

Laskentaopas

*Tilan ulkoilmavirran mitoitus
hiilidioksidikuormituksen perusteella*

28.2.2018

*Ympäristöministeriön uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta
annetun asetuksen (1009/2017) mukaan*

ESIPUHE

Ympäristöministeriön asetuksessa (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on esitetty vaatimus sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvolle sekä oleskelutilojen henkilöperusteiselle ja koko rakennuksen neliöperusteiselle ulkoilmavirran vähimmäisarvolle. Asetettuja ulkoilmavirran vähimmäisarvoja voidaan käyttää ilmanvaihdon mitoituksen lähtökohtana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta.

Tässä laskentaoppaassa esitetään, miten Ulkoilmavirran mitoituslaskinta voidaan käyttää oleskelutilan suunnitellun käytön ulkoilmavirran tarpeen mitoittamisessa, mitoituksen keskeiset lähtötiedot sekä niiden esimerkinomaiset arvot valituille tilatyypeille. Ulkoilmavirran mitoituslaskin huomioi ihmisperäisen hiilidioksidin. Vastaavaa mitoitus tapaa voidaan käyttää muillekin epäpuhtauskuormituksille. Mitoituslaskin täydentää sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta annettuja ohjeita tilatyypikohtaisista henkilö- ja neliöperusteisista ilmavirroista.

Laskentaoppaan sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole määräysten taseisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista. Laskentaoppaan tarkoituksena on selventää määräysten tulkintaa sekä niiden kohdentumista. Lisäksi pyrkimyksenä on havainnollistaa määräysten mukaisuuden osoittamista käytännön esimerkein.

Alkuperäinen mitoituslaskin on laadittu 31.8.2017 ympäristöministeriön toimeksiannosta. Laskentaoppaan ja mitoituslaskimen päivityksen ovat laatineet ympäristöministeriön toimeksiannosta DI Kimmo Liljeström, DI Oskari Loikkanen ja DI Riina Salomaa Optiplan Oy:stä. Työtä on ympäristöministeriön puolesta valvonut ja ohjannut rakennusneuvos Pekka Kalliomäki.



Kuva: Jens Lindner

SISÄLLYS

Esipuhe	2
Sisällys.....	3
1 Johdanto.....	4
2 Määritelmiä ja käsitteitä	5
3 Ulkoilmavirta asetuksessa	6
4 Ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella	8
4.1 Hiilidioksidikuormitus tilaan.....	8
4.2 Tilan ulkoilmavirran suunnitteluarvo	9
4.3 Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus	10
4.4 Tilan muu kuormitus	10
5 Ulkoilmavirran mitoituslaskin	11
5.1 Laskenta-välilehti	11
5.2 Taustatiedot-välilehti.....	12
5.3 Kuvaaja-välilehti	13
6 Esimerkkilaskelmia.....	14
6.1 Asuinkerrostalon makuuhuone.....	14
6.2 Toimistorakennuksen toimistohuone.....	15
6.3 Päiväkodin ryhmätila.....	15
7 Vertailulaskelmia.....	17
Lähteet	19

1 JOHDANTO

Ympäristöministeriön asetuksessa (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta on esitetty vaatimus sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvolle sekä oleskelutilojen henkilöperusteiselle ja koko rakennuksen neliöperusteiselle ulkoilmavirran vähimmäisarvolle. Asetettuja ulkoilmavirran vähimmäisarvoja voidaan käyttää ilmanvaihdon mitoituksen lähtökohtana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta.

Ihmisen hiilidioksidituotto kasvaa fyysisen aktiivisuuden mukaan. Ihmisen elimistö tuottaa täydessä levossa hiilidioksidia 0,2 litraa minuutissa ja maksimaalisessa fyysisessä rasituksessa 2,5-3,0 litraa minuutissa. Asetuksen henkilöperusteinen vähimmäisarvo 6 dm³/s,hlö on riittävä silloin, kun oleskelutilassa oleskelevat henkilöt nukkuvat tai istuvat rauhallisesti.

Kun oleskelutilan käyttötarkoituksesta aiheutuu lisäilmavirran tarvetta ja ihmisperäinen hiilidioksidi on tilan ilmavirtaa mitoittava epäpuhtaus, tulee ulkoilmavirta määrittää henkilöperusteisen vähimmäisarvon sijaan tilan suunnitellun käytön hiilidioksidikuormituksen perusteella. Tällöin voidaan varmistua riittävästä ulkoilmavirrasta eli siitä, että oleskelutilan sisäilman hiilidioksidipitoisuus pysyy asetetun suunnitteluarvon alapuolella. Asetuksen ulkoilmavirran vähimmäisarvoja tulee kuitenkin noudattaa vaikka hiilidioksidikuormituksen perusteella määritetty ulkoilmavirta olisi vähimmäisarvoa alhaisempi.

2 MÄÄRITELMIÄ JA KÄSITTEITÄ

Tässä oppaassa tarkoitetaan:

- 1) *epäpuhtaudella* tilan sisäilmassa olevaa ainetta, jolla tunnetaan olevan tai voi olla haitallisia terveysvaikutuksia;
- 2) *ilmanvaihdolla* huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla;
- 3) *korvausilmalla* ilmaa, joka ilmanvaihtojärjestelmän aikaansaaman alipaineen vaikutuksesta virtaa rakennuksen sisään ja poistetaan ilmanvaihtojärjestelmän kautta;
- 4) *käyttöajalla* aikaa, jolloin tilassa oleskellaan tai sitä käytetään sen käyttötarkoituksen mukaisesti;
- 5) *poistoilmalla* ilmaa, joka johdetaan huonetilasta pois;
- 6) *siirtoilmalla* ilmaa, joka johdetaan tilasta toiseen tilaan;
- 7) *tuloilmalla* ilmaa, joka johdetaan huonetilaan;
- 8) *ulkoilmalla* tuloilmaa, joka johdetaan ulkoa rakennuksen sisään;

3 ULKOILMAVIRTA ASETUKSESSA

Ympäristöministeriön asetus (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta sisältää vaatimuksen sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvolle sekä oleskelutilojen henkilöperusteiselle ja koko rakennuksen neliöperusteiselle ulkoilmavirran vähimmäisarvolle.

Asetuksen 5 §:ssä on määrätty, että sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1450 mg/m^3 (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. 9 §:n mukaan ulkoilmavirralla on mitoitettava vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään $0,35 (\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana. Asetettuja ulkoilmavirran vähimmäisarvoja voidaan käyttää ilmanvaihdon mitoituksen lähtökohtana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta.

Alla on esitetty Ympäristöministeriön asetuksen (1009/2007) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta kohdat, jotka käsittelevät ulkoilmavirtaa.

2 § Määritelmät

Tässä asetuksessa tarkoitetaan:

18) ulkoilmalla ilmanvaihdon kautta ulkoa sisätiloihin hallitusti johdettua ilmaa;

3 § Sisäilmaston suunnittelu

Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti rakennusta suunnitellessaan otettava huomioon seuraavat rakennuksen sisäilmastoon vaikuttavat tekijät:

- 1) sisäiset kuormitustekijät, kuten: lämpö- ja kosteuskuormitus, laitteet, valaistus, henkilökuormat, melulähteet, prosessit, rakennustuotteiden päästöt sekä muut rakennuksen käyttöön liittyvät epäpuhtaudet;
- 2) ulkoiset kuormitustekijät, kuten: sää- ja ääniolot, ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät;

5 § Sisäilman laatu

Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja.

Sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1450 mg/m^3 (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

8 § Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Ilmanvaihtojärjestelmän on tuotava rakennukseen riittävä ulkoilmavirta ja poistettava sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, liiallista kosteutta, viihtyisyyttä haittaavia hajuja sekä ihmisistä, rakennustuotteista ja toiminnasta sisäilmaan aiheutuvia epäpuhtauksia.

9 § Ulkoilmavirrat

Erityissuunnittelijan on mitoitettava ilmanvaihtojärjestelmä siten, että oleskelutiloihin voidaan johtaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun edellyttämä ulkoilmavirta. Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään $0,35 (\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana, jos rakennuksen tilan käyttötarkoituksen erityisluonteesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Asuinhuoneiston ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään $18 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Asetuksen henkilöperusteinen vähimmäisarvo $6 \text{ dm}^3/\text{s,hlö}$ on riittävä silloin, kun oleskelutilassa oleskelevat henkilöt nukkuvat tai istuvat rauhallisesti. Jos oleskelutilan käyttötarkoituksesta aiheutuu lisäilmavirran tarvetta ja ihmisperäinen hiilidioksidi on tilan ilmavirtaa mitoittava epäpuhtaus, tulee ulkoilmavirta määrittää henkilöperusteisen vähimmäisarvon sijaan tilan suunnitellun käytön hiilidioksidikuormituksen perusteella. Tällöin voidaan varmistua riittävästä ulkoilmavirrasta eli siitä, että oleskelutilan sisäilman hiilidioksidipitoisuus pysyy asetetun suunnitteluarvon alapuolella. Asetuksen ulkoilmavirran vähimmäisarvoja tulee kuitenkin noudattaa vaikka hiilidioksidikuormituksen perusteella määritetty ulkoilmavirta on vähimmäisarvoa alhaisempi.

4 ULKOILMAVIRRRAN MITOITUS HIILIDIOKSIDIKUORMITUKSEN PERUSTEELLA

Tässä luvussa esitetään laskentakaavat, joiden avulla voidaan mitoittaa ulkoilmavirran suunnitteluarvo henkilöistä tilaan tulevan hiilidioksidikuormituksen perusteella.

4.1 Hiilidioksidikuormitus tilaan

Ihmisen hiilidioksidituotto (dm^3/s) lasketaan kaavalla (1)¹:

$$V'_{\text{CO}_2} = RQ * \frac{0,00276 * A_{\text{keho}} * M}{0,23 * RQ + 0,77}, \quad (1)$$

jossa

V'_{CO_2} on yhden henkilön hiilidioksidituotto tilavuusvirtana (dm^3/s)

RQ on hengitysosamäärä

M on fyysinen aktiivisuus (met),

A_{keho} on kehon keskimääräinen pinta-ala (m^2).

Kehon keskimääräinen pinta-ala (m^2) lasketaan kaavalla (2). Alla on esitetty myös kehon keskimääräisen pinta-alan laskennan vaihtoehtoinen kaava (3).

$$A_{\text{keho}} = (W^{0,425} * H^{0,725}) / 139,2 \quad \text{DuBois} \quad (2)$$

$$A_{\text{keho}} = (W^{0,5} * H^{0,5}) / 60, \quad \text{Monstaller} \quad (3)$$

joissa

W on henkilön paino (kg)

H on henkilön pituus (cm)

Hengitysosamäärä (respiratory quotient, RQ) kuvaa ihmisen hiilidioksidin tuoton ja hapenkulutuksen välistä suhdetta ($V_{\text{CO}_2}/V_{\text{O}_2}$). Hengitysosamäärän arvo vaihtelee välillä 0,7-1,0 ja on terveellä ihmisellä lepotilassa 0,85 ja kevyessä toiminnassa 0,82-0,83². Hengitysosamääränä mitoituslaskimessa käytetään standardiarvoa 0,83.

Fyysisen aktiivisuuden mittarina käytetään ihmisen aineenvaihdunnan tehoa eri toiminnoissa. Aineenvaihdunnan tehona käytetään ns. metabolista ekvivalenttia (lepoaineenvaihdunnan kerrannainen, yksikkö met), jonka avulla henkilön kokonaislämmönluovutus ja hiilidioksidituotto voidaan laskea. Alla on esitetty fyysisen aktiivisuuden mittarin metabolisen ekvivalentin arvoja vastaava kokonaislämmönluovutus sekä hiilidioksidituotto erilaisissa toiminnoissa. Kokonaislämmönluovutus ja CO₂-tuotto on laskettu kehon pinta-alalla 1,8 m² ja hengitysosamäärällä 0,83.

0,8 met	nukkuminen ³ , kokonaislämmönluovutus 84 W ja hiilidioksidituotto 12,4 dm ³ /h
1,0 met	rauhallinen istuminen ³ , kokonaislämmönluovutus 104 W ja hiilidioksidituotto 15,4 dm ³ /h
1,2 met	toimistotyö, seisominen ³ , kokonaislämmönluovutus 125 W ja hiilidioksidituotto 18,5 dm ³ /h
1,4 met	opetustyö ³ , kokonaislämmönluovutus 146 W ja hiilidioksidituotto 21,6 dm ³ /h
1,6 met	rauhallinen liikkuminen ³ , kokonaislämmönluovutus 167 W ja hiilidioksidituotto 24,7 dm ³ /h
1,8 met	myymälätyö ³ , kokonaislämmönluovutus 188 W ja hiilidioksidituotto 27,8 dm ³ /h
2,0 met	kävely (3,2 km/h) ³ , kokonaislämmönluovutus 209 W ja hiilidioksidituotto 30,9 dm ³ /h
3,0 met	kävely (5,0 km/h) ³ , kokonaislämmönluovutus 313 W ja hiilidioksidituotto 46,3 dm ³ /h
4,0 met	kävely (6,5 km/h) ³ , kokonaislämmönluovutus 418 W ja hiilidioksidituotto 61,8 dm ³ /h
6,0 met	reipas kävely (8,0 km/h) ³ , kokonaislämmönluovutus 626 W ja hiilidioksidituotto 92,7 dm ³ /h
7,0 met	squash/koripallo ³ , kokonaislämmönluovutus 731 W ja hiilidioksidituotto 108,1 dm ³ /h

Ihmisen kehon keskimääräinen pinta-ala lasketaan ihmisen painon ja pituuden avulla. Mitoituslaskimessa käytetään seuraavia suomalaisten keskimääräisiä pituuksia ja painoja.

Aikuinen⁴: nainen 164 cm / 70,4 kg ja mies 178 cm / 85,5 kg
 Lapsi 12v⁵: tyttö 154 cm / 43 kg ja poika 152 cm / 42 kg
 Lapsi 6v⁵: tyttö/poika 118 cm / 22 kg

Mitoituslaskimessa Suomen väestö oletetaan jakautuvan tasan miehiin ja naisiin. Suomessa syntyy tyttöjä vähemmän kuin poikia, mutta naisten keskimääräistä pidemmän eliniän vuoksi naisia on Suomessa enemmän kun miehiä.

4.2 Tilan ulkoilmavirran suunnitteluarvo

Hiilidioksidikuormituksen perusteella voidaan määrittää tilan ulkoilmavirran suunnitteluarvo soveltaen tasapainotilanteen laskennan periaatteita, kaava (4). Tasapainotilanteessa tarkasteluaikana tilaan tulevat hiilidioksidivirrat ovat yhtä suuret kuin huoneesta lähtevät hiilidioksidivirrat:

$$q_{ulko} * C_{ulko} + q_{korvaus} * C_{korvaus} + G = q_{poisto} * C_{poisto}, \quad (4)$$

jossa

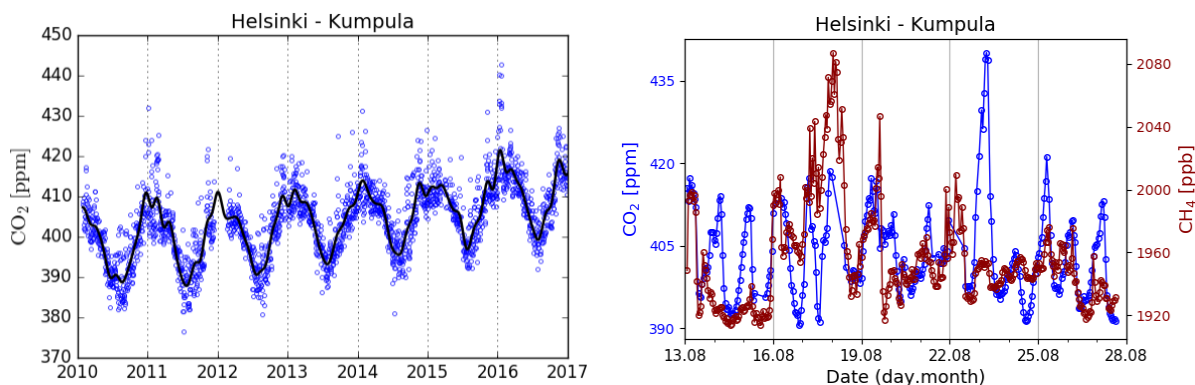
q_{ulko} on ulkoilmavirta (dm³/s)
 $q_{korvaus}$ on korvausilmavirta (dm³/s)
 q_{poisto} on poistoilmavirta (dm³/s)
 C_{ulko} on ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)
 $C_{korvaus}$ on korvausilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)
 C_{poisto} on poistoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm), sisäilman suunnitteluarvo
 G on tilassa oleskelevien henkilöiden hiilidioksidituotto tilaan (dm³/s)

Kun oletetaan, että tilan ulko- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret ($q_{ulko} = q_{poisto}$) ja korvausilmavirta on nolla ($q_{korvaus} = 0$) saadaan kaavasta 4:

$$q_{ulko} = \frac{G}{C_{poisto} - C_{ulko}} \quad (5)$$

4.3 Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus

Kuvassa 1 on esitetty ilmatieteenlaitoksen mittausaseman Helsinki-Kumpula ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden pitkäaikainen usean vuoden aikasarja (päiväkeskiarvot) sekä viimeisimmät havainnot kahden viikon jaksolta (tuntikeskiarvot). Mitattu hiilidioksidipitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan välillä 380-440 ppm ollen talvella korkeimmillaan. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on kasvanut noin 2 ppm vuodessa. Mikäli ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta ei tunneta, voidaan sille käyttää arvoa 400 ppm⁶. Mitoituslaskimessa ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden oletusarvona käytetään 400 ppm.



Kuva 1. Ilmatieteenlaitoksen mittausaseman Helsinki-Kumpula ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden pitkäaikainen usean vuoden aikasarja (päiväkeskiarvot) sekä viimeisimmät havainnot kahden viikon jaksolta (tuntikeskiarvot)⁷.

4.4 Tilan muu kuormitus

Tilan ulkoilmavirran mitoituksessa tulisi tarvittaessa huomioida tilan muiden kuormitusten kuten rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauspäästöihin esitetty tai kuormitusten yhteisvaikutuksen lisäulkoilmavirta.

Rakennus- ja sisustusmateriaalipäästöihin esitetty lisäulkoilmavirran määrä tilan pinta-alaa kohti

(Standardi EN 15251 (2007) Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics⁷)

Erittäin vähäpäästöinen rakennus	0,35 dm ³ /s,lattia-m ²
Vähäpäästöinen rakennus	0,70 dm ³ /s,lattia-m ²
Ei vähäpäästöinen rakennus	1,40 dm ³ /s,lattia-m ²

5 ULKOILMAVIRRRAN MITOITUSLASKIN

Tässä kappaleessa esitellään Ulkoilmavirran mitoituslaskin. Mitoituslaskimessa on kolme välilehteä; laskenta, taustatiedot ja kuvaaja (kuva 2, 3 ja 4).

5.1 Laskenta-välilehti

1

2

3

4

5

6

7

Rakennuksen käyttötarkoitus	Tilatyyppi	Pinta-ala (lattia-m ²)	Tavoite CO ₂ maks pitoisuus	Aikuinen M3/s hlö	Aktiivisuus met	Ulkoilmavirta dm ³ /s	M3/s hlö	Lapsi 12 vuotta Aktiivisuus met	Ulkoilmavirta dm ³ /s	M3/s hlö	Lapsi 6 vuotta Aktiivisuus met	Ulkoilmavirta dm ³ /s	Hiilidioksidi dm ³ /s	Muu kuormitus dm ³ /s/lattia m ²	Yhteensä dm ³ /s	Lisätieto	
Pienet asuinrakennukset	Makuhuone	15,0	1200	2	1,0	13,6			0,0			0,0	12,0			12	Tilan ulkoilmavirta 12 dm ³ /s - 6 dm ³ /hlö - 0,8 dm ³ /m ²
Asuinrakennus	Makuhuone	10,0	1200	2	1,2	13,6			0,0			0,0	13,6			14	Tilan ulkoilmavirta 14 dm ³ /s - 7 dm ³ /hlö - 1,4 dm ³ /m ²
Toimistorakennus	Toimistohuone	10,0	1200	2	1,2	13,6			0,0			0,0	13,6			14	Tilan ulkoilmavirta 14 dm ³ /s - 7 dm ³ /hlö - 1,4 dm ³ /m ²
Toimistorakennus	Neuvotteluhuone	40,0	1200	8	1,2	54,4			0,0			0,0	54,4			55	Tilan ulkoilmavirta 55 dm ³ /s - 6,9 dm ³ /hlö - 1,4 dm ³ /m ²
Terveystieteiden tutkimuskeskus	Vaastuottohuone	15,0	1200	2	1,2	13,6			0,0			0,0	13,6			14	Tilan ulkoilmavirta 14 dm ³ /s - 7 dm ³ /hlö - 1,4 dm ³ /m ²
Kirjasto	Myynti	1000,0	1200	167	1,6	1514,8			0,0			0,0	1514,8			1515	Tilan ulkoilmavirta 1515 dm ³ /s - 9,1 dm ³ /hlö - 1,6 dm ³ /m ²
Majoitusliiketoiminta	Hotellihuone	25,0	1200	2	1,2	13,6			0,0			0,0	13,6			14	Tilan ulkoilmavirta 14 dm ³ /s - 7 dm ³ /hlö - 0,8 dm ³ /m ²
Opisto/akatemian	Lukio	60,0	1200	1	1,4	7,9	25	1,2	121,2			0,0	106,0			106	Tilan ulkoilmavirta 106 dm ³ /s - 8 dm ³ /hlö - 1,2 dm ³ /m ²
Päiväkodit	Päiväkotilo	42,0	1200	2	1,4	22,0			0,0	24	1,4	0,0	142,0			142	Tilan ulkoilmavirta 142 dm ³ /s - 6 dm ³ /hlö - 1,2 dm ³ /m ²
Kirkkotalo	Kirkkotila	265,0	1200	30	5,0	850,4			0,0			0,0	850,4			851	Tilan ulkoilmavirta 851 dm ³ /s - 28,4 dm ³ /hlö - 3,3 dm ³ /m ²
Sairaala	Hoituhuone	15,0	1200	2	1,2	13,6			0,0			0,0	13,6			14	Tilan ulkoilmavirta 14 dm ³ /s - 7 dm ³ /hlö - 1 dm ³ /m ²

Kuva 2. Mitoituslaskimen laskentavälilehti

Mitoituslaskimen Laskenta-välilehden sarakkeet ovat:

1. Rakennuksen käyttötarkoitus
2. Tilatyyppi
3. Pinta-ala (lattia-m²)
4. Tavoite (CO₂-maksimipitoisuus). Oletuksena ulkoilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden oletusarvo 400 ppm + asetuksen määräys 800 ppm = 1200 ppm. Mitoituslaskimessa on mahdollista valita tavoitetasoksi myös Sisäilmastoluokituksen⁹ tavoitearvot, jossa hiilidioksidipitoisuuslisä ulkoilman hiilidioksidipitoisuuteen verrattuna on 350 ppm luokalle S1 ja 550 ppm luokalle S2.
5. Henkilöiden (Aikuinen, Lapsi 12 vuotta ja Lapsi 6 vuotta) lukumäärä ja fyysinen aktiivisuus. Syötettyjen arvojen perusteella lasketaan hiilidioksidituotto ja siihen perustuva ulkoilmavirta.
6. Ulkoilmavirta: CO₂-mitoitus, Lisäilma ja Yhteensä
 - Ulkoilmavirta, Hiilidioksidi -kohta on henkilöiden hiilidioksidikuormitusten perusteella laskettujen ulkoilmavirtojen summa.
 - Ulkoilmavirta, Muu kuormitus -kohtaan voidaan lisätä syöttöarvona neliöpohjainen tilan muiden kuormitusten muulla tavalla määritetty tai eri standardeissa esitetty rakennus- ja sisustusmateriaalipäästöjen vaatima lisäulkoilmavirta.
 - Ulkoilmavirta, Yhteensä on hiilidioksidi- ja muun kuormituksen ulkoilmavirtojen summa pyöristettynä ylöspäin tasaluvuksi. Jos ulkoilmavirran arvoksi tulee hiilidioksimitoituksen perusteella alle 6 dm³/s,hlö käytetään vähimmäisarvoa 6 dm³/s,hlö.
7. Lisätiedot-kohdassa esitetään kunkin tilan päätulos, ulkoilmavirran suunnitteluarvo sekä henkilö- ja neliöperusteinen arvo.

Ihmisen hiilidioksidin tuottoon vaikuttava kehon keskimääräinen pinta-ala määräytyy henkilön pituuden ja painon perusteella. Laskennassa lasten iät eri käyttötarkoitukseluokkia varten on valittu mitoittavan arvon mukaan; päiväkodissa oletuksena on vanhin ikäluokka (6 vuotta) ja samoin

koulun osalta on käytetty ala-asteen vanhinta ikäluokkaa (12 vuotta). Yläaste- ja lukioikäisten osalta käytetään aikuisten keskimääräistä kehon pinta-alaa.

Laskenta-välilehdellä ulkoilmavirran mitoitus etenee seuraavasti:

- syötetään tilan tiedot (sarakkeet 1-3), CO₂-pitoisuuden maksimiarvon tavoite (sarake 4) ja suunniteltu käyttö (sarakkeet 5)
 - taustatiedot välilehdellä on esitetty rakennuksen eri käyttötarkoitusten ja toimintojen fyysisen aktiivisuuden standardiarvoja.
 - syötettyjen tietojen perusteella lasketaan tilan hiilidioksidikuormitus (kaava 1) ja ulkoilmavirran suunnitteluvarvo (kaava 5)
- syötetään neliöperusteinen muun kuormituksen lisäulkoilmavirta.

5.2 Taustatiedot-välilehti

Taustatiedot

28.2.2018 / Kimmo Liljeström, Optiplan Oy

Hiilidioksidipitoisuuden ohjearvot:

	Tilavuusosuus ⁴⁾ ppm	Massapitoisuus ⁵⁾ mg/m ³
Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus ¹⁾	400	730
Sisäilman hiilidioksidipitoisuuslisän suunnitteluarvo ²⁾	800	
Sisäilman hiilidioksidipitoisuuslisän tavoitearvo S1 ³⁾	550	
Sisäilman hiilidioksidipitoisuuslisän tavoitearvo S2 ³⁾	350	

¹⁾ Ulkoilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden oletusarvo 400 ppm

²⁾ Ympäristöministeriön asetus (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 5§: Sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1 450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

³⁾ Sisäilmastoluokitus 2018

⁴⁾ Hiilidioksidin tilavuusosuus [ppm] voidaan normaali-ilmanpaineessa ja -lämpötilassa (101,3 kPa, 20 °C) laskea tunnetusta massapitoisuudesta [mg/m³] seuraavalla muunnoskaavalla:

$CO_2 \text{ tilavuusosuus [ppm]} = CO_2 \text{ massapitoisuus [mg/m}^3] * \text{kaasun moolitilavuus normaaliolosuhteissa (NTP) Vm 24,1 [dm}^3/\text{mol]} / CO_2 \text{ molekyyli massa 44,01 [g/mol]}$

⁵⁾ Hiilidioksidin massapitoisuudet [mg/m³] voidaan normaali-ilmanpaineessa ja -lämpötilassa (101,3 kPa, 20 °C) laskea tunnetusta tilavuusosuudesta [ppm] seuraavalla muunnoskaavalla:

$CO_2 \text{ massapitoisuus [mg/m}^3] = (CO_2 \text{ tilavuusosuus [ppm]} * CO_2 \text{ molekyyli massa 44,01 [g/mol]}) / \text{kaasun moolitilavuus normaaliolosuhteissa (NTP) Vm 24,1 [dm}^3/\text{mol]}$

Kuva 3. Mitoituslaskimen Taustatiedot-välilehti.

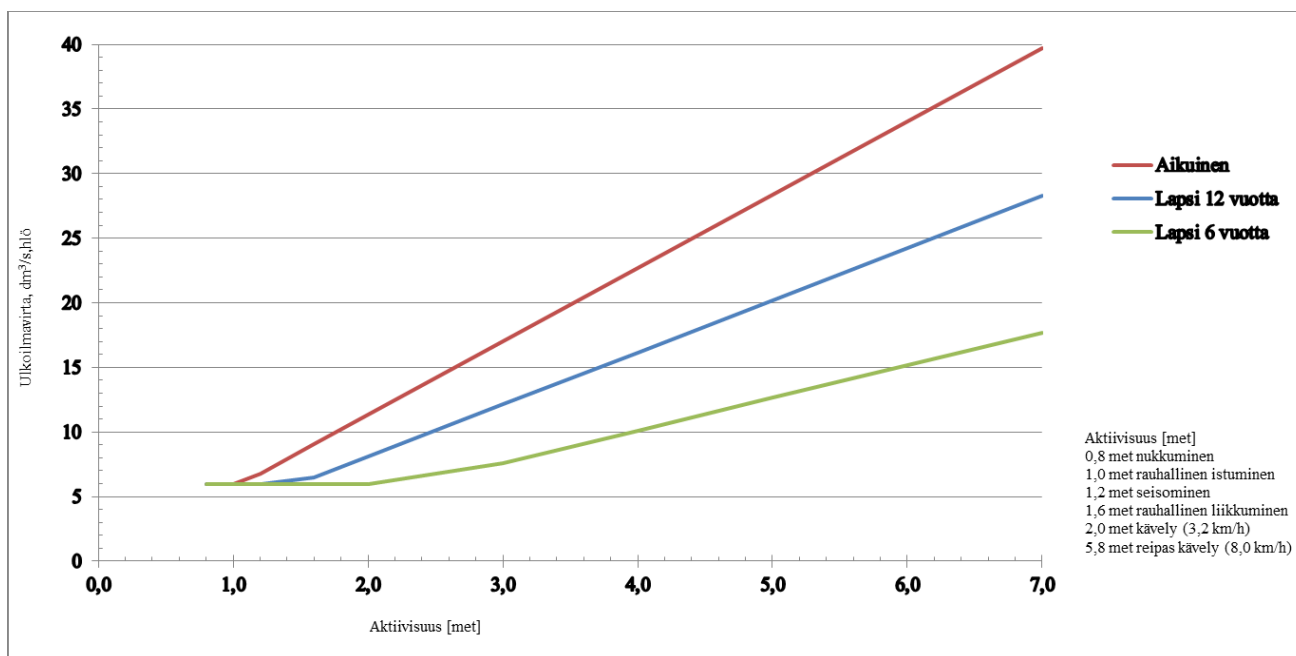
Mitoituslaskimen Taustatiedot-välilehdellä esitetään seuraavat laskennassa käytettävät arvot:

- hiilidioksidipitoisuuden ohjearvot
 - ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden oletusarvo, jonka käyttäjä voi muuttaa
 - sisäilman hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvo, asetusarvo

- hiilidioksidituoton laskennan ohjearvot
 - hengitysosamäärä
 - henkilön fyysinen aktiivisuus
 - henkilön kehon pinta-ala
 - henkilön paino ja pituus
- ulkoilmavirta rakennus- ja sisustusmateriaalipäästöihin.

Henkilön fyysinen aktiivisuus määrittyy henkilön toiminnon perusteella tai rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaan. Molempien ollessa tiedossa, käytetään näistä aina mitoittavaa arvoa. Esimerkiksi opetusrakennuksen käyttötarkoitukseluokkaa vastaava aineenvaihdunnan teho on 1,2 met, mutta varsinaisessa opetustyössä aineenvaihdunnan teho on 1,4 met. Tällöin opettajien osalta aineenvaihdunnan tehona käytetään arvoa 1,4 met ja oppilaiden osalta voidaan käyttää arvoa 1,2 met. Lisäksi monitoimitiloissa (tilalla useita käyttötarkoituksia) fyysinen aktiivisuus valitaan aina mitoittavan toiminnon mukaan.

5.3 Kuvaaja-välilehti



Kuva 4. Mitoituslaskimen Kuvaaja-välilehti.

Mitoituslaskimen Kuvaaja-välilehdellä esitetään kuvaajana fyysisen aktiivisuuden (met) vaikutus henkilöperusteiseen ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$) ulkoilmavirran suunnitteluarvoon. Tässä sisäilman hiilidioksidipitoisuus on asetuksen mukaisesti enintään 800 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

6 ESIMERKKILASKELMIA

Tässä luvussa esitetään esimerkkilaskelmat hiilidioksidimitoituksesta asuinkerrostalon kahden hengen makuuhuoneelle, toimistorakennuksen kahden hengen toimistohuoneelle sekä päiväkodin ryhmätilalle.

6.1 Asuinkerrostalon makuuhuone

Ensimmäinen esimerkkilaskelma laadittiin asuinkerrostalon makuuhuoneelle (10 lattia-m², kaksi aikuista, fyysinen aktiivisuus asuinrakennuksen standardi).

Laskenta etenee seuraavasti:

1. Lasketaan henkilöiden hiilidioksidituotto kaavalla 1.
2. Lasketaan ulkoilmavirran määrä kaavalla 5

Kahden henkilön hiilidioksidituotto saadaan kaavalla 1:

Laskelmassa käytetään seuraavia mitoituslaskimen Taustatiedot-välilehdellä esitettyjä arvoja:

- hengitysosamäärä 0,83
- suomalaisen aikuisen keskimääräinen paino 77,95 kg ja pituus 171 cm
- käyttötarkoitukseluokan asuinkerrostalo fyysisen aktiivisuuden standardiarvo 1,2.

$$V'_{CO_2} = 2 * RQ * \frac{0,00276 * A_{keho} * M}{0,23 * RQ + 0,77} = 2 * RQ * \frac{0,00276 * (W^{0,425} * H^{0,725}) * M}{139,2 * (0,23 * RQ + 0,77)}$$

$$= 2 * 0,83 * \frac{0,00276 * (77,95^{0,425} * 171^{0,725}) * 1,2}{139,2 * (0,23 * 0,83 + 0,77)}$$

$$V'_{CO_2} = 0,010885 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Makuuhuoneen ulkoilmavirta saadaan kaavalla 5:

$$q_{tulo} = \frac{G}{c_{poisto} - c_{tulo}} = \frac{0,010885}{(1200 - 400)} * 1000000 = 13,60614301 \approx 14 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Esimerkkilaskelmassa kahden hengen makuuhuoneen ulkoilmavirran mitoitusarvoksi saadaan 14 dm³/s (7 dm³/s, hlö). Esimerkkilaskelmassa ei huomioitu lisäulkoilmavirtaa rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauspäästöihin.

Fyysisen aktiivisuuden arvolla 0,8 (nukkuminen) ulkoilmavirran mitoitusarvo olisi 10 dm³/s (5 dm³/s, hlö). Tämä alittaa ympäristöministeriön uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta annetussa asetuksessa (1009/2017) 9 §:ssä esitetyn vähimmäisarvon 6 dm³/s, hlö, joten tällöin mitoitusarvona tulisi käyttää asetuksen vähimmäisarvoa.

6.2 Toimistorakennuksen toimistohuone

Toinen esimerkkilaskelma laadittiin toimistorakennuksen toimistohuoneelle (10 lattia-m², kaksi aikuista, fyysinen aktiivisuus toimistorakennuksen/toimistotyön standardi).

Kahden henkilön hiilidioksidituotto saadaan kaavalla 1:

Laskelmassa käytetään seuraavia mitoituslaskimen Taustatiedot-välilehdellä esitettyjä arvoja:

- hengitysosamäärä 0,83
- suomalaisen aikuisen keskimääräinen paino 77,95 kg ja pituus 171 cm
- käyttötarkoituksaluokan toimistorakennus fyysisen aktiivisuuden standardiarvo 1,2.

$$V'_{CO_2} = 2 * RQ * \frac{0,00276 * A_{keho} * M}{0,23 * RQ + 0,77} = 2 * RQ * \frac{0,00276 * (W^{0,425} * H^{0,725}) * M}{139,2 * (0,23 * RQ + 0,77)}$$

$$= 2 * 0,83 * \frac{0,00276 * (77,95^{0,425} * 171^{0,725}) * 1,2}{139,2 * (0,23 * 0,83 + 0,77)}$$

$$V'_{CO_2} = 0,010885 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Toimistohuoneen ulkoilmavirta saadaan kaavalla 5:

$$q_{tulo} = \frac{G}{c_{poisto} - c_{tulo}} = \frac{0,010885}{(1200 - 400)} * 1000000 = 13,60614301 \approx 14 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Esimerkkilaskelmassa kahden hengen toimistohuoneen ulkoilmavirran mitoitusarvoksi saadaan 14 dm³/s (7 dm³/s, hlö). Tämä ylittää ympäristöministeriön uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta annetussa asetuksessa 9 §:ssä esitetyn vähimmäisarvon 6 dm³/s, hlö, joten tällöin mitoitusarvona tulisi käyttää epäpuhtauskuormituksen perusteella laskettua ilmavirran vähimmäisarvoa. Esimerkkilaskelmassa ei huomioitu lisäulkoilmavirtaa rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauspäästöihin.

6.3 Päiväkodin ryhmätila

Mitoituslaskimen kolmas esimerkkilaskelma laadittiin päiväkodin ryhmätilalle (42 lattia-m², kolme aikuista, 24 lasta, fyysinen aktiivisuus päiväkodin standardi).

Laskenta etenee seuraavasti:

1. Lasketaan aikuisten hiilidioksidituotto kaavalla 1.
2. Lasketaan lasten hiilidioksidituotto kaavalla 1.
3. Lasketaan ulkoilmavirran määrä kaavalla 5

Kolmen aikuisen hiilidioksidituotto saadaan kaavalla 1:

Laskelmassa käytetään seuraavia mitoituslaskimen Taustatiedot-välilehdellä esitettyjä arvoja:

- hengitysosamäärä 0,83
- suomalaisen aikuisen keskimääräinen paino 77,95 kg ja pituus 171 cm
- käyttötarkoitukseluokan päiväkotit fyysisen aktiivisuuden standardiarvo 1,4.

$$V'_{CO2_a} = 3 * RQ * \frac{0,00276 * A_{keho} * M}{0,23 * RQ + 0,77} = 3 * RQ * \frac{0,00276 * (W^{0,425} * H^{0,725}) * M}{139,2 * (0,23 * RQ + 0,77)}$$

$$= 3 * 0,83 * \frac{0,00276 * (77,95^{0,425} * 171^{0,725}) * 1,4}{139,2 * (0,23 * 0,83 + 0,77)}$$

$$V'_{CO2_a} = 0,019049 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Lasten (24 kpl) hiilidioksidituotto saadaan kaavalla 1:

Laskelmassa käytetään seuraavia mitoituslaskimen Taustatiedot-välilehdellä esitettyjä arvoja:

- hengitysosamäärä 0,83
- suomalaisen 6-vuotiaan lapsen keskimääräinen paino 22,0 kg ja pituus 118,0 cm
- käyttötarkoitukseluokan päiväkotit fyysisen aktiivisuuden standardiarvo 1,4.

$$V'_{CO2_l} = 24 * RQ * \frac{0,00276 * A_{keho} * M}{0,23 * RQ + 0,77} = 24 * RQ * \frac{0,00276 * (W^{0,425} * H^{0,725}) * M}{139,2 * (0,23 * RQ + 0,77)}$$

$$= 24 * 0,83 * \frac{0,00276 * (22,0^{0,425} * 118,0^{0,725}) * 1,4}{139,2 * (0,23 * 0,83 + 0,77)}$$

$$V'_{CO2_l} = 0,068023 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Hiilidioksidituotto yhteensä:

$$V'_{CO2} = V'_{CO2_a} + V'_{CO2_l} = 0,019049 \text{ dm}^3/\text{s} + 0,068023 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,087072 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Ryhmätilan ulkoilmavirta saadaan kaavalla 5:

$$q_{tulo} = \frac{G}{C_{poisto} - C_{tulo}} = \frac{0,087072}{(1200 - 400)} * 1000000 = 108,8389787 \approx 109 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Esimerkkilaskelmassa päiväkodin ryhmätilan ulkoilmavirran mitoitusarvoksi saadaan 109 dm³/s (4 dm³/s, hlö). Esimerkkilaskelmassa ei huomioitu lisäulkoilmavirtaa rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauspäästöihin. Tämä alittaa ympäristöministeriön uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta annetussa asetuksessa (1009/2017) 9 §:ssä esitetyn vähimmäisarvon 6 dm³/s, hlö, joten tällöin mitoitusarvona tulisi käyttää asetuksen vähimmäisarvoa.

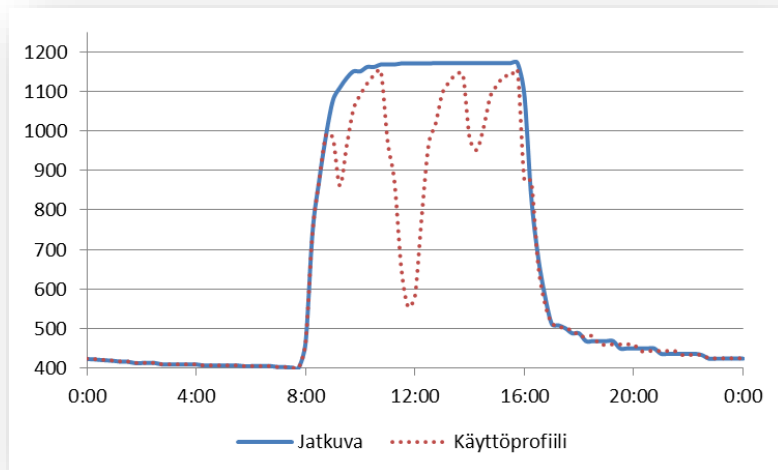
7 VERTAILULASKELMIA

Vertailulaskelmat laadittiin, jotta nähdään onko dynaamisen laskentatyökalun (IDA Indoor Climate and Energy 4.7.1) ja mitoituslaskimen tuloksissa eroja. Vertailulaskelmien perusteella (taulukko 1) molemmat työkalut antavat yhdenmukaisia tuloksia muilta osin, mutta opetusrakennuksen ja päiväkodin tyyppitiloissa tulokset eroavat merkittävästi toisistaan. Ero tuloksissa syntyy siitä, että dynaamisessa laskentatyökalussa on käytössä standardihenkilön kehon pinta-ala 1,8 m², jolloin henkilön koon vaikutusta hiilidioksidituottoon ei huomioida, vaan kaikki henkilöt olivat standardikokoisia aikuisia.

Taulukko 1. Vertailulaskelmien päätulokset. Laskelmissa sisäilman hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvona on käytetty asetuksen vaatimusta.

Rakennuksen käyttötarkoitus	Tilatyyppi	Henkilöt	Aktiivisuus	Mitoituslaskin	Dynaaminen laskenta
		Määrä hlö	Aktiivisuus met	Ulkoilmavirta dm ³ /s	Ulkoilmavirta dm ³ /s
Pienet asuinrakennukset	Makuuhuone	2	1,0	11,3	11,0
Asuinkerrostalo	Makuuhuone	2	1,2	13,6	13,3
Toimistorakennus	Toimistohuone	2	1,2	13,6	13,3
Toimistorakennus	Neuvotteluhuone	8	1,2	54,4	55,0
Terveyskeskus	Vastaanottohuone	2	1,2	13,6	13,3
Liikerakennus	Myymälä	167	1,6	1515	1545
Majoitusliikerakennus	Hotellihuone	2	1,0	11,3	11,0
Opetusrakennus	Luokka	26	1,2	128	180
Päiväkoti	Ryhmätila	27	1,4	108,8	218
Liikuntahalli	Liikuntasali	30	5,0	851	870
Sairaala	Hoitohuone	2	1,0	11,3	11,0

Vertailulaskelmissa tilan suunniteltu käyttö on kuvattu jatkuvana käyttönä (100 % läsnäoloaste), mikä kuvaa mitoitusilannetta. Jos oleskelutilan suunniteltu käyttö on lyhytaikaista, käytössä on taukoja tai ilmantilavuus on suuri suhteessa henkilömäärään, ei tilan sisäilman hiilidioksidipitoisuus välttämättä nouse hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvoon. Kuvassa 5 on esitetty toimistohuoneen hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu työpäivän aikana eri läsnäolo-oletuksilla, jatkuvalla käytöllä ja todellista käyttöä kuvaavalla käyttöprofiililla. Ulkoilmavirran mitoituksessa lyhytaikaisen käytön, taukojen tai tilan ilmantilavuuden vaikutusta ei yleensä huomioida.



Kuva 5. Toimistohuoneen (2 henkilöä, ulkoilmavirta $14 \text{ dm}^3/\text{s}$) hiilidioksidipitoisuus eri läsnäolo-oletuksilla; jatkuva käyttö ma-pe 08-16 (100 %) ja todellista käyttöä kuvaava käyttöprofiili ma-pe 08-16 (100 %) sisältäen kahvitaust 09:00-09:15 (0 %) ja 14:00-14:15 (0 %) sekä lounastauon 11:00-12:00 (0 %).

LÄHTEET

- 1) ASHRAE Handbook of Fundamentals. 2009.
- 2) ASHRAE Standardi 62.1, Ventilation for acceptable indoor air quality. 2007.
- 3) Seppänen, Olli. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017.
- 4) Katja Borodulin et. al. Kansallinen Finriski 2012 -terveystutkimus. Osa 2, tutkimuksen taulukkoliite. 2013.
- 5) Suomalaisten lasten kasvukäyrät 2011, www.kasvukäyrät.fi.
- 6) Kalliomäki, Pekka. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. Perustelumuistio. 2017.
- 7) Ilmatieteenlaitoksen havainnot ulkoilman kasvihuonekaasujen pitoisuuksista Pallas-Sammaltunturin, Sodankylän, Helsinki-Kumpulan ja Utön asemilla. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-pitoisuudet>.
- 8) EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. 2007.
- 9) Sisäilmastoluokitus (luonnosversio). 2018.