

D2 Hanke

# Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa

30.11.2017

FINVAC ry

Suomen LVI-liitto SuLVI ry

VVS Föreningen i Finland rf

Sisäilmayhdistys ry

Lämpöinsinööriyhdistys ry

**FINVAC**

The Finnish Association of HVAC Societies



## ESIPUHE

Tämä opas käsittelee ilmanvaihdon mitoittamista ympäristöministeriön asetusluonnoksen (16.2.2017) mukaisesti. Opas korvaa liitteen 1 säädöksessä: D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. Opas on tulos ympäristöministeriön kesällä 2017 käynnistämästä hankkeesta, jonka tekijä oli FINVAC (The Finnish Association of HVAC Societies). FINVAC-organisaation jäseniä ovat Suomen LVI-liitto SuLVI ry, VVS Föreningen i Finland rf, Sisäilmayhdistys ry ja Lämpöinsinööriyhdistys ry.

Hankkeen projektiryhmään kuuluivat Olli Seppänen, FINVAC; Jorma Railio, SuLVI; Tiina Strand, SuLVI; Siru Lönnqvist, VSF; Jorma Säteri, Sisäilmayhdistys; Mervi Ahola, Sisäilmayhdistys ja Tuomo Niemelä, Granlund Oy.

Hankkeen asiantuntijaryhmän jäseniä olivat: Maarit Haakana, YM; Jari Hotokainen, Granlund Oy; Pekka Kalliomäki, YM; Risto Kosonen, Aalto yliopisto; Minna Launiainen, Helsingin kaupunki, ATT; Kimmo Liljeström, Optiplan Oy; Vesa Pekkola, STM; Juha Pentikäinen, Climaconsult Finland Oy; Mika Reinikainen, Granlund Oy; Ari Saarinen, YM ja Marianna Tuomainen, Helsingin kaupunki, Kaupunkiympäristön toimiala, Rakennetun omaisuuden hallinta.

Ympäristöministeriön puolesta työtä valvoivat rakennusneuvos Pekka Kalliomäki ja ympäristöneuvos Maarit Haakana.

Hankkeen tavoitteena oli tehdä ehdotus ilmanvaihdon ilmavirtojen ohjearvoiksi. Hankkeessa lähdettiin liikkeelle D2/2012-ohjeen taulukoista ja Suomen LVI-liiton D2-uusintatarveselvityksessä 2014 esille tulleista puutteista ja muutostarpeista. Hankkeessa kerättiin kokemukseen perustuvaa tietoa ilmanvaihdon mitoituksesta ja riittävydestä ilmanvaihdon asiantuntijoilta. Hankkeen alussa järjestettiin kaksi työpajaa, joissa hanke esiteltiin suunnittelijoille ja muille ilmanvaihdon asiantuntijoille. Työpajoja edelsi asiantuntijoille suunnattu ilmanvaihdon suuruutta ja toimintaa käsittelevä avoin nettikysely. Kyselyssä tarkennettiin 2014 selvityksessä esille tulleita uusimistarpeita. Kyselyn vastauksia tarkennettiin työpajassa ja sen jälkeen asiantuntijatapaamisin. Oppaan luonnos lähetettiin kommentoitavaksi laajalle asiantuntijaryhmälle, ja oli myös vapaasti kommentoitavana marraskuussa 2017 verkkosivuilla.

Hankkeessa otettiin huomioon tuoreimpien EU hankkeiden tulokset sekä CEN-standardien sisältö ja soveltuvuus Suomessa, myös Pohjoismaiden säännöksistä ja ohjeista kerättiin tietoa. Oppaan taustamateriaali on koottu hankkeen loppuraporttiin ”Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet”, FINVAC ry, 2017.

Hankkeen lopputulos muodostui synteesinä yllä kuvatulla tavalla kerätystä tiedosta (käyttäjien, suunnittelijoiden ja rakennuttajien kokemukset, suomalaiset selvitykset ja kansainväliset suositukset) ja suomalaisista säädöksistä ja ohjeista kuten Sisäilmastoluokitus.

Hankkeessa määriteltiin erilaisten rakennusten tyypillisten huonetilojen ilmanvaihdon tarve, laitemitoituksen ja käytön kannalta, lähtien liikkeelle tilan epäpuhtauskuormasta ja tavoitellusta sisäilman laadusta. Lämpöolojen tai erityisten epäpuhtauslähteiden hallitsemiseksi tarvittavia ilmavirtoja ei käsitelty.

Hanke kohdistui pääasiallisesti ilmanvaihdon ulkoilmavirtojen valintaan ja mitoittamiseen, mukaan otettiin yleisiä rakennustyyppikohtaisia suunnitteluun ja ilmanvaihdon järjestelyyn liittyviä opastuksia. Hankkeessa ei käsitelty ilmanvaihdon teknistä toteutusta.

Projektiryhmän puolesta

Helsinki, marraskuussa 2017

Olli Seppänen  
Projektiryhmän puheenjohtaja

## SISÄLLYSLUETTELO

1	ILMANVAIHDON MITOITUKSEN YLEISET PERIAATTEET	4
2	VETO	5
3	ILMANVAIHDON ILMAVIRTOJA RAKENNUS- JA TILATYYPEITTÄIN	6
3.1	Asuinrakennukset	6
3.2	Toimistorakennukset	7
3.3	Opetusrakennukset ja päiväkodit	8
3.4	Sairaalat ja lääkärikeskukset	10
3.5	Asumispalvelut (hoivakodit, palvelutalot, tuettu asuminen)	11
3.6	Ravintolat	13
3.7	Hotellit	14
3.8	Myymälät	14
3.9	Liikuntatilat ja uimahallit	15
3.10	Puolustushallinnon rakennukset	17
3.11	Teatterit ja muut julkiset tilat	19
3.12	Työtilat (muut kuin toimistot tms.)	20
3.13	Keittiöt ja niiden aputilat	21
3.14	Tiloja, joita on monessa rakennustyyppissä kuten hygieniatilat	22
3.15	Tekniset tilat	23
4	HIILIDIOKSIDIN TUOTTOON PERUSTUVA ILMANVAIHDON MITOITUS	24

## 1 ILMANVAIHDON MITOITUKSEN YLEISET PERIAATTEET

Tämä opas selventää ympäristöministeriön asetusta rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta ilmanvaihdon mitoittamisen osalta. Opas on laadittu asetusluonnoksen 16.2.2017 mukaan. Esitetyt vähimmäisilmavirrat perustuvat hyvän sisäilmanlaadun ylläpitämiseen tiloissa, joissa on tavanomaista käyttöä vastaava määrä kosteus-, epäpuhtaus- ja hajulähteitä. Esitetyt ilmavirrat edellyttävät myös, että rakentamisessa on käytetty vähäpäästöisiä materiaaleja. Jos materiaalit eivät ole vähäpäästöisiä tai tilassa on poikkeuksellisia epäpuhtauslähteitä, ilmanvaihdon tulee olla tässä esitettyä suurempi.

Yliämpenemisen estäminen edellyttää yleensä tässä esitettyjä suurempia ilmavirtoja tai erillistä jäähdystystä. Yliämpenemisen estämisestä on energiasuunnittelun osalta erillinen ympäristöministeriön opas<sup>1)</sup>. On huomattava, että ulkoilmavirran lisääminen laskee keskimääräistä huonelämpötilaa, mutta ei huippulämpötiloja. Myös kosteuden määrä saattaa olla ilmanvaihdon suuruuden mitoittava tekijä.

Esitetyt ilmavirrat ovat ohjeellisia ja niiden lopullinen valinta on tehtävä kulloisenkin tapauksen mukaisesti. Mitoituksessa on otettava lisäksi huomioon rakennushankkeeseen ryhtyvän asettamat vaatimukset ja tavoitteet. Mitoituksen ohjearvot on annettu myös ilmavaihdon aiheuttamalle ilman liikkeelle vedontunteen estämiseksi. Ilmanvaihtolaitteet aiheuttavat aina ääntä, joka voidaan joskus kokea häiritsevä. Meluhaittojen estäminen on otettava huomioon suunnittelussa. Ääniympäristöä on käsitelty ympäristöministeriön asetuksessa<sup>2)</sup> rakennuksen ääniympäristöstä ja sitä täydentävissä ohjeessa ja oppaissa (valmistuvat 2018).

Ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Jos henkilömäärää ei ole suunnitteluvaiheessa luotettavasti määritettävissä, käytetään huonekohtaista, pinta-alaan, laitteiden tai kalusteiden määrään perustuvaa mitoitusta. Tässä oppaassa esitetään ohjearvot käyttöajan ilmanvaihdon mitoitukseen rakennustyyppittäin.

Vähimmäisulkoilmavirta on  $6 \text{ dm}^3/\text{s,hlö}$ . Joissakin rakennuksissa ja tiloissa voi olla käyttötarkoituksesta riippuvaa lisäilmavirran tarvetta, jolloin vähimmäisilmavirta on suurempi kuin  $6 \text{ dm}^3/\text{s,hlö}$ . Suurempi epäpuhtauskuorma on näissä tiloissa verrannollinen henkilömäärään ja ilmanvaihdon tarve voidaan ilmaista henkilömäärän perusteella (esim. liikuntatilat, sairaalat ja hoitolaitokset ja eräät työtilat). Tiloissa, joissa oleskellaan vain lyhytkestoisesti, kuten käytävät, ulkoilman asemasta tai sitä osin korvaavana voidaan käyttää siirtoilmaa tätä tilaa puhtaammista huoneista.

Pääsääntöisesti rakennuksen tai sen osan kokonaistulo- ja poistoilmavirrat mitoitetaan yhtä suuriksi siten, ettei rakennusvaihan yli synny haitallisia paine-eroja. Hormivaikutuksen synnyttämien haitallisten paine-erojen estäminen saattaa edellyttää myös ovien ja seinien käyttöä paine-erojen ja ilmavirtauksien pienentämiseksi. Alueen sisällä tulo- ja poistoilmavirtojen suuruus määritetään siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista likaisempiin päin. Tuloilmavirran on vastattava suuruudeltaan poistoilmavirtaa myös, kun tilassa käytetään ajoittain erillispoistoja. Suunnitelmissa on esitettävä, miten erillispoistojen korvausilma tuodaan (paikallispoistot, huuvat, liesikuvut, keskuspölynimuri jne.). Myös takan palamisilman reitti on suunniteltava.

Ilmanvaihdon suuruutta määritettäessä on huomattava, että ilmanvaihdon suurentaminen ohjearvoista ei välttämättä paranna ilmanlaatua. Erityisesti talvella sisäilma kuivuu ilmanvaihdon kasvaessa. Suuri ilmanvaihto lisää myös veto- ja meluhaittoja. Ulkoilmassa on terveydelle haitallisia pienhiukkasia, joiden pitoisuus sisällä voi nousta ilmanvaihdon kasvaessa. Ilmanvaihdon tarpeeton suurentaminen lisää energiankulutusta. Ilmanvaihdon ulkoilma-aukot on sijoitettava siten, että ilmanvaihtoon otettava ulkoilma on olosuhteisiin nähden mahdollisimman puhdasta. Ulkoilma-aukkojen sijoittelua epäpuhtausläheisiin nähden on käsitelty mm. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -oppaassa<sup>3)</sup>.

Rakennusten ja tilojen käyttö voi vaihdella ajasta riippuvana. Turhan ilmanvaihdon välttämiseksi ilmanvaihdon on oltava ohjattavissa tilan käytön ja ilmanvaihdon tarpeen mukaisesti, kun tilan käyttö vaihtelee merkittävästi (käyttöaste alle 50 %) esim. neuvotteluhuoneet, salit ja monet muut yleisötilat. Tarpeenmukaista ilmanvaihdon ohjausta voidaan käyttää myös säätövyöhykekohtaisesti. Tarpeenmukaista

ohjausta on käsitelty energiatehokkuuden kannalta erillisessä oppaassa<sup>4)</sup>. Ilmanvaihdon ohjaaminen tilan käytön mukaan on sitä tärkeämpää ja taloudellisempaa, mitä suuremmasta ilmavirrasta, henkilömäärästä ja sen vaihtelusta on kyse. Tilan ja ilmavirran ollessa pieni tarpeenmukainen ohjaus ei välttämättä ole kustannustehokasta. Tarpeenmukaisen säädön käyttöönottoa tai sen poisjättämistä tulee arvioida elinkaarikustannusten perusteella. Elinkaarilaskentaa on käsitelty tarkemmin muualla<sup>5)</sup>. Käytön ohjaaminen on tehtävä käyttäjälle helpoksi ja ymmärrettäväksi.

Muun kuin asuinrakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan ja rakennetaan siten, että suunnitellun käyttöajan ulkopuolella rakennuksen ulkoilmavirta on keskimäärin vähintään 0,15 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup> ja että ilma vaihtuu kaikissa huonetiloissa.

Ilmanvaihdon suunnittelussa on pyrittävä siihen, että puhtain ilma tuodaan sinne, missä ihmiset oleskelevat ja työskentelevät sekä poistetaan ensisijaisesti ns. likaisista tiloista. Ilmanvaihdon ulkoilmavirta on tuotava tilaan niin, että se sekoittuu huoneilmaan tasaisesti oleskeluvyöhykkeellä (ilmanvaihdon tehokkuus  $\geq 1$ ). Poikkeuksena tästä ovat suuret tilat, joissa ilmanvaihdon ulkoilmavirta on tuotava pysyville työ- tai oleskelupisteille.

- 1) *Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen RakMK D3 2012 mukaan, 2012*
- 2) *Ympäristöministeriön asetuseräluonnos rakennuksen ääniympäristöstä, 2017*
- 3) *Sisäilmasto ja ilmanvaihto, opas, www.taloteknikkainfo.fi, 2017 (tulossa)*
- 4) *Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioiminen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa, Laskentaopas, 2017 (tulossa)*
- 5) *Liljeström Kimmo, Kestävä kehitys ja elinkaarimittarit. Kirjassa Sandberg Esa, Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka, osa 2, 2014*

## 2 VETO

Vedon tunne johtuu ihon paikallisesta jäähtymisestä. Ilmanvaihdon aiheuttamaan vetoon vaikuttavat ilman nopeus, lämpötila ja ilman liikenopeuden vaihtelu. Vedontunteeseen vaikuttavat lisäksi yksilölliset tekijät, fyysinen aktiviteetti, vaatetus, herkkyys vedon tunteelle sekä se kehon osa, johon ilman liike kohdistuu. Erityisesti asunnoissa ja vastaavissa, joissa ollaan suuri osa ajasta paikallaan, ihmiset ovat herkkiä vedolle. Ilmanvaihtoon liittyy usein myös tilan jäähtytys. Tilan jäähtytystehon tarpeen kasvaessa kasvaa myös riski liian suurille ilman nopeuksille ja vedolle. Ilmanjakolaitteiden valinta ja sijoittelu onkin tehtävä erityisen huolellisesti vetohaittojen torjumiseksi käyttäen tarvittaessa apuna huoneilman nopeuksien laskentaa. Myös kylmät pinnat voivat aiheuttaa voimakkaita konvektiovirtauksia ja samalla lisätä vetoriskiä. Ilmanvaihto on suunniteltava siten, että tuloilmasuihkun nopeus laskee riittävästi ennen oleskeluvyöhykkeelle tuloa.

Ilmanvaihdon ja kylmien pintojen aiheuttaman ilmavirtausten nopeus saa olla huoneen oleskelualueella suunnittelutilanteissa enintään taulukon 2.1 mukainen. Ilmanvaihdon tehostustilanteessa nopeus voi nousta 0,1 m/s taulukon arvoista, kun tehostus on suoraan käyttäjän säädettävissä ja 0,05 m/s, kun tehostus tapahtuu keskitetysti eikä ole käyttäjän suoraan säädettävissä.

Varmistusmittaukset tehdään standardin SFS-EN 12599<sup>1)</sup> mukaisesti suuntariippumattomalla nopeusanturilla käyttäen nopeuden kolmen minuutin keskiarvoa, talvella ulkolämpötilan ollessa alle 0 °C, kesällä jäähtytystilanteessa, jos tuloilma on jäähtytetty. Mittauspisteet valitaan oleskeluvyöhykkeeltä siitä kohdasta, jossa on odotettavissa suurimmat virtausnopeudet tai joissa oleskelu on todennäköisesti pitkäaikaisinta. Mittauspisteiden valinnassa voidaan käyttää apuna merkisavua.

- 1) *SFS-EN 12599 Rakennusten ilmanvaihto. Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien luovutukseen liittyvät testimenetelmät ja mittausmenetelmät.*

**Taulukko 2.1 Veto**

Tilan kuvaus	Ilman suurin sallittu keskinopeus (+20 °C)	Ilman suurin sallittu keskinopeus jäähdytystilanteessa
Kevyt työ tai vastaava Kiinteät työpisteet, toimisto, kevyt liikunta, koululuokka, päiväkot, aula, paikallan oleva seisomatyö, asuinhuoneet	0,2	0,30
Keskiraskas työ tai liike esim. käytävä, jossa ei oleskella ja/tai istuta	0,25	0,35
Raskas työ tai liike esim. urheiluhallit	0,30	0,40

### 3 ILMANVAIHDON ILMAVIRTOJA RAKENNUS- JA TILATYYPEITTÄIN

Seuraavissa taulukoissa on annettu ilmanvaihdon vähimmäisarvoja ilmanlaadun ylläpitämiseksi. Jäähdytys- tai lämmitystarve saattaa johtaa huomattavasti suurempiin ilmavirtoihin. Myös kosteudenpoisto saattaa johtaa suurempiin ilmavirtoihin. Ulkoilmavirran suuruus on tilasta riippuen annettu tilaan parhaiten soveltuvalla tavalla joko lattiapinta-alaa, henkilöä, huonetta tai epäpuhtauslähdettä kohden. Ulkoilmavirta mitoitetaan suurimpaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan. Taulukoissa on annettu myös muita ohjeita ja viitteitä ilmanvaihdon suunnitteluun.

Tilat on ryhmitelty pääosin rakennustyypeittäin. Jollekin rakennustyyppille tyypillisiä tiloja saattaa olla myös muissa rakennustyypeissä. Esimerkiksi teknisiä tiloja ja hygieniatiloja on lähes kaikissa rakennuksissa, samoin toimistoja ja neuvotteluhuoneita on myös muissa kuin toimistorakennuksissa. Näiden useissa rakennuksissa toistuvien tilojen ilmanvaihto suunnitellaan tyypillisen rakennuksen tilan mukaisesti, ellei tilan käyttö aiheuta muita perusteita. Hygieniatiloja ja muita eri rakennuksissa toistuvia tiloja on koottu viimeisiin taulukkoihin.

Autohalleista ja -talleista on oma ohje. Vankiloiden, putkien ym. ilmanvaihdon mitoittaminen tehdään Rikosseuraamuslaitoksen ohjeistuksen mukaisesti. Tässä ei käsitellä myöskään maatalouden tuotantorakennuksia. Uskonnolliset rakennukset on myös jätetty tämän oppaan ulkopuolelle. Eriyisrakennuksissa on kuitenkin tiloja, jotka voi mitoittaa tämän oppaan taulukoiden mukaan.

#### 3.1 Asuinrakennukset

Asuinrakennusten ilmanvaihto on käsitelty erillisessä oppaassa ”Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen”, FINVAC, 2017.

### 3.2 Toimistorakennukset

Toimistorakennusten tilojen käyttö ja henkilötiheys vaihtelevat. Henkilöhuonetoimiston rinnalle on tullut yhä enemmän uudenlaisia monitilatoimistoja ja avoimia toimistotiloja, joissa ei enää ole erotettavissa olevia huoneita, käytäviä eikä taukotiloja. Tällöin ilmanvaihto on mitoitettava tilaa käyttävien tai siellä työskentelevien ihmisten kokonaismäärän mukaisesti. Yleensäkin ilmanvaihto mitoitetaan henkilömäärän perusteella, kuitenkin siten, että ulkoilmavirta on vähintään  $1 \text{ dm}^3/\text{s},\text{m}^2$ .

Yleensä toimistorakennuksissa ulko- ja tuloilmavirrat määräytyvät vähimmäisarvoja suuremmiksi. Vähimmäisarvoja suurempi ilmanvaihtuvuus voi parantaa työn tehokkuutta (aina ilmavirtaan 10-15 l/s,hlö saakka) ja viihtyvyyttä. Lämpöolosuhteiden hallitseminen voi edellyttää vähimmäisilmavirtoja suurempia ilmavirtoja tai koneellista jäähdytystä. Ilmanvaihtokanavien mitoituksessa saattaa olla tarpeen varautua muutoksiin tilojen käytössä, mikä saattaa edellyttää ilmavirtojen suurentamista.

Ilmanvaihdon tulee olla tarpeenmukaisesti ohjattua yhtenäisissä tiloissa, joissa ilmanvaihdon ilmavirta on suuri (selvästi yli  $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) ja kuormitus vaihtelee runsaasti (kuormitusaste alle 50 %, esim. yli 10 hengen neuvotteluhuoneet, koulutustilat ja auditoriot). Tarpeenmukainen ohjaus voidaan toteuttaa myös vyöhykekohtaisesti mm. avotiloissa. Tällöin on kuitenkin varmistauduttava kaikkien tilojen vähimmäisilmanvaihdosta, jonka on oltava noin 30 % käyttötilanteen mitoitusilmavirrasta, mutta vähintään  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s},\text{m}^2$ . Ilmavirran suuruuden vaikutus huonelämpötilaan on myös otettava huomioon.

Käytävien ilmanvaihtoon voidaan käyttää ainakin osittain tuloilmana siirtoilmaa toimistoista.

**Taulukko 3.2.1 Toimistorakennukset**

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

### 3.3 Opetusrakennukset ja päiväkodit

Opetusrakennusten ja päiväkotien ilmanvaihdon mitoituksessa on otettava huomioon opetus- ja varhaiskasvatussuunnitelmien vaatimukset tiloille ja niiden käytölle. Opetusrakennuksissa ja päiväkodeissa on aikaisempaa enemmän monikäyttöisiä oppimis- ja toimintatiloja, joiden ilmanvaihdossa on varauduttava vaihteleviin henkilömääriin tilan eri osissa. Opetusrakennusten ja päiväkotien ilmanvaihdon mitoituksessa voidaan lähteä siitä, että kaikki tilat eivät ole koko aikaa enimmäiskäytössä. Tärkeää on mitoittaa ilmanvaihto siten, että koko rakennuksen ilmanvaihdon määrä riittää rakennuksen suunnitellulle lapsi-, oppilas- ja henkilöstömäärälle. Ulkoilmavirta on ohjattava sinne, missä sitä kulloinkin tarvitaan. On kuitenkin huolehdittava, että kaikille alueille johdetaan vähimmäisulkoilmavirta  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ . Ilmanvaihdon suunnittelussa on otettava huomioon myös rakennusten tilojen käyttö varsinaisen toiminta-ajan ulkopuolella erilaisiin kansalaisten toimintoihin, erityisesti saleissa ja taide- ja taitoaineiden opetustiloissa.

Opetusrakennuksissa ja päiväkodeissa käytetään yleisenä mitoitusperusteena ulkoilmavirtaa  $6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$ . Tämä on perusteltua myös lapsille, joiden ilmanvaihdon tarvetta voidaan pitää samana aineenvaihdunnan vilkkauden ja kehitysvaiheen johdosta. Selvä lisäilmanvaihdon tarve on liikuntatiloissa sekä taide- ja taitoaineiden tiloissa, joissa opetukseen käytettävät laitteet ja aineet voivat määrätä ilmanvaihdon tarpeen.

Opetusrakennusten ja päiväkotien ilmavirrat voidaan mitoittaa kahdella vaihtoehdoisella tavalla

- 1) Koko rakennus käsitellään kokonaisuutena, jolloin ilmavirran määrää ensisijaisesti henkilöperuste eli  $6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$ . Tilaajilla (kunnat ym.) on omia ohjeita. Rakennuksessa ilmavirtojen jakautuminen ohjataan tilojen kulloisenkin käytön mukaisesti. Poistot keskitetään ensisijaisesti hygieniatiloihin ja muihin ns. likaisiin tiloihin sekä sellaisiin opetus- ja muihin tiloihin, joissa on poikkeavia haju-, epäpuhtaus- tai muita kuormia (esim. taide- ja taitoaineet).
- 2) Ilmavirrat mitoitetaan tilakohtaisesti taulukossa 3.3.1 esitettyjä vähimmäisilmavirtoja käyttäen.

Molemmissa vaihtoehdoissa taide- ja taitoaineiden opetustilat (käsityö, kuvataide, kotitalous jne.) sekä keskiasteen ammattiopetustilat mitoitetaan opetuksen ja toiminnan mukaan. Näistä tiloista monet ovat verrattavissa teollisuuden työtiloihin, joissa haju- ja muut epäpuhtauslähteet määräävät ilmanvaihdon mitoituksen. Ulkoilmavirta on näissä aina vähintään  $8 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$ . Paikallispoistojen (esim. vetokaapit, kemikaalien säilytyskaapit, purunpoistolaitteistot) edellyttämä lisäilmavirta voidaan tuoda siirtoilmana rakennuksen muista, ilman puhtaudeltaan samanarvoisista tai puhtaammista tiloista. Liikunta- ja juhlasaleissa suurimpaan ilmanvaihdon tarpeeseen johtava käyttö määrää ilmavaihdon mitoituksen. Rakennuskokonaisuuden ja rakennuksen osan, esimerkiksi taide- ja taitoaineiden opetustilojen, ulko- ja poistoilmavirrat mitoitetaan yhtä suuriksi. Tuloilmavirran on vastattava poistoilmavirtaa myös, kun tilassa käytetään paikallispoistoja. Opetushallituksella on suunnitteluohjeita taide- ja taitoaineiden opetustiloille mm. kotitalous, kuvataide, luonnontieteet ja musiikki.



**Taulukko 3.3.1 Opetusrakennukset ja päiväkodit**

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

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

### 3.4 Sairaalat ja lääkärikeskukset

Sairaaloiden, terveyskeskusten ja lääkäriasemien tavanomaisten potilas- ja toimenpidetilöiden ilmanvaihdon mitoituksessa käytetään ensisijaisesti henkilöperustetta, ottaen myös huomioon haju- ja epäpuhtauskuorma, joka mitoituksessa katsotaan olevan verrannollinen henkilömäärään. Mitoituksen perusilmanvaihtona käytetään 10 dm<sup>3</sup>/s,hlö. Leikkaussalit ja tukitilat (muutamain poikkeuksin) ovat erityistiloja, jossa mitoittavana tekijänä on muu kuin henkilöperuste ja jotka suunnitellaan tapauskohtaisesti (Suomen sairaalateknisen yhdistyksen, SSTY, ohjeistuksen mukaan). Tässä on esitetty ilmanvaihdon ohjearvoja vain tiloille, joita on lähes jokaisessa terveyskeskuksessa ja jokaisella lääkäriasemalla.

Potilashuoneen ilmanvaihto mitoitetaan vuodepaikkojen ja märkätilöiden poistoilmavirtojen mukaan siten, että tulo- ja poistoilmavirrat (mukaan lukien WC ja kylpyhuone) ovat yhtä suuret. Taulukkoarvoja suurempaa ulkoilmavirtaa voidaan käyttää myös potilashuoneiden lämpötilöiden alentamiseen.

Ilmanvaihdon mitoitus voi perustua myös suureen sairaalalaitteiden aiheuttamaan lämpökuormaan.

#### Taulukko 3.4.1 Sairaalat ja lääkärikeskukset

Suunnittelu suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan.

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Potilashuone	10 dm <sup>3</sup> /s,hoitopaikka	2,5	yhtä suuri kuin ulkoilmavirta	
Potilashuone, jossa WC	yhtä suuri kuin poistoilmavirta, kuitenkin vähintään 10 dm <sup>3</sup> /s,hoitopaikka	yhtä suuri kuin poistoilmavirta, kuitenkin vähintään 2,5	vähintään 30 dm <sup>3</sup> /s,huone	
Vastaanottohuone	20 dm <sup>3</sup> /s,huone	2	yhtä suuri kuin ulkoilmavirta	30 dm <sup>3</sup> /s, jos mitoitus kolmelle hengelle
Tutkimushuone, toimenpidehuone	25 dm <sup>3</sup> /s,huone	2	yhtä suuri kuin ulkoilmavirta	40 dm <sup>3</sup> /s, jos mitoitus neljälle hengelle, otettava huomioon myös laitteiden aiheuttama kuormitus
Laboratorio, näytteenottotila		4	4	
Osastonkanslia		3		
Odotustila	6/paikka	3		Koskee myös käytävää, jota käytetään odotustilana, mitoitus suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan
Käytävä		1		Ei odotustilana, kuitenkin ilmanvaihdon tarve suurempi kuin esim. toimistorakennuksen käytävissä
Ruokailutilat		3		
Varasto			0,5	Suurempi ilmavirta varastoitavan tavaran mukaan, esim. likaiset vaatteet

### 3.5 Asumispalvelut (hoivakodit, palvelutalot, tuettu asuminen)

Asumispalveluihin kuuluu monen tasoisia asumismuotoja, joilla on vakiintumattomia nimikkeitä kuten palvelutalot, tuettu asuminen, hoitolaitokset jne. Hyväkuntoisten ihmisten palveluasunnot voidaan mitoittaa ilmanvaihdon osalta kuten asunnot, huonokuntoisten ihmisten palveluasuntojen ja hoitolaitosten ilmanvaihdon mitoitus on lähempänä sairaaloiden mitoitusta. Palveluasuntoja voi olla myös tavanomaisissa asuinrakennuksissa.

Palveluasunnoissa ja hoitolaitoksissa (avustetussa asumisessa) on usein keskimääräistä väestöä suurempi asumiseen ja mahdollisiin hoitoihin liittyvä epäpuhtaus- ja hajukuorma. Asumisväljyys on myös usein pienempi kuin tavanomaisissa asunnoissa. Näistä seikoista johtuen syntyy tarve suuremmalle ilmanvaihdolle henkeä kohden. Perusilmanvaihtona käytetään  $10 \text{ dm}^3/\text{s,hlö}$ .

Palveluasunnoissa on kiinnitettävä erityistä huomiota vedottomuuteen, koska asukkaiden mukautumismahdollisuudet ovat usein keskimääräistä väestöä heikommat ja herkkyys vedon astimiselle suurempi. Palveluasunnoissa on myös vältettävä huonelämpötilan kohoamista liian korkeaksi (ikäntyneen väestön kuolleisuus nousee yleisesti hellejaksojen aikana).

Epäpuhtauksien leviämisen torjunta on otettava huomioon ilmavirtoja mitoitettaessa ottaen huomioon, että asukkaat saattavat tupakoida omissa huoneissaan. Ilman mukana kulkeutuvien virusten ja muiden taudin aiheuttajien leviämistä on myös pyrittävä vähentämään ilmavaihdon ilmavirtojen avulla siten, että ilman jatkuva virtaus asuinhuoneesta toiseen vältettäisiin.

Taulukko 3.5.1 Hoitolaitokset ja palvelutalot

Huonetila	Ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilmavirta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Palveluasunto jossa on omat saniteettitilat ja keittomahdollisuus	15 dm <sup>3</sup> /s,asunto (yhden hengen asunto) 25 dm <sup>3</sup> /s,asunto (kahden hengen asunto)		Kylpyhuone: 15 dm <sup>3</sup> /s WC: 10 dm <sup>3</sup> /s (jos erillinen) Keittopiste ja keittiö: 10 dm <sup>3</sup> /s	Ilmavirrat suunnitellaan yhtä suuriksi, suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan. Keittiössä ja keittopisteessä ilmanvaihdon liesikupu ja tehostusmahdollisuus 25 dm <sup>3</sup> /s
Palveluasunto jossa ei ole keittiötä	15 dm <sup>3</sup> /s,asunto (yhden hengen asunto) 20 dm <sup>3</sup> /s,asunto (kahden hengen asunto)		15 dm <sup>3</sup> /s,asunto (yhden hengen asunto) 20 dm <sup>3</sup> /s,asunto (kahden hengen asunto)	Ilmavirrat suunnitellaan yhtä suuriksi, suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan
Yhteistilat (seurustelu, ruokailu, TV-huone)		3	3	
Käytävät, jotka vain läpikulkuun		0,5		
Kahvio, henkilökunnan taukotila		3		
Varasto (puhtaat vaatteet ja tavarat)			1	Kuitenkin vähintään 10 dm <sup>3</sup> /s
Varasto (likaiset vaatteet ja tavarat), siivoustila			3	Kuitenkin vähintään 10 dm <sup>3</sup> /s
Vaatehuolto		5	5	
Lääkejakelu		4	4	Lääkejakelun lämpötilan hallinta (jäähdytystarve) otettava huomioon
Kerroskeittiöt (kotikeittiö)		3	30 dm <sup>3</sup> /s	
Henkilökunnan pukuhuone				Kuten muut rakennukset, ks. taulukko 3.14.1
Henkilökunnan sosiaalitilat				Kuten muut rakennukset, ks. taulukko 3.14.1

### 3.6 Ravintolat

Ravintoloiden ilmanvaihdon tarve riippuu ravintolassa tapahtuvista toiminnoista. Ilmanvaihdon ulkoilmavirrat on mitoitettava ravintolan käytön, asiakasmäärän ja tarjoilun mukaisesti ottaen huomioon asiakkaiden määrä ja ravintolan lattiapinta-ala. Ilmavaihto on pääsääntöisesti suunniteltava ravintolan asiakaspaikkojen mukaan. Jos tämä ei ole tiedossa, niin ilmanvaihdon mitoitusta tehdään lattiapinta-alan perusteella. Ravintolan keittiön ilmanvaihto mitoitettava erillisen ”Keittiöt ja niiden aputilat” ilmanvaihtoa koskevan taulukon 3.13.1 mukaan. Ravintolasalin, siihen liittyvien muiden tilojen ja keittiön ilmanvaihdon on muodostettava toimiva kokonaisuus siten, että ulkoilmavirrat ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret. Ravintolatoiminta saattaa muuttua moneen kertaan tilan elinkaaren aikana. Tästä syystä on hyvä varautua muutoksiin elinkaaren aikana. Erityisesti muiden rakennusten yhteyteen tulevien ravintoloiden ilmanvaihtokanavat on hyvä mitoitaa ilmanvaihdolle  $6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ , vaikka ensimmäinen käyttötapa ilmanvaihdon osalta ei sitä vaatisikaan.

Ravintoloissa, joiden asiakaspaikkamäärä on yli 30, ilmanvaihto on oltava ohjattavissa asiakasmäärän ja käytön mukaisesti.

#### Taulukko 3.6.1 Ravintolat

Suunnittelu suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan.

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/\text{s}, \text{asiakaspaikka}$	Ulkoilma- virta $\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$	Poistoilma- virta $\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$	Muita ohjeita
Lounasravintola, työpaikkaravintola	6	3		
Pizzeria tai pikaruokapaikka	6	6		
Päivällisravintola (ruokaravintola)	6	6		
Yökerho, tanssiravintola	6	10		
Ruokailutila esim. sairaalaosaston tai hoitolaitoksen	6	3		
Kahvila, anniskelutila (baari)	6	3		
Varasto		0,35-1,0		Varastoitavasta tavarasta riippuen

### 3.7 Hotellit

Hotellihuoneen ilmanvaihto mitoitetaan vuodepaikkojen ja märkätilojen poistoilmavirtojen mukaan siten, että tulo- ja poistoilmavirrat (mukaan lukien WC ja kylpyhuone) ovat yhtä suuret, siten, ettei rakennusvaipan yli synny haitallisia paine-eroja. Hotelleissa saattaa olla myös keittiöllisiä tai keittotilallisia huoneita tai huoneistoja, joiden ilmanvaihdon suunnittelussa on otettava huomioon niille asetetut vähimmäisvaatimukset.

**Taulukko 3.7.1 Hotellit**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Hotellihuone	6 dm <sup>3</sup> /s,vuodepaikka kuitenkin vähintään poistoilmavirtojen suuruinen			Hotellihuoneen yhteenlaskettu (ml. WC ja suihku) ulkoilma- ja poistoilmavirta mitoitettava yhtä suuriksi
Hotellihuoneen KPH-WC			15	
Aulat		1,5		
Kokoustila	6	6		Mitointi suurempaan kokonaisilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan. Tarpeen mukainen ohjaus, jos yli 10 hengelle

### 3.8 Myymälät

Myymälöiden ilmavaihdon mitoituksessa on otettava huomioon myytävien tuotteiden epäpuhtaus- ja hajukuormitus, myymälän koko ja asiakasmäärä. Pienten myymälöiden ilmavaihto mitoitetaan pinta-alaan ja epäpuhtauskuormitukseen perustuen. Suurissa myymälöissä (>400 m<sup>2</sup>) otetaan huomioon myös henkilömäärä. Suurten myymälöiden ilmanvaihtoa on ohjattava henkilömäärään perustuen.

**Taulukko 3.8.1 Myymälät**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Pieni myymälä, alhainen epäpuhtauskuorma		1,5		Esim. vaatemyymälä
Pieni myymälä, kohtalainen epäpuhtauskuorma		2		Esim. elintarvikemyymälä, kirjakauppa
Pieni myymälä, suuri epäpuhtauskuorma		3		Esim. kosmetiikkamyymälä, lemmikkieläinkauppa, kukkakauppa
Suuri myymälä (>400 m <sup>2</sup> ), market tms.	6	1		Mitointi 6 dm <sup>3</sup> /s,hlö tai 1 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> , kuitenkin vähintään 0,5 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>
Aulat ja myymäläkäytävät kauppakeskuksissa		3		
Varasto		0,35-1,0		Varastoitavan tavaran mukaan

### 3.9 Liikuntatilat ja uimahallit

Sisäliikuntatilojen ilmavaihdossa on otettava huomioon liikunnan fyysinen rasittavuus ja tilojen liikuntapaikkojen määrä ja todennäköinen henkilömäärä suhteutettuna lattia-alaan ja ilmatilavuuteen. Hiilidioksidin ja muiden aineenvaihduntatuotteiden määrä kasvaa liikunnan fyysisen rasittavuuden mukana, jolloin tarvitaan suurempi ilmavirta henkeä kohden. Liikuntalajista riippuen henkilötiheys voi vaihdella paljon ( $\text{m}^2/\text{hlö}$  tai  $\text{m}^3/\text{hlö}$ ). Suurten tilojen ilmavaihdon on oltava ohjattavissa henkilömäärän tai ilman laadun mukaisesti. Ilmanvaihto tulee suhteuttaa liikunnan arvioituun tehoon ja hiilidioksidituottoon, joka on verrannollinen aineenvaihdunnan tehoon (ks. taulukko 4.1).

Uimahallien ilmanvaihdon mitoitus tehdään kosteuden tuoton ja poiston perusteella.

Liikuntatilojen katsomoalueiden henkilötiheys voi olla suurimmillaan jopa 1,5–2 henkilöä lattianeliötä kohden. Ilmanvaihdon ulkoilmavirran suunnittelu arvona voidaan pitää  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  katsojaa kohden. Katsomon ilmanvaihtotarve lattianeliötä kohden on näin useita kertoja suurempi kuin tavanomaisen sisäliikuntatilan tai -hallin. Katsomon osuuden ollessa hallissa suuri on katsomo varustettava omalla katsojamäärän mukaan ohjattavalla ilmanvaihtokoneella.

Yksityiskohtaisia ohjeita sisäliikuntatilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja suunnittelusta on laadittu opetus- ja kulttuuriministeriön toimesta. Niitä on julkaistu Rakennustiedon LVI-ohjekortteina mm.

- LVI 06-10451 Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu
- LVI 06-10484 Keilahallin LVIA-suunnittelu
- LVI 06-10600 Sisäliikuntatilojen LVIA-suunnittelu

Taulukko 3.9.1 Liikuntatilat ja uimahallit

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Sisäliikuntatilat Raskas liikunta, esim. salibandy, koripallo, kuntosalien ryhmäliikuntatilat (yli 600 W/hlö)	30			LVI 06-10600 aineenvaihdunnan teho yli 6 met <sup>1)</sup> , eli aikuisella yli 600 W (vapaa ja sidottu lämpöteho)
Sisäliikuntatilat Keskiraskas liikunta esim. tennis (400-600 W)	25			LVI 06-10600 aineenvaihdunnan teho 4-6 met, eli aikuisella 400-600 W (vapaa ja sidottu lämpöteho)
Sisäliikuntatilat Kevyt esim. jooga (200-300 W)	15			LVI 06-10600 aineenvaihdunnan teho 2-4 met, eli aikuisella 200-300 W (vapaa ja sidottu lämpöteho)
Kuntosalit	15-25	6		
Katsomo	6 dm <sup>3</sup> /s,paikka			Oma säädettävä kone, mitoitus katsojamäärän mukaan
Käytävät ja aulat, joissa oleskellaan		3		
Pukuhuoneet		3		
Käytävät, joissa ei oleskella		1		
Liikuntatilojen suihku- ja pesutilat		5	vähintään 16 dm <sup>3</sup> /s,suihku	Runsas käyttö; mitoitus pinta-alan mukaan Vähäinen tai ajoittainen käyttö; mitoitus suihkujen lukumäärän mukaan
Uimahallien suihkutilat		5	vähintään 16 dm <sup>3</sup> /s,suihku	
Uimahallit				LVI 06-10451 Ilmanvaihdon mitoitus kosteuden mukaan

1) Met on ihmisen aineenvaihdunnan tehon yksikkö, 1 met on 58 W/m<sup>2</sup>, ihoa, vastaten keskikokoisella ihmisellä noin 105 W, joka poistuu kehosta kuivana (konvektio ja säteily) ja märkänä (vesihöyryyn sitoutuneena) lämpönä.



### 3.10 Puolustushallinnon rakennukset

Tässä käsitellään puolustushallinnon osalta vain varusmiespalveluun liittyviä tiloja, joiden käyttöön vaikuttaa kunkin palvelukseenastumiserän aikataulutettava käyttö ja kasarmialueen ulkopuolella tapahtuva koulutus. Puolustusvoimien miehistötilojen ja kouluttajien tilojen ilmanvaihdon suunnittelussa noudatetaan taulukon 3.10.1 arvoja.

Puolustushallinnon tiloissa käytetään perusilmanvaihtona  $7 \text{ dm}^3/\text{s,hlö}$  keskimääräistä suuremman aineenvaihdunnan tehon sekä epäpuhtaus- ja kosteuskuorman vuoksi.

Varusmiesten kolutukseen liittyvän selkeän ja ennalta suunnitellun rytmityksen vuoksi ilmanvaihdon tulee olla tilaryhmittäin ohjattavissa. Kasarmien majoitustiloille (1-3 kerrosta) tulee oma erikseen ohjattava tulo- ja poistoilmakone. Myös kuivaus-, WC-, suihku-, sosiaalityötiloille tulee oma tulo- ja poistoilmakone, samoin toimisto-, neuvottelu- ja kouluttajien tiloille. Näin voidaan ilmanvaihtoa ohjata tilojen käytön ja toiminnan mukaisesti. Tämän lisäksi jokaisella majoitusporrashuoneella tulee olla oma ilmanvaihtokone ja -konehuone. Tämä mahdollistaa energiatehokkaan ilmanvaihdon käytön niin, että paikalla/pois-kytkimellä saadaan ilmanvaihto ohjattua toiminnan mukaiseksi (paikalla oltaessa 100 % teholla, muulloin 30 % teholla). Tämä mahdollistaa tarpeen mukaisen ohjauksen yksiköittäin tai porrashuoneittain pitkien 1-7 päivän maastoharjoitusten aikana sekä lyhempienkin ulkoarjoitusten aikana selkeän päälle/pois kytkimen avulla.

Puolustushallinnon varustevarastot edellyttävät erityisen huolellista käytön mukaista ilmanvaihdon suunnittelua. Toiminnallinen varasto ja voimakkaat hajupäästöt varusteista, teltoista, kamiinoista ym. sekä likaiset palautettavat vaatteet vaativat, jopa erillis- tai kohdepoistoja. Virka-aikaan edellytetään tehostettu ilmanvaihto varastoalueella, koska työntekijät kulkevat varastossa jatkuvasti. Ilmanvaihdon on oltava tehostettavissa henkilömäärän mukaiseksi, kun varusteiden jako tai luovutus tapahtuu palvelukseenastumiserittäin.

Normaalin toimistohuoneen ilmanvaihto mitoitetaan taulukon 3.10.1 mukaisesti. Jos lämpökuormat (eli pöytä tietokone + kannettava tietokone) ylittävät normaalin toimistohuoneen lämpökuorman, vaaditaan jäähdytys. Jäähdytys pyritään toteuttamaan ilmanvaihdon avulla tuloilmalla ja jos sekään ei riitä, vaaditaan erillisjäähdytys.

Puolustusvoimien muiden tilojen ilmanvaihdossa noudatetaan Puolustushallinnon rakennuslaitoksen ohjeita.

Taulukko 3.10.1 Puolustushallinnon rakennukset

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Miehistötuvat	7	0,35		Ulkoilmavirta 7 dm <sup>3</sup> /s,hlö + 0,35 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>
Varustevarastot Kasarnit/varusvarasto	7	3	Kohdepoistojen käyttö harkittava esim. pyykin palautuspiste	Ulkoilmavirta myös pysyviin työ/palautuspisteisiin. Tehostus käytön mukaisesti esim. saapumiserät
Toimisto	7	1		Normaalia lämpökuormaa vastaava mitoitus
Kuivaustilat/-huoneet		3	3	Varustettava kondenssikuivaajalla
Kouluttajien tilat	7			Lisäksi jatkuva poisto varusteiden kuivauskaappista tai -tilasta
Neuvottelutilat	7			Hetkellisesti henkilömäärä voi olla suunniteltua suurempi
Ruokala		3		
Opetustila	7			Hetkellisesti henkilömäärä voi olla suunniteltua suurempi
Varusmiesten oleskelutila		3		
Käytävä		1		Käskynjaossa henkilömäärä voi olla suuri
Muut tilat				Puolustushallinnon rakennuslaitoksen ohjeiden mukaisesti

### 3.11 Teatterit ja muut julkiset tilat

Kokoontumis- ja näyttelytiloissa, joissa henkilömäärä voi vaihdella huomattavasti, on käytettävä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ohjattuna henkilömäärän (CO<sub>2</sub> tms. mukaan). Mitoituksessa on otettava huomioon käytön jaksollisuus ja tilan korkeus. Ilmanvaihto ei saa käydä mitoitustehollaan jatkuvasti.

Teattereiden katsomon ilmanvaihdon on oltava ohjattavissa katsojamäärän mukaisesti. Teatterien lämpiöiden ilmanvaihto on oltava ohjattavissa käytön mukaisesti. Näyttämöiden ilmanvaihdon mitoituksessa on otettava huomioon valaistuksen ja muiden sähkölaitteiden aiheuttama lämpöteho sekä teatterisavun ja muiden epäpuhtauksien nopea poistaminen.

Korkeiden, ilmatilavuudeltaan suurten aulojen ilmanvaihdon mitoituksessa voidaan ottaa huomioon aulan lyhytaikainen käyttö ja suuri ilmatilavuus.

**Taulukko 3.11.1 Teatterit ja muut julkiset tilat**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Näyttelytilat		2		
Aulat (muut kuin teatterit)		1,5		
Kirjastot yms.		2		
Lukusalit, ryhmätilat ja vastaavat	6 dm <sup>3</sup> /s,paikka			
Teatterin katsomo, elokuva-, konsertti- yms. salit	6	0,35		Ohjattavissa yleisömäärän mukaisesti 6 dm <sup>3</sup> /s,hlö + 0,35 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>
Teatterin näyttämö		3		Ilmanvaihdon mitoitus tarkistettava valaistuksen yms. aiheuttaman lämpökuorman mukaan. Ohjattavissa käytön ja tarpeenmukaisesti (mm. teatterisavun ja yms. poistaminen)
Teatterisalin lämpiö	6			Ohjattavissa käytön mukaisesti, lyhytaikainen käyttö otettava huomioon

### 3.12 Työtilat (muut kuin toimistot tms.)

Työtilojen ilmanvaihdosta säädetään työturvallisuuslaissa (738/2002, § 33) ja edelleen valtioneuvoston asetuksessa työpaikkojen turvallisuus- ja terveysvaatimuksista (577/2003, § 9). Ilmanvaihdon tulee olla riittävä. Työturvallisuusasetus velvoittaa pitämään ilmanvaihdon aina toimintakunnossa. Ilmanvaihdon suuruuden tulee perustua työpaikan epäpuhtauskuormaan. Ilman epäpuhtauksien tulee alittaa epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot). Ilmanvaihdon mitoituksessa tulee ottaa huomioon epäpuhtauslähteisiin ja työskentelyyn (mm. työskentelypaikka ja -asento) liittyvät epävarmuustekijät.

Työtiloissa selvät rajatut epäpuhtauslähteet on varustettava paikallispoistolla koteloiteja ja huuvia yms. hyväksikäyttäen epäpuhtauksien poiston tehostamiseksi. Tuloilmavirran on vastattava poistoilmavirtaa myös, kun tilassa käytetään paikallispoistoja.

Työtiloissa syntyvien muiden kuin ihmisperäisten epäpuhtauksien johdosta mitoitusulkoilmavirran tulee olla vähintään 10 dm<sup>3</sup>/s työntekijää kohden työntekijän työskentelyvyöhykkeelle.

**Taulukko 3.12.1 Työtilat (muut kuin toimistot)**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Työtila, jossa on ihmisten ja rakennusmateriaalien lisäksi runsaasti muitakin epäpuhtauslähteitä	6	2 kuitenkin vähintään yhtä suuri kuin kohdepoistojen yhteenlaskettu ilmavirta		Ilmanvaihto 6 dm <sup>3</sup> /s, hlö + 2 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> Kohdepoistot selvästi rajattuihin epäpuhtauslähteisiin. Ilmanvaihdon riittävyys tarkastettava myös HTP-arvojen osalta.
Kiinteä työpiste, palvelupiste tms.	10			Ulkoilmavirta tuotava suuressa tilassa työpisteeseen vedottomasti
Laboratoriot ja muut vastaavat tilat joissa käsitellään terveydelle haitallisia aineita	6	2		Ilmanvaihto 6 dm <sup>3</sup> /s, hlö + 2 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> Paikallispoistot ja vetokaapit selviin epäpuhtauspäästölähteisiin, korvausilma järjestettävä, suunnittelussa otettava huomioon laitteiden käytön samanaikaisuus
Autokorjaamot ja katsastustilat	6	2		Ilmanvaihto 6 dm <sup>3</sup> /s, hlö + 2 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> Kohdepoistot selviin rajattuihin epäpuhtauslähteisiin ja ajoneuvojen pakokaasuihin <sup>1)</sup>
Varastot	6	0,35-1,0		Varastoitavan tavaran mukaan Ilmanvaihto 6 dm <sup>3</sup> /s, hlö + 0,35...1,0 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>

1) Edellyttää paikallista pakokaasun poistoa, jonka suuruus on vähintään 100 dm<sup>3</sup>/s henkilöautoille ja 300 dm<sup>3</sup>/s kuorma-autoille. Jos käytetään pakokaasunpoistokiskoa, joihin ajoneuvot ovat liitettyinä koko ajan, voi ilmavirta olla 2 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup>. Poistoilmavirta mitoitetaan ottaen huomioon pakokaasunpoisto siten, ettei tila ole alipaineinen

### 3.13 Keittiöt ja niiden aputilat

Keittiöiden ilmanvaihto on mitoitettava keittiön käytön ja ruoan valmistusasteen mukaisesti. Jos keittiössä ei valmisteta ruokaa, on ilmanvaihto pienempi kuin niissä, joissa valmistetaan. Ammattikeittiöissä mitoitus on tehtävä laitteiden lämpö-, kosteus ja epäpuhtauskuorman mukaisesti. Keittiöiden ilmanvaihdon suunnittelun periaatteet on esitetty LVI-ohjekortissa LVI 06-10304 Ammattikeittiöiden sisäilmaston suunnittelu. Keittiöiden ilmanvaihdon suunnittelussa lämpö- ja kosteuskuormien poistaminen tehokkaasti voi pienentää ilmanvaihdon tarvetta, toisaalta keittiön lämpötilan hallinta voi johtaa pelkästään ilman laadun hallintaa korkeampiin ilmapuhtoihin tai erilliseen jäähdytykseen.

LVI-ohjekortissa on annettu mm. viitteellisiä kosteus- ja lämpökuorman arvoja eri laitteille. Keittiöt on aina varustettava liesikuvulla, huuvalla tai ilmastointikatolla, jonka ilmanvaihtoa voidaan tehostaa käytön aikana. Keittiön tuloilmavirta voi olla osittain siirtoilmaa. Mitoitusohjeita on myös CEN standardissa <sup>2)</sup>.

Ammattikeittiöiden ilmavirrat määräytyvät viime kädessä keittiöön tulevien laitteiden ja niiden sijoituksen mukaisesti. Taulukossa 3.13.1 esitetyt arvoja voidaan käyttää esisuunnittelussa. Erityiseen tärkeää on selvittää erillispoistoja vaativien laitteiden kanavointi (mm. rasvakanavat) ja ulospuhallusilman paikan määrittely.

**Taulukko 3.13.1 Keittiöt ja niiden aputilat**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Keittiöt				LVI 06-10304 <sup>1)</sup>
Keskuskeittiö			15	Keskuskeittiöissä ruoka valmistetaan muualle kuljetettavaksi LVI 06-10304 <sup>1)</sup>
Valmistuskeittiö			15 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> , koko keittiöalue 25 dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup> , kuuma keittiö	Ruoka valmistetaan yleensä esikäsitellyistä raaka-aineista LVI 06-10304 <sup>1)</sup> Mitoitus laitteiden ja niiden sijoittelun mukaisesti, ahtaissa keittiöissä suurempi arvo väljissä pienempi, lopullinen mitoitus aina laitteiden mukaan ks. myös CEN standardi <sup>2)</sup>
Komponenttikeittiö			10	Ruoka valmistetaan esivalmistetuista raaka-aineista LVI 06-10304 <sup>1)</sup>
Kuumennuskeittiö			10	Ruoka kuumennetaan einesvalmisteista, pakasteista tai keskuskeittiön tuotteista LVI 06-10304 <sup>1)</sup>
Jakelukeittiö esim. sairaalan osastokeittiö			5	Jakaa muualta tulleen lämpimän tai kylmän ruoan LVI 06-10304 <sup>1)</sup>
Kahviokeittiö			3	Kuitenkin vähintään 30 dm <sup>3</sup> /s,keittiö
Astianpesutila			10	
Ruoka-aineiden esikäsitteily		2-4	2-4	Ruoka-aineesta riippuen
Kuivavarasto			0,5	
Kylmävarastot >4 m <sup>2</sup>			0,35	
Jätehuone			5	
Jäähdytetty jätehuone			2	

1) LVI 06-10304 Ammattikeittiöiden sisäilmaston suunnittelu. LVI-ohjekortti. Rakennustieto.

2) EN 16282-1:2016 CEN/TC 156 Equipment for commercial kitchens — Components for ventilation in commercial kitchens — Part 1: General requirements including calculation method

### 3.14 Tiloja, joita on monessa rakennustyyppissä kuten hygieniatilat

Hygieniatilojen ilmanvaihdon mitoituksessa on otettava huomioon niiden käyttö, käyttäjämäärät ja mitoitusperusteet. WC-tilojen ilmanvaihdon mitoitus tehdään pääsääntöisesti WC-istuinten lukumäärän mukaan, suihkutilojen mitoitus suihkujen lukumäärän mukaan. Hygieniatiloja ja niiden ilmanvaihdon mitoitusta on käsitelty tarkemmin LVI-ohjekortissa LVI 06-10449<sup>1)</sup>. Ohjekortissa on esitetty myös ilmanvaihdon järjestämiseen liittyviä käytännön ohjeita. Saunan ilmanvaihdon järjestelyä on käsitelty LVI-ohjekortissa LVI 06-10604<sup>2)</sup>.

Hygieniatilojen tuloilma voi olla pääosin muista, puhtaammista tiloista johdettua siirtoilmaa. Siirtoilmareitit on suunniteltava ilmavirtojen mukaisesti.

Puku- ja suihkuhuoneiden ilmanvaihdon ilmavirroissa on otettava huomioon tilojen käytön erot (kuten henkilökunnan tilat, liikuntatilat, uimahallit).

1) LVI 06-10449 Pysyvien työpaikkojen puku-, pesu- ja WC-tilat. Rakennustieto.

2) LVI 06-10604 Saunan ilmanvaihto, lämmitys, valaistus ja sähköasennukset. Rakennustieto.

**Taulukko 3.14.1 Tiloja, joita on monessa rakennustyyppissä kuten hygieniatilat**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Käytävät ja aulat, jotka toimivat myös odotustilana (julkinen hallinto, terveydenhuolto, sosiaalihuolto, sairaalat jne.)		3		
Käytävät, joita käytetään pääasiallisesti vain läpikulkuun		0,5		Suurempi ilmanvaihto jos käytävässä muuta toimintaa (kuten koulut, lääkärikeskukset, sairaalat, julkiset palvelut)
WC (yleisötilat, työpaikat, henkilökunta, asiakkaat, koulut, kasarnit jne.)			20 dm <sup>3</sup> /s,WC-istuin	
Suihkutilat, runsas käyttö, kuten liikuntatilat		5	16 dm <sup>3</sup> /s,suihku	Suunnitellaan suuremman vaihtoehdon mukaan. Tuloilma osittain tai kokonaan siirtoilmaa LVI 06-10449
Suihkutilat, vähäinen käyttö kuten henkilökunnan tilat			16 dm <sup>3</sup> /s,suihku	Tuloilma osittain tai kokonaan siirtoilmaa LVI 06-10449
Henkilökunnan pukuhuoneet			4 dm <sup>3</sup> /s,hlö	Pukuhuonetta käyttävien henkilöiden lukumäärä arvioidaan pukukaappien lukumäärän perusteella (1 tai 2 kpl/hlö, työvaatteet ja siviilivaatteet) LVI 06-10449
Yleisön pukuhuoneet		3		
Henkilökunnan taukotila		2		
Porrashuone		0,5 1/h	0,5 1/h	
Tupakointitila				LVI STM-00361 <sup>1)</sup>

1) LVI STM-00361 Ravintolan ja muun ravitsemisliikkeen tupakointitila. Opas suunnittelijoille, kiinteistönomistajille, ravintoloitsijoille ja viranomaisille. Rakennustieto.

### 3.15 Tekniset tilat

Teknisten tilojen ilmanvaihdon mitoitus perustuu pääasiassa niissä olevien laitteiden lämpö- ja epäpuhtauskuormaan tai räjähdysvaaran torjuntaan. Ilmanvaihto voi olla ohjattu myös lämpötilan perusteella. Lämpötilarajat määräytyvät laitteiden mukaan. Ilmastointikonehuoneiden ilmanvaihdon suunnittelussa on otettava huomioon myös kylmäaineiden käsittelyyn ja mahdollisiin vuotoihin liittyvä tekijät.

Porrashuoneen ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirrat mitoitetaan yhtä suuriksi. Korkeiden rakennusten porrashuoneiden väliovet ja ilmanvaihto on järjestettävä siten, ettei rakennuksen toimintaa haittaavia paineeroja pääse syntymään, tarkemmin esim. lähteessä <sup>1)</sup>.

Ryömintätilan (tila jossa on maapohja) tuloilmana voidaan käyttää teknisten tilojen poistoilmaa. Ryömintätilan ulkoilmavirran lisääminen kesällä voi tuoda ryömintätilaan kosteutta, joka tiivistyy kylmille pinnoille.

1) Kosonen Risto, Ilari Ranta-Aho, Korkeiden asuinrakennusten painesuhteiden hallinta. Rakentajain Kalenteri s. 192-197. Rakennustieto Oy, 2017.

**Taulukko 3.15.1 Tekniset tilat**

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,hlö	Ulkoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	Muita ohjeita
Hissikuilu	4		8	
Hissikonehuone			17	LVI 30-10468 <sup>1)</sup>
Muuntamotila				LVI 06-10342 <sup>2)</sup>
Akkuhuone ja varaamotilat				LVI 06-10573 <sup>3)</sup>
Sähkö- ja elektroniikkatilat				Poistettavan lämpötehon ja lämpötilavaatimuksen mukaisesti LVI 30-10236 <sup>4)</sup>
Ilmanvaihtokonehuone			0,35	
Lämmönjakokeskus			0,35	Lämpötilan hallinta saattaa vaatia suurempaa ilmanvaihtoa
Valvomo, talotekniikka tms.	10			
Ryömintätila		0,5 1/h	0,5 1/h	Ilmanvaihtuvuus 0,5 1/h LVI 06-40064 <sup>5)</sup>

1) LVI 30-10468 Hissitilojen ilmanvaihto. LVI-ohjekortti. Rakennustieto.

2) LVI 06-10342 Muuntamotila rakennuksessa. LVI-ohjekortti. Rakennustieto.

3) LVI 06-10573 Akkuhuoneet ja varaamotilat. LVI-ohjekortti. Rakennustieto.

4) LVI 30-10236 Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Ilmastointijärjestelmät. LVI-ohjekortti. Rakennustieto.

5) LVI 06-40064 Toimiva ryömintätila. LVI-tiedonjyväkortti. Rakennustieto.

## 4 HIILIDIOKSIDIN TUOTTOON PERUSTUVA ILMANVAIHDON MITOITUS

Hiilidioksidipitoisuuden perustuvaa mitoitusta voidaan käyttää täydentämään ilmanvaihdon mitoitusta ja käytön suunnittelua. Hiilidioksidipitoisuus soveltuu myös painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihdon mitoituksen ja toiminnan tarkkailuun. Sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta annettu asetus antaa hiilidioksidipitoisuuden nousun enimmäisarvoksi käyttöaikana 800 ppm yli ulkoilman pitoisuuden. Laskennan avulla voidaan selvittää suunnitellun ilmanvaihdon riittävyyttä, mahdollista lisäilmanvaihdon tarvetta ja ulkoilmavirtoja säädön toimintaa. Tilan hiilidioksidipitoisuus riippuu monesta tekijästä, jotka on otettava laskennassa huomioon, kuten todennäköinen henkilöiden määrä, aineenvaihdunnan teho ja oleskeluajan pituus sekä tilan tilavuus. Ihmisen hiilidioksidituotto muuttuu suoraan verrannollisena aineenvaihdunnan tehoon. Istuvan ihmisen (aineenvaihdunnan teho 1 met vastaa 105 W).

Hiilidioksidipitoisuus tasapainotilassa (jotka saavuttamiseen menee noin 3/n tuntia, missä n on ilmanvaihtokerroin, 1/h) saadaan kaavasta

$$\Delta C_{CO_2} \text{ (ppm)} = 1000 \times (q_{CO_2} / q_{iv}) / 3,6$$

missä

$\Delta C_{CO_2}$  on hiilidioksidipitoisuuden nousu ulkoilmapitoisuuden (noin 400 ppm) yli, ppm

$q_{iv}$  on tilaan johdettu ulkoilmavirta,  $dm^3/s$

$q_{CO_2}$  on tilassa vapautuvan hiilidioksidin määrä,  $dm^3/h$  (taulukko 4.1)

Hiilidioksidituotto riippuu mm. henkilön aineenvaihdunnan tehosta (toiminnan fyysisestä rasittavuudesta) ja henkilön koosta. Suunnittelussa voidaan käyttää taulukon 4.1 mukaisia keskimääräisiä arvoja. Epäjatkuksessa käytössä olevan tilan hiilidioksidipitoisuuden laskenta on esitetty tarkemmin erillisessä oppaassa <sup>2)</sup>.

**Taulukko 4.1 Aineenvaihdunnan tehosta riippuva hiilidioksidin tuotto tyyppillisissä tilanteissa**

Huonetila/toiminta	Aineenvaihdunnan teho met <sup>1)</sup>	Aineenvaihdunnan teho = kokonaislämpöteho (kuiva ja kostea) W	CO <sub>2</sub> -tuotto dm <sup>3</sup> /h
nukkuminen	0,8	85	12,4
rauhallinen istuminen	1,0	105	15,4
toimistotyö, seisominen	1,2	135	18,5
opetustyö	1,4		21,6
rauhallinen liikkuminen	1,6	165	24,7
myymälätyö	1,8	189	21,6
kävely (3,2 km/h)	2,0	210	30,9
kävely (5 km/h)	3,0	315	46,2
kävely (6,5 km/h)	4,0	410	61,6
reipas kävely (8,0 km/h), sulkapallo	6,0	630	92,4
squash, koripallo	7,0	735	107,8

1) Met on ihmisen aineenvaihdunnan tehon yksikkö, 1 met on 58 W/m<sup>2</sup>, ihoa, vastaten keskikokoisella ihmisellä noin 105 W, joka poistuu kehosta kuivana (konvektio ja säteily) ja märkänä (vesihöyryyn sitoutuneena) lämpönä.

2) Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella, Kimmo Liljeström, Optiplan. 2017 (tulossa).