevien epäpuhtauksien poistamiseksi. Perusilmanvaihtoa saa käyttää vain, kun käyttäjiä ei ole tiloissa. Esimerkiksi tilojen siivouksen aikana tilojen ilmanvaihdon tulee olla vähintään normaalin käyttötilanteen mukainen. Perusilmanvaihtojakson jälkeen ilmanvaihtoa käytetään normaaliteholla kaksi tuntia ennen käyttäjien tuloa rakennukseen. Tällä toimenpiteellä pyritään varmistamaan sisäilman riittävä laatu normaalin käyttötilanteen aikana heti ensimmäisten tilan käyttäjien tullessa tiloihin. Sisäilmastoluokituksen ohjeistuksen mukaan huomioitavaa on myös se, että ilmanvaihtolaitoksen on oltava jatkuvassa käytössä yhden vuoden ajan rakennuksen käyttöönoton jälkeen. [9, s. 17.]

3.5 Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys ja painesuhteiden vaikutus rakenteisiin ja niiden kosteustekniseen käyttäytymiseen

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät ilmanvaihdon, tilojen käytön, tuulen ja savu-piippuvaikutuksen yhteisvaikutuksesta. Painesuhteiden vaihtelut rakennuksissa voi olla nopeaa ja ajoittain voimakasta. [16, s. 24.] Rakennuksen painesuhteet voidaan luokitella joko painesuhteeksi rakennuksen ulkovaipan yli tai rakennuksen sisäisiin painesuhteisiin. Painesuhde on ilman liikettä korkeammasta paineesta pienempään paineeseen. Rakennuksen painesuhde ulkovaipan yli tulee olla hieman alipaineinen ulkoilmaan nähden ja rakennuksen sisäisissä painesuhteissa tulisi ilman siirtyä puhtaammista tiloista likaisiin tiloihin [17, s. 8], kuten ilmanvaihtoa koskevissa rakentamismääräyksissäkin on esitetty.

Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen vuonna 2009 julkaistussa soveltamisoppaassa "Asumisterveysopas 2009" on esitetty tavoitteellisia paine-eroja. Asuinrakennusten koneellisen poisto- ja tuloilmanvaihdon suositelluksi paine-eroksi ulkoilmaan nähden on annettu 0...–2 Pa [18, s. 64]. Muille kuin asuinrakennuksille ei ole annettu virallisia suosituksia tilojen ja ulkoilman väliselle painesuhteelle (ulkovaipan paine-ero), mutta tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustettujen rakennusten keskimääräinen paine-ero tulisi olla noin –2...–5 Pa [19]. Taulukossa 3 on esitetty Asumisterveysoppaan 2009 suosituksia asuinrakennuksien paine-eroille ilmanvaihtotavoiltaan erityyppisille rakennuksille. Suositeltavia paine-eroja tulkittaessa tulee aina huomioida ulkona olevat olosuhteet (mm. voimakas tuuli), jotka osaltaan vaikuttavat ulkovaipan yli mittavaan paine-eroon eikä suositellut ulkovaipan yli mitatut paine-erot näin ollen täyty tiettyinä aikoina ulkoilman olosuhteiden vuoksi.

Taulukko 3. Asumisterveysoppaan 2009 antamia ohjeita rakennusten painesuhteista [18, s. 64]. Miinusmerkki lukuarvon edessä esittää alipainetta sisäilmassa (rakennus alipaineinen ulkoilmaan nähden).

Ilmanvaihtotapa	Suosittelava paine-ero
Painovoimainen ilmanvaihto	0...–5 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään
Koneellinen poistoilmanvaihto	–5 ...–20 Pa ulkoilmaan 0...–5 Pa porraskäytävään
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	0...–2 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään

Rakennukset suunnitellaan lähes aina hieman alipaineisiksi ulkoilmaan nähden rakenteiden toimivuuden varmistamiseksi [15]. Jos rakennuksen ilmanpainesuhteet ovat ulkoilmaan nähden ylipaineisia, rakenteiden kosteusvaurioriski kasvaa. Ylipaineisissa rakennuksissa konvektiovirtausten mukana kulkeva kosteus tiivistyy rakenteisiin ja voi aiheuttaa rakenteen kosteusvaurioitumista. Kosteuden siirtyminen edellyttää aina ilmavuotoaikoja, jotta konvektiovirtauksia rakenteeseen pääsee syntymään. [19, s. 37.] Koneellisen ilmanvaihdon yhtenä tarkoituksena onkin pitää yllä pientä alipainetta rakennuksen ja ulkoilman välillä.

Rakennuksen ilmanvaihto pystytään helpoimmin hallitsemaan tiiviissä rakennuksessa, jossa lähes kaikki ilma kulkee ilmanvaihtojärjestelmän kautta. Hataran, tiiveydeltään heikon rakennuksen ilmanvaihtoa ei ole mahdollista hallita koneellisesti kaikissa olosuhteissa, koska tällöin mm. vuotoilmavirtojen merkitys kasvaa olosuhteiden muuttuessa (mm. poikkeavat sääolosuhteet). Rakennuksen vaipan tiiviys onkin keskeinen tekijä rakenteiden kosteudensiirrossa ja osaltaan myös ilmanvaihdon toimintaan vaikuttava tekijä. Rakenteiden kosteufysikaalisen käyttäytymisen kannalta onkin tärkeää, että ilma kulkee rakenteessa ulkoa sisälle päin, jolloin sisäilman kosteuden kulkeutuminen rakenteeseen estyy ja mahdollista kosteuden tiivistymistä rakenteeseen ei pääse tapahtumaan. [21.]

Rakennusten painesuhteiden hallintaa ja rakennusten painesuhteiden vaikutusta epäpuhtauksien kulkeutumiseen tiloihin on alettu tutkia 2000-luvulla. Harjun (2011) tekemässä insinööriyössä todettiin, että hygieniatilojen erillispoistojen päällä pitäminen ei merkittävästi vaikuttanut rakennuksen paine-suhteisiin [22, s. 24].

Seppäsen (2010) tekemässä rakennusterveysasiantuntijakoulutukseen tehdyssä lopputyössä todettiin, että tutkimuksessa olleiden rakennusten keskimääräinen paine-ero ulkoilmaan nähden oli 8 Pa alipaineinen (rakennusten määrä aineistossa: n=176). Suurin ylipaine oli 12 Pa ja suurin alipaine 80 Pa. Yli 30 %:ssa mittaustuloksista alipaineisuus ylitti 10 Pa. Tutkituista kohteista hieman yli kolmasosassa ali- tai ylipaine oli Asumisterveysoppaan 2009 tavoitteellisten arvojen ulkopuolella. [19, s. 36–37.]

Pellinen (2011) tutki diplomityössään mallinnuksen avulla yksittäisten ilmavuotojen vaikutuksia rakennuksen ulkovaipan lämpö- ja kosteusolosuhteisiin. Tehtyjen simulointien

perusteella havaittiin, että seinärakenteissa olevat viivamaiset reiät voivat moninkertaistaa seinärakenteen läpi kulkevan lämpövirran verrattuna vastaavaan ehjään rakenteeseen. Mallinnuksessa lähtökohtana rakennus asetettiin 3 pascalia ylipaineiseksi, joka on hyvin tyypillinen paine-ero rakennuksissa. Viivamaisia reikiä mallinnettaessa todettiin simuloinnissa, että reiän läpi virtaavat kosteusmäärät 3 pascalin paine-erolla olivat hälyttävän suuria. Vuonna 2011 Pellinen päätyikin diplomityönsä lopputuloksissa siihen, että ilmavuodot voivat aiheuttaa rakenteeseen kosteusvaurioita pitkällä aikavälillä. [23, s. 63.]

Vuonna 2015 Asikainen ym. selvittivät yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutuksia rakennusten paine-eroihin ja sisäilman laatuun seitsemässä kohteessa. Tutkimuksessa havaittiin, että kahdessa kohteessa seitsemästä painesuhteissa tapahtui merkittävää alipaineistumista, kun yleisilmanvaihto sammutettiin käyttöaikojen ulkopuolella. [20, s. 1.]

Karhun vuonna 2015 julkaistuun opinnäytetyöhön valituissa kouluissa ja päiväkodeissa rakennusten painesuhteet olivat pääosin määräysten mukaiset (alle 30 Pa) ja osassa rakennuksista painesuhteet olivat hyvällä tasolla (alipaineisia 2–5 Pa ulkoilmaan nähden) myös käyttöajan ulkopuolella. [24, s. 77.]

3.6 Alipaineen merkitys rakennevuodoissa ja haitallisten aineiden kulkeutumisessa

Rakennuksen ilmanpainesuhteilla on erittäin merkittävä vaikutus rakennuksen sisäilmanlaatuun. Liian voimakas alipaine rakennusvaipan yli voi aiheuttaa tilojen käyttäjille terveys- ja viihtyvyyshaittoja. Tavanomaisimmat ongelmat tilojen ilmanpainesuhteiden ollessa vääränlaiset ovat mm. veto- ja hajuhaitat, rakenteiden likaantuminen ja erilaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista ja rakennuksen ulkopuolelta tilojen sisäilmaan. Rakenteista ja rakennuksen ulkopuolelta sisäilmaan voi kulkeutua mm. pienhiukkasia, sieni-itiöitä ja niiden aineenvaihduntatuotteita, radonia ja teollisia mineraalikuituja. [19, s. 37–38.]

Sisäilman hiukkaspitoisuuden muutoksia on tutkittu 2000-luvulla useammassa tutkimuksessa yleisilmanvaihdon erilaisissa käyttötilanteissa. Harjun (2011) opinnäytetyössään havaittiin, että hygienia-tilojen erillispoistojen ollessa yöaikaan päällä tutkittujen kohteiden sisäilman hiukkaspitoisuudet kasvoivat [22, s. 22–23].

Vastaavasti Päckilän (2012) diplomityössä mikrobipitoisuuksia verrattiin rakennuksen olleessa normaalissa käyttötilanteessa (alipaine oli $-6,8...-5$ Pa) ja rakennuksen ollessa 10 pascalia sekä 20 pascalia alipaineinen ulkoilmaan nähden. Normaalissa käyttötilanteessa sisäilman mikrobinäytteiden sieni-itiöpitoisuuden mediaani oli 7 cfu/m^3 , 10 pascalin alipaineessa sieni-itiöiden mediaani oli 6 cfu/m^3 ja 20 pascalin alipaineessa sieni-itiöpitoisuuden mediaani oli 8 cfu/m^3 . Tutkimuksen mukaan alipaine ei lisännyt tutkimuksessa sieni-itiöiden pitoisuutta sisäilmassa. Vaikka sieni-itiöiden kokonaispitoisuuksissa ei todettu merkittävää muutosta erilaisten painesuhteiden välillä, tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että erilaisten käyttötilanteiden aikana otettujen sisäilmanäytteiden mikrobilajistoissa tapahtui muutosta. Rakennuksen paine-eron ollessa 10 ja 20 pascalia alipaineinen ulkoilmaan nähden tiloista otetuissa sisäilmanäytteissä todettiin enemmän kosteusvaurioon viittaavia mikrobilajeja (vuotoilmaa vaurioituneista rakenteista tiloihin). [25, s. 137–138.]

Ilmanvaihdon jatkuvan ja tauotetun käytön vaikutuksia on selvitetty tilojen käyttäjien kokemuksiin sisäilman laadusta ja oireilusta kyselytutkimuksen ja sisäolosuhdemittausten avulla vuonna 2005. Tutkimuksessa ilmanvaihdon käyntiasennot olivat: 24 h 1/1 teho, yöaikana $\frac{1}{2}$ teho tai yöaikana ilmanvaihto olo kokonaan pois päältä (lukuun ottamatta likaiset/laboratoriotilat). Tutkimuksen tuloksia verrattiin keskenään erilaisten ilmanvaihdon käyntiaikojen välillä. Tutkimuksessa ei havaittu selviä tai yhteneviä vaikutuksia työympäristön muuttujiin tai käyttäjien ($n=519$) kokemuksiin oireisiin eri tutkimusjaksojen ja tutkittavien rakennusten välillä ($n=2$). Tutkimuksen tulosten mukaan ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä ei saavuteta selvää etua verrattaessa tilannetta yöaikana vähennettävään ilmanvaihtoon. Huomioitavaa kuitenkin on, että mikäli ilmanvaihtoa pienennetään tai se pysäytetään kokonaan yön ajaksi, ilmanvaihto tulee käynnistää riittävän aikaisin päälle ennen käyttäjien tuloa tiloihin. Tutkimuksessa laskennallisesti määritettiin, että 90 % epäpuhtauksista poistuu, kun tilan ilmatilavuus on vaihtunut kolme kertaa. [26, s.1–6.]

4 Ilmanvaihtojärjestelmät

4.1 Yleistä ilmastointitavoista

Asuinrakennusten yleisimmät ilmastointitavat ovat koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä koneellinen poistoilmanvaihto. Painovoimaista ilmanvaihtoa on toteutettu lukumääräisesti vähän rakennuskannassamme.

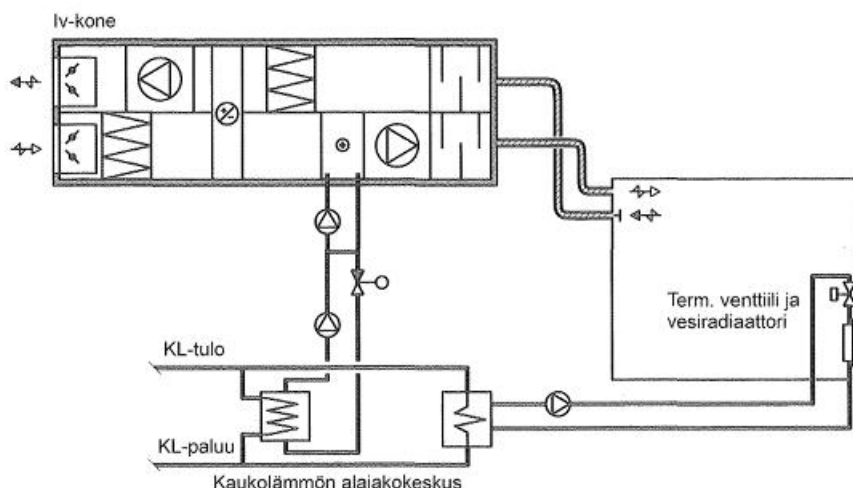
Liike- ja toimistorakennuksissa yleisimmin käytetyt ilmastointitavat voidaan vastaavasti luokitella seuraavasti:

- vakioilmanvaihto
- vakio-ilmavirta-ilmastointi
- ilmastointipalkki-ilmastointi
- puhallinkonvektori-ilmastointi
- muuttuvan ilmavirran ilmastointi

Em. lisäksi liike- ja toimistorakennuksissa on 1960-1970-luvuilla käytetty myös suutin-konvektorijärjestelmiä, joiden tekninen käyttöikä alkaa olla nyt pääosin ohitettu. [6. s. 44]

4.2 Vakioilmanvaihto

Vakioilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on huolehtia sisäilman puhtaudesta sekä lämpöolosuhteista. Järjestelmän keskusyksikkö koostuu suodatuksesta, lämmöntalteenotosta ja lämmityksestä. Järjestelmässä ei ole jäähdytystä. Huonetilojen lämmitys hoidetaan vakioilmanvaihdossa kuitenkin tilakohtaisin lämmityspattereihin. Huonetilojen tulo- ja poistoilmalaitteet sijoitetaan vakioilmanvaihdossa yleensä seinälle tai alakattoon. Kuvassa 2 on esitetty periaatekuva vakioilmanvaihtojärjestelmästä ja järjestelmän osista.



Kuva 2. Vakioilmavaihtojärjestelmän periaatekuva [6, s. 47.]

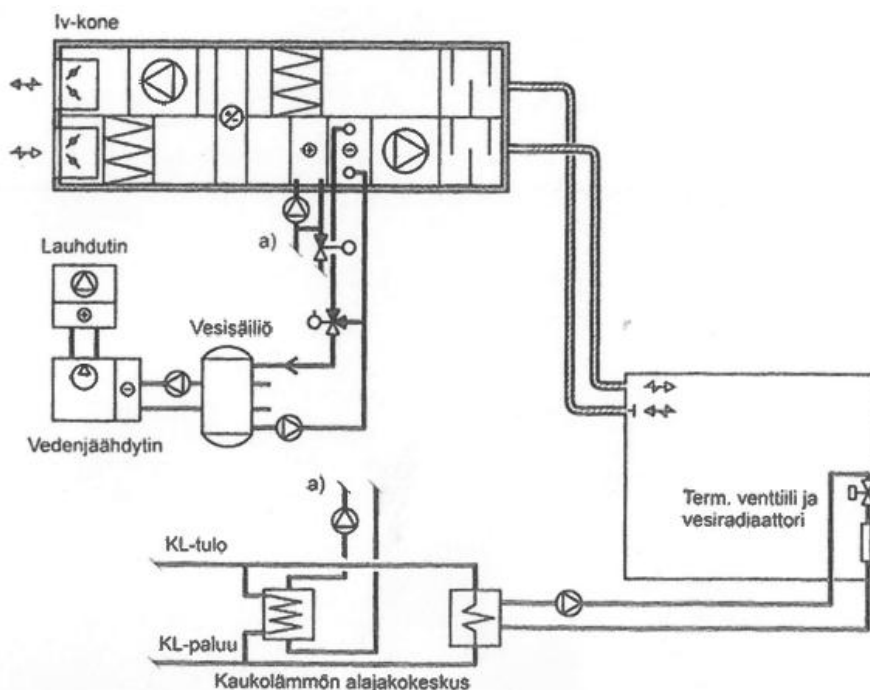
Vakioilmavaihtojärjestelmässä rakennuksen ilmavirrat mitoitetaan huonetilojen käytön tarpeiden mukaisiksi. Vakioilmavaihtojärjestelmän ilmavirtojen mitoituksessa tulee kiinnittää huomiota erityisesti niihin tiloihin, joissa oleskelee jatkuvasti tai ajoittain paljon ihmisiä syntyvän lämpökuorman sekä käyttäjistä syntyvien epäpuhtauksien vuoksi (esim. hiilidioksidi).

Vakioilmavaihtojärjestelmässä haluttu joustavuus ja muunneltavassa voidaan saavuttaa ainakin osittain valitsemalla tulo- ja poistoilmalaitteiden toiminta-alueet riittävän laajoiksi. Vakioilmavaihtojärjestelmä on edullinen perusjärjestelmä ja se soveltuu tiloihin, joissa sisälämpötila saa nousta keväällä ja kesällä korkeaksi, mutta huonosti tiloihin, joissa on runsaita sisäisiä lämpökuormia, suuret ikkunat (jäähdytystarpeen kasvu) tai paljon ihmisiä. Lisäksi talviaikana tilojen käyttäjillä ei ole huonelämpötilan säätömahdollisuutta, muuten kuin termostaattisen patteriventtiilin asetusarvoa muuttamalla. [6, s. 44–47.]

4.3 Vakio-ilmavirta-ilmastointi

Vakioilmavirta-ilmastointijärjestelmässä järjestelmän keskusyksikkö koostuu vakioilmavaihtojärjestelmän tavoin suodatuksista, lämmöntalteenotosta ja lämmityksestä, mutta järjestelmässä on myös jäähdytys. Myös tässä järjestelmässä tilojen lämmitys tapahtuu lämmityspattereilla, mutta tiloja jäähdytetään tarvittaessa viileän tuloilman avulla. Myös

tässä järjestelmässä huonetilojen tulo- ja poistoilmalaitteet sijoitetaan vakioilmavaihdossa yleensä seinälle tai alakattoon. Kuvassa 3 on esitetty periaatekuva vakio-ilmavirta-ilmastointijärjestelmästä ja järjestelmän osista.



Kuva 3. Vakioilmavirta-ilmastointijärjestelmän periaatekuva [6, s. 48].

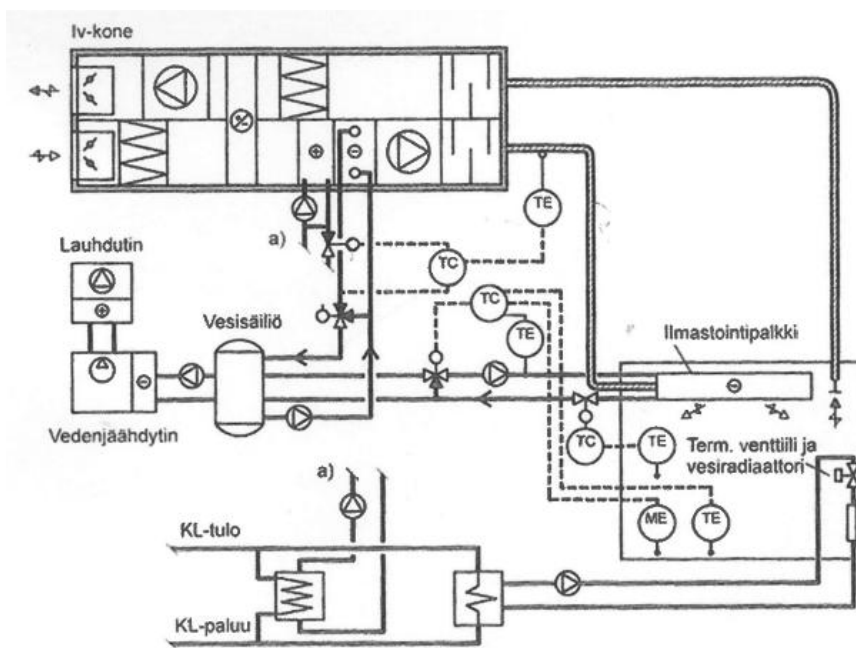
Vakioilmavirta-ilmastoinnin ilmavirrat mitoitetaan yleensä kesäajan jäähdytystarpeen mukaan. Vakioilmavirta-ilmastoinnin joustavuus ja muunneltavuus toteutetaan valitsemalla tulo- ja poistoilmalaitteiden toiminta-alueet riittävän laajoiksi, mutta ilmavirtojen suurentamista rajoittaa huoneen kesäaikainen jäähdytystarve. Ilmastointijärjestelmässä ei ole huonekohtaista säätöä, jolloin huoneta voi jäähtyä liikaa, jos ilmavirtaa suurennetaan liian paljon. Tällaisissa tapauksissa huoneen tuloilmakanavaan voidaan tarvittaessa asentaa jälkilämmityspatteri.

Vakioilmavirta-ilmastointijärjestelmä soveltuu tiloihin, joissa on runsaasti vierekkäin sijaitsevia samankaltaisia tai suuria tiloja. Järjestelmä ei sovellu tiloihin, joiden lämpökuormat poikkeavat toisistaan huomattavasti. Huoneen käyttäjät voivat säästää huonelämpötilaa talvella termostaattisen patteriventtiilin avulla. Jäähdytystilanteessa lämpötilaa säädetään vierekkäisten huoneiden keskimääräisen lämpötilan mukaisesti. Yleensä lämpötila-anturi, joka ohjaa tilojen sisäänpuhallusilman lämpötilaa, sijoitetaan huoneta-

jen yhteiseen poistoilmakanavaan. Tämän lisäksi muutamaan huoneeseen voidaan sijoittaa lämpötila-anturit, joiden mukaan ilmanvaihto käynnistyy työajan ulkopuolella, mikäli huoneiden lämpötila nousee liian korkeaksi. [6, s.48–49.]

4.4 Ilmastointipalkki-ilmastointi

Ilmastointipalkki-ilmastoinnilla saavutetaan korkeatasoinen huonekohtainen ilmastointi. Ilmastointipalkki-ilmastoinnin keskusyksikössä on suodatus, lämmöntalteenotto, lämmitys ja jäähdytys. Lisäksi tilakohtaisiin ilmastointipalkkeihin on yhdistetty jäähdytys ja haluttaessa myös lämmitys. Kuvassa 4 on esitetty periaatekuva ilmastointipalkki-ilmastointijärjestelmästä ja järjestelmän osista.



Kuva 4. Ilmastointipalkki-ilmastointijärjestelmän periaatekuva [6, s. 50].

Tilakohtaisissa ilmastointipalkeissa kiertää kylmä vesi, joka tuotetaan vedenjäähdytyskoneessa. Ilmastointipalkki asennetaan suoraan tilan kattoon tai alakattoon. Sijoitus ilmastointipalkki-ilmastoinnissa on joko tilan seinälle tai alakattoon. Huonetilojen lämmitys toteutetaan yleensä radiaattoreilla.

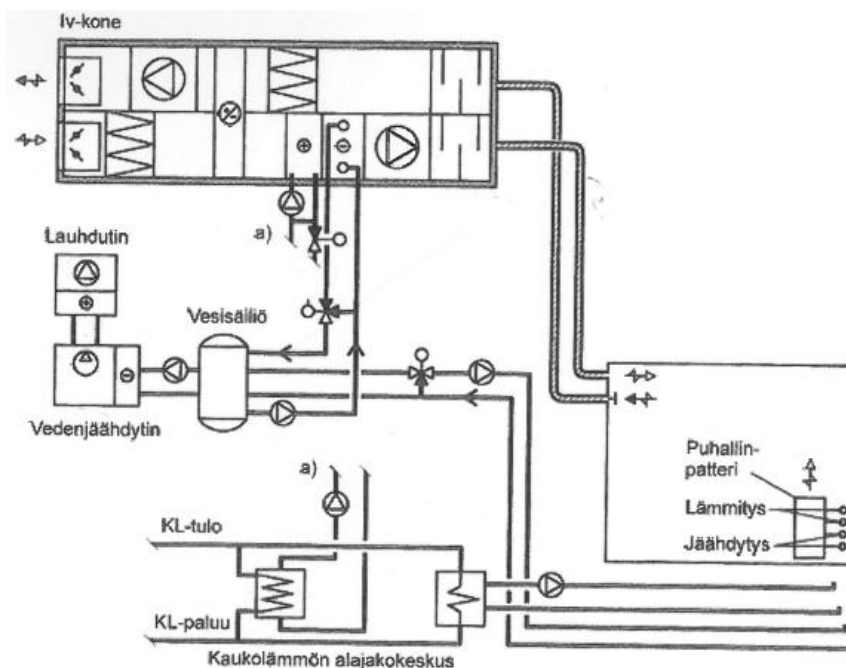
Ilmastointipalkki-ilmastoinnissa huoneen ja jäähdytyspalkin ilmavirta mitoitetaan yleensä huoneen käyttäjien ulkoilmavirran tarpeen mukaisesti. Ilmastointipalkin jäähdytystehon määrittää tilan lämpökuormat sekä tuloilman esikäsittelyaste (kuivatus).

Ilmastointipalkkien etuna voidaan pitää ilmastoinnin joustavuuden saavuttamista. Tilaan palkin kautta tulevaa ilmavirtaa voidaan kohtuullisessa määrin muuttaa. Mikäli tilan jäähdytystehoa halutaan suurentaa, tilaan voidaan asentaa useampia ilmastointipalkkeja.

Ilmastointipalkki-ilmastointi soveltuu hyvin tiloihin, joiden lämpökuormat ovat suuret ja joissa ei tarvita suuria ilmamääriä, kuten toimistohuoneissa. Toimistotilojen ilmastoinnin lisäksi järjestelmä soveltuu hyvin myös mm. liike- ja myymälätiloihin, pankkisaleihin ja hotellihuoneisiin. Huomioitavaa kuitenkin on se, että ilmastointipalkkeja ei saa asentaa kosteisiin tiloihin niiden kondenssivaaran takia. Ilmastointipalkkijärjestelmä soveltuu pienen tilantarpeen vuoksi hyvin myös perusparannus- ja korjausrakennuskohteisiin. Lisäksi ilmastointipalkit eivät vaadi erillistä viemärintiä, mutta tuloilma tulee jäähdyttää [6, s. 50–54.]

4.5 Puhallinkonvektori-ilmastointi

Puhallinkonvektori-ilmastoinnilla voidaan tilakohtainen ilmastointi toteuttaa korkeatasoisesti. Järjestelmän keskusyksikössä ilmastointipalkki-ilmastoinnin tavoin on suodatus, lämmöntalteenotto, lämmitys ja jäähdytys. Puhallinkonvektoreilla hoidetaan tilojen jäähdytys, usein myös lämmitys ja joissakin tapauksissa myös ilmanvaihto. Kuvassa 5 on esitetty periaatekuva puhallinkonvektori-ilmastointijärjestelmästä ja järjestelmän osista.



Kuva 5. Puhallinkonvektori-ilmastointijärjestelmän periaatekuva [6, s. 56].

Puhallinkonvektoreissa kiertävänä jäähdytysnesteinä on kylmä vesi, joka tuotetaan vedenjäähdytyskoneessa. Lämmitystapauksessa puhallinkonvektoreissa virtaa vesikeskuslämmityksen vesi.

Konvektorit asennetaan yleensä tilan ulkoseinälle ikkunapenkkiin (jäähdytys, lämmitys) tai tilan kattoon tai alakattoon jäähdytystapauksessa. Erilliset tulo- ja poistoilmalaitteet asennetaan tilan seinälle tai alakattoon. Konvektorit vaativat lisäksi erillisen kondenssiviemäröinnin.

Puhallinkonvektorijärjestelmässä tilojen ilmavirrat mitoitetaan yleensä huoneen käyttäjien ulkoilmavirtojen mukaisesti. Puhallinkonvektorijärjestelmän jäähdytystehon määrittää tilan lämpökuormat sekä tuloilman esikäsittelyaste (kuivatus).

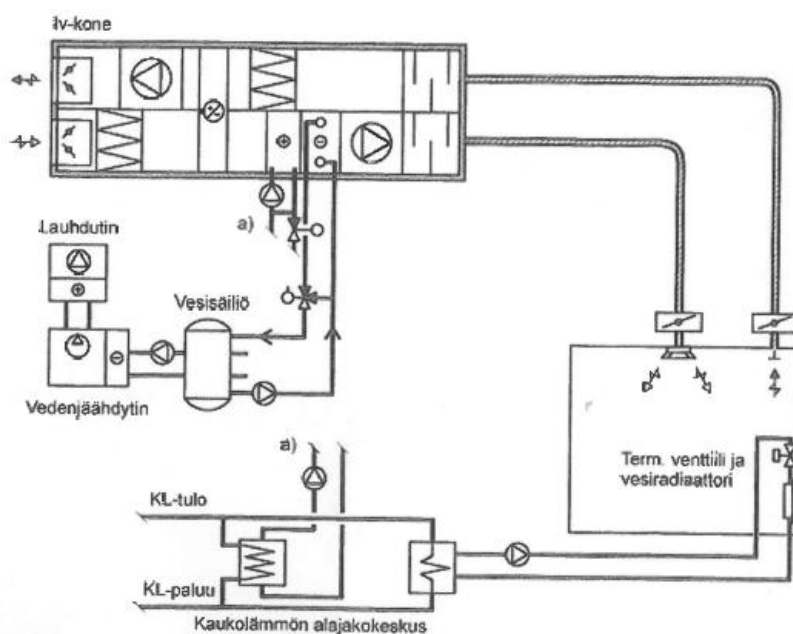
Puhallinkonvektori-ilmastoinnin joustavuus on erittäin hyvä. Huoneen jäähdytystarpeen kasvuun voidaan varautua valitsemalla riittävän suuritehoinen konvektori. Lisäksi ilmanvaihdon joustavuutta voidaan osaltaan parantaa valitsemalla tulo- ja poistoilmalaitteille riittävän laajat toiminta-alueet. Muunneltavuutta lisää myös se, että tarvittaessa konvektoreja voidaan lisätä tilojen todellisen tarpeen mukaan, mikä osaltaan lisää tilojen muuntojoustavuutta.

Puhallinkonvektori-ilmastointi soveltuu hyvin tiloihin, joiden lämpökuormat ovat suuret ja joissa tarvittavat ilmamäärät ovat pienet, kuten toimistohuoneissa ja erityyppisissä teknisissä tiloissa. Puhallinkonvektori-järjestelmä soveltuu hyvin myös mm. liike- ja myymälätiloihin, pankkisaleihin ja hotellihuoneisiin. Huomioitavaa kuitenkin on se, että ilmastointipalkkeja ei saa asentaa kosteisiin tiloihin niiden kondenssivaaran takia, kuten myös ilmastointipalkki-ilmastoinnissakin.

Tilan käyttäjä voi puhallinkonvektori-ilmastoinnissa säätää tilan lämpötilaa kaikkina vuodenaikoina konvektorin säätöyksikön avulla. Lisäksi konvektorin ilmavirtaa voidaan tarvittaessa säätää, jonka avulla tilan lämpötilan muutos saadaan nopeasti aikaiseksi. [6, s. 54–59.]

4.6 Muuttuvan ilmavirran ilmastointijärjestelmä

Muuttuvaimavirtaisella-ilmastoinnilla (MIV-järjestelmä) voidaan saavuttaa korkeatasoinen tilakohtainen ilmastointi. Muuttuvaimavirtaisen-ilmastoinnin keskusyksikkö muodostuu suodattuksesta, lämmöntalteenotosta, lämmityksestä ja jäähdytyksestä. Talvella jäähdytykseen käytetään ulkoilmaa ja kuten em. ilmastointitavoissa. Kesäisin jäähdytysenergia tuotetaan vedenjäähdytyskoneella. Kuvassa 6 on esitetty periaatekuva muuttuvan ilmavirran ilmastointijärjestelmästä ja järjestelmän osista.



Kuva 6. MIV-ilmastointijärjestelmän periaatekuva [6, s. 60].

Muuttuvilmavirtaisessa ilmastointijärjestelmässä järjestelmän huoneyksikköön tuodaan vakiolämpöistä ilmaa, joka on huoneilmaa kylmempää kaikkina vuodenaikoina. Tilojen lämpötilanhallinta tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla, jolloin ilmavirran kasvaessa myös jäähdysteho kasvaa. Jos tilojen kuormitus on erisuuruista, järjestelmän huoneyksikkö varustetaan jälkilämmityspatterilla, jotta sisäänpuhallusilman lämpötila on optimaalinen käyttötarpeeseen nähden. Muuttuvilmavirtaisessa ilmastoinnissa järjestelmän huoneyksiköt asennetaan huonetilaan tai viereisen käytävätilan kattoon. Sisäänpuhallus tapahtuu alakatosta.

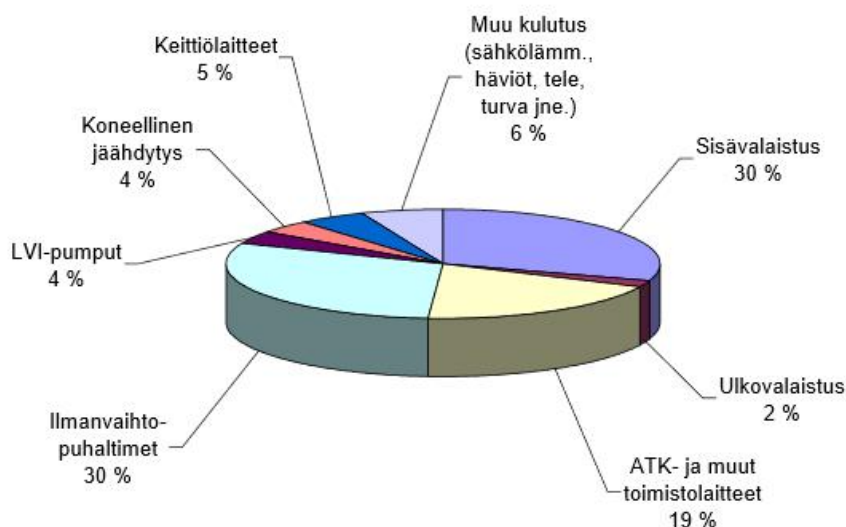
Muuttuvilmavirtainen ilmastointi soveltuu tiloihin, joissa on suuret lämpökuormat ja/tai joissa tarvitaan suuria ilmamääriä. Joustavuutta voidaan parantaa myös valitsemalla tulo- ja poistoilmalaitteet ja ilmavirtasäätimet mahdollisimman laajalla toiminta-alueella. Tyypillistä näille tiloille on myös tilojen suuret kuormitusmuutokset käyttötilanteissa. Muuttuvilmavirta-ilmastoinnin tyypillisimpiä kohteita ovat neuvottelu- ja kokoustilat.

Tilan käyttäjä voi muuttuvilmavirta-ilmastoinnissa säätää tilan lämpötilaa kaikkina vuodenaikoina tilaan sijoitetun säätöyksikön avulla tai huoneen ilmavirtaa voidaan säätää myös huoneilman laadun mukaan -tyypillisimmin sisäilman hiilidioksidipitoisuuden mukaan.

MIV-järjestelmiin voidaan Seppäsen mukaan karkeasti laskea myös sellaiset ilmastointijärjestelmät, joissa tilojen tuloilman määrää ohjataan henkilötunnistimen (esim. läsnäoloanturi), ilmanlaatu-anturin tai kellon avulla. [6, s. 59–60.]

4.7 Energian kulutuksesta erilaisilla ratkaisuilla

Tyypillisen toimistorakennuksen sähköenergian kulutuksesta suurin osa kuluu valaistukseen ja ilmanvaihdon kuluttamaan sähköenergiaan. Reinikaisen luentoaineiston mukaan ilmanvaihdon osuus on noin 30 % koko rakennuksen sähkönkulutuksesta ja LVI-pumput ja koneellinen jäähdytys puolestaan kasvattaa osuutta noin 38 %. Taloteknisten järjestelmien osuus koko kiinteistön sähköenergian kulutuksesta on merkittävä [27, s. 13]. Kuvassa 7 on esitetty toimistorakennukselle tyypillinen energiankulutuksen jakauma.



Kuva 7. Toimistorakennuksen energiakulutuksen jakauma [26, s. 13].

Ilmanvaihtojärjestelmän yhtenä merkittävimpänä sähkökuluttajana voidaan pitää järjestelmän puhaltimia. Puhaltimien sähkökulutukseen vaikuttavat seuraavat tekijät: käyntiaika ja ilmamäärät, puhaltimen paineenkorotus (koneen ja kanaviston häviöt, liittynät) sekä järjestelmän hyötysuhteet (puhallin, moottori, vaihteisto/kiilahihna, puhaltimien säätötapa). [27, s. 24.] Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuteen on kiinnitettävä huomiota jo suunnitteluvaiheessa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.

Taloteknisissä järjestelmissä on nykyisin siirrytty käyttämään säädettäviä sähkömoottoreita mm. pumpuissa ja puhaltimissa. Portaattoman säädettävyyden ansiosta koneellinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa esim. tarpeenmukaisena ilmanvaihtona ja säästää energiaa, kun puhaltimet eivät käy käyttöajan ulkopuolella täydellä teholla tai ne toimivat jaksoittaisella käytöllä.

Energiankäyttöä vähentävien toimenpiteiden tulee olla toteutuskelpoisia, toimivia sekä kustannustehokkaita. Energiatehokkaiden järjestelmävalintojen rinnalla tulee kiinnittää huomiota myös käytönaikaiseen huoltoon ja ylläpitoon. Hyvin suunniteltukin järjestelmä huonosti huollettuna voi lisätä erityisesti puhaltimien sähkökulutusta. Puhdistamattomat/liikaantuneet suodattimet, kanavisto ja lämmöntalteenottolaitteisto voivat aiheuttaa

merkittäviä painehäviöitä, jotka kuormittavat erityisesti puhallinta ja voivat lisätä sen sähkökulutusta. Lisäksi lämmöntalteenoton hyötysuhde voi heikentyä likaantumisen seurauksena sekä vaikuttaa järjestelmän käyttöiän lyhentymiseen. [27, s. 35.]

4.8 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toiminta osateholla.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön mukaan sekä siten, että se luo edellytykset tehokkaalle energian käytölle. Ilmanvaihdon energiatehokkuuden rinnalla tulee myös varmistaa, että tilojen ilmanvaihto on käytön kannalta riittävä tinkimättä terveellisestä ja viihtyisästä sisäilmasta. [15, s. 17.] Ilmanvaihdon energiatehokkuutta voidaan parantaa sisäilman laadusta tinkimättä käyttämällä ilmanvaihtoa todellisen käyttötarpeen mukaan sekä ottamalla talteen lämpöä poistoilmasta lämmöntalteenottolaitteen avulla. Ilmanvaihdon energiatehokkuutta voidaan arvioida laskennallisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 määräysten ja laskentaohjeiden avulla.

Nykyisen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan poistoilmasta on otettava energiaa talteen, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä [28, s. 15]. Energiatehokas lämmöntalteenotto on yksi merkittävimmistä yksittäisistä keinoista rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen vähentämisessä. Nykyrakentamisessa pyritään nykyään siihen, että mahdollisimman vähän tiloista on varustettu pelkällä poistoilmanvaihdolla. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmät pyritään toteuttamaan siten, että lämmön talteenotto on kattava ja sen hyötysuhde on hyvä. Nykyrakentamisessa WC- ja sosiaalityötilojen sekä porrashuoneiden ilmanvaihto pyritäänkin toteuttamaan lämmön talteenotolla varustetuilla tulo-poistoilmakoneilla. Nykyrakentamisessa toimisto- ja liikerakennusten tyypilliset vuosihyötysuhteet ovat tasolla 70–75 %. [27.]

Ilmanvaihtokoneiden ekologista suunnittelua määritellään EU-komission asetuksessa 1253/2014, jonka mukaisesti tulo-poistoilmakoneille on asetettu minimivaatimukset lämmön talteenoton hyötysuhteelle sekä sähkötehokkuudelle (SFP-luku). Asetuksen mukaiset vaatimukset astuvat voimaan vaiheittain vuosina 2016 ja 2018. [30, s. 11.] Taulukossa 6 on esitetty asetuksen 1253/2014 mukaiset lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteiden minimivaatimukset.

Taulukko 4. Komission (EU) asetuksen 1253/2015 mukaiset lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteiden minimivaatimukset v. 2016 ja 2018 [29].

Lämmöntalteenottojärjestelmä	2016 (%)	2018 (%)
Nestekiertoinen järjestelmä	63	68
Muut kuin nestekiertoiset järjestelmät	67	73

Opinnäytetyön yhtenä osana toteutettiin osateholaskelmia yhdessä laitevalmistaja Koja Oy:n kanssa. Laskelmat on suoritettu Koja Oy:n Future ++ laskentaohjelmalla 2 m³/s konekoolla (SFP-luku 1,69 kW/(m³/s), sähkömoottori AC, pyörivä LTO), jota kokoluokkaa myös esimerkkikohteen ilmanvaihkokoneet ovat. Teoreettisten laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Osatehojen vaikutus ilmavirtaan, lämmön talteenoton hyötysuhteeseen ja lämmitystarpeeseen [30].

Tarkasteltava suure	100 %	75 %	50 %	25 %
Ilmavirta (m ³ /s)	2,0	1,5	1,0	0,5
LTO-hyötysuhde (%)	82,4	85,2	88,4	91,9
Lämmitystehon tarve (kW)	27,8	18,4	10,4	4,2

Teoreettisista laskelmista voidaan todeta, että osatehoilla lämmitystehontarve pienenee ja lämmöntalteenoton hyötysuhde paranee pienemmillä osatehoilla. Lämmöntalteenoton hyötysuhde teoriassa paranee pienillä ilmavirroilla aina siihen saakka, kunnes ilmavirtaus muuttuu turbulenttisesta laminaariseksi.

4.9 Ilmanvaihtolaitteiden tekninen minimiteho

Teknisille järjestelmille on määritelty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 sekä EU-komission asetuksessa 1253/2014 vaatimuksia, jotka tulee aina täyttää. Ilmanvaihtolaitteiden osalta vaatimukset ovat seuraavat:

- Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde on oltava vähintään 45 %.
- Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/(m³/s).

- Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 1,0 kW/(m³/s).
- Ilmastointijärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,5 kW/(m³/s).

Ilmanvaihtojärjestelmissä ilmamäärien tulee olla säädettävissä minimi-ilmanvaihdolla. Minimi-ilmamäärän määrittää pääasiallisesti puhallintekniikka. Taajuusmuuttajakäytöllä minimi ilmamääränä voidaan pitää noin 25 % kokonaisilmamäärästä laitevalmistajan mukaan. Tätä pienemmillä ilmamäärillä ilmanvaihdon säätö voi muuttua epävakaa ja ilman jakautuminen kanavistossa muuttuu kanavapaineen laskiessa, mikä osaltaan heikentää ilmanvaihdon tehokkuutta ja tilojen ilmanvaihtuvuutta. Laitevalmistajan mukaan ilmanvaihtuvuutta ei voida kuitenkaan taata kaikissa tiloissa pienillä osatehoilla (25–50 %). [30.]

Ilmanvaihtopuhaltimen valinta tulee suorittaa siten, että puhallin toimii parhaalla hyötysuhdealueellaan mahdollisimman suuren osan toiminta-ajastaan. Jos samanaikaisuuskerron on valittu liian suureksi, ilmanvaihtopuhaltimen toimintapiste sijaitsee huonommalla hyötysuhdealueella ja osatehokuormilla ei saavuteta suunnitelmien mukaisia energiankulutusarvoja. Osatehoilla tulee huomioida, että mm. moottorin hyötysuhde pienenee tehotarpeen pienentyessä ja säätölaitteen (taajuusmuuttaja) hyötysuhde alenee osakuormilla pyörimisnopeussäädössä. [30.]

5 Jaksoittainen ilmanvaihto

5.1 Yleistä

Useimmissa toimisto- ja virastorakennuksissa tilojen täysimääräinen kuormitus aika ei ole ympärivuorokautista. Tilojen käyttö rajoittuu tiloissa virka-aikaan pienin työajan liukumin (liukuma-aika noin yhdestä kahteen tuntia virka-ajan ulkopuolella). Tästä syystä joissakin rakennuksissa yleisilmanvaihtoa vähennetään virka-ajan ulkopuolella tai pysäytetään kokonaan (hygieniapoistot päällä). Ilmanvaihtoa vähennettäessä koneiden sähköteho pudotetaan yleensä puoleen. Yleinen käytäntö on, että ilmanvaihdon tehoa vähennetään muutamaksi tunniksi ennen täydellistä pysäytystä. Aamulla ennen työntekijöiden saapumista koneet käynnistetään noin 2 tuntia ennen töiden alkua.

5.2 Esimerkkirakennuksen ilmanvaihtojärjestelmät ja automaatio

Opinnäytteen esimerkkikohde on julkinen toimisto- ja palvelurakennus, joka sijaitsee Kuopion keskustassa. Rakennuksessa on neljä kerrosta; pohjakerros ja kolme maanpäällistä kerrosta. Kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, joka on peruskorjattu vuonna 2010.

Esimerkkikohteen ilmanvaihtokojeet ovat pääasiassa koteloituja kammiopuhaltimin varustettuja tehdasvalmisteisia pakettikoneikkoja. Ilmanvaihtokoneissa suoritetaan ilman-suodatus, poistoilman lämmöntalteenotto (pyörivä LTO- tai levylämmönsiirrin), jäähdytys ja lämmitys. Likaisten tilojen poistoilma johdetaan erilliskanavana vesikatolle. Tekniset tilat ja hissikonehuoneet on toteutettu erillisillä poistoilmapuhaltimilla. Esimerkkikiinteistö on jaettu ilmastoteknisesti eri vyöhykkeisiin/palvelualueisiin. Perusjakona on yksi ilmanvaihtokone rakennuksen joka siivellä.

Toimistotilojen ilmanvaihto on liitetty osaksi Are Sensus® -järjestelmää, jonka avulla toimistohuoneiden lämmitys ja jäähdytys tapahtuu kattoon asennettavilla Sensus-paneeleilla. Lämmitys- ja jäähdytystarpeesta riippuen paneeleissa kiertää tarpeen mukaan joko viileä tai lämmin vesi. Järjestelmän etuna on mahdollistaa tilojen hyvä muunneltavuus ja korkeatasoiset työskentelyolosuhteet. Järjestelmän tarkoituksena on hyvien sisäolosuhteiden saavuttamisen lisäksi alentaa energiankulutusta perinteisiin järjestelmiin verrattuna.

Esimerkkirakennuksen asiakaspalvelu- ja toimistotilojen yleisilmanvaihto on toteutettu jaksottaisena ilmanvaihtona virka-ajan ulkopuolella. Virka-ajan ulkopuolella yleisilmanvaihto ja erillispoistot pysäytetään aikatauluohjatusti. Esimerkkikohteen kellarikerroksen ilmanvaihto (sosiaali- ja WC-tiloja) toimii vuorokauden ympäri ja pakolliset poistot ovat päällä minimiteholla. Yöaikana toimisto- ja palvelutilojen ilmanvaihtoa käytetään päällä ns. tuuletustoiminnolla klo 23.00–23.30 ja 02.00–02.30. Esimerkkikiinteistön yleisilmanvaihto käynnistyy klo 04.30 noin kolme tuntia ennen käyttäjien tuloa rakennukseen. Virka-ajan päätyttyä tilojen yleisilmanvaihto on päällä klo 17.00 saakka, jonka jälkeen se pysäytetään. Aikatauluohjauksen ulkopuolella käyttäjät voivat käynnistää yleisilmanvaihdon lisäaikapainikkeesta halutulle teholle käyttäjän itsensä määrittämäksi ajaksi (lisäaikakäyttö).

Esimerkkikiinteistössä on käytössä yötuuletus, jonka avulla ilmanvaihto käynnistyy myös yöaikana tilojen jäähdyttämiseksi ja sisäilmaston parantamiseksi. Yötuuletuksen käynnistysehdot esimerkkikiinteistössä ovat seuraavat:

- Kello on välillä 00.00–07.00.
- Ulkolämpötila on yli yötuuletusrajan +12 C.
- Huonelämpötila on yli mukavuusylärajan +23 C.
- Huonelämpötila on vähintään 3 C korkeampi kuin ulkolämpötila.
- Kojeet eivät käy normaalia aikaohjelman mukaista käyttöä.

Esimerkkikiinteistön yleisilmanvaihto ei toimi jaksottaisen ilmanvaihdon mukaisella aika-
tauluohjauksella, mikäli tilojen yötuuletustoiminnon mukaiset käynnistysehdot täyttyvät.

5.3 Näkökulmia toimitilojen ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluun

Opinnäytteen yhtenä osana oli kerätä käyttökokemuksia ja tietoa jaksottaiseen ilmanvaihtoon liittyen sekä toimitilojen ilmanvaihdon toteutukseen liittyen. Opinnäytteen yhtenä osana haastateltiin (sähköpostitse) Are Oy:n suunnittelupäällikkö Heikki Mäkeä, joka oli mukana esimerkkikohteen LVIAJ-suunnittelussa. Mäen mukaan toimitilarakentamisessa voitaisiin suosia entistä enemmän ilmanvaihdon keskitettyjä ratkaisuja. Keskuskonejärjestelmissä on vähemmän tekniikkaa, huoltokohteita ja huolto voidaan toteuttaa häiritsemättä rakennuksen käyttäjiä. Keskuskonejärjestelmissä myös tilan tarve on usein pienempi, joka osaltaan voi lisätä toimitilojen vuokrattavien neliöiden määrää verrattaessa toteutusta hajautettuihin järjestelmiin.

Ilmanvaihtojärjestelmien ulkokanavia voidaan pitää aina kosteusriskinä (sade- ja sulamisvedet, sisäilman kondenssi kanavan pintaan) ja keskuskonejärjestelmissä tämä riski on hallinnassa ilmanvaihtokonehuoneissa. Hajautetuilla järjestelmillä vastaava kosteusriski voi pahimmillaan olla eri puolilla kiinteistöä. Lisäksi laskennallisesti on osoitettu, että keskuskonejärjestelmä on taloudellisempi kuin monta pientä yksikkökonetta.

Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla keskusonejärjestelmällä voidaan ilmavirtoja säätää tiloittain ja vyöhykkeittäin tarpeen mukaan siinä kuin hajautetullakin järjestelmällä. Koko rakennuksen muunneltavuus on keskitetyllä parempi, sillä suuren koneen kapasiteetti on käytettävissä kaikkialla koneen palvelualueella. Keskitetyissäkin ratkaisuissa on kuitenkin omat rajansa. Mäen (2016) mukaan 4–6 m³/s suuret ilmanvaihtokoneet ovat optimaalisen kokoisia, jolloin myöskään ilmanvaihtokanavat eivät kasva liian suuriksi. Pääasiassa konekokoon eniten vaikuttaa rakennuksen arkkitehtuuri ja tilojen käyttötarkoitukset.

Nykyään toimistoihin tehdään usein oma ilmanvaihtokone sosiaalituloille (WC:t, siivouskomerot, sosiaalitulat). Koneita käytetään yöllä useimmiten puolella nopeudella, jolloin ilmanvaihtokoneiden levylämmönsiirrin (LTO) toimii vielä hyvin. Ilman vaihtuvuus voidaan arvioida riittäväksi, jos ilma puhalletaan toimistojen käytäviin tai auloihin, toimistotilojen ovet eivät ole kiinni ja ilma poistetaan WC-tilojen kautta. Toimistorakennuksissa WC-tilat ovat kuitenkin monesti ainakin osittain erotettuja toimistotiloista (esim. ovilla erotetut aulatilat) ja toimistohuoneiden ovet pääsääntöisesti pidetään suljettuina käyttöajan ulkopuolella, jolloin tilojen ilmanvaihtuvuus ei todennäköisesti täyty. Erillisiä laskelmia, siitä, täyttyvätkö rakentamismääräykset ilmanvaihtuvuuden osalta, tehdään harvoin. Kun yöaikainen ilmanvaihto toteutetaan em. tavalla, ilmanvaihto ottaa korvausilman ilmavuotokohtien kautta ja voi näin lisätä sisäilman epäpuhtauksien määrää tiloissa (epäpuhtaudet rakenteista tai ulkoa) ja osaltaan on energiansäästön kannalta toimimaton ratkaisu. [31.]

5.4 Havainnot järjestelmän toiminnasta, käyttökokemukset ja esimerkkikiinteistössä suoritettut mittaukset sekä jaksottaisen ilmanvaihdon käytön edut ja käyttöön liittyvät suositukset

Opinnäytteen teossa on hyödynnetty esimerkkikiinteistön LVI-suunnitteluasiakirjoja, kiinteistössä aiemmin tehtyjä mittauksia sekä tehty henkilöhaastatteluja (laitevalmistaja, suunnittelupäällikkö, kiinteistön omistajan edustaja). Käyttökokemukset, havainnot järjestelmän toiminnasta sekä suoritettut mittaukset perustuvat esimerkkikiinteistöstä saatavilla oleviin tietoihin, joihin opinnäytteessä esitetyt suositukset ilmanvaihdon jaksottaiselle käytölle pohjautuvat.

5.4.1 Esimerkkikiinteistössä suoritettut paine-eromittaukset

Opinnäytetyön esimerkkinä toimivan toimistorakennuksen painesuhteita on mitattu tallentavilla mittalaitteilla vuosien 2013–2016 aikana. Mittauksia on suoritettu kiinteistössä Are Oy:n wAREless-seurantamittauksina sekä Asikaisen tekemän rakennusterveysasi-
antuntijakoulutuksen lopputyönä [20].

Taulukossa 6 on esitetty Are Oy:n suorittamien paine-eromittausten tulokset vuosilta 2013–2016 aikajärjestyksessä vanhimmasta uusimpaan esimerkkikiinteistössä ja taulukossa 7 on Vesa Asikaisen suorittamat paine-eromittaukset esimerkkikiinteistössä vuodelta 2013.

Taulukko 6. Tallentavilla mittalaitteilla mitatut paine-erot (Pa) ulkovaipan yli mittausjaksoittain. Mittaustuloksissa on esitetty mittausjakson minimi- ja maksimiarvo. Mittausten suoritus Are Oy.

Mittausjakso	Mittausjakson min-max. (Pa)
20.-26.3.2013	-20...-8
4.4.-8.4.2013	-20...-8
10.-17.5.2015	-5...0
26.2.-2.3.2016	-9...-3
2.3.-14.3.2016	
1.-2. kerros	-13...3
3. kerros	-5...2

Taulukko 7. Tallentavilla mittalaitteilla mitatut paine-erot (Pa) ulkovaipan yleisilmanvaihdon ollessa päällä tai ollessa pois päältä sekä paine-eromittausten mediaani tiloittain. Mittausten suoritus Vesa Asikainen, Envimetria Oy.

Mittausjakso 16.-24.10.2013	Yleisilmanvaihto päällä (Pa)	Yleisilmanvaihto pois päältä (Pa)
Tila 1	-22...10*	-41-9*
	-5...13**	-6-11**
Mediaani	-2* 0**	-18* 0**
Tila 2	-18...10*	-50-36*
	-34...5**	-26-5**
Mediaani	-2* -5**	-20* -5**
Tila 3	-13...22*	-39-7*
	-22...17**	-39-17
Mediaani	-2* -9,5**	-22* -6**

*Ennen ilmanvaihdon säätöä **Ilmanvaihdon säädön jälkeen *** Mediaani säädön jälkeen

Esimerkkikiinteistön painesuhteita ulkovaipan yli on tarkasteltu yhteensä viitenä eri ajan-kohtana saatavilla olleen aineiston mukaan. Mittaustulosten perusteella vuonna 2013 havaittiin, että tilat olivat voimakkaasti alipaineiset (8–20 Pa) päivä- ja yöaikaan. Tilojen ilmanvaihdon ilmamääriä säädettiin saman vuoden aikana ja painesuhteiden muutoksia mitattiin tallentavilla mittalaitteilla ennen säätötyötä ja säätötyön jälkeen (mittaustulokset taulukko 7). Ennen ilmamäärien säätöä mitattujen tilojen paine-erot ulkoilmaan nähden olivat pääsääntöisesti voimakkaasti alipaineiset ja paine-erot vaihtelivat suuresti mit-tausjakson aikana (ali- ja ylipaineisuutta). Paine-eromittausten mediaanit yleisilmanvaihdon ollessa päällä tai poissa päältä erosivat toisistaan merkittävästi ennen ilmanvaihdon säätöä. Ennen säätöä tehtyjen mittaustulosten perusteella tilat olivat voimakkaasti ali-paineisemmat yleisilmanvaihdon ollessa poissa päältä, kun paine-eroa tarkastellaan paine-eromittausten mediaanin avulla. Ilmanvaihdon säädön jälkeen paine-eromittausten mediaanien erot ovat samaa kertaluokkaa ja hyvin lähellä toisiaan, tilojen ollen noin 5–9,5 Pa alipaineiset ulkoilmaan nähden. Myös vuosina 2015–2016 tehtyjen paine-eromittausten tulokset ovat keskimäärin samansuuntaiset. Ilmamäärien säätötyön jälkeen

tilojen painesuhteet ulkoilmaan nähden ovat olleet lievästi alipaineiset eikä mittaustulosten perusteella ole nähtävissä selkeää alipaineistumista yleisilmanvaihdon ollessa poissa päältä yö- ja viikonloppuaikoina. Saatavilla olevien mittaustulosten perusteella esimerkkikiinteistön paine-erot ulkoilmaan nähden ovat pääosin määräysten ja suositusten mukaisia eikä yö- ja päiväajan mittaustuloksissa ole merkittävää eroa yleisilmanvaihdon ollessa päällä tai sen ollessa jaksoittaisella käytöllä.

5.4.2 Yleisilmanvaihdon jaksottainen käytön vaikutus rakennuksen energiankulutukseen

Jaksoittaisella ilmanvaihdolla voidaan päästä alhaisempaan energiankulutukseen osatehokäyttöön tai pakollisiin hygieniapoistojen päällä pitoon verrattuna pääasiassa ilmanvaihdon käyntiaikojen optimoinnilla. Taulukossa 8 on esitetty laatimani käyttöajan ulkopuolisten ilmanvaihtotapojen vertailu (käyttöajan ulkopuolinen käyttö arkisin klo 17.00–07.00, ei viikonloppukäyttöä).

Taulukko 8. Ilmanvaihdon käyntiaikojen ja lämmöntalteenoton käytön vertailu käyttöajan ulkopuolella jaksottaisella ja osatehokäytöllä sekä pakollisten hygieniapoistojen ollessa päällä.

Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihtotapa	Yleisilmanvaihdon käyntitunnit (klo 17.00–07.00)	Poistoilman lämmöntalteenoton käyttö	Erillispoistojen käyttö
Jaksoittainen käyttö (100 %)	(1–2 h) + (2–3 h)*	On	3–5 h
Pakolliset hygieniapoistot päällä, yleisilmanvaihto pois päältä	0 h	Ei	14 h
Osatehokäyttö (25-75 %)	12+2 h**	On	14 h

*Tuuletusjakso+ yleisilmanvaihdon käynnistys ennen tilojen käyttäjiä

**12 h osatehokäytöllä, yleisilmanvaihdon käynnistys 100 % teholle ennen tilojen käyttäjiä

Jaksoittaisessa ilmanvaihdossa käyntijaksojen välissä ei kulu energiaa, sillä yleisilmanvaihto on sammutettu käyttöajan ulkopuolella lukuun ottamatta tuuletusjaksoja. Tuuletusjaksojen aikana ilmanvaihto käynnistetään 100 %:n teholle, mutta tuuletusjakson pituus on lyhyt ja tällöin myös poistoilman lämmöntalteenotto on käytössä. Pelkästään pakollisten hygieniapoistojen ollessa päällä tilojen yleisilmanvaihto on poissa päältä merkittävän osan käyttöajan ulkopuolisena aikana ja poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen

(lämmöntalteenotto ei käytössä), mikä osaltaan heikentää rakennuksen energiatehokkuutta. Vastaavasti osatehokäytöllä sähkö- ja lämmitysenergiaa kuuluu käyttöajan ulkopuolella laitteiden ollessa toiminnassa, vaikkakin pienemmillä tehoilla. Osatehokäytön ja jaksoittaisen käytön käyntijaksojen pituudet poikkeavat merkittävästi toisistaan, kuten taulukossa 8 on esitetty.

Opinnäytteen esimerkkirakennuksen puhallinsähkön yö- ja viikonloppu osuutta tarkasteltiin neljän tulo- ja poistoilmakoneen palvelualueilla, kun ilmanvaihto toteutetaan jaksoittaisella käytöllä. Laskentaesimerkki pohjautuu Heikki Mäen (Are Oy) laatimaan laskentataulukon ja laskelmassa on käytetty esimerkkikohteen suunnitteluasiakirjojen mukaisia arvoja sekä nykyistä käyntiaikaprofiilia. Puhallinsähkön yö- ja viikonlopun osuus verrattuna päiväaikaan osuuteen puhallintehojen ollessa 25–100 % on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Puhallinsähkön yö- ja viikonlopun osuus verrattuna päiväaikaan osuuteen, kun ilmanvaihto toteutetaan jaksoittaisella käytöllä.

Palvelualue	Mitoitusilmavirta 100 % (l/sm ²)	SFP-luku (kW/m ³ /s)	Yö- ja viikonlopun puhallinsähkön osuus päiväkäytöstä (%)			
			100 %	75 %	50 %	25 %
TK/PK, Toimisto, Itä	2,2	1,97	10	6	3	1
TK/PK, Toimisto, Etelä	3,5	2,21	6	4	2	1
TK/PK, Toimisto, Länsi	2,2	2,31	10	6	3	1
TK/PK, Toimisto, Pohjoinen	2,6	2,14	9	5	3	1

Esimerkkikohteen yö- ja viikonlopun (jaksoittaisen käytön aika) puhallinsähkön osuus on tehtyjen laskelmien mukaan noin 6–10 % verrattaessa sitä esimerkkikohteen päiväkäyttöön (yleisilman jatkuva käyttö työaikoina). Euromääräinen säästö puhallinsähkössä on noin 60–100 €/vuosi/ilmanvaihtokone (sähkön hinta laskelmissa 0,09 €/kWh). Sähköenergian säästöä ei esimerkkilaskelmassa ole arvioitu järjestelmän muiden laitteiden osalta, mutta niiden osuus osaltaan kasvattaa säästetyn sähköenergian määrää. Tehdyissä laskelmissa ei ole myöskään huomioitu lämmitysenergian säästöä jaksoittaista

ilmanvaihtoa käyttämällä. Puhallinsähkön yö- ja viikonlopun osuus verrattuna päiväaikaiseen osuuteen, kun käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto toteutetaan ilmanvaihtokoneen jaksoittaisella käytöllä esimerkkirakennuksessa.

Esimerkkikohteen sähkö- ja lämmitysenergian kulutusta on seurattu niin kuukausi- kuin vuosikulutuksen osalta. Jaksottaisen ilmanvaihdon käytöllä on todettu olevan vaikutusta rakennuksen sähkö- ja lämmitysenergian kulutuksen alentumiseen esimerkkirakennuksessa työn tilaajalta saadun tiedon mukaan. Työn tilaajalta saadun tiedon mukaan, esimerkkikiinteistön osalta säästöä on syntynyt erityisesti sähköenergiankulutuksen alentumisella (sähköenergian korkeampi hankintahinta ja lämmöntalteenoton käyttö).

5.4.3 Yleisilmanvaihdon jaksottaiseen käyttöön liittyvät suositukset ja parannusehdotukset

Uudis- ja peruskorjauskohteiden ilmanvaihtoa pidetään Senaatti-kiinteistöjen omistamissa rakennuksissa tehostetusti toiminnassa ensimmäisen vuoden ajan rakennustöiden valmistumisen jälkeen. Ensimmäisen vuoden ilmanvaihdon jatkuva käyttö on myös kirjattu Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaisesti suosituksiin. Toimenpiteen tarkoituksena on vähentää uuden kohteen pinnoitteista ja kalusteista vapautuvia materiaaliemissioita sisäilmaan.

Ensimmäisen vuoden jälkeen rakennuksen yleisilmanvaihto voidaan toteuttaa jaksoittain käyttöajan ulkopuolella rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti. Yleisilmanvaihdon jaksottaisessa käytössä on kuitenkin huomioitava, että yleisilmanvaihto käynnistetään riittävän aikaisin ennen tilojen käyttäjien saapumista rakennukseen. Sisäilmayhdistys ry:n suosituksen mukaan yleisilmanvaihto on käynnistettävä vähintään kaksi tuntia ennen tilojen käyttäjien tuloa rakennukseen. Esimerkkikiinteistössä suositus tämän osalta täyttyy ja yleisilmanvaihto käynnistyy tällä hetkellä noin kolme tuntia ennen työntekijöiden saapumista tiloihin.

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihtuvuus toimistorakennuksissa on oltava vähintään 0,2 1/h. Taulukossa 10 on esitetty esimerkkikohteen toimistotilojen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihtuvuus, kun yleisilmanvaihto toimii jaksoittain.

Taulukko 10. Esimerkkikohteen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihtuvuus ilmanvaihdon palvelualueittain.

Palvelualue	Pinta-ala (m ²)	Tilavuus (m ³)	Ilmamäärä (m ³ /h)	Ilmanvaihtuvuus (1/h)
Toimisto, itä	890,7	2226,75	6480	0,2
Toimisto, länsi	1264,2	3160,5	9000	0,2
Toimisto, pohjoinen	897,5	2243,75	8280	0,3
Toimisto, etelä	822,6	2056,5	10440	0,4

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukainen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihtuvuus 0,2 1/h täyttyy esimerkkikohteen toimistotilojen eri ilmanvaihdon palvelualueilla yleisilmanvaihdon jaksoittaisella käytöllä tehtyjen laskelmien mukaan, ilmanvaihtuvuuden ollessa 0,2–0,4 1/h ja käyttöajan ulkopuolella olevien tuuletusjaksojen pituus on yhteensä yksi tunti (käyttöajan ulkopuolinen aika 12 h).

Tilojen ilmanvaihtuvuutta käyttöajan ulkopuolella voidaan parantaa ja mahdollisten epäpuhtauksien kertymistä sisäilmaan minimoida yön aikana tehtävien tuuletusjaksojen avulla, jolloin toimistorakennuksen yleisilmanvaihto käynnistetään normaalia käyttöä vastaavaksi tiettyinä ajanjaksoina ja ajaksi (yleisilmanvaihdon aikatauluohjaus). Esimerkkikohteen nykyisellä aikatauluohjauksella tuuletusjakson pituudeksi on määritetty 0,5 h ja tuuletusjaksoja on arkisin kaksi kappaletta käyttöajan ulkopuolella. Laittevalmistajan ja suoritettujen haastattelujen perusteella ilmanvaihdon jaksoittaisen käytön tuuletusjakson minimi-aikarajana voitaisiin pitää yhtä tuntia, jonka aikana yleisilmanvaihto toimisi tilojen normaalia käyttöä vastaavalla teholla (100 %). Esimerkkikohteen osalta tuuletusjaksoja voitaisiin pidentää käyttöajan ulkopuolella siten, että tuuletusjaksoja olisi käyttöajan ulkopuolella kaksi kappaletta ja tuuletusjakson pituus olisi yksi tunti. Tuuletusjakson ollessa liian lyhyt ilmanvaihtojärjestelmän säätö (huojuntaa, kanaviston tasapainottuminen) ei saavuta haluttua tasoa ja tilojen ilmanvaihtuvuus ei tuuletusjakson aikana ole optimaalinen.

Senaatti-kiinteistöt kerää sisäilmapalautetta kohteistaan järjestelmällisesti. Esimerkkikohteen osalta ilmanvaihdon jaksoittaiseen käyttöön liittyvää sisäilmapalautetta ei ole saatu. Tilojen ilmanvaihtuvuutta ja ilmanvaihdon riittävyyden hyvänä yleismittarina voidaankin pitää käyttäjien aistittavissa olevaa ilman laatua. Yleisten käyttökokemusten perusteella viikonlopun jälkeistä aamukäynnistystä voitaisiin varhentaa, jolloin yleisilmanvaihto käynnistyisi esimerkiksi yhden tunnin aiemmin kuin muina arkipäivinä (3 tuntia

ennen käyttäjiä). Tilojen hyvän sisäilman laatu voidaan saavuttaa siten, että ilmanvaihtokoneet käynnistettään riittävän aikaisin ennen kuin käyttäjät saapuvat tiloihin. Ilmanvaihdon käynnistysaikoja voidaan tarvittaessa säätää pidemmiksi esimerkiksi käyttäjäpalautteen perusteella. Taulukossa 11 on esitetty malli käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon aikatauluohjaukselle, jossa on huomioitu tuuletusjaksojen pidennys esimerkki-kiinteistön nykyiseen aikatauluohjaukseen verrattuna.

Taulukko 11. Esimerkki-kiinteistön aikatauluohjelma arkipäivisin huomioiden tuuletusjakson pidentäminen 1 tuntiin ja maanantain varhennettu yleisilmanvaihdon käynnistyminen.

Viikontäpäivä	Yleisilmanvaihdon käyntiajat	Jaksottainen käytön (100 %) käyntiajat
ma	4.00–17.00	21.30–22.30 00.30–01.30
ti-pe	4.30–17.00	21.30–22.30 00.30–01.30

Esimerkki-kiinteistön osalta olisi käyntiaikojen lisäksi hyvä myös jatkossa selvittää pääosin kesäaikana toimivan yötuuletuksen tarpeellisuutta. Ilmanvaihdon yötuuletuksen tarkoituksena on viilentää tiloja lämpiminä ajankohtina. Yötuuletuksella käytetään monin paikoin Senaatti-kiinteistöjen tiloissa. Haastattelujen perusteella yleisilmanvaihdon ja tarvittaessa jäähdytyksen riittävän aikaisella käynnistyksellä voidaan tilojen sisäilman olosuhteet hallita riittävästi myös lämpiminä vuodenaikoina eikä sillä nähdä olevan merkittävää vaikutusta rakennusten energiankulutukseen verrattaessa sitä yötuuletuksen käyttöön. Esimerkki-kiinteistössä yötuuletuksen korvaaminen yleisilmanvaihdon riittävän aikaisella käynnistyksellä voisi myös parantaa ilmanvaihdon toimivuuden ja valvonnan seuraamista (automaation päällekkäiset logiikat. Yötuuletuksen toiminnasta ei myöskään ole täyttä varmuutta, koska ohjaustavat vaihtelevat kohteittain).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa pitämällä hygieniatilojen ilmanvaihtoa jatkuvasti päällä tai ilmanvaihdon jaksoittaisella käytöllä. Rakentamismääräyskokoelman mukaan rakennuksen ulkoilmavirta tulee olla käyttöajan ulkopuolella vähintään 0,15 l/s/m². Yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö mielestäni soveltuu tiloihin, joissa ei muodostu käytön aikana merkittäviä epäpuhtauksia tai poikkeavan suurta kosteuslisää. Tästä johtuen yleisilmanvaihdon

jaksoittainen käyttö soveltuu erityisesti toimistorakennuksiin niin rakennuksen käytön kuin käyttöaikojen vuoksi. Jaksoittaisen käytön hyötynä voidaan myös pitää sitä, että tilakohtaiset ilmamäärät saavutetaan tuuletusjakson aikana (100 % teho), mikäli rakennuksen ilmamäärät on mitoitettu ja ilmanvaihto on säädetty oikein. Ilmanvaihdon osatehokäytöllä tehtyjen haastattelujen sekä saatavilla olevan teoretiedon perusteella, kaikkien tilojen riittävää ilmanvaihtuvuutta ei välttämättä saavuteta pienillä osatehoilla, mikä osaltaan voi vaikuttaa tilojen käytönaikaiseen sisäilman laatuun (aamut). Esimerkkikiinteistöissä sisäilman laatua hallitaan myös yleisilmanvaihdon riittävän aikaisella käynnistyksellä ja yöajan tuuletusjaksoilla. Tuuletusjaksot (100 % teho, ilmanvaihtuvuus kaikissa tiloissa käytön aikaisella tasolla) ja riittävän aikainen aamukäynnistys (100 % teho, vähintään 2 tuntia ennen käyttäjiä) osaltaan voivat parantaa tilojen koettua sisäilman laatua verrattaessa sitä käyttäjien ulkopuoliseen ilmastointiin osatehokäytöllä tai erillispoistojen päällä pitoon.

Mikäli rakennuksessa halutaan siirtyä käyttäjien ulkopuolella yleisilmanvaihdon jaksoittaiseen käyttöön, rakennuksen paine-erot tulee mitata ulkovaipan yli esimerkiksi tallentavilla mittalaitteilla riittävässä laajuudessa (korkeissa rakennuksissa kerroskohtaisesti) ja mittaustulosten edustavuuden ja tulkinnan varmistamiseksi. Mikäli mittausten perusteella rakennuksen painesuhteissa ei tapahdu merkittäviä muutoksia (ali- tai ylipaineistumista) käyttäjien ja käyttäjien ulkopuolisen ajan osalta ja rakennuksen painesuhteet ulkoilmaan nähden ovat hyvällä tasolla, yleisilmanvaihto voidaan toteuttaa yleisilmanvaihdon jaksoittaisella käytöllä. Vastaavasti osatehokäytöllä ulkovaipan yli mitattavan paine-eron lisäksi tilojen ilmanvaihtuvuus suositellaan varmistettavaksi esimerkiksi ilmamäärämittauksin tai laskennallisesti mallintamalla (huomioiden kanavapaineen ja mahdollisten kertavastusten muutokset), sillä pienillä osatehoilla tilakohtaisissa ilmamäärissä voi tapahtua merkittävää alenemista tai osan tilojen ilma ei vaihdu osatehokäytöllä riittävästi.

6 Pohdinta

Viime vuosina on käyty runsaasti keskustelua yleisilmanvaihdon jaksoittaisesta käytöstä niin tilojen käyttäjien kuin ilmanvaihdon asiantuntijoiden sekä kiinteistön omistajien välillä. Rakennusten ilmanvaihto on yksi merkittävimmistä rakennusten energiankuluttajista

ja tästä johtuen yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö tai ilmanvaihdon käyttö osatehoilla on hyvin yleistä rakennuksissa, jotka ovat osan aikaa käyttämättä tai tilojen käyttöprofiili painottuu voimakkaasti tiettyihin aikoihin vuorokaudesta tai esimerkiksi arkipäiviin.

Rakennusten energiatehokas ilmanvaihtojärjestelmä on riippuvainen järjestelmän suunnittelusta, toteutuksesta sekä käytön aikaisesta ylläpidosta. Ilmanvaihdon lämpö- ja sähköenergian kulutukseen vaikuttavat mm. tilojen ilmamäärät, käyttöajat, ilman lämpötila sekä laitteiden hyötysuhteet. Jaksoittaisen yleisilmanvaihdon käytöllä ilmanvaihdon energiankulutusta vähennetään rajoittamalla tilojen yleisilmanvaihto käyttöajan ulkopuolella. Sähkö- ja lämpöenergiaa säästyy osatehokäyttöön nähden, kun tilojen ilmaa vaihdetaan tarvittava määrä tilojen ollessa käytössä ja käyttöajan ulkopuolisena aikana yleisilmanvaihtoa käytetään jaksoittaisella käytöllä. Yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö oikein suunniteltuna voidaankin nähdä ilmanvaihdon tarpeen mukaisen käytön optimointina heikentämättä käytön aikaista sisäilman laatua.

Kiinteistöissä tehtävien energiankäyttöä vähentävien toimenpiteiden yleisenä reunaehdona voidaankin pitää järjestelmän toteutuskelpoisuutta ja toimivuutta sekä kustannustehokkuutta. Taloteknisten järjestelmien kehittymisen myötä ilmanvaihtojärjestelmien energiankäyttöä on voitu vähentää mm. tarpeenmukaisen ohjauksen, ilmanvaihtokoneiden sähkötehokkuuden ja lämmöntalteenottoratkaisujen kehittymisen avulla. Taloteknisten järjestelmien osalta suurimmat säästövaikutukset rakennuksen energiankulutukseen voidaan saavuttaa järjestelmien ohjauksella ja säätöä kehittämällä sekä parantamalla järjestelmien ominaisuuksia. Olosuhteiden hallinta ja tarpeen mukainen ohjaus voivat osaltaan lisätä teknisten laitteiden määrää ja järjestelmien automaatiota. Laitteiden käytön ja huollon kannalta on suunnittelussa kuitenkin kiinnitettävä huomioita valittujen laitteiden kustannustehokkuuteen, käytön aikaiseen toimintaan ja helppokäyttöisyyteen. Energiankäytön vähentämisen ohella toimitilarakentamisessa myös käyttäjien vaatimukset ovat kehittyneet siten, että tiloilta vaaditaan laadukasta sisäilmastoa, turvallisuutta ja terveellisyttä, jotka omalta osaltaan asettavat reunaehdot rakennusten ilmanvaihdon tarpeenmukaiselle käytölle.

Yleisilmanvaihdon jaksoittainen käyttö soveltuu toimistorakennuksiin, koska toimistotiloissa ei pääsääntöisesti synny merkittäviä epäpuhtauslähteitä käytön aikana ja yleisilmanvaihdon jaksoittaisen käytön tuuletusjaksoilla sekä ilmanvaihdon riittävän aikaisella käynnistyksellä ennen tilojen käyttöä voidaan taata epäpuhtauksien riittävä poistuminen

tiloista ja hyvä käytönaikainen sisäilman laatu. Yleisilmanvaihdon jaksoittaiseen käyttöön siirtyminen kuitenkin aina vaatii huolellista suunnittelua ja ilmanvaihdon käyttöön liittyviä selvityksiä (käyttöajat, aikatauluohjaus, tuuletusjaksojen pituus, painesuhteiden riittävä hallinta) ja käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon on täytettävä olevat määräykset. Tällä hetkellä lakiluonnoksessa ”Uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta” (Ympäristöministeriön asetus, luonnos 14.3.2016) on esitetty, että käyttöajan ulkopuolella rakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ (vastaa ilmanvaihtuvuutta $0,2 \text{ 1/h}$) ja ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa. Suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto voidaan annetun luonnoksen mukaan toteuttaa ilmanvaihdon jaksoittaisella käytöllä. Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toimivuus ja ilmanvaihtuvuuden riittävyys tulisi mielestäni aina pystyä osoittamaan mittauksin rakennuskohtaisesti, kuten käyttöajan aikaisen käytön osalta on jo vaadittu.

Tehdyn tutkimuksen mukaan ilmanvaihdon osatehokäyttöön liittyy epävarmuutta tilojen ilmanvaihtuvuuden osalta. Yleisilmanvaihdon osatehokäytön vaikutusta tilojen ilmanvaihtuvuuteen tulisikin selvittää lisätutkimuksin toiminnan aikaisin mittauksin (huonekohtaiset ilmamäärät) ja laskennallisesti tarkastellen (järjestelmäkohtaisesti, erityyppisillä kohteilla ja kanavistoilla). Ilmanvaihtuvuuden rinnalla tilojen painesuhteiden hyvä hallinta (toimistorakennusten painesuhde tulisi annettujen suositusten mukaan olla $2\text{--}5 \text{ Pa}$ alipaineinen ulkoilmaan nähden) on huomioitava nykyistä paremmin, sillä rakennuksen painesuhteilla on merkittävä vaikutus tilojen sisäilman laatuun ja mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumiseen ilmapuotojen mukana tiloihin.

Lähteet

- 1 Senaatti-kiinteistöt. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.senaatti.fi/senaatti/senaatti-kiinteistot/historia>. Luettu 24.5.2016.
- 2 Senaatti-kiinteistöt. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.senaatti.fi/>. Luettu 24.5.2016.
- 3 Perustietoa sisäilmasta. 2016. Terveelliset tilat. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>. Luettu 2.6.2016.
- 4 Asumisterveysohje 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 5 Perustietoa sisäilmasta. 2016. Terveysvaikutukset. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Terveysvaikutukset>. Luettu 15.8.2016
- 6 Seppänen, Olli, Hausen, Alvar, Hyvärinen, Kalevi. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 7 Wargocki, P., Wyon D. 2007, The effect of moderate raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children. HVAC & Research, 13:2. 193–220.
- 8 Seppänen, O., Fisk, W.J., Lei, Q.H. 2006. Room Temperature and productivity in Office Work. Lawrence Berkeley National Laboratory, USA. Saatavissa: <http://escholarship.org/uc/item/9bw3n707#page-2>
- 9 Sisäilmastoluokitus. 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. KH-ohjekortti 27-00422. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 10 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Saatavissa: www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545.
- 11 Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa I, verkkosivut <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveyden-suojelu/asumisterveys> (luettu 18.8.2016)
- 12 Perustietoa sisäilmasta. 2016. Fysikaaliset tekijät. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Fysikaaliset-tekijat> (luettu 15.8.2016)

- 13 Aikivuori, Anne. 2001. Terveen rakennuksen evoluutio. Tutkimusraportti. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- 14 Palomäki, Eero. 2011. Rakennusmateriaaleista peräisin olevat sisäilman epäpuhtaudet. Luentoaineisto 4.10.2011. Helsinki: Työterveyslaitos.
- 15 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskoelma osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 16 Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus luonnos, luku 5, Rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen. 2015. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Lausuntopyynnot_ ja_ lausuntoyhteenvedot/2015/Lausuntopyynto_ luon-noksesta_ rakennusten_\(32552\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Lausuntopyynnot_ ja_ lausuntoyhteenvedot/2015/Lausuntopyynto_ luon-noksesta_ rakennusten_(32552)). Helsinki: ympäristöministeriö.
- 17 Lindgren, Henry. 2012, Koulurakennuksen painesuhteiden mittaus liitettynä il-mavirtojen säätöön. Insinööriyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 18 Asumisterveysopas 2009. 3. korjattu painos. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Helsinki: Ympäristö ja terveys-lehti.
- 19 Seppänen, Kim. 2010. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Aducate Re-ports and Books 9/2010.
- 20 Asikainen, Vesa., Pasanen, Pertti., Kokotti, Helmi. 2015. Yleisilmanvaihdon jak-sottaisen käytön vaikutukset rakennusten paine-eroihin ja sisäilman laatuun. Si-säilmayhdistys ry. Raportti 33.
- 21 Perustietoa sisäilmasta. 2016. Ilmanvaihdon perusteet. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet> (luettu 2.6.2016)
- 22 Harju, Riitta. 2010. Koulurakennuksen painesuhteiden mittaus liitettynä ilmavir-tojen säätöön. Insinööriyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 23 Pellinen, Lauri. 2011. Ilmavuodon vaikutus vaipparakenteiden lämpö- ja kos-teusolosuhteisiin. Insinööriyö. Saimaan ammattikorkeakoulu.
- 24 Karhu, Simo. 2015. Julkisten rakennusten ilmanvaihto käyttöajan ulkopuolella. Insinööriyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 25 Päckilä, Taneli. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuk-sesta. Diplomityö. Aalto yliopisto.

- 26 Fingeroos, Mikael., Kolari, Sirpa., Pasanen, Pertti., Kesikuru, Timo. 2005. Ilmanvaihdon jatkuvan toiminnan hyödyt. Raportti 23. Espoo: Sisäilmayhdistys Ry.
- 27 Reinikainen, Erja. 2002. Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöikäsuunnittelu ja elinkaarikustannukset. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. Luentoaineisto 19.09.2002. Helsinki.
- 28 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskoelma osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 29 Komission asetus (EU) N:o 1253/2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32014R1253>.
- 30 Virta, Kirsi, 2016. Myyntipäällikkö, Koja Oy, Vantaa. Keskustelut ja osateholaskelmat 31.8.2016.
- 31 Mäki, Heikki. 2016. Suunnittelupäällikkö, Are Oy, Vantaa. Keskustelut 16.-17.8.2016, Are Oy.