



RAPORTTI

VTT-S-04674-14



Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas

Kirjoittajat:

Mikko Saari, Arto Antson, Petri Kukkonen ja Mikko Nyman

Tilaaaja:

Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Pientaloteollisuusjaosto

Raportin nimi Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Pientaloteollisuusjaosto Kimmo Rautiainen PL 381 (Unioninkatu 14) 00131 Helsinki	Asiakkaan viite
Projektin nimi Pientalojen ilmanvaihto-opas	Projektin numero/lyhytnimi 151320
Raportin laatija(t) Mikko Saari, Arto Antson, Petri Kukkonen ja Mikko Nyman	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 57/
Avainsanat Ilmanvaihto, pientalo, sisäilmasto, tulisija, liesituuletin, keskuspölynimuri, paine-ero, ilmanpitävyys, ilmavirta, säätö, mittaus, lämpötila, kosteus, hiilidioksidipitoisuus, melu, energiatehokkuus, lämmöntalteenotto	Raportin numero VTT-S-04674-14 Päivitetty versio raportista VTT-S-03916-14 (28.8.2014)
Tiivistelmä Oppaassa esitetään perusteita ja ratkaisuja laadukkaan ilmanvaihtojärjestelmän toteuttamiseksi nykyaikaisessa, energiatehokkaassa ja ilmanpitävässä uudispientalossa. Ilmanvaihdolla on keskeinen rooli hyvän sisäilmaston saavuttamisessa ja energiatehokkaassa rakentamisessa. Pientalovalmistajat ja muut alan yritykset voivat hyödyntää opasta energiatehokkaiden pientalojen ilmanvaihdon suunnittelun ja toteutuksen ohjeistuksessa. Pientalojen vaipan parantuneen ilmanpitävyyden vuoksi ilmanvaihdon ja paine-erojen hallinnan sekä erillispoistojen korvausilman saannin suunnittelu ja toteutus on tullut entistäkin tärkeämmäksi. Oppaassa ohjeistetaan keittiön liesikupuratkaisun toteuttaminen toimivalla tavalla ja keskuspölynimurin korvausilman järjestäminen tiiviissä talossa. Lisäksi esitetään ratkaisuja, joilla tulisijan häiriötön toiminta varmistetaan ilmanvaihdon ja keskuspölynimurin käytöstä riippumatta. Oppaassa sivutaan myös ilmanvaihdon osuutta huonelämpötilan hallinnassa energiatehokkaassa pientalossa, jossa tilojen lämmitystarve on hyvin pientä ja lämpökuormat ylittävät lämmöntarpeen suuren osan vuodesta.	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Espoo 10.10.2014 Hyväksyjä	Laatija
Mikko Nyman, Tuotepäällikkö	Mikko Saari, Erityisasiantuntija
VTT Expert Services Oy:n yhteystiedot PL 1001, 02044 VTT (käyntiosoite Kemistintie 3, Espoo)	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaaja VTT Expert Services Oy, arkisto	
VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Alkusanat

Tämä on loppuraportti Rakennustuoteteollisuus RTT ry:n Pientaloteollisuusjaoston tilaamasta ”Pientalojen ilmanvaihto-opas” toimeksiannosta. Projektia ovat rahoittaneet ympäristöministeriö sekä useat Pientaloteollisuus PTT ry:n ja LVI-talotekniikkateollisuus ry:n jäsenyritykset.

Projektin työvaliokuntaan kuuluivat Kimmo Rautiainen (Pientaloteollisuus PTT ry), Paula Porkola ja Ilkka Salo (LVI-talotekniikkateollisuus ry) sekä ympäristöministeriön edustajana rakennusneuvos Pekka Kalliomäki.

Projektin ohjausryhmään kuuluivat edellisten lisäksi Petri Mikkonen (Airwise Oy), Marko Maja (Allaway Oy), Esa Huuskonen (Climecon Oy), Tom Palmgren (Ensto Enervent Oy), Tero Nokelainen (Honkarakenne Oyj), Timo Nissinen (Inwido Finland Oy), Aleksi Kinnunen (Jetta-Talo Oy), Heikki Hannila (Kastelli-talot Oy), Kari Kakko (KP-Tekno Oy), Jan-Erik Järventie (Lammi-Kivitalot Oy), Pekka Kristo (Muurametalot Oy), Tuomo Järvinen (Nunnauuni Oy), Jarmo Huhtala (Pohjolan Design-Talo Oy), Veli-Pekka Lahti (SK Tuote Oy), Timo Vuorela (Swegon ILTO Oy), Kaisa Airas (Uponor Suomi Oy) ja Olavi Suominen (Vallox Oy).

Työhön osallistuivat VTT Expert Services Oy:stä erityisasiantuntijat Mikko Saari ja Mikko Nyman sekä asiantuntijat Arto Antson ja Petri Kukkonen.

Espoo 10.10.2014

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo.....	3
1. Johdanto ja nykytila	5
2. Sisäilmasto ja ilmanvaihto.....	6
2.1 Yleistä.....	6
2.2 Lähtökohtia hyvään sisäilmastoon ja toimivaan ilmanvaihtoon.....	6
3. Ilmanvaihdon suunnittelu	8
3.1 Ilmavirtojen mitoitus	8
3.2 Ilmanvaihdon suunnittelun päävaiheet	12
3.2.1 Mitoitetaan ilmanvaihdon ilmavirrat	12
3.2.2 Suunnitellaan ilmanvaihtokoneet, sijainnit ja kanavien reititys.....	12
3.2.3 Suunnitellaan keittiön liesikupuratkaisu.....	12
3.2.4 Suunnitellaan muu ilmanvaihtojärjestelmä	12
3.2.5 Varmistetaan tulisijan palamisilman saanti.....	13
3.2.6 Keskuspölynimurin huomioon ottaminen ilmanvaihtosuunnittelussa.....	13
3.2.7 Laaditaan ilmanvaihtojärjestelmän ohjeet ja huoltokirja.....	13
4. Ilmanvaihtojärjestelmät	14
4.1 Yleistä.....	14
4.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	14
4.3 Muut järjestelmät	15
4.3.1 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä.....	15
4.3.2 Painovoimainen poistoilmanvaihtojärjestelmä	16
4.3.3 Ilmanvaihdon sekajärjestelmät	16
4.3.4 Erityistilojen ilmanvaihto.....	16
5. Tekniset tilat ja reititykset.....	18
5.1 Ilmanvaihtokoneen sijoittaminen	18
5.2 Ilmakanaviston reititykset.....	18
6. Ilmanvaihdon ohjaus ja käyttö	20
7. Rakennuksen paine-erojen hallinta	22
8. Tulisijat ja niiden palamisilman saanti	25
9. Ilmanvaihtokoneet.....	28
9.1 Yleistä.....	28
9.2 Puhaltimet.....	28
9.3 Lämmöntalteenotto	29
9.3.1 Toimintaperiaate	29
9.3.2 Jäätymissuojaus	30
9.3.3 LTO:n ohittaminen kesällä	30
9.4 Kondenssiveden poisjohtaminen ja viemärointi.....	30
9.5 Ilmansuodatus	31
10. Tulo- ja poistoilmalaitteet	32
10.1 Ominaisuudet ja mitoitus.....	32

10.2 Ilmavirtojen esisääto, mittaus ja perussääto.....	34
11. Siirtoilmalaitteet ja -ratkaisut	36
12. Ilmakanaviston mitoitus ja eristykset	38
12.1 Ilmakanavien mitoitus	38
12.2 Ilmakanavien lämmön- ja kosteudeneristys.....	39
13. Ulkoilman sisäänotto.....	43
14. Jäteilman ulospuhallus.....	45
15. Äänenvaimennus	48
16. Tuloilman lämpötila ja jälkilämmitys	50
17. Ilmanvaihdon käyttö viilennyksessä	51
18. Huolto, ylläpito, opastus.....	53
Lähdekirjallisuutta.....	55

1. Johdanto ja nykytila

Rakennusten energiatehokkuus on parantunut merkittävästi viime vuosien aikana muun muassa talotekniikan kehittyessä ja ilmanpitävyyden parantuessa. 2000-luvun vaihteessa rakennettujen pientalojen ilmanvuotoluku n_{50} oli tutkimusten mukaan keskimäärin noin 4 1/h. Tämän päivän taloissa päästään ilmanvuotoluvussa helposti alle 1,5 1/h:n.

Ilmanpitävyyden parantuminen on tuonut uusia ongelmia esimerkiksi tulisijan sytyttämisessä, erillispoistojen hallinnassa ja ovien avaamisessa, jos koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamat paine-erot ovat liian suuret.

Ilmanvaihtolaitteet ovat kehittyneet viime vuosina erityisesti lämmöntalteenoton hyötysuhteen sekä ominaissähkötehon suhteen.

Laadukkaan ilmanvaihdon suunnittelun (mitoitus, laitevalinnat, erillispoistot) sekä toteutuksen (kanavien reitit ja eristys, säätö) merkitys on energiatehokkaissa taloissa entistäkin tärkeämpää.

Uusista omakotitaloaloituksista yli 75 % toteutetaan talopaketteina. Viime vuosina ns. muuttovalmiit talotoimitukset ovat yleistyneet, ja niiden osuus on jo yli 30 % toimitusmäärissä mitattuna. Muuttovalmiissa talossa talotekniikka toimitetaan talotehtaan kautta. LVI-suunnittelun ja asennukset tekee talotehtaan oma LVI-yritys tai yhteistyökumppani.

Ilmanvaihdolla on keskeinen rooli hyvän sisäilmaston saavuttamisessa ja energiatehokkaassa rakentamisessa. Alalla toimiville laitevalmistajille ja talotehtaille on tärkeää saada opastavaa tietoa ilmanvaihdosta, jotta energiatehokkaan rakentamisen hyvää mainetta pilaavat huonot toteutukset vältettäisiin.

Projektin tavoitteena oli koota suuntaviivat laadukkaan ilmanvaihtojärjestelmän toteuttamiseksi nykyaikaisessa, energiatehokkaassa ja ilmanpitävässä uudispientalossa. Selvityksessä keskitytään nykyaikaisiin energiatehokkaisiin pientaloihin liittyviin asioihin, mutta opasta voidaan hyödyntää myös korjausrakentamisessa soveltuvin osin.

Oppaassa hyödynnetään aihekohtaisesti oppikirjojen ja aikaisempien oppaiden ohjeistus liittyen pientalojen ilmanvaihtoon. Lisäksi hyödynnetään projektissa tehtyjen kohdekäyntien tulokset ja tekijöiden aikaisempi kokemus.

2. Sisäilmasto ja ilmanvaihto

2.1 Yleistä

Toimiva ja riittävän suuri ilmanvaihto on tärkeä osa sisäilmaston laadun varmistuksessa pientaloissa. Nykyaikaisessa tiiviissä pientalossa koneellisen ilmanvaihdon on oltava päällä jatkuvasti, jotta ilmanvaihto on riittävää ja sisäilman laatu pysyy terveellisenä ja viihtyisänä. **Riittävästä ilmanvaihdosta ei tule koskaan tinkiä energiansäästön nimissä.** NykYTEKNIKALLA pientalon ilmanvaihto ja hyvä sisäilmasto on toteutettavissa erittäin energiatehokkaasti sekä lämmön että sähkön osalta.

Hyvä sisäilman laatu tulee varmistaa ensisijaisesti poistamalla mahdollisimman tehokkaasti ilman laatua heikentävät epäpuhtauksia tuottavat lähteet tai estämällä epäpuhtauksien kulkeutuminen sisälle. Epäpuhtaudet voivat olla peräisin sisustus- ja rakennusmateriaaleista, maaperästä, ulkoilmasta tai ihmisten toiminnasta (esimerkiksi tupakointi).

Kaikkia ihmisistä ja asumisesta syntyviä epäpuhtauksia ei kuitenkaan voida välttää. Pientalon ilmanvaihdon ensisijainen tehtävä on varmistaa hengitettävän huoneilman puhtaus poistamalla ihmisistä, materiaaleista ja asumistoiminnoista syntyvät epäpuhtaudet syntypaikallaan ja laimentamalla sellaisia huoneilmaan leviäviä epäpuhtauksia, joita ei voida heti poistaa. Ihmisen hengityksestä peräisin olevan hiilidioksidia käytetään indikaattorina sisäilman laadulle. Materiaaleista vapautuvat epäpuhtaudet ovat tyypillisesti erilaisia orgaanisia yhdisteitä (lisätietoa RakMk osa D2, Asumisterveysohje). Eniten epäpuhtauksia syntyy ruoanlaiton yhteydessä. Koska ruoanlaitto ei tämän päivän pientaloissa useinkaan tapahdu erillisessä keittiössä huoneessa, kärynpoiston tehokkuuden merkitys korostuu. Myös kodinhoito-, pesu- ja WC-tiloissa syntyy epäpuhtauksia ja liiallista kosteutta, jotka voidaan yksinkertaisesti ja turvallisimmin poistaa ilmanvaihdon avulla. Muissa asuintiloissa ilman puhtaus varmistetaan tuomalla niihin riittävä määrä puhdasta ulkoilmaa.

Huonosti suunniteltu, toteutettu ja ylläpidetty ilmanvaihtojärjestelmä voi myös levittää epäpuhtauksia. Rakennuksen vaipan sisäpuolella olevien kaikkien tilojen ilmanvaihto on suunniteltava ja toteutettava niin, että niiden ilmanlaatu täyttää vaatimukset. Mikäli vaipan sisällä on tiloja, joiden ilmanvaihto suunnitellaan puutteelliseksi tai niihin ei suunnitella lainkaan ilmanvaihtoa, näistä voi muodostua rakennuksen sisäisiä epäpuhtauslähteitä. Tällaisia tiloja voivat olla sellaiset tilat, joissa ihmiset eivät oleskele jatkuvasti kuten esimerkiksi ullakot, varastot ja tekniset tilat. Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan lämpimien ja puolilämpimien tilojen ulkoilmaan, lämmittämättömään tilaan tai maahan rajoittuvia rakennusosia (RakMk osa D3).

Ilman puhtauden lisäksi ilmanvaihdolla pystytään vaikuttamaan myös pientalon huonelämpötilaan. Ilmanvaihdolla voidaan poistaa sisätiloista liiallista lämpöä ja tuoda viileää ulkoilmaa tilalle.

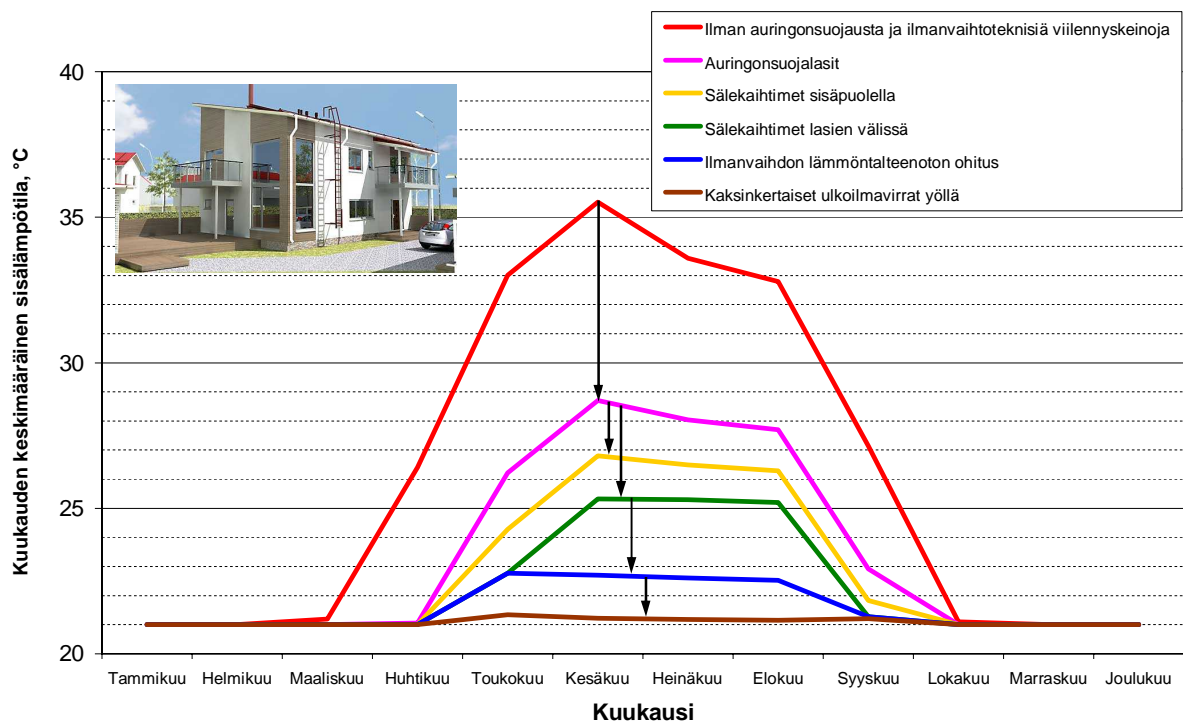
2.2 Lähtökohtia hyvään sisäilmastoon ja toimivaan ilmanvaihtoon

Pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa tulee edetä siten, että rakennus talotekniikkajärjestelmään suunnitellaan kokonaisuutena. Talotekniikkajärjestelmistä ilmanvaihtojärjestelmä vaatii yleensä eniten tilaa. Ilmanvaihtojärjestelmän osat ja reititysmallit tulisi olla tiedossa jo ennen tilojen suunnittelua. Harvoin näin kuitenkaan on, ja reititykset joudutaan sijoittamaan väkisin ennalta määrättyyn pohjaratkaisuun. Kuitenkin jo ja nimenomaan esisuunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa talotekniikan kannalta edulliseen huonejärjestykseen sekä talotekniikan tarvitsemiin tiloihin ja reitityksiin. Tällöin talotekniikan huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä uusiminen voidaan tehdä helposti ja kustannustehokkaasti. **Rakennus- ja talotekniikan yhteensovitus ja niiden yhteispelin hallinta nykyaikaisen energiatehokkaan pientalon toteutuksessa auttaa yksinkertaiseen, toimivaan ja edulliseen lopputulokseen pääsemisessä.**

Lämpökuormien hyödyntäminen ja torjunta edellyttävät rakenteiden, lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihtojärjestelmän yhteistoiminnan nykyistä parempaa hallintaa.

Energiatehokkaan nykyaikaisen pientalon viilennystarve tulee minimoida passiivisin keinoin (kuva 1). Pelkästään ilmanvaihtoteknisin keinoin kesäajan huonelämpötilaa ei voida hallita. Tärkeimmät keinot ovat auringonpaisteelta suojaavat ratkaisut. Suoran auringonpaisteen sisääntuloa ikkunoista rajoitetaan ikkunoiden kohtuullisella koolla ja auringonsuojalaseilla sekä rakenteellisella auringonsuojauksella. Ensisijaisia keinoja ovat reilunkokoiset räystäät ja ikkunaa varjostavat parvekkeet. Usein sisälämpötilatavoitteisiin pääsemiseksi tarvitaan myös ulkopuolisia sälerakenteita, lippoja, markiiseja ja sälekaihtimia. Muita rakenteellisia keinoja ovat tavanomaista parempi rakennuksen ulkovaipan lämmöneristys ja ilmanpitävyys. Näin estetään rakenteisiin varastoituvan lämmön tulo sisälle. Kun viilennystarve on minimoitu, ilmanvaihtojärjestelmää voidaan hyödyntää tehokkaasti kesäajan sisälämpötilan hallinnassa. Ilmanvaihtoa voidaan käyttää viilennyksessä ensisijaisesti puhaltamalla sisään sisäilmaa viileämpää ulkoilmaa, joka yleensä riittää pitämään sisälämpötilan miellyttävänä. Helleilman sisääntulo ilmanvaihdon kautta estetään käyttämällä ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitetta kylmäntalteenottoon, kun sisällä on viileämpää kuin ulkona. Tämä tapahtuu kytkemällä lämmöntalteenotto päälle kesähelteillä.

Lämmityskaudellakin ilmanvaihdolla on merkittävä vaikutus huonelämpötilan hallinnassa, koska yhä suurempi osa lämmöstä tulee lämpökuormista (aurinko, ihmiset, valaistus, televisiot ja muut laitteet), joita lämmitysjärjestelmä ei ohjaa. Nykyaikaisen energiatehokkaan pientalon lämmitystarve on minimoitu rakenteellisin keinoin, kuten tavanomaista paremmalla ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ovien ja ikkunoiden lämmöneristyksellä ja rakennuksen vaipan hyvällä ilmanpitävyydellä sekä tehokkaalla ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla. Lämmitykseen hyödynnetään yhä enemmän sähköä käyttävistä laitteista syntyvää lämpöä. Energiatehokas nykyaikainen pientalo lämpiääkin yhä enenevässä määrin sähkölaitteissa lämmöksi muuttuvalla energialla.



Kuva 1. Passiivisten ja ilmanvaihtoteknisten keinojen vaikutus pientalon keskimääräiseen sisälämpötilaan kuukausittain, kun ikkunat ja ovet ovat kiinni. Sisälämpötila vaihtelee kuukauden aikana lämpökuormien vaihtelun takia tyypillisesti 1 - 4 °C. Laskentamenetelmä RakMk osa D5/2007. Lähde: VTT-R-08496-09.

3. Ilmanvaihdon suunnittelu

3.1 Ilmavirtojen mitoitus

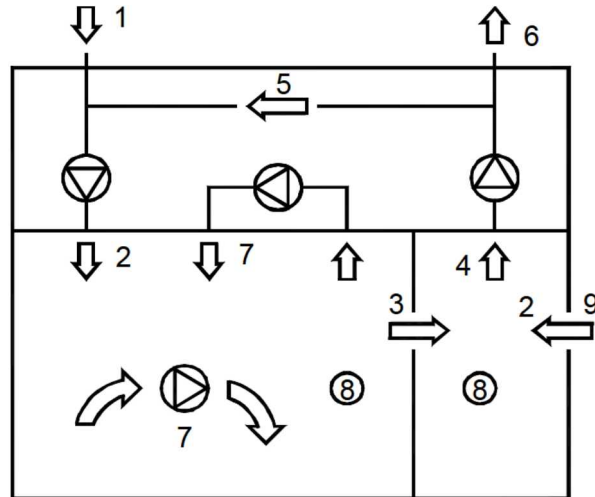
Pientalon ilmanvaihto mitoitetaan yleensä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (RakMk osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet) tilakohtaisten ilmavirtojen ohjearvoja soveltaen.

Näin mitoitettuna pientalon keskimääräiseksi ilmavirraksi tulee noin 0,35 dm³/s lattianeliötä kohti eli normaalikorkuisessa talossa ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h. Talon koon ja tyyppin mukaan keskimääräinen ilmanvaihto hieman vaihtelee. Tämä ilmavirta vastaa tyydyttävää sisäilman laatua tavanomaisessa käytössä. Hyvää sisäilmanlaatua vastaava keskimääräinen ilmavirta on 0,5 dm³/s lattianeliötä kohti (ilmanvaihtokerroin on 0,7 1/h). Tämä vastaa Sisäilmastoluokitus 2008 parhaan sisäilmastoluokan S1 ilmavirtaa.

Yleensä mitoitusilmanvaihdon suuruus määräytyy ulkoilmavirtojen perusteella, mutta pienissä taloissa määrääväksi voivat tulla tilakohtaiset poistoilmavirrat. Ilmanvaihtosuunnittelija merkitsee mitoitusilmanvaihdon ilmavirrat ilmanvaihtopiirustuksiin. Suositeltavaa olisi merkitä myös poissaolo- ja tehostusilmavirrat piirustuksiin säätötyötä helpottamaan. Kuvassa 2 esitetään ilmanvaihdon ilmavirtojen nimitykset. Taulukossa 1 esitetään RakMk osan D2/2012 mukaiset ohjeilmavirrat. Näillä ohjeilmavirroilla ilmanvaihdon tulee täyttää myös vedottomuus- ja äänitasovaatimukset.

Yleensä ulkoilmavirta mitoitetaan arvioidun tilakohtaisen henkilökuormituksen tai huoneen pinta-alan perusteella. Koska pientalon todellinen henkilökuormitus voi poiketa suunnitellusta, tulee ulkoilmavirtojen suurentamiseen varautua järjestelmän mitoituksessa. Tehostusvaraa ilmanvaihdossa tulee olla vähintään +30 %. Mikäli vain mahdollista, pientalon ilmanvaihtojärjestelmä kannattaa mitoittaa 1,5 - 2-kertaisille ilmavirroille mitoitusilmavirtoihin verrattuna. Tästä voi syntyä jonkin verran lisäkustannuksia, mutta suuremmille ilmavirroille mitoitettu järjestelmä mahdollistaa paremman muunneltavuuden ilman lisäkustannuksia esimerkiksi silloin, kuin tilojen käyttötarkoitus muuttuu tai taloon muuttaa suunniteltua suurempi perhe. Väljäksi mitoitettu kanavisto mahdollistaa ilmanvaihdon tarpeenmukaisen käytön ja tehostamisen energiatehokkaasti tarvittaessa. Liian pienille ilmavirroille mitoitettussa järjestelmässä kasvavat tehostustilanteessa vain melu ja sähkönkulutus. Mikäli käytetään poistoilman kosteutta palauttavaa lämmöntalteenottotapaa, niin tämä on tarvittaessa otettava huomioon tilakohtaisten poistoilmavirtojen mitoituksessa.

Poissaolotilanteessa, kun kuormituksia ei ole, voidaan ilmavirtoja pienentää noin puoleen mitoitusilmavirtoihin verrattuna. Tällöin ilmavirtojen hallinta ja tilojen ilmanvaihdon tehokkuus on oleellisesti heikompaa kuin mitoitusilmavirroilla, koska kanavistopaineet ovat pienet. Pienten kanavistopaineiden takia ilmavirrat ovat herkkiä häiriöille (esimerkiksi tuuli) ja tuloilman sisäänpuhallus nopeus pienenee, eikä ilma välttämättä vaihdu riittävän tehokkaasti kaikissa osissa huoneita. Tämän vuoksi poissaoloilmavirtoja ei tule suunnitella käytettäväksi talon käytön aikana esimerkiksi automaattisen ilmanvaihdon ohjauksen yhteydessä, ellei ilmanjaon toimivuutta ole varmistettu muulla tavalla. Ilmavirtojen muuttuessa kanavistopaineet muuttuvat sen toiseen potenssiin (kanavistopaine = ilmavirta²). Ilmavirran puolittuessa kanavistopaine menee neljäsosaksi ja ilmavirran kaksinkertaistuessa kanavistopaine nelinkertaistuu.



Kuva 2. RakMk:n osan D2 mukaiset ilmavirtojen nimitykset. 1. ulkoilma, 2. tuloilma, 3. siirtoilma, 4. poistoilma, 5. palautusilma, 6. jäteilma, 7. kierrätysilma, 8. sisäilma ja 9. ulkoilma (korvausilma, tilassa alipaine).

Taulukko 1. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset asuinhuoneiden ohjeilmavirrat. Lähde: RakMk:n osa D2.

Asuntojen ilmanvaihto mitoitetaan yleensä taulukon poistoilmavirtojen perusteella siten, että asuntojen ilmanvaihtokerroin on vähintään 0,5 l/h ja ulkoilmavirtojen riittävyys varmistetaan vähintään ohjearvojen mukaisiksi. Pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan yleensä ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston käyttöajan ilmanvaihtokerroin on enintään 0,7 l/h ja poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti tarpeen mukaan. Jos poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata vain rakennuskohtaisesti, voidaan pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoittaa ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston ilmanvaihtokerroin on vähintään 1,0 l/h. Suurten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan yleensä ohjearvoja suuremmiksi, jotta tilakohtainen ulkoilmavirta olisi ohjearvon mukainen ja huoneiston ilmanvaihtokerroin olisi vähintään 0,5 l/h.						
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta dm ³ /s	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi m/s	Huom!
Asuintilat:	6					
Asuinhuoneet		0,5		28 / 33 *	0,20	*C1 määräys
Keittiö		#S	8 #A	33 / 38 *	0,20	*C1 määräys
- käyttäjän tehostus		#S	25	33 / 38	0,20	
Vaatehuone, varasto		#S	3	33 / 38		
Kylpyhuone		#S	10 #B	38 / 43	0,20	
- käyttäjän tehostus		#S	15	38 / 43	0,20	
WC		#S	7 #B	33 / 38		
- käyttäjän tehostus		#S	10	33 / 38		
Kodinhuone		#S	8	33 / 38	0,30	
- käyttäjän tehostus		#S	15	33 / 38	0,30	
Huoneistosuuna		2 #C	2/m ² #C	33 / 38		
Yhteistilat:						
Porrashuone		0,5 l/h	0,5 l/h	38 / 43		
Varastot		0,35	0,35 / m ²	43 / 48		
Kylmäkellari (myös asuntokylmiö, jos pinta-ala > 4m ²)		0,2	0,2 / m ²	43 / 48		
Pukuhuone		2	2 / m ²	33 / 38	0,20	
Pesuhuone		3	3 / m ²	43 / 48	0,20	
Saunan löylyhuone		2	2 / m ²	33 / 38		
Talopesula		1	1 / m ²	43 / 48		
Kuivaushuone		2 #D	2 / m ² #D	43 / 48		
Askarteluhuone, kerho		1 #E	1 / m ² #E	33 / 38	0,20	
# A Ohjearvo, kun liesikuvun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa on liesikuvun ohjearvo 20 dm ³ /s.						
# B Ohjearvo, kun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa ilmavirran ohjearvo on käyttöajan tehostuksen mukainen.						
# C Kuitenkin vähintään 6 dm ³ /s. Saunan ilmavirta ei oteta huomioon laskettaessa asunnon ilmanvaihtokerrointa, jos saunan ulkoilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirta.						
# D Voidaan mitoittaa pienemmäksi kun käytetään ilmankuivainta.						
# E Edellyttää tuuletusmahdollisuutta: muuten 1,5 (dm ³ /s)/m ² .						
# S Ulkoilmavirta korvataan yleensä asuinhuoneista johdettavalla siirtoilmavirralla.						

Yleensä rakennuksen käyttöönoton yhteydessä normaali käyttäjän ilmanvaihto asetetaan vastaamaan määräystenmukaista ohjeilmanvaihdon tasoa. Asukkaiden lukumäärän tai esimerkiksi talon koon perusteella tästä voidaan poiketa, jos ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus antaa tähän mahdollisuuden.

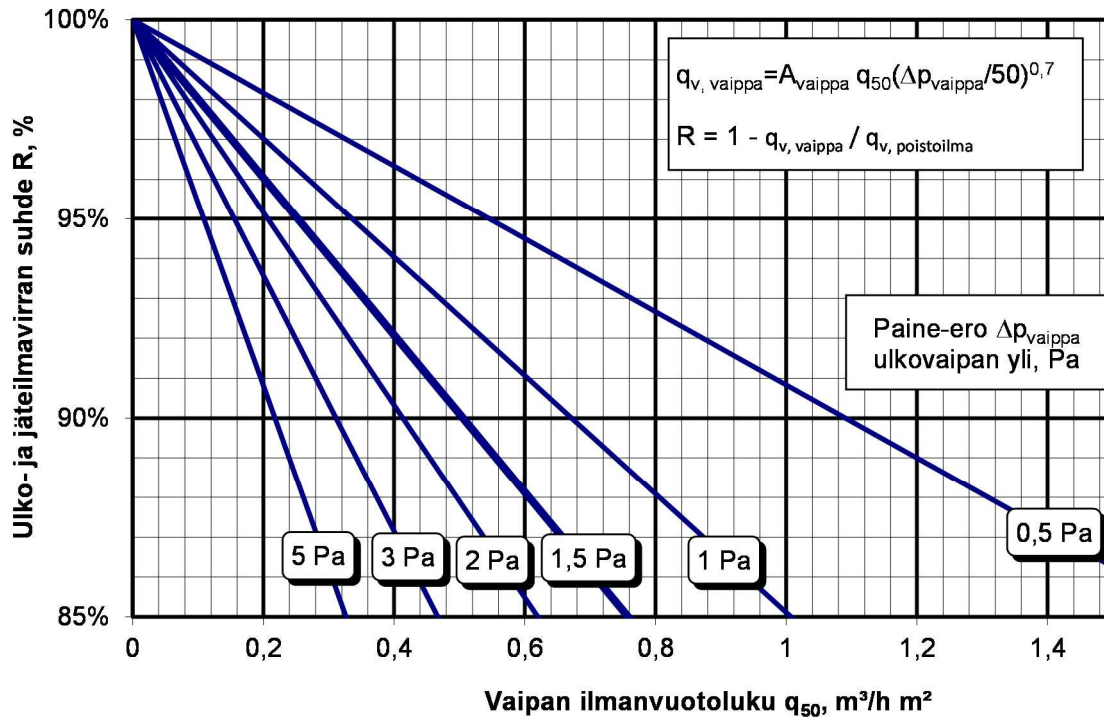
Pientalossa ei yleensä käytetä palautusilmaa, joten huoneisiin puhallettava tuloilma vastaa ilmavirtojen mitoituksessa ulkoilmaa. Tilakohtaisen ulkoilmavirran toteutuminen ei siis edellytä reiän tekemistä ulkoseinään, kun ilmanvaihto toteutetaan koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä.

Pientalossa tuloilmavirrat ja poistoilmavirrat eivät ole runsaan siirtoilman käytön takia toisistaan riippumattomia. Tämän vuoksi tilakohtaisten ilmavirtojen säädössä ja esimerkiksi tehostuksessa tulee ottaa huomioon vaikutukset muiden tilojen ilmanvaihtoon. RakMk osan D2 ohjeelliset tilakohtaiset tehostusilmavirrat voidaan toteuttaa myös lainausperiaatteella. Silloin yhden tilan tehostaessa muiden tilojen ilmavirrat pienenevät vastaavasti. Nykyaikaisissa pientaloissa tehostettavien ilmanvaihdon päätelaitteiden käyttö on vähäistä. Pientaloasukas voi yleensä ohjata ilmanvaihtoa tarpeen ja kuormituksen mukaan. Tällöin ohjataan yleensä koko talon ilmanvaihtoa. Keittiön liesikuvun poistoilmavirtaa voidaan yleensä tehostaa erikseen. Tällöin on tarvittaessa huolehdittava korvausilman saannista.

Kun ilmanvaihtosuunnittelija on mitoittanut tilakohtaiset ilmavirrat, varmistetaan ilmavirtojen riittävä tasapaino, mutta myös sisäilman lievä alipaineisuus (1 - 3 Pa) ulkoilmaan verrattuna. Nykyaikaisessa hyvin ilmanpitävässä pientalossa sopiva ulkoilmavirran suhde jäteilmavirtaan on 90 - 95 %. Tätä suhdetta vastaava ulko- ja jäteilmavirran absoluuttinen ero (dm^3/s) tulisi säilyä myös muilla ilmanvaihdon säätöasunnoilla. Mikäli ilmanpitävyys on heikompi tai pientalossa on kaksi tai kolme kerrosta, tulee ilmavirtasuhteen olla 75 - 85 %, jotta lievää alipaineisuutta voidaan ylläpitää. Ilmavirtojen epäsuhteisuuden lisääminen on syytä yleensä tehdä poistoilmavirtaa lisäämällä, koska mikäli tuloilmavirtoja ryhdytään pienentämään, ilmanvaihto saattaa jäädä puutteelliseksi.

Kuvassa 3 esitetään rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun ja ulko- ja jäteilmavirran suhteen vaikutus rakennuksen alipaineisuuteen. Kovilla pakkasilla lämpötilaerosta johtuva paine-ero (savupiippuvaikutus) voi aiheuttaa pientalon yläpohjaan ajoittaisen ylipaineen, jota ei ilmanvaihtotekniikalla voida poistaa ilmanvaihdon toimivuuden kärsimättä. Korkeissa taloissa ilmiötä esiintyy herkemmin. Yläpohjan höyrynsulun tulee olla tiivis ja reikiä ja muita lävistyksiä tulee välttää.

Pientalon (147 m²) ilmanpitävyyden vaikutus paine-erojen hallintaan



Kuva 3. Pientalon (147 m²) vaipan ilmanpitävyyden (q_{50} -luku) ja ilmanvaihdon tasapainon (ilmavirtasuhde R) vaikutus vaipan yli vaikuttavaan paine-eroon (Δp_{vaippa}) mitoitusilmavirralla $q_{v, \text{poistoilma}}$, joka vastaa ominaisilmavirtaa 0,35 dm³/s m². Ilmavirta $q_{v, \text{vaippa}}$ on korvausilmana vaipan vuotokohtien kautta tuleva ilmavirta. Jos esimerkiksi ilmavirtojen suhde on 90 % ja vaipan ilmanvuotoluku 0,6 m³/h m² niin alipaine on 2 Pa. Suositeltava paine-ero on yleensä 1 - 3 Pa. Alipaineen on oltava niin pieni, ettei se ime epäpuhtauksia rakenteista ja maasta tai haittaa tulisijan vetoa. Alipaineen on kuitenkin oltava riittävän suuri, jotta myös rakennuksen yläosat pysyisivät pääosan ajasta alipaineisina. Kuva on muunnettu ja päivitetty lähteessä esitetystä kuvasta. Lähde: Pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluperusteet, 1989. KTM sarja D:175.

3.2 Ilmanvaihdon suunnittelun päävaiheet

3.2.1 Mitoitetaan ilmanvaihdon ilmavirrat

- Mitoitetaan huonekohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat (RakMk, osa D2)
- Tarkistetaan tulo- ja poistoilmavirtojen riittävä tasapaino ja hienosäädetään ilmavirtoja tarvittaessa
 - Suunnitellaan ilmavirrat niin, että rakennus on lievästi alipaineinen ulkoilmaan verrattuna
- Varmistetaan, että kokonaisilmanvaihtokerroin on vähintään 0,5 1/h
- Suunnitellaan poissaolo- ja tehostusilmavirrat
 - Tehostusilmavirtoja voidaan hyödyntää viilennyksessä
 - Kesäajan sisälämpötilan hallinta edellyttää tehokasta auringonsuojausta

3.2.2 Suunnitellaan ilmanvaihtokoneet, sijainnit ja kanavien reititys

- Suositellaan ilmanvaihtokoneen sijoittamista erilliseen tekniseen tilaan
 - Teknisen tilan puuttuessa ilmanvaihtokone suositellaan asennettavaksi sellaiseen tilaan, jossa ilmanvaihtokone on asennettavissa helposti huollettavaksi eikä koneen melu häiritse ja jossa on viemäröintimahdollisuus
- Suositellaan, että tulo- ja poistoilmakanavat ovat höyrynsulun sisäpuolella
- Tavoitellaan suunnittelussa mahdollisimman lyhyttä ilmakehävaihtoa

3.2.3 Suunnitellaan keittiön liesikupuratkaisu

- Suunnittelija määrittelee vaatimukset keittiön liesikuvun kärynpoiston ja rasvasuodatuksen tehokkuudelle
- Suositellaan, että keittiön käryjen poisto suunnitellaan vaatimukset täyttävällä liesikuvulla, joka liitetään pientalon ilmanvaihtokoneeseen tai omaan lämmöntalteenotolla varustettuun ilmanvaihtokoneeseen
- Mikäli lieden käryjen poisto on toteutettu koneellisella poistolla (liesituuletin tai huippuimuri), eikä korvausilman saantia ei ole suunniteltu tai toteutettu, niin ohjeistetaan asukkaita avaamaan tuuletusikkuna keittiön viereisestä tilasta liesikuvun käytön ajaksi.

3.2.4 Suunnitellaan muu ilmanvaihtojärjestelmä

- Mitoitetaan kanavistot ja päätelaitteet tehostusilmavirrat huomioon ottaen
 - Suositellaan väljästi mitoitettua kanavistoa
 - Ilmavirtojen säätötyö on teknisesti helppo tehdä
 - Suunnitellaan kanavistopaineet riittäviksi ilman jaon ja ilmavirtojen hallitsemiseksi
 - Suunnitellut päätelaitteiden esisäätöarvot ja paine-erot suositellaan merkittäväksi ilmanvaihtopiirustuksiin
- Mitoitetaan äänenvaimennus, eristykset ja ilmanvaihtokone
 - Äänenvaimennus äänitasovaatimusten mukaan
 - Varmistetaan, että äänenvaimennusta on riittävästi ilmanvaihtokoneen kanavissa ja tarvittaessa huoneiden välillä
 - Kanavat ovat niin lyhyet kuin toiminnan kannalta on järkevää

- Kanavien lämpö- ja kosteuseristys on oltava riittävä ja oikein toteutettu
- Ulko- ja jäteilmakanavisto on lämpöeristetty lämpimissä tiloissa höyrytiivisti (lämpö ja kosteus)
- Ilmanvaihtokoneen valinnassa otetaan huomioon LTO:n vuosihyötysuhde ja ominaissähköteho
 - Ilmanvaihtokoneesta tulee saada suunnitellut tehostusilmavirrat
 - Ilmanvaihtokoneen ilmansuodatus on suunnitelmien mukainen
- Mitoitetaan ulkoilman sisäänotto ja jäteilman ulospuhallus
 - Suositellaan ulkoilman sisäänottolaitteeseen pientä otsapintanopeutta ja hyvää sadeveden erotuskykyä
 - Jäteilman ulospuhallus suunnitellaan tarkoituksenmukaiseksi
- Suunnitellaan ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö ja ohjustavat
 - Automaattisessa ohjauksessa huolehditaan riittävästä minimi-ilmanvaihdosta ja muista kuin mitatuista ilmanvaihdon kuormitustekijöistä
- Selvitetään mahdollisuudet hyödyntää maasta otettua lämpöä/viileyttä ulkoilman esilämmitykseen/viilennykseen

3.2.5 Varmistetaan tulisijan palamisilman saanti

- Ensisijaisesti suositellaan, että palamisilma johdetaan ulkoa tulisijaan ilmanvaihdosta riippumattomasti
 - Palamisilma voidaan tuoda tulisijaan ulkoa esimerkiksi maaputken kautta
 - Palamisilman johtamisesta tulisijaan tulee aina noudattaa tulisijan valmistajan ohjeita
- Mikäli palamisilma tuodaan vedottomasti huoneilmaan tulisijan läheisyyteen, suunnittelijan tulee varmistaa yhteistoiminta muun ilmanvaihtojärjestelmän kanssa
- Suunnitellaan ja mitoitetaan sytytysvaiheen ylipaineistus takkakytkimellä

3.2.6 Keskuspölynimurin huomioon ottaminen ilmanvaihtosuunnittelussa

- Keskuspölynimuria käytetään tyypillisesti viikoittain verrattain lyhyen aikaa
- Muiden erillispoistojen tavoin keskuspölynimuri voi käytön aikana aiheuttaa paineeroihin liittyviä ongelmia erittäin tiiviissä talossa
- Mikäli korvausilman saannissa on puutteita, asukkaita ohjeistetaan tarvittaessa
 - avaamaan tuuletusikkuna tai kytkemään takkakytkin päälle imuroinin ajaksi
 - välttämään muiden erillispoistojen (liesituuletin) ja takan yhtäaikaista käyttöä keskuspölynimurin kanssa
- Erittäin tiiviissä talossa keskuspölynimurin korvausilman saannin suunnittelussa voidaan soveltaa muiden erillispoistojen ratkaisuja

3.2.7 Laaditaan ilmanvaihtojärjestelmän ohjeet ja huoltokirja

- Ilmanvaihdosta laaditaan toimintaselostus
- Asukasta varten laaditaan riittävä opastus ilmanvaihdon käyttöön ja ylläpitoon sekä kootaan suunnitteluasiakirjat ja laitteiden dokumentit huoltokirjaan

4. Ilmanvaihtojärjestelmät

4.1 Yleistä

Nykyaikaisissa pientaloissa ilmanvaihtojärjestelmä on yleensä lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä täydennettynä keittiön liesituulettimella tai vastaavalla koneellisella poistolla. Vanhoissa pientaloissa on käytetty painovoimaista tai koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmiä. Näissä järjestelmissä ulkoilman sisäänotto (korvausilma) tapahtuu joko rakennuksen vaipan vuotokohtien kautta tai ulkoilmaventtiilien kautta. Rakennusten hataruuden takia kaikkea ulkoilmaa ei voida saada tulemaan ulkoilmaventtiilien kautta. Myös vanhoja järjestelmiä on usein täydennetty koneellisella poistolla keittiön lieden päältä.

4.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Valtaosassa nykyaikaisista pientaloista ilmanvaihtojärjestelmänä on lämmöntalteenotolla (LTO) varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Suurin osa järjestelmään liittyvästä tekniikasta on tehdasvalmisteisessa ilmanvaihtokoneessa. Tämä yksinkertaistaa järjestelmää ja tekee siitä toimintavarmen. Tuloilma- ja poistoilmavirrat ovat hyvin tasapainossa ja hallittavissa sekä ilmansuodatus ja lämmöntalteenotto helppo toteuttaa. Pientalon vaipan yli vaikuttava paine-ero on pieni, eikä rakenteiden epäpuhtauksia kulkeudu imuvaikutuksen takia sisäilmaan.

Ilmanvaihtokoneeseen kuuluvat tulo- ja poistoilmapuhaltimet, poistoilman lämmöntalteenottolaite, ilmansuodattimet ja mahdolliset lisälämmitykset sekä tarvittava ohjausautomaatiikka. Ilmanvaihtokoneen ulkopuolella ovat äänenvaimentimet, kanavisto eristyksineen ja päätelaitteet.

Ulkoilma otetaan ilmanvaihtokoneelle ulkoseinältä mahdollisimman puhtaalta puolelta taloa, mutta ei mielellään auringon paisteen puolelta. Jäteilma johdetaan yleensä vesikaton läpi ulos. Jäteilma voidaan puhaltaa ulos myös ulkoseinän läpi. Jäteilman seinäpuhallus voi joissain tapauksissa lyhentää merkittävästi sisällä lämpimien tilojen läpi kulkevaa jäteilmakanavaa ja vähentää niistä mahdollisesti syntyviä kosteusriskejä sekä parantaa energiatehokkuutta. Jäteilman seinäpuhalluksen käyttö edellyttää yleensä erillisselvityksen laatimista rakennusvalvonnalle.

Ilmanvaihtokoneessa tulee olla ulkoilman suodatus, joka estää ulkoilman epäpuhtauksien pääsyn ilmanvaihtokoneeseen ja sisäilmaan. Ulkoilman sisäänottosäleikössä ei saa olla tiheää verkkoa. Verkko voi mennä nopeastikin tukkoon epäpuhtauksista, jolloin ulkoilmavirta pienenee merkittävästi. Suodatuksen jälkeen ilmanvaihtokoneessa voi olla esilämmitys, lämmöntalteenotto, jälkilämmitys ja lopuksi vielä tuloilman hienosuodatus.

Esilämmitystä voidaan käyttää pakkasilla estämään poistoilman sisältämän kosteuden jäätymistä lämmöntalteenotossa. Nestekiertoista esilämmityspatteria voidaan kesällä käyttää myös ulkoilman viilennykseen.

Lämmöntalteenotossa poistoilman lämpöä siirretään tuloilmaan. Risti- ja vastavirtaperiaatteella toimivilla levylämmönsiirtimillä (rekuperatiivinen LTO) tapahtuvassa lämmöntalteenotossa poistoilman kosteutta tiivistyy (kondensoituu) ajoittain ja se johdetaan viemäriin. Kosteuden tiivistyminen tehostaa LTO:n tehoa. Poistoilma- ja tuloilma eivät sekoitu keskenään lämmönsiirtimessä. Pyörivällä lämmönsiirtimellä (regeneratiivinen LTO) lämmön lisäksi myös kosteutta siirtyy ajoittain poistoilmasta tuloilmaan, koska poistoilma ja tuloilma kulkevat samoissa lämmönsiirtimen osissa. Markkinoilla on myös poistoilmalämpöpumpulla varustettuja tulo- ja poistoilmanvaihtokoneita sekä lämmönsiirtimen ja poistoilmalämpöpumpun yhdistelmiä. Erona lämmönsiirrinratkaisuihin näissä on se, että lämmöntalteenottaminen poistoilmalämpöpumpulla ei toimi ilman kompressorin kuluttamaa

sähköenergiaa. Osaa poistoilmalämpöpumpuista voi kesällä käyttää tuloilman koneelliseen viilentämiseen. Poistoilmapumppujen kompressorin tuottama ääni tulee ottaa huomioon laitteen sijoituksessa ja kanavaäänenvaimennuksessa.

Tulo- ja poistoilmapuhaltimet ovat nykyisin yleensä tasavirtapuhaltimia perinteisten vaihtovirtapuhaltimien sijaan. Tasavirtapuhaltimet ovat energiatehokkaita osateholla käytettäessä ja niiden sähköiset ohjausmahdollisuudet ovat monipuolisemmat kuin vaihtovirtapuhaltimien muuntajaohjauksessa.

Ilmanvaihdon tuloilman jälkilämmitys voidaan toteuttaa sähköisellä tai vesikiertoisella lämmityksellä. Koska nykyiset lämmöntalteenoton lämmönsiirtimet ovat erittäin tehokkaita, jälkilämmityksen energiankulutus on hyvin pientä varsinkin Etelä-Suomessa. Liian korkea tuloilman jälkilämmityksen asetusarvoa tulee välttää, jotta varsinainen lämmitysjärjestelmä kykenee toimimaan suunnitellusti, eivätkä tilat yliämpene haitallisesti.

Ilmanvaihtokoneelta lähteviin tulo- ja poistoilmakanaviin tulee asentaa äänitasovaatimukset täyttävät äänenvaimentimet, jotta ilmanvaihtoa voidaan käyttää tarpeen mukaan, eikä liian pienellä teholla melun takia. Makuuhuoneiden matala äänitaso voidaan varmistaa huonekohtaisilla äänenvaimentimilla. Myös ilmanvaihtokoneelta lähteviin ulko- ja jäteilmakanaviin tulee tarvittaessa asentaa äänenvaimentimet.

Suuren pientalon ilmanvaihto voidaan toteuttaa hajautetusti useammalla ilmanvaihtokoneella. Tällöin ilmanvaihdon säädettävyys ja tarpeenmukaiset ohjausmahdollisuudet ovat paremmat kuin yhdessä suurella ilmanvaihtokoneella. Lisäksi tulo- ja poistoilmakanaviston pituus ja kanavakoot säilyvät kohtuullisena. Hajauttamista suositellaan, mikäli tulo- ja poistoilman jakokanavisto halkaisijaksi tulisi muutoin yli 200 mm. Suuren pientalon pesu- ja saunatilat ovat tyypillisiä erillisen ilmanvaihtokoneen palvelualueita. Myös keittiöön sopii oma erillinen tulo- ja poistoilmavaihtokone, joita löytyy markkinoilta myös liesikupuun yhdistettyinä.

4.3 Muut järjestelmät

4.3.1 Koneellinen poistoilmavaihtojärjestelmä

Aikaisemmin yleistä koneellista poistoilmavaihtojärjestelmää käytetään pääasiallisena ilmanvaihtojärjestelmänä enää harvoin pientaloissa. Koneellisessa poistoilmavaihdossa poistoilmavirrat pystytään hallitsemaan kohtuullisen hyvin, mutta ulkoilmavirtojen hallinta ja talviaikainen vedottomuus tuottavat vaikeuksia. Myös sisään otettavan ulkoilman tehokas suodattaminen on hankalaa. Vaipan ääneneristävyysvaatimusten täyttäminen vaikeutuu ulkoseinään tehtävien reikien takia. Ulkoilman sisäänvirtaus edellyttää reilua alipainetta rakennuksen sisällä. Tällöin osa korvausilmasta tulee rakenteiden vuotokohtien kautta ja mukana saattaa tulla myös epäpuhtauksia, kuten esimerkiksi mikrobeja tai maaperän radonia. Vuotoilma saattaa myös viilentää ympäröiviä pintoja, jolloin pintoihin voi tiivistyä vettä ja syntyä homeen kasvulle otolliset olosuhteet. Koneellisen poistoilman lämmöntalteenotto edellyttää yleensä lämpöpumppua ja talteenotetun lämmön siirtämistä vesivaraajaan, jotta lämpöä voidaan hyödyntää tilojen tai käyttöveden lämmityksessä.

Koneellisen poistoilmavaihdon yhteydessä käytetään usein ikkunatuuletusta. Ikkunatuuletus yhdessä huoneessa saattaa helposti kuitenkin romahduttaa ilmanvaihdon muissa tiloissa, koska paine-ero ulkovaipan yli pienenee ja sen seurauksena ulkoilmavirrat pienenevät välittömästi.

Koneellisessa poistoilmavaihtojärjestelmissä ulkoilma voidaan suunnitella otettavaksi ulkoilmaventtiilien kautta tai esimerkiksi tuloilmaikkunan kautta. Suunnittelussa on otettava huomioon, että joissain olosuhteissa ilma voi kulkea väärään suuntaan, eikä tästä saa aiheutua haittaa.

4.3.2 Painovoimainen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimaisen poistoilmanvaihtojärjestelmän toiminta vastaa pääosin koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää, mutta sinä myös poistoilmavirtojen hallinta tuottaa vaikeuksia. Ulkoilman lämpötila ja tuuli vaikuttavat merkittävästi ilmanvaihdon suuruuteen. Tehokkainta ilmanvaihto on pakkasilla ja kovalla tuulella. Leudolla säällä ilmanvaihto on pienempää ja usein riittämätöntä. Painovoimaisella ilmanvaihdolla on hyvin vaikea toteuttaa nykymääräysten mukaista pientalon sisäilmastoa. Koska painovoimainen ilmanvaihto ei tarvitse sähköä, sitä voidaan käyttää sähköttömässä kohteissa.

4.3.3 Ilmanvaihdon sekajärjestelmät

Ilmanvaihdon sekajärjestelmillä tarkoitetaan sitä, että samassa rakennuksessa on useita eri ilmanvaihtojärjestelmiä. Tyypillisin pientalon sekajärjestelmä on koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ja keittiön liesikuvun koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Painovoimaisen ja koneellisen poiston yhdistämisestä saattaa syntyä huonosti toimiva järjestelmä, jossa ilmavirrat voivat pahimmassa tapauksessa kulkea väärään suuntaan. Tyypillinen esimerkki on keittiön liesituuletin, joka imee korvausilmaa WC:n poistoilmakanavan kautta kylmentäen talvella WC:n sisäilman.

4.3.4 Erityistilojen ilmanvaihto

Myös pientaloissa voi joissain tapauksissa tulla kyseeseen paloaluekohtainen ilmanvaihtoratkaisu. Paloturvallisuuden varmistamisen takia asuinrakennuksen yhteydessä olevaa autotallia ei saa yhdistää asuintilojen ilmanvaihtojärjestelmään. Autotallin ilmanvaihto tulee toteuttaa omalla ilmanvaihdolla. Puolilämpimän ja lämpimän autotallin ilmanvaihtojärjestelmäksi suositellaan lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Toimiva ja tehostettavissa oleva ilmanvaihto takaa tilan monipuoliset käyttömahdollisuudet ympärivuoden. Muitakin määräykset täyttäviä ilmanvaihtotapoja voidaan käyttää, jos olosuhdevaatimukset ovat vaatimattomat, Jos autotalli sijaitsee asuinrakennuksen vaipan sisäpuolella, on muiden kuin suositeltujen ilmanvaihtojärjestelmien yhteisvaikutus epäpuhtauksien leviämiseen, paine-erojen hallintaan ja ilmanvaihdon toimivuuteen selvitettävä ja hallittava.

Kattilahuoneiden ja kiinteää polttoainetta käyttävien lämmöntuottojärjestelmien vaatimukset ilmanvaihdon toteutukselle ja paloilman saannille tulee suunnittelijan selvittää tapauskohtaisesti. Paloturvallisuuden lisäksi mahdollisten hajujen ja epäpuhtauksien leviämisen estäminen tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Puulämmitteinen sauna voidaan yleensä yhdistää asuintilojen ilmanvaihtojärjestelmään. Saunan ilmanvaihto tulee suunnitella tasapainoiseksi ja kiukaan palamisilman saanti varmistaa. Puulämmitteisen kiukaan palamisilman saanti voidaan ratkaista soveltaen muiden tulisijojen ohjeistusta (kappale 8).

Alapohjan tuuletus ja radon

Ryömintätilaan rajoittuvien alapohjien alapuolisen ryömintätilan tuulettamista ei suositella kytkettäväksi pientalon ilmanvaihtokoneeseen epäpuhtauksien leviämisen riskin takia. Muun tyyppisten alapohjaratkaisujen tuulettamisen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräykset ja ohjeet. Alapohjan tuuletus tulee ensisijaisesti suunnitella osana rakennesuunnittelua. Ilmanvaihtosuunnittelija suunnittelee ja mitoittaa kanavat ja tarvittavat laitteet annettujen lähtötietojen perusteella.

Pientalon suunnittelussa tulee varmistua maaperän radonin hallinnasta. Radonin hallinnassa tärkeintä on alapohjan hyvä tiiviys. Talossa, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto, eikä korvausilmaventtiilejä ole riittävästi, voi talon alipaineisuus ja sen myötä myös radonpitoisuus kasvaa. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto pienentää merkittävästi talon alipaineisuutta ja vähentää riskiä ilman korkeaan radonpitoisuuteen. (STUK-A233. Radontalkoot – Tilannekatsaus 2008)

Radonin poisto suunnitellaan ja toteutetaan Säteilyturvakeskuksen ohjeistuksen mukaan. Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että asuintilojen radonpitoisuus ei ylitä arvoa 200 Bq/m³, ja on mielellään alle 100 Bq/m³.

5. Tekniset tilat ja reititykset

5.1 Ilmanvaihtokoneen sijoittaminen

Ilmanvaihtokone parasta sijoittaa erilliseen lämmitettyyn kuivaan tekniseen tilaan. Ilmanvaihtokonetta ei tule sijoittaa kosteisiin pesutiloihin eikä kylmiin varastotiloihin kosteuden mahdollisen tiivistymisen ja lämpöhäviöiden lisääntymisen takia. Ilmanvaihtokonetta ei myöskään tule sijoittaa kylmälle ullakolle yläpohjan eristeisiin, koska sen huoltaminen vaikeutuu oleellisesti. Mikäli pientalossa ei ole erillistä teknistä tilaa, voidaan ilmanvaihtokone sijoittaa kuivaan tilaan, jossa ilmanvaihtokone on helposti huollettavissa, eikä sen ääni häiritse.

Ilmanvaihtokoneen paras sijaintipaikka on sellainen, joka rajoittuu ulkoseinään ja josta on mahdollisimman lyhyt matka keittiöön ja märkätiloihin. Ulkoseinän läheisyyden takia kylmistä ulkoilma- ja jäteilmakanavista tulee mahdollisimman lyhyet ja riittävä lämmöneristys on helppo tehdä. Ulkoseinän ja ilmanvaihtokoneen väliin on syytä jättää tuuletusrako, jotta kosteutta ei tiivisty rakenteisiin. Ilmanvaihtokone kannattaa mahdollisuuksien mukaan sijoittaa keskeiselle paikalle rakennuksessa ottaen huomioon huoltomahdollisuuden ja ilmanvaihtokoneen ympäröivään tilaan tuottaman äänen. Tilassa tulee olla viemäröinti-mahdollisuus ilmanvaihtokoneessa tiivistyvän veden poisjohtamiseksi.

Ilmanvaihtokone tulee asentaa joustavasti siten, että koneen tärinä ei siirry rakenteisiin ja sitä kautta asuintiloihin. Ilmanvaihtokone suositellaan sijoitettavaksi sellaiselle korkeudelle, että huoltotoimenpiteet voidaan tehdä ilman tikkaita. Ilmanvaihtokoneen edustalla on oltava riittävästi tilaa (noin 1 metri) huoltotoimenpiteiden suorittamiselle

Erilliseen tekniseen tilaan suositellaan sekä tulo- että poistoilmanvaihtoa, jotta tila voidaan tehdä ilma- ja äänitiiviiksi. Asuinrakennuksen yhteydessä olevaan tekniseen tilaan ei suositella tehtäväksi erillisiä tuuletusreiکیä ulkoseiniin, koska ne vaikeuttavat vaipan paine-erojen hallintaa ja teknisen tilan ilmaa ja mahdollisia epäpuhtauksia saattaa levitä asuintiloihin.

5.2 Ilmakanaviston reititykset

Lämpimät tulo- ja poistoilmakanavat suositellaan sijoitettavaksi höyrynsulun lämpimälle sisäpuolelle ilmavuoto-, kosteus- ja homevaurioriskit minimoidaan. Yleensä pientalossa on löydettävissä riittävästi alaslasketulla katolla varustettuja reittejä sekä linjoja kanavien koteloille esimerkiksi komeroiden päällä. Nykyaikaisilla sekoittavilla tuloilman päätelaitteilla voidaan ilma puhalltaa sisäseinältä ulkoseinää ja ikkunaa kohti vedottomasti. Kanavia ei tarvitse reitittää ulkoseinälle tai keskelle kattoa. Ilmanvaihtokanavien asennuksessa ja kannakoinnissa noudatetaan Talotekniikka RYL 2002 ohjeistusta

Jos lämpimiä ilmakanavia sijoitetaan kylmälle ullakolle, joudutaan yläpohjan höyrynsulku rikkomaan useasta kohdasta. Läpivientikohtien tiiviyden varmistaminen vaatii erityisratkaisuja, erityistä huolellisuutta työssä ja tehokasta valvontaa. Tiiviin yhtenäisen höyrynsulun kestävyys on pitkäaikaisessa käytössä turvallisempi kuin teipattu reikämuovi. Pientalon yläpohjaan voi vaikuttaa talvipakkasilla sisäpuolinen ylipaine, joka voi työntää kosteaa ilmaa vuotokohtien kautta yläpohjarakenteisiin. Riskinä on, että pahimmassa tapauksessa yläpohjarakenteisiin syntyy kosteus ja homevaurioita tai vesikaton aluskate homehtuu. Lämmittämättömällä ullakolla sijaitsevat lämpimät ilmakanavat lisäävät lämpöhäviöitä ja kanavassa virtaava ilma voi lämmöneristyksestä huolimatta jäähtyä merkittävästi. Hyvin eristetyssäkin yläpohjassa ilmakanavat kulkisivat kohdassa, jossa lämpötila ilman kanavia olisi pakkasilla noin 0 °C. Vaikka yläpohjassa kulkevien kanavien lämmöneristys on helppo suunnitella, voi käytännön toteutus olla hankalaa tai jopa

mahdotonta tilan ahtauden takia. Lisäksi kattoristikoiden ja muiden huomioimattomien kylmäsiltojen vaikutus voi olla merkittävä.

Jäteilmakanavan ja ulkoilmakanavan höyrynsulun lävistystä kertaalleen ei yleensä voi estää. Höyrynsulun lävistyksessä on syytä käyttää höyrytiivistä kumiläpivientä. Ulkoilma- ja jäteilmakanava tulee suunnitella mahdollisimman lyhyiksi, jotta lämmöneristyspituus jää pieneksi. Lyhyimmillään jäteilmakanava on yleensä silloin, kun jäteilma puhalletaan ulos suoraan ulkoseinästä. Tällöin ulkoseinän läpivienti korvaa vesikaton läpiviennin. Jäteilman seinäpuhalluksen perusteista ja soveltuvuudesta rakennukseen ja tontille on syytä sopia kohdekohtaisesti rakennusvalvonnan kanssa.

6. Ilmanvaihdon ohjaus ja käyttö

Pientalon ilmanvaihto mitoitetaan yleensä RakMk osa D2 ohjeellisten käyttöajan tehostamattomien ilmajirtojen mukaan, jolloin pientalon keskimääräiseksi ilmajirraksi tulee noin 0,35 dm³/s lattianeliötä kohti eli normaalikorkuisessa talossa ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h. Talon koon ja tyypin mukaan keskimääräinen ilmanvaihto hieman vaihtelee. Tämä ilmajirta vastaa tyydyttävää sisäilman laatua tavanomaisessa käytössä. Hyvää sisäilmanlaatua vastaava keskimääräinen ilmajirta on 0,5 dm³/s lattianeliötä kohti (ilmavaihtokerroin on 0,7 1/h). Tämä vastaa Sisäilmastoluokitus 2008 parhaan sisäilmastoluokan S1 ilmajirtaa.

Tällä hetkellä yleisin ilmanvaihdon ohjaustapa on kolmiportainen käsiasäätö ohjauspaneelista. Kolme säätöasentoa ovat Kotona, Poissa ja Tehostus. Yleensä näitä kolmea säätöasentoa vastaavat ilmajirrat voidaan asettaa vapaasti suunnittelijan antamien arvojen perusteella. On olemassa myös moniportaisia ohjaustapoja. Käyttäjän on tiedettävä, mikä säätöasento vastaa normaalia kotonaoloilmavaihtoa ja on voitava niin halutessaan näkemään käytössä oleva ilmanvaihdon säätöasento.

Koko pientalon ilmanvaihdon tehostaminen käsin tarpeen niin vaatiessa on suositeltavaa ja hyväksyttyä. Myös pidempiaikaisten poissaolojen ajaksi ilmanvaihtoa voidaan pienentää. Tällöin puhutaan useamman päivän tai yhden viikon poissaolosta.

Tehostuksessa ilmajirtoja tulee voida tehostaa vähintään +30 %, mutta kaksinkertaisia ilmajirtoja suositellaan. Poissaoloilmajirrat saavat olla enintään 60 % kotonaoloilmajirtoja pienempiä.

Oppaan laadinnan yhteydessä tehdyllä asukaskyselyllä selvitettiin asukkaiden käyttötottumuksia. Vastausten mukaan ilmanvaihtoa ei käytetä esimerkiksi energiansäästön tai liiallisen melun takia liian pienellä säätöasennolla. Nykyaikaisen pientalon ilmanvaihto toimii energiatehokkaasti, eikä riittävästä ilmanvaihdosta ole syytä terveyden kustannuksella tinkiä.

Talon käytönaikaisten ilmajirtojen pienentämisen ja tarpeenmukainen ohjaus tulee tapahtua hallitusti. Nykyisin suurimmassa osassa pientalon ilmanvaihtokoneita on mahdollisuus kytkeä sähköisiä ilmanvaihtoa ohjaavia antureita. Yleisimmin käytetään hiilidioksidi- ja kosteusantureita. Hiilidioksidipitoisuus on henkilömäärän indikaattori asuinhuoneista ja ilman suhteellinen kosteus etenkin talvella veden käytön indikaattori märkätiloissa. Kesällä kosteusantureiden luotettava käyttö ilmanvaihdon tehostuksessa edellyttää myös ulkoilman kosteuden vaikutuksen huomioon ottamista. Eri laitevalmistajilla on tähän tarkoitukseen erilaisia tekniikoita. Kesällä ilmanvaihtoa tehostetaan, jos sisäilman kosteussisältö (absoluuttinen kosteus) on ulkoilmaa korkeampi. Myös huonelämpötila on toimiva ja helposti mitattava indikaattori sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien vaikutuksesta. Huonelämpötilan perusteella voidaan tehostaa ilmanvaihtoa, mutta myös vaikuttaa tuloilman lämpötilaan.

Tilakohtainen päätelaitteella (kuva 4) tapahtuva tehostus on nykyisin harvinaista liesikupua lukuun ottamatta. Makuuhuoneiden ja märkätilojen ilmanvaihdon tehostaminen päätelaitteella on kuitenkin toimiva ratkaisu. Se edellyttää ilmanvaihtokoneelta kokonaisilmajirtojen ja kanavapaineiden pitämistä tasapainossa päätelaitteen tehostaessa. Tehostaminen päätelaitteella toimii osittain lainausperiaatteella, joten se ei edellytä koko pientalon ilmanvaihdon merkittävää lisäämistä ja on sen vuoksi energiatehokas tehostustapa. Kesäaikainen ilmanvaihdon suuri tehostus saattaa edellyttää esimerkiksi tehostuspellin takana olevien ylimääräisten tulo- ja poistoilmalaitteiden käyttöä, jotta kanavistopaineet pysyvät kohtuullisina ja äänitasot matalina.

Automaattiset ohjaukset vaativat pienimmän sallitun ilmajirran asettamisen. Kun antureiden mukaan ei ole tehostustarvetta, niin ilmajirta pienenee tälle tasolle. Pienin ilmajirta ei saa olla suunnitteluilmajirtaa pienempi, ellei varmuutta sisäilmaston puhtaudesta ole. Pelkästään

sähköisten antureiden ja yksittäisten indikaattoreiden varaan ei sisäilmaston puhtautta tule laskea. Ilmavirtojen pienentäminen heikentää yleensä myös ilmanjaon tehokkuutta, joten paikallisesti ilman laatu voi heikentyä merkittävästi.



Kuva 4. Esimerkki markkinoilla olevasta tehostettavasta päätelaitteesta (Fläkt Woods Oy).

7. Rakennuksen paine-erojen hallinta

Hatarassa pientalossa koneellisen poistoilmanvaihdon korvausilma ja tulisijan palamisilma tulevat lukuisista rakennuksen vaipan vuotoraoista suuria paine-eroja aiheuttamatta. Energiatehokkaassa tiiviissä pientalossa korvausilmaa ja palamisilmaa ei tule riittävästi vuotoina vaan paine-erot nousevat suuriksi ja ilmanvaihdon tulisijan toimivuus voi kärsiä. Korvaus- ja palamisilman saanti on suunniteltava ja järjestettävä erikseen. Tulisijan palamisilmaratkaisuja esitetään kohdassa 8. Energiatehokkaassa pientalossa erillispoistoja ei suositella käytettäväksi. Mikäli erillispoistoja käytetään, niiden korvausilma voidaan ottaa esimerkiksi avattavan tuuletusikkunan kautta tai seuraavassa esitettäviä ratkaisuja käyttäen.

Ilmanvaihdon lisäksi rakennuksen vaipan paine-eroon vaikuttaa rakennuksen korkeus, ulkoilman lämpötila ja tuuli. Kaksi- ja kolmikerroksisissa pientaloissa yläosien jatkuvaa alipaineisuutta on vaikea ylläpitää pakkasilla. Tämän vuoksi yläpohjan ja siihen liittyvien rakenteiden ilmatiivyyden varmistaminen on oleellisen tärkeää. Hyvä yläpohjan tiiviyys helpottaa myös alipaineen ylläpitoa ja pienentää tarvittavaa ulko- ja jäteilmavirran eroa. Suositeltava paine-ero on yleensä 1 - 3 Pa

Erillispoistot ja paine-erot

Nykyaikaisissa energiaterhokkaissa pientaloissa ilmanvaihto on toteutettu hallitusti ja varustettu energiaterhokkaalla lämmöntalteenotolla. Kuitenkin keittiön liedien päältä käyrien poisto on toteutettu lähes poikkeuksetta omalla puhaltimella varustetulla liesituulettimella tai liesikuvulla, joka on liitetty katolla olevaan huippuimuriin. Liesituulettimien ja -kupujen huonon kärynsieppauskyvyn takia poistoilmavirrat ovat suuria, samaa suuruusluokkaa kuin koko pientalon muun ilmanvaihdon poistoilmavirta. Nämä erillispoistot voivat aiheuttaa rakennuksen vaipan yli suuren paine-eron. Liesituulettimilla poistoilmavirta on käyttötilanteessa tyypillisesti 30 - 80 dm³/s ja huippuimuria käytettäessä suurempikin.

Erillisissä keittiön käyrien poistoissa on muitakin epäkohtia, kuin suuren paine-eron aiheuttaminen. Liesituuletin tuottaa kovaa melua keittiöön, eivätkä äänivaatimukset useinkaan täyty. Yleensä kova melu (yli 60 dB(A)) hyväksytään, koska liesituuletin on käyttäjän komennossa. Kärynpöisto voidaan toteuttaa myös hiljaisena. Liesikupu kytkettynä äänenvaimennettuun huippuimuriin on yleensä liesituuletinta hiljaisempi ratkaisu. Huippuimuri voi aiheuttaa rakennuksen vaipan yli liesituuletinta suuremman paine-eron. Huippuimurin poistoilmavirta on käyttötilanteessa tyypillisesti 30 - 100 dm³/s tai jopa suurempikin. Ilmavirran suurentuminen parantaa jonkin verran kärynsieppauskykyä, mutta asuntoilmanvaihdossa käytettävien liesikupujen kärynsieppauskyky on yleensä melko huono. Etenkin tasomaisella imupinnalla varustettujen huuvattomien liesikupujen (design-kupu) kärynsieppauskyky on vaatimaton.

Joissakin liesituulettimissa ja huippuimuriratkaisuissa saattaa käyttötavasta riippuen ilmetä kosteuden tiivistymistä ja veden valumista kanavasta liedelle. Kosteuden tiivistymisen vuoksi huippuimureissa puhallin voi seisoessaan jopa jäätyä talvella. Mahdollisia kosteus- ja jäätymisongelmia on käytännössä ratkaistu kondenssivesikupilla, sulkupellillä ja pitämällä poistoa päällä noin 15 minuuttia ruoanlaiton jälkeen tai jatkuvasti pienellä teholla. Liesikuvun jatkuva poistoilmavirta on otettava huomioon ilmanvaihdon tasapainotuksessa.

Keittiön erillispoisto aiheuttaa ylimääräisen lämpöhäviön rakennukseen, koska poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen. Suositeltavin tapa keittiön käryjen poistoon on kytkeä tehokkaalla rasvasuodatuksella (vähintään C-luokan rasvasuodatustehokkuus ekosuunnitteluasetuksen 65/2014 mukaan) ja kärynsieppauskyvyllä varustettu liesikupu väljällä kanavalla rakennuksen ilmanvaihtokoneeseen. Liesikupu voidaan yhdistää levylämmönsiirtimellä varustettuun ilmanvaihtokoneeseen ja ottaa liesikuvun poistosta lämpö talteen. Ratkaisua on käytetty Suomessa viime vuosikymmenten aikana yleisesti pien- ja kerrostaloissa ilman merkittäviä ongelmia. Liesikupu voidaan yhdistää myös pyörivällä regeneratiivisella lämmöntalteenotolla varustettuun ilmanvaihtokoneeseen lämmöntalteenoton ohi, jolloin lämpöä ei saada talteen. Liesikuvun kytkentä on otettava kanavistomitoituksessa huomioon, jotta riittävä poistoilmavirta saadaan ohjattua liesikupuun. Poistokanavassa tulee olla riittävä kanavapaine ja ilmanvaihtokoneen ilmavirroissa riittävä tehostusmahdollisuus. Tällöin ilmavirrat ovat aina tasapainossa. Ilmanvaihto ei lisääny keittiön liesikuvun tehostuksen yhteydessä niin paljon kuin erillispoistoja käytettäessä, koska liesikuvun tehostus toimii osittain lainausperiaatteella. Liesikuvun poistoilmavirran lisääntyessä muiden tilojen poistoilmavirrat hieman pienenevät.

Vaihtoehtoisesti liesikuvulla voi olla oma LTO:lla varustettu tulo- ja poistoilmanvaihtokone, jonka tehostaminen voidaan tehdä muusta ilmanvaihdosta riippumatta ja ilmavirrat pysyvät tasapainossa.

Kaikissa suositelluissa ratkaisuissa liesikuvun kärynsieppauskyvyllä tulisi asettaa nykyistä tiukemmat vaatimukset. Liesikuvut kuuluvat ekosuunnitteludirektiivin ja energiamerkintädirektiivin piiriin.

Kaikissa suositelluissa ratkaisuissa liesikuvun kärynsieppauskyvyllä tulisi asettaa nykyistä tiukemmat vaatimukset. Liesituulettimet kuuluvat ekosuunnitteluasetuksen (KOMISSION ASETUS (EU) N:o 66/2014) ja energiamerkintäasetuksen (KOMISSION DELEGOITU ASETUS (EU) N:o 65/2014) piiriin.

Ekosuunnitteluasetuksen mukaan liesituulettimella tarkoitetaan laitetta, jota käytetään laitteesta ohjattavalla moottorilla ja jonka tarkoituksena on kerätä epäpuhdasta ilmaa keittotason yläpuolelta tai johon sisältyy imujärjestelmä, joka on tarkoitettu asennettavaksi liesien, keittotasojen ja vastaavien ruoanvalmistustuotteiden vierelle ja joka imee höyryn alas sisäiseen poistokanavaan.

Energiatehokkaan ja tiiviin pientalon vaipan paine-erojen hallinta edellyttää erillispoistojen korvausilman tuontia koneellisesti. Näin ilmavirrat saadaan pysymään aina riittävässä tasapainossa, eikä suurta paine-eroa synny.

Korvausilman tuonti voidaan järjestää erillisellä tuloilmakoneella tai ohjaamalla pientalon ilmanvaihtokoneen tuloilmavirtaa suuremmaksi kuin poistoilmavirta. Ilmavirtaeron tulee vastata liesikuvun poistoa, jotta vaipan paine-ero pysyy hallittuna. Erillispoistopuhaltimesta on oltava ohjaus korvausilmajärjestelmään. Jos ilmanvaihtokoneen ilmavirtasuhdetta muutetaan hyvin paljon, saattaa pakkasilla lämmöntalteenoton ja jäätymisen eston toiminta häiriintyä. LTO:n jäätymisvaara voi rajoittaa liesikuvussa käytettävää poistoilmavirtaa tässä ratkaisussa.

Erillisillä korvausilmaratkaisuilla voidaan vaipan paine-eroa hieman pienentää, mutta tämä on selvästi koneellista huonompi ratkaisu. Korvausilmana otettavan ulkoilman suodatus ja esilämmitys on vaikea toteuttaa. Korvausilmaratkaisun tulee olla suunniteltu erillispoiston ilmavirtaa vastaavaksi ja sen painehäviön tulee olla mahdollisimman pieni, mielellään enintään 5 Pa. Jos painehäviö on oleellisesti suurempi, korvausilmaratkaisun vaikutus paineeron hallintaan jää olemattomaksi. Korvausilma-aukon tulee olla tiiviisti suljettavissa tai itsestään sulkeutuva. Sulkupelti voi olla sähköisesti ohjattu poistopuhaltimesta tai käsisäätöinen. Korvausilmaratkaisu ei saa heikentää vaipan ääneneristävyyttä.

Keskuspölynimuri ja paine-erot

Keskuspölynimurin vaikutus rakennuksen vaipan paine-eroon on pienemmästä ilmavirrasta johtuen pienempi kuin muiden erillispoistojen vaikutus, mutta ratkaisukeinot ovat pääpiirteissään samat erittäin tiiviissä taloissa. Suositeltavinta olisi, että ilmanvaihto-suunnittelija suunnittelee keskuspölynimurin korvausilman saannin erittäin tiiviissä talossa samoilla periaatteilla ja keinoilla kuin edellä esitettyjen erillispoistojen osalta suositellaan.

Keskuspölynimurin poistoilmavirta riippuu laitteen tehosta, mutta on laitevalmistajilta saadun tiedon mukaan käyttötilanteessa tyypillisesti noin 20 - 50 dm³/s. Oppaan laadinnan yhteydessä tehtyjen pientalojen paine-erojen mittausten mukaan nykyaikaisessa pientalossa keskuspölynimuri voi aiheuttaa 1 - 40 Pa paine-eron (alipaine) rakennuksen vaipan yli.

Tulisijan toimivuus ja paine-erot

Tulisijan moitteeton toiminta edellyttää, että rakennuksen sisällä ei ole liian suuri alipaine ulkoilmaan verrattuna. Tällöin savuhormi vetää ja palamisilmaa saadaan riittävästi. Ensisijaisesti suositellaan, että tulisijan palamisilma tuodaan tulisijaan rakennuksen ilmanvaihdosta riippumatta. Rakennuksen ilmanvaihto ja mahdolliset erillispoistot on toteutettava niin, etteivät ne lisää rakennuksen alipaineisuutta ja vaikeuta tulisijan toimintaa.

Kylmänäkään tulisijan sisältä ei saa kulkeutua sisäilmaan tulipesän ilmaa tai epäpuhtauksia.

Tulisijan savuhormin vedon varmistamisessa on hyvänä apuna ilmanvaihtokoneissa oleva takkakytkin. Takkakytkimellä saadaan sisälle pieni tilapäinen (yleensä 15 minuuttia) ylipaine, joka varmistaa sytytysvaiheessa hormin vedon ulospäin.

Lämmöntalteenoton jäätymissuojauksen ja sulatuksen vaikutus paine-eroon

Perinteisesti pientalojen lämmöntalteenoton jäätymissuojauksessa on käytetty tuloilmapuhaltimen ajoittaista pysäytystä estämään jäätymistä. Tämä aiheuttaa tiiviissä pientalossa suuren paine-eron ulkovaipan yli, eikä ole suositeltava tapa. Ilmanvaihtokoneen ulko- ja jäteilmavirran suhde tulee säilyä myös jäätymissuojauksen ja sulatuksen aikana, jotta suuria paine-eroja ei syntyisi.

8. Tulisijat ja niiden palamisilman saanti

Nykyaikaisen energiatehokkaan pientalon tulisijan toiminnan varmistamiseksi palamisilma tulee johtaa tulisijalle hallitusti. Ilmanvaihtojärjestelmä tai keskuspölynimuri ei saa aiheuttaa niin suurta alipainetta talon sisälle, että tulisijan turvallinen käyttö vaarantuu. Tulisijan käyttö ja toiminta suositellaan suunniteltavaksi niin, ettei se ole riippuvainen sähkön saannista. Tällä varmistetaan tulisijan käyttö poikkeustilanteiden lämmityslaitteena ja tämän vuoksi esimerkiksi savukaasun poistopuhallinta ei suositella.

Ensisijaisesti suositellaan, että palamisilma johdetaan tulisijaan ilmanvaihdosta riippumattomasti. Tämä tarkoittaa sitä, että palamisilmaa ei oteta talon sisältä huoneilmasta. Palamisilma voidaan tuoda tulisijaan ulkoa esimerkiksi maaputken kautta. Maaputki esilämmittää palamisilmaa pakkasilla. Kuvassa 5 esitetään esimerkki palamisilman johtamisesta maaputken kautta tulisijaan ilmanvaihdosta riippumatta. Tulisijan läheisyydessä putken tulee olla palamatonta materiaalia. Palamisilman johtamisesta tulisijaan tulee aina noudattaa tulisijan valmistajan ohjeita. Joihinkin tulisijoihin valmistajat eivät suosittele tuotavaksi palamisilmaa ulkoa, koska se heikentää heidän mukaansa pakkasella palamista ja saattaa rasittaa tulisijan rakenteita. Näihin tulisijoihin palamisilma on esilämmitettävä ja tuotava huoneilmaan esimerkiksi tulisijan läheisyyteen. Kuvassa 6 esitetään esimerkki palamisilman johtamisesta tulisijaan katolta savupiipun ulkopintaa pitkin ilmanvaihdosta riippumatta.

Palamisilmavirran säätölaitteiden lisäksi tarvitaan toimiva ja tiivis sulkuventtiili. Tulisijassa syntyvien häkäkaasujen on päästävä poistumaan savupiipun kautta ulkoilmaan myös tilanteessa, jossa savupiipun sulkupelti on suljettuna. Tämän vuoksi savupiipun sulkupellin ollessa suljettuna on savuhormissa oltava virtausaukko, jonka koko on noin kolme prosenttia hormin virtausaukon pinta-alasta.

Sytytysvaiheessa ilmanvaihtojärjestelmässä olevalla takkakytkimellä voidaan varmistaa savuhormin veto. Takkakytkimellä talon sisälle saadaan hetkeksi ylipaine ulkoilmaan verrattuna ilmanvaihtokoneen ilmavirtoja muuttamalla. Eri laitevalmistajien takkakytkintoiminnot voivat poiketa hieman toisistaan. Ilmavirtojen hallinnan takia puhaltimia ei tulisi pysäyttää kokonaan takkakytkintoiminnossa. Kun takkakytkintä käytetään, niin silloin ikkunoita tai ulkoilmaventtiilejä ei saa olla auki, jotta sisälle syntyy haluttu ylipaine. Pakkasilla takkakytkintoiminnon käyttö saattaa lisätä LTO-lämmönsiirtimen jäätymisriskiä. Lyhytaikaisessa käytössä jäätymisriski on yleensä pieni.

Tiiviissä pientalossa huonosti suunniteltu ilmanvaihto voi aiheuttaa sisälle suuren alipaineen ja tulisijan savuhormi voi toimia tuloilmareittinä ja tuoda tulipesän luukun kautta sisälle savun hajua, tuhkapölyä ja pahimmassa tapauksessa häkää. Pientalon ilmanvaihto ja keskuspölynimurin käyttö on suunniteltava tulisijan moitteettoman toiminnan varmistamiseksi sellaiseksi, että ne eivät aiheuta suurta alipainetta sisälle. Etenkin liesituulettimien erillispoistot ovat nykyisin merkittävä syy tulisijojen huonoon vetoon (kuva 7). Asukasta on opastettava tästä ilmanvaihdon ja tulisijojen käyttöohjeissa, jotka sisällytetään huoltokirjaan.

Oppaan laadinnan yhteydessä tarkastetuissa pientaloissa tehtyjen mittausten mukaan tulisijan palamisilman ottaminen huoneen katossa olevan kanavan (halkaisija 100 mm) kautta ei vaikuttanut tulisijan vedon kannalta kovin toimivalta ratkaisulta. Sillä ei ollut oleellista vaikutusta vetoon. Ilmanvaihtosuunnittelijan tulisi suunnitella palamisilmareitti palamisilmavirran mukaan niin väljäksi, että painehäviö on enintään 2 - 3 Pa. Tulisijan alaosaan lattian rajaan tuotu paloilmaratkaisu taas aiheutti vetoa ja epäviihtyisyyttä lattian tasolla. Myöskään seinässä olevaa paloilman sisäänottolaitetta tai tuuletusikkunan avaamista ei voi yleisesti suositella, koska ne aiheuttavat helposti kylmyyden tunnetta, vaikka tavoite on lämmittää rakennusta. Tarkastuskäynneillä havaittiin, että jos tulisijan käyttö on kovin monimutkaista tai hankalaa, sen käyttöä vähennetään.

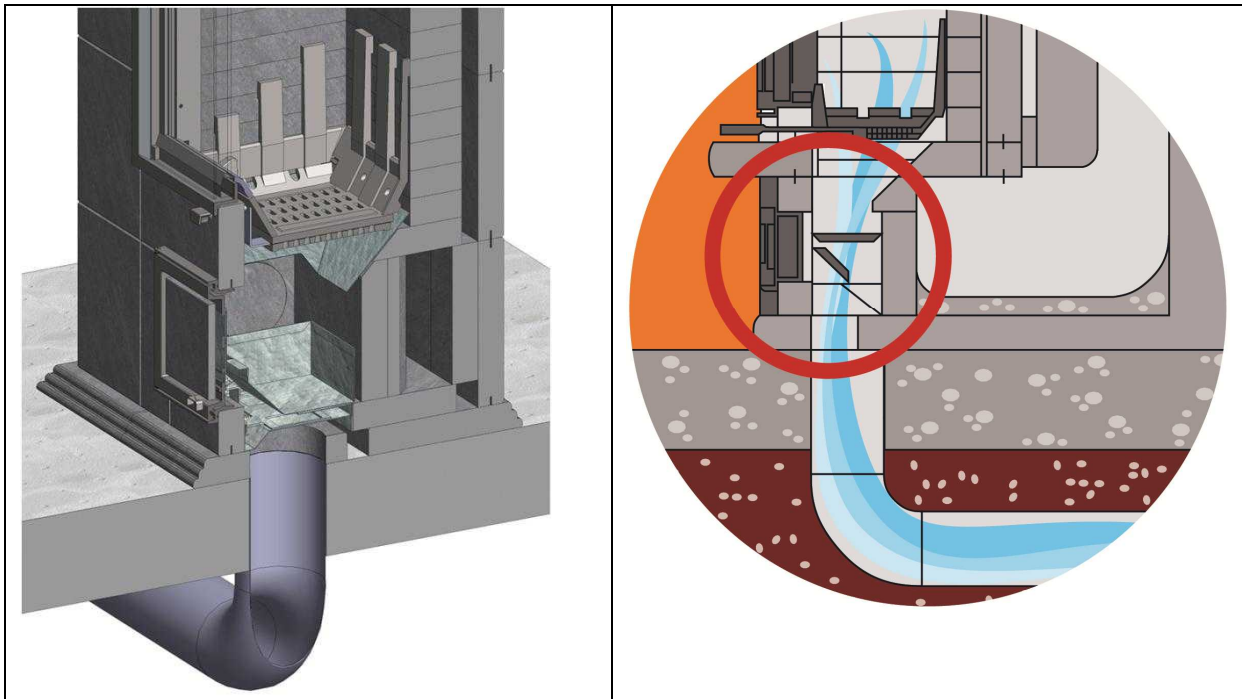
Tulisija toimii, kun savuhormi vetää ja palamisilmaa saadaan riittävästi.

Kun tulisija on kylmä, tulee varmistaa, ettei tulisijan palamisilmaa ei saa vuotaa sisäilmaan. Jos palamisilma tuodaan tulisijan sisään, tulipesän ilmaa ja epäpuhtauksia ei saa vuotaa sisäilmaan.

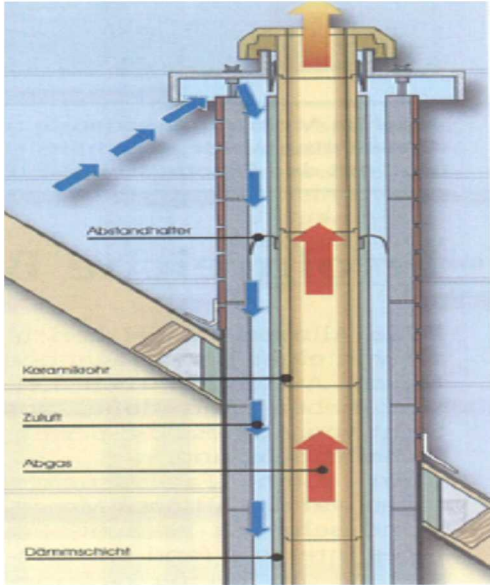
Tulisijan sytytysvaiheessa savuhormin vedon varmistaminen on tärkeintä. Jo melko pienikin alipaine sisällä saattaa kääntää kylmän hormin virtauksen sisäänpäin. Tällöin hyvänä apuna on ilmanvaihtokoneissa olevan takkakytkimen käyttö. Takkakytkimellä saadaan sisälle pieni tilapäinen (yleensä 15 min.) ylipaine, joka varmistaa hormin vedon ulospäin. Jos esimerkiksi tuuletusikkuna on auki, takkakytkimellä ei välttämättä saada riittävää paine-eroa aikaiseksi. Takkakytkintoiminto tuottaa myös sytytysvaiheessa tarvittavan palamisilman. Kun tuli on saatu syttymään ja savuhormi vetämään, voidaan avata palamisilmaventtiili. Parhaaseen palamistuloksen päästään, jos palamisilma johdetaan ilmanvaihdosta riippumatta tiiviillä sulkupellillä tai venttiilillä varustetulla kanavalla ulkoa tulipesään.

Tulen palamisvaiheessa tulee huolehtia palamisilman saannista, mutta savuhormi vetää yleensä aina. Varaavan tulisijan palamisilman tarve palamisen aikana on tyypillisesti 17 - 25 dm³/s. Palamisilmareitti on mitoitettava palamisilmavirralle, eikä painehäviötä saa syntyä muutamaa Pascalia enempää.

Varaavan tulisijan lämmönluovutusvaiheessa paloilmaa ei enää tarvita. Tällöin on varmistettava, ettei tulipesän ilmaa ja epäpuhtauksia vuoda sisäilmaan. Etenkin palamisilman tulo tulipesään on voitava sulkea tiiviisti. Lämpimässä savuhormissa säilyy alipaine (veto), vaikka savupelti on kiinni.



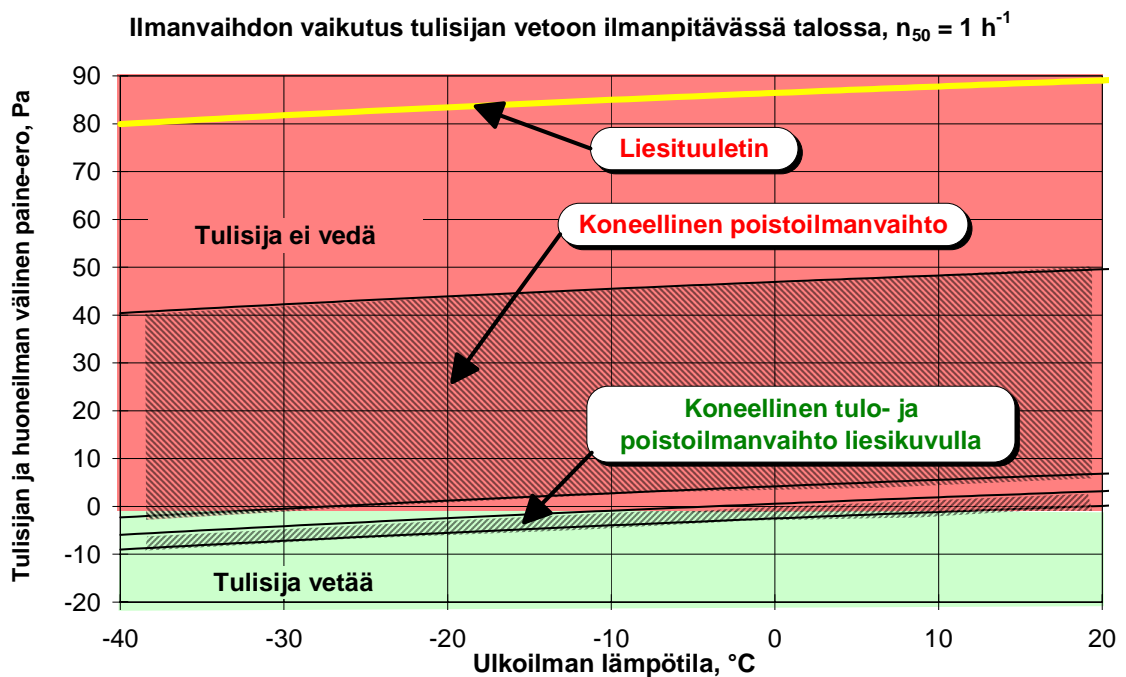
Kuva 5. Tulisijan palamisilman johtaminen tulisijaan maaputken kautta ilmanvaihdosta riippumatta. Lähde: NunnaUuni Oy.



Der Universo K im Schnitt –zur optimalen Verbrennungsluftversorgung einer Brennstätte

Bild: Plewa, Speicher

Kuva 6. Tulisijan palamisilman johtaminen tulisijan sisälle katolta savupiipun ulkopintaa pitkin ilmanvaihdosta riippumatta. Lähde: Plewa.



Kuva 7. Tulisija vetää hyvin, kun tiiviissä pientalossa on tasapainossa oleva koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Erillinen liesituuletin ilman toimivaa korvausilmaratkaisua heikentää tulisijan vetoa merkittävästi.

9. Ilmanvaihtokoneet

9.1 Yleistä

Nykyaikaisissa pientaloissa ilmanvaihtojärjestelmä perustuu tehdasvalmisteiseen lämmöntalteenotolla (LTO) varustettuun tulo- ja poistoilmanvaihtokoneeseen. Se sisältää pääosan ilmanvaihtojärjestelmän laitteista. Varminta on valita ominaisuuksiltaan ja suorituskyvyltään tunnettu ja kylmissä olosuhteissa toimivaksi todettu tyyppihyväksytty tai sertifioitu ilmanvaihtokone. Ilmanvaihtokoneen ilmavirta-alueen tulee kattaa suunnitellut tehostusilmavirrat. Tällöin ilmanvaihtoa voidaan käyttää energiatehokkaasti osateholla normaalikäytössä. Suurissa pientaloissa voidaan käyttää useampaa ilmanvaihtokonetta hajautettuna toiminnallisesti eri tilaryhmille. Näin ilmanvaihtojärjestelmä on paremmin säädettävissä ja ohjattavissa kuin yhdellä suurella ilmanvaihtokoneella.

Aikaisemmin lähes kaikki pientalojen ilmanvaihtokoneet olivat 60 cm leveitä. Tämä vaatekaapista tuttu moduulimitta hidasti pitkään ilmanvaihtokoneiden kehittämistä. Nykyisin ilmanvaihtokoneet ovat ulkomitoiltaan aikaisempaa hieman suurempia, jolloin myös sisäpuolisten osien virtaustekninen väljyys ja toimivuus ovat parempia. Myös ilmanvaihtokoneista lähtevät kanavat ovat halkaisijaltaan aikaisempaa suurempia. Tämä parantaa virtausteknistä toimivuutta ja energiatehokkuutta. Ilmanvaihtokoneesta tulee varmistaa, että kanavalähdöt on sijoitettu niin, että kanavien lämmöneristämiseksi on riittävästi tilaa. Ilmanvaihtokoneiden vaipan lämmöneristyksen ja tiiviyn tulee olla hyvät ja täyttää asetetut vaatimukset.

Pientalojen ilmanvaihtokoneissa ilmavirtojen mittausmahdollisuus on vielä harvinaista, mutta se on varmasti yleistymässä. Myös erilaiset vakioilmavirtaohjaukset, vakiopaineohjaukset tai vakioilmavirtasuhteen pitäminen automaattisesti helpottaisivat ilmanvaihdon säätöä ja käyttöä.

Ilmanvaihdon tuloilman jälkilämmitys voidaan toteuttaa sähköisellä tai vesikiertoisella lämmityksellä. Tehokkaan lämmöntalteenoton takia jälkilämmitystarve on hyvin pientä.

9.2 Puhaltimet

Nykyaikaisen tasavirtapuhaltimilla varustetun ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus on erittäin pieni. Tämä parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Lisäksi pienen sähkönkulutuksen vuoksi riski tinkiä riittävästä ilmanvaihdosta energiansäästämiseksi pienenee.

Tasavirtapuhaltimilla varustetun ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus on pieni, koska niiden sähköteho osailmavirroilla (osakuormilla) on merkittävästi pienempi kuin vaihtovirtapuhaltimien sähköteho. Puhaltimien toimintapiste tulee ottaa huomioon ilmanvaihtokonetta valittaessa.

Puhaltimia voidaan säätää ja ohjata portaattomasti. Tuloilma- ja poistoilmapuhaltimia voidaan ohjata toisistaan riippumatta. Tämä mahdollistaa ilmanvaihdon säätämisen juuri kyseistä pientaloa ja sen ilmanvaihdon tarvetta vastaavaksi.

Pientalon ilmanvaihdon suunnittelussa ei yleensä tarvitse ottaa ilman tiheyden ja ilmanpaineen muutoksia huomioon. Kaikki suunnitelmissa ja laitetiedoissa esitettävät ilmavirrat vastaavat ilman tiheyttä $1,2 \text{ kg/m}^3$ (lämpötila $+20 \text{ °C}$ ja ilmanpaine 101 kPa). Puhaltimien sijainti ilmanvaihtokoneessa voi kuitenkin jonkin verran vaikuttaa ilmavirtoihin ja niiden tasapainoon ulkoilman lämpötilan ja tiheyden muuttuessa, sillä puhallin siirtää vakiotilavuusvirtaa. Tämä on tarvittaessa otettava huomioon ulko- ja jäteilmavirran eron suunnittelussa ja säätämisessä. Mitä kylmempää ilmaa puhallin imee, sitä suuremman ilman massavirran se siirtää kanavistoon.

Ilmanvaihto suositellaan suunniteltavaksi niin, ettei ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho ole tehostamattomalla ilmavirralla suurempi kuin $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 ohjearvo ominaissähköteholle on $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. tehostusilmavirrallakin enintään $2,0 - 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

9.3 Lämmöntalteenotto

9.3.1 Toimintaperiaate

Lämmöntalteenotossa poistoilman lämpöä siirretään yleensä tuloilmaan. Risti- ja vastavirtaperiaatteella toimivilla levylämmönsiirtimillä (rekuperatiivinen LTO) tapahtuvassa lämmöntalteenotossa poistoilman kosteutta tiivistyy (kondensoituu) ajoittain ja se johdetaan viemäriin. Kosteuden tiivistyminen tehostaa LTO:n tehoa. Poistoilma- ja tuloilma eivät sekoitu keskenään lämmönsiirtimessä. Levylämmönsiirtimien tiiviys poistopuolelta tuloilmapuolelle on yleensä hyvä, eivätkä poistoilman epäpuhtaudet pääse kulkeutumaan takaisin sisäilmaan. Ristivirtalämmönsiirtimien lämpötilahyötysuhde on noin 60 % ja vastavirtasiirtimien noin 80 %. Ristivirtalämmönsiirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on tyypillisesti 45 - 55 %. Vastavirtalämmönsiirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on tyypillisesti 70 - 75 %. Luotettava toiminta matalilla ulkolämpötiloilla ja parhaisiin vuosihyötysuhteisiin pääseminen edellyttävät kehittynyttä LTO:n jäätymissuojausta ja jäteilman lämpötilan pudottamista reilusti pakkasen puolelle.

Pyörivällä lämmönsiirtimellä (regeneratiivinen LTO) lämmön lisäksi myös kosteutta siirtyy ajoittain poistoilmasta tuloilmaan, koska poistoilma ja tuloilma kulkevat samoissa lämmönsiirtimen osissa. Tämän vuoksi myöskään kovin likaisesta poistoilmasta ei ole suositeltua ottaa lämpöä talteen pyörivällä lämmönsiirtimellä. Regeneratiivisen LTO:n kosteudensiirtohyötysuhde on lähes samaa suuruusluokkaa kuin lämpötilahyötysuhde. Tämä on tarvittaessa otettava huomioon ilmanvaihtokoneen ja ilmavirtojen mitoituksessa. Pyörivän lämmönsiirtimien lämpötilahyötysuhde on noin 80 %. Pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on tyypillisesti 70 - 75 %. Pyörivä lämmönsiirtin ei itsessään huuru kovin helposti, koska kosteutta haihtuu pakkasilla siirtimen pinnalta tuloilmaan. Sen sijaan ilmanvaihtokoneen muut osat etenkin jäteilmapuolella voivat huurtua ja kerätä jäätä heikentäen ilmanvaihtokoneen toimintaa. Luotettava toiminta matalilla ulkolämpötiloilla ja parhaisiin vuosihyötysuhteisiin pääseminen edellyttää kehittynyttä jäätymissuojausta ja jäteilman lämpötilan pudottamista reilusti pakkasen puolelle.

Markkinoilla on myös poistoilmalämpöpumpulla varustettuja tulo- ja poistoilmanvaihtokoneita sekä lämmönsiirtimen ja poistoilmalämpöpumpun yhdistelmiä. Erona lämmönsiirtinratkaisuihin näissä on se, että lämmöntalteenottaminen poistoilmalämpöpumpulla ei toimi ilman kompressorin kuluttamaa sähköenergiaa. Tyypillisesti sähköä kuluu noin kolmasosa poistoilmalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä. Parhailla LTO:n lämmönsiirtimillä päästään ilmanvaihdon LTO:ssa jopa 75 % vuosihyötysuhteisiin. Poistoilmalämpöpumpuilla voidaan päästä noin 90 % vuosihyötysuhteisiin eli 15 %-yksikköä parempaan arvoon. Ero on melko pieni, kun ottaa huomioon lämpöpumpun ilmanvaihtokonetta merkittävästi suuremman sähkönkulutuksen. Poistoilmalämpöpumppu voi leudolla säällä tuottaa lämmöntarvetta enemmän lämpöä ja sen tehoa joudutaan rajoittamaan. Jotkut poistoilmalämpöpumput edellyttävät melko suuret minimiilmavirrat, jotta lämpöpumppu toimii. Tällöin esimerkiksi ilmanvaihdon tarpeenmukaista käyttöä voidaan joutua rajoittamaan. Osaa poistoilmalämpöpumpuista voi kesällä käyttää tuloilman koneelliseen viilentämiseen. Poistoilmapumppujen kompressorin tuottama ääni tulee ottaa huomioon laitteen sijoituksessa ja kanavaäänenvaimennuksessa.

9.3.2 Jäätymissuojaus

Pakkasilla poistoilman sisältämä kosteus saattaa jäätymään LTO:n lämmönsiirtimeen tai muihin kylmiin pintoihin esimerkiksi jäteilmassa olevaan puhaltimeen. Tämän vuoksi LTO:ssa tulee olla jäätymissuojaus, joka estää jäätymisen tai sulattaa syntyneen huurteen ja jään.

Jäätymissuojauksen toiminta vaikuttaa merkittävästi myös LTO:lla saatavaan energiaan ja LTO:n vuosihyötysuhteseen. Tehokkaista LTO:n lämmönsiirtimistä saadaan paras teho irti, kun jäätymissuojaus toimii tehokkaasti. Parhaissa tapauksissa ulospuhallettavan jäteilman lämpötila on alimmillaan jopa -10 °C ja LTO:n vuosihyötysuhde yli 75 %.

Nykyaikaisessa tiiviissä pientalossa LTO:n jäätymissuojauksessa aikaisemmin yleisesti käytetty tuloilmapuhaltimen pysäytys aiheuttaa tiiviissä pientalossa suuren paine-eron ulkovaipan yli. Tästä voi seurata, että jäätymissuojaus ei toimi suunnitellulla tavalla, koska suuri osa korvausilmasta tulee tuloilmapuhaltimen seisoessakin ilmanvaihtokoneen kautta poistoilmapuhaltimen aiheuttaman alipaineen takia. Ilmanvaihtokoneen ulko- ja jäteilmavirran suhde tulee säilyä myös jäätymissuojauksen ja sulatuksen aikana, jotta suuria paine-eroja ei syntyisi.

LTO:n jäätymissuojauksen ja sulatuksen tulee olla tarpeenmukaista ja ilmanvaihdon tulee toimia suojauksen aikanakin normaalisti. Ulko- ja jäteilmavirrat ja niiden suhde ei saa oleellisesti muuttua. Tiiviin pientalon ilmanvaihdon jatkuva toiminta pakkasilla voidaan varmistaa esilämmityksellä, LTO:n ohituksella tai muulla LTO:n tehoa heikentävällä ratkaisulla, kuten pyörivän lämmönsiirtimen pysäyttämällä.

9.3.3 LTO:n ohittaminen kesällä

LTO:ssa tulee olla automaattinen ohitus, jotta käyttäjän ei tarvitse miettiä milloin LTO:n ohitus tulee kytkeä tai kesäkenno asentaa LTO-kennon tilalle. Automaattisella ohituksella varustettuja ilmanvaihtokoneita on lähes kaikilla valmistajilla. Jos LTO:a ei ohiteta kesällä, tuloilman lämpötila nousee tarpeettoman korkeaksi nostaen huonelämpötilaa. Ohitusautomaattikka huolehtii siitä, että ulkoilman viileys hyödynnetään ja tarvittaessa esilämmitetään tuloilmaa LTO:lla. LTO:n ohittamisessa käytetään yleensä ohituspeltiä. Pellin on oltava tiivis, jotta talvella lämmöntalteenottoteho ei heikkene ja kesällä ulkoilmasta saadaan täysi viilennysteho. Pyörivän LTO:n ohittaminen tapahtuu pysäyttämällä lämmönsiirtimen pyörintä.

Koska lämmöntalteenoton hyötysuhteet ovat parantuneet merkittävästi, on joissain tilanteissa tullut esille tarve myös osittaiselle LTO:n ohittamiselle. Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi silloin, kun ulkoilman lämpötila on $0 \dots +5\text{ °C}$, mutta huonelämpötila nousee lämpökuormien vaikutuksesta epäviihtyisän korkeaksi. Tällöin LTO:n täydellinen ohittaminen johtaa suositeltua matalampaan tuloilman lämpötilaan ja suureen tuloilman lämpötilan vaihteluun. Tämä voitaisiin välttää LTO:n osittaisella ohittamisella.

9.4 Kondenssiveden poisjohtaminen ja viemäröinti

Poistoilmasta lämmöntalteenottoon tiivistyvän veden poisjohtaminen on tehtävä toimintavarmalla tavalla. Nykyisin myös jäteilmavirrassa olevaan poistoilmapuhaltimeen voi syntyä huurretta ja jäätä, joiden sulaessa syntyvän veden poisjohtaminen on oltava toimintavarmaa.

Viemäröintiin suositellaan vesilukkoa ja ilmaväliä. Vesilukon tulisi olla kuivanakin tiivis. Ilmavälillä tarkoitetaan sitä, että ilmanvaihtokoneen viemäriputkea ei liitetä kiinteästi viemäriputkeen tai lattiakaivon sisään. Ilmaväli voidaan toteuttaa niin, että viemäri johdetaan esimerkiksi kaatoaltaan päälle tai kourun kautta lattiakaivoon. Näin varmistetaan, ettei missään olosuhteissa tai virhetilanteissa ilmanvaihtokone ime viemäriin hajua sisäänsä.

Kondenssiveden poistoreiän puhdistaminen ja vedenpoiston toimivuuden tarkastaminen on sisällytettävä huolto-ohjelmaan.

9.5 Ilmansuodatus

Ilmansuodattimet (hiukkassuodattimet) jaetaan erotusasteen mukaan suodatinryhmiin ja suodatinluokkiin seuraavasti: karkeasuodattimet (G1 – G4), keskitason suodattimet (M5 – M6), hienosuodattimet (F7 – F9). Pientalon ilmanvaihtokoneen tuloilmapuolelle suositellaan erillistä ulkoilmasuodatinta (yleensä M5) ja erillistä tuloilmasuodatinta (F7). Tämä varmistaa sen, että huoneisiin lähtevä tuloilma suodatetaan viimeiseksi ilmanvaihtokoneesta lähtiessään eikä siihen jää epäpuhtauksia, jotka olisivat peräisin ilmanvaihtokoneesta ja esimerkiksi poistoilmapuolen vuodoista. Ilmanvaihtokoneeseen tuleva poistoilma suodatetaan ilmanvaihtokoneen ja lämmöntalteenottokennon likaantumisen estämiseksi. Poistoilman suodattimen suodatinluokka on yleensä G4 tai M5. Lisätietoja ilmansuodattimesta löytyy Rakennustiedon LVI-ohjeissa LVI 31-10507 ja LVI-31-10508.

Tehokkailla ilmansuodattimilla ulkoa otettavasta ilmasta poistetaan epäpuhtaudet (mm. siitepölyt), jotta sisäilman laatu pysyy hyvänä. Suodatuksen ansiosta myös ilmanvaihtokone ja ilmankanavisto pysyvät puhtaina ja turvallisina. Ilmanvaihtokoneessa tulee olla pinta-alaltaan riittävän kookkaat ja tehokkaat ilmansuodattimet. Suodattimien kiinnityksen koneeseen tulee olla tiivis ohivuotojen eliminoimiseksi (kuva 8). Ohivuotojen kautta epäpuhtaudet pääsevät esteettä sisälle ja todellinen suodatusluokka ei täytä vaatimuksia. Useissa ilmanvaihtokoneissa on huoltomuistutin suodatinvaihtoja varten. Uusien ilmansuodattimien tulee sopia ilmanvaihtokoneeseen ja olla vaadittua suodatinluokkaa. Suunniteltua huonomman tuloilman suodattimen käyttö voi vaikuttaa merkittävästi tuloilmavirtaan.



Kuva 8. Esimerkki puutteellisesti asennetusta ilmanvaihtokoneen ulkoilmasuodattimesta. Ulkoilma pääsee virtaamaan suodattimen ohi.

10. Tulo- ja poistoilmalaitteet

10.1 Ominaisuudet ja mitoitus

Tuloilmalaitteet

Äänenvaimennettu tuloilma johdetaan yläjakoisena lyhyitä ilmakehien pitkin jokaisen huoneen sisä- tai sivuseinälle tai kattoon sijoitettuun hiljaiseen päätelaitteeseen. Tuloilman päätelaitteen tulee olla tehokkaasti huoneilmaa tuloilmaan sekoittava ja tämä edellyttää päätelaitteen riittävää paine-eroa. Tyypillisiä tehokkaaseen ilmanvaihtoon sopivia huoneilmaa sekoittavia päätelaitteita ovat tuloilmalaitteet, joissa puhallus tapahtuu pienistä rei'istä tai suuttimista (kuva 9). Tuloilmasäleiköt eivät sovellu pientalon ilmanvaihdon tuloilmalaitteiksi. Lautasventtiilienkin sekoitusominaisuudet ovat melko vaatimattomat. Kun tuloilman päätelaite sekoittaa tehokkaasti huoneilmaa puhallussuihkun, saadaan aikaan tasainen huonelämpötila sekä ilmanvaihto- että viilennystilanteessa. Puhallussuihkun lämpötila on jo metrin etäisyydellä lähellä huonelämpötilaa, vaikka tuloilman lämpötila voi olla jopa +10 °C. Sekoittavilla päätelaitteilla ei tapahdu huoneilman lämpötilan haitallista kerrostumista. Sekoittavan päätelaitteen puhallussuihkun pituus (heittopituus) on lyhyt eikä oleskelualueella esiinny vetoa.

Poistoilmalaitteet

Poistoilmapäätelaitteiksi valitaan sellaiset, jotka eivät likaannu tai mahdollinen likaantuminen ei pienennä ilmavirtaa. Kaikkien päätelaitteiden sijoittelussa ja valinnassa tulee ottaa huomioon sekä toiminnallisuus että esteettisyys.

Mitoitus

Pientalossa päätelaitteen liitântäkkö tulisi olla vähintään 125 mm ääni- ja virtausteknisen toimivuuden varmistamiseksi. Ainostaan esimerkiksi vaatehuoneissa ja saunoissa voidaan käyttää pienempää liitântäkköä. Päätelaitteiden säätö ja mittaus on pystyttävä tekemään luotettavasti. Päätelaitteen rakenteen tulee olla tukeva, jottei säätöasento muutu laitetta käsiteltäessä ja asennettaessa.



Climecon Oy



Climecon Oy



EH-Muovi Oy



Fläkt Woods Oy

Kuva 9. Sekoittavia tuloilman päätelaitteita. Ilma sekoittuu tehokkaasti ja ilma vaihtuu tasaisesti koko huoneessa. Laitteista voidaan puhaltaa allämpöistä ilmaa vedottomasti.

Päätelaitteiden paine-eron tulisi olla suunnitelluilla käyttöajan tehostamattomilla tuloilmavirroilla vähintään 20 Pa ja poistoilmavirroilla 30 Pa. Paine-erot voivat olla suurempiakin, jos päätelaitteiden virtaus- ja äänitekniset ominaisuudet sallivat. Ilmanjaon tulee toimia myös tehostusilmavirroilla, eikä melu tai veto saa estää tehostusta. Kun päätelaitteella on riittävä paine-ero ja kanaviston painehäviö on pieni, niin kanavistossa on lähes vakio paine, ilmavirrat ovat hallittuja ja säätävät esisäätöarvojen mukaan itsestään

oikeiksi. Riittävän vakaata painetasoa puoltaa sekin, että tasavirtapuhaltimilla varustetut ilmanvaihtokoneet ovat tyypillisesti herkkiä pienillä säätöasunnoilla pienillekin paine-eron vaihteluille, jotka voivat aiheuttaa suuriakin ilmavirran muutoksia.

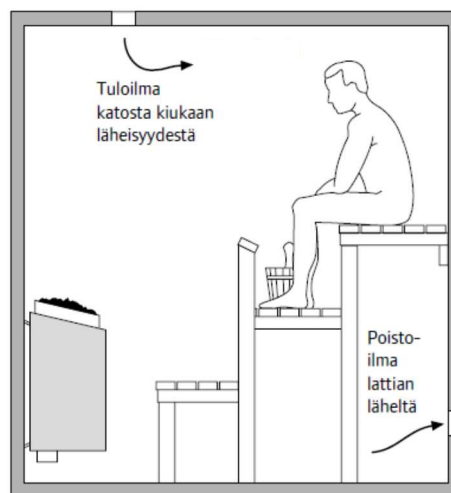
Päätelaitteiden sijoitteluun vaikuttaa paljon ilmakanaviston reititys yhdessä toimivan ilmanjaon varmistamisen kanssa. Tehokkaasti huoneilmaa tuloilmaan sekoittavalla päätelaitteella tuloilma voidaan puhalttaa vapaasti seinän yläosasta tai katosta. Päätelaitteet on valittava ja sijoitettava niin, etteivät seinä- ja kattopinnat likaannu. Tuloilmalaitteet asennetaan yleensä sisäseinille. Esimerkiksi sisäseinältä ikkunaa kohti puhallettaessa huoneessa ei tunnu vetoa eikä lämpötilojen kerrostumisesta ole pelkoa.

Valittujen päätelaitteiden esisäätöarvot, äänitasot ja paine-erot merkitään suunnitelmiin.

Saunan ilmanvaihto

Saunassa tulee olla hallittu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Se sopii sekä sähkö- että puulämmitteiseen saunaan. Saunassa ilmanvaihtokoneesta tuleva tuloilma puhalletaan kiukaasta nousevaan ilmavirtaukseen, jolloin ilma sekoittuu tehokkaasti ja lämpötilakerrostuma pienenee (kuva 10). Tuloilmalaitte sijoitetaan yleensä kattoon. Jos tuloilmalaitte sijoitetaan seinään, niin sen etäisyyden kiukaasta tulee olla vähintään 0,5 m. Tuloilmavirta ja puhalluksen suuntaus voi olla saunojan säädettävissä. Poistoilma otetaan lauteiden alta, noin 30 cm lattiasta. Etenkin pienissä saunoissa poisto voidaan järjestää vaihtoehtoisesti niin, että saunan ilma johdetaan oven alta pesuhuoneeseen ja poistetaan pesuhuoneen poistoilmalaitteen kautta. Tällöin saunan kattoon voidaan asentaa suljettavissa oleva poistoilmalaitte käyttäjän ulkopuolelta ilmanvaihtoa varten. Puulämmitteisen kiukaan tarvitsema palamisilman tuonnissa voidaan noudattaa muiden tulisijojen ohjeistusta. Mikäli palamisilmaa ei tuoda suoraan kiukaan sisään, voidaan palamisilma tuoda saunan alaosaan sijasta yläosaan, jolloin saunan alaosa ei viilene.

Saunan tuloilmavirta on voidaan suunnitella ja säätää hieman saunomisen aikaista poistoilmavirtaa suuremmaksi, jotta saunan oven alta ei tule viileää ilmaa saunan alaosaan viilentäen saunojan jalat ja aiheuttamaan epäviihtyisyyttä. Mikäli poisto sijaitsee pesuhuoneen puolella, tällaista epäkohtaa ei esiinny.



Kuva 10. Saunan ilmanvaihdon toteutusperiaate. Kattopuhalluksen vaihtoehtona tuloilma voidaan tuoda kiukseen vähintään 50 cm kiukaan yläpuolelta. Ilman poisto joko lauteiden alta (noin 30 cm lattiasta) tai oven alta pesuhuoneeseen.

Keittiön kÄrynpoisto ja ilmanvaihto

Keittiön kÄrynpoisto suositellaan tehtäväksi liesikuvulla, jossa on tehokas rasvasuodatus (vähintään C-luokkaa) ja jonka kÄrynsieppauskyky on vähintään 80 %. Lisäksi keittiön kattoon suositellaan poistoilmalaitetta, jolla hoidetaan keittiön yleispoisto ruoanlaittoajan ulkopuolella ja voidaan hieman vähentää etenkin saarekemallisissa keittiöissä liesikuvun ohi kulkeutuvien epäpuhtauksien leviämistä muihin tiloihin. Keittiön katto voidaan lisäksi rajata huuvamaiseksi tilaksi, josta poistoilmalaite imee epäpuhtaudet pidemmän ajan kuluessa pois.

Liesikupujen kÄrynpoistokyvyille ei ole yleensä esitetty vaatimuksia. Asuntoilmanvaihdossa käytettävien liesikupujen kÄrynsieppauskyky on yleensä melko huono. Etenkin nykyaikaisilla design-kuvuilla kÄrynsieppauskyky on yleensä huono, koska imupinta on tasomainen ja kÄryjä keräävä huuva puuttuu. Perinteisillä seinään kaapiston väliin asennettavilla liesikuvuilla kÄrynsieppauskyky on design-kupuja parempi. Kuvassa 11 esitetään liesikupumalleja.

Huonoa kÄrynsieppauskykyä ja -poistokykyä paikataan liesikuvuissa ja liesituulettimissa suurentamalla ilmavirtaa. Samalla melutaso nousee häiritsevän korkeaksi, jopa tasolle 60 dB(A). Liesikuvun poistotehokkuutta voidaan parantaa valitsemalla isolla sisätilavuudella varustettu kupu tasomaisen imupinnan sijasta. Enimmäisäänitason tulisi olla alle 38 dB(A).

Liesikuvussa on oltava tehokas rasvasuodatus, joka estää kanaviston ja ilmanvaihtolaitteiden likaantumisen. Liesikuvun tehostetun poistoilmavirran tulisi olla vähintään 40 dm³/s. Tehostusilmavirralla liesikuvun kÄrynsieppauskyvyn tulisi olla 80 % ja rasvanerotuskyvyn tulisi olla vähintään 75 % eli vähintään liesituulettimien ekosuunnitteluasetuksen 65/2014 C-luokan mukainen rasvasuodatustehokkuus. Liesikuvun tulee täyttää äänivaatimukset maksimipaine-erollakin.



Kuva 11. Keittiön liesikupuja (Vallox Oy).

10.2 Ilmavirtojen esisäätö, mittaus ja perussäätö

Pientalon ilmanvaihtojärjestelmä saattaa olla hyvin suunniteltu ja oikein mitoitettu, laitevalinnat ja asennustyö on tehty onnistuneesti, mutta ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä järjestelmän säädöt jätetään tekemättä tai tehdään huonosti.

Säätöjen tekemistä vaikeuttaa sekin, että ilmanvaihtosuunnittelijat eivät yleensä anna kovin hyviä lähtötietoja käyttöönottoon ja perussäätöön.

Ilmanvaihdon päätelaitteina tulee käyttää laadukkaita, asetetut vaatimukset täyttäviä, käyttötarkoitukseen sopivia ja helposti säädettäviä päätelaitteita. Ilmavirtojen perussäätöä helpottaa, jos suunnitelmiin on merkitty ilmavirtojen lisäksi päätelaitteen perussäätöarvo ja paine-ero. Tapa on vielä harvinainen, mutta sen soisi yleistyvän. Vastaavat tiedot voisi merkitä myös päätelaitteeseen.

Oppaan laadinnan yhteydessä tehtyjen pientalojen ilmanvaihtojärjestelmien tarkastuksen yhteydessä havaittiin, että suurimmassa osassa pientaloja ilmanvaihtojärjestelmän perussäädöissä oli puutteita.

Ilmanvaihtojärjestelmän perussäädössä tilakohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat asetetaan suunnitelmien mukaisiksi, varmistetaan, että rakennuksen kokonaisilmavirrat ovat suunnitelmien mukaiset ja tasapainossa sekä varmistetaan, että tulo- ja poistoilmakanavistossa painetaso on oikea. Lisäksi ilmanvaihtokoneen esiasetettavat säätöasetnot laitetaan suunnitelmien mukaisiksi.

Yksi yleisimmistä virheistä on säätää ilmavirrat liian pienille kanavistopaineille. Tämä voi johtua siitä, että muutoin suunnitelmien mukaista ilmavirtaa ei päätelaitteesta saada käytetyllä ilmanvaihtokoneen säätöasetnolla. Varsinkaan tuloilman päätelaitteita ei saa avata liian auki, jotta suunniteltu ilmavirta toteutuisi. Aina tuloilmakanavan kanavapaineita ei edes mitata, sillä ilmavirtoja voidaan mitata myös suoraan virtausnopeuteen perustuen. Jos kanavistopaine on pieni, niin ilmavirtojen mittausta on epävarmaa mittausmenetelmästä riippumatta ja ilmanvaihdon hallinta ja tehokkuus heikkoa. Jos taas päätelaitteita kuristetaan liikaa, kanaviston paine voi nousta liian korkeaksi. Tästä seuraa yleensä ääniongelmia ja ilmanvaihtokoneessa ei välttämättä riitä puhti tehotustilanteessa. Myös energiatehokkuus heikkenee.

Jos tilakohtaiset ilmavirrat eivät ole suunnitelmien mukaiset, joidenkin tilojen ilmanvaihto voi jäädä puutteelliseksi. Pienet tilakohtaiset poikkeamat (Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan hyväksyttävä poikkeama on ± 20 %) eivät aiheuta yleensä ongelmia, jos rakennuksen kokonaisilmavirrat ovat tasapainossa. Usein käy kuitenkin niin, että tilakohtaiset ilmavirrat poikkeavat samaan suuntaan ja koko rakennuksen yhteenlasketut ilmavirrat ovat epätasapainossa. Jos ulkoilmavirta on suurempi kuin jäteilmavirta, niin rakennuksesta saattaa tulla ylipaineinen. Tällöin kosteaa huoneilmaa saattaa vuotaa haitallisesti rakenteisiin. Toisaalta taas tulisijan vedossa ei ole yleensä ongelmia. Jos taas ulkoilmavirta on reilusti pienempi kuin jäteilmavirta, niin rakennuksesta saattaa tulla liian alipaineinen. Liiallinen alipaine sisällä ilmenee muun muassa tulisijan huonona vetona. Lisäksi ulko-ovia voi olla vaikea avata. Voimakas alipaine voi imeä epäpuhtauksia rakenteista ja maasta.

Lopullinen ilmanvaihdon taso eli kokonaisilmavirrat asetetaan kohdalleen ilmanvaihtokoneen tehoa hienosäätämällä. Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan hyväksyttävä poikkeama järjestelmäkohtaisesti ilmavirroissa on ± 10 %. Tämä sisältää sekä mittaustuloksen poikkeamat että mittausepävarmuuden. Hyväksyttävää poikkeamaa ei tule hyödyntää ilmavirtojen säädössä esimerkiksi säätämällä ilmavirrat 10 % suunniteltua pienemmiksi. Ilmavirrat tulee säätää suunnitelluiksi ja oikeaan tasapainoon, jossa ulkoilmavirta on hieman pienempi kuin jäteilmavirta ja rakennus on lievästi alipaineinen. Tällöin tulisija vetää, mutta paine-eroa ei havaitse ovia tai ikkunoita avattaessa. Suositeltava alipaine on niin pieni, ettei se ime epäpuhtauksia rakenteista ja maasta. Yleensä 1 - 3 Pa on sopiva paine-ero. Nykyaikaisessa tiiviissä pientalossa tämä tarkoittaa, että ulko- ja jäteilmavirran suhde on 90 - 95 %.

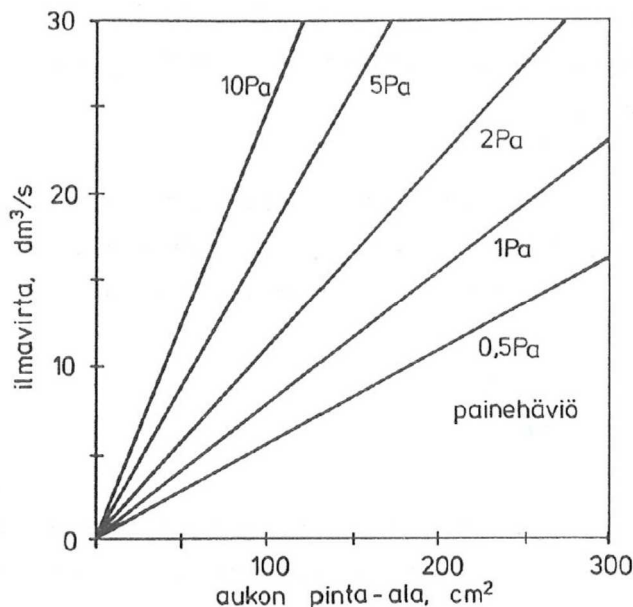
11. Siirtoilmalaitteet ja -ratkaisut

Erillisiin tiloihin, joissa voi syntyä runsaasti epäpuhtauksia (WC, pesuhuone, vaatehuone), suunnitellaan yleensä pelkästään poistoilmanvaihto ja korvausilma otetaan siirtoilmana puhtaammista tiloista. Siirtoilman käyttö lisää ilmanvaihdon tehokkuutta, koska samalla ilmalla on jo hoidettu puhtaamman asuintilan ilmanvaihto. Lisäksi siirtoilman käyttö vähentää epäpuhtauksien ja hajujen leviämisvaaraa, koska likaisempi tila pysyy lievästi alipaineisena puhtaaseen tilaan verrattuna. Jos esimerkiksi pieneen WC-tilaan johdettaisiin myös tuloilmaa, hajut saattaisivat levitä. Jos esimerkiksi makuuhuoneeseen suunnitellaan tasapainoinen tulo- ja poistoilmanvaihto, niin väliovi voi olla tiivis, eikä siirtoilmareittiä tarvita.

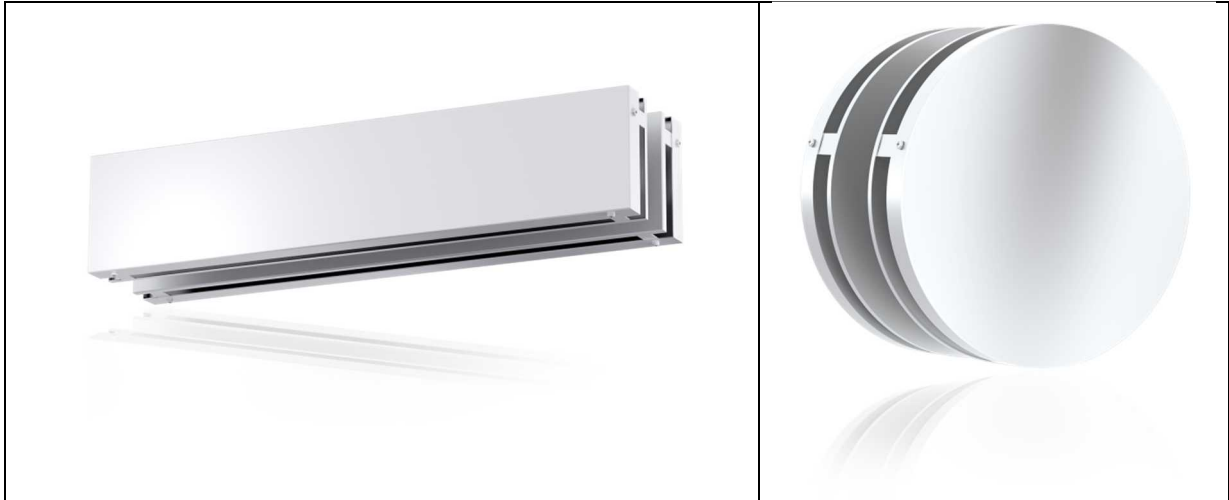
Siirtoilmareittejä tarvitaan tavallisesti asuinhuoneista käytävätiloihin ja niistä edelleen poistoilmakohteisiin. Siirtoilmareittien paine-ero mitoitetaan niin pieneksi, että paine-eron vaikutus ilmavirtoihin ja tilojen paineeseen on vähäinen. Oviraot ja muut siirtoilmareitit asunnon sisällä on suunniteltava ja toteutettava siten, että tehostamattomalla ilmanvaihdolla huoneiden välisen siirtoilma-aukon paine-ero on enintään 1 – 2 Pa (kuva 12). Virtauspinta-ala on yleensä vähintään 240 cm², joka vastaa suuruusluokaltaan 160 mm:n ilmanavaa. Siirtoilmareittinä toimivan oven kynnyksraon suositeltava korkeus on 2 - 3 cm. Tämä voi edellyttää muutoksia nykyisiin väliovi-, karmi- ja kynnyksratkaisuihin.

Suunnittelussa on otettava huomioon myös huoneiden väliset ääneneristysvaatimukset. Ääntäeristäviä siirtoilmalaitteita esitetään kuvassa 13. Oveen yhdistetty siirtoilma-aukko ei saa huonontaa oven ääneneristävyyttä merkittävästi.

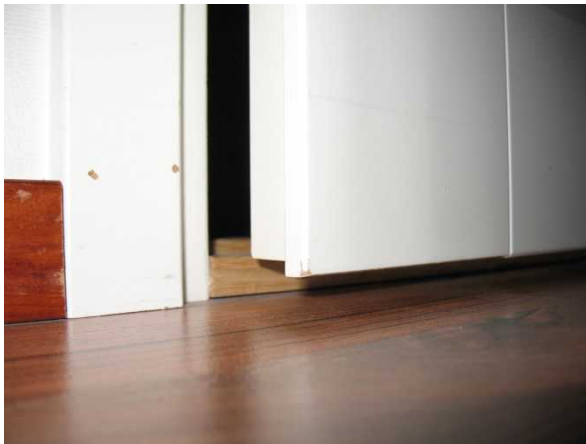
Oviraot ja muut siirtoilmareitit asunnon sisällä on myös toteutettava suunnitelmien mukaisesti. Oppaan laadinnan yhteydessä tehdyissä tarkastuksissa havaittiin, että suunniteltuja siirtoilma-aukkoja puuttui (kuva 14). Yleensä kyse oli puuttuvista oviraioista. Siirtoilmareittien tärkeys korostuu, koska väliovissa on nykyisin usein tiivisteet



Kuva 12. Pientalon huoneiden välisen siirtoilma-aukon painehäviö aukon pinta-alasta ja siirtoilmavirrasta riippuen, kun aukon kertavastuskerroin on 2,8. Painehäviö saa olla enintään 1 - 2 Pa, mutta mielellään pienempi. Jos välioven leveys on 80 cm ja oviraon korkeus 3 cm, siirtoilma-aukon pinta-ala on 240 cm². Jos siirtoilmavirta on 12 dm³/s, siirtoilma-aukon painehäviö on alle 0,5 Pa. Lähde: Pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluperusteet, 1989. KTM sarja D:175.



Kuva 13. Huoneiden välistä ääneneristävyyttä parantavia äänenvaimennettuja siirtoilmalaitteita (Climecon Oy)



Kynnys tukkii siirtoilma-aukkona toimivan oviraon kokonaan.



Kynnyksen tilalla on peitelista ja oven ja lattian väliin jää riittävä ovirako siirtoilmalle.

Kuva 14. Siirtoilmareitit tulee toteuttaa suunnitelmien mukaisesti. Kuvat ovat oppaan laadinnan yhteydessä tehdyiltä tarkastuskäynneiltä.

12. Ilmakanaviston mitoitus ja eristykset

12.1 Ilmakanavien mitoitus

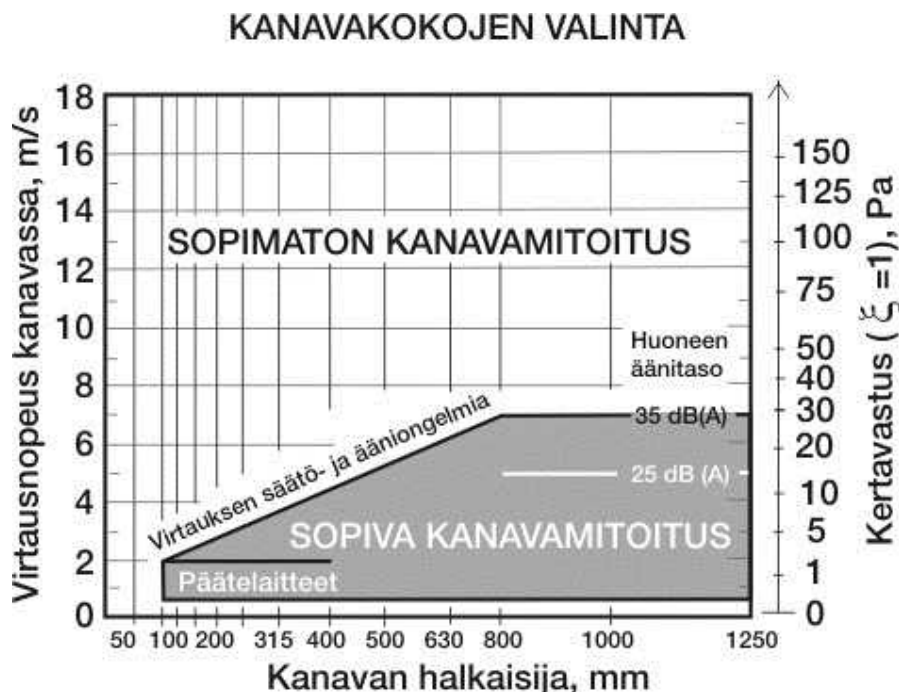
Ilmakanavat on määräysten mukaan mitoitettava käyttöajan tehostetuille ilmavirroille (RakMk osa D2, liite 1).

Oikealla virtaus- ja ääniteknisellä mitoituksella ja tehokkaalla äänenvaimennuksella ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan käytännössä äänetön (kuva 15). Äänenvaimentamiseen suositellaan käytettäväksi ilmanvaihtokoneeseen liitettävää äänenvaimennusyksikköä, jonka äänenvaimennusominaisuudet tulo-, poisto-, ulko- ja jäteilmakanaviin tunnetaan.

Ilman virtausnopeudet kanavistossa käyttöajan tehostamattomilla ilmavirroilla ovat 1 - 2 m/s. Lyhyissä ilmanvaihtokoneelta lähteivissä kanavissa virtausnopeus voi olla enintään 3 - 5 m/s. Halkaisijaltaan suurissa kanavissa voidaan käyttää hieman suurempia virtausnopeuksia kuin pienissä kanavissa. Kaikkein pienimmillään virtausnopeuden tulee olla mahdollisiin kokoojalaatikoihin tulevissa kanavissa ja päätelaitteiden liitoksissa, noin 1 m/s.

Kun kanaviston painehäviö on pieni, niin kanavistossa voidaan pitää lähes vakiopainetta ja ilmavirrat säätävät esisäätöarvojen mukaan kohtuullisen tarkasti oikeiksi. Tämä helpottaa säätötyötä.

Energiatehokkaan pientalon kanavistomitoitus esitetään taulukossa 2. Mitoitus perustuu VTT:n ohjeen virtaus- ja äänitekniseseen mitoitukseen ja edellä esitettyihin virtausnopeuksiin. Ilmakanavien mitoitus on varmistettava myös tehostusilmavirroilla. Valittujen päätelaitteiden esisäätöarvot, äänitasot ja paine-erot merkitään suunnitelmiin.



Kuva 15. Ilmanvaihdon kanavien ja päätelaitteiden mitoitus ääni- ja virtausteknisesti toimiviksi VTT mitoitusohjeen mukaan (LVI 30-40008).

Taulukko 2. Energiatehokkaan pientalon suositellut enimmäisilmavirrat ja niitä vastaavat kanavakoot. Mitoitus perustuu VTT:n ohjeen virtaus- ja äänitekniiseen mitoitukseen (LVI 30-40008) ja edellä esitettyihin virtausnopeuksiin.

Kanavan halkaisija	Tehostamaton ilmavirta päätelaitteessa	Tehostamaton ilmavirta-alue	Tehostettu ilmavirta
mm	dm ³ /s/päätelaite	dm ³ /s	dm ³ /s
100 mm 1)	(6)	(6 - 12)	(18)
125 mm	12	12 - 24	36
160 mm	20	20 - 40	60
200 mm	30	30 - 60	100
250 mm	50	50 - 100	200

1) 100 mm kanavien käyttö tulisi rajoittaa virtaus- ja äänitekniisen toimivuuden varmistamiseksi vain pieniin ilmavirtoihin, kuten esimerkiksi vaatehuoneiden ja pienten varastojen poistoilmavirrat. Esimerkiksi makuuhuoneissa suositellaan aina vähintään 125 mm:n tuloilmakanavia.

12.2 Ilmakanavien lämmön- ja kosteudeneristys

Ilmakanavien lämpöhäviöt aiheuttavat ilmanvaihdon lämmöntalteenoton heikkenemistä sekä ylimääräistä lämmitys- ja viilennystarvetta. Ilmakanavien lämpöhäviöt minimoidaan sopivalla huonejärjestyksellä ja sijoittamalla ilmanvaihtokone ja ilmakanavisto sisätiloihin niin, että ilmakanavistosta tulee mahdollisimman lyhyt ja yksinkertainen lämpöeristää. Tarvittaessa järjestelmä voidaan hajauttaa ja käyttää useampia ilmanvaihtokoneita (esimerkiksi kerros, saunaosasto, autotalli). Tulo- ja poistoilmakanavien kosteusvaurioiden ja homeiden kasvun estämiseksi ilmakanavia ei suositella asennettavaksi ullakotilaan höyrynsulun ulkopuolelle. Turvallisinta on sijoittaa tulo- ja poistoilmakanavat kulkemaan lämpimissä tiloissa. Jos lämpimiä kanavia sijoitetaan kylmälle ullakolle, siitä aiheutuu ilma- ja kosteusvuotoriskejä sekä turhia ylimääräisiä lämpöhäviöitä, jotka heikentävät lämmöntalteenoton tehoa. Kanavat asennetaan suunniteltuihin reititystiloihin, joissa on riittävät tilat eristyksille ja huoltotoimenpiteille. Suositeltavinta on sijoittaa ilmanvaihtokone ulkoseinälle, jolloin ulkoilmakanava ja joissain tapauksissa myös jäteilmakanava voidaan johtaa suoraan seinän läpi ulos. Ulkoseinän ja ilmanvaihtokoneen väliin tulee jättää tuuletusrako.

Pientalon sisällä lämpimissä tiloissa kulkevat kylmät ulko- ja jäteilmakanavat lämmöneristetään niin, ettei kanavassa virtaava ilma lämpene merkittävästi eli mielellään ei yli 1 °C. Samalla estetään poistoilman lämmöntalteenoton tehon heikkeneminen ja ympäröivien tilojen lämmitystarpeen oleellinen lisääntyminen.

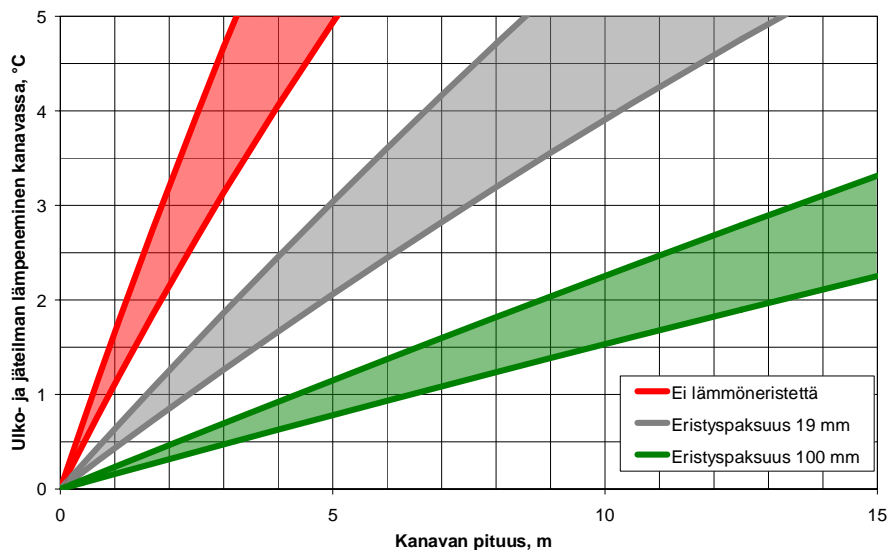
Ulko- ja jäteilmakanavat tulee pyrkiä suunnittelemaan mahdollisimman lyhyiksi ja eristettävä tehokkaasti. Jotta ilman lämpeneminen jäisi enintään yhteen asteeseen, suositellaan lyhyetkin ulkoilmakanavat lämmöneristettäviksi vähintään 100 mm mineraalivillaa vastaavalla lämmöneristeellä ja kondenssieristettävä höyrytiivillä pinnalla sisätiloissa. Jäteilmakanavassa vastaava suositeltu eristyspaksuus on vähintään 60 mm. Myös jäteilmakanavan eristeessä tulee olla höyrytiivispinta sisätiloissa. Ulkona kylmissä tiloissa ulko- ja jäteilmakanavien eristykseen ei tule asentaa höyrytiivistä pintaa. Mikäli jäteilma puhalletaan seinästä ulos, jäteilmakanavan eristyspituus jää yleensä lyhyeksi. Lämmöneristuksen vaikutus ulko- ja jäteilman lämpenemiseen eri kanavapituuksilla eristeen lämmönjohtavuudella 0,04 W/mK esitetään kuvassa 16.

Pientalon sisällä lämpimissä tiloissa kulkevat tuloilmakanavat on lämpöeristettävä, jos tuloilmaa käytetään viilennykseen tai lämmitykseen. On suositeltavaa ja edullista varautua viilennyksen lisäämiseen tulevaisuudessa eristämällä tuloilmakanavat jo rakentamisvaiheessa. Tuloilmakanavien lämmöneristys auttaa viilennystehon siirtymistä huoneisiin, koska eristetyssä kanavassa virtaava viilennysilma ei lämpene merkittävästi.

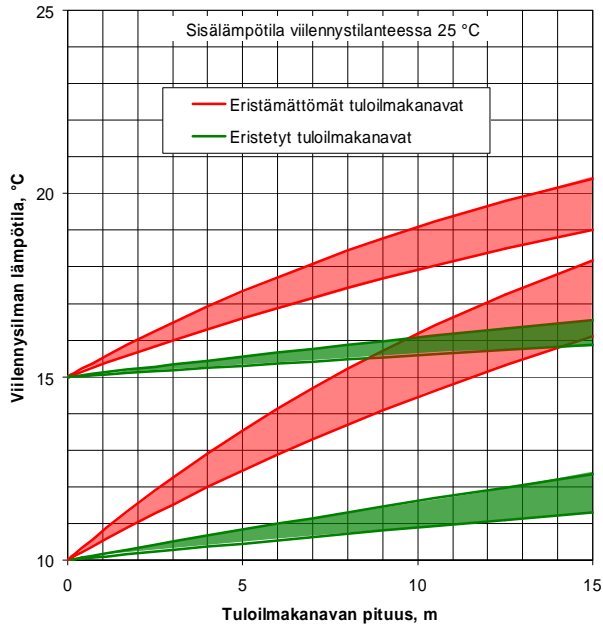
Lisäksi eristys estää huoneilman kosteutta tiivistymästä kanavan viileään ulkopintaan. Sopiva höyrytiivillä pinnalla varustetun eristyksen paksuus on yleensä vähintään 10 mm. Pientalon sisällä kulkevia poistoilmakanavia ei yleensä tarvitse eristää.

Lämpimissä tiloissa kulkevat tuloilmakanavat on lämpöeristettävä, jos tuloilmaa käytetään viilennykseen. Kuvassa 17 esitetään tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus tuloilman lämpenemiseen viilennystilanteessa. Tuloilmakanavien tulee olla lyhyet ja tehokkaasti lämmöneristetyt, jotta viilennystehot siirtyvät hallitusti huoneisiin. Ilman lämmöneristystä 10 °C:n lämpöinen viilennysilma lämpenee 10 metrin pituisessa kanavassa yli 6 °C. Viilennystehoa menetetään yli 40 %. Tehokkaasti eristettynä lämpeneminen on alle 1 °C. Pelkästään viilennyskäytössä olevat tuloilmakanavat tulee eristää (tai lyhentää) niin, että tuloilman lämpeneminen kanavistossa on enintään 1,5 °C.

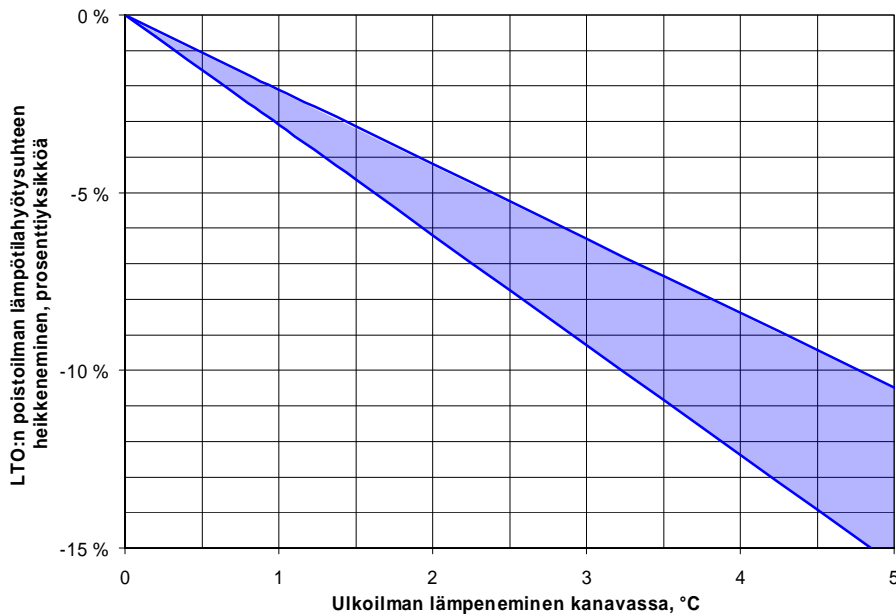
Ulkoilma- ja jäteilmakanavien puutteellinen lämmöneristys heikentää poistoilman lämmöntalteenoton tehoa merkittävästi. Kuvissa 18 ja 19 esitetään ilman lämpenemisen vaikutus poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) tehokkuuteen poistoilman lämpötilahyötysuhteella esitettynä. Jos ulkoilma lämpenee ulkoilmakanavassa 5 °C, lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde heikkenee 10 – 15 prosenttiyksikköä 65 %:sta jopa 50 %:iin. Jos samanaikaisesti jäteilma lämpenee jäteilmakanavassa 3 °C, lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde heikkenee edelleen 10 – 15 prosenttiyksikköä. Ilman lämpeneminen ulkoilmakanavassa (5 °C) ja jäteilmakanavassa (3 °C) heikentää lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhdetta 65 %:sta jopa 35 %:iin. Ilmanvaihdon energiatehokkuutta kuvaavan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen heikkeneminen on samaa suuruusluokkaa.



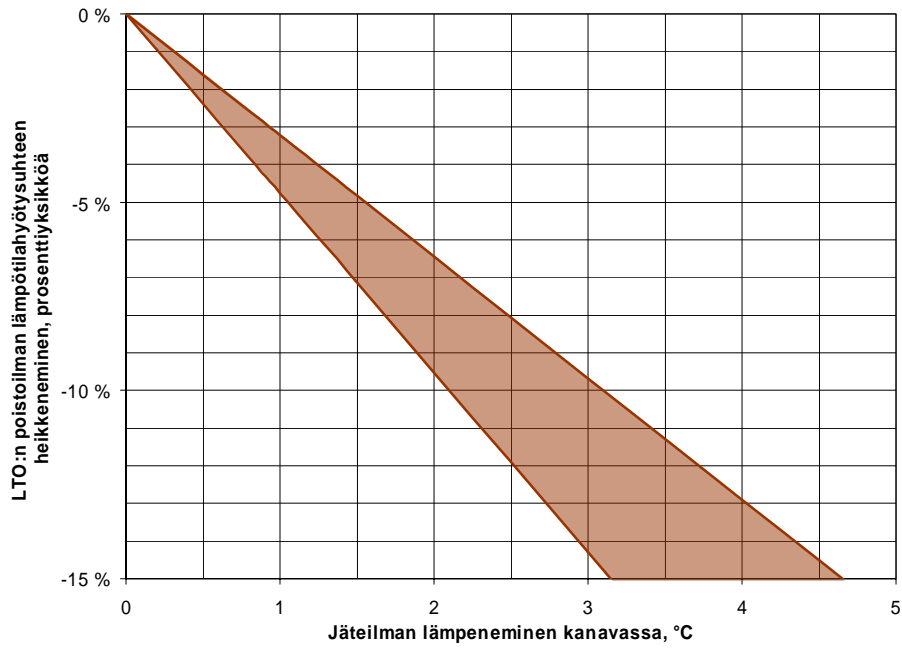
Kuva 16. Kanavan lämmöneristyksen paksuuden ja pituuden vaikutus ilman lämpenemiseen ilmanvaihtokoneeseen tulevassa ulkoilmakanavassa ja koneesta lähtevässä jäteilmakanavassa talvella. Talvitilanteessa on käytössä käyttöajan tehostamaton ilmanvaihdon ulko- ja jäteilmavirta. Ilman nopeus 1,5 m/s. Alueen alareuna vastaa ilman lämpötilaa 0 °C ja yläreuna ilman lämpötilaa -10 °C. Eristeen lämmönjohtavuus on 0,04 W/mK. Lähde: VTT-R-08496-09.



Kuva 17. Tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus ilmanvaihtokoneelta lähtevän tuloilman lämpenemiseen kanavassa viilennystilanteessa kesällä tai talvella. Viilennystilanteessa on käytössä tehostettu ilmanvaihdon ulkoilmavirta. Ilmastointikoneelta lähtevän tuloilman lämpötilä on 10 °C tai 15 °C. Eistetyt tuloilmakanavat eristyspaksuus on 19 mm (vihreän alueen yläreuna) tai 50 mm (vihreän alueen alareuna). Eisteen lämmönjohtavuus on 0,04 W/mK. Lähde: VTT-R-08496-09.



Kuva 18. Ulkoilman kanavassa lämpenemisen vaikutus ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteeseen. Lähtötasona on poistoilman lämpötilahyötysuhde 65 %. Ilman nopeus 1,5 m/s. Lähde: VTT-R-08496-09.



Kuva 19. Jäteilman kanavassa lämpenemisen vaikutus ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteeseen. Lähtötasona on poistoilman lämpötilahyötysuhde 65 %. Ilman nopeus 1,5 m/s. Lähde: VTT-R-08496-09.

13. Ulkoilman sisäänotto

Tuloilman puhtauteen vaikuttavat erityisesti sisään otettavan ulkoilman puhtaus. Ulkoilma tulee ottaa puhtaalta puolelta taloa ja riittävän korkealta alapuolisen maan tai tason pinnasta. Ulkoilmaa ei tule ottaa läheltä ilman puhtautta heikentäviä laitteita kuten liesikuvun tai keskuspölynimurin poistoa (kuva 20) eikä läheltä savupiippua. Ulkoilmaa ei saa ottaa ilman laatua heikentävän rakennusosan kautta tai rakenteen sisältä eikä lasitetulta parvekkeelta ja vesikaton alapuolisesta ullakkotilasta. Jos ulkoilma otetaan sisään muun kuin hyväksytyyn ilmanvaihtokanavan kautta, tulee sisäänottoreitin täyttää ilmanvaihtotuotteiden laatuvaatimukset, etenkin tiiviyn, puhtauden ja puhdistettavuuden osalta. Tällaisia rakenteita voivat olla esimerkiksi rakenneaineiset kammiot ja ilmaa esilämmittävät rakenteet.

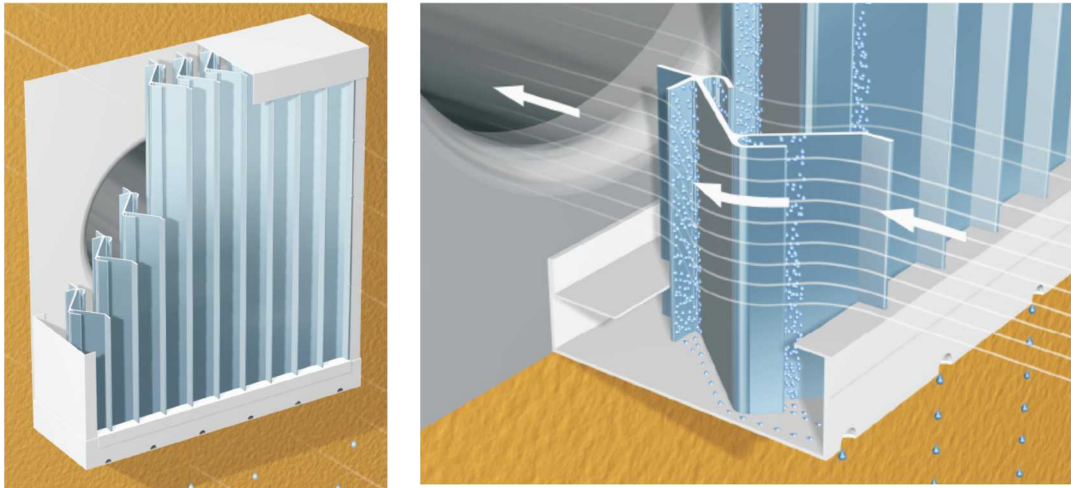
Ulkovaipan läpivientikohta on tehtävä tiiviiksi ja ulkoilmakanava on lämpöeristettävä läpivientikohdassa. Sadeveden on päästävä valumaan turvallisesti pois eikä rakenteen sisään.

Ulkoilmasäleikössä ei saa olla tiheää verkkoa, koska se kerää roskia, jotka tukkivat koko säleikön. Ulkoilmasäleikön sadeveden erotuskyvyn tulee olla hyvä ja ilman virtausnopeuden pitää olla pieni, ettei kanavaan joudu vettä tai lunta. Paljon pientaloissa käytetyt vaakasäleiset ulkosäleiköt erottavat melko huonosti sadevettä varsinkin, jos otsapintanopeus on suuri. Tämä voi aiheuttaa kanavissa, äänenvaimentimissa, lämpöeristeissä ja seinärakenteissa kostumista. Jos kosteus ei pääse luonnollista tietä haihtumaan, voi syntyä homevaurioita. Tällaisia huonosti vettä erottavien säleikköjen aiheuttamia kosteusvaurioita on Suomessa todettu useita (Asikainen 2006). Jos ulkoilma otetaan sisään kammion tai vastaavan osan kautta, on mahdollisen kammioon tulevan veden poisjohtaminen toteutettava toimivalla ja turvallisella tavalla.

Ulkoilmasäleikön hyvä sadevedenerotuskyky voidaan toteuttaa esimerkiksi pystysäleisellä vedenerotussäleiköllä. Ulkoilmasäleikön sadeveden erotusasteen tulee olla tuulisella (13 m/s) säällä vähintään 95 – 100 % (kuva 21). Sisään otettavan ulkoilman mukana ei tule haitallisessa määrin lunta kanavistoon, jos ulkoilmasäleikön otsapintanopeus on mahdollisimman pieni, enintään 0,5 – 1,0 m/s. Pakkasella huurteen muodostuminen ulkoilmasäleikköön on mahdollista. Huurteen muodostumista voi ehkäistä esimerkiksi räystäiden tai muiden rakenteiden varjostuksella tai asentamalla säleikön päälle huuvan.



Kuva 20. Ilmanvaihdon ulkoilman sisäänottosäleikkö ja keskuspölynimurin jäteilman ulospuhallus ovat liian lähellä toisiaan. Keskuspölynimurin jäteilmaa ei tule myöskään puhaltaa oleskelualueille.



Kuva 21. Veden pääsy ulkoilmakanavistoon estetään vedenerotussäleiköllä. Törmätessään pystysäleiden uriin pisarat vähitellen kasvavat ja valuvat alas vesipohjaan ja sieltä ulos.

14. Jäteilman ulospuhallus

Rakentamismääräyskokoelman (RakMk) osan D2 mukaan jäteilma on johdettava ulos siten, ettei rakennukselle, sen käyttäjille tai ympäristölle aiheudu terveydellistä tai muuta haittaa.

Koska jäteilma on kylmää, on jäteilmakanava lämpöeristettävä (höyrytiivis pinta) lämpimissä sisätiloissa jäteilman lämpenemisen ja ulkopinnan kondenssin estämiseksi. Jäteilmakanava on lämpöeristettävä (ei höyrytiivistä pintaa) myös mahdollisella ullakolla ja ulkona, jotta kanavan sisällä olevasta kosteasta jäteilmasta ei tiivisty vettä kanavan sisäpuolelle.

Jäteilman ulospuhalluslaitteen tulee olla ääni- ja virtausteknisesti käyttötarkoitukseen sopiva ja sadevedenpitävä. Jäteilman ulospuhalluksessa voidaan tarvita äänenvaimennusta myös ulos leviävän melun vaimentamiseen.

Kattopuhallus

Pientalon jäteilma puhalletaan yleensä ulos vesikatolta. Määräyksissä ohjeistetaan johtamaan jäteilma rakennuksen korkeimman osan vesikaton yläpuolelle ja suuntaamaan puhallus ylöspäin, jotta jäteilman pääsy ulkoilmalaitteisiin, ikkunoihin ja oleskelualueille estetään.

Vesikaton läpivienti on syytä tehdä valmiilla läpivientiosilla vesitiiviyden ja muun toimivuuden varmistamiseksi.

Seinäpuhallus

Asuinkerrostaloja on toteutettu siten, että huoneistokohtainen jäteilma puhalletaan ulkoseinän läpi ulos. Ratkaisu vähentää kerrosten läpi menevien kanavien määrää, mutta vaatii kohdekohtaiset perusteet rakennusvalvonnalle. Myös pientaloissa voidaan käyttää jäteilman seinäpuhallusta. Se voi joissain tapauksissa helpottaa ja lyhentää jäteilman kanavointia, parantaa virtausteknistä toimivuutta ja vähentää kanavoinnista aiheutuvia lämpö- ja kosteusteknisiä riskejä. Pientalossa jäteilman seinäpuhallus on perusteltua esimerkiksi silloin, kun jäteilmakanavaa jouduttaisiin kattopuhalluksessa kuljettamaan pitkän matkaa lämpimissä tiloissa (esimerkiksi monikerroksiset kivitalot).

Pientalon jäteilman seinäpuhalluksessa **voidaan soveltaa** RakMk osassa D2 luokan 1 jäteilmalle annettuja ohjeita, joiden mukaan luokan 1 jäteilma voidaan johtaa ulos rakennuksen seinässä olevan jäteilmalaitteen kautta seuraavin edellytyksin:

- 1) jäteilmalaitteen etäisyys naapuritontista on vähintään 4 m sekä vastapäisestä rakennuksesta vähintään 8 m;
- 2) ilmavirta on enintään 1 m³/s;
- 3) jäteilmalaitteen etäisyys samalla seinällä olevista ulkoilma- tai jäteilmalaitteista on vähintään 1,5 m; sekä
- 4) ilman nopeus ulospuhallusaukossa on vähintään 5 m/s.

Näitä ohjearvoja voidaan soveltaa myös pientalolle, vaikka pientalon jäteilma sisältää WC:n, pesutilojen ja keittiön poistoilmaa ja on luokkaa 3. Taulukossa 3 esitetään RakMk osan D2 mukainen poistoilman luokittelu.

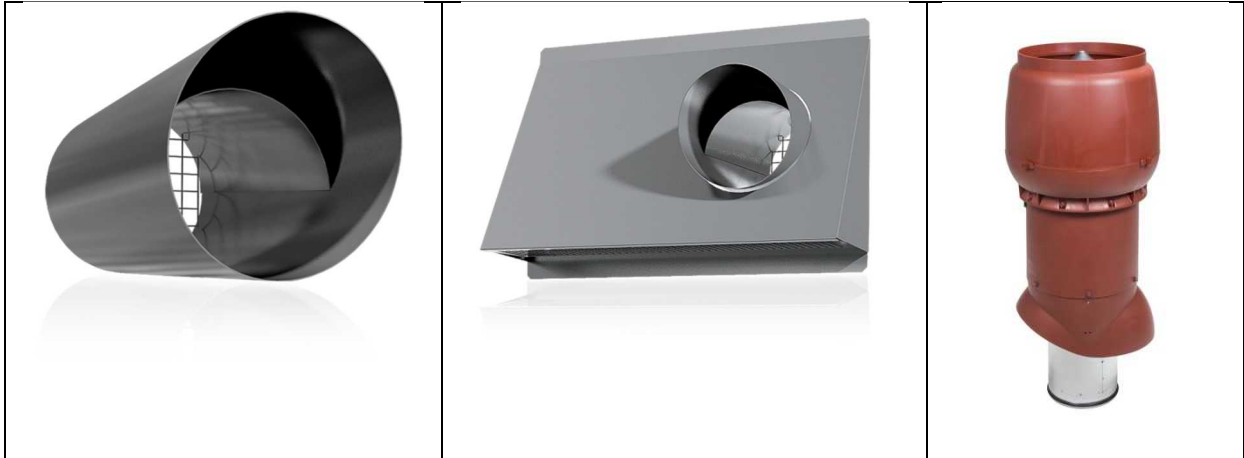
Seinään asennettava jäteilmalaitte sijoitetaan yleensä liikenneväylän tai paikoitusalueen puoleiselle seinälle. Jos seinustalla on tuuliesteitä, esimerkiksi parvekeseiniä tai sisänurkkauksia, jotka muodostavat soppitiloja, jäteilma- ja ulkoilmalaitteita ei sijoiteta samaan soppitilaan. Jos jäteilmalaitteen yläpuolella on räystä, erkkeri tai muu seinästä ulkoneva rakennusosa, sijoitetaan laite ulkoneman verran sen alapuolelle tai laite

kanavoidaan ulkoneman etureunan tasoon. Pientalossa yleensä sopivin paikka ulospuhallukselle on päätyseinä.

Kuvissa 22 ja 23 esitetään erilaisia jäteilman ulospuhalluslaitteita. Markkinoilla on myös laitteita, joissa jäteilman ulospuhallus ja ulkoilman sisäänotto on yhdistetty. Yleensä samasta kohdasta ulospuhallettu jäteilma laimenee riittävästi ennen kuin palaa esimerkiksi tuulen vaikutuksesta ulkoilma sisäänottokohdan läheisyyteen.

Taulukko 3. Tilojen poistoilman luokitus jäteilman ulospuhallusvaatimusten mukaan ja poistoilman soveltuvuus palautus- tai siirtoilmaksi. Lähde: Rakentamismääräyskokoelman osa D2/2012.

Poistoilma- luokka	Kuvaus ja käytön rajoitus	Tilaesimerkki
1	Poistoilma, joka sisältää vain vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä tai rakenteista. Ilmaa soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi.	Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta.
2	Poistoilma, joka sisältää jonkin verran epäpuhtauksia. Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa siirtoilmana esimerkiksi WC- ja pesutiloihin.	Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolatilat, joissa tupakointi on kielletty
3	Poistoilma tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut oleellisesti huonontavat poistoilman laatua. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	WC- ja pesutilat, saunat, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, piirustuksien kopiointitilat.
4	Poistoilma, joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilman hyväksyttävät pitoisuudet. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	Ammattimaisessa käytössä olevat: -vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot, - pesuloiden likapyykkitilat. Autosuojat ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarvikejätehuoneet, kemialliset laboratoriot, tupakointitilat sekä hotellitilat, joissa tupakointi on sallittu.



Kuva 22. Jäteilman seinäpuhallukseen tarkoitettu ulospuhallussuutin vasemmalla (Climecon Oy). Suuttimen sisällä on kuristusläppä, joka lisää ulospuhallusnopeutta ja jäteilman tehokasta sekoittumista ulkoilmaan. Keskellä on sama ulospuhallussuutin varustettuna ulkoilman sisäänottohuuvalla. (Climecon Oy). Oikealla on hatulla varustettu ilmanvaihdon eristetty poistoputki jäteilman ulospuhallukseen katolta (SK-Tuote Oy).



Kuva 23. Jäteilman seinäpuhallukseen tarkoitettu muovirakenteinen ulospuhalluslaite, jonka alaosassa on myös ulkoilman sisäänotto. Suurella ulospuhallusnopeudella pyritään estämään jäteilman palautuminen ulkoilman sisäänottoon (Vallox Oy).

15. Äänenvaimennus

Pientalon ilmanvaihtojärjestelmä on oikein toteutettuna meluton. Koneellisessa ilmanvaihdossa tulee aina käyttää äänenvaimennusta, jonka ilmanvaihtosuunnittelija suunnittelee äänitasovaatimusten perusteella.

Äänenvaimentamiseen suositellaan käytettäväksi ilmanvaihtokoneeseen liitettävää äänenvaimennusyksikköä (kuva 24), jonka äänenvaimennusominaisuudet tulo-, poisto-, ulko- ja jäteilmakanaviin tunnetaan. Vaihtoehtona on käyttää erillisiä kanavaäänenvaimentimia. Ilmanvaihtokone ja äänenvaimentimet asennetaan tekniseen tilaan, jolloin ilmanvaihtokoneen vaipan läpi tuleva ääni ei häiritse asumista ja huollettavuus on hyvä.

Ilmanvaihtokoneen äänenvaimennusyksikön lisäksi tulo- ja poistoilmakanaviin voidaan jossain tapauksissa tarvita kanavaäänenvaimentimet. Äänenvaimennusta voidaan lisätä esimerkiksi makuuhuoneiden tuloilmakanavaan. Ulko- ja jäteilmakanaviin ei yleensä äänenvaimennusyksikön lisäksi tarvita kanavaäänenvaimentimia. Oikealla virtausteknisellä mitoituksella ja tehokkaalla äänenvaimennuksella ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan erittäin hiljainen eli käytännössä meluton, kun se täyttää taulukon 4 hyvän äänitason suositukset. Kun suositellut äänitasot täyttyvät tehostamattomilla ilmavirroilla, niin ilmanvaihdon tehostus voidaan suunnitella niin, että sitä on mahdollista käyttää yöaikaan ilman häiritsevää melua. Hyvän tason suositusarvot perustuvat VTT:n pitkäaikaiseen kokemukseen matalaenergiatalojen hiljaisista ilmanvaihtojärjestelmistä (esim. Laine & al. 1994). Aikaisemmin oli hyvin yleistä, että ilmanvaihtoa säädettiin liian pienelle teholle yöajaksi ilmanvaihdon häiritsevän äänen takia. Oppaan laadinnan yhteydessä tehtyjen pientalojen äänitasomittausten mukaan tyypillinen äänitason makuu- ja olohuoneissa oli 20 - 23 dB(A), joten suositeltuun hyvään tasoon on mahdollista päästä nykyratkaisulla.

Tiloissa olevat kovat kivipinnat vaimentavat ääntä huonosti. Ilmanvaihtokonetta ei tule sijoittaa tällaiseen tilaan ilman ääntäeristävää koteloointia. Ilmanvaihtokonetta ei suositella sijoitettavaksi kosteisiin pesutiloihin, joissa ilman kosteus voi olla ajoittain hyvin korkea ja kosteutta voi tiivistyä ilmanvaihtokoneen ja kanavien kylmille pinnoille.

Aina ääniongelmassa ei ole välttämättä vika äänenvaimennuksessa tai ilmanvaihtokoneessa. Myös päätelaitteiden ja kanavien virheellinen mitoitus tai toteutus voi johtaa ääniongelmiin.

Taulukko 4. Ilmanvaihtojärjestelmän suositellut enimmäisäänitasot käyttöajan tehostamattomilla ilmavirroilla.

Ilmanvaihtojärjestelmän enimmäisäänitasot, dB(A)			
	Hyvän tason suositus	Sisäilmasto-luokan S1/2008 tavoitearvo	RakMk osien C1 ja D2 määräys
Olo- ja makuuhuoneet	22	24	28
Keittiö	25	33	33
Talon ulkopuolella tehostuksella	45	yö 25/pv 30	45

Siirtoilmareittien tarvitsemien siirtoilma-aukkojen on täytettävä huoneiden välinen ääneneristävyysvaatimus. Ovirako siirtoilma-aukkona huonontaa oven ääneneristävyyttä. Tiivistä suljettua ovea vastaava ääneneristävyys voidaan saavuttaa käyttämällä äänenvaimennettua siirtoilmalaitetta esimerkiksi kodinhoituhuoneessa (pesukoneen ääni) tai oleskelutiloihin avautuvassa WC:ssä.

Ilmakanaviston kautta voi kulkeutua häiritsevää ääntä huoneesta toiseen. Huoneiden välistä ääneneristävyyttä voidaan parantaa lisäämällä esimerkiksi makuuhuoneiden välisiin kanaviin äänenvaimennin.



Kuva 24. Ilmanvaihtokone, jonka päälle on asennettu äänenvaimenninyksikkö (Vallox Oy).

16. Tuloilman lämpötila ja jälkilämmitys

Nykyaikaisen energiatehokkaan pientalon pienen lämmitystarpeen vuoksi tuloilman jälkilämmityksen ja pientalon päälämmönjakojärjestelmän yhteistoiminta pitää suunnitella ja opastaa asukasta niiden käytössä.

Pientalojen yleisin tilojen lämmityksen lämmönjakotapa on tällä hetkellä lattialämmitys. Jotta lattialämmityksen toimintaedellytykset ja säätökyky voidaan varmistaa, tulee ilmanvaihdon tuloilman tarpeetonta jälkilämmitystä välttää etenkin leudolla säällä. Tuloilmaa on perinteisesti jälkilämmitetty vetoisuuden pelossa tai johdosta. Lämmöntalteenotolla esilämmitetyn sisälämpötilaa viileämmän tuloilman sisäänpuhallus onnistuu nykyisin vedottomasti oikein suunnitellulla ilmanvaihtojärjestelmällä ja laadukkailla sekoittavilla päätelaitteilla.

Tuloilman jälkilämmityksen asetusarvoksi suositellaan arvoa +15 °C. Tehokkaalla lämmöntalteenotolla varustetulla ilmanvaihtokoneella tuloilman lämpötila laskee hyvin harvoin tämän alapuolelle. Tehokkaan LTO:n takia tuloilman jälkilämmityksen vuotuinen energiankulutus on hyvin pieni (taulukko 5). Pienen energiankulutuksen takia jälkilämmitys voidaan yksinkertaisimmin ja toimintavarmimmin ilman jäätymisvaaraa toteuttaa sähkölämmityksellä.

Kesällä viilennyskäytössä tuloilman lämpötilan tulee olla mahdollisimman matala, jotta esimerkiksi yöaikainen ulkoilman ilmainen viileys saadaan tehokkaasti hyödynnettyä. Mikäli tuloilmakanavia ei ole eristetty, alle +10 °C:sen tuloilman pitkäaikaista käyttöä ei suositella kosteuden tiivistymisen riskin takia. Mikäli tuloilmaa viilennetään jäähdytyspatterilla, on tuloilmakanavat aina lämpö- ja kosteuseristettävä.

Kovilla pakkasilla tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan nostaminen ei enää oleellisesti heikennä varsinaisen lämmitysjärjestelmän toimintakykyä.

Erittäin energiatehokkaissa pientaloissa kaikki tai ainakin pääosa tilojen lämmitysenergiasta voidaan jakaa tuloilman mukana. Tällaista järjestelmää kutsutaan ilmanvaihtolämmitykseksi. Tuloilman lämmitystä ohjataan huonetermostaatin avulla ja tuloilman lämpötila on talvella tyypillisesti 25 - 35 °C. Koska lämmönsäätö pystyy reagoimaan nopeasti lämpökuormiin, niin lämmönjakojärjestelmän hyötysuhde on erittäin korkea.

Taulukko 5. Helsingissä (TRY 2012) sijaitsevan pientalon ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin vuotuinen energiankulutus tuloilman lämpötilan asetusarvosta ja lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhteesta riippuen. Tuloilmavirta on 60 dm³/s.

Tuloilman lämmityspatterin energiankulutus vuodessa, kWh				
LTO:n tuloilman	Tuloilman lämpötilan asetusarvo, °C			
lämpötilahyötysuhde, %	10 °C	14 °C	16 °C	18 °C
50	387	1 392	2 233	3 233
60	88	566	1 235	2 159
70	21	141	433	1 155
80	2	29	71	287

17. Ilmanvaihdon käyttö viilennyksessä

Ilmanvaihdon käyttö viilennykseen perustuu pieneen viilennystarpeeseen ja pitkään viilennyksen käyttöaikaan. Erillisiin ilmaa kierrättäviin jäähdytyslaitteisiin verrattuna ilmanvaihdolla saatava hetkellinen viilennysteho on yleensä pienempi. Ilmanvaihdon käytössä viilennyksessä sallitaan huonelämpötilan luonnollinen vaihtelu olosuhteiden muuttuessa. Ilmanvaihdolla toteutetulla viilennyksellä voidaan täyttää sisäilmastoluokan S2 kesäajan huonelämpötilavaatimukset, joissa operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo oleskelualueella on 27 °C, kun ulkolämpötila on yli 20 °C.

Ulkoilma on Etelä-Suomessa noin 98 % vuodesta alle 21 °C. Kesälläkin ulkolämpötila on öisin noin 15 °C. Lyhyitä hellejaksoja lukuun ottamatta ilmanvaihtoa tehostamalla voidaan ulkoilmalla viilentää pientaloa yksinkertaisesti ja turvallisesti. Ilmanvaihdon onnistunut käyttö viilennyksessä edellyttää, että viilennys aloitetaan riittävän ajoissa. Pientaloa ei tule päästää kuumenemaan hellejaksolla ennen viilennyksen aloittamista. Erillisiin jäähdytyksen puhallinpattereihin verrattuna tuloilman mukana jaettu viilennys leviää tehokkaammin kaikkiin asuinhuoneisiin mukaan lukien makuuhuoneet. Tuloilman mukana jaettu viilennys ei lisää asuinhuoneisiin tulevaa tekniikkaa tai huoltokohteita eikä näiltä osin myöskään kustannuksia.

Ilmanvaihdon ilmapirratt mitoitetetaan yleensä rakentamismääräyskokoelman osan D2- mukaisten ohjeilmavirtojen mukaan. Ulkoilman tehokas hyödyntäminen viilennykseen edellyttää tätä suurempia ulkoilmavirtoja. Yleensä viilennysilmavirran tulisi olla vähintään kaksinkertainen käyttöajan tehostamattomaan ilmavirtaan verrattuna. Taulukossa 6 esitetään viilennystehot eri ilmavirroilla. Ilmanvaihdon tehostaminen lisää myös ilman liikettä sisällä ja siten tehostaa viilennysvaikutusta iholla.

Käytettävissä olevan viilennysilman alin lämpötila riippuu ulkoilman vallitsevasta lämpötilasta. Myös talvella voidaan tarvita viilennystä. Tällöin lämmöntalteenotto on yleensä käytössä myös viilennyksen aikana. Viilennykseen sopivaa alilämpöistä ilmaa on tällöin saatavissa riittävästi. Keväällä ja kesällä LTO ohitetaan viilennystehon lisäämiseksi. Helteillä LTO:a käytetään kylmän talteenottoon.

Kesällä yöaikaan, kun lämmöntalteenotto ohitetaan, ilman lämpötila tuloilmakanavassa voi olla + 10 °C tai lyhyen aikaa jopa alemmikin.

Ulkoilmaviilennyksen ohjaus tapahtuu huonetermostaatin ohjaamana, kun ulkoilman ja huoneilman lämpötilaero on riittävä. Yleensä huonelämpötilan asetusarvo on viilennyksessä lämmityksen asetusarvoa jonkin verran korkeampi. Tehokkaimmillaan viilennys on, kun ilmapirrattkin tehostuvat tarvittaessa automaattisesti.

Maakylmää voidaan hyödyntää hellejaksoilla viilennyksessä. Maakylmä voidaan siirtää patterilla ulkoilmavirtaan tai tuloilmavirtaan. Tällöin tuloilmakanavat on aina lämpö- ja kosteuseristettävä.

Ilmavirtojen ja ilmanvaihtojärjestelmän mitoituksessa tulee ottaa huomioon huoneiden viilennystarpeen vaatimat ilmapirratt.

Taulukko 6. Ilmanvaihdon laskennallinen viilennysteho tuloilmavirrasta ja lämpötilaerosta riippuen. Esimerkiksi makuuhuoneeseen (12 dm³/s) on saatavissa tyypillisesti 250 - 400 W viilennysteho. Kesäaikainen viilennysteho on laskettu tehostetuilla ilmavirroilla, jotka ovat kaksinkertaiset tehostamattomiin ilmavirtoihin verrattuna. Kesällä huonelämpötila on 25 °C ja ulkoilman lämpötila (Tu) on 10 ja 15 °C (hellejaksoillakin öisin). Laskelmassa on oletettu, että tuloilma lämpenee puhaltimessa ja kanavistossa 1 °C.

Tuloilmavirta, dm ³ /s		Viilennysteho, W	
Tehostamaton	Tehostettu	Tu = 15 °C	Tu = 10 °C
3	6	65	101
4	8	86	134
5	10	108	168
6	12	130	202
7	14	151	235
8	16	173	269
9	18	194	302
10	20	216	336
11	22	238	370
12	24	259	403
13	26	281	437
14	28	302	470
15	30	324	504
16	32	346	538
17	34	367	571
18	36	389	605
19	38	410	638
20	40	432	672
25	50	540	840
30	60	648	1008
35	70	756	1176
40	80	864	1344
45	90	972	1512
50	100	1080	1680
55	110	1188	1848
60	120	1296	2016
65	130	1404	2184
70	140	1512	2352
75	150	1620	2520
80	160	1728	2688
85	170	1836	2856
90	180	1944	3024
95	190	2052	3192
100	200	2160	3360
125	250	2700	4200
150	300	3240	5040

18. Huolto, ylläpito, opastus

Ilmanvaihdon moitteeton toiminta sekä hyvän ja terveellisen sisäilmaston varmistaminen edellyttävät ilmanvaihtojärjestelmän säännöllistä ylläpitoa. Huollot tehdään suunnittelijan, urakoitsijan ja laitevalmistajien huolto-ohjelman mukaan. Pientalostakin on syytä laatia huoltokirja, jossa huoltokohteet on yksilöity ja opastettu. Yleensä asukas tekee ilmanvaihdon ylläpitohuollot, mutta siitä voidaan tarvittaessa sopia myös huoltoliikkeen kanssa.

Uudessa pientalossa suositellaan käytettäväksi ensimmäisen vuoden aikana hieman suunniteltua suurempaa ilmanvaihtoa (20 - 30 %), eikä pienempää poissaoloilmanvaihtoa tule käyttää lainkaan. Näin saadaan rakennuksesta haihtuvat vähäiset epäpuhtaudet ja kosteus poistettua hallitusti.

Tärkein asia toimivan ilmanvaihdon varmistamiseksi on ilmanvaihtokoneen ilmansuodattimien tarkastaminen säännöllisesti ja puhdistus tai vaihto tarvittaessa. Ilmanvaihtokone tulee pysäyttää ennen koneen sisällä tehtäviä huoltotoimenpiteitä. Suodattimien likaantuminen riippuu muun muassa talon sijainnista, ulkoilman likaisuudesta ja vuodenajasta sekä suodattimen ominaisuuksista. Yleispätevää suodattimien vaihtoväliä ei voida antaa, mutta tarkistus on syytä tehdä ainakin kaksi kertaa vuodessa esimerkiksi keväällä ja syksyllä.

Kesällä siitepölyaikaan suodattimet voivat likaantua nopeastikin, joten kesällä kannattaa seurata suodattimien puhtautta useammin. Uusia suodattimia hankittaessa tulee varmistaa niiden sopivuus ilmanvaihtokoneeseen ja että suodatuskyky vastaa suunniteltua. Käytettäessä karkeitä esisuodattimia voidaan hienosuodattimien likaantumista ja vaihtotarvetta vähentää.

Ilmanvaihtokoneen suodattimien huollon yhteydessä tulee tarkistaa myös ilmanvaihtokoneen, lämmöntalteenottokennon ja viemärintiputken puhtaus. Koneen puhdistus voidaan tehdä imuroimalla ja pyyhkimällä kostealla soveltuvaan mietoa pesuainetta tarvittaessa käyttäen. Lämmöntalteenottokenno on yleensä irrotettavissa puhdistusta varten. Kennon asento kannattaa merkitä takaisin asentamisen helpottamiseksi. Kennon irrottaminen helpottaa myös koneen sisäpuolista puhdistamista. Puhdistuksen jälkeen tarkistetaan tiivisteiden kunto. Pyörivän lämmönsiirtimen puhtaus ja sen harjatiivisteiden ja pyörityshihnan kunto tulee tarkistaa. Vuotavat tiivisteet uusitaan.

Huollon jälkeen ilmanvaihtokoneen käynnistämisen yhteydessä varmistetaan, että molemmat puhaltimet toimivat.

Tärkeää on myös muun ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden ylläpito. Tulo- ja poistoilman päätelaitteisiin kertyy ajan kuluessa likaa ja pölyä huoneilmasta (kuva 25). Lähellä katto- ja seinäpintaa olevien tuloilmalaitteiden läheisyydessä seinä- ja kattopinnat voivat tummua hyvin hienon huonepölyn kiinnittyessä pintoihin. Päätelaitteet ja pinnat voidaan puhdistaa imuroimalla ja pyyhkimällä kostealla soveltuvaan mietoa pesuainetta tarvittaessa käyttäen. Päätelaitteet voidaan tarvittaessa irrottaa kanavasta puhdistuksen ajaksi, mutta säätöasentoa ei saa muuttaa. Irrotuksen yhteydessä voidaan tarkistaa myös ilmankanavan puhtaus silmämääräisesti ja pyyhkimällä. Etenkin poistoilmakanavat likaantuvat huonepölystä päätelaitteen läheisyydestä. Tämä pöly voidaan yleensä poistaa esimerkiksi imuroimalla. Poistoilmakanavan pinnalla olevasta pölystä on harvoin oleellista haittaa ilmanvaihdon toimivuudelle.

Pientalon rakennusvaiheessa ilmanvaihtojärjestelmää ei saa käyttää. Kanavisto tulee olla tulpattu rakennuspölyn kulkeutumisen estämiseksi. Ennen uuden rakennuksen käyttöönottoa ilmankanaviston puhtaus on syytä tarkistaa silmämääräisesti. Mikäli rakennusaikaista pölyä havaitaan merkittävästi, on kanavisto syytä puhdistaa kokonaisuudessaan. Pientalon ilmankanaviston suositeltu puhdistusväli on 10 vuotta.

Ilmanvaihdon toimivuuden jokapäiväisessä seurannassa nenä on hyvä työkalu. Ulkoa sisään tullessa nenä aistii herkimmin sisäilman huonon laadun ja hajut. Aamulla makuuhuoneen ilma ei saa tuntua tunkkaiselta. Hajujen leviäminen talossa voi olla seurausta ilmanvaihtojärjestelmän virhetoiminnasta. Myös ikkunoiden huurtumista voidaan käyttää hyvänä indikaattorina ilmanvaihdon toimivuudesta. Pesutilojen kuivumisen hidastuminen ja ikkunoiden huurtuminen voivat olla seurausta puutteellisesta ilmanvaihdosta. Ikkunoiden huurtuminen sisäpuolelta (yleensä ensin alareunasta) viittaa puutteelliseen ilmanvaihtoon myös kuivissa tiloissa. Puutteellisen ilmanvaihdon syyt tulee selvittää. Mikäli ikkunat huurtuvat lasien välistä uloimman lasin sisäpinnasta, niin tällöin rakennuksen sisällä voi olla ylipaine, joka takia kosteaa huoneilmaa kulkeutuu ikkunan sisäpuutteen vuotokohtien kautta lasiväliin. Ilmanvaihdon tasapaino tulee tarkistaa. Syy epätasapainoon voi olla likaisissa suodattimissa tai LTO:n jäätymisessä. Myös pakkanen (ylempiin kerroksiin) ja tuuli (suojan puolelle) saattavat aiheuttaa sisälle ylipainetta.

Oppaan laadinnan yhteydessä tehdyissä tarkastuksissa ja asukaskyselyissä havaittiin, että ilmanvaihdon käytön, ylläpidon ja huollon ohjeistus jää usein vaillinaiseksi. Pientalojen avaimet käteen -toimituksissa ohjeistusta oli saatu paremmin kuin omatoimisessa rakentamisessa. Urakoitsijan osaaminen ja mahdollisuudet asukkaan opastukseen ovat rajalliset. Riittävän henkilökohtaisen ja kirjallisen opastuksen saaminen tulee varmistaa. Hankalissa vikatapauksissa tulee toimia laitevalmistajalta saatujen ohjekirjojen ja ohjeiden mukaan.



Kuva 25. Poistoilman päätelaitteet tulee puhdistaa säännöllisesti. Jos päätelaite on säädetty hyvin lähelle kiinni-asentoa, voi rakoon kertyvä lika tukkia laitteen ja ilmanvaihto heikkenee.

Lähdekirjallisuutta

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa A2. Määräykset ja ohjeet 2002. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen suunnittelijoista ja suunnitelmista. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Annettu Helsingissä 8 päivänä toukokuuta 2002. 27 s. Asetus tuli voimaan 1.7.2002.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Määräykset ja ohjeet 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksissa. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Annettu Helsingissä 4 päivänä kesäkuuta 1998. 27 s. Asetus tuli voimaan 1.10.1998.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Annettu Helsingissä 30 päivänä maaliskuuta 2011. 34 s. Asetus tuli voimaan 1.7.2012.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Annettu Helsingissä 30 päivänä maaliskuuta 2011. 35 s. Asetus tuli voimaan 1.7.2012.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ohjeet 2007. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta. Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto. Annettu Helsingissä 19 päivänä kesäkuuta 2007. 62 s. Asetusta ei ole kumottu.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ohjeet 2012. Ympäristöministeriön ohjeet rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Annettu Helsingissä 17 päivänä toukokuuta 2013. 74 s. Ohjeet ovat voimassa toistaiseksi.

Asumisterveysohje. 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki. 93 s. (Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1) ISBN 952-00-1301-6

Asumisterveysopas. 2005. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (SMT:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys-lehti, Pori. 184 s. ISBN 952-9637-30-6

Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy, Helsinki. 22 s. (LVI 05-10440, RT 07-10946, KH 27-00422 ja Ratu 437-T).

LVI-RYL 92. LVI-rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto Oy, Helsinki 1992. 440 s. ISBN 951-682-621-0

TalotekniikkaRYL 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 ja 2. Rakennustieto Oy, Helsinki. 369 s. ja 327 s. (LVI 01-10355 ja LVI 01-10356).

SFS-EN standardit soveltuvin osin.

Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems. 2012. Rehva Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations. Rehva Guidebook no 17.

Pientalon tekninen laatu - Tähtiluokitus. 2006. Opas pientalon rakennuttajille ja suunnittelijoille. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki. 98 s. (Ympäristöopas) ISBN 952-11-2280-3

Hyvä ja taloudellinen talo. 2000. Rakennutan energiaa säästävän talon. Motiva, Helsinki. 24 s.

Terveen talon toteutuksen kriteerit. 2004. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle. SIY Sisäilmätieto Oy, Espoo. 48 s. (Sisäilmaopas 7) ISBN 952-5236-26-9

Pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluperusteet. 1989. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Helsinki. 73 s. (KTM sarja D:175). ISBN 951-47-2298-1

LVI 30-10084 ... 30-10087. 1987. Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluohjeet. Rakennustietosäätiö, Helsinki.

LVI 30-40008. 1991. Muuttuvilmavirtaiset ilmastointijärjestelmät. Rakennustietosäätiö, Helsinki. 10 s.

Pientalon ilmanvaihto-opas. Hyvä sisäilmasto - elämisen laatua. 1987. Suomen ilmatekninen toimialayhdistys ry, Imatran Voima Oy ja Neste Oy. 26 s.

Passiivenergiatalo harkoista – LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje. 2009. Suomen betonitieto Oy, Helsinki. 57 s. + liitt. 13 s. (VTT-R-08496-09) <http://www.harkkokivitalo.fi/>

Ilmanvaihtolämmityksen ja viilennyksen mallisuunnitelma. 2010. Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Helsinki. 45 s. (VTT-S-10522-10) <http://www.harkkokivitalo.fi/>

Heikkinen, J., Korkala, T., Luoma, M. & Salomaa, H. 1987. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius, 1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. 127 s. + liitt. 25 s. (VTT Tiedotteita 737). ISBN 951-38-2954-5

Hyytiäinen, H. Pientalon tulisijat. 2000. Rakennustieto Oy, Helsinki. 91 s. ISBN 951-682-587-7

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja laitteiden kuntotutkimusohjeet. 2014. Suomen LVI-liitto ry, Helsinki. Painossa

Rantama, M. 2011. LVI-tekniikan (talotekniikan) koulutusmateriaaliselvitys. Suomen LVI-liitto ry, Helsinki. 18 s.

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, Suomen LVI-liitto ry.

Seppänen, O. & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka, Sisäilmayhdistys.

Halme, A. & Seppänen, O. 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka, Suomen LVI-liitto ry. 157 s.

Talotoimittajien ja ilmanvaihdon laitevalmistajien oppaat.

Tulisijavalmistajien ja keskuspölynimurien valmistajien oppaat.

Sandberg, E. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. 2014. Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Painossa. Puhelinkeskustelu 20.5.2014.

LVI 30-10333. 2002. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekniinen suunnittelu ja äänenvaimennus asuinrakennuksissa. Rakennustieto Oy, Helsinki. 20 s.

LVI 31-10507. 2012. Hiukkassuodatuksen peruskäsitteet. Rakennustieto Oy, Helsinki. 9 s.

LVI 31-10508. 2012. Hiukkassuodattimen valinta. Rakennustieto Oy, Helsinki. 4 s.

Tuomaala, P. & Klobut, K. 2001. COMBI - tutkimuksen tulisijojen mittaustuloksia. Tulisijan, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän yhteiskäyttö. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Espoo.

LVI 10-40045. 2000. Tulisijalämmitys. Rakennustieto Oy, Helsinki. 19 s.

STUK-A233. Radontalkoot – Tilannekatsaus 2008

LVI 06-10225. 1994. Saunan LVI-suunnittelu. Rakennustieto Oy, Helsinki. 6 s.

Laine, J. & Saari, M. 1994. MEPI-Kanerva pienenergiakoti. Teoksessa: RAKET Rakennusten energiankäytön tutkimusohjelma. Vuoden 1993 keskeiset tulokset. Espoo: VTT Rakennustekniikka. S. 64 - 73. (RAKET JULKAISUJA 1). ISBN 952-5004-00-7

Laine, J. & Saari, M. 1997. Ilmanvaihtolämmitys - luonnollinen valinta matalaenergiataloon. Teoksessa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.) Sisäilmastoseminaari 19.3.1997. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. S. 251 - 256. (SIY raportti 8). ISBN 951-97186-7-2.

Laine, J. & Saari, M. 1998. ESPI-matalaenergiapientalot. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 76 s. + liitt. 44 s. (VTT Tiedotteita 1924). ISBN 951-38-5332-2 (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1924.pdf>).

Pientalon ilmanvaihtolämmitys. 1985. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Helsinki. 47 s. (KTM sarja D:82). ISBN 951-46-8900-3

Asikainen, V. 2006. Lumen ja kosteuden sisäänpääsyn ja suodattimen kastumisen estäminen. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut, suunnitteluohje 3.6. Ilmanvaihdon modernit parannus- ja korjausratkaisut (MIV), Teknillinen korkeakoulu, Espoo. 10 s.

Pietarinen, P. & Saari, M. 1999. Ilmanvaihtolämmityksen hajautettu automaatio matalaenergiatalossa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 43 s. (VTT Tiedotteita 1950). ISBN 951-38-5415-9 (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1950.pdf>).

Komission delegoitu asetus (EU) N:o 65/2014, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/30/EU täydentämisestä kotitalouksien uunien ja liesituulettimien energiamerkintöjen osalta. Annettu 1.10.2013. 32 s.

Komission asetus (EU) N:o 66/2014, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta kotitalouksien uunien, keittotasojen ja liesituulettimien ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. Annettu 14.1.2014. 15 s.

LVI 06-10304. 2000. Ammattikeittiöiden sisäilmaston suunnittelu. Rakennustieto Oy, Helsinki. 16 s.

NT VVS 088. Nordtest method 1990. Buildings: Large scale kitchen range hoods - hood efficiency and pressure drop. Nordtest, Espoo. 6 s.