

Laskentaopas

*Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioiminen
energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun)
laskennassa*

28.2.2018

*Ympäristöministeriön uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta sekä
energiatehokkuudesta annettujen asetusten (1009/2017 ja 1010/2017) mukaan*

ESIPUHE

Tässä laskentaoppaassa selvennetään Ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annettuja vaatimuksia tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioimisesta rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa.

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 määräystenmukaisuuden osoittamista käytännön esimerkein.

Laskentaoppaan ovat laatineet ympäristöministeriön toimeksiannosta DI Kimmo Liljeström ja DI Riina Salomaa Optiplan Oy:stä. Työtä on ympäristöministeriön puolesta valvonut ja ohjannut rakennusneuvos Pekka Kalliomäki sekä ympäristöneuvos Maarit Haakana. Ohjausryhmään on kuulunut lisäksi tekniikan lisensiaatti Mika Vuolle Equa Simulation Finland Oy:stä.



Kuva: Oscar Söderlund

SISÄLLYS

Esipuhe	2
Sisällys.....	3
1 Johdanto.....	4
2 Määritelmiä ja käsitteitä	5
3 Asetukset, standardit ja ohjeet	6
3.1 Asetukset	6
3.2 Muita ohjeita ja standardeja.....	8
4 Tarpeenmukainen ilmanvaihto E-luvun laskennassa.....	11
4.1 Ilmavirtaa mitoittava kuormitus	11
4.2 Ilmavirran minimiarvo.....	11
4.3 Ilmavirran suunnitteluarvo	12
4.4 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ilmavirran vuosikeskiarvo	12
4.5 Ilmavirta E-luvun laskennassa.....	12
4.6 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho E-luvun laskennassa.....	15
5 Esimerkkilaskelmia.....	16
5.1 Asuinkerrostalo	16
5.2 Toimistorakennus	18
5.3 Opetusrakennus	19
5.4 Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon huomioiminen E-luvun laskennassa	20
Lähteet	23

1 JOHDANTO

Tarpeenmukainen ilmanvaihto on yksi merkittävistä energiatehokkuuden parantamiskeinoista, koska sen avulla voidaan pienentää ilmanvaihdon puhallinsähkön sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon energiansäästöpotentiaali on suurin rakennuksissa, joissa tilojen kuormitus vaihtelee paljon käyttöaikana.

Ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on esitetty, miten tarpeenmukainen ilmanvaihto voidaan huomioida rakennuksen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa. Tässä oppaassa täydennetään ohjein asetuksessa annettuja määräyksiä.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto koetaan edelleen usein monimutkaisena, kalliina, huonosti toimivana ja hankalasti ylläpidettävänä ratkaisuna. Tämä ei kuitenkaan ole koko totuus, koska päinvastaisiakin kokemuksia on raportoitu. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon teknisiä ratkaisuja, suunnittelun ja toteutuksen toimivuuden varmistuskäytäntöjä sekä ylläpidettävyyttä tulee edelleen kehittää, jotta epäonnistumisilta vältyttäisiin. Tavoitteena tulisi olla saada aikaan hyvän sisäilman tuottavia ja energiankäyttöltään optimoituja tarpeenmukaisesti ohjattuja ilmanvaihtojärjestelmiä.

2 MÄÄRITELMIÄ JA KÄSITTEITÄ

Tässä oppaassa tarkoitetaan:

- 1) *epäpuhtaudella* sisäilmassa olevaa ainetta, jolla voi olla haitallisia terveysvaikutuksia;
- 2) *ilman laadulla* sisäilman epäpuhtauksien määrää;
- 3) *ilmavirran suunnitteluarvolla* tilan kuormituksen perusteella mitoitettua suurinta ilmanvaihdon tarvetta käyttöaikana;
- 4) *ilmavirran minimiarvolla* tilan kuormituksen perusteella mitoitettua pienintä sallittua ulkoilmavirtaa;
- 5) *kuormituksella* eri lähteistä sisäilmaan siirtyvää epäpuhtaus-, kosteus- tai lämpökuormitusta;
- 6) *käyttöajalla* aikaa, jolloin tilassa oleskellaan tai sitä käytetään sen käyttötarkoituksen mukaisesti;
- 7) *tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla* järjestelmää, jolla ilmavirtoja voidaan ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti;
- 8) *ulkoilmalla* ilmanvaihdon kautta ulkoa sisätiloihin hallitusti johdettua ilmaa;
- 9) *vakioidulla käytöllä* energiatehokkuuden vertailuluvun laskennassa käytettäväksi määrättyjä rakennuksen käyttöä kuvaavia lähtötietoja.

3 ASETUKSET, STANDARDIT JA OHJEET

Tässä luvussa esitetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa koskevat asetukset sekä esitellään muita aiheeseen liittyviä ohjeita ja standardeja.

3.1 Asetukset

Seuraavat Ympäristöministeriön asetukset sisältävät määräyksiä tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon liittyen:

- Ympäristöministeriön asetus (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (27.12.2017)
- Ympäristöministeriön asetus (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (27.12.2017)

Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta

Ympäristöministeriön asetuksessa (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on määrätty 5 §:ssä huonetilan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvoksi enintään 1450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus ja 9 §:ssä ulkoilmavirtojen vähimmäisarvot. 10 §:ssä on ilmavirtojen ohjauksesta määrätty, että rakennukseen on suunniteltava ilmavirtojen ohjaus siten, että ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti. Käyttötilannetta ei ole tässä määrätty, vaan suunnittelun lähtökohtana ovat kuormitukset tulisi arvioida rakennukselle ja sen tiloille, joihin ilmavirtojen ohjaus suunnitellaan.

Alla on esitetty asetuksen kohdat, jotka käsittelevät tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

2 § Määritelmät

Tässä asetuksessa tarkoitetaan:

16) suunnitellulla käyttöajalla aikaa, jolloin rakennuksessa tai tilassa oleskellaan ja rakennusta tai tilaa käytetään sen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaisesti;

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/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

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 dm³/s henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään 0,35 (dm³/s)/m² lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana, jos rakennuksen tilan käyttötarkoituksen erityisluonteesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Asuinhuoneiston ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään 18 dm³/s.

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.

Muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään 0,15 (dm³/s)/m² 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.

Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta

Ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on määritelty 2 §:ssä, että tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilmavirtoja voidaan ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti. Tässä tarpeenmukaiseksi ilmanvaihdoksi ei katsota tilan lämpötilan hallintaa (tilan lämmittämistä tai jäädyttämistä) ilmavirtoja kasvattamalla tai tuloilman lämpötilaa muuttamalla. 10 §:ssä on määrätty, mitä ulkoilmavirtoja ja lämpötilarajoja tulee käyttää sekä miten tarpeenmukainen ilmanvaihto tulee huomioida energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa.

Alla on esitetty asetuksen kohdat, jotka käsittelevät tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

2 § Määritelmät

Tässä asetuksessa tarkoitetaan

26) tarpeen mukaisella ilmanvaihdolla järjestelmää, jolla ilmavirtoja voidaan ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti;

10 § Ulkoilmavirrat ja huonelämpötilat

E-luku on laskettava käyttäen seuraavia käyttöajan ulkoilmavirtoja sekä huonelämpötilan lämmitys- ja jäädytysrajan lämpötiloja:

Käyttötarkoitukseluokka	Ulkoilmavirta dm ³ /(s m ²)	Lämmitysraja °C	Jäädytysraja °C
Luokka 1)	0,4	21	27
Luokka 2)	0,5	21	27
Luokka 3)	2	21	25
Luokka 4)	2	18	25
Luokka 5)	2	21	25
Luokka 6)	3	21	25
Luokka 7)	2	18	25
Luokka 8)	4	22	25

Poistoilmavirrat on laskettava ulkoilmavirtaa vastaavilla arvoilla.

Muun kuin käyttötarkoitukseluokan 1 ja 2 rakennuksen ilmanvaihdon ulkoilmavirtana on käytettävä laskennassa käyttöajan ulkopuolella vähintään $0,15 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$.

Käyttötarkoitukseluokan 2 rakennuksessa, jossa asukkaalla on mahdollisuus ohjata tulo- ja poistoilmavirtoja siten, että niitä voidaan huoneistokohtaisesti tehostaa vähintään 30 prosenttia ja pienentää vähintään 40 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirroista, rakennuksen ulkoilmavirtana voidaan käyttää $0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetussa rakennuksen tilassa, mitä ohjataan läsnäoloon tai olosuhdemittaukseen perustuvalla rakennusautomaatiojärjestelmällä, voidaan käyttää 20 prosenttia pienempää ulkoilmavirran arvoa tai ilmanvaihtosuunnitelmaan perustuen määrittää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteellinen vaikutus 1 momentissa esitettyyn ulkoilmavirran arvoon. Ilmanvaihtosuunnitelmaan perustuvassa tarkastelussa voidaan tilan ilmanvaihtoa laskennassa pienentää kuitenkin enintään arvoon $0,35 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$ rakennuksen käyttöaikana. Koko rakennuksen ulkoilmavirran arvoa voidaan laskennallisesti pienentää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutusta vastaavalla osuudella ottaen huomioon tarpeenmukaisen ilmanvaihdon kattaman rakennuksen osan suhde koko rakennuksen pinta-alaan.

3.2 Muita ohjeita ja standardeja

Tässä luvussa on esitetty muita ohjeita tarpeenmukaista ilmanvaihtoa käsittelevistä oppaista ja standardeista.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto Energiatodistusoppaassa

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioimisesta energiatodistuksen laadinnassa on annettu opastusta Ympäristöministeriön Energiatodistusoppaassa 2016¹. Oppaassa viitataan kumottuihin rakentamismääräyksiin, mutta sitä voidaan soveltaa nykyiseen asetukseen. Oppaan mukaan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tarkastelussa ilmanvaihdon käyttöaikana käytetään D3 standardikäyttöajan mukaisia käyttöaikoja, mutta käyttöprofiilina tilakohtaisesti muodostettuja läsnäolo- ja käyttöprofiileja. Sisäiset lämpökuormat huomioidaan suunniteltua käyttöä kuvaavina käyttöprofiileina vuorokaudessa siten, että lämpökuorma vuorokaudessa on vähintään standardoitua lämpökuormaa vastaava. Energiatodistusoppaan mukaan myös tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tarkastelussa käytetään asetuksessa esitettyjä käyttöajan ilmanvaihtomääriä sekä jäähdytysrajaa. Ilmanvaihdon käyttöaikana käytetään rakennuksen standardoitua käyttöaika lisätyn kahdella tunnilla määräyksen mukaisesti. Muutoin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säädön asetusarvoina käytetään suunnitelmien mukaisia asetuksia esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden ja ilmavirtasäädön prosentuaalisten ala- ja yläraja-asetusten osalta. Standardikäytöstä poikkeavia sisäisiä kuormia ei huomioida laskelmissa.

Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto

FINVACin ja Ympäristöministeriön teettämässä selvityksessä ”Ehdotus lähes nollaenergiarakentamisen lähtötiedoiksi; Tilakohtaiset lähtötiedot jäähdytystarpeen mitoitukselle sekä yksityiskohtaisille energialaskelmille⁵” on käsitelty ilmanvaihdon jaksottaista käyttöä. Rakennuksen käyttöajan ulkopuolella tulee varmistua tilojen riittävästä ilmanvaihtuvuudesta. Uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta annetun asetuksen mukaan muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$ suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ja ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa.

Rakennuksen käyttöajan ulkopuolella voidaan ilmanvaihto toteuttaa pitämällä ilmanvaihtoa jatkuvasti käynnissä tai ilmanvaihdon jaksottaisella käytöllä. Jaksottaisella käytöllä tässä tarkoitetaan ilmanvaihdon käynnistämistä käyttöajan ulkopuolella jaksottaisesti niin, että käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirran minimi-ilmavirtavaatimus toteutuu keskimääräisesti kunakin vuorokautena. Yksinkertaisimmillaan tämä toteutetaan niin, että ilmanvaihtokoneet käynnistetään riittävän aikaisin ennen rakennuksen käyttöä. Kuvassa 1 on havainnollistettu ilmanvaihdon jaksottaista käyttöä liikerakennuksessa. Liiketilän käyttöaika on esimerkissä ma-la 08-21 ja ilmanvaihdon käyntiaika ma-la 07-22. Käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto voidaan pitää jatkuvasti päällä (vasen taulukko) tai jaksottaisesti (oikea taulukko) niin, että vuorokauden keskimääräinen ilmanvaihto täyttää minimivaatimuksen.

Tunti	Vaatimus käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta						
	(dm ³ /s)/m ²						
	ma	ti	ke	to	pe	la	su
0-1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
1-2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
2-3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
3-4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
4-5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
5-6	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
6-7	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
7-8							0,15
8-9							0,15
9-10							0,15
10-11							0,15
11-12							0,15
12-13							0,15
13-14							0,15
14-15							0,15
15-16							0,15
16-17							0,15
17-18							0,15
18-19							0,15
19-20							0,15
20-21							0,15
21-22							0,15
22-23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
23-24	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Keskimääräinen ulkoilmavirta rakennuksen käyttöajan ulkopuolella						
	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150

Tunti	Vaatimus käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta						
	(dm ³ /s)/m ²						
	ma	ti	ke	to	pe	la	su
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6-7	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	0,00
7-8							0,00
8-9							0,00
9-10							0,00
10-11							1,80
11-12							1,80
12-13							0,00
13-14							0,00
14-15							0,00
15-16							0,00
16-17							0,00
17-18							0,00
18-19							0,00
19-20							0,00
20-21							0,00
21-22							0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Keskimääräinen ulkoilmavirta rakennuksen käyttöajan ulkopuolella						
	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150

Kuva 1: Esimerkki liikerakennuksen ilmanvaihdosta käyttöajan ulkopuolella. Vasemmanpuoleisessa taulukossa tunnittainen minimi-ilmavirta, kun ilmanvaihtoa pidetään käynnissä jatkuvasti. Oikeanpuoleisessa taulukossa tunnittainen ilmavirta ilmanvaihdon jaksottaisessa käytössä. Molemmissa tapauksissa keskimääräinen ilmanvaihtuvuus käyttöajan ulkopuolella täyttää kunakin vuorokautena määräysten vaatimuksen 0,15 (dm³/s)/m².

Iltanvaihdon suunnittelu

Ympäristöministeriön asetuksen (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta pykäliin lisää opastusta löytyy esimerkiksi Talotekniikkainfon Sisäilmasto ja ilmanvaihto -oppaasta². Lisäksi oppaissa ”Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa³” ja ”Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen⁴” on esitetty ilmanvaihdon mitoituksen yleisiä periaatteita sekä ohjearvoja ilmavirroille erilaisissa tiloissa ja käyttötarkoituksissa.

Sisäilmayhdistys ry:n laatima Sisäilmastoluokitus 2008⁶-asiakirja (RT 07-10946) on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Sisäilmastoluokituksessa on esitetty sisäilman lämpöolosuhteiden ja laadun tavoitearvoja sekä lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon suunnitteluarvoja.

SFS-EN 16798-3 Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Part 3: For non-residential buildings. Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems⁷

-standardissa on käsitelty ilmanvaihto- sekä ilmastointi ja säteilyjärjestelmien tehokkuusvaatimuksia muissa kuin asuinrakennuksissa.

SFS-EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics⁸ -standardissa on esitetty sisäympäristön lähtötietoja rakennuksen energiatehokkuuden suunnittelua ja arviointia varten.

ASHRAE 90.1⁹ esittää vähimmäisvaatimukset rakennusten energiatehokkuuden laskentaan. Tarpeenmukainen ilmanvaihto määritellään standardissa LVI-järjestelmäksi, jolla hallitaan tilan lämpötilaa ohjaamalla lämmitetyn tai jäähdytetyn ilmavirran suuruutta. Standardissa määritellään muuttuvailmavirtaisen puhaltimen suorituskyky puhaltimen osakuormalla.

SINTEF RESEARCH 24¹⁰ ohjekirjassa esitetään vaatimuksia ja toimivuuden varmistamiskäytäntöjä, joilla saavutetaan hyvin toimiva ja energian käytöltään optimoitu tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä.

Ilmastointitekniikka¹¹ kirjasarjassa (Osa 1 Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Osa 2 Ilmastointilaitoksen mitoitus) käsitellään ilmastointia kattavasti perusteista viimeisimpiin sovelluksiin.

4 TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO E-LUVUN LASKENNASSA

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetussa rakennuksen tilassa, jota ohjataan läsnäoloon tai olosuhdemittaukseen perustuvalla rakennusautomaatiojärjestelmällä, voidaan käyttää 20 prosenttia pienempää ulkoilmavirran arvoa tai ilmanvaihtosuunnitelmaan perustuen määrittää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteellinen vaikutus E-luvun laskennassa käytettävään ulkoilmavirran arvoon.

Tässä oppaassa tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan tilan tai vyöhykkeen ilmavirtojen määrän ohjaamista minimi- ja suunnitteluarvon välillä ilman laadun, ilman kosteuden, henkilöiden läsnäolon tai jonkin muun vastaavan ilmanvaihtotarpeen indikaattorin perusteella. Esimerkiksi tilan lämpötilan hallinta ilmavirtoja kasvattamalla tai tuloilman lämpötilaa muuttamalla ei sisälly yo. määritelmään.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioiminen rakennuksen energiatehokkuuden vertailuluvun laskennassa etenee seuraavasti:

1. Ilmavirtaa mitoittavan kuormituksen arviointi
2. Ilmavirran minimiarvon määrittäminen
3. Ilmavirran suunnitteluarvon määrittäminen
4. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ilmavirran vuosikeskiarvon määrittäminen
5. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutuksen määrittäminen E-luvun laskennassa käytettävään ulkoilmavirran arvoon
6. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutuksen määrittäminen E-luvun laskennassa käytettävään ilmanvaihtojärjestelmän SFP-lukuun

4.1 Ilmavirtaa mitoittava kuormitus

Tilan ilmavirtaa mitoittavat kuormitukset arvioidaan tilan käyttötarkoituksen, kuormitusta kuvaavien lähtötietojen sekä sisäilman tavoitearvojen perusteella. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ohjataan ilmanvaihtotarvetta parhaiten indikoivan suureen perusteella niin, että sisäilma täyttää sille asetetut vaatimukset ja tavoitearvot.

4.2 Ilmavirran minimiarvo

Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on Ympäristöministeriön asetuksen (1009/2017) mukaisesti mitoitettava vähintään 6 dm³/s henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Ilmavirran minimiarvo tilassa on tässä tilaan mitoitettu ilmavirta laskettuna asetuksessa määrätyn minimiarvon 6 dm³/hlö perusteella tai muu tilan käyttötarkoituksen mukaan mitoitettu kuormitusperusteinen arvo, esimerkiksi hiilidioksidimitoitukseen (hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvo enintään 1450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus) perustuen laskettu tilan ilmavirta neliötä kohden.

4.3 Ilmavirran suunnitteluarvo

Tilan ilmavirran suunnitteluarvona voidaan käyttää oppaissa ”Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen⁴” ja ”Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa³” esitettyjä ohjearvoja, hyviä käytäntöjä kuvaavien standardien kuten Sisäilmastoluokituksen⁶ ohjearvoja tai sisäilman kuormitustekijöiden mukaan mitoittettua arvoa.

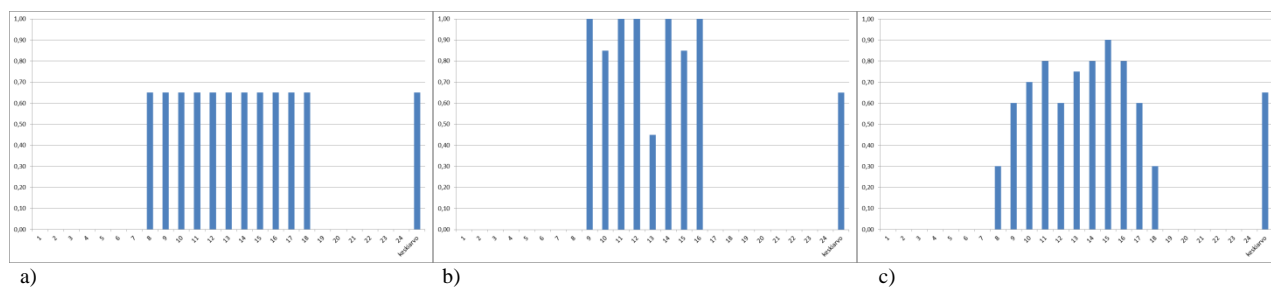
Edellä mainituissa ilmanvaihdon mitoitusoppaissa annetuille ilmavirran ohjearvoille vaihtoehtoinen sisäilman hiilidioksidipitoisuuden, henkilömäärän ja henkilöiden aktiivisuuden mukainen ulkoilmavirran henkilöperusteinen mitoitusmenetelmä esitetään oppaassa ”Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella¹²”. Menetelmässä määritetään aluksi henkilöistä tilaan tuleva hiilidioksidikuormitus, jonka perusteella määritetään tilan ilmavirran suunnitteluarvo tasapainotilanteen laskennan periaattein tavoitteena olevaan sisäilmaston laatuun.

Hiilidioksidiperusteista laskentamenetelmää käytetään tässä oppaassa toimistohuoneen ja luokkahuoneen laskentaesimerkeissä.

4.4 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ilmavirran vuosikeskiarvo

Ilmavirran vuosikeskiarvon laskennassa käytetään samaa kuormitusta ja sisäilman laatutasoa, jolla ilmavirran suunnitteluarvo on määritetty. Kuormituksen käyttöasteena tulee käyttää joko E-luvun laskennan vakioitua käyttöastetta tai todellista kuormitusta kuvaavaa käyttöasteprofiilia. Todellista kuormitusta kuvaavan käyttöasteprofiilin on kuitenkin oltava vuorokaudessa vähintään asetuksen vakioitua käyttöastetta vastaava.

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkinä kolme erilaista toimistotyöntekijän läsnäoloa kuvaavaa käyttöasteprofiilia, joissa tilan käyttöaste on keskimäärin 65 %.



Kuva 2. Esimerkki toimistotyöntekijän läsnäoloa kuvaavista käyttöasteprofiileista

- E-luvun laskennan vakioitu käyttöaste (ma-pe 07-18, ka. 65%)
- Läsnäoloa 08-16 (lounas- ja kaksi kahvitaukoa) kuvaava käyttöasteprofiili, (ma-pe 07-18, ka. 65%)
- Keskimääräistä läsnäoloa kuvaava käyttöasteprofiili, (ma-pe 07-18, ka. 65%)

4.5 Ilmavirta E-luvun laskennassa

E-luvun laskennassa käyttöajan ulkoilmavirtoina käytetään Ympäristöministeriön asetuksen (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta pykälän 10 taulukossa esitettyjä ulkoilmavirtoja eri käyttötarkoituksiluokille. Poistoilma lasketaan ulkoilmavirtaa vastaavilla arvoilla.

Käyttötarkoitukseluokan 2 rakennukselle eli asuinkerrostalolle on E-lukulaskennassa käytettäväksi ulkoilmavirraksi 10 §:n taulukossa annettu arvo $0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ neliömetrille. Mikäli asuinkerrostalossa asukkaalla on mahdollisuus ohjata tulo- ja poistoilmavirtoja siten, että niitä voidaan huoneistokohtaisesti tehostaa vähintään 30 prosenttia ja pienentää vähintään 40 prosenttia

suunnitellun käyttöajan ilmavirroista, rakennuksen ulkoilmavirtana voidaan laskennassa käyttää arvoa $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ neliömetrille.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetussa rakennuksen tilassa, mitä ohjataan läsnäoloon tai olosuhdemittaukseen perustuvalla rakennusautomaatiojärjestelmällä, voidaan

- 1) käyttää 20 prosenttia pykälän 10 taulukossa esitettyjä arvoja pienempää ulkoilmavirran arvoa tai
- 2) ilmanvaihtosuunnitelmaan perustuen määrittää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteellinen vaikutus asetuksen pykälän 10 taulukossa esitettyyn ulkoilmavirran arvoon.

Vaihtoehto 1: Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tiloissa 20 prosenttia pienempi ulkoilmavirta

Taulukossa 1 on esitetty asetuksen 10 §:ssä annetut E-lukulaskennassa käytettävät käyttöajan ulkoilmavirrat eri käyttötarkoituksiluokille sekä ulkoilmavirrat, joita voidaan käyttää tiloissa, joissa ilmanvaihtoa ohjataan tarpeenmukaisesti läsnäoloon tai olosuhdemittaukseen perustuvalla rakennusautomaatiojärjestelmällä ja tarkempaa ilmanvaihtosuunnitelmaa ei ole saatavilla.

Taulukko 1: E-lukulaskennassa käytettävä käyttöajan ulkoilmavirta eri käyttötarkoitukseluokan tiloissa ja ulkoilmavirta, jota voidaan käyttää, jos tilassa on läsnäoloon tai olosuhdemittaukseen perustuva rakennusautomaatiojärjestelmällä ohjattava tarpeenmukainen ilmanvaihto (-20 % pykälässä annetusta taulukkoarvosta).

Käyttötarkoitukseluokka	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3 / (\text{s m}^2)$	Ulkoilmavirta tarpeenmukainen ilmanvaihto $\text{dm}^3 / (\text{s m}^2)$
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	2,0	1,6
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	2,0	1,6
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	2,0	1,6
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkotit	3,0	2,4
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	2,0	1,6
Luokka 8) Sairaala	4,0	3,2

Tällöin E-luvun laskennassa käytettävä käyttöajan ulkoilmavirtaa saadaan laskettua kaavalla 1.

$$q_{E-luku,miv} = \sum \left(\frac{A_{tila}}{A_{rakennus}} * 0,8 * q_{E-luku,std} \right) + \frac{A_{muuttilat}}{A_{rakennus}} * q_{E-luku,std}, \quad (1)$$

jossa

$q_{E-luku,miv}$ on tarpeenmukaisen ilmanvaihdolla varustetun rakennuksen E-luvun laskennassa käytettävä käyttöajan ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

$q_{E-luku,std}$ on E-luvun laskennassa käytettävä vakioitu käyttöajan ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

A_{tila} on tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetun tilatyypin yhteenlaskettu pinta-ala (m^2)

$A_{\text{muuttilat}}$ on ilman tarpeenmukaista ilmanvaihtoa olevien tilojen yhteenlaskettu pinta-ala (m^2)

A_{rakennus} on rakennuksen yhteenlaskettu pinta-ala (m^2)

Vaihtoehto 2: Ilmanvaihtosuunnitelmaan perustuva tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteellinen vaikutus ulkoilmavirran arvoon

Kun tarkempi ilmanvaihtosuunnitelma on saatavilla, voidaan ilmanvaihtosuunnitelmaan perustuen määrittää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteellinen vaikutus asetuksen 10 §:n taulukossa esitettyyn E-lukulaskennassa käytettävään vakioituun käyttöajan ulkoilmavirran arvoon.

Suhteellinen vaikutus lasketaan kertomalla vakioitu käyttöajan ulkoilmavirta kertoimella k (kaava 2), joka kuvaa tarpeenmukaisen ilmavirran vuosikeskiarvon suuruutta tilan ilmavirran minimiarvoon nähden. Ympäristöministeriön asetuksen (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta mukaan oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Tilan ilmavirran minimiarvo tässä on tilaan mitoitettu ilmavirta laskettuna asetuksessa määrätyn minimiarvon $6 \text{ dm}^3/\text{hlö}$ perusteella tai muu tilan käyttötarkoituksen mukaan mitoitettu kuormitusperusteinen arvo, esimerkiksi hiilidioksidimitoitukseen (hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvo enintään $1450 \text{ mg}/\text{m}^3$ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus) perustuen laskettu tilan ilmavirta neliötä kohden. Ilmavirran minimiarvo voi olla sama kuin tilan ilmavirran suunnitteluarvo. Kerrointa ei kuitenkaan voida laskea suoraan tilan ilmavirran suunnitteluarvon perusteella, mikäli tilaan on suunniteltu suuremmat ilmavirrat kuin määräystaso vaatisi.

$$k = \frac{q_{\text{tila, vuosikeskiarvo}}}{q_{\text{tila, minimi}}} \quad (2)$$

jossa

k on kerroin, jolla kerrotaan vakioitu käyttöajan ulkoilmavirran arvo tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetuissa tiloissa

$q_{\text{tila, vuosikeskiarvo}}$ on tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetun tilatyypin edustavan tilan käyttöajan ulkoilmavirran laskennallinen vuosikeskiarvo ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

$q_{\text{tila, minimi}}$ on tilan kuormituksen perusteella mitoitettu ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

Kertoimen k määrittämisessä tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että ilmanvaihdon suunnitteluratkaisu ja ohjaustapa vaikuttavat siihen, miten alhainen koko ilmanvaihtojärjestelmän tarpeenmukaisen ohjauksen minimi-ilmamäärä voidaan saavuttaa. Koko ilmanvaihtojärjestelmän minimi-ilmamäärää rajoittavat muun muassa puhaltimen moottorin jäähdytyksen vaatima riittävä pyörimisnopeus sekä puhaltimen paineentuotto. Ilmanvaihtokoneen minimi-ilmamäärä ei yleensä ole alle 30 % mitoitus-ilmamäärästään. Tämä tulee huomioida energialaskelmissa myös käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon osalta niin, että yksittäisen ilmanvaihtokoneen ilmamäärä ei ole energialaskelmissa epärealistisen alhainen.

Koko rakennuksen ulkoilmavirran arvoa voidaan tällöin laskennallisesti pienentää tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutusta vastaavalla osuudella ottaen huomioon tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käsittämisen rakennuksen osan suhde koko rakennuksen pinta-alaan kaavan 3 mukaisesti.

$$\begin{aligned}
q_{E-luku,miv} &= \sum \left(\frac{A_{tila}}{A_{rakennus}} * k * q_{E-luku,std} \right) + \frac{A_{muuttilat}}{A_{rakennus}} * q_{E-luku,std} \\
&= \sum \left(\frac{A_{tila}}{A_{rakennus}} * \frac{q_{tila,vuosikeskiarvo}}{q_{tila,minimi}} * q_{E-luku,std} \right) + \frac{A_{muuttilat}}{A_{rakennus}} * q_{E-luku,std}, \quad (3)
\end{aligned}$$

jossa

$q_{E-luku,miv}$ on tarpeenmukaisen ilmanvaihdon varustetun rakennuksen E-luvun laskennassa käytettävä käyttöajan ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

$q_{E-luku,std}$ on E-luvun laskennassa käytettävä vakioitu käyttöajan ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

$q_{tila,vuosikeskiarvo}$ on tarpeenmukaisella ilmanvaihdon varustetun tilatyypin edustavan tilan käyttöajan ulkoilmavirran laskennallinen vuosikeskiarvo ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

$q_{tila,minimi}$ on ulkoilmavirran määräysten mukainen minimiarvo $6 \text{ dm}^3/\text{hlö}$ tilaan ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

A_{tila} on tarpeenmukaisella ilmanvaihdon varustetun tilatyypin yhteenlaskettu pinta-ala (m^2)

$A_{muuttilat}$ on ilman tarpeenmukaista ilmanvaihtoa olevien tilojen yhteenlaskettu pinta-ala (m^2)

$A_{rakennus}$ on rakennuksen yhteenlaskettu pinta-ala (m^2)

4.6 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho E-luvun laskennassa

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen sähköteho on riippuvainen ilmavirran suuruudesta. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutuksesta energialaskennassa käytettävä ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho eli SFP-luku korjataan uuteen toimintapisteeseen kaavalla 4:

$$SFP_{miv} = SFP_{mitoitus} * \left(\frac{q_{E-luku,miv}}{q_{E-luku,std}} \right)^{1,7}, \quad (4)$$

jossa

SFP_{miv} on tarpeenmukaisella ilmanvaihdon varustetun rakennuksen E-luvun laskennassa käytettävä SFP-luku. ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$)

$SFP_{mitoitus}$ on mitoitettu SFP-luku ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$)

$q_{E-luku,miv}$ on tarpeenmukaisen ilmanvaihdon varustetun rakennuksen E-luvun laskennassa käytettävä käyttöajan ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

$q_{E-luku,std}$ on E-luvun laskennassa käytettävä vakioitu käyttöajan ulkoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$)

5 ESIMERKKILASKELMIA

Tässä luvussa esitetyt tarpeenmukaisen ilmanvaihdon esimerkkilaskelmat on laadittu kolmelle eri käyttötarkoitukseluokan tyyppitalle: asuinkerrostalon asuinhuoneistolle, toimistorakennuksen toimistohuoneelle sekä opetusrakennuksen luokkahuoneelle. Laskentaesimerkkien avulla esitetään, miten tarpeenmukainen ilmanvaihto voidaan huomioida Ympäristöministeriön uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen (1010/2017) mukaisessa energiatehokkuuden vertailuluvun laskennassa.

5.1 Asuinkerrostalo

Tässä tarkastellaan 2 930 m² asuinkerrostaloa, jossa asuinhuoneistojen suhteellinen osuus rakennuksen pinta-alasta on 72 %. Asuinhuoneistoihin on suunniteltu huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet.

Ilmavirtaa mitoittava kuormitus

Asuinhuoneiston ilmanvaihdon mitoittavina kuormituksina ovat asukkaiden toiminta sekä rakennus- ja sisustusmateriaalit. Ilmanvaihdolla ei hallita tilan lämpötiloja, vaan huonetiloissa on vesikiertoinen lämmityslaite. Kesälämpötilojen hallinta on suunniteltu passiivisin keinoin ja tehostetulla ilmanvaihdolla.

Asunnon kuormituksen indikaattorina käytetään henkilöiden läsnäoloa. Asukas ohjaa ilmavirran määrää asunnon keittiön liesikuvussa sijaitsevalla painikkeella (3 käyttöasentoa: poissaolo, normaali ja tehostus).

Ilmavirran suunnitteluarvo

Kohteen asuintilojen ilmanvaihdon suunnitteluarvo on määritetty oppaan ”Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen” ohjejarvoilla. Kaikkien asuinhuoneistojen keskimääräinen ulkoilmavirran käyttöajan suunnitteluarvo esimerkkikohteessa on 0,65 dm³/s,m².

Kun asunnossa ei ole kella, voidaan ilmavirtaa pienentää enintään 60 % käyttöajan ilmavirrasta eli poissaoloasennossa ulkoilmavirta on keskimäärin vähintään 0,26 dm³/s,m² (0,65 dm³/s,m² * 0,4). Asuinhuoneistojen käyttöajan tehostettu ilmavirta on suunniteltu vähintään 30 % suuremmaksi kuin käyttöajan ilmavirta, eli tehostusasennossa ulkoilmavirta on vähintään 0,85 dm³/s,m² (0,65 dm³/s,m² * 1,3).

Ilmavirran vuosikeskiarvo

Asukkaiden läsnäoloasteena on tässä käytetty käyttöasteprofiilia, joka kuvaa todellista kuormitusta vakioitua käyttöasteprofiilia paremmin. Asukkaiden on oletettu olevan poissa ma-pe 07-17 ja la-su 10-18. Tällöin läsnäolo vuorokaudessa on 60,7 %, mikä on vähintään vakioitua käyttöastetta (60 %) vastaava.

Asuinhuoneiston ulkoilmavirran vuosikeskiarvoksi saatiin 0,5 dm³/s,m² (taulukko 2). Kesäajan tehostettua ilmanvaihtoa ei ole tässä huomioitu. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laskennallinen vaikutus asuinhuoneiston vuotuisen ulkoilmavirtaan on tällöin -23,1 %.

Taulukko 2. Asuinhuoneistojen keskimääräisen ulkoilmavirran arvot viikonpäivien eri tunteina ja niistä laskettu ulkoilmavirran vuosikeskiarvo.

Kellonaika	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su
0 - 1	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
1 - 2	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
2 - 3	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
3 - 4	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
4 - 5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
5 - 6	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
6 - 7	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
7 - 8	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,65	0,65
8 - 9	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,65	0,65
9 - 10	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,65	0,65
10 - 11	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
11 - 12	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
12 - 13	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
13 - 14	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
14 - 15	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
15 - 16	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
16 - 17	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
17 - 18	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,26	0,26
18 - 19	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
19 - 20	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
20 - 21	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
21 - 22	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
22 - 23	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
23 - 24	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

Asuinhuoneistojen käyttöajan ulkoilmavirta	0,65	dm ³ /s,m ²
Asuinhuoneistojen poissaoloasennon ulkoilmavirta	0,26	dm ³ /s,m ²
Asuinhuoneistojen ulkoilmavirran vuosikeskiarvo	0,50	dm ³ /s,m ²

Ilmavirta ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho E-luvun laskennassa

Asetuksen mukaan asuinkerrostalon E-luvun laskennassa voidaan käyttää rakennuksen ulkoilmavirtana 0,4 dm³/s,m², jos asukkailla on mahdollisuus ohjata tulo- ja poistoilmavirtoja siten, että niitä voidaan huoneistokohtaisesti tehostaa vähintään 30 prosenttia ja pienentää vähintään 40 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirroista. Tällöin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteelliseksi vaikutus asuinrakennuksen E₂₀₁₈-luvun laskennassa käytettävään ulkoilmavirtaan on -20 %.

Laskennassa käytettävä SFP-luku on kaavan 4 mukaisesti

$$SFP_{miv} = SFP_{mitoitus} * \left(\frac{q_{E-luku,miv}}{q_{E-luku,std}} \right)^{1,7} = 1,8 * \left(\frac{0,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2}{0,5 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2} \right)^{1,7} = 1,23.$$

Esimerkkikohteessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ulkoilmavirran vaikutus asuinkerrostalon E₂₀₁₈-lukuun 91 kWh_E/m² oli -7,7 % (-7 kWh_E/m²).

5.2 Toimistorakennus

Tässä tarkastellaan 9540 m² toimistorakennusta, jossa toimistohuoneiden suhteellinen osuus rakennuksen pinta-alasta on 60 %. Toimistorakennukseen on suunniteltu keskitetty ilmanvaihtokone.

Ilmavirtaa mitoitettava kuormitus

Tyypitilaksi valitun toimistohuoneen (10 m², yksi työpiste) ilmanvaihdon mitoitettavina kuormituksina ovat tilassa työskentelevät henkilöt sekä rakennus- ja sisustusmateriaalit. Toimistolaitteiden mahdollisia päästöjä, kuten esimerkiksi tulostimien mustepäästöjä, ei ole tässä huomioitu. Ilmanvaihdolla ei myöskään hallita tilan lämpötiloja, vaan tilassa on vesikiertoinen jäähdytys- ja lämmityslaite.

Tilan kuormituksen indikaattorina käytetään henkilöiden sisäilmaan tuottamaa hiilidioksidia (CO₂). Ilmavirran määrää ohjataan sisäilman CO₂-pitoisuuden perusteella siten, että ilmavirta on minimiarvossa kun CO₂-pitoisuus on alle 700 ppm ja suunnitteluarvossa kun CO₂-pitoisuus ylittää maksimiarvon 1200 ppm. Pitoisuusarvojen välissä ilmavirran määrää säädetään lineaarisesti CO₂-pitoisuuden mukaan.

Ilmavirran minimiarvo

Hiilidioksidiperusteisella mitoituksella toimistohuoneen (10 m², 1 henkilö, CO₂-maksimi 1200 ppm kun ulkoilman CO₂-pitoisuus on 400 ppm) tilan ulkoilmavirran tarpeeksi saadaan 0,68 dm³/s,m² eli 6,8 dm³/s.

Ilmavirran suunnitteluarvo

Oppaassa ”Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa” on esitetty toimistohuoneen ohjeellinen neliöpohjainen ulkoilmavirta 1,0 dm³/s,m², kun rakennus- ja sisustusmateriaalit ovat vähäpäästöisiä materiaaleja. Yhden työpisteen toimistohuoneen (10 m²) ulkoilmavirran suunnitteluarvoksi saadaan 10 dm³/s.

Ilmavirran vuosikeskiarvo

Toimistotyöntekijän läsnäoloasteena on tässä käytetty todellista kuormitusta paremmin kuvaavaa keskimääräisen käyttöasteen profiilia, kuva 2c. Tällöin läsnäolo vuorokaudessa on vähintään vakioitua käyttöastetta vastaava (65 %). Hiilidioksidiperusteisella mitoituksella toimistohuoneen (10 m², 1 henkilö, CO₂-maksimi 1200 ppm kun ulkoilman CO₂-pitoisuus on 400 ppm) tilan ulkoilmavirran tarpeeksi saadaan 0,68 dm³/s,m², jolloin 65 % käyttöasteella ulkoilmavirran vuosikeskiarvoksi saadaan 0,44 dm³/s,m². Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laskennallinen vaikutus toimistohuoneen vuotuisen ulkoilmavirtaan on tällöin -56 %.

Ilmavirta ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho E-luvun laskennassa

Toimistohuoneiden osuus koko rakennuksen pinta-alasta on 60 %, joten toimistorakennuksen E-luvun laskennassa voidaan käyttää käyttöajan ulkoilmavirran 2,0 dm³/s,m² sijaan kaavan 3 mukaisesti laskettuna ulkoilmavirtaa 1,58 dm³/s,m², kun tilassa työskentelee 1 henkilö läsnäoloasteella 65 % ja tilan CO₂-maksimiarvoksi asetetaan 1200 ppm, kun ulkoilman CO₂-pitoisuus on 400 ppm:

$$q_{E-luku,miv} = \sum \left(0,6 * \frac{0,44 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2}{0,68 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2} * 2,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2 \right) + 0,4 * 2,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2 = 1,58 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2.$$

Esimerkkikohteessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteelliseksi vaikutukseksi toimistorakennuksen E_{2018} -luvun laskennassa käytettävään käyttöajan ulkoilmavirtaan on -21 %.

Laskennassa käytettävä SFP-luku on kaavan 4 mukaisesti

$$SFP_{miv} = SFP_{mitoitus} * \left(\frac{q_{E-luku,miv}}{q_{e-luku,std}} \right)^{1,7} = 1,8 * \left(\frac{1,58 \frac{dm^3}{s}, m^2}{2,00 \frac{dm^3}{s}, m^2} \right)^{1,7} = 1,21.$$

Esimerkkikohteessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ulkoilmavirran vaikutus toimistorakennuksen E_{2018} -lukuun $93 \text{ kWh}_E/m^2$ oli noin -9,7 % ($-9 \text{ kWh}_E/m^2$).

5.3 Opetusrakennus

Tässä tarkastellaan $10\,000 \text{ m}^2$ opetusrakennusta, jossa luokkahuoneiden suhteellinen osuus rakennuksen pinta-alasta on 60 %. Opetusrakennukseen on suunniteltu keskitetty ilmanvaihtokone.

Ilmavirtaa mitoittava kuormitus

Tyyppitilaksi valitun luokkahuoneen (60 m^2 , 1 opettaja ja 25 ala-asteen oppilasta) ilmanvaihdon mitoittavina kuormituksina ovat tilassa oleskelevat henkilöt sekä rakennus- ja sisustusmateriaalit. Ilmanvaihdolla ei hallita tilan lämpötiloja, vaan tilassa on vesikiertoinen lämmityslaite.

Tilan kuormituksen indikaattorina käytetään henkilöiden sisäilmaan tuottamaa hiilidioksidia (CO_2). Ilmavirran määrää ohjataan sisäilman CO_2 -pitoisuuden perusteella siten, että ilmavirta on minimiarvossa kun CO_2 -pitoisuus on alle 700 ppm ja suunnitteluarvossa kun CO_2 -pitoisuus ylittää maksimiarvon 1200 ppm. Pitoisuusarvojen välissä ilmavirran määrää säädetään lineaarisesti CO_2 -pitoisuuden mukaan.

Ilmavirran minimiarvo

Hiilidioksidiperusteisella mitoituksella luokkahuoneen (60 m^2 , 26 henkilöä, CO_2 -maksimi 1200 ppm kun ulkoilman CO_2 -pitoisuus on 400 ppm) tilan ulkoilmavirran tarpeeksi saadaan $156 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Ilmavirran suunnitteluarvo

Oppaassa ”Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa” on esitetty luokkahuoneen ohjeellinen henkilöperusteinen ulkoilmavirta $6,0 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$ (sama kuin asetuksen minimi), kun rakennus- ja sisustusmateriaalit ovat vähäpäästöisiä materiaaleja. Luokkahuoneen (26 hlö) ulkoilmavirran suunnitteluarvoksi saadaan 26 henkilölle tällöin $156 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($2,6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$).

Ilmavirran vuosikeskiarvo

Opetusrakennuksessa läsnäoloasteena käytetään vakioitua käyttöastetta vastaavaa 60 %. Hiilidioksidiperusteisella mitoituksella luokkahuoneen (60 m², 26 henkilö, CO₂-maksimi 1200 ppm kun ulkoilman CO₂-pitoisuus on 400 ppm) tilan ulkoilmavirran tarpeeksi saadaan 2,6 dm³/s,m². Luokkahuoneen ulkoilmavirran vuosikeskiarvoksi saadaan tällöin 1,56 dm³/s,m². Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon laskennallinen vaikutus luokkahuoneen vuotuisen ulkoilmavirtaan on tällöin -40 %.

Ilmavirta ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho E-luvun laskennassa

Luokkahuoneiden osuus koko rakennuksen pinta-alasta on 60 %, joten opetusrakennuksen E-luvun laskennassa voidaan käyttää käyttöajan ulkoilmavirran 3,0 dm³/s,m² sijaan kaavan 3 mukaisesti laskettuna ulkoilmavirtaa 2,28 dm³/s,m², kun tilassa oleskelee 26 henkilöä läsnäoloasteella 60 % ja tilan CO₂-maksimiarvoksi asetetaan 1200 ppm kun ulkoilman CO₂-pitoisuus on 400 ppm:

$$q_{E-luku,miv} = \sum \left(0,6 * \frac{1,56 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2}{2,60 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2} * 3,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2 \right) + 0,4 * 3,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2 = 2,28 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}, \text{m}^2.$$

Esimerkkikohteessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon suhteelliseksi vaikutukseksi opetusrakennuksen E₂₀₁₈-luvun laskennassa käytettävään käyttöajan ulkoilmavirtaan on -24 %.

Laskennassa käytettävä SFP-luku on kaavan 4 mukaisesti

$$SFP_{miv} = SFP_{mitoitus} * \left(\frac{q_{E-luku,miv}}{q_{e-luku,std}} \right)^{1,7} = 1,8 * \left(\frac{2,28}{3} \right)^{1,7} = 1,13$$

Esimerkkikohteessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ulkoilmavirran vaikutus opetusrakennuksen E₂₀₁₈-lukuun 93 kWh_E/m² oli noin -12,9 % (-12 kWh_E/m²).

5.4 Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon huomioiminen E-luvun laskennassa

Tässä luvussa tarkastellaan käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon huomioimista E-luvun laskennassa käyttäen esimerkkinä yllä esitettyä toimistorakennusta. Asetuksissa esitetty käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa pitämällä ilmanvaihtoa jatkuvasti käynnissä tai jaksottaisella käytöllä tämän ohjeen kohdassa 3.2 esitetyllä tavalla.

Ilmanvaihto jatkuvasti käynnissä

Rakennuksessa, jonka ilmanvaihto on jatkuvasti käytössä käyttöajan ulkopuolella, tulee E-luvun laskennassa käytettävän käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon ulkoilmavirtaa määrittäessä huomioida ilmanvaihdon teknisen ratkaisun rajoitukset sekä ilmanvaihdon toiminta niin, että ilma vaihtuu riittävästi kaikissa huonetiloissa.

Ilmanvaihdon ollessa jatkuvasti käytössä voidaan käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon ulkoilmavirtana käyttää oletusarvoa 30 % asetuksen käyttötarkoitukseluokan käyttöajan ulkoilmavirrasta tai laskennallista arvoa, jos on varmistuttu siitä, että ilmavirtaa voidaan ohjata esitettyyn arvoon.

Esimerkkitoimistorakennuksen kaikissa ilmanvaihtokoneissa on taajuusmuuttajaohjatut puhaltimet, joten E-luvun laskennassa käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon ulkoilmavirtana voidaan käyttää arvoa $0,6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ ($0,3 \cdot 2,0 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$), ks. taulukko 3.

Taulukko 3. Toimistorakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirta E-luvun laskennassa, ilmanvaihto jatkuvasti käytössä.

Tunti	Vaatus käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta						
	$(\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$						
	ma	ti	ke	to	pe	la	su
0-1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
1-2	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
2-3	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
3-4	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
4-5	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
5-6	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
6-7						0,60	0,60
7-8						0,60	0,60
8-9						0,60	0,60
9-10						0,60	0,60
10-11						0,60	0,60
11-12						0,60	0,60
12-13						0,60	0,60
13-14						0,60	0,60
14-15						0,60	0,60
15-16						0,60	0,60
16-17						0,60	0,60
17-18						0,60	0,60
18-19						0,60	0,60
19-20	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
20-21	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
21-22	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
22-23	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
23-24	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Keskimääräinen ulkoilmavirta rakennuksen käyttöajan ulkopuolella						
	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600

Ilmanvaihto jaksottaisessa käytössä

Rakennuksessa, jonka ilmanvaihto on jaksottaisesti käytössä käyttöajan ulkopuolella, tulisi E-luvun laskennassa käyttää käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon ulkoilmavirtana käyttötarkoitukseluokan käyttöajan ulkoilmavirtaa. Käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon käyttöaika voidaan asettaa niin,

että asetuksen vaatimus $0,15 \text{ dm}^3/\text{s},\text{m}^2$ käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta toteutuu kunakin vuorokautena.

Esimerkkitoimistorakennuksen E-luvun laskennassa käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihdon ulkoilmavirta on tällöin $2,0 \text{ dm}^3/\text{s},\text{m}^2$ ja käyttöaika on esimerkiksi ma-pe 05-06 ja la-su 10-12, ks. taulukko 4.

Taulukko 4. Toimistorakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirta E-luvun laskennassa, ilmanvaihto jaksottaisessa käytössä.

Tunti	Vaatimus käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta						
	$(\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$						
	ma	ti	ke	to	pe	la	su
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00
6-7						0,00	0,00
7-8						0,00	0,00
8-9						0,00	0,00
9-10						0,00	0,00
10-11						2,00	2,00
11-12						2,00	2,00
12-13						0,00	0,00
13-14						0,00	0,00
14-15						0,00	0,00
15-16						0,00	0,00
16-17						0,00	0,00
17-18						0,00	0,00
18-19						0,00	0,00
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Keskimääräinen ulkoilmavirta rakennuksen käyttöajan ulkopuolella						
	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,167	0,167

LÄHTEET

- 1) Energiatodistusopas 2016. Ympäristöministeriö. 2016
- 2) Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. www.taloteknikkainfo.fi. 2018
- 3) Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. FINVAC. 2017.
- 4) Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. FINVAC. 2017.
- 5) Ehdotus lähes nollaenergiarakentamisen lähtötiedoiksi; Tilakohtaiset lähtötiedot jäähdytystarpeen mitoitukselle sekä yksityiskohtaisille energialaskelmille. FINVAC. 2014
- 6) RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS. 2008.
- 7) SFS-EN 16798-3:2017 Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Part 3: For non-residential buildings. Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2017.
- 8) SFS-EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2007.
- 9) ASHRAE 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Ashrae. 2016.
- 10) SINTEF RESEARCH 24. Demand-controlled ventilation – requirements and commissioning. Sintef. 2014.
- 11) Sandberg Esa (toim). Ilmastointitekniikka. Osa 1 Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Osa 2 Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.
- 12) Laskentaopas Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella. Optiplan Oy. 2018