

Iiro Lehtoranta

# Koneellisen ilmanvaihdon käyttöajan ulkopuolinen toiminta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

3.12.2018

Tekijä Otsikko	liro Lehtoranta Koneellisen ilmanvaihdon käyttöajan ulkopuolinen toiminta
Sivumäärä Aika	32 sivua + 2 liitettä 3.12.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää suunnittelujohtaja Sauli Heino
<p>Tässä insinööriyössä tutkitaan uuden sisäilma-asetuksen 1009/2017 10§ asettamaa rajausta muiden kuin asuinrakennusten käyttöajan ulkopuoliselle ilmanvaihdolle. Uusi asetus määrittelee muiden kuin asuinrakennusten osalta, että käyttöajan ulkopuolella vähimmäisilmavirta tulee olla <math>0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) / m}^2</math> ja ilman tulee vaihtua kaikissa huonetiloissa. Tutkimus avaa taustoja ja pohtii perusteluja tälle asetuksen pykälälle sekä pyrkii etsimään hyväksyttäviä toimintamalleja käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteuttamiselle.</p> <p>Haastattelemalla monipuolisesti alan erityisasiantuntijoita on tutkimuksessa pyritty esittämään laaja ja uskottava näkemys siitä, miten uutta sisäilma-asetuksen määräystä tulisi tulkita eri näkökulmista.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena pystyttiin esittämään joitakin toteutustapoja käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteutukselle. Lisäksi pystyttiin esittämään suunnittelussa huomioon otettavia tärkeitä asioita.</p>	
Avainsanat	sisäilma-asetus, käyttöaika, tulkinta

Author Title	Ilro Lehtoranta Use of Mechanical Ventilation Outside of Operation Time.
Number of Pages Date	32 pages + 2 appendices 3 December 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC engineering, Design Orientation
Instructors	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Sauli Heino, Planning Chief
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to interpret the section 10 of the new decree of the Ministry of the Environment on the indoor climate and ventilation of new buildings published on 27th of December 2017. The aim was to clarify the official interpretation of the section 10, and examine the specified solutions for the decree.</p> <p>This thesis was based on interviews that ensured expert opinions from the perspective of the HVAC industry. To support of the conclusions derived from the interviews, the final year project studied two real life building projects to demonstrate the specified solutions in operation.</p> <p>The outcome of the thesis is a comprehensive study and guideline that aids with the interpretation of the decree. All-round selection of the interviewees encompasses diverse aspects of the interpretation, thus increasing the credibility of the thesis. This Bachelor's thesis points out the need of further study of the impact of mechanical ventilation on indoor climate.</p>	
Keywords	indoor climate, ventilation, interpretation

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ilmanvaihto	2
2.1	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	2
2.2	Rakennuksen tiiviys	5
2.3	Rakennuksen painesuhteet	5
2.3.1	Savupiippuvaikutus	6
2.3.2	Ilmanvaihdon paine-ero	6
2.3.3	Tuulen vaikutus	7
2.4	Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöajat	7
3	Ohjeet, asetukset, määräykset ja luokitukset	8
3.1	Kumotut rakentamismääräykset	8
3.2	Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta - 1009/2017	9
3.3	Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista - 545/2015	10
3.4	Sisäilmayhdistys Ry:n Sisäilmastoluokitus 2018	10
4	Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteuttamisessa huomioon otettavat asiat	11
4.1	Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 tulkinta	11
4.2	Terveysvaikutukset	12
4.2.1	Ilmanvaihdon jatkuvan toiminnan hyödyt	12
4.2.2	Yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutukset rakennusten paine-eroihin ja sisäilmanlaatuun	13
4.3	Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen näkökulma.	14
4.3.1	Ilmanvaihtokone	14
4.3.2	Kanavisto ja sen painehäviöt	19
4.3.3	Ilmanjako	20
5	Toteutusvaihtoehdot	21
5.1	Perusilmanvaihtojärjestelmän käyttö	21
5.1.1	Perusilmanvaihtojärjestelmän ajaminen osateholla	21
5.1.2	Perusilmanvaihtojärjestelmän jaksottainen ajaminen käyttöajan mitoituksella	22
5.2	Rinnakkaisjärjestelmä käyttöajan ulkopuoliselle ilmanvaihdolle	24

6	Esimerkkikohteet	25
6.1	Senaatti-kiinteistöjen toimistorakennus	25
6.1.1	Toiminnan kuvaus	25
6.1.2	Mitoitus	26
6.2	Launeen monitoimitalo	27
6.2.1	Toiminnankuvaus	28
6.2.2	Mitoitus	28
7	Yhteenveto	29
	Lähteet	31
	1009/2017:n 10 §:n perustelumuistion osa	Liite 1
	1009/2017:n 10 §	Liite 2

## 1 Johdanto

Maankäyttö- ja rakennuslain 958/2012 siirtymäsäännöksen mukaisesti voimassaolevia säädöksiä voidaan soveltaa enintään viiden vuoden ajan lain voimaantulosta. Tämän mukaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman kaikki osat uudistettiin vuoden 2017 loppuun mennessä ja myös vanha D2-osa korvattiin uudella 1009/2017 asetuksella. Uudistushankkeessa pyrittiin noudattamaan pääministeri Juha Sipilän hallitusohjelman mukaista tavoitetta purkaa turhaa sääntelyä ja keventää hallinnollista taakkaa.

Tässä tutkimuksessa käsitellään uuden 1009/2017 asetuksen pykälän 10 momentin 3 mainintaa käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta muissa kuin asuinrakennuksissa. Tämä pykälä on päivitetty versio kumotun rakentamismääräyskokoelman osan D2 kohdasta 3.2.3.3, sisältäen merkittäviä muutoksia toteutuksen kannalta.

Edellä mainittu muutos on herättänyt valtakunnallista keskustelua siitä, miten uutta pykälää tulisi tulkita ja mitkä ovat hyväksyttäviä toteutusratkaisuja tästä eteenpäin. Tätä varten olen haastatellut alan erityisasiantuntijoita, pyrkien muodostamaan yhteistä näkemystä siitä, mitä asioita tulisi ottaa huomioon, jotta tämän pykälän vaatimukset voidaan toteuttaa järkevänä kokonaisuutena.

Haluan kiittää tätä tutkimusta varten haastateltuja asiantuntijoita:

Pekka Kalliomäki	ympäristöministeriö
Tomi Marjamäki	ympäristöministeriö / rakennusvalvonta
Vesa Pekkola	sosiaali- ja terveysministeriö
Sauli Heino	Granlund Oy
Sari Linna	Granlund Consulting Oy.
Jyrki Lönnström	Fläktgroup Oyj
Mervi Ahola	Sisäilmayhdistys Ry
Mika Kauppinen	Lahden kaupunki

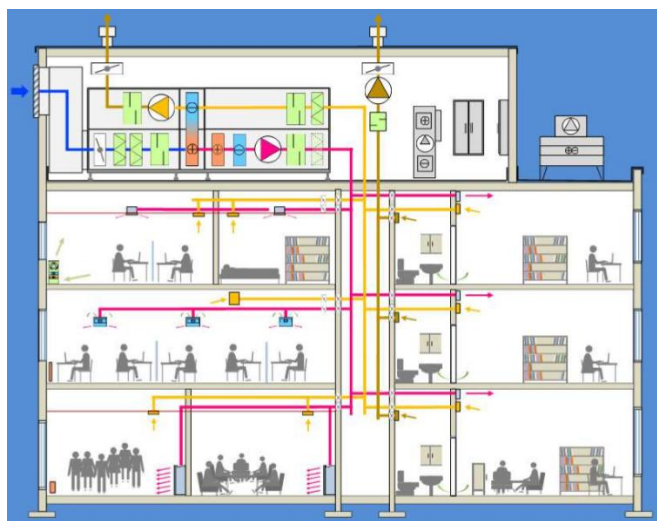
## 2 Ilmanvaihto

Tämän tutkimuksen rajauksen mukaisesti käsittelen pelkästään koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää ja sen toiminnan soveltamista uuden sisäilma-asetuksen vaatimusten täyttämiseksi. Tässä osioissa esitellään koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon peruseriaatteita.

### 2.1 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa nimensä mukaisesti sekä tulo- että poistoilmanvaihto tapahtuu koneellisesti huonetiloihin (kuva 1). Tällä varmistetaan tasainen ilmanvaihtuvuus koko rakennuksessa. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etuina voidaan pitää

- mahdollisuutta säätää tarpeenmukaisesti, esimerkiksi ilmamääräsäätimien (IMS) avulla
- mahdollisuutta energiatehokkuuteen liitettäessä lämmöntalteenottolaitteisiin ja lämpöpumppuihin
- ilmapölyä esimerkiksi suodatus mahdollistaa hyvän ja terveellisen ilmanlaadun (Hengitysluotto).

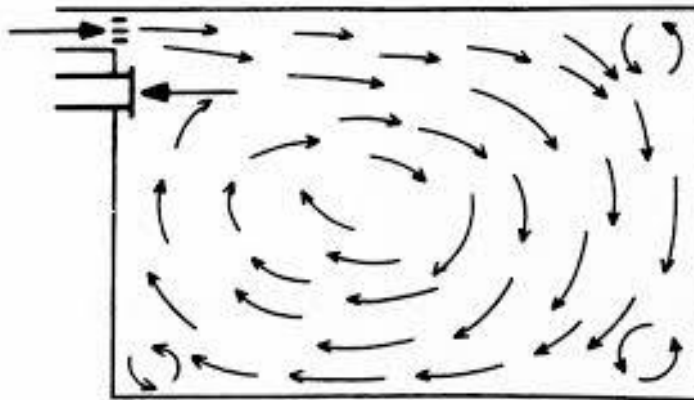


Kuva 1. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (Sandberg 2014).

## Koneellisen ilmanjaon periaatteet

Koneellisen ilmanjaon peruseriaatteena voidaan pitää sitä, että tilaan saadaan riittävästi sekä tasaisesti puhdasta ja raikasta ilmaa. Tämä tulisi lähtökohtaisesti toteuttaa niin, että ilman virtaussuunta olisi puhtaista tiloista likaisiin päin. Ilmanjaon yleisesti käytetyt kolme periaatetta Seppäsen (1996) mukaan ovat seuraavat:

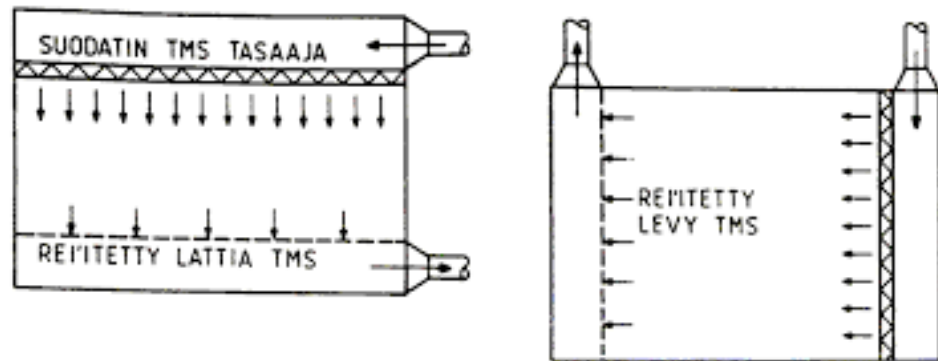
1. Sekoittava ilmanjako (kuva 2) on yleisin käytetty ilmanjaon periaate, jossa tuloilma pyritään sekoittamaan ilmasuihkuilla tehokkaasti huoneilmaan. Sekoittava ilmavirtaus voi syntyä myös lämpötilaeroista, esimerkiksi lämmityspattereiden vaikutuksesta. Tämän ilmanjakoperiaatteen tarkoituksena on huuhdella koko huonetila ja näin saavuttaa tasainen ilmanlaatu sen jokaisessa osassa.



Kuva 2. Sekoittava ilmanjako (Seppänen 1996).

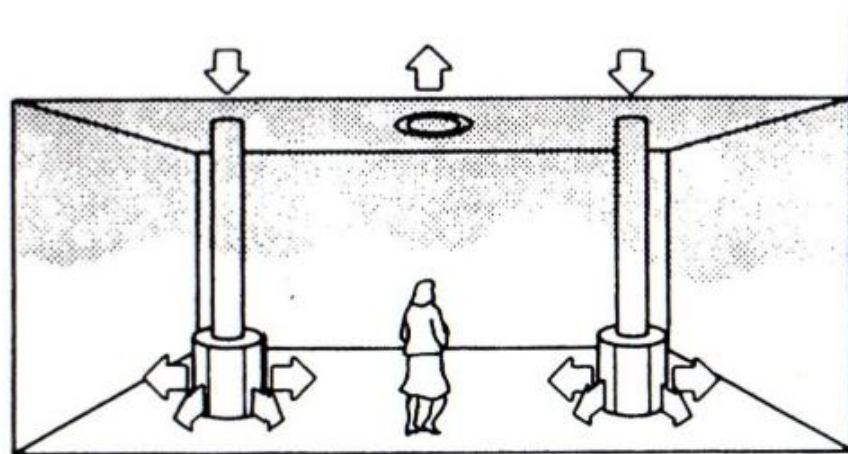
2. Laminaarinen ilmanjako (kuva 3), jossa suurien pintojen avulla ilma johdetaan yhdensuuntaisesti joko vaaka- tai pystysuunnassa. Laminaarista virtausta käytetään erityisesti silloin, kun pyritään esimerkiksi tarkkaan olosuhteiden säätöön tai epäpuhtauksien poistamiseen.





Kuva 3. Laminaarinen ilmanjako (Seppänen 1996).

3. Syrjäyttävä ilmanjako (kuva 4), jossa puhdas tuloilma pyritään matalla nopeudella tuomaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle usein alilämpöisenä. Alilämpöisyys mahdollistaa epäpuhtaan huoneilman syrjäyttämisen ilman, että se sekoittuu puhtaan tuloilman kanssa. Syrjäyttävää ilmanjakoa käytetään erityisesti epäpuhtauksia sisältävissä tiloissa, kun halutaan puhdistaa huonetilaa. Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon kannalta tuloilman lämpötilaa laskeamalla voidaan kompensoida tuloilmavirtauksen laskemista käyttöajan suunnitteluarvoista, jos tiloilla ei ole erityisiä lämpötilavaatimuksia käyttöajan ulkopuolella ja vedon tunnetta ei katsota ongelmaksi kyseisenä aikana.



Kuva 4. Syrjäyttävä ilmanjako (Seppänen 1996).

## 2.2 Rakennuksen tiiviys

Sarjan (2010) mukaan ”Rakennuksen tiiviys kuuluu aina yhteen hallitun ilmanvaihdon kanssa”. Tiiviys määritellään ilmanvuotolukuna  $n_{50}$ , joka ilmaisee, montako kertaa rakennuksen ilma vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun aiheutetaan 50 pascalin ali- tai ylipaine (Kauppinen 2011). Rakennuksen tiiviys voidaan erottaa kolmeen pääosaan (Sarja 2010).

1. Ilmatiiviys, eli rakennuksen ilmanvuotojen hallinta painesuhteilla.
2. Höyrytiiviys, eli rakennuksen sisältä ulospäin tulevan kosteusrasituksen hallinta.
3. Sadetiiviys, eli rakennuksen ulkopuolelta tulevien vesivuotojen ja tuulenvaiikutuksen hallinta.

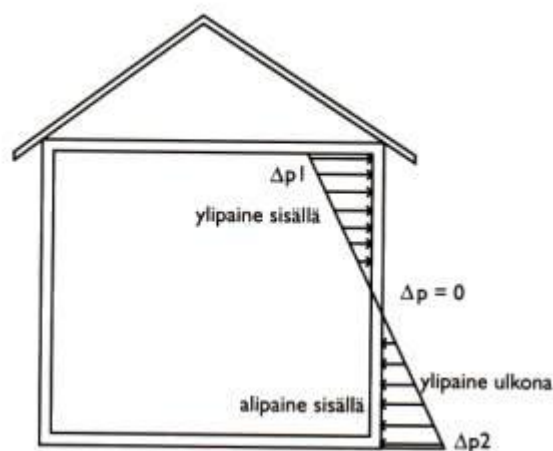
Huonon rakennusvaipan tiiviiden ja hallitsemattomien vuotoilmojen vaikutuksena sisäilmaan saattaa kulkeutua epäpuhtauksia, vedon tunnetta ja mahdollisia äänihaittoja. Kun varmistetaan rakennusvaipan tiiviys ja estetään alipaineisuuden mahdolliset aiheuttamat ilmavirrat rakennukseen sekä rakennuksesta pois, estetään samalla rakennuksen ulkopuolisten sisäongelmia aiheuttavien tekijöiden pääsy rakennukseen. Tämän lisäksi vuotoilmojen hallinta on suuressa roolissa rakennusten energiatehokkuutta suunniteltaessa, sillä vuotoilmojen aiheuttamilla lämpöhäviöillä on suuri vaikutus lämmöntarpeeseen rakennuksissa (Kauppinen 2011).

## 2.3 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen painesuhteilla tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman sekä rakennuksen eri osien välisiä ilmanpaine-eroja. Paine-eroa syntyy lähtökohtaisesti lämpötilaerojen, tuulen vaikutuksen, rakennuksen tiiviiden sekä ilmanvaihdon seurauksena. Paine-erot synnyttävät ilmavirtauksia korkeammasta matalampaan paineeseen. Nämä virtaukset kuljettavat mukanaan kosteutta, lämpöä ja epäpuhtauksia kuten radonia sekä homeen hajua rakenteista (Harju 2011).

### 2.3.1 Savupiippuvaikutus

Lämmitessä huoneilman tiheys pienenee ja ilma pyrkii nousemaan ylöspäin. Tästä johtuen rakennuksen yläosalle kohdistuu ylipainetta ja alaosaan alipainetta (kuva 5). Tämä voi johtaa siihen, että lämpimän ilman aiheuttama ylipaine pyrkii rakennuksen yläosien kautta ulos ja kylmä sekä kuiva ulkoilma pyrkii alipaineen vetämänä sisään huonetilan alaosaan. Riippuen esimerkiksi vuotoilma-aukoista ja niiden korkeudesta huone-tilaan muodostuu niin sanottu neutraaliakseli, eli korkeus, jossa ulkoilman ja huonetilan ilmanpaine ovat yhtä suuria (Siikanen 2012).

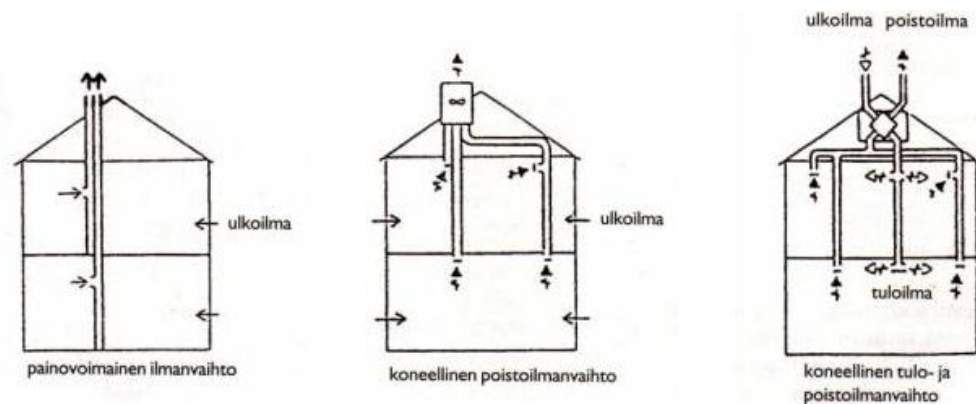


Kuva 5. Tasatiiviiseen rakennukseen kohdistuva painejakauma (Sisäilmäyhdistys ry. 2018)

### 2.3.2 Ilmanvaihdon paine-ero

Ilmanvaihdon vaikutus painesuhteisiin riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä (kuva 6). Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä rakennukset pyritään tekemään mahdollisimman tiiviiksi, jotta painesuhteita voitaisiin säätää ja hallita poiston ja sisäänpuhailuksen avulla. Rakennus on ylipaineinen, kun sisäänpuhallus on suurempi kuin poistoilmanvirtaus. Ilmavirtojen suhteen ollessa käänteinen muuttuu rakennus alipaineiseksi (Harju 2011). Ympäristöministeriön uuden sisäilma-asetuksen 1009/2017 21 §:ssä linjataan, että rakennuksen ilmavirtaukset tulisi suunnitella niin, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta tai alipaineen vuoksi epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan. Lisäksi tämän asetuksen perustelu- muistiossa huomautetaan, että suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota painevaihteluiden välttämiseen. Näiden linjausten perusteella tulisi suunnittelussa pyrkiä lähes

$\pm 0$  Pa:n paine-eroon, mikä osaltaan tukee koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän perusajatusta siitä, että huonetilan ilma vaihtuu pelkästään ilmanvaihtojärjestelmän kautta.



Kuva 6. Ilmanvaihtojärjestelmien periaateratkaisut ja painesuhteiden hallinta (Sisäilmayhdistys ry 2018).

### 2.3.3 Tuulen vaikutus

Tuulen aiheuttama paine rakennukseen riippuu monesta tekijästä. Tuuli itsessään aiheuttaa kohtaamaansa pintaan ylipainetta ja sivuseinille ja suojan puoleiselle seinälle alipainetta. Harjakaton suojan puoleinen lape ja tasakatto ovat puolestaan alipaineisia. Rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen vaikuttavat tuulen suunta ja rakennuksen aukkojen sijainti, joiden perusteella määräytyy, muodostuuko rakennuksen sisäpuolelle yli- vai alipaine. Vaikka tuulen vaikutusten huomioiminen onkin hyvin haasteellista, voidaan vallitsevan tuulen suunnan avulla arvioida rakennukseen syntyvää yli- tai alipainetta aukkojen, kuten ovien ja ikkunoiden, perusteella. (Sisäilmayhdistys ry, 2008)

## 2.4 Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöajat

Muissa kuin asuinrakennuksissa nykyaikainen koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä on monesti toteutettu aikaohjatusti. Aikaohjauksen päällimmäisenä tarkoituksena on säästää energiaa käyttämällä ilmanvaihtoa tarpeenmukaisesti. Insinööriyössään (2018) Erno Vuoti linjaa, että toimivan ilmanvaihdon lähtökohtana on se, että rakennuksissa tulisi olla aina vähintäänkin niin sanottu perusilmanvaihto päällä, mikä estää epäpuhtauspitoisuuksien sekä kosteuden nousua sisäilmassa.

Vuoti huomauttaa, että Suomessa on vuosikymmeniä ollut yleisesti tapana pitää käyttöaikojen ulkopuolella pelkästään hygieniatilojen kohdepoistoilmanvaihto käynnissä. Hän korostaa, että perusilmanvaihdon ollessa pois päältä jatkuva kohdepoistoilla tapahtuva poistoilma imeminen aiheuttaa rakennuksen alipaineisuuden kasvamisen, jolloin myös tilojen epäpuhtauspitoisuudet kasvavat. Tämä ongelma kohdistuu varsinkin suuriin koulu- ja toimistorakennuksiin, joissa jopa yli puolet vuorokaudesta saattaa olla käyttöajan ulkopuoleista aikaa. Jos lisäksi ilmanvaihto kytketään päälle vasta ensimmäisten käyttäjien saapuessa tiloihin, voi tämä johtaa ensimmäisten käyttäjien altistumisen epäpuhtauksille. Tämän vuoksi perusilmanvaihtoa ei tulisi kytkeä milloinkaan kokonaan pois päältä, tai tilat tulisi vähintään huuhdella ennen käyttäjien saapumista tiloihin (Vuoti 2018).

### **3 Ohjeet, asetukset, määräykset ja luokitukset**

Suomessa rakentamisesta on säädetty maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999), jossa on määritelty yleisesti rakentamisen edellytyksistä, teknisistä vaatimuksista, lupamenetelystä sekä viranomaisvalvonnasta. Lain 117-a - 117-g §:ssä on säädetty rakennuksen olennaisista vaatimuksista.

Lain 117a – 117g nojalla on ympäristöministeriön asetuksilla annettu uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta varten tarvittavia tarkempia säännöksiä. Maankäyttö- ja rakennuslain (958/2012) muutoksen siirtymäsäännöksen mukaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelma uusittiin kokonaisuudessaan vuonna 2017. Ympäristöministeriön mukaan uudistuksen tavoitteena on selkeyttää sekä yhtenäistää rakentamisen sääntelyä niin, että alalla säilyy ennakoitavuus sääntelyn osalta. (Ympäristöministeriön asetuksen perustelumuistio 2018).

#### **3.1 Kumotut rakentamismääräykset**

Ilmanvaihtoa, niin kuin muitakin LVI-tekniikan aloja, on pitkään ohjattu Suomen rakentamismääräyskokoelman osien mukaisesti, jotka maankäyttö- ja rakennuslain siirtymäsäännöksen myötä kumottiin vuoden 2017 loppuun mennessä.

Ilmanvaihtoa käsitellyt rakentamismääräyskokoelman osa D2 julkaistiin alun perin 1. heinäkuuta 1976, minkä jälkeen sitä on päivitetty, viimeisimpänä vuonna 2012, ennen kuin määräys kokonaisuudessaan kumottiin. D2 sisälsi sekä rakentamista velvoittavia säännöksiä, että ministeriön ohjeita. Näitä voidaan edelleen kumoamisesta huolimatta pitää hyvinä ohjeina ilmanvaihtoa toteuttaessa.

### 3.2 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta - 1009/2017

1.1.2018 voimaan tulleen asetuksen pääasiallisena tavoitteena on asettaa uuden rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat vaatimukset. Asetuksen piiriin kuuluvat myös rakennuksen laajennukset sekä kerrosalaan laskettavat tilan lisäykset.

Asetuksella korvattiin ympäristöministeriön asetus 1/11, joka paremmin tunnettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osana D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. Uuden asetuksen tarkoituksena on saattaa rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat säännökset vastaamaan maankäyttö- ja rakennuslain muuttuneita vaatimuksia, samalla keventäen rakentamisen sääntelyä hallitusohjelman mukaisesti. Pääasiallisesti sisäilmaston laatutaso on pyritty pitämään nykytasoa vastaavana. Suunnittelun ja rakentamisen osalta avainasiaksi on haluttu korostaa hyvää sisäilmastoa, josta ei tulisi tinkiä edes energiasäästön vuoksi.

Uuden asetuksen 10 §:n kolmannen momentin voidaan tulkita olevan päivitetty versio kumotun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 kohdasta 3.2.3.3. Asetuksen vastuuhenkilö rakennusneuvos Pekka Kalliomäki ympäristöministeriöstä toteaa tätä tutkimusta varten tehdyssä haastattelussa elokuussa 2018, että toisin kuin aiemmassa rakentamismääräyksen osassa D2 ohjeistettiin, uuden sisäilma-asetuksen 1009/2017 myötä käyttöajan ulkopuolista ilmanvaihtoa ei enää sallita toteutettavan pelkällä hygieniatilojen ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä, vaan vähimmäisilmavirran  $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) / m}^2$  tulee vaihtua kaikissa huonetiloissa. Tällä muutoksella ympäristöministeriö haluaa osaltaan vaikuttaa vallitsevaan rakennustapaan niin, että rakennuksien käyttäjille voidaan turvata terveelliset, turvalliset sekä viihtyisät sisäilmaolosuhteet (Kalliomäki 2018).

Asetuksen perustelumuition mukaan käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto tulee suunnitella joko niin, että ilmanvaihto pidetään suunnitellun käyttöajan ilmavirtaa pienemmällä ilmavirralla, tai niin, että järjestelmää käytetään jaksottaisesti käyttöajan ulkopuolella niin,

että vähimmäisilmavirta toteutuu keskimääräisesti käyttöajan ulkopuolella. Vähimmäisilmavirtaan ei Kalliomäen mukaan ole välttämätöntä pyrkiä, vaan on mahdollista ylittää asetettu vähimmäisilmavirta  $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) / m}^2$  (Kalliomäki 2018).

### 3.3 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista - 545/2015

Tätä 2015 julkaistua asetusta sovelletaan terveydensuojelulain 763/1994 mukaisesti asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olosuhteiden valvontaan. Asetuksessa on säädetty myös tämän insinööriyön tutkimuskohteeseen liittyen rakennuksen käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta seuraavasti.

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. (Asetus 545/2015 8§)

Valviran 2016 julkaisemassa asetuksen 545/2015 soveltamisohjeessa Pertti Metiäinen ehdottaa käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteutustavoiksi joko jatkuvaa osatehokäyttöä tai ilmanvaihtokoneiden aikaisempaa käynnistystä niin, että tilojen ilmanlaatu puhdistuu ja täyttää sille asetetut vaatimukset ennen käyttöajan alkamista. Tämän lisäksi soveltamisohjeessa muistutetaan, ettei ilmanvaihto saa aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisätiloihin, esimerkiksi alipaineisuuden vuoksi (Metiäinen 2016).

### 3.4 Sisäilmayhdistys Ry:n Sisäilmastoluokitus 2018

Toukokuussa 2018 julkaistu Sisäilmastoluokitus 2018 korvaa vuonna 2008 julkaistun Sisäilmastoluokitus 2008:n. Luokituksen tarkoituksena on toimia rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna tavoiteltaessa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia, ja sitä voidaan soveltaa uudisrakentamisen lisäksi osittain myös korjausrakentamisessa. Luokitus toimii tukiohjeistuksena virallisille asetuksille suunniteltaessa ja rakennettaessa määräystasoa parempaa sisäilmastoa.

Tässä luokituksessa on esitetty uutta sisäilma-asetusta 1009/2017 tukeva ohje, jossa linjataan, että

Normaalin käyttöajan ulkopuolella on minimi-ilmanvaihdon oltava rakennuksessa keskimäärin  $0,15 \dots 0,20 \text{ (dm}^3/\text{s) / m}^2$  siten, että ilma vaihtuu kaikissa huonetiloissa, ja ettei paine-ero ulko- ja sisäilman välillä muutu ilmanvaihdon johdosta.

Lisäksi tämä luokitus ohjeistaa, että minimi-ilmanvaihtojakson jälkeen ilmanvaihtoa tulisi käyttää kaksi tuntia normaalilla teholla, ennen käyttäjien saapumista rakennukseen.

#### **4 Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteuttamisessa huomioon otettavat asiat**

##### 4.1 Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 tulkinta

Uudessa asetuksessa linjataan käyttöajan ulkopuolisen ajan ulkoilmavirralla vähimmäismäärä ( $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) / m}^2$ ), mutta kuten asetuksen perustelumuiotiossa ohjeistetaan, vahvistaa myös asetuksen vastuuhenkilö rakennusneuvos Pekka Kalliomäki ympäristöministeriöstä, että kyseessä on suunnittelun vähimmäisvaatimus, jota ei tule alittaa. Yhtäläinen vähimmäisilmamäärävaatimus oli jo kumotussa rakentamismääräyskokoelman osassa D2, mutta uuden haasteen toteutukseen tuo hygieniatilojen poistoilmavirran käytön poistaminen ainoana toteutusratkaisuna ja lisäys siitä, että ilman tulee vaihtua kaikissa tiloissa myös käyttöajan ulkopuolisena aikana (Kalliomäki 2018).

Erillisissä haastatteluissa sekä Kalliomäki että Helsingin rakennusvalvonnan talotekniikkayksikön entinen päällikkö Tomi Marjamäki korostavat painesuhteiden hallinnan merkitystä rakennuksessa. He molemmat nostavat esille yksittäisenä huomiona erillispoistojärjestelmien korvausilman järjestämisen, jonka voisi ottaa huomioon myös korjausrakentamisessa. (Kalliomäki 2018; Marjamäki 2018).

Käyttöajan ulkopuoliselle ilmanvaihdolle voidaan, vapaa tilakorkeus huomioon ottaen, laskea vähimmäisilmanvaihtokerroin (1/h), jolloin voidaan käyttöajan ulkopuolisella tuntimäärällä kertomalla selvittää, kuinka monta kertaa vähintään tilan ilmamäärän tulee vaihtua käyttöajan ulkopuolella. Ilmanvaihtuvuuden kautta laskettu ilmanvaihdon vähimmäistarve pyritään vaihtamaan tasaisesti jakaen käyttöajan ulkopuoliselle ajalle.



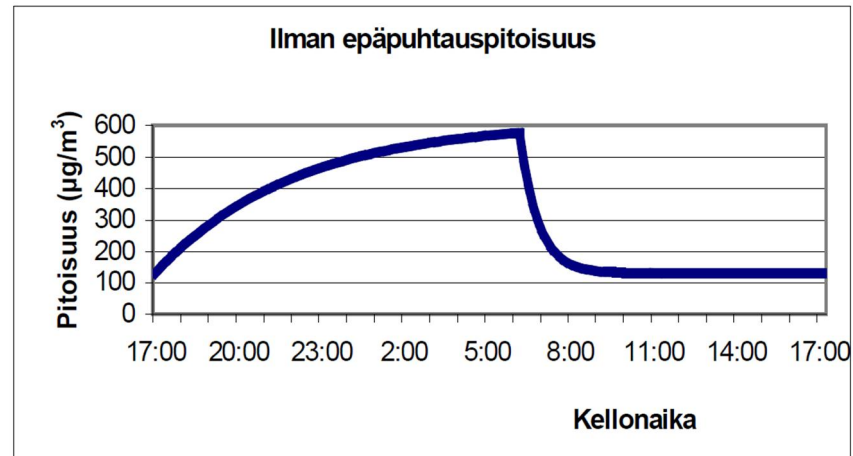
## 4.2 Terveysvaikutukset

Tutkimusta varten tehdyssä haastattelussa rakennusneuvos Pekka Kalliomäki avaa uuden asetuksen 10 §:n 3 momentin muutoksien perustuneen ympäristöministeriön pyrkimykseen osaltaan vaikuttamaan nykyiseen rakennustapaan niin, että rakennusten käyttäjille turvataan asetuksessakin mainitut turvalliset, terveelliset sekä viihtyisät sisäilmaolosuhteet. Tätä pyrkimystä vahvistaa osaltaan myös sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksen 5 §, jossa linjataan, ettei huoneilman kosteus saisi pitkäkestoisesti olla niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa, laitteissa taikka niiden pinnoilla mikrobikasvunriskiä. Tätä pykälää tukemaan on saman asumisterveysasetuksen 8 §:ssä linjattu, ettei riittämätön ilmanvaihto saisi aiheuttaa 5 §:ssä esitettyä mikrobikasvun riskiä.

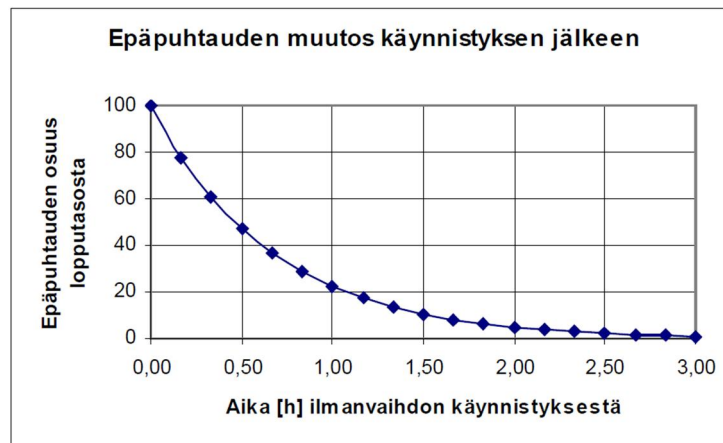
Ilmanvaihdon käyttöajan ulkopuolisen toiminnan terveysvaikutuksia rakennusten sisäilman kannalta on vasta viime vuosina alettu tutkimaan, niinpä tutkimustietoa on käytössä rajoitetusti. Seuraavissa artikkeleissa on esitelty tutkimuksia ilmanvaihdon vaikutusta sisäilmanlaatuun.

### 4.2.1 Ilmanvaihdon jatkuvan toiminnan hyödyt

Sisäilmayhdistyksen raportissa 23 esiteltiin tutkielma, minkä mukaan laskennallisesti tarkasteltuna yli 90 % sisäilman epäpuhtauspitoisuuksista saatiin tuuletettua pois, kun tilan ilmatilavuus vaihdettiin kolme kertaa. Tämän perusteella raportin tutkielmassa linjattiin, että ilmanvaihdon ei tarvitsisi olla jatkuvasti normaali teholla päällä, vaan riittää kun ilmanvaihto käynnistetään n. 2 tuntia ennen käyttäjien saapumista tilaan (Fingerroos ym. 2015). Tämä vastaisi tavallaan Sisäilmastoluokitus 2018:n ohjeistusta käyttää ilmanvaihtoa normaaliteholla 2 tuntia minimi-ilmanvaihtojakson jälkeen ennen käyttäjien tuloa rakennukseen. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty kyseisessä tutkimuksessa havaittuja ilmanvaihdon vaikutuksia sisäilmanlaatuun.



Kuva 7. Hiilivetyypitoisuuden laskennallinen vaihtelu, kun ilmanvaihto on kytketty päältä pois klo 17.00 ja takaisin päälle 06.00 (Fingerroos ym. 2015).



Kuva 8. Epäpuhtauden muutos käynnistyksen jälkeen (Fingerroos ym. 2015).

#### 4.2.2 Yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutukset rakennusten paine-eroihin ja sisäilmanlaatuun

Sisäilmayhdistyksen raportissa 33 esiteltiin tutkielma, missä selvitettiin yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutuksia rakennusten paine-eroihin ja sisäilman laatuun. Tutkielmassa tarkasteltujen kohteiden ilmasta mitatut mikrobipitoisuudet kasvoivat tutkimuskohteissa yhtä lukuun ottamatta, kun yleisilmanvaihto ei ollut päällä tai kävi osateholla. Tutkielman mukaan on todennäköistä, että kasvu johtui ilmanvaihdon vähentymisestä, jolloin epäpuhtaudet eivät poistuneet tiloista eikä tiloihin saatu riittävää korvausilman laimentavaa vaikutusta. Tämän havainnon perusteella on suositeltavaa varmistaa rakennuksen kunto ennen jaksottaisen ilmanvaihdon aloittamista, ja jos rakennuksessa on havaittavissa kosteus- tai mikrobiongelmaepäilyjä ei yleisilmanvaihtoa tulisi pysäyttää edes

käyttöajan ulkopuolella (Asikainen ym. 2015). On hyvä kuitenkin huomioida, että sisäilmaongelmien ollessa tiedossa tulee ilmanvaihdon painesuhteisiin kiinnittää huomiota, sillä alipaineinen yleisilmanvaihdon käyttö saattaa itsessään pahentaa tilannetta (Heino 2018).

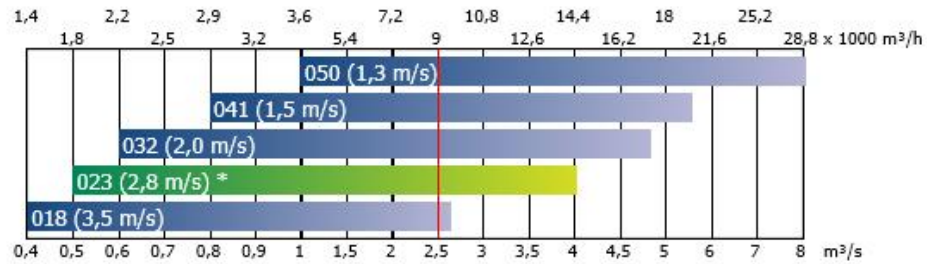
### 4.3 Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen näkökulma.

Tätä tutkimusta varten haastateltaessa Euroopan johtavan ilmanvaihdon laitevalmistajan FläktGroup Finland Oy:n edustajaa Jyrki Lönnströmiä, nousee esille teknisiä haasteita ja rajoitteita koskien varsinkin osatehoista ilmanvaihtoa. Luvuissa 4.3.1 - 4.3.3 esille nostetut seikat olisi hyvä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Näissä luvuissa käytän esimerkkinä 2 500 neliometriä lattiapinta-alaltaan olevaa kuvitteellista toimistorakennusta.

#### 4.3.1 Ilmanvaihtokone

Ilmanvaihtokonetta mitoittaessa on monta asiaa, jotka voivat yhteisvaikutuksellaan heikentää merkittävästi koko ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan. Uuden asetuksen muutosten myötä suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös mahdollinen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihtojärjestelmän käyttö. Tämä tuo haasteita suunnittelulle, kun samaan aikaan tulisi ottaa huomioon myös muita tärkeitä asioita kuten muuntojoustavuus sekä energiatehokkuus.

Esimerkkinä käytettävän toimistorakennuksen normaalin tilatehokkuuden mukainen vähimmäisilmavirtaus käyttöaikana on n.  $1,0 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$  (Sisäilmaluokka S3, Sisäilmastoluokitus 2018), joka tarkoittaa keskimääräisesti vähintään ilmavirtausta  $2\,500 \text{ dm}^3\text{/s}$ . Ilmanvaihtokoneeksi Fläktgroupin Acon-mitoitusohjelma suosittelee maksimi-ilmavirraltaan  $4 \text{ m}^3\text{/s}$  konekoko (kuva 9), josta teoreettisesti löytyisi muuntojoustavuuden nimissä säätövaraa niin tehostukseen kuin osatehokäyttöönkin. Tässä kohtaa tulee muistaa, että vaikka mitoitusohjelma ilmoittaa koneen toimivan vielä lähes osatehovirtauksella  $0,5 \text{ m}^3\text{/s}$ , se ei kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi suurissa kanavissa tapahtuvaa kanavapaineen romahdusta osateholla ajettaessa. Vaikka siis puhallin kykenisikin puhaltamaan pienellä osateholla, ei ilma välttämättä kuitenkaan kantaudu verkostossa kaikkiin tiloihin.



Kuva 9. Acon-konevalinta (Fläktgroup Oyj 2018).

#### 4.3.1.1 Puhallin

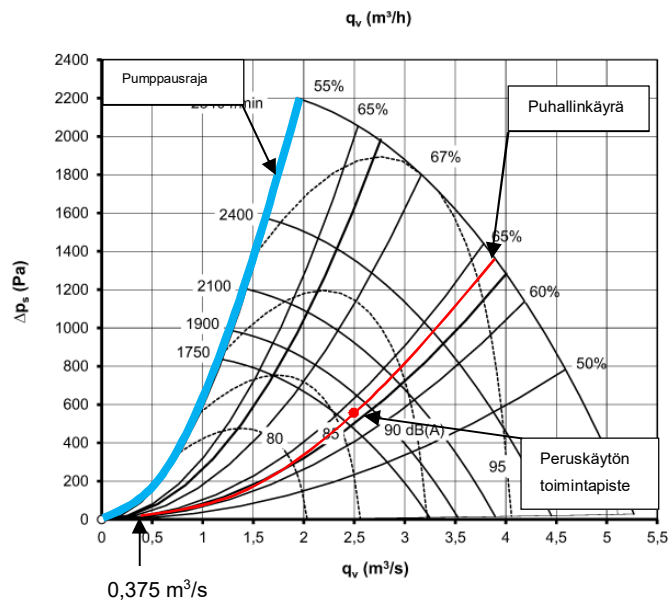
Puhallin on merkittävä osa ilmanvaihtojärjestelmää. Sen pääasiallinen tarkoitus on pyörittävän siipipyörän synnyttämän paineenkorotuksen avulla siirtää ilmaa puhaltamalla sekä myös imemällä ilmanvaihtojärjestelmässä. Puhallin voi olla osana ilmanvaihtokonetta, se voidaan liittää suoraan kanavistoon tai se voi toimia vapaasti esimerkiksi kattoaukkoon asennettuna.

Puhaltimien mitoituksessa varsinkin toimistorakennuksissa on tapana ottaa huomioon muuntojoustavuus, jolloin mitoitetaan koneeseen reserviä varauduttaessa tuleviin käyttötärpeen muutoksiin ja näin ilmamäärien pienentäminen käyttöajan ulkopuolella muuttuu haasteellisemmaksi, kun säätövaraa on jo valmiiksi vähemmän. Tätä tutkimusta varten tehdyssä haastattelussa Lönnström nostaa mitoitusreservin osalta esille kertaantumismilmiön suunnittelijan ja laitevalmistajan välillä.

Suunnittelija ilmoittaa laitevalmistajalle yläkanttiin ilmamäärät ja laitevalmistaja mitoitaa koneen omilla varmuuskertoimillaan, jolloin tuloksena monesti on, että koneet ovat ylimitoitettuja ja niiden ajaminen pelkästään normaali teholla ei ole optimaalista puhumattakaan, jos koneita tulisi ajaa minimi-ilmamäärillä (Lönnström 2018).

Puhallinta valittaessa tulee toimintapiste ja laitoskäyrä mitoittaa niin, että ne ovat riittävän kaukana pumppausrajasta. Puhaltimen pumppausilmiö aiheutuu tilavuusvirran laskiessa paine-erosta paine- ja imupuolen välillä, jolloin ilma voi virrata puhaltimen sisällä painepuolelta imupuolelle. Tämä voi aiheuttaa huomattavan vaihtelun paine-erossa, joka puolestaan saattaa aiheuttaa jopa konehuoneiden ja kanavien rikkoutumisen (Seppänen 1996).

Esimerkkinä käytettävässä toimistotalossa asetuksen 1009/2017 mukainen vähimmäisilmamäärä kyseiselle rakennukselle on  $2\,500\text{ m}^2 \times 0,15\text{ (dm}^3/\text{s)} / \text{m}^2 = 375\text{ dm}^3/\text{s}$ , joka on n. 9 % ilmanvaihtokoneen täydestä tehosta, ja kuten alla näkyvästä puhallinkäyrästä (kuva 10) voidaan havaita toimintapiste sijoittuisi tässä tapauksessa epäedulliseen paikkaan puhallinkäyrällä.

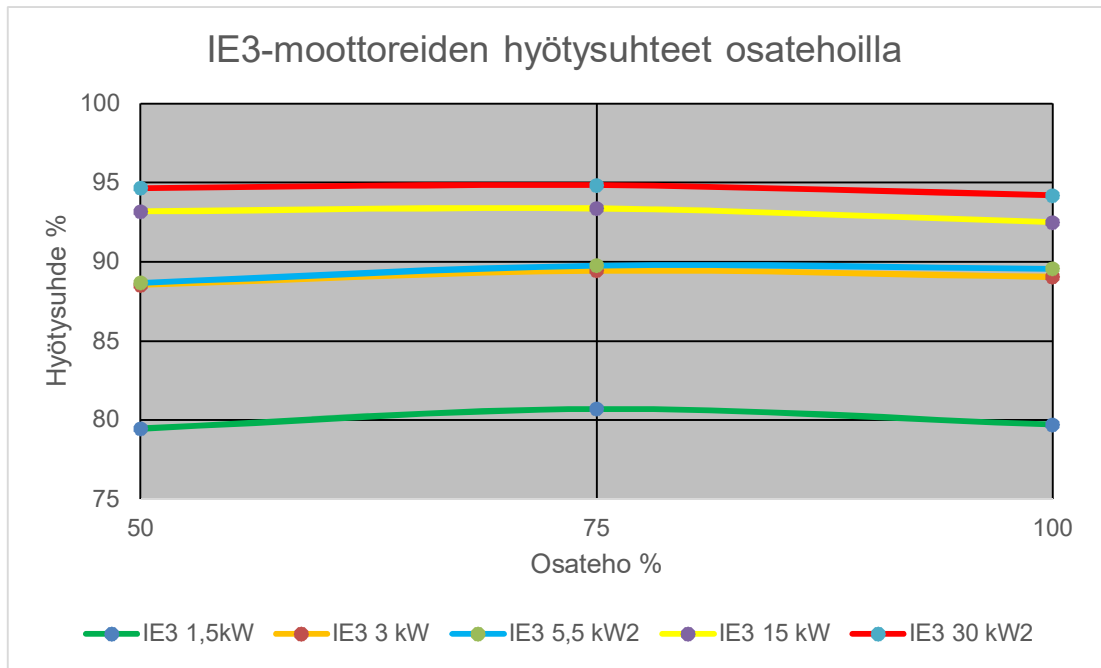


Kuva 10. Puhallinkäyrä (Acon mitoitusohjelma-Fläktgroup Oyj)

#### 4.3.1.2 Moottori

Moottorin valinnalla on huomattavasti pienempi merkitys mitoituksen onnistumisen kannalta verrattuna esimerkiksi painehäviön vaikutukseen (Lönnström 2018). Moottorin valinnassa on kuitenkin muutamia asioita, jotka suunnittelun yhteydessä olisi hyvä ottaa huomioon.

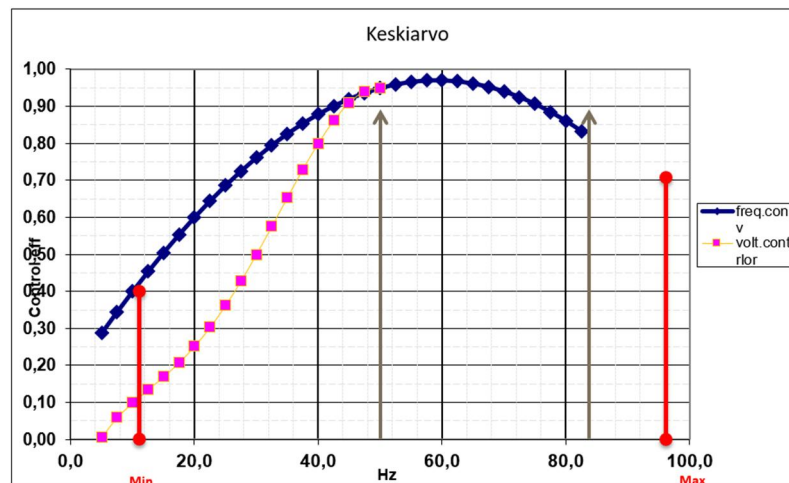
Suunniteltaessa ilmanvaihtojärjestelmää, jonka tulisi toimia osan ajasta pienemmillä ilmavirroilla, tulee suunnittelijan ottaa huomioon, että moottorivalmistajat ovat monesti mitoittaneet laitteensa toimimaan parhaimmalla hyötysuhteella n. 75 %:n osakuormalla moottorin täydestä kapasiteetista (kuva 11).



Kuva 11. Erään valmistajan IE3-moottoreiden hyötysuhteet osatehoilla.

Optimaalisimman toimintapisteen lisäksi monet moottorivalmistajat ilmoittavat myös minimiohjaustaajuuden moottoreille. Alhaisilla taajuuksilla ohjattaessa ovat monesti vaarana laakeri- sekä moottoririkot.

Myös moottorin säädöllä voidaan vaikuttaa moottorin hyötysuhteeseen, varsinkin perinteisten AC-moottorien osalta. AC-moottoreiden taajuussäädön säätöalue on 10...100 Hz, ja optimimitoitus taajuusmuuttajalle on n. 60 Hz. Tämän vuoksi usein paras hyötysuhde on välillä 40...85 Hz (Koppanen 2015). Taajuusalueen valinnan myötä moottorin napaluvun vaikutus moottorin hyötysuhteeseen korostuu, minkä vuoksi suunnittelijan tulisi miettiä koneen taajuussäätöä jo ilmanvaihtokoneen mitoittamisen yhteydessä. Kuvassa 12 on esitetty keskiarvo jännitesäätöisten (vaaleanpunainen viiva) ja taajuussäätöisten (sininen viiva) moottorien hyötysuhteen käyttäytymiselle taajuudenfunktiona. Kuvan graafista on havaittavissa, että taajuussäätöisissä moottoreissa on keskimääräisesti enemmän säätövaraa niin, että moottorin hyötysuhde ei kärsi.



Kuva 12. Moottorien säätö (Fläktgroup Oyj 2018).

AC- ja PM-moottorien lisäksi voidaan harkita nykyaikaisia EC-moottoreita, joiden nopeutta voidaan yhtä lailla säätää sisäänrakennetulla elektronisella ohjausjärjestelmällä eikä näin ollen tarvita erillistä taajuusmuuttajaa. EC- ja PM-moottorien energiahäviöt ovat keskimääräisesti pienemmät myös osatehoilla verrattuna perinteisiin moottoreihin. EC- ja PM-moottorien käyttöä tulisi harkita varsinkin silloin, kun tiedetään, että ilmanvaihtojärjestelmää tulee voida ajaa myös selvästi mitoitetusta pienemmillä nopeuksilla, jolloin EC- ja PM-moottorien hyötysuhde on keskimääräisesti parempi kuin perinteisissä moottoreissa ja säätöä voidaan käyttää portaattomasti (Lönström 2018).

#### 4.3.1.3 Ilmanvaihdon lämmitys, jäähdytys sekä lämmöntalteenotto

Ilmamääriä pienentäessä tulee nykyaikaisten järjestelmien kohdalla ottaa huomioon myös ilmanvaihdon lämmitys-, jäähdytys- ja lämmöntalteenottojärjestelmien säädettävyys ja hyötysuhde. Ilmavirtoja merkittävästi pienentämällä tulee varautua mahdolliseen laminaariseen virtaukseen lämmönsiirtimissä. Esimerkiksi jos lamellipatteri on mitoitettu otsapintanopeuteen 2,5 m/s ja sitä ajetaan käyttöajan ulkopuolella otsapintanopeudella 1 m/s, tällöin on vaarana, että virtaus muuttuu laminaariseksi. Laminaarista virtaus siirtää lämpöä heikommin kuin turbulenttinen ”pyörrevirtaus”, ja se on vaikeampi säätää tasaisesti. Liian alhainen nestevirtaus voi aiheuttaa myös jäätymisvaaran.

Pienennettäessä esimerkki toimistotalon ilmamääriä valitun ilmanvaihtokoneen valintaohjelman mukaiseen minimi-ilmavirtaan (500 dm<sup>3</sup>/s) ilmoittaa ohjelma kuvassa 13 näkyvistä mitoitusongelmista.

Ilmanlämmitin, vesi		Ilmanjäähdytin, vesi	
Putkiliitäntä DN	25	Putkiliitäntä DN	32
Vesitilavuus	4,6 l	Vesitilavuus	9,5 l
Mitoittava painehäviö, Talvi	1 Pa	Mitoittava painehäviö	2 Pa
Teho	0,605 kW	Painehäviö	5 Pa
Ilman lämpötila	16 / 17 °C	Painehäviö, kuiva patteri	2 Pa
Otsapintanopeus	0,5 m/s	Teho	6,6 kW
Lämmittimen säätötapa	Mitoitus ilman pumppuryhmää	Ilman lämpötila	26 / 18 °C
Veden lämpötila	70 / 40 °C	Suhteellinen kosteus	53,1 / 78,1 %
Vesivirta	0,0 l/s	Otsapintanopeus	0,5 m/s
Veden nopeus	0,0 m/s	Veden lämpötila	7 / 12 °C
Vesipuolen painehäviö	0,0 kPa	Vesivirta	0,31 l/s
		Veden nopeus	0,2 m/s
		Vesipuolen painehäviö	0,7 kPa

⚠ Ilman nopeus patterissa on liian pieni (724)

⚠ Varoitus laminaarivirtauksen mahdollisuudesta (728)

Kuva 13. Ilmanlämmittimen ja ilmajäähdyttimen mitoitus taulukko (Acon-Fläktgroup Oy 2018)

#### 4.3.2 Kanavisto ja sen painehäviöt

Merkittävässä roolissa ilmamääriä pienennettäessä on myös koko järjestelmän painehäviö, joka osaltaan asettaa rajoituksia sille, kuinka pieniin ilmamääriin päästään niin, että ilma kantautuu järjestelmän kauimmaisimpaankin tilaan täyttäen asetuksen vaatimukset. Ongelmalliseksi käyttäjän ulkopuolisen ilmavirtojen pienentämisen tekee yleinen käytäntö mitoittaa kanavistot väljäksi niin, että saadaan aikaiseksi matalilla nopeuksilla toimiva energiatehokas sekä meluton järjestelmä. Asetuksen 1009/2017 10§:n rajaus ”muut kuin asuinkiinteistöt”, pitää sisällään useasti suurien ilmamäärien kouluja sekä toimistotaloja, joissa kanavistojen väljä mitoitus hankaloittaa ilmavirtojen pienentämistä. Ilman nopeus vaikuttaa suoraan kanaviston painehäviöihin ja laskemalla nopeutta voidaan ajautua tilanteeseen, jossa ilmanvaihtojärjestelmän paineenkorotus ei riitä kuljetta- maan pienempää ilmavirtausta verkoston kaukaisimpiin osiin. Tämän lisäksi väljissä kanavissa nopeuden laskeminen saattaa aiheuttaa laminaarisen virtauksen, joka ei ole optimaalinen järjestelmän toimivuuden kannalta. Lönnström (2018) huomauttaa, että painehäviöt voidaan myös mitoittaa liian matalaksi.

Energiatehokkuuden kannalta on tärkeää, että suunnitellut painehäviöt ja toteutuneet painehäviöt olisivat mahdollisimman lähellä. Mikäli havaitaan isoja poikkeamia, olisi syytä tarkistaa, mistä virhe on syntynyt? (Lönnström 2018).

Tähän nojaten Lönnström nostaa tätä tutkimusta varten tehdyssä haastattelussa esille toivomuksen suunnittelijoille, jotka voisivat suorittaa entistä tarkempaa ja täsmällisempää laskentaa jo suunnitteluvaiheessa, jotta välttyttäisiin virhemitoituksilta, jotka vaikeut-

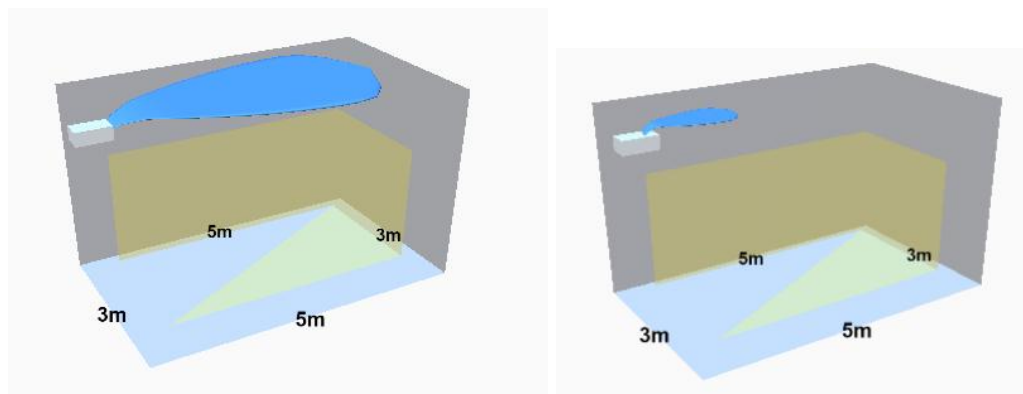


tavat ilmanvaihtojärjestelmän säätöä jo mitoitusilanteessakin. Suositeltavina mitoituskriteereinä voitaisiin mielestäni pitää ilmanvirtausnopeutta, joka alittaisi 5 m/s ja painehäviötä, joka kanaviston osalta olisi n. 1 Pa/m.

#### 4.3.3 Ilmanjako

Ilmanjaon toteutus viime kädessä ratkaisee ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuuden. Ilmanjako tulee suunnitella siten, että tuloilma virratessa oleskeluvyöhykkeelle epäpuhtaudet kulkeutuvat samalla poistoilman päätelaitteita kohden. Näin vältetään epäpuhtauksien leviäminen oleskeluvyöhykkeelle sekä niin sanotut oikosulkuvirtaukset, joissa tuloilma virtaa oleskeluvyöhykkeen ohi suoraan poistoilman päätelaitteisiin (Seppänen 1996).

Käyttöajan ulkopuolisen ilmanjaon haasteelliseksi tekevät varsinkin sekoittavassa - sekä laminaarisessa ilmanjaossa käytetyt suuret ominaistuloilmavirrat. Päätelaitteet ja niiden tuloilmasuihkut on mitoitettu normaalin käyttöajan mukaisin ilmavirroin, jotka eivät toteudu käyttöajan ulkopuolisilla vähimmäisilmavirroilla eikä tilojen huuhtelu toteudu halutulla tavalla (kuva 14).



Kuva 14. Saman huonepäätelaitteen ilmasuihkun leviäminen käyttöajan mitoituksella (vasen) ja käyttöajan ulkopuolisella mitoituksella (oikea). (Select – Fläktgroup Oyj)

Ratkaisuna haasteelle voidaan käyttää esimerkiksi säätyviä tuloilmalaitteita, joissa päätelaitetta voidaan automatiikalla säätää ilmavirtojen mukaisesti. Ratkaisut ovat monesti kuitenkin tapauskohtaisia.

## 5 Toteutusvaihtoehdot

Tässä osiossa esitellään uudesta asetuksesta vastaavilla tahoilla hyväksytyt teoreettisia toteutusvaihtoehtoja käyttöajan ulkopuoliselle ilmanvaihdolle. Jokainen ilmanvaihtojärjestelmä on kuitenkin yksilöllinen, ja olosuhteet sekä resurssit ovat monesti hyvin erilaiset, minkä vuoksi suunnittelu sekä rakentaminen vaativat teoreettisten mallien soveltamista tapauskohtaisesti.

### 5.1 Perusilmanvaihtojärjestelmän käyttö

Perusilmanvaihtojärjestelmän käytön ajatuksena on hyödyntää käyttöajalle mitoitettua ilmanvaihtojärjestelmää niin, että se palvelisi rakennusta myös käyttöajan ulkopuolella. Seuraavassa osiossa esittelen vaihtoehtoisia malleja, joiden avulla voitaisiin käyttää perusilmanvaihtojärjestelmää käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteutukseen.

#### 5.1.1 Perusilmanvaihtojärjestelmän ajaminen osateholla

Yksinkertaisena ratkaisuna käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon toteutukselle voidaan ajatella normaalikäyttöön tarkoitettun ilmanvaihtojärjestelmän ajamista osateholla koko käyttöajan ulkopuolisen ajan tai osan siitä, kunhan pidetään huolta, että asetuksen mukainen vähimmäisilmavirtamäärä toteutuu käyttöajan ulkopuolisen jakson aikana. Optimaalista osatehokäyttöä rajoittaa koneen tekninen suorituskyky. Suunnittelussa tulee varmistaa järjestelmän riittävä painehäviö sekä puhaltimen toimintapisteen säilyminen puhallinkaavion raja-alueella. Lisäksi tulisi laskea, onko energian kulutuksen kannalta kannattavampaa tähdätä mahdollisimman pieneen osatehoon, jolloin järjestelmää joudutaan ajamaan pienemmillä ilmavirroilla pidempään käyttöajan ulkopuolella, vai tähdätäkö esimerkiksi 80 %:n osatehokäyttöön, jolloin käyttöajan ulkopuolinen käyntiaika olisi lyhyempi.

Opinnäytetyössään vuonna 2018 osatehokäyttöä tutkinut Antti Alanko korostaa ilmavirtojen portaattoman säädön merkitystä ilmanvaihdon päätelaittekohtaiseen tasapainoon, kun järjestelmää ajetaan osateholla. Tutkimuksessaan Alanko huomauttaa, että ilmavirtojen lasku ei tapahdu samassa suhteessa kaikilla päätelaitteilla vaan esimerkiksi tuloilmapuolella tilakohtainen vaihtelu saattoi olla jopa 10 %.

Tutkimuksessaan Alanko korostaa myös, että ajettaessa ilmanvaihtojärjestelmää osateholla on tuloilmanjaon oltava sellainen, ettei rakennukseen muodostu oikosulkuvirtauksia, joissa tuloilma virtaa suoraan poistoilmajärjestelmään tuulettamatta kyseistä tilaa. Hän huomauttaa, että merkkiaine- ja savukoetutkimuksiensa perusteella kanaviston painetasen lasku aiheuttaa seinähajottajilla varustetuissa tiloissa merkittävää oikosulkuvirtausta, mutta toteaa samalla, ettei tämä oleellisesti vaikuta tilojen tuulettumiseen (Alanko 2018).

Tuulettumisen lisäksi Alanko nostaa tutkimuksessaan esille sekä painesuhteiden poikkeamat verrattaessa osateholla sekä mitoitusteholla käyttöä. Nämä poikkeamat voivat aiheuttaa haitallisia rakenteiden kautta tapahtuvia hallitsemattomia ilmavirtauksia, kun mahdollinen alipaine vetää rakenteiden läpi ulkoilmaa tai mahdollinen ylipaine työntää kosteaa sisäilmaa rakenteisiin (Alanko 2018).

Vaikka uuden sisäilma-asetuksen 10 §:n neljännessä momentissa mainitaankin, ettei pykälä lähtökohtaisesti koskisi olemassa olevien rakennuksien laajennuksia, voitaisiin tätä ratkaisua kuitenkin harkita myös olemassa olevien ilmanvaihtojärjestelmien osalta. Muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin ei tarvitsisi tehdä, vaan pelkällä järjestelmän säädöllä sekä aikaohjelman muutoksilla voitaisiin täyttää käyttöajan ulkopuolista toimintaa säättävän asetuksen vaatimukset. Näin ollen voidaan teoreettisesti luottaa siihen, että ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusalue ulottuu asetuksen mukaisesti kaikkiin tiloihin. Eri-tyistä huomiota tulisi kiinnittää erillisilmanvaihtojärjestelmiin ja niiden ohjaukseen muun järjestelmän mukaisesti.

#### 5.1.2 Perusilmanvaihtojärjestelmän jaksottainen ajaminen käyttöajan mitoituksella

Uuden asetuksen 1009/2017 perustelumuiustiossa mainitaan, että käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon ei tarvitse olla jatkuvaa, vaan se voidaan toteuttaa myös jaksottaisesti, kunhan asetuksessa mainittu vähimmäisilmavirta  $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s) / m}^2$  toteutuu keskimääräisesti käyttöajan ulkopuolisena aikana (taulukko 1).

Taulukko 1. Jaksottaisen ilmanvaihdon tarve

<b>Esimerkki. Toimistorakennus, jossa keskimääräinen vapaa tilakorkeus on 2,5 metriä ja Sisäilmastoluokitus 2018:n mukainen käyttöaika 07.00 - 18.00.</b>	
Tilojen vähimmäisilmanvaihtokerroin	0,2 (1/h)
Käyttöajan ulkopuolinen aika (18.00 - 07.00)	13 tuntia
Koko ilmatilavuuden vaihtumistarve käyttöajan ulkopuolella: 0,2 (1/h) x 13 h	2,6 kertaa

Asetuksen vastuuhenkilön rakennusneuvos Pekka Kalliomäen (ympäristöministeriö) mukaan jaksottainen käyttö voidaan toteuttaa monella tapaa, ja alla mainittuja hyväksytyjä toimintatapoja voi myös käyttää yhdessä, kunhan lopputulos täyttää asetuksen vaatimukset.

- *Käyttöajan jälkikäynti.* Tällöin käyttöajan päätyttyä ilmanvaihto jätetään päälle normaaliteholla tarvittavaksi ajaksi niin, että käyttöajanulkopuolelle laskettu vähimmäisilmamäärä vaihtuu tiloissa. Tämä ratkaisu poistaa tehokkaasti käyttäjistä aiheutuvan epäpuhtauskuorman rakennuksesta heti käyttäjien poistuttua.
- *Käyttöaikaa edeltävä käynti.* Tällöin ”puhdistetaan” tilat käyttämällä ilmanvaihtoa normaaliteholla ennen käyttäjien saapumista. Tätä ratkaisua tukee uuden Sisäilmastoluokitus 2018 ohjeistus siitä, että minimi-ilmanvaihtojakson jälkeen ilmanvaihtoa olisi käytettävä normaaliteholla 2 tuntia ennen käyttäjien tuloa rakennukseen.
- *Satunnaiset käynnistykset käyttöajan ulkopuolella.* Tällöin vähimmäisilmamäärän vaihtumista jaetaan tasaisemmin käyttöajan ulkopuoliselle jaksolle. Lönströmin (haastattelu, elokuu 2018) mukaan useat lisäkäynnistykset ilmanvaihdon aikaohjelmissa eivät juurikaan rasita uusia ilmanvaihtojärjestelmiä. Satunnaisten käynnistysten osalta Kalliomäki (haastattelu, elokuu 2018) linjaa, että erityistä huomiota tulisi kiinnittää jatkuvasti päällä olevien hygieniatilojen tuloilman tarpeeseen sekä käynnistysten mahdollisesti aiheuttamien painevaihteluiden välttämiseen koko rakennuksen osalta.

## 5.2 Rinnakkaisjärjestelmä käyttöajan ulkopuoliselle ilmanvaihdolle

Vaihtoehtoisena hyväksyttävänä toteutustapana voidaan pitää oman rinnakkaisen ilmanvaihtojärjestelmän rakentamista. Lähtökohtaisesti ajatus kokonaan toisesta järjestelmästä omine päätelaitteineen, koneineen ja kanavistoineen tuntuu samaan aikaan teknisesti ja varsinkin taloudellisesti mielenkiintoiselta sekä haastavalta. Lähtökohtaisina haasteina tälle vaihtoehdolle voisi ajatella olevan muun muassa asennuksien tilantarve.

Tilantarpeen näkökulmasta ajateltuna käyttöajan ulkopuolisen rinnakkaisjärjestelmän kanavakoot ovat huomattavasti pienempiä kuin ”perusilmanvaihtojärjestelmässä”. Tästä huolimatta saattaa niiden sijoittaminen varsinkin ahtaisiin käytävien alakattotiloihin olla haasteellista. Rinnakkaisjärjestelmällä on hyvin todennäköisesti myös oma ilmanvaihtokone (-koneet), joiden tilantarve tulisi huomioida suunniteltaessa ilmanvaihdon konehuoneita.

Taloudellisen näkökulma osalta voidaan lähtökohtaisesti todeta, että esimerkiksi jo tavallisten toimistorakennusten normaalia käyttöaikaa varten suunniteltu ilmanvaihtojärjestelmä on merkittävä osa LVI-kokonaiskustannuksista. Granlund Consulting Oy:n kustannusohjausyksikön johtava asiantuntija Sari Linna arvioi kokemusperäisesti, että normaalin käyttöaikaa varten suunnitellun ilmanvaihtojärjestelmän osuus on keskimäärin noin 30 - 40 %:a tavallisen toimistorakennuksen LVI-kustannuksista (Linna 2018). Vaikka selkeää tilastoitua tietoa käyttöajan ulkopuolella palvelevien rinnakkaisjärjestelmien kustannuksista ei ole riittävästi saatavilla, voidaan todeta, että vaikka ilmavirrat ja näin ollen myös päätelaitteet ja kanavat ovat pienempiä kuin pääjärjestelmässä, ovat luku- sekä metrimäärät kuitenkin molemmissa yhtä suuret. Lisäksi kustannuksia nostavat rinnakkaisjärjestelmän koneet. Nämä rinnakkaisjärjestelmän kustannukset nostavat jo valmiiksi ilmanvaihdon suurta osuutta LVI-kokonaiskustannuksista.

Tämän lisäksi on hyvä huomioida myös rinnakkaisjärjestelmän energiankulutus ja verrata sitä muiden toteutustapojen energiakustannuksiin. Jos rinnakkainen järjestelmä onnistuu kuluttamaan vähemmän energiaa suhteessa esimerkiksi jaksottaiseen käyttöön, sille voidaan laskea takaisinmaksuaika. Uskon, että rinnakkaisjärjestelmän hankintakustannukset saattavat olla kuitenkin syynä sille, ettei rinnakkaiset käyttöajan ulkopuoliseen toimintaan suunnattuja ilmanvaihtojärjestelmiä ole otettu käyttöön laajemmassa mittakaavassa – ainakaan tähän mennessä.

## 6 Esimerkkikohteet

### 6.1 Senaatti-kiinteistöjen toimistorakennus

Samanaikaisesti insinööriyöni aikana olen ollut työpaikallani osallisena Senaatti Kiinteistöjen toimitilamuutosprojektissa (taulukko 2), jossa muun muassa toimistorakennuksen ilmanvaihto uusitaan täysin koko rakennuksen osalta. Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon osalta päädyttiin toteuttamaan asetuksen vaatimukset jaksottaisella ilmanvaihdolla.

Taulukko 2. Rakennuksen perustiedot.

Rakennuksen perustiedot	
Rakennustyyppi	Toimistorakennus
Kerrosala	2 295 m <sup>2</sup>
Tilavuus	n. 6 885 m <sup>3</sup>
Uudistettujen TATE-järjestelmien rakennusaika	2018 - 2020

#### 6.1.1 Toiminnan kuvaus

Rakenteilla olevaan ilmanvaihtojärjestelmään kuuluu kolme tulo-/poistoilmakonetta sekä muutamia erillispoistoja. Tilantarpeen sekä rakennuksessa olevien erikoistilojen ilmanvaihdon vuoksi päädyttiin käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto toteuttamaan jaksottaisella ilmanvaihdolla.

Käytännössä rakennuksen vuorokautisen käyttöajan päätyttyä ja käyttäjien poistuttua rakennuksesta koko ilmanvaihtojärjestelmän annetaan olla mitoitusteholla päällä muutamman tunnin, jotta käyttäjistä aiheutunut kosteuskuorma ja epäpuhtaudet saadaan poistettua. Tämän lisäksi ilmanvaihtojärjestelmä käynnistetään muutamia tunteja ennen käyttöajan alkamista ja käyttäjien saapumista, jotta tiloista saadaan ”tuuletettua” mahdolliset epäpuhtaudet kuten VOC-päästöt. Viikonloppujen osalta noudatetaan lähtökohteisesti käyttöaikoja, mutta jos tilojen käyttäjillä ei ole viikonlopputoimintaa kiinteistössä käytetään ilmanvaihtoa normaaliteholla vuorokauden aikana niin, että vuorokaudelle laskeutu vähimmäisilmanvaihtuvuusvaatimus täyttyy.

### 6.1.2 Mitoitus

Uuden sisäilma-asetuksen 1009/2017 mukainen jatkuva vähimmäisilmavirta Senaatti-kiinteistöjen toimistorakennuksen osalta on

$$0,15 \frac{dm^3}{s} / m^2 \times 2\,295 m^2 = 345 \frac{dm^3}{s}$$

Tämän toimistorakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää ei kuitenkaan voida järkevästi ajaa niin pienelle osateholle (<10 % käyttöajan mitoitusvirtaamasta), vaan kyseisen rakennuksen kohdalla on päädytty toteuttamaan käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto mitoitus-  
teholla jaksottaisesti ajaen. Vähimmäisjakson pituuden selville saamiseksi tulee ensin laskea rakennuksessa vaihdettavan minimi-ilmamäärä koko käyttöajan ulkopuolisena aikana. Koska todellista käyttöprofiilia ei ollut vielä saatavilla, käytän kuviteltua käyttöprofiilia (klo 07.00 - 18.00) esimerkkinä tälle rakennukselle, jolloin käyttöajan ulkopuolinen aika olisi 13 tuntia.

$$345 \frac{dm^3}{s} \times 3600 = 1\,242 \frac{m^3}{h}$$

$$\rightarrow 1\,242 \frac{m^3}{h} \times 13 h = 16\,146 m^3$$

Käyttöaikaisen mitoituksen ( $4\,500 dm^3/s = 16\,200 m^3/h$ ) mukaisesti ajettaessa käyttöajan ulkopuolinen jakson pituus on

$$\frac{16\,146 m^3}{16\,200 \frac{m^3}{h}} \approx 1 \text{ tunti}$$

Kyseessä olevan rakennuksen osalta laskettu 1 tunnin vähimmäiskäyttö tullaan todennäköisesti kuitenkin ylittämään selvästi käyttämällä ilmanvaihtoa siten, että käyttöajan päätyttyä ilmanvaihtojärjestelmä jätetään päälle noin tunniksi, jotta käyttäjien jättämä kosteuskuorma sekä epäpuhtaudet saadaan poistettua rakennuksesta. Tämän lisäksi on suunniteltu, että koneet käynnistetään ennen käyttöajan alkamista niin, että huomioidaan Sisäilmastoluokitus 2018:n mukainen suositus 2 tunnin normaalitehoisen huuhtelukäytöstä ennen käyttäjien saapumista.

## 6.2 Launeen monitoimitalo

Yrittäessäni kartoittaa mahdollisia mallikohteita huomasin, ettei tätä kyseistä toimintatapa ole aktiivisesti otettu käyttöön Suomessa. Lahden kaupunki on kuitenkin päättänyt kokeilla kyseistä vaihtoehtoa Launeen monitoimitalo -hankkeessaan (taulukko 3). Pohdittuaan eri vaihtoehtoja asetuksen täyttämiseksi, Lahden kaupungin tilakeskuksen edustaja Mika Kauppinen (2018) kertoi päätyneensä lopulta ratkaisuun, jossa Launeen uuden monitoimitalon käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto järjestetään omilla kanavilla, kojeilla sekä päätelaitteilla, jotka tulevat toimimaan tauotta käyttöajan ulkopuolisen ajan. Kauppinen uskoo, että tällä tavoin varmistetaan, ettei rakennuksen sisäilmanlaatu pääse missään vaiheessa romahtamaan ilmanvaihdon puutteen vuoksi.

Taulukko 3. Rakennuksen perustiedot

Rakennuksen perustiedot	
Rakennustyyppi	Monitoimikeskus
Kerrosala	10 075 m <sup>2</sup>
Tilavuus	n. 51 820 m <sup>3</sup>
Käyttötarkoitus	Koulu (900 hlö) Päiväkoti (100 hlö) Liikuntasali (n. 400m <sup>2</sup> ) Nuorisopalvelu
Rakennusaika	2018 - 2020



### 6.2.1 Toiminnankuvaus

Rakenteilla olevan monitoimitalon ilmanvaihtojärjestelmä tulee toimimaan siten, että käyttöajan rakennuksessa on käytössä käyttöajan kuorman mukaan mitoitettu ”perusilmanvaihto”, joka sammutetaan käyttöajan ulkopuoliseksi ajaksi. Perusilmanvaihdon sammuttua rakennuksen ilmanvaihto toimii käyttöajan ulkopuolisen ajan tauotta rinnakkaisen ilmanvaihtojärjestelmän kautta. Nämä kaksi erillistä järjestelmää eivät toimi yhtäaikaisesti. Käyttöajan ulkopuolisen järjestelmän ulkopuolelle on jätetty muutamia tiloja, joita käytetään oman aikaohjelman mukaisesti myös muuhun kuin oppilaitoksen toimintaan.

Käytännössä voidaan ajatella, että toimintatapa on täysin sama kuin aiemmin mainitussa tavassa ajaa käyttöajan ilmanvaihtoon tarkoitettua järjestelmää pienemmillä ilmamäärillä. Merkittävänä erona tulee kuitenkin huomioida, että rinnakkaisessa järjestelmässä ei tule yhtäläisiä ongelmia mitoituksen ja säädön kanssa ilmavirtamäärien laskiessa, koska rinnakkainen järjestelmä on mitoitettu toimimaan pelkästään käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihtotarpeen mukaisesti. Tällä tavoin on helpompi hallita ilmavirtauksia sekä myös tilojen huuhtelualaa paremmin, kuin jos ajettaisiin mitoitukseen nähden liian pieniä ilmamääriä perusilmanvaihtojärjestelmän kautta.

### 6.2.2 Mitoitus

Havainnollistamisen yksinkertaistuksen vuoksi, rajasin tarkastelun koskemaan rakennuksen A-osaa.

Uuden sisäilma-asetuksen mukainen vähimmäisilmavirta Launeen monitoimirakennuksen A-osalle on

$$0,15 \frac{dm^3}{s} / m^2 \times 700 m^2 = 105 \frac{dm^3}{s}$$

Launeen monitoimitalon käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihdon rinnakkaisjärjestelmä on suunniteltu vaihtamaan rakennuksen ilmamäärän 0,5 kertaa tunnissa, mikä kyseisen rakennuksen A-osan kohdalla tarkoittaa ilmavirtauksena seuraavaa:

$$0,5 \frac{1}{h} \times (700 m^2 \times 2,5 m) = 243 \frac{dm^3}{s}$$

Tämän perusteella voidaan osoittaa, että Launeen monitoimirakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto täyttää vaatimukset ja on yli 2-kertainen ympäristöministeriön uuden sisäilma-asetuksen mukaiseen vähimmäisilmavirtaan verrattuna.

## 7 Yhteenveto

Uuden sisäilma-asetuksen 1009/2017 10 §:n mukainen vaatimus vähimmäisilmamäärän vaihtumisesta kaikissa tiloissa käyttöajan ulkopuolella kumoaa aiemmin yleisenä tapana olleen käytännön huolehtia käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta jatkuvasti päällä olevilla hygieniapoistoilla. Asetuksen perustelumuiotiossa huomautetaan, että edellä mainituille hygieniapoistoille tulisi varmistaa tuloilman saanti ja samalla rakennuksessa tulisi välttää painevaihteluita. Tämän insinööriyön tutkimuksen perusteella voidaan todeta ainakin kolme erilaista tapaa toteuttaa käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto: osatehokäyttö, jaksottainen käyttö sekä rinnakkainen ilmanvaihtojärjestelmä.

Osatehokäytön osalta tulee erityisesti kiinnittää huomiota ilmanvaihtojärjestelmän mitoittamiseen ja sen osatehon selvittämiseen, jolla järjestelmää on teknisesti vielä mahdollista käyttää. Puhuttaessa muista kuin asuinrakennuksista ilmanvaihtokoneiden käyttöajan mitoittukset ovat usein niin suuria, ettei järjestelmiä pystytä välttämättä ajamaan edes alle 50 %:n osateholla puhumattakaan uuden sisäilma-asetuksen vähimmäisilmavirrasta  $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$  joka esimerkiksi aiemmin mainitun Senaatti-kiinteistöjen toimistorakennuksen osalta olisi tarkoittanut n. 10 %:n osatehoa. Tässä vaiheessa on hyvä muistaa, että tarkoitus ei ole pyrkiä kohti tätä vähimmäisilmamäärää vaan toteuttaa se vähintään asetuksen vaatimuksen mukaisesti. Vähimmäisilmavirran lisäksi on tärkeää varmistaa myös ilmavirtojen tasapainotus ja että rakennuksen painesuhteet säilyvät ennallaan, kun käyttöajan ulkopuolella vaihdetaan osateholle.

Jaksottaisen käyttö on vaihtoehtoista kaikkein monipuolisin erilaisine toteutusmalleineen. Perusideana on laskea käyttöajan ulkopuolella vaadittava vaihdettavan ilman määrä ( $\text{m}^3$ ) ja vaihtaa vähintään sen verran ilmaa, missä tahansa vaiheessa ja millä tahansa mahdollisella käyttöteholla käyttöajan ulkopuolella niin, että ilmamäärä on vaihtunut rakennuksessa ennen kuin käyttäjät saapuvat tiloihin. Yhtenä hyvänä mallina mie-

lestäni voitaisiin miettiä, että käyttäjien poistuttua tiloista ilmanvaihdon käyttöä jatkettaisiin mitoitusteholla niin, että käyttäjien jättämä epäpuhtauskuorma saataisiin poistettua. Tähän voisi järjestelmän aiemman käynnistyksen ja Sisäilmaluokitus 2018:n mukaisen 2 tunnin normaalitehokäyttöisen huuhtelun ennen käyttäjien saapumista tiloihin. Pitkien käyttöajan ulkopuolisten jaksojen, esimerkiksi oppilaitosten useamman kuukauden kesälomien kohdalla, olisi hyvä pohtia, minkä kokoisiin jaksoihin käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto jaetaan. Voidaan miettiä, että kesäloma-aika jaettaisiin esimerkiksi vuorokauden tai viikon pituisiin jaksoihin, joiden aikana tietty vähimmäisilmamäärä tulisi rakennuksessa vaihtua.

Edellisiä vaihtoehtoja yhdistää se, että molemmissa käytetään käyttöaika varten mitoitettua ilmanvaihtojärjestelmää ja näin ollen ne ovat myös mahdollisia toteuttaa korjauskohteissa. Kolmantena vaihtoehtona näiden aiemmin mainittujen lisäksi on rakentaa kokonaan erillinen oma ilmanvaihtojärjestelmä käyttöajan järjestelmän rinnalle. Tämä pitäisi sisällään omat kojeet, kanavat sekä päätelaitteet, joiden optimaalinen toimintapiste on mitoitettu juuri käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihtotarpeen mukaisesti. Lähtökohtaisesti tämän toteutusvaihtoehdon kohdalla keskitytään lähes pelkästään uudiskohteisiin, joissa on mahdollisuus vaikuttaa esimerkiksi tuleviin alakattojen, hormien sekä konehuoneiden tilavarauksiin.

Vaihtoehtoisten käyttöajan ulkopuolisten toteutustapojen selvittämisen johdosta tämän tutkimuksen myötä on esiintynyt selkeä tarve tutkia koneellisen ilmanvaihdon sammuttamisen aiheuttamia vaikutuksia sisäilmaolosuhteisiin eripituisina ajanjaksoina. Tämän lisäksi selkeän käytännön tutkimuksen avulla voitaisiin tutkia teoreettisen tarkastelun tueksi vielä tarkemmin ilmanvaihtojärjestelmän käyttäytymistä eri osatehoilla.

## Lähteet

- 1 Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. 2017. Ympäristöministeriö.
- 2 Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. Sisäilmayhdistys ry.
- 3 Seppänen, Olli. 1996 Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry.
- 4 Sarja, Asko. 2010. Rakennuksen tiiviys. <https://www.rakennustieto.fi/kortis-tot/tuotteet/114883.html.stx>. Rakennustietosäätiö RTS; Rakennustieto Oy; Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry.
- 5 Alanko, Antti. 2018 Ilmanvaihdon käyttötapojen ja käyttötasojen vaikutus sisäilmaan koulurakennuksissa. Opinnäytetyö. Itä-Suomen Yliopisto. Theseus-tietokanta
- 6 Sisäilmayhdistys. Ilmavirtaukset rakennuksessa. Verkkodokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>. Luettu 3.7.2018.
- 7 Harju, Riitta. 2011. Rakennuksen alipaineisuuden vähentäminen rakennuksen terveellisyyden lisäämiseksi. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 8 Vuoti, Erno. 2018. Sisäilmatutkijan ilmanvaihto-opas. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 2000. 132/1999
- 10 Siirtymäsäännös. 2013. 958/2012.
- 11 Asetuksen 1009/2017 perustelumuuisto. 2017.
- 12 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto D2. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Kumottu.
- 13 Verkkodokumentti. Asumisterveysasetuksen pykälät 1-10. <https://www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisoh-1> . Luettu 3.9.2018
- 14 Koppanen, Ville. 2015. Säädettyjen sähkömoottoreiden vertailu. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 15 Fingeroos, Mikael., Kolari, Sirpa., Pasanen, Pertti., Keskikuru, Timo. 2005. Ilmanvaihdon jatkuvan toiminnan hyödyt. Raportti 23. Espoo: Sisäilmayhdistys Ry.
- 16 Asikainen, Vesa., Pasanen, Pertti., Kokotti, Helmi. 2015. Yleisilmanvaihdon jaksottaisen käytön vaikutukset rakennusten paine-eroihin ja sisäilman laatuun. Raportti 33. Sisäilmayhdistys ry.
- 17 Hengitysliitto. Verkkosivu. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat> . Luettu 19.9.2018.
- 18 Kauppinen Timo. 2011. Rakennusten ilmanpitävyys. Rakentajain kalenteri 2011. Rakennustietosäätiö RTS; Rakennustieto Oy; Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry.
- 19 Kalliomäki, Pekka. 2018. Rakennusneuvos, Rakennetun ympäristön osasto, Ympäristöministeriö. Helsinki. Haastattelu 30.8.2018
- 20 Lönnström, Jyrki. 2018. Ratkaisumyyntipäällikkö, Fläktgroup Oyj. Espoo. Haastattelu 16.8.2018
- 21 Pekkola, Vesa. 2018 Neuvotteleva virkamies, Hyvinvointi ja palveluosasto, Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki. Haastattelu 13.9.2018
- 22 Ahola, Mervi. 2018. Toiminnanjohtaja, Sisäilmayhdistys ry. Helsinki. Haastattelu 13.9.2018
- 23 Marjamäki, Tomi. 2018. Erityisasiantuntija, Ympäristöministeriö. Helsinki. Haastattelu 3.10.2018
- 24 Siikanen, Unto. 2012 Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökohtia. Rakentajain kalenteri 2012. Rakennustietosäätiö RTS; Rakennustieto Oy; Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry.
- 25 Heino, Sauli. 2018. Suunnittelujohtaja, Granlund Oy. Helsinki. Ohjauskeskustelut 2018.
- 26 Kauppinen, Mika. 2018. LVI-Insinööri, Tilakeskus, Lahden kaupunki. Puhelinhaastattelu 1.10.2018
- 27 Sanderg, Esa. 2014. Ilmastointitekniikka Osa 2. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- 28 Linna, Sari. 2018. Johtava asiantuntija, Kustannusohjaus, Granlund Consulting Oy. Helsinki. Puhelinkeskustelu 25.10.2018

## 1009/2017:n 10 §:n perustelumuiston osa

rempi, jos rakennuksessa on sellaisen käyttötarkoituksen tila tai tiloja, joissa syntyy runsaasti epäpuhtauksia tai muita kuormituksia. Tällaisia tiloja olisivat esimerkiksi ammattikeittiöt ja liikuntatilat. Asunnoissa, jossa on sauna, saunan ilmavirtaa ei oteta mukaan vähimmäisilmavirran laskentaan, koska saunan ilmanvaihto kohdistuu vain saunatilaan. Se ei siis paranna asunnon muiden tilojen ilmanvaihtoa.

Asuinhuoneiston osalta ulkoilmavirraksi olisi kuitenkin mitoitettava vähintään 18 dm<sup>3</sup>/s. Ilmavirtaa tyyppillisesti vastaa mitoitusta keittiössä 8 dm<sup>3</sup>/s ja kylpyhuoneessa 10 dm<sup>3</sup>/s. Näiden käytöstä aiheutuva kuormitus on ilmanvaihdon mitoituksen kannalta sama asunnon koosta riippumatta.

Jos ilmanvaihtoa voidaan ohjata tarpeen mukaan, järjestelmän mitoituksessa voidaan ottaa huomioon järjestelmän palvelemissa tilojen eriaikainen käyttö, jolloin järjestelmää ei tarvitse mitoitaa kaikkien tilojen yhteenlasketun mitoitustilanteen mukaan.

**10 §. Ilmavirtojen ohjaus.** Pykälässä annettaisiin vaatimukset ilmavirtojen ohjauksesta. Pykälän ensimmäisen momentin mukaan ilmavirtoja olisi voitava ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti. Ilmavirtojen ohjauksen tarkoituksena olisi yhteensovittaa sisäilman hyvä laatuaste, kosteudenhallinta, viihtyisyys ja energiatehokkuus. Edellisessä pykälän vaatimukset täyttäviä suunnitellun käyttöajan ilmavirtoja ei siis olisi jatkuvasti käytettävä, vaan ilmavirtoja voitaisiin ohjata käyttötilannetta vastaavasti esimerkiksi viihtyisyyden mukaan.

Pykälän toisen momentin mukaan asuinhuoneiston ilmavirtojen ohjaus olisi suunniteltava niin, että tulo- ja poistoilmavirtoja voitaisiin ohjata joko rakennus- tai asutokohtaisesti siten, että niitä voitaisiin tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirta. Tämä olisi sisäilmaston kannalta tarpeellista esimerkiksi ruuanlaiton, ihmismäärän tai lämpö- tai kosteuskuormituksen takia. Mikäli asuinrakennuksen ilmanvaihtoa voidaan ohjata vain rakennuskohtaisesti, mitoitetaan ilmanvaihtojärjestelmä 30 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirtaa suuremmaksi. Jos rakennuksessa on useampia ilmanvaihtojärjestelmiä, voitaisiin niitä ohjata myös järjestelmäkohtaisesti.

Jos ilmanvaihtoa voisi ohjata asutokohtaisesti, asuinhuoneiston tulo- ja poistoilmavirtoja voitaisiin pienentää enintään 60 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirrasta. Tätä pienemmäksi ilmavirtaa ei voisi suunnitella pienennettäväksi. Pienempää ilmavirtaa voisi ohjata käytettäväksi esimerkiksi silloin, kun asunnossa ei oleskella eikä käyttöajan ilmanvaihdolle ole tarvetta kosteuden hallitsemiseksi. Pienennys voitaisiin toteuttaa yhdessä tai useammassa portaassa, portaattomasti tai automaattisesti. Pienennystä ei siis ole välttämätöntä toteuttaa, mutta jos pienennys toteutetaan ja se on vähintään 40 prosenttia, otetaan tämä huomioon energiatehokkuuden laskennassa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen mukaisesti.

Pykälän kolmannen momentin mukaan muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran olisi oltava vähintään 0,15 dm<sup>3</sup>/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 käytötavan suunnittelussa on erityistä huomiota kiinnitettävä jatkuvasti päällä olevien hygieniatilojen ilmanvaihdon tuloilman saantiin ja painevaihteluiden välttämiseen.

1009/2017:n 10 §

## 10 §

*Ilmavirtojen ohjaus*

Ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti.

Asuinhuoneiston ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava niin, että tulo- ja poistoilmavirtoja voi ohjata joko rakennus- tai asuntokohtaisesti siten, että niitä voidaan tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirrat. Jos ilmanvaihtoa voi ohjata asuntokohtaisesti, asuinhuoneiston tulo- ja poistoilmavirtoja voidaan pienentää enintään 60 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirroista.

4

1009/2017

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.

Pykälä ei koske sellaista rakennuksen laajennusta eikä kerrosalaan laskettavan tilan lisäämistä, missä ilmanvaihdon järjestämisessä voi käyttää olemassa olevaa ilmanvaihtojärjestelmää, eikä sisäilman laatu heikkene rakennuksessa.