

Juulia Mikkola, Leino Kuuluvainen & Netta Bök

Ilmakirja

Painovoimainen ilmanvaihto

moreeni

Helsingissä Kustannusosakeyhtiö Otava



Juulia Mikkola on restaurointiarkkitehti, tietokirjailija ja Arkkitehtitoimisto Livadyn osakas. Leino Kuuluvainen on energia- ja LVI-tekniikan diplomi-insinööri, joka työskentelee omassa yrityksessään LK Energiaratkaisut Oy:ssä. Netta Böök on arkkitehti, tutkija, tietokirjailija ja tiedetoimittaja.

© Juulia Mikkola, Leino Kuuluvainen, Netta Böök ja Kustannusosakeyhtiö Otava 2022
Ulkoasu ja taitto M. Pietikäinen
Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki
ISBN 978-951-1-49550-5

Tämä kirja on saanut tukea Suomen Kulttuurirahastolta ja Otavan kirjasaatioltä. Palautetta ja korjausehdotuksia mahdollisia myöhempiä painoksia varten voi lähettää sähköpostitse osoitteeseen juulia@livady.fi.

Kansi: Helsingin Töölössä sijaitsevassa Adlonin talossa (Heikki Kaartinen 1938) on painovoimainen ilmanvaihto.

OTAVA
KIRJAPAINO
Keuruu 2024



Sisällys

Saatesanat	12
Kiitokset	14
Johdanto	17
Ilmanvaihdon perusteet	19
<i>Päbkinänkuoressa: Ilmanvaihdon tehtävät</i>	<i>19</i>
Millaista on hyvä sisäilma	21
Sisälämpötilan vaikutus	21
Hiilidioksidipitoisuuden vaikutus	23
Hiilidioksidipitoisuuden raja-arvot	24
Ilmankosteuden vaikutus	25
Kuivan sisäilman haitallisuus	26
<i>Lisätietoa: Suhteellinen ja absoluuttinen kosteus</i>	<i>26</i>
Rakennusmateriaalien vaikutus sisäilman kosteuteen	27
<i>Lisätietoa: Konvektio ja diffuusio voivat kastella rakenteita</i>	<i>28</i>
<i>Lisätietoa: Monenlaista lämpöä</i>	<i>30</i>
Ilmamäärien, lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus	31
Vedon tunne, ilmavirran nopeus ja lämpötila	32
Sisäilma ja hyvät mikrobit	33
Sisäilman epäpuhtaudet	34
Rakennusmateriaalien ja irtaimiston aiheuttamat päästöt	35
Ihmisestä ja ihmisen toiminnasta vapautuvat epäpuhtaudet	35
Ulkoilmasta sisälle kulkeutuvat epäpuhtaudet	36
<i>Lisätietoa: Haitalliset pienhiukkaset</i>	<i>37</i>
Kuinka paljon ilmaa tarvitaan	39
<i>Päbkinänkuoressa: Ilmanvaihdon tarpeeseen vaikuttavia</i>	
<i>seikkoja</i>	<i>39</i>
Miksi enemmän ei ole aina parempaa	40
Hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan vaikutus työtehoon	41
Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta	43
Mitä on painovoimainen ilmanvaihto	43
Käyttövoimana luonnonvoimat	45
Hormivaikutus	45
Hormiseinämiä lämpötilan vaikutus	45
Virtaus- ja kertavastus	46
Hormin poikkileikkausmuodon vaikutus	47
<i>Lisätietoa: Ajoittainen takaisinvirtaus</i>	<i>48</i>
Painejakauma tilassa	50
Lämpötilaerojen tasaantuminen	52
Tuuli ilman liikuttajana	53

Auringon säteilylämmön hyödyntäminen	56
Painehäviöt venttiileissä ja ilmansuodattimissa	58
Ilmanvaihdon säädettävyys ja ikkunatuuletus	59
Erilaiset tuuletustavat	60
Painovoimainen ilmanvaihto ja energiatalous	61
Painovoimaisuus sopeutuu vuodenaikoihin ja säästää energiaa	62
<i>Lisätietoa:</i> Painovoimainen ilmanvaihto viilentää öisin	62
<i>Pätkinänkuoressa:</i> Vuodenaikoihin sopeutettu ilmanvaihto	63
Painovoimaisen ilmanvaihdon edut ja heikkoudet	65
Edut ja heikkoudet pätkinänkuoressa	67

Painovoimaisen ilmanvaihdon kehitysvaiheet 69

Erilaisia painovoimaisia järjestelmiä	72
Savuhormeihin ja vuotoilmaan perustuva ilmanvaihto	74
<i>Lisätietoa:</i> Tahaton ilmanvaihto ja ikkunat	77
Huonekohtainen ilmanvaihto	78
Huoneistokohtainen siirtoilmaan perustuva ilmanvaihto	82
Poistohormeihin ja tahattomaan tuloilmaan perustuva ilmanvaihto	84
Painovoimaisen järjestelmän osat eri aikoina	86
<i>Pätkinänkuoressa:</i> Erilaisia painovoimaisen järjestelmän osia	88
Tuloilmajärjestelyt ja -laitteet	89
Tuloilma-aukot	89
Tuloilmakanavat	96
Huonetiloihin sijoitetut tuloilmakanavat	97
Ulkoseinän sisään sijoitetut tuloilmakanavat	98
Lattian alle sijoitetut tuloilmakanavat	99
Kellarista nousevat tuloilmahormit	101
Tuloilma- eli lämpökammiot	102
<i>Lisätietoa:</i> Kaloriferilämmitys ja -ilmanvaihto	104
Tuloilmakaapit	105
Ulkoilma-aukkojen suojukset	106
Tuloilmaventtiilit	108
Kylmäkomerot	113
Ikkunat tuloilmalaitteena	113
Poistoilmajärjestelyt ja -laitteet	114
Poistohormit	114
Vesikatolle nousevat piiput	117
<i>Lisätietoa:</i> Hormeja eri materiaaleista	118
Tuulihatut ja jatkoputket	122
Poistoilma-aukot ja -venttiilit	126
Pystyuuni poistoilmalaitteena	128
<i>Pätkinänkuoressa:</i> Pystyuunin poistoilmakanavan periaate	129
Liesituulettimet	132
Siirtoilmajärjestelyt ja -laitteet	133
Tuuletusikkunat ja -luukut	134
<i>Lisätietoa:</i> Puulämmityksen vaikutus ilmanvaihtoon	136

Muutokset ilmanvaihdon tarpeessa	137
Elintapojen muutos	137
Lisääntyneet rakennusmateriaalipäästöt	139
<i>Päbkinänkuoressa</i> : M1-luokitus	139
Ilmanvaihtomääräykset eri aikoina	140
<i>Lisätietoa</i> : Ilmaklosettien ilmanvaihto	140
Ilmanvaihdon ohjeet RT-korteissa vuosina 1947–1952.	143
Normaaliohjeet vuodelta 1955 ja 1966	145
Raitisilma	146
Poistoilma	146
Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset.	148
Määräysten soveltamisala	151
Vaatimukset tuloilman laadulle ja ilman suodatukselle	152
Sisäilman laatu, veto ja epäpuhtauksille asetetut raja-arvot.	152
Tulo- ja poistoilmalaitteet	153
Siirtoilman hyödyntäminen	155
Ikkunatuuletus.	155
Ilmamäärien mitoitus.	156
Energialoudellisuus ja lämmön talteenotto.	158
Mittaaminen, säätäminen ja kanaviston tiiviyskoe.	159
Painovoimaisen ja koneellisen järjestelmän yhdistäminen.	160
Asumisterveysasetus.	161
Nuohousasetus.	162

Miksi painovoimainen ilmanvaihto kannattaa säilyttää

Miksi painovoimainen ilmanvaihto kannattaa säilyttää	163
Kestävyys, energialoudellisuus ja ekologisuus	164
Rakennushistoriallisen arvon säilyttäminen	167
<i>Lisätietoa</i> : Maankäyttö- ja rakennuslain 118 §	167
<i>Lisätietoa</i> : Ilmanvaihtojärjestelmien edut ja haitat korjausrakentamisessa	170
Sisäilmariskien välttäminen.	173
Jos painovoimaisessa järjestelmässä onkin vikaa.	174
Jos kuitenkin päädytään koneistamaan.	174
Siirtyminen koneelliseen poistoon	175
Siirtyminen koneelliseen tulo-poistoon	176

Ilmanvaihdon toimivuuden selvittäminen 177

<i>Päbkinänkuoressa</i> : Miten painovoimaisen ilmanvaihdon tunnistaa	178
<i>Päbkinänkuoressa</i> : Mittauspiirustukset.	179
Omatoiminen ilmanvaihdon arviointi	180
<i>Päbkinänkuoressa</i> : Muistilista painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän inventoinnista	180
Olemassa olevan järjestelmän tutkiminen.	181

Rakennuspiirustukset	182
Hormikartoitus	185
<i>Pähkinänkuoressa: Hormikartan sisältö</i>	186
Venttiilien ja siirtoilmalaitteiden inventointi	188
Ilmanvaihtoon vaikuttavien sähkö- ja lämmityslaitteiden inventointi	188
Ilmanvaihdon ilmamäärien selvittäminen	188
Ilmavirtojen riittävyyden arvioiminen järjestelmän perusteella	189
Ilmamäärien arvioiminen taulukoiden avulla	190
Ilmamäärien mittaust	192

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän kunnostaminen 195

Hormien kunnostaminen	196
Massaus	197
Putkitus	198
Sukitus	199
Hormin poistaminen käytöstä	200
Venttiilien ja ulkosäleikköjen kunnostaminen ja uusiminen	201
Kippiventtiilit	202
Säleventtiilit	204
Lautasventtiilit	204
Rakotenttiilit	204

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän parantaminen 205

Tuloilmamäärien kasvattaminen	206
Tuloilma-aukkojen ja venttiilien palauttaminen käyttöön	206
Tuloilma-aukkojen ja venttiilien lisääminen	207
Ikkunoiden muuttaminen tuloilmaikkunoiksi	210
Poistoilmamäärien kasvattaminen	211
Käytöstä pois jääneiden hormien käyttöönotto	211
Hormien lisääminen	212
Vedon parantaminen hormoneissa	214
Hormien korottaminen ja piipun muotoilu	215
Vedonparantajien lisääminen	216
Auringon lämpöenergian hyödyntäminen vedon tehostajana	217
Siirtoilmareittien lisääminen	217
Sähköisen tehostuspuhaltimen lisääminen	218
Liesituulettimen lisääminen	219
Tuloilman lämmitys	220
Lämpötilan nostaminen ja lämmityslaitteen lisääminen	220
Ilmansuodatuksen lisääminen	221
Venttiilien uusiminen	223

Painovoimainen ilmanvaihto luvanvaraisissa korjauksissa	225
Mitä suunnittelijoiden tulee tietää ja osata	227
Korjausrakentamista koskevat määräykset	229
Korjausrakentamista ja laajentamista koskevat yleiset säädökset	229
Energiatehokkuus korjausrakentamisessa	230
Ilmanvaihto korjausrakentamisessa ja laajentamisessa	231

Painovoimainen ilmanvaihto uudisrakentamisessa	233
Millaisiin rakennuksiin painovoimainen ilmanvaihto sopii	235
Millainen rakennuspaikan tulee olla	236
Painovoimaista ilmanvaihtoa koskevat lait, asetukset ja ohjeet	237
<i>Lisätietoa:</i> Painovoimaisen ilmanvaihdon opas	238
Maankäyttö- ja rakennuslaki	238
<i>Lisätietoa:</i> Topten- ja Pks-tulkintaohjekortit	240
Ilmanvaihtoasetus	240
Ääniympäristöasetus	240
Energiatehokkuusasetus	241
<i>Lisätietoa:</i> Luvan hakijan ja suunnittelijoiden vastuut sekä rakennusvalvonnan tehtävä	242
Määräystenmukaisuuden osoittaminen	242
<i>Tarkastuslista:</i> Painovoimaisen ilmanvaihdon määräystenmukaisuus	243
Painovoimaisen ilmanvaihdon talon suunnittelu	244
Järjestelmän osat ja ilmanvaihtoalueet	244
Tilojen ja hormien ryhmittely	246
Hyödyllinen ullakko	248
Poistoilmapiippujen sijoittaminen ja muotoilu	250
<i>Lisätietoa:</i> Muuratun savuhormin suojaetäisyydet	251
<i>Pätkinänkuoressa:</i> Painovoimaisen ilmanvaihdon talo	253
Hormimateriaali	254
Hormien tiivys	255
Tulo- ja siirtoilmareitit	257
Säädettävät venttiilit ja ilmavirtojen ohjaus	259
Ikkunatuuletus	260
Monikerroksisuuden vaikutus ilmanvaihtoon	261
Puulämmitys ja ilmanvaihto	263
Painovoimainen ilmanvaihto ja energiatehokkuus	264
Aurinkosuojuuksen ja auringonsäteilyn hyödyntäminen	265
Koneelliset tehostuslaitteet	266
Painovoimaisen ja koneellisen järjestelmän yhdistäminen	266
Lämpöviihtyisyyden varmistaminen	267
Tuloilman suodatus	267
Ääniolosuhteet	269

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus ja huollettavuus	270
Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönoton mittaukset	270
Ilmavirtojen mitoitusperiaatteet	271
<i>Lisätietoa:</i> Ulkoilmavirta ja ilmanvaihtokerroin	272
Tuuletus ja muut ilmanvaihdon tehostuskeinot	273
Ilmavirtojen mitoitus taulukoiden ja käyrästöjen avulla	274
Hormikokonaisuuksien laitteet käyrästöissä.	275
Mitoituskäyrien tuloilmalaitteet.	275
Huomioita käyrästöistä	276
Suodatuksen vaikutus	276
Sivuttaissiirtymät ja hormin mutkat.	276
Tuulen vaikutuksen huomioinen	277
Esimerkki tuulikorjaustaulukon käytöstä	278
Ilmavirtojen laskennallinen mitoitus	286
Hormivaikutuksen erilaiset laskentatavat	286
Laskenta ilmankosteus huomioon ottaen	287
Laskenta pelkän lämpötilaeron perusteella	287
Yksinkertaistettu hormivaikutuksen laskenta.	288
Tuulen vaikutus ilmavirtoihin	288
Poistohormin ilmavirta.	290
Hormin kitkakerroin	292
Reynoldsin luku	293
Hormin hydraulinen halkaisija.	293
Venttiilien säädön määrittäminen ja suunnitteluilmavirta	294
Yksinkertaistettu laskentamenetelmä poistohormin ilma- virralla ja virtausreitillä painehäviölle.	295
Virtausreitit ja painetasot	296
Tuloilmakanavan sivuttai- ja pystysiirtymät.	296
Ovirakojen, venttiilien ja säleikköjen painehäviöt	297
<i>Lisätietoa:</i> Oviraon virtausvastuksen laskeminen.	298
Hybridi-ilmanvaihto	305
Tehostuksella varustetut tavanomaiset järjestelmät.	307
Puhallintehostus.	307
Lämpöpiiput.	307
Hybridi-ilmanvaihdon ehdoilla suunnitellut rakennukset.	308
Maakanavat tuloilman lämmittiminä ja jäähdyttiminä.	309
Kulvertti eli tuloilmatunneli	309
Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö- ja huolto-ohje	313
<i>Muistilista:</i> Käyttö- ja huolto-ohjeen sisältö	314
<i>Päbkinänkuoressa:</i> Venttiilien säätöasentojen yleisohje.	314
Riittävästä korvausilmasta huolehtiminen	315
Venttiilien säätäminen ja vedon välttäminen	316

Venttiilien toiminta	317
Tuulettaminen	319
<i>Pätkinänkuoressa: Ikkunoiden lasivälin ilmanvaihto.</i>	319
Takaisinvirtauksen estäminen	320
Kylmäkomeron käyttö	321
Tulisijan ja liesituulettimen käyttö	321
Märkätilojen siirtoilmasta huolehtiminen	323
Järjestelmän huolto	324
Venttiilien puhdistaminen ja suodattimien vaihto	325
Nuohous ja ulkosäleikköjen puhdistaminen	326

Sisäilman parantaminen muin kuin ilmanvaihdon keinoin 327

Huonekasvit	327
Ilmankostutus	328
Sisälämpötilan säätäminen	329
Vedon välttäminen	329
Ylilämpenemisen välttäminen	330
Yötuuletus ja tuulettimet	331

Lopuksi 333

Sanasto	334
Lähteet	340
Rakennusjärjestykset ja rakennussääntö	340
Lait ja asetukset	340
Rakentamismääräykset ja perustelumuiiot	340
Ohjeet ja oppaat	341
Kirjallisuus	341
Artikkelit	343
Verkkolähteet	344
Tulosteet ja asiakirjakopiot	345
Suulliset lähteet	345
Kuvalliset lähteet	345
Hakemisto	347

Saatesanat

Käsissäsi oleva kirja kertoo painovoimaisesta ilmanvaihdosta. Siitä tiedetään nykyään yllättävän vähän, eikä sitä ole juurikaan tutkittu, vaikka se on meillä etenkin vanhemmissa rakennuksissa tavallinen järjestelmä. Tämä teos pyrkii paikkaamaan tietovajetta ja tarjoamaan siten mahdollisuuden painovoimaisen ilmanvaihdon laajempaan hyödyntämiseen. Kirja on suunnattu sekä ammattilaisille että maallikoille.

Ilmanvaihto voidaan järjestää joko painovoimaisesti tai koneellisesti. Kummallakin järjestelmällä on omat hyvät ja huonot puolensa, ja kumpikin järjestelmä vaatii suunnittelijoilta osaamista. Koneellisen ilmanvaihdon osaaminen on Suomessa korkealla tasolla, mutta painovoimainen ilmanvaihto on muuttunut kaikkien suunnittelijoiden hallitsemasta perusratkaisusta harvojen erityisosaamiseksi. Samalla yleinen tietämys painovoimaisen järjestelmän toiminnasta ja ominaisuuksista on ohentunut, eikä painovoimaista ilmanvaihtoa opeteta enää edes LVI-insinööreille. Painovoimainen ilmanvaihto on kuitenkin säilytetty rakentamisen säädös-ohjauksessa yhtenä mahdollisena vaihtoehtona myös uudisrakentamisessa.

Kirjassa käydään läpi painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaatteet ja ominaisuudet, luodaan katsaus historiaan ja määräyksiin sekä esitellään järjestelmän käyttöä, ylläpitoa ja huoltoa. Lisäksi kerrotaan painovoimaisen ilmanvaihdon kunnostus- ja parantamismahdollisuuksista ja esitellään suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet myös uudisrakennuksille. Määräysten, ohjeiden ynnä muiden sellaisten kohdalla on huomattava, että kirjassa viitataan niihin sellaisina kuin ne olivat vuoden 2021 lopulla.

Kirjan painopiste on tavallisimmassa Suomessa käytetyssä painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmätyypissä, joka perustuu poistohormeihin ja ulkoseinillä oleviin tuloilma-aukkoihin. Suomessa on rakennettu jo yli sata vuotta sitten monimutkaisempiakin painovoimaisia järjestelmiä, jotka ovat kuitenkin jääneet pois käytöstä koneellisen ilmanvaihdon yleistymisen myötä. Kirjassa esitellään myös tällaisten järjestelmien periaatteita siinä toivossa, että ne voisivat toimia innoittajina uudenlaisten painovoimaisten järjestelmien kehittämiseen. Samaten esitellään lyhyesti kulvertin eli maanpinnan alle sijoitetun tuloilmatunnelin toimintaperiaatetta sekä muita hybridiratkaisuja*, joissa on pyritty yhdistämään koneellisen ja painovoimaisen järjestelmän hyvät puolet.

* Painovoimaista ilmanvaihtoa, joka on varustettu jonkinlaisella koneellisella tehostuksella, kutsutaan hybridi-ilmanvaihdoksi. Suuren osan ajasta se toimii täysin luonnonvoimien avulla, mutta silloin kun syntyy yllämpöä, hajuja tai liiallista kosteutta taikka ilma ei liiku riittävästi, käytetään tehostukseen esimerkiksi sähköistä apupuhallinta tai hormien lämmitystä.

Arkkitehtisuunnittelun ja viranomaisvalvonnan tueksi kirjaan on sisällytetty poistohormien mitoitustaulukot, joiden avulla voidaan jo luonnos-suunnitteluvaiheessa varmistua siitä, että kaavailtu ratkaisu tuottaa riittävät ilmavirrat. LVI-suunnittelijoita varten taas esitetään laskentakaavat ja mitoituskäyrästöt ilmamäärien tarkkaa mitoitusta varten. Lisäksi esitellään laitevalmistajilta koottuja tuotetietoja sekä tuloksia painovoimaisen ilmanvaihdon venttiilien ja säleikköjen laboratoriomittauksista, joita tehtiin Eurofins Expert Services Oy:n laboratoriossa Otaniemessä osana tätä kirjahanketta. Kirjan lopussa on hakemiston lisäksi sanasto, jossa on selostettu sekä tavanomaisia että harvinaisempia painovoimaiseen ilmanvaihtoon liittyviä termejä.

Kirjan tekijät ovat arkkitehti Juulia Mikkola, diplomi-insinööri Leino Kuuluvainen ja arkkitehti Netta Böök. Luvun asumisterveysasetuksesta on kirjoittanut sosiaali- ja terveysministeriön neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola ja luvun korjausrakentamista koskevista määräyksistä ympäristöministeriön lainsäädäntöneuvos Lauri Jääskeläinen.



ROOTTORI-IMURI

on ainoa apu sisäänsavuaville uuneille ja huonovetoisille tuuletuskanaville.

5 kertaa tehokkaampi kuin muut tuulihatut taikka savuimurit.

Älkää erehtykö käyttämään muita savuhattuja, koska ROOTTORI-imurilla varmasti pääsette ilman kalliita kokeiluja toivottuun tulokseen.

Roottori-imuri on kalliimpi kuin muut tuulihatut, mutta onhan tunnettu asia, että hyvästä tavarasta maksetaan aina enempi.

Roottori-imureita on tuhansia käytännössä.

Käyttäkää sitä!

Roottorit ylösasetetaan täydellä takuulla.



SAVONIUS & Co. Helsinki
Hakanjemenk. 1 Puh. 72 254

Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tuulen voimalla toimivilla mekaanisilla vedonparantajilla. 1930-luvulla markkinoitiin ahkerasti Savoniuksen tuotteita. *Virkamiesten aikakauskirja 6/1930.*

Kiitokset

Olemme saaneet runsaasti apua lukuisilta tahoilta. Erityisesti haluamme kiittää asian-
tuntija-avusta ja kannustuksesta arkkitehti Erkki Mäkiötä, arkkitehti Ulla Vahteraa,
varatuomari Lauri Jääskeläistä, LVI-insinööri Ben-Roger Lindbergiä sekä LVI-insinööri
Jukka Sainiota. Erkki Mäkiö, jolla on takanaan vuosikymmenten työkokemus Museo-
viraston yliarkkitehtina ja Rakennustietosäätiön tutkijana, on kommentoinut käsi-
kirjoitusta antaumuksella ja inspiroivasti, havainnollisten piirrosten kera. Helsingin
rakennusvalvonnan tiimipäällikkönä toimivalta Ulla Vahteralta olemme saaneet tuiki
tärkeitä kommentteja viranomaisnäkökulmasta. Lauri Jääskeläinen, joka on työsken-
nellyt muun muassa Helsingin rakennusvalvonnan johtajana sekä ympäristöministeriön
erityisasiantuntijana ja lainsäädäntöneuvoksena, on antanut korvaamatonta apua, mitä
tulee rakentamiseen liittyviin lakeihin, asetuksiin ja määräyksiin. Ben-Roger Lindberg
ja Jukka Sainio ovat kerta toisensa jälkeen jakaneet pitkän linjan ammattilaisina hankki-
maansa tietämystä sekä painovoimaisesta ilmanvaihdosta että ilmanvaihdosta yleensä.

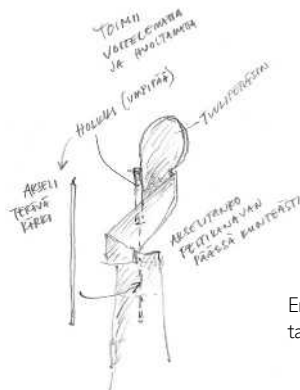
Kirjamme on samaa jatkumoa kuin ympäristöministeriön ohjauksessa laadittu opas
Painovoimainen ilmanvaihto ja Museoviraston julkaisema painovoimaisen ilmanvaihdon
käyttö- ja huolto-ohjekortti. Siksi haluamme kiittää myös LVI-tarkastusinsinööri Harri
Aavaharjua, jota ilman ensimmäistä hanketta tuskin olisi syntynyt, sekä Museoviras-
ton kortin ohjausryhmää, johon kuuluivat yliarkkitehti Pekka Lehtinen, yli-intendentti
Helena Hirviniemi sekä intendentti Seija Linnanmäki.

Lisäksi kiitämme avusta kaikkia tahoja, jotka ovat kommentoineet käsikirjoitusta tai
kuvitusta taikka avustaneet kirjan teossa muin tavoin:

Toimitusjohtaja Jan Andersson, Suomen Hormistokeskus Oy
LVI-insinööri (AMK) Jussi Annala, Insinööritoimisto Putkimailma Oy
VTK, rakennusrestauroija Marjo Back
Arkkitehti Mikko Bonsdorff, Arkkitehtitoimisto Okulus Oy
Arkkitehti, TkL, rakennuttajapäällikkö Selja Flink, Senaatti-kiinteistöt
Toimitusjohtaja Benjamin Fröberg, Rakennus- ja puusepäntuote Nyström Oy
DI (Energia- ja LVI-tekniikka) Mikael Heinonen
Rakennusmestari (AMK) Petri Heikkonen, Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy
Arkkitehti Julia Hertell, Mer Arkkitehdit Oy
Tekniikan kandidaatti Hella Huttunen
DI, rakennusterveysasiantuntija Jukka Huttunen, IdeaStructura Oy
Arkkitehti, restaurointimestari Marko Huttunen, Livady
Arkkitehti, taiteilijaprofessori Juha Ilonen
Arkkitehti, professori Panu Kaila
Talotekniikan insinööri (YAMK), KM, tohtoriopiskelija Jari Ketola, LVI Kalske Oy
Arkkitehti Pasi Kolhonen, Livady
Juha Laakkio, Rakennus- ja puusepäntuote Nyström Oy
Peltiseppä Raimo Lahtinen, Helsingin Peltityö R&V Oy
Arkkitehti, DI (kemia) Laura Laine, Livady
Arkkitehti, rakennusterveysasiantuntija Anu Laurila

Arkkitehti, TkL, toimitusjohtaja Tommi Lindh, Alvar Aalto -säätio
 Arkkitehti, professori Kimmo Lylykangas, Tallinna Tehnikaülikool
 Arkkitehti, TkT Petri Neuvonen, Helsingin kaupungin rakennusvalvonta
 Rakennusmestari, rakennuttajapäällikkö Janne-Pekka Niininen, Senaatti-kiinteistöt
 DI, rakennusterveysasiantuntija, neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola, STM
 Taittaja M. Pietikäinen
 Arkkitehti, yksikön päällikkö Janne Prokkola, Helsingin kaupungin asemakaavoitus
 Kustannuspäällikkö, arkkitehti Anna Rantamala, Kustannusosakeyhtiö Otava
 Nuohoojamestari Isto Rantanen, Nuohous ja Ilmastointipuhdistus Rantanen Oy
 Valokuvaaja Patrik Rastenberger
 Arkkitehti, professori Jenni Reuter, Aalto-yliopisto
 Kakluunimestari Markku Rintala, Rintala Ky
 Arkkitehti Ilkka Roininen
 Restaurointimestari Lauri Saarinen, Livady
 Kustannustoimittaja Kosti Salminen, Otava
 Puuseppä, LuK Seppo Salminen
 Arkkitehti Katja Savolainen
 Arkkitehti Mona Schalin, Kati Salonen ja Mona Schalin Arkkitehdit Oy
 Arkkitehti Rosemarie Schnitzler, Arkkitehtitoimisto R Schnitzler
 Arkkitehti Pauli Siponen, Avarrus arkkitehdit Oy
 Työnjohtaja Sauli Suomalainen, Eskon Oy
 Arkkitehti Niina Svartström, Arkkitehdit Mustonen Oy
 DI (Advanced Energy Solutions) Fredrik Svensk
 Konservattori Sara Théodore, Museovirasto
 DI Olavi Tupamäki, Insinööritoimisto Villa Real Oy
 Maisema-arkkitehti Mathias Wahlberg, Livady

Kirjan innoittajana täytyy vielä mainita lukuisat keskustelut Helsingin, Espoon, Van-
 taan, Kauniaisten ja Oulun kaupunkien rakennusvalvontavirastoissa toimivien IV-
 tarkastajien kanssa; kiitokset myös kaikille heille! Kirjan sisällöstä mahdollisine virhei-
 neen ja puutteineen ovat luonnollisesti vastuussa vain kirjan tekijät.



Kalliossa kesäpäivän seisauksena 2022
 Juulia Mikkola, Leino Kuuluvainen ja Netta Böök

Erkki Mäkiön kommenttipiirustus Johnin imuhatusta eli jonnesta
 tai jonnarista, kuten sitä nykyään kutsutaan.



Painovoimaisella ilmanvaihhdolla varustettuja rakennuksia Helsingin keskustassa.

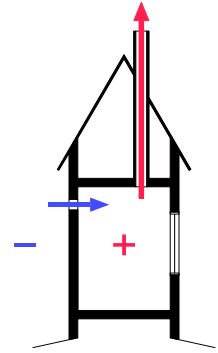
Johdanto

Suuressa osassa vanhempaa rakennuskantaamme ilmanvaihto perustuu yhä edelleen painovoimaiseen järjestelmään. Asuin-kerrostaloissa painovoimainen ilmanvaihto oli vallitsevana aina 1950-luvulle saakka ja pientaloissa pitempäänkin. 1980-luvulle tultaessa Suomessa oli noin 240 000 kerrostaloasuntoa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Sen jälkeen painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettuja kerrostaloja on rakennettu uudeen vasta 2010-luvun lopulta alkaen. Valtaosassa Suomen noin miljoonasta pientalosta ilma vaihtuu vieläkin painovoimaisesti, mutta rivitaloissa on niiden suhteellisen nuoren iän vuoksi pääsääntöisesti koneellinen ilmanvaihto.

Painovoimainen ilmanvaihto on siis oloissamme erittäin koeteltu järjestelmä. Siinä hyödynnetään luonnon lainalaisuuksia ja ilma saadaan virtaamaan halutulla tavalla ilman konevoimaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennus voidaankin nähdä laitteena, jonka avulla luonnonvoimat vaihtavat huonetilojen ilmaa, ihmisen pienellä myötävaikutuksella. Koska painovoimainen ilmanvaihto on riippuvainen sääoloista, sen toiminnassa on vääjäämättä vaihtelua ja säätötarvetta. Käyttäjät ovat kuitenkin usein tyytyväisiä painovoimaiseen järjestelmään, koska se on ymmärrettävä, sitä on helppo käyttää ja säätää eikä se aiheuta jatkuvaa huminaa. Suuri osa ihmisistä sopeutuu painovoimaiseen järjestelmään yhtä helposti kuin vuodenaikojen vaihteluun ulkoilmassa.

Mekaanisesti toimivien venttiilien ja yksinkertaisen toimintaperiaatteen ansiosta painovoimainen ilmanvaihto on vikasietoinen, toimintavarma ja pitkäikäinen järjestelmä. Asianmukaisesti ylläpidettynä se voi toimia tarkoituksenmukaisesti satakin vuotta ilman suurta korjaustarvetta. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan pitää myös energiatehokkaana, sillä Suomen oloissa sisä- ja ulkolämpötilojen ero saa ilman virtaamaan hormoneissa suurimman osan vuodesta toivotulla tavalla, ilman muuta energianlähdettä. Kylmän ilmastonsa vuoksi Suomi onkin painovoimaisen ilmanvaihdon luvattu maa, jossa pystytään luonnonvoimien avulla luomaan hyvät sisäilmaolosuhteet monenlaisiin rakennuksiin.

Teollisuuden tarpeisiin kehitetyt konetoimiset ilmanvaihtojärjestelmät alkoivat yleistyä meillä 1800-luvun loppupuolella



— vileämpää ulkoilmaa

+ lämpimämpää sisäilmaa

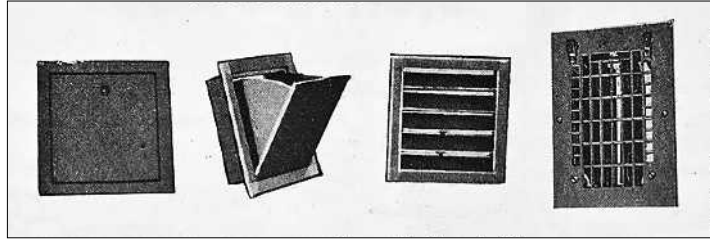
→ tuloilma eli raitisilma eli korvausilma

↑ poistoilma

PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON TOIMINTAPERIAATE

Kylmä ilma on raskaampaa kuin lämmin ja pyrkii siksi painumaan alaspäin, kun taas lämmin ilma pyrkii nousemaan ylöspäin. Kun lämmitetyn tilan ulkoseinälle tehdään tuloilma-aukko ja tilasta johdetaan vesikaton yläpuolelle poistohormi, tuloilma-aukosta alkaa virrata sisään vileämpää ulkoilmaa. Samalla huoneessa lämmennyt ilma poistuu hormia pitkin.

Tavallisimmista painovoimaisen ilmanvaihdon päätelaitteista on jo yli sadan vuoden käyttökokemus. Kuvassa on Korson pumppu- ja hella oy:n valurautatuotteita vuodelta 1935. Kansalliskirjasto.



etenkin liikerakennuksissa. Vähitellen lämmitys ja ilmanvaihto eriytettiin talon rungosta, johon ne olivat aiemmin olleet integroituna, ja uusien itsenäisten järjestelmien tuottamisesta muodostui oma teollisuudenhaaransa. Syntyi kokonaan talosta irrallinen talotekniikka, jonka yhtä perusosaa, koneellista ilmanvaihtoa, on meillä ajoittain pidetty käytännössä ainoana hyväksyttävänä ilmanvaihtoratkaisuna.

Koneellisella ilmanvaihdolla onkin paikkansa varsinkin sellaisissa rakennuksissa, joissa ikkunatuuletusta ei ole mahdollista järjestää, sillä koneiden avulla ilmaa voidaan vaihtaa enemmän ja tasaisemmin kuin painovoimaisesti. Paradoksaalisesti koneellinen ilmanvaihto on usein myös osasyynä sisäilmaongelmiin, sillä järjestelmät ovat monimutkaisuutensa vuoksi vikaherkkiä ja niiden huolto ja ylläpito vaativat erityisosaamista. Jos ilmanvaihtoa ei ole säädetty oikein, koneiden synnyttämä liian voimakas alipaine voi imeä haitallisia aineita sisäilmaan rakenteista, jotka ovat harvoin täysin ilmatiiviä. Koneistaminen kasvattaa tyypillisesti myös rakennusten kokonaisenergiankulutusta ja huoltokustannuksia. Tämän takia painovoimaisia järjestelmiä on ruvettu uudelleen pitämään varteenotettavana vaihtoehtona myös kerrostalorakentamisessa.

Painovoimaisen ilmanvaihdon hyödyntämistä on helpotettu vastikään sekä energia- että ilmanvaihtomääräyksissä, minä lisäksi on sallittu poistohormien pinta-alan vähentäminen rakennusoikeudellisesta kerrosalasta. Se on huomattu myös rakennustuoteteollisuudessa: nykyään on jälleen kaupan paitsi monenlaisia painovoimaisen ilmanvaihdon venttiileitä myös painovoimaiseen ilmanvaihtoon sopivia hormiharkkoja. Kaiken tämän seurauksena kiinnostus painovoimaista ilmanvaihtoa kohtaan on lisääntynyt etenkin niiden parissa, jotka tavoittelevat ympäristöystävällistä, terveellistä ja pitkäikäistä rakentamista yksinkertaisin keinoin, ilman monimutkaista tekniikkaa.

Ilmanvaihdon perusteet

Ilmanvaihdon tehtävä on pitää rakennuksen sisäilma raik- kaana ja terveellisenä. Sisään tuodaan ulkoilmaa ja ulos johdetaan käytettyä ilmaa, jonka mukana poistuu kaasu- ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia sekä kosteutta. Samalla rakennuk- sesta poistuu myös lämpöä, minkä vuoksi tarpeettoman tehokas ilmanvaihto kuluttaa kylminä vuodenaikoina turhaan lämmitys- energiaa. Toisaalta lämpiminä vuodenaikoina voidaan ilman- vaihtoa tehostamalla jäähdyttää sisätiloja, kunhan ulkoilma on sisäilmaa viileämpää.

Ilmanvaihdon tarve riippuu suuresti tilojen käytöstä ja kuor- mituksesta. Esimerkiksi liikuntatiloissa tarvitaan käytön aikana moninkertaisesti ilmaa verrattuna toimistotiloihin. Asunnoissa taas ilmanvaihdon tarpeeseen vaikuttaa asukkaiden määrä: sa- man huoneiston ilmanvaihto voi olla pienelle perheelle ylenpalt- tinen ja suurelle hädin tuskin riittävä. Jos sisätiloissa käytetään runsaasti lämmintä vettä tai kemikaaleja, kuten pesuaineita tai kosmetiikkaa, ilmaa täytyy vaihtaa enemmän. Tarpeettoman korkea sisälämpötilakin kasvattaa ilmanvaihdon tarvetta.

Uudessa rakennuksessa on todennäköisesti suurempi ilman- vaihdon tarve kuin vanhassa, jossa enin osa rakennusmateriaali- päästöistä on jo haihtunut. Päästöjä syntyy muun muassa pintakäsittelyaineista, liimoista, tiivistysmassoista ja erilaisista muovimateriaaleista sekä uusista kalusteista ja tekstiileistä. Tavanomainen nykyaikainen rakennus tarvitseekin ilmanvaihtoa myös materiaalipäästöjen vähentämiseksi, mikä lisää merkittä- västi energiankulutusta. Haitallisia aineita ei kuitenkaan pysty- tä poistamaan sisäilmasta kokonaan, koska tuloilma sekoittuu jo käytettyyn sisäilmaan, jota sitten poistetaan. Ilmanvaihdon avulla aineiden pitoisuudet saadaan kuitenkin laimenemaan. Välttämällä lisäaineita sisältäviä synteettisiä rakennusmateriaa- leja voidaan vähentää haitallisia päästöjä ja samalla myös ilman- vaihdon tarvetta.

Uudessa kivirakennuksessa joudutaan alkuun poistamaan myös rakennusaikaista kosteutta, jota tulee betonista, muu- raus- ja rappauslaasteista sekä tasoitteista niiden kuivuessa. Puurakenteisessa talossa ei ole vastaavaa kosteuskuormaa.

ILMANVAIHDON TEHTÄVÄT

- tuoda sisätiloihin raitista ilmaa
- poistaa ihmisperäisiä ja ih- misen toiminnasta johtuvia hajuja ja haitallisia aineita
- poistaa liikaa kosteutta
- poistaa liikaa lämpöä
- poistaa rakennusmateriaa- leista ja irtaimistosta erit- tyviä haitallisia aineita

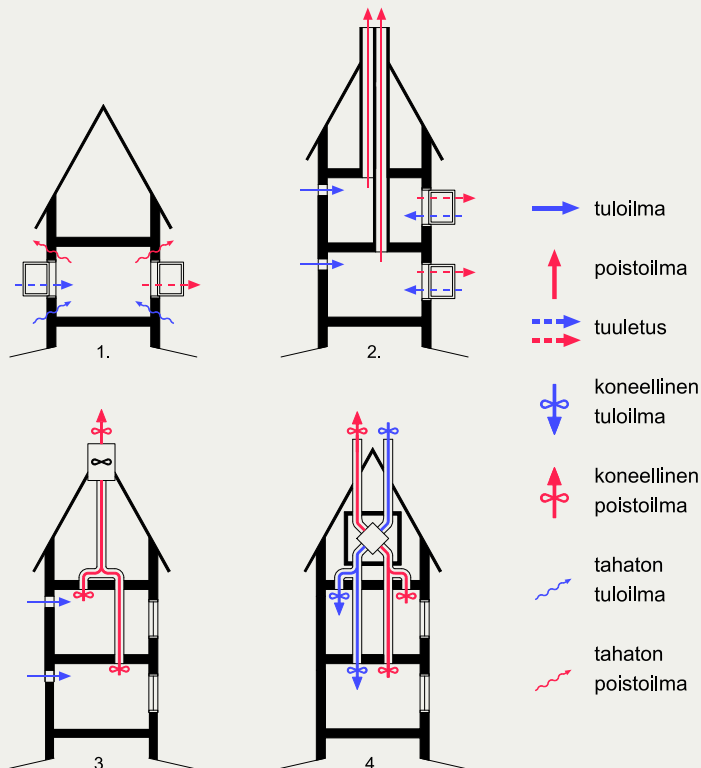
ERILAISIA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIÄ

1. ei ilmanvaihtojärjestelmää (tahaton ilmanvaihto)
2. painovoimainen ilmanvaihto
3. koneellinen poistoilmanvaihto
4. koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmön talteenotolla

On myös rakennuksia, joihin ei ole tehty minkäänlaisia hormeja tai ilma-aukkoja, vaan on luotettu siihen, että ilma vaihtuu tahattomasti rakennusrungon läpi erilaisista raoista. Tällöin kyseessä ei ole painovoimainen vaan *tahaton ilmanvaihto*. Jos taas ilmanpoistoa varten on tehty hormit, joista ilma poistuu luonnonvoimien avulla, kyseessä on *painovoimainen ilmanvaihto*.

Silloin kun ilmanvaihto toimii pääosin painovoimaisesti mutta sitä tehostetaan ajoittain sähköisin puhaltimin, voidaan puhua *sähköisesti tehostetusta painovoimaisesta ilmanvaihdosta* tai *hybridi-ilmanvaihdosta*. Jos puhaltimet ovat jatkuvasti päällä, kyseessä on *koneellinen ilmanvaihto*.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmaa imetään pois koneiden avulla ja korvausilmaa virtaa sisään alipaineen vaikutuksesta. *Koneellisessa tulo-poistojärjestelmässä* on puhaltimet sekä tulo- että poistoilmaa varten. Koneellisissa järjestelmissä on mahdollista ottaa poistoilmasta talteen lämpöä.



Millaista on hyvä sisäilma

Sisäilman tulee olla aistinvaraisesti havainnoiden raikasta. Se ei saa sisältää terveydelle vahingollisessa määrin sellaisiakaan haitallisia aineita, joita ei pysty havaitsemaan ilman mittauksia tai muita tutkimuksia. Ilman on oltava sopivan lämpöistä, eikä sen liike saa synnyttää epämiellyttävää vetoa. Myös ilman suhteellisella kosteudella on suuri merkitys terveydelle ja hyvinvoinnille.

Sisäilmamääräyksistä ja -luokituksista voi syntyä sellainen kuva, että ihminen viihtyy parhaiten täysin tasaisissa olosuhteissa. Ihmislaji on kuitenkin kehittynyt oloissa, joissa sekä valoisuus että lämpötila vaihtelevat vuorokauden ja vuoden mittaan. Tämän seurauksena ihmiskeho on sopeutunut vuorokauden valon- ja lämmönvaihteluun siten, että illalla vähenevä valo ja viilevä ilma helpottavat nukahtamista. Suuri osa ihmisistä myös viihtyy sellaisissa tiloissa, joissa vuorokauden- ja vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaa tavalla tai toisella sisäolosuhteisiin. Lisäksi olosuhteiden säätämisestä saadaan perustavanlaatuisia psykologista tyydytystä, jota täysin tasaiset olosuhteet eivät voi korvata.

Se, millaiset sisäolosuhteet tuntuvat mukavimmilta, vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Talvella sisällä saa mieluusti olla viileämpää kuin kesällä, jolloin taas kaivataan lämpimämmän sisäilman takia suurempia ilmavirtoja. Kaikkia ihmisiä tyydyttäviä sisäilmaolosuhteita voi olla vaikea järjestää, sillä erilaiset ihmiset viihtyvät hiukan erilaisissa olosuhteissa. Muun muassa ikä, paino, sukupuoli ja tottumukset vaikuttavat siihen, millaiset olosuhteet tuntuvat kenestäkin mukavimmalta. Hoikka nainen viihtyy todennäköisemmin lämpimämmässä kuin roteva mies, ja vanhat ihmiset palelevat helpommin kuin nuoret. Kokemukseen sisäilman laadusta vaikuttavat myös vaatetus ja aktiivisuus.

Sisälämpötilan vaikutus

Se, miten raikkaaksi tai tunkkaiseksi sisäilma koetaan, muuttuu merkittävästi sisälämpötilan mukaan. Tämä korostuu tiloissa, joissa on suurien ihmismäärien takia iso lämpökuorma. Esimerkiksi koululuokassa lämpötila voi nousta oppilaiden vaikutuksesta melkein neljällä asteella yhden oppitunnin aikana. Vaikka ilmaa vaihtuisi koko ajan riittävästi, sisäilma voi ruveta tuntumaan tunkkaiselta korkeamman lämpötilan takia.



Hengittävät materiaalit, kuten pintakäsittelemätön puu ja kalkkirappaus, tasaavat sisäilman kosteutta ja parantavat siten sisäilman laatua.



Kaakeliuunin ja lämmityspatterin tuottama lämpö ei tunnu samanlaiselta. Ero johtuu siitä, että kaakeliuunissa on paljon suurempi lämpöä säteilevä pinta. Siksi uunilämmitetyssä huoneessa tuntuu lämpimämmältä kuin patterilla lämmitetyssä huoneessa, vaikka sisäilman lämpötila olisi sama.

Sisäilman kannalta paras oleskelutilojen lämpötila on Suomessa lämmityskaudella 18–21 °C. Sitä ei tarvitse ylittää paljoakaan, kun viihtyvyys jo heikkenee. Lämpötilan laskeminen 23–24 asteesta 21–22 asteeseen, muuttamatta vaihtuvan ilman määrää, voi pudottaa sisäilmaan tyytymättömien määrän 70 prosentista 10 prosenttiin. Lämpötilan laskun seurauksena ilmankosteus voi samalla nousta 25:stä 30 prosenttiin. Näin olosuhteet muuttuvat terveellisemmiksi, ja samalla säästyy energiaa.

Nukkumisen kannalta makuutilojen paras lämpötila on lämmityskaudella keskimäärin hieman yli 18 °C. Ruumiinlämpö laskee yöksi biologisen vuorokausirytmien ohjaamana, ja makuutilan viileys tukee tätä. Makuuhuoneen lämpötilaa kannattaakin laskea muutamalla asteella yön ajaksi. Unitutkimusten mukaan viileys haittaa nukkumista vasta, kun lämpötila on alle 12,5 °C. Suotuisin lämpötila vaihtelee tietysti nukkujan fysiologian, sukupuolen ja iän mukaan. Viileässä nukuttaessa voi olla tarvetta tavallista lämpimämmille vuodevaatteille ja yöasuille.

Lämmöntunteeseen vaikuttavat sisäilman lämpötilan lisäksi ilman liike ja rakennusmateriaalien pintalämpötilat. Ilman liike tuntuu epämiellyttävänä vetona sitä helpommin, mitä kylmempi ilma on ja mitä nopeammin se liikkuu. Pintalämpötilat taas vaikuttavat siihen, miten pinnat heijastavat tai imevät lämpösäteilyä (ks. Monenlaista lämpöä s. 30). Esimerkiksi massiivitiilitalon kivirakenteiset ulkoseinäpinnat voivat talvipakkasilla säteillä kylmää siten, että lämmöntunne on 21 °C:ssa sama kuin puutalossa, jossa sisälämpötila on 19 °C.

Monissa lämpimämmissä maissa sisälämpötilat ovat talvikaudella selvästi alhaisempia kuin Suomessa. Lämmityskauden tarpeettoman korkeat sisälämpötilat kasvattavat meillä merkittävästi energiankulutusta, samoin kuin rakennuksiin yhä enenevässä määrin lisättävät jäähdytysjärjestelmät. Lämmitysenergiaa säästyisi huomattavasti, jos huonelämpötiloja laskettaisiin talvi-aikaan esimerkiksi 21 tai 22 asteeseen*. Parasta olisi, jos huonelämpötiloja voitaisiin laskea syksyisin ja nostaa keväisin jokseenkin samaan aikaan kaikissa rakennuksissa. Muuten kehon lämpömuisti saa kokemaan toisistaan poikkeavat sisälämpötilat epäviihtyisinä. Keho tottuu pysyvämpiin sisälämpötilan muutoksiin parissa viikossa.

* Energiakriisin aikana vuonna 1973 valtiolta antoi määräyksiä enimmäislämpötiloista. Asunnoissa ja toimistoissa sisälämpötila sai olla sakon uhalla enintään 20 °C.

Hiilidioksidipitoisuuden vaikutus

Hiilidioksidin määrä ei yleensä vaikuta sisäilman koettuun laatuun mitenkään. Lämpötilan merkitys sille, miten raikkaalta sisäilma tuntuu, on paljon suurempi kuin hiilidioksidipitoisuuden vaikutus. Esimerkiksi lämpötilan nostaminen 20 asteesta 23 asteeseen saa ilman tuntumaan tunkkaiselta, vaikka hiilidioksidipitoisuus ei nousisi lainkaan. Vastaavasti hiilidioksidipitoisuuden nousua yli ilmanvaihtoasetuksen* ja asumisterveysasetuksen** raja-arvojen ei huomaa lainkaan, kunhan huolehditaan siitä, ettei lämpötila pääse kohoamaan. Raja-arvot onkin asetettu vain siksi, että hiilidioksidipitoisuutta mittaamalla saadaan helposti selville vaihtuvan ilman määrää. Hiilidioksidin määrä toimii siis indikaattoriarvona, joka kertoo, kuinka paljon ilmaa vaihtuu. Toisin kuin nykyään yleisesti luullaan, hiilidioksidi itsessään ei aiheuta raja-arvojen pitoisuuksissa minkäänlaista terveys- tai viihtyvyyshaittaa.

Työterveyslaitoksen tutkimuksessa vuonna 2012*** vertailtiin matalan (600 ppm****) ja korkean (2 200 ppm) hiilidioksidipitoisuuden vaikutusta toimistotyöntekijöihin neljän tunnin yhtenäisen työskentelyjakson aikana. 2 200 ppm:n pitoisuus on tavallinen täysissä kokoushuoneissa ja luentosaleissa, joissa siihen yhdistyy yleensä kohonnut sisälämpötila. Tutkimuksen tuloksena oli, ettei hiilidioksidipitoisuudella ollut vaikutusta tiloissa koettuihin oireisiin taikka häiritseviin hajuihin. Oli samantekevää, oliko hiilidioksidipitoisuus 600 vain 2 200 ppm:ää, kunhan lämpötila pysyi samana (ks. *Hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan vaikutus työtehoon*, s. 41). Tämän perusteella voidaankin todeta, että jos ilmanvaihtoa automatisoidaan antureiden avulla, se kannattaa tehdä sisälämpötilan eikä hiilidioksidipitoisuuden mukaan, kun tavoitellaan kokonaisvaltaisesti mahdollisimman hyvää lopputulosta eikä vain muodollista ilmanvaihtomääräysten täyttämistä.

* Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.

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

*** Käyttäjälähtöiset toimistotilat, tilaratkaisut, sisäympäristö ja tuottavuus, Valtteri Hongisto et al., Työterveyslaitos 2012.

**** Hiilidioksidin tilavuusosuuden yksikkönä käytetään miljoonasosaa, jonka lyhenne on ppm, engl. parts per million. Massapitoisuuden yksikkönä taas käytetään milligrammaa kuutiometrissä, jonka lyhenne on mg/m³.

HIILIDIOKSIDIPITOISUUDEN RAJA-ARVOT

Sisäilman hiilidioksidipitoisuudelle on annettu raja-arvo sekä ilmanvaihto- että asumisterveysasetuksessa. Ilmanvaihtoasetusta sovelletaan rakennuslupaa haettaessa ja asumisterveysasetusta silloin, kun olemassa olevassa rakennuksessa epäillään terveyshaittaa. Ilmanvaihtoasetuksessa hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnittelu-arvo on enintään 800 ppm:ää (1 450 mg/m³) korkeampi kuin ulkoilman mitattu pitoisuus. Asumisterveysasetuksen toimenpideraja taas on 1 150 ppm:ää (2 100 mg/m³) korkeampi kuin ulkoilman mitattu pitoisuus. Edellinen vastaa ihmisen tuottamaa hiilidioksidin määrää, kun ilmavirta on 6 l/s henkilöä kohti, jälkimmäinen ihmisen tuottamaa hiilidioksidin määrää, kun ilmavirta on 4 l/s henkilöä kohti.

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on keskimäärin yli 400 ppm, ja se kasvaa muutaman ppm:n vuodessa ihmisen toiminnan aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen seurauksena. Pohjoisella pallonpuoliskolla pitoisuus vaihtelee hiukan vuoden-aikojen mukaan. Se on alhaisimmillaan kesäisin (noin 380 ppm) kasvillisuuden aiheuttaman hiilinielun ollessa voimakkaimmillaan ja korkeimmillaan talvisin (noin 440 ppm), jolloin myös talojen lämmitys nostaa hiilidioksidipitoisuutta. Jos ulkona on niin kylmä, etteivät mittarit toimi, asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan ulkoilman hiilidioksidipitoisuudeksi voidaan arvioida 400 ppm. Tällöin toimenpideraja on 1 550 ppm.

Asumisterveysasetuksen raja-arvo ei tarkoita, että sen ylittävät hiilidioksidipitoisuudet olisivat haitallisia. Kyseessä on toimenpideraja, jonka ylittyessä pienen ilmanvaihtomäärän aiheuttaman terveyshaitan mahdollisuus on tutkittava. Hiilidioksidi itsessään aiheuttaa terveyshaittoja vasta sitten, kun pitoisuus ylittää raja-arvon moninkertaisesti. Työterveyslaitoksen mukaan lyhytaikaisen altistuksen 20 000 ppm:n pitoisuudelle ei ole todettu aiheuttavan terveyshaittoja. Kun pitoisuus nousee yli 20 000 ppm:n*, hengitys kiihtyy ja ilmenee päänsärkyä. Henkinen suorituskyky laskee kuitenkin vasta yli 75 000 ppm:n pitoisuudessa.**

Tavallisissa asuinrakennuksissa hiilidioksidin määrä ei koskaan kohoa niin korkeaksi. Jos nelihenkinen perhe nukkuu pienehkössä makuuhuoneessa yönsä ovi, ikkunat ja ilmanvaihtoventtiili suljettuna, ilman että tilassa on minkäänlaista ilmanvaihtoa edes oviraon kautta, hiilidioksidipitoisuus voi nousta 3500 ppm:n tietämille.

Hiilidioksidipitoisuudelle on määritely myös haitalliseksi tiedetty pitoisuus eli HTP-arvo, joka on tarkoitettu työpaikkojen ilman puhtauden arviointiin esimerkiksi teollisuustiloissa. Koska hiilidioksidi on melko vaaratonta, sen HTP-arvo on annettu pitoisuuden kahdeksan tunnin aikapainotettuna keskiarvoina. Se tarkoittaa, että pitoisuus saa ylittyä lyhyempinä aikajaksoina, kunhan pitoisuuksien keskiarvo kahdeksan tunnin ajalta ei ylitä. Hiilidioksidin HTP_{8h}-arvo on 5 000 ppm (9 100 mg/m³). Haitallisemmille aineille, joilla on vaikutusta jo lyhytaikaisessakin altistuksessa, on annettu HTP-arvot 15 minuutin aikajaksolle.***

* Ihmisen uloshengityksen hiilidioksidipitoisuus on noin 40 000 ppm.

** Tiedot löytyvät työterveyslaitoksen niin kutsutuista OVA-ohjeista (*Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet* -turvallisuusohjeet).

*** Tiedot löytyvät sosiaali- ja terveysministeriön julkaisusta *HTP-arvot 2020. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet*.

Ilmankosteuden vaikutus

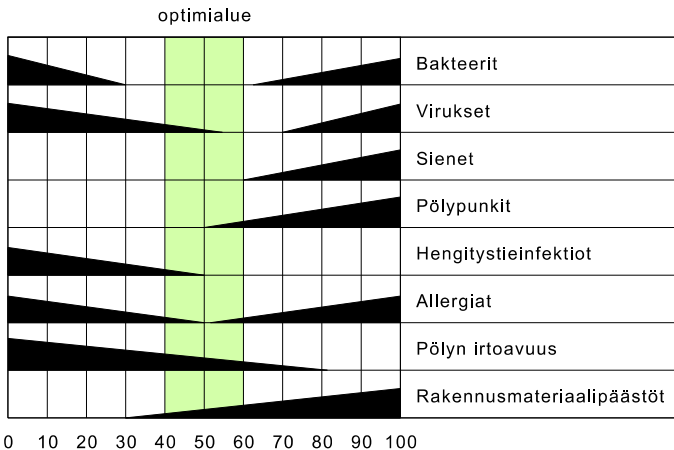
Huoneilman kosteus riippuu *kosteuskuormasta*, tilan ilmanvaihdosta ja rakenteiden kyvystä tasata sisäilman kosteutta. Kosteuskuormaan vaikuttavat sekä ulkoilman kosteus että sisätiloissa syntyvä kosteus. Kosteutta tuottavat ihmiset, eläimet, kasvit, veden käyttö, ruuan valmistus, pyykinkuivaus ja ilmankostuttimet. Uudessa rakennuksessa myös rakenteiden kuivuminen voi kostuttaa sisäilmaa. Pääosa tällaisesta *rakennuskosteudesta* kuivuu ensimmäisen lämmityskauden aikana.

Sisäilman kosteus seuraa ulkoilman kosteutta ja vaihtelee siksi voimakkaasti vuodenaikojen mukaan. Kesällä ilma on kosteaa ja talvella kuivaa. Kosteuden määrää ei voi välittömästi aistinvaraisesti havaita, ellei ilma ole erittäin kuivaa tai kosteaa.

Ilmankosteuden määrä ilmoitetaan joko *absoluuttisena* tai *suhteellisena kosteutena*. Absoluuttinen kosteus kertoo, kuinka paljon ilma kaikkiaan sisältää vettä. Suhteellinen kosteus puolestaan kuvaa sitä, miten kostuttavasti ilma vaikuttaa esimerkiksi talon rakenteisiin tai asukkaisiin. Suhteellinen kosteus muuttuu lämpötilan mukaan: kun lämpötila laskee, suhteellinen kosteus nousee, vaikka ilman sisältämän veden määrä pysyy samana.

Sata vuotta sitten sisäilman sopivana suhteellisena kosteutena pidettiin 40–70 prosenttia, mutta nykyään talviajan suositukset vaihtelevat meillä 20 ja 45 prosentin välillä. Muualla maailmassa suositukset ovat selvästi korkeampia. Japanissa suositellaan talvella vähintään 65 prosentin suhteellista kosteutta influenssan torjumiseksi. Suomessa alhaisiin suosituksiin on syynä kosteusvaurioiden pelko, sillä kylmässä ilmastossa rakenteisiin voi helpommin tiivistyä lämmityskaudella sisäilman kosteutta.

Ihminen hengittää vuorokaudessa ulos vesihöyryä 500–1000 g. Nestemäisenä siitä tulee 0,5–1 litraa vettä.



SOPIVA SISÄILMAN KOSTEUS

Sisäilman suhteellinen kosteus vaikuttaa terveydelle haitallisten tekijöiden esiintymiseen. Haittoja esiintyy runsaasti sekä hyvin kuivassa että hyvin kosteassa ilmassa. Mustien kiilojen korkeus osoittaa terveydelle haitallisten tekijöiden suuruutta sisäilman eri kosteuksissa. Vihreällä on merkitty ihmisen hyvinvoinnille parhaiten sopiva sisäilman suhteellisen kosteuden alue.



Kuivan sisäilman haitallisuus

Pitempiaikainen oleilu liian kuivassa sisäilmassa aiheuttaa terveyshaittoja. Niitä syntyy jo alle 20 prosentin suhteellisessa kosteudessa. Kuiva sisäilma hidastaa hengitysteiden värekarvojen liikkettä ja heikentää siten liman poistumista hengitysteistä, mikä lisää limakalvojen tulehdusriskiä ja herkistää sisäilman epäpuhtauksien vaikutuksille. Kuiva sisäilma aiheuttaa myös äänen käheyttä, ihon, huulien ja silmien kuivumista sekä altistumista vilustumis- ja allergiasairauksille. Muita haittavaikutuksia ovat muun muassa staattisen sähkön muodostuminen, parkettien ja puuverhosten ravistuminen ja puuesineiden halkeilu. Kuiva sisäilma vaikuttaa myös lämmöntunteeseen, koska se haihduttaa iholta kosteutta. Haihtuminen jäädyttää ihoa ja saa ilman tuntumaan viileämmältä.

Liian kuivan sisäilman haittoja on perinteisesti ehkäisty haihduttavilla ilmakehityksillä.

SUhteellinen JA ABSOLUUTTINEN KOSTEUS

Suhteellinen kosteus (engl. *relative humidity* RH) kertoo prosentteina, kuinka paljon ilmassa on kosteutta suhteessa siihen määrään, jonka kyseisen lämpöinen ilma voi sisältää, että kosteus tiivistyy vedeksi. Kun suhteellinen kosteus on 100 %, ilma ei pysty ottamaan vastaan enempää kosteutta ja ilmassa oleva vesihöyry^{*} alkaa tiivistyä pinnoille vedeksi. Absoluuttinen kosteus (engl. *absolute humidity* AH) taas kertoo, kuinka paljon ilmassa on kosteutta absoluuttisesti, grammoina kuutiometrissä (g/m^3). Lämpimään ilmaan mahtuu absoluuttisesti enemmän kosteutta kuin kylmään. Esimerkiksi -5 asteen lämpötilassa ja 50 prosentin suhteellisessa kosteudessa 1 m^3 ilmaa sisältää vain 1 gramman vettä, kun taas $+25$ asteen lämpötilassa ja 50 prosentin suhteellisessa kosteudessa 1 m^3 ilmaa sisältää 10 g vettä.

Talvipakkasilla ulkoilman absoluuttinen kosteus on matala eli ilmassa on vain vähän vettä, vaikka suhteellinen kosteus lähestyy sataa prosenttia. Kun tällaista ilmaa johdetaan sisälle, sen lämpötila nousee ja suhteellinen kosteus vastaavasti putoaa. Talvella ilmanvaihto kuivattaakin sisäilmaa sitä enemmän, mitä suurempia ilmamääriä vaihdetaan. Vaikka ilmanvaihto olisi säädetty maltillisiksi, talvipakkasilla ja kevään katupölyaikoina sisäilman suhteellinen kosteus putoaa helposti alle 10 prosenttiin. Näin tapahtuu etenkin sellaisissa rakennuksissa, joissa sisätilojen pinnat on käsitelty tiiviiksi esimerkiksi muovimaaleilla. Jos taas rakennusmateriaalit ovat *hengittäviä* eli pystyvät sitomaan ja luovuttamaan kosteutta, ilma ei kuivu niin herkästi, koska rakenteet toimivat kosteusvarastona. Kesällä sisäilman suhteellinen kosteus vaihtelee Suomessa tavallisesti 50–70 %:n välillä ja talvella 20–40 %:n välillä.

* Vesihöyry on näkymätöntä ja kuivaa vesikaasua. Esimerkiksi saunassa löylyä heitettäessä näkyvä kosteus ei ole vesihöyryä vaan ilmaan sekoittuneita pienenpieniä nestepisaroita eli aerosolia, samoin kuin sumu ja pilvet.

Rakennusmateriaalien vaikutus sisäilman kosteuteen

Sisäilman tulisi pysyä koko ajan riittävän kosteana, jottei se aiheuta terveyshaittoja. Samalla tulisi kuitenkin välttää liiallista kosteutta, jotta rakenteisiin ei pääse tiivistymään vettä. Tässä tasapainottelussa auttavat *hygroskooppiset* eli hengittävät rakennusmateriaalit, sillä ne kykenevät tasaamaan sisäilman kosteutta: sitomaan sitä silloin, kun ilmankosteus tiloissa nousee, ja luovuttamaan sitä ilman taas kuivussa. Näin toimivat esimerkiksi punatiili, puu, savi ja betoni.

Hengittävyyttä ja vesihöyryn läpäisyä ei pidä sotkea keskenään. Vesihöyryä läpäisevä eli *diffuusioavoin* materiaali päästää kyllä lävitseen kaasumaista vettä mutta ei välttämättä voi kastua ja kuivua. Esimerkiksi muovimaalit voivat olla diffuusioavoimia mutta eivät hygroskooppisia eli hengittäviä. Hygroskooppiset materiaalit taas ovat aina myös diffuusioavoimia. Jotta hengittävä rakennusmateriaali voi tasata sisäilman kosteusoloja, sen tulee olla joko suoraan kosketuksissa sisäilman kanssa tai sen pintakäsittelynkin tulee olla hengittävää. Hengittävää materiaalia ei siis kannata pinnoittaa tiiviisti esimerkiksi muovimaalilla tai muovitetulla tapetilla, vaikka ne olisivat diffuusioavoimia.

Kun hengittävän seinämateriaalin vaikutusta sisäilman kosteuteen tutkittiin simuloimalla Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:llä, todettiin, että muovimaaleilla tai muovitetuilla tapeteilla pinnoitetuissa huoneissa kosteus nousi selvästi korkeammaksi ja pysyi korkeana pitempään. Kahden hengen makuuhuoneessa, jossa oli paljaat hirsiseinät, yöaikainen ilmankosteus pysytteli tutkimuksessa 42–69 prosentissa. Vastaavassa huoneessa, jossa oli tiiviisti pinnoitetut seinät, vaihteluväli oli 51–93 %.* Hengittävät seinäpinnat pystyivät siis sitomaan ihmisten hengityksestä vapautuvaa kosteutta ja estämään sisäilman kosteuden nousun haitallisen korkeaksi. Hengittävät rakenteet voivatkin olla tehokas passiivinen keino parantaa sisäilmaa, ja samalla ne vähentävät kosteusvaurioiden riskiä.

Vanhastaan rakenteet ja pintakäsittelyt ovat olleet melko säännönmukaisesti hengittäviä, mutta 1970-luvulta eteenpäin sisäpintoihin on laitettu tavallisimmin muovimaalia tai muovipinnoitettua tapettia. Jos tällainen pinta halutaan taas hengittäväksi, tiiviit kerrokset täytyy poistaa. Jos se ei ole mahdollista, pakkaskaudella liiallista sisäilman kuivuutta voi pyrkiä torjumaan kostuttamalla sisäilmaa. Tällöin sisäilman kosteutta on



Komean vanhan hirsirakennuksen kunnostuksessa on käytetty hengittäviä rakennusmateriaaleja, jotka auttavat tasaamaan sisäilman kosteutta ja vähentävät siten ilmanvaihdon tarvetta. (lin Akola 1796, Teemu Kurkelan restaurointi 2021.)

* Nämä kosteusprosentit löytyvät artikkelista "Moisture capacity of log houses can improve the indoor climate conditions", Tuomo Ojanen, VTT 2016.