



Vanhojen pientalojen ilmanvaihtotavat ja niiden kehitysmahdollisuudet

Juuso Saarinen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Talotekniikka
LVI-Talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikka
LVI-Talotekniikka

SAARINEN, JUUSO:

Vanhojen pientalojen ilmanvaihtotavat ja niiden kehitysmahdollisuudet

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Toukokuu 2022

Opinnäytetyössä tutkittiin, miten vanhojen pientalojen ilmanvaihtotapoja voidaan parantaa ja mitkä tekijät vaikuttavat niiden toimintaan. Tarkoituksena oli luoda kattavat perusteet ilmanvaihto-oppaalle, jota pientalojen käytöstä vastaavat henkilöt voivat hyödyntää järjestelmien käytössä tai niiden päivityksiä suunniteltaessa.

Teoriaosuudessa tutkittiin eri aikakausilla käytettyjä ilmanvaihtotapoja ja niiden toimintaa heikentäviä tekijöitä. Tietoa kerättiin kirjallisuuslähteistä, verkkosivustoilta sekä todellisissa kohteissa havaituista ilmanvaihdon ratkaisuksista ja ongelmista. Aiemmin opitun perusteella kaikkien ilmanvaihtotapojen toimimattomuuden yleisimmät syyt ovat huoltotoimien laiminlyönti ja käyttäjien tietämättömyydestä johtuva järjestelmien väärinkäyttö.

Työn perusteella parhaaksi pientalon ilmanvaihtotavaksi osoittautui koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Se on energiatehokkuudeltaan ja käyttömukavuudeltaan kiistatta paras. Lisäksi havaittiin, että pelkällä koneellisella poistoilmanvaihdolla voidaan varmistaa ilman riittävä vaihtuvuus, mutta parempaa energiatehokkuutta ja käyttömukavuutta tavoiteltaessa sen päivittäminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi on suositeltavaa.

Painovoimaista ilmanvaihtoa tutkiessa havaittiin sen vaativan käyttäjältä hyvää tietämystä järjestelmän toiminnasta sekä jatkuvaa säätämistä sen tarpeen mukaisen toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi havaittiin, että painovoimaisen ilmanvaihdon tehokkuus ei usein riitä poistamaan ihmisten nykyisin tuottamia kosteuskuormia. Tämän vuoksi sen tehostaminen tai muuttaminen tehokkaampaan ilmanvaihtotapaan on suositeltavaa. Kaikkiaan työssä käsitellyt asiat antavat hyvän pohjan pientalojen ilmanvaihto-oppaalle.

Asiasanat: ilmanvaihto, sisäilma, energiatehokkuus, lämmöntalteenotto

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

SAARINEN, JUUSO:

Ventilation Methods of Old Detached Houses and the Ways to Develop Them

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 9 pages

May 2022

The aim of the thesis was to investigate how different ventilation methods in old detached houses can be improved and what factors affect their functionality. The objective was to create a comprehensive basis for a ventilation guide that could be utilized by those responsible for the ventilation systems.

The theoretical section explores ventilation methods used in different eras and studies how their functionality can be maintained. The information was mainly collected from the literature sources, websites, and real-life cases.

Based on the research, it was found that the best ventilation method for an old detached house turned out to be a mechanical supply and extract ventilation system. It was the best option in terms of energy efficiency, usability, and comfort. With a mechanical extract ventilation system, sufficient air turnover can be ensured, but it is the weakest option in terms of energy efficiency and may need some improvements for its comfort.

Furthermore, it was found that natural ventilation requires a good understanding of the system and continuous adjustment for the optimal operation. It also most likely needs improvements to cover the moisture load people produce nowadays. Therefore, it is recommended to enhance its operation or change it to a more efficient ventilation method. Matters dealt in this thesis, will provide a comprehensive basis for the creation of a ventilation guide for old detached houses.

Key words: ventilation, indoor air, energy efficiency, heat recovery

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	PIENTALOJEN ILMANVAIHTOTAVAT	9
	2.1 Painovoimainen ilmanvaihto	10
	2.1.1 Tiilihormi	12
	2.1.2 Kierresaumakanava.....	13
	2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto.....	14
	2.2.1 Huippuimuri	15
	2.2.2 Kanavapuhallin.....	16
	2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	17
	2.3.1 Ristivirta lämmöntalteenotto	18
	2.3.2 Pyörivä lämmöntalteenotto	19
	2.4 Yleisimmät lisätoiminnot.....	20
	2.4.1 Jälkilämmitys	20
	2.4.2 Tehostus.....	21
	2.4.3 Takkatoiminto	21
3	EDELLYTYKSET TOIMIVALLE ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄLLE .	22
	3.1 Suodattimet.....	22
	3.2 Ilmanvaihdon puhdistus ja säätö	23
	3.3 Muut huoltotoimenpiteet.....	26
4	ERI ILMANVAIHTOTAPOJEN KEHITYSMAHDOLLISUUDET	28
	4.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon parannusmahdollisuudet.....	28
	4.1.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmakohdat.....	28
	4.1.2 Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen.....	30
	4.1.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi.....	31
	4.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon parannusmahdollisuudet	35
	4.2.1 Käyttömukavuuden ja energiatehokkuuden parantaminen. 35	
	4.2.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi	37
	4.3 Vanhan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon parannusmahdollisuudet.....	42
	4.3.1 Energiatehokkuus.....	43
	4.3.2 Estetiikka	44
	4.3.3 Jäähdytys	45
5	POHDINTA	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	49

Liite 1. Korjausrakennuslaskelma koneellisen poistoilmanvaihdon muuttamisesta koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi (Laskentapalvelut 2022).....	49
Liite 2. ILOX 129PLUS ilmanvaihtokoneen tekninen mitoituspöytäkirja (Fläktwoods 2022).....	51
Liite 3. Enervent Pandion eAir E ilmanvaihtokoneen tekninen mitoituspöytäkirja (Enervent 2022).....	54

LYHENTEET JA TERMIT

LTO	Lämmöntalteenotto
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet
KORVAUSILMA	Yleensä käsittelemätön ulkoilma, joka korvaa ulos puhalletun poistoilman
SIIRTOILMA	Asunnon sisällä tilojen välillä liikkuva ilma
TULOILMA	Rakennukseen sisälle puhallettu ilma koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa
POISTOILMA	Rakennuksesta poistettava sisäilma
RAITISILMA	Ilmanvaihtokoneeseen tuotava ulkoilma koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa
JÄTEILMA	Ilmanvaihtokoneesta ulkoilmaan puhallettava ilma koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa
RADON	Radioaktiivinen jalokaasu, joka syntyy maankuoressa uraanin ja toriumin hajoamistuotteena
KONDENSOITUMINEN	Olomuodon muutosprosessi, jossa kaasumainen aine muuttuu nesteeksi
LTO:N VUOSIHYÖTYSUHDE	Keskiarvo koko vuoden lämmöntalteenottokyvystä
SUHTEELLINEN KOSTEUS	Kertoo kuinka paljon ilma sisältää vettä suhteessa siihen, kuinka paljon se voi enimmillään sisältää vallitsevassa lämpötilassa

ABSOLUUTTINEN KOSTEUS	Kertoo kuinka paljon ilmassa todellisuudessa on vettä esim. g/m ³
KASTEPISTE	Lämpötila, jossa ilma saavuttaa 100 %:n kosteuden ja ilman sisältämä vesi alkaa tiivistymään sumuksi tai pi- saroiksi pinnoille
PPM	10 000 ppm = 1 %

1 JOHDANTO

Työssä tutkitaan vanhojen pientalojen ilmanvaihtoratkaisuja ja selvitetään niiden kehittymismahdollisuuksia. Työ tehdään Terveilma nimiselle yritykselle, jonka pääasiallinen toimiala on pientalojen ilmanvaihtotyöt. Tarve työlle on syntynyt, kun useissa kohteissa on havaittu ilmanvaihdon toimintaa laiminlyöviä rakennusteknisiä ratkaisuja, sekä kiinteistöjen huollosta vastaavien henkilöiden tietämättömyyttä aiheesta.

Päätarkoituksena luoda pientalojen omistajille ja muille ilmanvaihtojärjestelmien käytöstä ja huollosta vastaaville henkilöille perusteet, joiden avulla on mahdollista varmistaa oman kiinteistönsä ilmanvaihdon toimivuus. Työn tärkeimpänä tavoitteena on selvittää erilaisten pientaloissa esiintyvien ilmanvaihtotapojen toiminta, huollontarve ja löytää parhaat ratkaisut vanhojen ilmanvaihtotapojen parantamiseksi. Lisäksi tavoitteena on pyrkiä luomaan selkeä kuva ilmanvaihdon toimimattomuuden vaikutuksista sisäilmaolosuhteisiin ja kiinteistön rakenteiden terveyteen.

2 PIENTALOJEN ILMANVAIHTOTAVAT

Pientalojen sisätiloissa esiintyy useita erilaisia epäpuhtauksien lähteitä, joiden vuoksi sisäilman riittävästä vaihtuvuudesta tulee huolehtia (taulukko 1). Ihmisen tuottamista epäpuhtauksista suurin on hengittämisen seurauksena tuotettu hiilidioksidi, joka aiheuttaa liian korkeina pitoisuuksina väsymystä, päänsärkyä ja työtehon alenemista. Muita ihmisperäisiä epäpuhtauksia ovat esimerkiksi metaani ja aldehydit, jotka aiheuttavat lähinnä hajuhaittoja. (Sisäilmayhdistys n.d.)

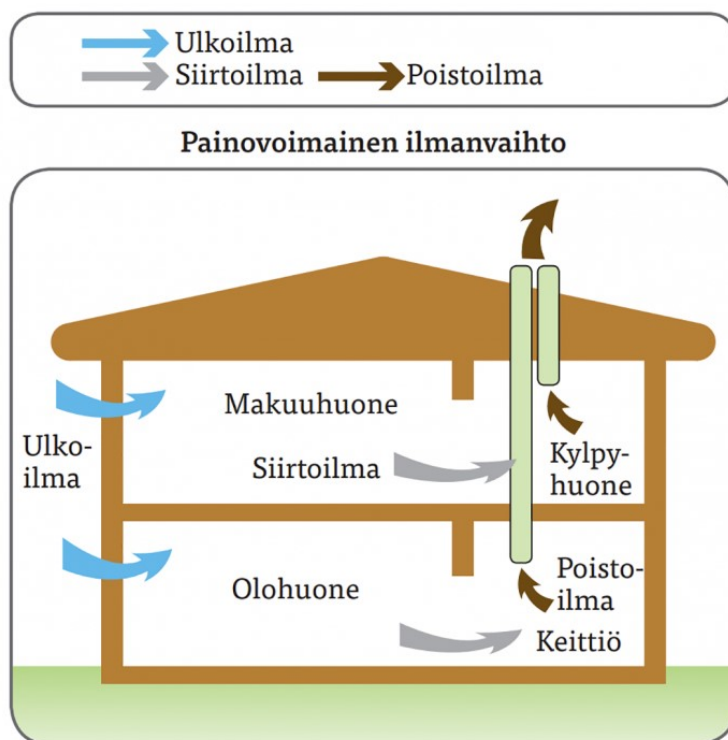
TAULUKKO 1. Yleisimmät sisäilman epäpuhtaudet (Sisäilmayhdistys n.d., THL 2019)

Hiukkasmaiset	Kaasumaiset
Pienhiukkaset	VOC
Kuidut	Formaldehydi
Allergeenit	Hiilimonoksidi
Bakteerit	Hiilidioksidi
Homeet	Ammoniakki
Hiivat	Metaani
Virukset	Radon
Alkueläimet	

Ilmanvaihdon päätehtävänä pientaloissa on tuoda rakennuksen sisätiloihin raistista ilmaa käyttömukavuuden ja raikkaan hengitysilman varmistamiseksi sekä poistaa hengittämisen ja kosteus- ja lämpölähteiden aiheuttamat epäpuhtaudet. Riittäväällä ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varmistetaan rakenteiden kunnossa säilyminen sekä luodaan ihmiselle suotuisa sisäilmasto. Asuintaloissa on eri aikakausilla käytetty useita erilaisia ilmanvaihtoratkaisuja ja niistä yleisimmät esitetään kappaleessa kaksi. (Sisäilmayhdistys n.d.)

2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto on tekniseltä toteutukseltaan yksinkertaisin ja Suomessa pientaloissa eniten käytetty ilmanvaihtotapa 1970-luvulle asti. Sen toiminta perustuu kylmän ulkoilman ja lämpimän sisäilman välillä vallitseviin tiheyseroihin. Ilman lämmitessä sen tiheys pienenee, jolloin se muuttuu kevyemmäksi ja pyrkii nousemaan ylöspäin. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa lämpimälle sisäilmalle luodaan mahdollisuus nousta vapaasti ylöspäin lopulta ulkoilmaan asti. Tiheyserojen vaikutuksesta poistoilmahormissa syntyy imua ylöspäin. Tätä kutsutaan hormivaikutukseksi. Hormivaikutuksen seurauksena ulos poistuva ilma aiheuttaa sisälle alipaineen, joka mahdollistaa raittiin korvausilman virtauksen ulkoa sisälle erilaisia korvausilmaratkaisuja käyttämällä (kuva 1). Näin sisäilma saadaan vaihtumaan pelkkien luonnonvoimien avulla ilman erillisiä ja monimutkaisempia teknisiä ratkaisuja. (Ilmakas n.d., PVIV korjauskortti 2021)



KUVA 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Hengitysliitto n.d.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuteen ja tehokkuuteen vaikuttavat suuresti ulkoilmaolosuhteet. Talvella ulkoilman ollessa kylmää, saattaa suurien tiheyserojen vuoksi poistoilmavirta kasvaa jopa liian suureksi, jolloin ilmavirtoja joudutaan rajoittamaan venttiileillä. Ulkoilman lämmitessä painovoimaisen ilmanvaihdon

toiminta heikkenee. Sen saavuttaessa sisäilman lämpötilan, muuttuu sisäilman vaihtuvuus jopa lähelle nollaa, koska tiheyserojen tasoittuessa, ei hormiin enää synny imua. Tällöin voidaan ilmanvaihtoa tehostaa ovien tai tuuletusikkunoiden avulla, jolloin sisäilma saadaan vaihtumaan läpivirtauksen vaikutuksesta. (PVIV korjauskortti 2021)

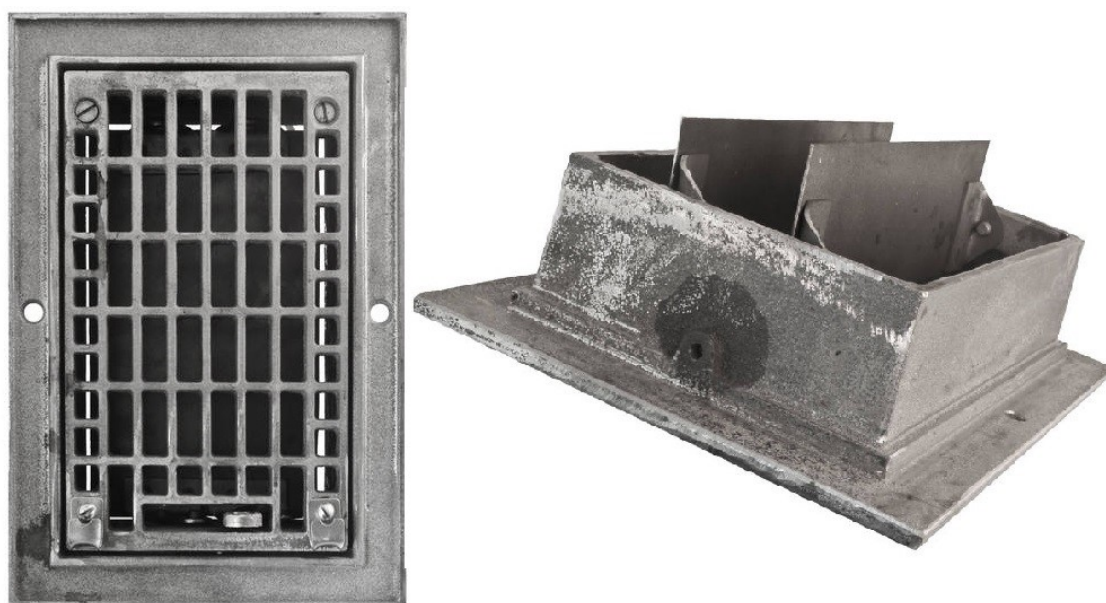
Tuuli, aurinko ja ulkoilman korkea- ja matalapainevyöhykkeet vaikuttavat suurilta osin järjestelmän toimintaan. Runsas tuulisuus voi lisätä merkittävästi korvausilmalähteistä sisään virtaavan ilman määrää, joka voi aiheuttaa sisätiloihin hetkellisen ylipaineen. Tämän seurauksena katolle nouseva poistoilmavirta tehostuu. Lisäksi tuulen osuessa vesikatolla poistoilmapiipun päähän, saattaa piipussa syntyvä imu kasvaa ja näin tehostaa asunnosta poistuvaa ilmavirtaa. Tuulen vaikutuksesta on myös mahdollista syntyä huomattavasti järjestelmän sisäistä toimintaa suurempia paine-eroja, jolloin järjestelmä voi toimia hetkellisesti väärään suuntaan. Tätä kutsutaan takaisinvirtaukseksi. Ulkoilman ollessa lämmintä ei takaisinvirtausta yleensä huomaa, mutta talviaikaan se voi aiheuttaa käyttömukavuuden heikkenemistä, mikäli kylmää ilmaa virtaa poistoilmaventtiileistä esimerkiksi pesutiloihin. Kaikkiaan painovoimainen ilmanvaihto vaatii tarpeenmukaisesti toimiakseen käyttäjältään hyvää tietoa sen toiminnasta, sekä jatkuvaa sääolosuhteiden seuraamista ja järjestelmän säätämistä. (Hengityслиitto n.d, PVIV korjauskortti 2021)

Järjestelmän asennustekniset ratkaisut ovat avainasemassa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan varmistamiseksi. Asunnon, korvausilmaventtiilien sekä piipun sijainti ja korkeus vaikuttavat tuulen ja lämpötilavaihteluiden aiheuttamien virtauksien syntymiseen. Mikäli asunto sijaitsee avoimella paikalla, pääsee tuuli vaikuttamaan paremmin rakennuksen ulkopintoihin ja näin myös venttiileistä sisään virtaavan ilman määrään. Lisäksi talon sijainti ja poistoilmahormin korkeus vaikuttavat hormissa vallitsevaan tiheyseroon ja täten myös hormissa syntyvään imuun. Jotta tuulen vaikutus saataisiin mahdollisimman tasaiseksi, tulisi piipun ylettää vähintään rakennuksen harjan korkeudelle. Tällöin tuulen suunta ei estä hormivaikutuksen tehostumista. Lisäksi esteetön siirtoilman kulku tulee varmistaa, jotta ilma pääsee vaihtumaan eri tilojen välillä. Tarpeenmukaisilla siirtoilmareiteillä varmistetaan tasainen ilmanvaihtuvuus kaikissa tiloissa. (PVIV korjauskortti 2021)

2.1.1 Tiilihormi

Tiilihormi on pientaloissa 60-luvulle asti yleisimmin käytetty painovoimaisen ilmanvaihdon ratkaisu, jossa tiilestä muurattuun piippuun on muurattu hormikäytävät ilmanvaihtoa varten. Asuintiloihin on katon rajaan hormin kylkeen muurattu säädettävissä olevat venttiilit (kuva 2), joista lämmennyt ja epäpuhtauksia sisältävä ilma pääsee tiheyserojen vaikutuksesta nousemaan hormia pitkin vesikaton piipun päästä ulkoilmaan. (PVIV korjauskortti 2021)

Hyvin toimivan painovoimaisen ilmanvaihdon edellytyksenä on riittävä korvausilman saanti, joka on vanhoissa taloissa useimmiten toteutettu ikkunaraoilla, tuuletusikkunoilla tai korvausilmaventtiileillä. Edellytyksenä korvausilman riittävälle virtaukselle tulee järjestelmää huoltaa säännöllisesti ja huolehtia korvausilmareitien siisteydestä. Mikäli talossa on patterilämmitys ja ilmanvaihto on suunniteltu hyvin, ovat korvausilman tuloreitit usein asennettu lämmityspatterien päälle. Tällöin kylmä korvausilma sekoittuu patterista nousevaan lämpimään ilmaan, joka vähentää vedon tunnetta ja parantaa käyttömukavuutta. (PVIV korjauskortti 2021)



KUVA 2. Painovoimaisen ilmanvaihdon säleventtiili ilmavirran säätömahdollisuudella (DomusClassica n.d.)

2.1.2 Kierresaumakanava

70-luvulta eteenpäin alettiin painovoimaisessa ilmanvaihdossa käyttämään erillisiä sinkitystä pellistä valmistettuja kanavia (kuva 3). Verrattuna tiilihormiratkaisuun erillisten kanavien hyötyjä ovat niiden laajempi mahdollinen sijoittaminen, edullisempi hinta sekä saneerausmahdollisuudet. Peltikanavat ovat myös tiiviimpiä ja helpompia puhdistaa. Paremman sijoittelun ansiosta poistventtiilit voitiin sijoittaa paremmin lähemmäs lämpö- ja kosteuskuormaa tuottavia pisteitä, kuten suihku ja keittiön lavuaari. Asuintiloissa poistokanavien päätelaitteina alettiin käyttämään helposti säädettävissä olevia lautasventtiileitä (kuva 4), joista ilma pääsee vapaasti virtaamaan kanavaan. (Börje Hagner 2015, 82; Ilmakas n.d.)



KUVA 3. Sinkityn kierresaumakanavan asennus pientalossa (2022)

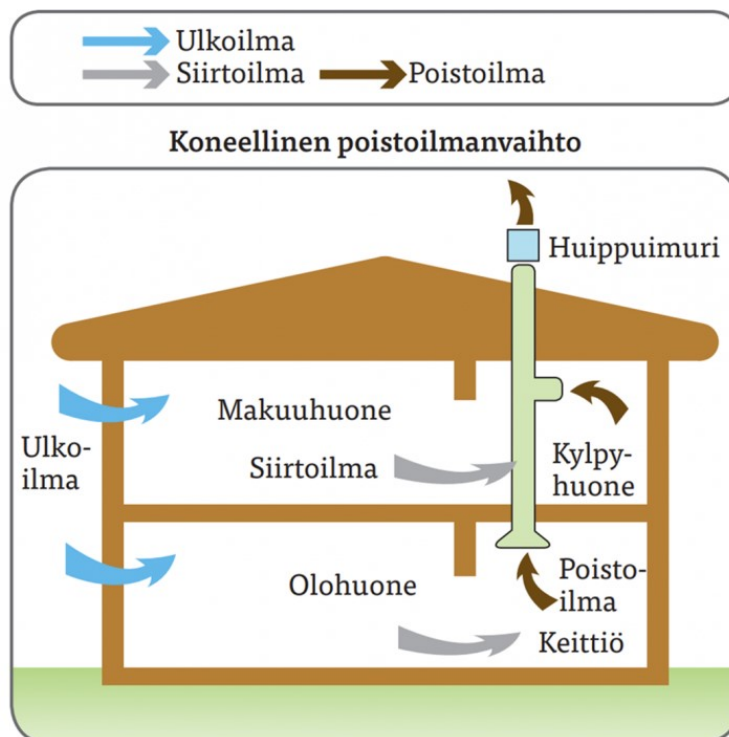


KUVA 4. Lautasventtiili katossa. Ilman vaihtuvuuden havainnointi savukynnällä (Aamulehti 2016)

Paksuista tiilihormeista ohueen peltikanavaan siirryttäessä täytyi myös ottaa huomioon veden kondensoituminen. Lämpimän ilman virtaaminen ohuessa, hyvin lämpöä johtavassa kanavassa voi aiheuttaa kylmässä tilassa veden kondensoitumista kanavaan. Tämän välttämiseksi täytyi kanavien tarpeenmukaisesta eristämisestä huolehtia. (Paroc 2019)

2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

70-luvulle tultaessa tekniikan kehityttyä ja ihmisten sisätiloissa aiheuttamien kosteuskuormien lisääntyessä, alettiin laajalti käyttämään erilaisia poistoilmapuhallinratkaisuja paremman lämmön ja kosteuden poiston saavuttamiseksi (kuva 5). Yleisimmin koneellinen poistoilmanvaihto toteutettiin jatkuvatoimisena tai avustettuna painovoimaisena ilmanvaihtona. Jatkuvatoimisessa toteutuksessa poistoilmapuhallin käy koko ajan, mutta sen käyntinopeutta voidaan säätää. Avustettussa painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen ilmanvaihto toimii normaalitilassa painovoimaisena ja sitä voidaan tehostaa poistoilmapuhaltimen avulla esimerkiksi suihkun jälkeen, jolloin rakennuksen sisäilman suhteellinen kosteus on hetkellisesti kohonnut. (Ilmakas n.d.)



KUVA 5. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Hengitysliitto n.d.)

Koneellisen poistoilmanvaihdon suurimpina etuina painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna on tasaisempi ilman vaihtuvuus, tehokkaampi kosteuden poisto ja säädettävyys. Siirryttäessä painovoimaisesta ilmanvaihdosta koneelliseen poistoilmanvaihtoon, korostuu riittävä korvausilman saanti sekä esteetön siirtoilman liikkuminen. Poistoilmapuhaltimen luodessa painovoimaista suuremman imun sisätiloihin lisääntyvä vaara liian alipaineiselle sisäilmalle ja sen aiheuttamille haitoille. Koneellinen poistoilmanvaihto ei myöskään ole yhtä huoltovapaa, kuin painovoimainen ilmavaihto, vaan täytyy sen teknisten laitteiden kunnossapitämiseksi suorittaa säännöllisiä huoltotoimenpiteitä. Järjestelmän huoltotöiden laiminlyönnistä voi aiheutua merkittäviä vahinkoja rakenteille sekä terveyshaittoja ihmisille. (Hengitysliitto n.d.)

2.2.1 Huippuimuri

Poistoilmapuhaltimien yleistyessä pientaloissa, alettiin yleisimmin koneellisen poistoilmavirran luomiseksi käyttämään huippuimureita (kuva 6). Huippuimurilla varustetussa ratkaisussa asennettiin poistoilmaventtiilit asuntoon rakennusmääräyskokoelman ohjeistuksen mukaisiin paikkoihin, joista kaikki poistoilmakanavat kanavoitiin yhteen pisteeseen, minkä päähän vesikatolle asennettiin poistoilmapuhallin eli huippuimuri. (Ilmakas n.d.)



KUVA 6. Huippuimuri (Ouman n.d.)

Lähtökohtaisesti huippuimurin kierrosnopeus tulisi aina olla säädettävissä, jotta poistoilmavirta pystytään säätämään suunniteltuihin arvoihin. Yleisin ratkaisu huippuimurin ohjaamiseen on liesituulettimeen (kuva 7) sijoitettu nopeuden säädin. Jatkuvan ilmanvaihdon varmistamiseksi liesituulettimallin tulee olla sellainen, jossa puhallinta ei pysty käyttäjän toimesta täysin pysäyttämään. Tähän ilmanvaihtotapaan tarkoitettut liesituulettimet ovat yleensä varustettu ohituspellillä, jolloin ruokaa laitettaessa voidaan tehostaa liesituulettimen ilmavirtaa pienentämällä poistoilmavirtaa muualta asunnosta. Toinen yleinen tapa huippuimurin ohjaamiseen on erillinen seinään asennettava säädin, jolloin liesituuletin on usein varustettu omalla puhaltimella ja sen kanavisto on eriytetty muusta järjestelmästä. (Vallox n.d.).



KUVA 7. Vallox PTX X-LINE 500 säädinkupu (Vallox n.d.). Puhallinnopeuden säätömahdollisuudella ja ohituspellillä varustettu liesikupu.

2.2.2 Kanavapuhallin

Poistoilmanvaihdon toteuttamiseksi vähemmän käytetty ratkaisu asuinrakennuksissa on kanavapuhallin. Mikäli vesikatolle ei voida asentaa huippuimuria, korvataan se yleensä erillisellä kanavapuhaltimella (kuva 8). Kanavapuhallin sijoitetaan yhteen kerättyjen kanavien ja ulos johdetun kanavan väliin. Tällaisissa ratkaisuissa yleisimmäksi ongelmaksi muodostuu, ettei puhallinta saada asennusteknisistä syistä sijoitettua lämpimään tilaan. Tällöin se täytyy eristää hyvin, joka tekee sen huoltamisesta haastavaa. Lisäksi kanavapuhallimet ovat usein melko

äänekkäitä, joten aiheutuu niistä huippuimuria suurempaa meluhaittaa, kun puhallin joudutaan asentamaan rakennuksen ulkovaipan sisäpuolelle. (Ilmakas n.d.)



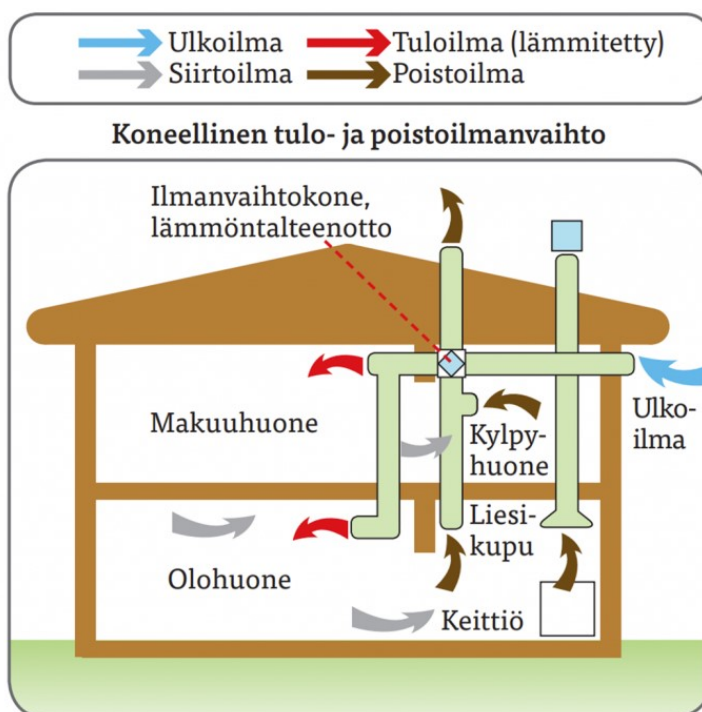
KUVA 8. Tuulettuvaan väliseinärakenteeseen asennettu kanavapuhallin kokonaisuus (2021)

2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

90-luvun alussa alettiin uudisrakennuksiin asentamaan lämmöntalteenotolla varustettuja tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteita. Vuonna 2003 ilmanvaihtoa koskevan Rakennusmääräyskokoelman D2 uudistuksen myötä, ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuusmääräykset tiukentuivat niin, että lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä tuli uudiskohteisiin käytännössä pakolliseksi. (Kair 2022)

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilmanvaihtokone on yksittäinen laite, joka suorittaa koko rakennuksen ilmanvaihdon. Koneessa on yleensä kaksi puhallinta, joista toinen imee raitista ilmaa ulkoa ja puhaltaa sen tuloilmana asuntoon. Toinen puhallin imee poistoilmaa asunnosta ja puhaltaa sen jäteilmahajottajan läpi vesikatolle takaisin ulkoilmaan. Tulo- ja poistoilma jaetaan eri tiloihin niihin suunniteltujen ilmanvaihtoventtiilien avulla.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on käyttömukavuuden ja energiatehokkuuden osalta ylivoimainen verrattuna painovoimaiseen ja koneelliseen poistoilmanvaihtoon. Hyvin säädetyssä järjestelmässä lämmitetty tuloilma jaetaan tasaisesti kaikkiin oleskelutiloihin kuten olo- ja makuuhuoneisiin. Epäpuhtauksia sisältävää ilmaa puolestaan poistetaan sitä eniten tuottavista tiloista, kuten pesutiloista ja keittiöstä. Kuten aiemmin esitetyissä ilmanvaihtotavoissa, myös koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on huolehdittava tarpeenmukaisista siirtoilmareiteistä, jotta ilma pääsee liikkumaan tilojen välillä tasaisesti, eikä liiallista yli- tai alipainetta pääse muodostumaan (kuva 9). (Ilmakas n.d.)



KUVA 9. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaate (Hengityslitto n.d.)

2.3.1 Ristivirta lämmöntalteenotto

Lähes kaikki tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet ovat varustettu lämmöntalteenotolla. Yleisimmin lämmöntalteenotto on tuotettu alumiinisella ristivirtauskennolla, jossa lämmin poistoilma ja kylmä ulkoilma virtaavat kennon lamellien välissä ristiin sekoittumatta keskenään. Näin poistoilmasta saadaan runsaasti lämpöenergiaa talteen (kuva 10). Ristivirta lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voi olla

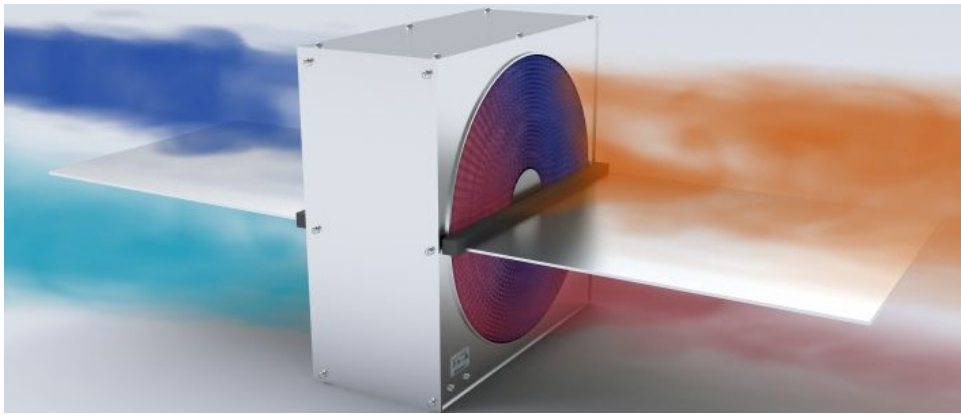
Fläktwoodsin ilmanvaihtokoneen mitoitusohjelman mukaan jopa 78,9 %. (Fläktwoods 2022)



KUVA 10. Ristivirta lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone (Fläktwoods 2022)

2.3.2 Pyörivä lämmöntalteenotto

Uusimpiin pientalojen ilmanvaihtokoneisiin on saatavilla myös pyörivä LTO (kuva 11). Tällöin ilmanvaihtokone on jaettu kahteen lohkoon, jossa toisella puolella virtaa tuloilma ja toisella poistoilma. Kiekon muotoista alumiinista valmistettua LTO-kennoa pyörittää erillinen sähkömoottoriohjattu akseli, jolloin kiekko siirtää poistoilman luovuttamaa lämpöä tasaisesti tuloilmaan. Pyörivän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voi olla Enerventin ilmanvaihtokoneen mitoitusohjelman mukaan jopa 85,6 %. (Enervent 2019)



KUVA 11. Pyörivä lämmöntalteenotto (Enervent 2019)

2.4 Yleisimmät lisätoiminnot

Lähes kaikkiin ilmanvaihtokoneisiin on saatavilla erilaisia lisävarusteita. Niitä voidaan sisällyttää uuteen ilmanvaihtokoneeseen tilausvaiheessa tai ne voidaan asentaa jälkikäteen erillisinä toteutuksina. Lisävarusteiden yleisin tarkoitus on luoda ilmanvaihtokoneelle sen toimintaa parantavia lisätoimintoja, joilla pyritään parantamaan tarpeenmukaisuutta.

2.4.1 Jälkilämmitys

Ilmanvaihtokoneet ovat useimmiten varustettu koneen sisäisellä tai ulkopuolisella jälkilämmityspatterilla. Mikäli lämmöntalteenoton tuoma lämpöenergia ei riitä, tuotetaan tuloilman haluttu lämpötila jälkilämmityspatterilla. Jälkilämmityksessä käytetään sähkövastuksia tai vesikiertoisia lämmityspattereita. Sähköisessä jälkilämmityksessä tuloilma lämmitetään puhaltamalla ilma suoraan vastuksen läpi. Vesikiertoista lämmityspatteria käytettäessä lämmitetään tuloilma puhaltamalla se erillisen lämmityspatterin läpi. Vesikiertoinen on usein energiatehokkaampi ratkaisu, sillä patterin lämpöenergia voidaan tuottaa paremman hyötysuhteen omaavalla lämmitysjärjestelmällä kuten esimerkiksi maalämmöllä. Lämmöntalteenottojen erinomaisen hyötysuhteen vuoksi on jälkilämmityksen tarve kuitenkin niin vähäistä, että vesikiertoisen patterin investointi ei maksa itseään takaisin. Tuloilman yleisenä lämpötilana pidetään 17–20 °C, jolloin sisälle ei synny kylmän

vedon tunnetta, mutta tuloilma ei myöskään lämmitä sisäilmaa. Sisäilman lämmittäminen kannattaa usein jättää mahdollisesti paremman hyötysuhteen omaavan erillisen lämmitysjärjestelmän tehtäväksi. (Vallox n.d.)

2.4.2 Tehostus

Pientaloissa esiintyy usein tilanteita, jolloin ilmanvaihtoa tulisi tehostaa. Esimerkiksi juhlia pidettäessä, syntyy asuntoon normaalia enemmän lämpöä, kosteutta ja hiilidioksidia, joiden vaikutuksesta viihtyvyys heikkenee. Yleisin tapa ilmanvaihdon tehostukselle on nostaa manuaalisesti ilmanvaihtokoneen nopeutta suoraan ilmanvaihtokoneesta tai ulkoisesta säätimestä. Kehittyneemmissä ratkaisuissa tehostusta ohjataan poistoilmavirran hiilidioksidipitoisuuden ja/tai suhteellisen kosteuden perusteella. Tällöin automatiikka muuttaa automaattisesti ilmanvaihtokoneen nopeutta pitoisuuksien ylittäessä asetetut raja-arvot. (Vallox n.d.)

2.4.3 Takkatoiminto

Lähes kaikissa pientaloissa Suomessa on jonkinlainen tulisija. Takkatoiminto on haluttu ja käyttäjäystävällinen ratkaisu, jossa ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhaltimen nopeutta lasketaan tai tuloilmapuhaltimen nopeutta nostetaan ennalta asetetuksi ajaksi. Normaaliolosuhteissa ilmanvaihto on säädetty niin, että asunnon sisällä vallitsee pieni alipaine ulkoilmaan nähden. Poistoilmapuhaltimen nopeuden pienentämällä tilanne käännetään toisinpäin, jolloin tulisijan sytyttäminen helpottuu, eikä sisään savuttamista pääse tapahtumaan. (Vallox n.d.)

3 EDELLYTYKSET TOIMIVALLE ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄLLE

Ilmanvaihtotavasta riippumatta, vaatii kaikki ilmanvaihtojärjestelmät huolto- ja ylläpitotoimenpiteitä niiden suunnitellun toiminnan varmistamiseksi. Huoltotoimenpiteiden säännöllisellä suorittamisella varmistetaan järjestelmän oikea tekninen toiminta ja puhtaus. Lisäksi mahdollistetaan toimimattomuuden havaitseminen ajoissa ennen, kuin se aiheuttaa terveydellistä haittaa ihmisille ja rakenteille. (Hengityслиitto n.d.)

3.1 Suodattimet

Puhtaan sisäilman edellytyksenä kaikissa ilmanvaihtotavoissa on rakennuksen sisälle johdettavan ulkoilman suodattaminen. Painovoimaisessa ja koneellisessa poistoilmanvaihdossa suodattimet on asennettu korvausilmaventtiileihin (kuva 12). Eri suodattimien käyttöikä riippuu niiden valmistusmateriaalista. Osa suodattimista on puhdistettavissa ja pestävissä, jolloin niiden käyttöikä pitenee. Toimivan ilmanvaihdon takaamiseksi tällaiset suodattimet pitää tarkastaa ja puhdistaa 2–6:n kuukauden välein. Kertakäyttöiset suodattimet tulisi vaihtaa vähintään kaksi kertaa vuodessa. Suodattimien puhtaus ja ilmavirran läpäisykyky korostuu painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, jolloin suodattimesta syntyvä painehäviö voi heikentää merkittävästi järjestelmän toimintaa. Joissain tapauksissa täytyy raitisilman suodattaminen jättää kokonaan pois riittävän ilmanvaihtuvuuden varmistamiseksi. (Vilpe 2022, Hengityслиitto n.d.)



KUVA 12. Vanhan ja uuden korvausilmasuodattimen vertailu (2020)

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa suodattimet ovat sijoitettu ilmanvaihtokoneen sisälle (kuva 10). Raitisilma suodatetaan heti kun se saapuu ilmanvaihtokoneeseen. Näin koneen sisälle kertyvä lika saadaan minimoitua ja sisäilman laatu pysyy parempana. Asunnosta poistettava ilma suodatetaan samalla tavalla, jotta pöly ja lika ei päädy lämmöntalteenottokeenoon ja puhaltimiin, pidentäen näin niiden käyttöikä ja vuosihyötysuhdetta. (Vallox n.d.)

3.2 Ilmanvaihdon puhdistus ja säätö

Säännöllinen suodatinten vaihto ei estä kanavistoon kertyvän lian ja pölyn muodostumista (kuva 13). Sen määrään vaikuttavat asunnon yleinen siisteys, lemmikkieläimet ja muut pölykuormaa tuottavat tekijät. Kaikki pientalojen ilmanvaihtojärjestelmät tulisi puhdistaa ja uudelleen säätää pölykuormasta riippuen 5–10 vuoden välein. Puhdas kanavisto ja hyvin tasapainotettu järjestelmä parantaa energiatehokkuutta ja käyttömukavuutta sekä pidentää järjestelmän käyttöikä. (Hengitysliitto n.d.)



KUVA 13. Likainen kierresaumakanava (2020)

Ilmanvaihtojärjestelmän täysvaltaisessa puhdistuksessa kanavat nuohotaan, ilmanvaihtokone puhdistetaan sekä lämmöntalteenottokeino ja päätelaitteet (kuva 14) pestään. Kanaviston puhdistus suoritetaan yleensä alipaineistamalla ja harjaamalla kanavat puhtaksi. Mikäli kanavistoon on kertynyt pinttynyttä likaa ja rasvaa, voi liuottimien käyttö olla tarpeellista, mutta tämä on pientaloissa harvinaista. Puhdistuksen päätteeksi vaihdetaan aina kaikki suodattimet uusiin ennen uudelleensäätämisen aloittamista.



KUVA 14. Likainen poistoilmaventtiili (2021)

Ilmanvaihdon mittaaminen ja säätö tulee suorittaa aina järjestelmän puhdistuksen jälkeen. Likaisten järjestelmien säätämistä tulee välttää liasta aiheutuvien painehäviöiden vuoksi. Mikäli järjestelmä on ollut hyvin tasapainotettu ennen puhdistuksen aloittamista, kannattaa venttiilit lukita ennen niiden pesua, jolloin uudelleen säädössä säästyy runsaasti aikaa, venttiilien säätöjen ollessa jo valmiiksi lähellä haluttuja säätöarvoja. (Vallox n.d.)

Pientaloissa esiintyvien päätelaitteiden mittaamiseen ja säätämiseen soveltuu erinomaisesti paine-ero mittari, jossa on valmiina venttiilitietokannat (kuva 15). Tällaisella mittarilla saadaan mittaaminen suoritettua nopeasti ja tarkasti. Yleisin virhe ilmanvaihdon säätämisessä on liiallisen puhallinnopeuden käyttäminen, jolloin ilmamääriä pienennetään liiallisella venttiilien kuristamisella. Tämän seurauksena kanaviston painehäviö kasvaa, mikä aiheuttaa meluhaittoja ja energiatehokkuuden heikkenemistä. Kanavisto tulisi siis pyrkiä säätämään niin, että voidaan käyttää mahdollisimman pientä puhallinnopeutta. (Vallox n.d., Pressovac n.d.)



KUVA 15. PHM-V1 Venttiilinsäätömittari ja KSO-100 poistoilmaventtiili (2020)

3.3 Muut huoltotoimenpiteet

Ilmanvaihtokoneen toiminta on hyvä tarkastaa muutaman kerran vuodessa. Etenkin talviaikaan koneiden rikkoutumiset ja huollon tarve kasvaa pakkasen vaikutuksista. Yleisin huollontarve esiintyy runsaslumisina talvina, jolloin jäteilmahajottaja jää vesikatolla lumipeitteen alle tai jäätyy runsaiden lämpötilanmuutosten vaikutuksesta (kuva 16). Tämä aiheuttaa ilmanvaihtokoneen poistoilmavirran heikkenemisen, mikä aiheuttaa rakennuksen sisätiloihin ylipaineen. Ylipaine ei ole hetkellisesti haitallista, mutta voi johtaa pitkittyessään rakenteiden kosteustekniisiin ongelmiin, ylipaineen työntäessä kosteaa sisäilmaa rakenteisiin. Tukkiutunut jäteilmakanava voi myös hajottaa ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhaltimen. (Vallox n.d., Himberg n.d.)



KUVA 16. Jäätynyt poistoilmaputki (Lämpöpumput 2018)

Toinen merkittävä ongelma on suuret lämpötilaerot, jotka lisäävät ilmanvaihtokoneen sisällä kondensoituvan veden määrää. Kondenssivesi johdetaan koneesta erillisellä letkulla tai putkella lähimpään viemäripisteeseen. Kondenssiveden poistoputkeen on usein liitetty vesilukko, jotta ilmanvaihtokone ei pääse puhaltamaan, eikä imemään ilmaa sitä kautta (kuva 17). Se myös estää viemärin hajun kulkeutumisen ilmanvaihtokoneeseen ja tätä levittämästä sitä asuintiloihin. Kondenssivesiputki ja vesilukko tulisi tarkastaa jäätymien ja lian aiheutta-

mien tukkeutumien varalta muutaman kerran vuodessa. Tukkeutunut putki aiheuttaa veden kertymisen ilmanvaihtokoneen sisään, joka voi johtaa koneen rikkoutumiseen ja vesivahinkoon. (Vallox n.d.)



KUVA 17. Vallox Silent Klick vesilukko (Vallox n.d.)

4 ERI ILMANVAIHTOTAPOJEN KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Monien pientalojen käyttö muuttuu ajan saatossa. Yleisimpiä pientaloissa tehtyjä muutoksia ovat rakenteiden lämpötekniset saneeraukset ja asuinpohjan muuttaminen. Myös eri tilojen käyttötarkoituksen muuttaminen ilman rakennemuutoksia on yleistä. Aina tällaisia muutoksia tehtäessä tulisi ottaa huomioon uusien tilojen ilmanvaihdon riittävyys ja tarpeenmukaisuus. Ilmanvaihdon kehittäminen ja parantaminen voi olla tarpeellista myös, mikäli energiatehokkuutta tai asuinmukavuutta halutaan parantaa.

4.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon parannusmahdollisuudet

Yleisin parantamista vaativa ilmanvaihtotapa on painovoimainen ilmanvaihto. Ennen ilmanvaihtotavan muuttamista johonkin uuteen ratkaisuun, on syytä tarkistaa ilmanvaihtojärjestelmän sen hetkinen toiminta ja selvittää liittyykö järjestelmään sen normaalia toimintaa heikentäviä tekijöitä. Tällaisia ovat yleensä korvausilman riittämättömyys, poistoilmahormin tukkeutuminen tai sen riittämätön korkeus hormivaikutuksen syntymiseksi sekä poistoilmakanavien vaaka-asennukset. Vaakaan asennetut kanavat heikentävät lämpimän ilman vapaata nousua ylöspäin ja heikentävät näin myös hormivaikutusta.

4.1.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmakohtat

Yleisimpänä painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmakohtana on tarpeenmukaisen ilmanvaihdon riittämättömyys. Suihkun ja muiden kosteuslähteiden tuottamaa kosteutta ei saada poistettua tarpeeksi tehokkaasti. Kesäaikaan normaali sisäilman suhteellinen kosteus on 50–70 %. Talvella ilma on lähes aina kuivempaa, jolloin sisäilman normaali suhteellinen kosteus on 20–40 %. Lämmin ilma kykenee sitomaan huomattavasti enemmän vettä kuin kylmä ilma. Talvella sisätiloihin johdettu kylmä korvausilma on siis absoluuttiselta kosteuodeltaan lähes aina lämmintä sisäilmaa kuivempaa ja näin lämmitessään kuivattaa sitä. Tästä

johtuen kesä- ja talviajan normaalit kosteusarvot ovat eri suuruiset. Mikäli sisäilman suhteellinen kosteus nousee pitkäaikaisesti kesällä yli 75 %:n ja talvella yli 45 %:n on syynä yleensä riittämätön ilmanvaihto.

Talviaikaan ulkoilman ollessa kylmää, liian suuri sisäilman kosteus lisää kylmäsiltoihin ja muihin rakenteiden vuotokohtiin tiivistyvän veden riskiä. Kun absoluuttista kosteutta enemmän sisältävä lämmin ilma törmää rakenteessa kylmän ilman kanssa, saavuttaa lämmin ilma jäähtyessään nopeasti 100 %:n suhteellisen kosteuden (taulukko 2). Tätä kutsutaan kastepisteeksi, jolloin kosteus alkaa tiivistymään pisaroiksi. Seinärakenteeseen tiivistyneet pisarat kastelevat rakenteita, jotka kastuessaan kuivavat huonosti, luoden näin mahdollisen kasvualustan homeille. Vähäisimmissä kosteusmäärissä elävät homeet tarvitsevat kasvaakseen 21°C:n lämpötilassa vähintään 73 %:n suhteellisen kosteuden. Tämän vuoksi on sisäilman kosteuksia syytä seurata ja tarttua pitkään kestäneisiin liiallisiin kosteusarvoihin ennen kuin ne aiheuttavat vahinkoa.

TAULUKKO 2. Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus eri lämpötiloissa (Tekeville n.d.)

Suhteellinen kosteus:	20%	40%	60%	80%	90%	100%
Ilman lämpötila °C	absoluuttinen kosteus: g/m ³					
80	58	116	174	232	261	290
70	39	78	118	157	176	196
60	26	52	78	104	117	130
50	17	33	50	66	75	83
40	10	20	31	41	46	51
30	6,1	12	18	24	27	30
20	3,5	6,9	10	14	16	17
10	1,9	3,8	5,6	7,5	8,5	9,4
0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,4	4,9
-10	0,44	0,88	1,3	1,8	2,0	2,2
-20	0,18	0,35	0,53	0,70	0,79	0,88
-25	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,55
-30	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,33

Toinen merkittävä ongelmakohta puutteellisessa ilmanvaihdossa on liian korkeaksi nousevat hiilidioksidipitoisuudet. Osa sisäilman hiilidioksidista on peräisin ulkoilmasta, jonka keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus on tällä hetkellä noin 400 ppm. Liian korkeiksi nousevat hiilidioksidipitoisuudet aiheutuvat kuitenkin lähes poikkeuksetta ihmisten hengittäessä tuotetusta hiilidioksidista ja puutteellisesta

ilmanvaihdosta. Viranomaispäätöksen mukaan sisäilman hiilidioksiditason tyydyttävänä raja-arvona pidetään 1500 ppm, joka ylittyy nopeasti, mikäli tilassa on paljon ihmisiä samaan aikaan. Mikäli pitoisuudet pysyvät jatkuvasti yli tämän raja-arvon, on ongelmaan syytä puuttua.

Ensimmäisenä toimenpiteenä painovoimaisen ilmanvaihdon riittämättömyydessä tulee selvittää riittävä korvausilman virtaus. Yleisesti riittävänä korvausilmareitien määränä pidetään yhtä korvausilmaventtiiliä jokaista 20:a asuinneliötä kohden. 70-luvulle asti yleisin tapa tuoda korvausilmaa asuntoon on ollut ikkunoiden tiivisteraot tai hengittävät ja tiivistämättömät seinärakenteet ilman tiivistä höyrynsulkua. Korvausilman kulkeutuessa sisätiloihin rakenteiden läpi, voi sen mukana kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan. Siihen puututaan usein vasta, mikäli seinärakenteen sisään on päässyt muodostumaan mikrobikasvustoa, jonka hiukkaset leviävät likaisen korvausilman mukana tehokkaasti huoneilmaan. Tällöin pienetkin mikrobimäärät voivat aiheuttaa ihmisillä oireilua. Usein muut painovoimaisen ilmanvaihdon toimimattomuuden ongelmat ilmenevät, kun vanhoihin rakennuksiin tehdään rakennusteknisiä saneerauksia, joissa rakenteita lisäeristetään tai niiden tiiviyyttä jollakin muulla tavalla muutetaan, ottamatta huomioon ilmanvaihdon toimivuutta. Jälkikäteen ilmavaihdon parantaminen ja korjaaminen on usein erittäin hankalaa ja aiheuttaa odottamattomia lisäkustannuksia teknisten toteutuksien haasteellisuuden vuoksi.

4.1.2 Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen

Rakenteita muutettaessa tiiviimmäksi, ja sisätilojen kosteuslähteiden lisääntyessä on painovoimainen ilmanvaihto usein riittämätön. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa erilaisilla ratkaisuilla tai se voidaan muuttaa kokonaan koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi. Koneellinen poistoilmanvaihto toteutetaan yleensä hajautetusti erillisillä tilakohtaisilla poistoilmapuhaltimilla tai keskitetysti huippuimurilla.

Yksinkertaisin ja edullisin ratkaisu painovoimaisen ilmanvaihdon tehostamiseksi on luonnonvoimien parempi hyödyntäminen poistoilmavirran muodostamisessa. Esimerkiksi auringon lämpöä voidaan hyödyntää maalaamalla poistoilmahormi

vesikaton yläpuoliselta osalta mustaksi. Musta väri maksimoi auringon säteilyenergian absorboitumisen piippuun, jolloin se lämpiää. Piipun lämmitessä, kasvaa sen ala- ja yläpään välinen tiheysero, joka tehostaa hormivaikutusta. Toinen keino on lisätä hormin päähän vedonparantaja (kuva 18), joka toimii tuulen vaikutuksesta puhaltimen tavoin ja tehostaa poistoilmavirtaa.



KUVA 18. PETE-vedonparantajat (PETE n.d.)

4.1.3 Painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi

Mikäli tehostamista pelkkien luonnonvoimien avulla ei koeta riittäväksi, on seuraava vaihtoehto lisätä järjestelmään tilakohtaisia poistoilmapuhaltimia. Tilakohtaisilla poistoilmapuhaltimilla (kuva 19) voidaan painovoimaisen järjestelmän toimintaa avustaa hetkellisesti tai muuttaa se täysin koneelliseksi poistoilmanvaihtojärjestelmäksi. Mikäli painovoimasta ilmanvaihtoa halutaan vain tehostaa hetkellisesti puhaltimen avulla, asennetaan poistoilmapuhallin valmiiseen poistoil-

mahormiin tai kanavaan venttiilin tilalle. Tällöin järjestelmän toiminta täytyy varmistaa niin, että puhaltimen ollessa pois päältä, pääsee ilma liikkumaan puhaltimen läpi vapaasti painovoimaisen ilmanvaihtventtiilin tapaan.

Muuttaessa järjestelmä tilakohtaisilla poistoilmapuhaltimilla täysin koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi, on yleisin tapa tehdä suoraan kylpyhuoneen ja/tai WC-tilan seinään läpivienti johon poistoilmapuhallin asennetaan. Mikäli puhallin asennetaan vanhaan kanavaan, tulee varmistaa, että kanava menee omanaan ulos, eikä siitä lähde haaroja muihin tiloihin. Muutoin kostea poistoilma puhalletaan tarkoituksettomasti osittain asunnon muihin tiloihin. Lisäksi järjestelmän väärään suuntaan toimiminen tulee estää eli kaikki vanhat painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmareitit tulee tukkia.



KUVA 19. PAX tilakohtainen poistoilmapuhallin (2022)

Asennettaessa tilakohtainen poistoilmapuhallin ulkoseinään, tulee seinän ulkopuolisen poistoilmasäleikön valinta ja sen sijainti harkita tarkkaan. Suoraan seinäpintaan asennettavissa säleiköissä on riski, että puhallinta käytettäessä pienillä nopeuksilla kylmällä ilmalla, alkaa säleikön ja seinän pintaan tiivistymään kosteutta, joka jäätyessään voi estää puhaltimen toiminnan. Säleikkö tulisi asentaa hieman irti seinäpinnasta, jolloin tältä vältytään (kuva 20). Se olisi myös syytä

sijoittaa ulkoseinällä suoralle seinän osalle, jossa ei ole yläpuolella lähistöllä lip-paa tai räystästä. Mikäli lämmin ja kostea ilma puhalletaan seinäpinnasta pienellä nopeudella suoraan lipan alle, nousee kostea ja lämmin ilma rakenteisiin ennen kuin se ehtii sekoittua viileämmän ulkoilman kanssa. Tämä johtaa orgaanisten materiaalien mahdollisiin kosteus- ja homeongelmiin.



KUVA 20. Poistoilmahajottaja ulkoseinässä (2021)

Tilakohtaisten poistoilmapuhaltimien lisäksi, voidaan painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä muuttaa koneelliseksi poistoilmanvaihtojärjestelmäksi keskitetysti huippuimurin avulla. Kohteisiin, joissa painovoimainen ilmanvaihto on toteutettu tiilihormilla, voi keskitetyn koneellisen poistoilmanvaihdon toteuttaminen huippuimurin avulla osoittautua hankalaksi. Hormissa olemassa olevien venttiilien sijoitus voi olla uuteen käyttötarkoitukseen nähden huono ja niiden muuttaminen kanava-asennuksiksi on siitä saatuun hyötyyn nähden työlästä ja johtaa usein hormin rikkoutumiseen. Lisäksi samassa hormissa on usein tulisijan savuhormi, jolloin huippuimuria ei voida paloturvallisuus määräysten mukaan asentaa hormin päähän. Mikäli asennus kuitenkin on mahdollinen, niin tulee ennen huippuimurin asennusta varmistaa hormin tiiveys. Vanhat hormit ovat usein halki välipohjan osalta, jolloin huippuimurilla ei saada riittävää paine-eroa hormiin sen vuotaessa matkalta.

Huippuimurin käyttö kanava-asenteisen painovoimaisen ilmanvaihdon muuttamisessa koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi on tiilihormia suotuisampi vaihtoehto. Olemassa olevien venttiilien sijoittelu on usein valmiiksi oikea, sekä niiden uudelleen sijoittaminen on mahdollista, mikäli välipohjassa tai sisäkattojen alas laskuissa on tilaa uusille asennuksille. Puhaltimen läpiviennin asentamiseen on mo-

nipuolisia vaihtoehtoja lähes kaikille kattomateriaaleille, mikä helpottaa asennustyötä ja pienentää siitä aiheutuvia kustannuksia. Usein löytyy myös valmiiksi vanhaan läpivientiin sopiva puhallinkokonaisuus. Koneellisen poistoilmanvaihdon myötä tulee olemassa olevien kanavien eristepaksuudet samalla tarkastaa vastaamaan poistoilmanvaihdon vaatimia määräyksiä.

Kaikissa edellä mainituissa ratkaisuissa tulee korvausilman ja siirtoilman virtausreitit selvittää tarkasti. Mikäli asuntoon jää vanhoja kanaviston osia tai hormeja käyttämättömäksi, tulee ne tukkia niin, ettei niissä pääse syntymään kondensoitumista lämpötilavaihteluiden seurauksena. Yksi tapa tähän on täyttää kanavat villalla tai uretaanilla. Käyttämättömien kanavien tukkimisella estetään myös korvausilman virtaaminen vääristä paikoista. Siirryttäessä painovoimaisesta koneelliseen poistoilmanvaihtoon, myös siirtoilman vapaan virtaamisen ja korvausilman riittävän määrän merkitys kasvaa. Kun asunnosta poistuva kokonaisilmamäärä kasvaa, täytyy korvausilmaventtiilien ja poistoilmaventtiilien välillä olla ilmavirralla esteteekö kulku. Tämä toteutetaan yleensä väliovien alle jätettävillä raoilla tai tilojen välisiin seiniin ja oviin asennettavilla siirtoilmaventtiileillä. Mikäli siirtoilman liikkuminen on puutteellista, voi osa tiloista jäädä liian alipaineisiksi, jolloin korvausilma imeytyy rakenteista tuodessa mukanaan epäpuhtauksia sisäilmaan. Painovoimaisessa ja koneellisessa poistoilmanvaihdossa on molemmissa omat hyvät ja huonot puolensa. Niistä yleisimmät ovat esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Painovoimaisen ja koneellisen poistoilmanvaihdon etujen ja haittojen vertailu

Painovoimainen ilmanvaihto	Koneellinen poistoilmanvaihto
+ Energiatehokkuus	+Tehokas kosteuden poistaminen
+ Vähäinen huollontarve	+ Säädettävyys
– Jatkuva säädön tarve	+ Helppokäyttöisyys
– Muuttuva ilman vaihtuvuus	+ Tehostamisen mahdollisuus
– Ei tehostus mahdollisuutta	+ Tasainen ilman vaihtuvuus
– Vedon tunne	– Energiatehokkuus
– Korvausilman suodattaminen	– Vedon tunne
	– Korvausilman suodattaminen

4.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon parannusmahdollisuudet

Koneellisen poistoilmanvaihdon parantaminen alkaa aina vanhan järjestelmän kuntotarkoituksella. Näin välttyään jälleen turhilta kustannuksilta, mikäli olemassa olevan järjestelmän toimimattomuus johtuu jostain teknisestä viasta, eikä ilmanvaihdon toteutustavasta. Kun järjestelmää aletaan parantamaan, on syytä rajata päivityksiltä haluttu lopputulos. Näin saadaan muodostettua selkeä kuva siitä, millaisilla toimenpiteillä tulisi edetä.

4.2.1 Käyttömukavuuden ja energiatehokkuuden parantaminen

Koneellisen poistoilmanvaihdon yleisimmät ongelmat liittyvät käyttömukavuuteen. Kun ilmaa poistetaan koneellisesti, saattaa korvausilmaventtiileistä virtaava ilma aiheuttaa epä mukavaa vedon tunnetta, joka korostuu erityisesti talvella sisään virtaaman ilman ollessa kylmää. Vedontunteen ollessa pääsijaisena parannuksen kohteena, tulee järjestelmän ilmavirtojen säädöt tarkastaa ensimmäiseksi. Koneellisen poistoilmavirran ollessa liian suuri, kasvaa näin myös sisään virtaaman kylmän ilman määrä, lisäten vetoa ja energiahukkaa. Seuraavaksi kannattaa kiinnittää huomiota korvausilmaventtiilien sijoitteluun. Oleskeluun käytettävät huonekalut, kuten sohvot ja sängyt kannattaa sijoittaa niin, ettei korvausilmaventtiilistä virtaama kylmä ilma pääse laskeutumaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Korvausilmaventtiilit sijaitsevat usein ikkunan päällä tai niiden yläreunan vieressä. Tällöin voidaan sijoittaa verhot roikkumaan venttiilien eteen, jolloin kylmä ilma törmää verhoihin ja laskeutuu seinän ja verhojen välissä alas päin, sekoittuen tehokkaammin lämpimän sisäilman kanssa ennen kuin se saavuttaa oleskeluvyöhykkeen.

Mikäli kotikonstein suoritettavat toimenpiteet ovat riittämättömiä, siirrytään järjestelmän asennusteknisiin muutoksiin. Korvausilmaventtiilien vaihtamisella saadaan usein hyviä tuloksia vedon hallintaan. Halvimpana vaihtoehtona on termostaattilla varustetut venttiilit, jotka sulkeutuvat ja avautuvat ulkoilman lämpötilan mukaan (kuva 21). Tällainen venttiili on korvausilman säätelyyn erittäin toimiva, mutta aiheuttaa hankaluuksia sisäilman painetasapainon säilyttämiseen. Venttiilin sulkeuduttua kylmällä säällä, kasvaa rakennuksen sisäinen alipaine, mikäli

poistoilmapuhaltimen kierrosnopeutta ei säädellä erikseen asennettavan sisäilman paine-eromittauksen avulla. Tämän vuoksi termostaattiventtiilit soveltuvat paremmin käytettäväksi painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa, jolloin liiallista alipainetta ei pääse syntymään.



KUVA 21. Korvausilmaventtiili termostaatilla ja äänenvaimentimella (Terveysilma n.d.)

Vanhat venttiilit voidaan korvata myös erilaisilla korvausilmaa lämmittävillä venttiileillä (kuva 22). Tällaiset venttiilit on yleensä toteutettu niin, että niiden sisällä on pieni puhallin, joka sekoittaa sisä- ja ulkoilman ennen kuin se päättyy oleskeluvyöhykkeelle. Venttiileiden toimivuuden varmistamiseksi ne tulisi asentaa mahdollisimman lähelle kattoa ohjeiden mukaan. Näin venttiilin toiminnasta saadaan paras hyöty irti niiden kierrättäessä lävitseen niin lämmintä ilmaa kuin huoneesta on mahdollista saada. Ilmaa lämmittäviä venttiileitä löytyy myös lisälämmitysvas-
tuksella varustettuna, mikäli niitä halutaan käyttää samalla lämmittämiseen tai pelkän sekoitusjärjestelmän lämmitys ei riitä vedon hallitsemiseksi. Tällaiset venttiilit ovat erittäin toimiva ratkaisu vedon poistamiseksi ja käyttömukavuuden parantamiseksi, mutta niiden ongelmaksi muodostuu korkea hinta ja erillisten sähköasennuksien tarve.



KUVA 22. Mobair 2015 korvausilmaventtiili kiertoilmapuhaltimella ja lisälämmityksellä (Mobair n.d.)

Toinen oleellinen ongelma poistoilmanvaihdossa on sen huono energiatehokkuus. Lämmintä ilmaa puhalletaan pihalle ja kylmää ilmaa sisälle. Tällöin kaikki lämpöenergia pihalle puhallettavasta ilmasta menee hukkaan. Myös puhaltimen käyttämä sähköenergia on hukkaan mennyttä energiaa. Keskitetyssä poistoilmanvaihdossa voidaan ulospuhallettavaan kanavaan asentaa erillinen vesikiertoinen lämmöntalteenottokeino, jolla voidaan esimerkiksi esilämmittää lämmitystai käyttövettä. Niiden käyttö on kuitenkin pientalouksissa vähäistä, sillä kennon jälkiasennushinnan takaisinmaksuaika on usein erittäin pitkä. Pientalouksissa tyypillisempi ja edullisempi ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseen on poistoilmapuhaltimien päivittäminen energiatehokkaampiin EC-puhaltimiin.

4.2.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi

Poistoilmanvaihdon parantamisessa paras ja nykyaikaisin ratkaisu on sen päivittäminen lämmöntalteenotolla varustettuun tulo- ja poistoilmanvaihtoon. Sillä säävutetaan huomattavasti parempi sisäilman laatu, käyttömukavuus ja energiatehokkuus. Lisäksi sen tilakohtainen tarpeenmukaisuus ja säätämisellä mahdollistettavat ominaisuudet ovat huomattavasti painovoimaista tai pelkkää koneellista poistoilmanvaihtoa parempia. Ainoana ongelmana on sen vanhaan taloon asen-

tamisen hankaluus ja siitä aiheutuvien kustannusten määrä. Vanhaan taloon koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon päivittäminen tulee usein kalliimmaksi, kuin sen tekeminen uuteen kohteeseen (taulukko 4). Tästä syystä niiden urakointi on vähäistä, sillä pientaloasujat eivät usein koe saavansa siitä hinnan arvoista hyötyä.

TAULUKKO 4. Hintavertailu keskitetyn koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toteutuksesta uuden ja vanhan talon (140m²) välillä (2022)

	Uusi talo (€)	Vanhan saneeraus (€)
Suunnitelmat	600	800
Asennukset	3600	4500
Tarvikkeet	6000	6000
Mittaus- ja säätötyö	500	500
Yhteensä	10700	11800

Taulukossa 5 on vertailtu koneellisen poistoilmanvaihdon ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon energiankulutusta saneerauskohteessa. Energiatehokkaamman järjestelmän saneerauksen takaisinmaksuaika riippuu sen hankintahinnasta. Taulukossa 5 käytetyn kohteen saneerauskustannukseksi on arvioitu 10500 euroa. Tällöin järjestelmän yksinkertaiseksi takaisinmaksuajaksi saadaan 12 vuotta. Kaikissa tämän työn laskelmissa on energian kokonaishintana käytetty 15 senttiä/kWh eikä laskennassa ole huomioitu inflaatiotekijöitä. Näillä yksinkertaistetuilla menetelmillä saadaan kuitenkin melko tarkka arvio saneerauksien kannattavuudesta.

TAULUKKO 5. Koneellisen poistoilmanvaihdon ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon vertailu omakotitalon (140m²) saneerauskohteessa. Tarkemmat tiedot vertailukohteesta ja käytetyistä arvoista löytyvät liitteestä 1

	Koneellinen pois- toilmanvaihto	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
Energiankulutus (kWh/a)	8560	2670
Käyttökustannukset (€/a)	1284	400

Koneellista poistoilmanvaihtoa päivittäessä koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi on se yleisimmin toteutettu keskitetysti. Projektia aloittaessa kannattaa selvittää, mihin uusi ilmanvaihtokone voitaisiin asentaa niin, että uudet kanava-asennukset saataisiin tehtyä mahdollisimman helposti. Oleellista on myös selvittää vanhojen poistoilmakanavien ja venttiilien sijainti, ja kuinka niitä voidaan hyödyntää osana uutta järjestelmää. Mikäli vanhoja kanavia käytetään, tulee niiden kunto ja eristevahvuudet tarkistaa vastaamaan tulevan järjestelmän määräyksiä. Likaiset kanavat tulee nuohota ja puhdistaa ennen liittämistä uuteen kanavistoon.

Suurimpana haasteena uusia asennuksia tehtäessä on välipohjassa esiintyvä tilanpuute. Ennen uusien suunnitelmien tilaamista, on syytä varmistaa, että projektin suorittaminen on käytännössä mahdollista. Mikäli kanava-asennuksia ei saada tehtyä välipohjaan, voidaan ne myös tehdä pinta-asennuksina tai huonekoron salliessa alas lasketun katon sisälle. Tällainen ratkaisu on teknisesti jopa suotavaa. Näin vältetään turhilta höyrysulun läpäiseviltä kanavaliitoksilta, sekä eristämisen tarve vähenee huomattavasti, kun kanavoinnit tehdään lämpimään tilaan. Asentaminen on usein myös helpompaa ja nopeampaa tehdä lämpimän tilan puolelle. Eristämisen vähenemisen ja asennusten helpottumisen myötä, myös projektin kokonaishinta putoaa huomattavasti. Ainoaksi ongelmaksi muodostuu pintaan asennettujen kanavien estetiikka. Niiden peittäminen koteloimalla tai jollakin muulla tavalla aiheuttaa lisäkustannuksia, eikä pientaloasujat yleensä ole halukkaita sisätilojen esteettisiin muutoksiin, huomattavasti huokeammasta hinnasta huolimatta.

Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa asentaessa tulee myös selvittää rakennuksen ulkovaipan tekninen rakenne. Mikäli vaippaa ei ympäröi tiivis höyrynsulku, tulee mittaus- ja säätövaiheessa kiinnittää erityistä huomiota ulkovaipan ja sisäilman väliseen paine-eroon. Liiallinen alipaine imee epäpuhtauksia sisäilmaan vaipan läpi huomattavasti enemmän ilmansulkupaperin kuin tiiviin höyrynsulkumuovin läpi.

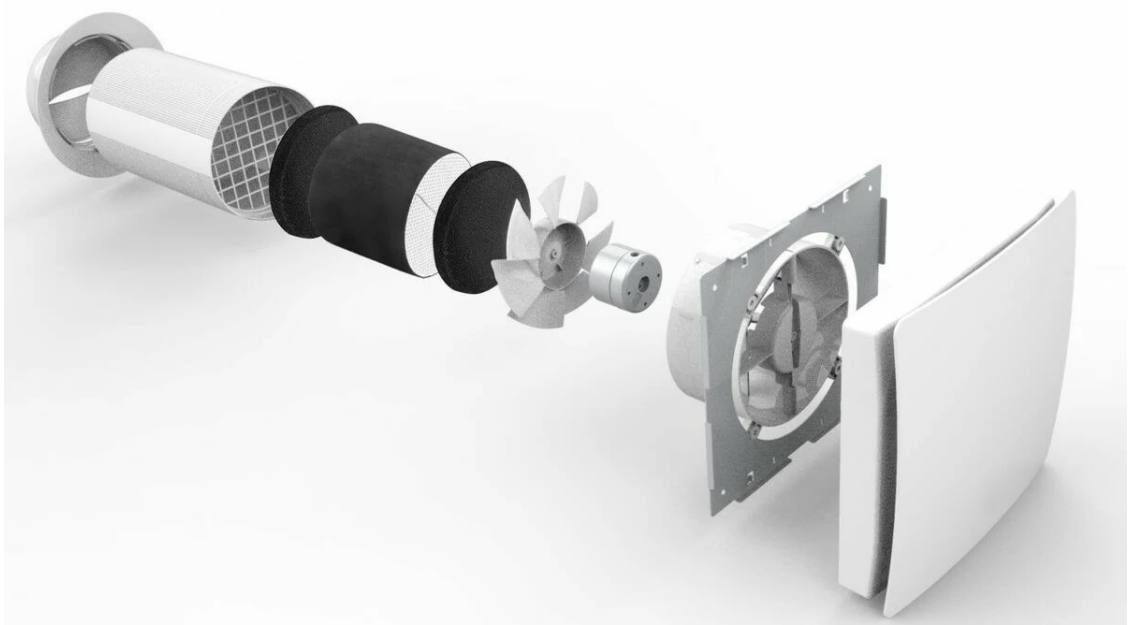
Päivitetessä koneelliseen poistoilmanvaihtoon valitaan venttiilien sijainnit ja niiden ilmavirrat Rakennusmääräyskokoelman ohjeiden mukaan. Mikäli vanhoja kanavan osia ja venttiileitä aiotaan käyttää, on ne syytä ilmoittaa suunnittelijalle etu-

käteen, jotta ylimääräiseltä suunnittelutyöltä vältytään. Siirryttäessä uuteen ilmanvaihtotapaan tuo se jälleen tullessaan hyötyjä ja haittoja, joista yleisimmät ovat esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Koneellisen poistoilmanvaihdon ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etujen ja haittojen vertailu.

Koneellinen poistoilmanvaihto	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
+Tehokas kosteuden poistaminen	+ Säädettävyys
+ Säädettävyys	+Tarpeenmukaisuus
+ Helppokäyttöisyys	+ Helppokäyttöisyys
+ Tehostamisen mahdollisuus	+ Tehostamisen mahdollisuus
+ Tasainen ilman vaihtuvuus	+ Tasainen ilman vaihtuvuus
– Energiatehokkuus	+ Energiatehokkuus
– Vedon tunne	+ Hiljaisuus
– Ulkoa tuleva melu korvausilmaventtiileistä	– Huollontarve
– Korvausilman suodatus	

Keskitetyn järjestelmän ohella toinen melko uusi ja toistaiseksi vähemmän käytetty ratkaisu on painovoimaisen- tai koneellisen poistoilmanvaihdon parantaminen tilakohtaisilla ilmanvaihtokoneilla (kuva 23). Niiden toiminta perustuu tulo- ja poistoilmavirran tuomiseen samasta venttiilistä. Venttiili asennetaan ulkoseinään korvausilmaventtiilin tavoin ja voidaan myös usein vaihtaa sellaisen olemassa olevan tilalle. Yhdistetyssä tulo- ja poistoilmaventtiilissä on oma puhallin ja lämmöntalteenottokenno. Puhallin muuttaa ilmavirran suuntaa automaattisesti noin minuutin välein, jolloin lämmin poistoilma on ehtinyt lämmittämään lämpöä varaa- van kennon. Tämän jälkeen puhallin vaihtaa suuntaa ja puhaltaa raitista esilämmitettyä ilmaa sisälle. Tällaisia venttiileitä on mahdollista saada myös lisälämmitimellä varustettuna, jolloin tuloilma voidaan säätää haluttuun lämpötilaan, ulkoilman lämpötilasta ja lämmöntalteenottokennon hyötysuhteesta huolimatta.



KUVA 23. Räjätyskuva Cooltron Reco 60 tilakohtaisesta lämmöntalteenotolla varustetusta ilmanvaihtokoneesta (Cooltron n.d.)

Tilakohtaiset yhdistetyt tulo- ja poistoilmanvaihtoventtiilit ovat varteenotettava vaihtoehto pieniin omakotitaloihin tai vapaa-ajan asuntoihin, joissa oleskelutiloja ei ole useita. Niillä saadaan parannettua sisäilman laatua ja pienennettyä vedon tunnetta tehokkaasti, ilman isompaa saneerausta. Tilakohtainen ilmanvaihto ei kuitenkaan vastaa tehokkuudeltaan ja käyttömukavuudeltaan keskitettyä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa, eikä se ole yhtä hyvin säädeltävissä. Venttiiliyksiköt ovat lisäksi hankintahinnaltaan melko hintavia, jonka vuoksi niiden käyttäminen isommissa taloissa tulee kalliiksi, eikä ole täten kannattavaa (taulukko 7) (taulukko 8). Ne eivät myöskään täytä uudisrakennuksissa pääilmanvaihtotavan rakennusmääräyksiä, mutta niitä voidaan käyttää uudisrakentamisessa luvanvaraisesti toisarvoisissa tiloissa, kuten erillisvarastoissa ja työtiloissa. Soveltuvuutta ja luvanvaraisuutta omaan kohteeseen kannattaa tiedustella oman kunnan rakennusvalvonnasta.

TAULUKKO 7. Suuntaa antava hintavertailu vanhan omakotitalon (80m²) ilmanvaihtosaneerauksesta keskitetyn ja tilakohtaisen toteutuksen välillä (2022)

	Keskitetty (€)	Tilakohtainen (€)
Suunnitelmat	500	300
Asennukset	2800	1500
Tarvikkeet	5000	2500
Mittaus- ja säätötyö	200	200
Huoltokustannukset (5 vuotta)	350	1500
Yhteensä	8850	6000

TAULUKKO 8. Suuntaa antava hintavertailu vanhan omakotitalon (200m²) ilmanvaihtosaneerauksesta keskitetyn ja tilakohtaisen toteutuksen välillä (2022)

	Keskitetty (€)	Tilakohtainen (€)
Suunnitelmat	600	400
Asennukset	3600	3200
Tarvikkeet	7000	5500
Mittaus- ja säätötyö	500	500
Huoltokustannukset (5 vuotta)	400	3200
Yhteensä	12100	12800

Tilakohtaisia ilmanvaihtokoneita asentaessa tulee ottaa huomioon vanhan ilmanvaihtotavan asennukset. Mikäli talossa on ollut painovoimainen tai keskitetty koneellinen poistoilmanvaihto, täytyy niiden reitit tukkia. Näin estetään ilmavirran liikkuminen väärään suuntaan ja taataan uuden järjestelmän suunnitelmien mukainen toiminta.

4.3 Vanhan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon parannusmahdollisuudet

Ensimmäiset pientaloihin asennetut lämmöntalteenotolla varustetut ilmanvaihtokoneet alkavat jäämään tekniikkansa puolesta vanhoiksi, eikä niissä ole asukkai-

den haluamia lisätoimintoja. Mikäli järjestelmää on huollettu hyvin, ei totaalikorjaukselle yleensä ole tarvetta, mutta vanhoja komponentteja voidaan päivittää uusiin, joilla saadaan parannettua energiatehokkuutta, estetiikkaa ja käyttömukavuutta.

4.3.1 Energiatehokkuus

Yleisin parannuksen kohde on vanhojen puhaltimien päivittäminen EC-puhaltimiin. EC-puhaltimet toimivat tasavirralla ja ne ovat energiatehokkaampia ja hiljaisempia, kuin vanhat vaihtovirtapuhaltimet. Toimivia vanhoja puhaltimia ei välttämättä kannata lähteä vaihtamaan, mutta puhaltimen hajotessa kannattaa ne korvata EC-puhaltimilla, mikäli sellaiset ovat omaan konemalliin saatavilla. Puhaltimien vaihdon yhteydessä kannattaa myös selvittää, onko kyseiseen koneeseen saatavilla automaation päivityssarjaa, jolloin kone saadaan toimimaan älykkäämmin ja voidaan näin säästää energiaa tarpeenmukaisella käytöllä.

Mikäli päädytään vaihtamaan ilmanvaihtokone kokonaan uuteen, on tarjolla useita erilaisia vaihtoehtoja. Ilmanvaihtokoneen hinnan määrittää yleensä lämmöntalteenoton toteutustapa sekä valitut lisätoiminnot. Pyörivällä lämmöntalteenotolla on parempi hyötysuhde kuin ristivirta lämmöntalteenotolla, mutta se on usein hankintahinnaltaan kalliimpi. Taulukossa 9 on vertailtu pyörivällä- ja ristivirtalämmöntalteenotolla varustettuja ilmanvaihtokoneita. Siinä esitettyjen hankintahintojen ja lämmityskustannuksien perusteella voidaan laskea pyörivällä lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen yksinkertaiseksi takaisinmaksuajaksi noin 28 vuotta verrattuna ristivirtakennolla varustettuun ilmanvaihtokoneeseen. Tarkemmat tiedot vertailussa käytetyistä ilmanvaihtokoneista löytyvät liitteistä 2 ja 3.

TAULUKKO 9. Pyörivän- ja ristivirtalämmöntalteenoton vertailu (Fläktwoods 2022, Enervent 2022)

	Fläktwoods ILOX 129PLUS (Ristivirta LTO)	Enervent Pan- dion eAir E (Pyörivä LTO)
Kokonaisenergian tarve ilman LTO:ta (kWh/a)	11940	13586
Talteenotettu energia (kWh/a)	11393	13524
Jälkilämmitystarve (kWh/a)	547	62
Lämmityskustannukset (€/a)	82	9
Hankintahinta (€)	2299	4300

4.3.2 Estetiikka

Mikäli estetiikkaa ja käyttömukavuutta halutaan parantaa, voidaan se suorittaa esimerkiksi uusilla päätelaitteilla. Vanhat päätelaitteet ovat usein kellastuneet auringonvalon, pölyn, rasvan ja kosteuden vaikutuksista, eikä niitä saada enää puhdistamalla siisteiksi. Erilaisia päätelaitteita on nykyisin tarjolla paljon erilaisia ja niitä pystytään muuttamaan sisustukseen ja tilan käyttöön sopivammiksi (kuva 24). Lisäksi päätelaitteiden sijaintia voidaan muuttaa ja niitä voidaan lisätä, mikäli tilojen käyttötarkoitus on vuosien varrella muuttunut. Käyttömukavuuden osalta yleensä isoin ongelma on äänen kulkeutuminen kanavistoa pitkin. Tällaisissa tilanteissa voidaan kanavistoon tai päätelaitteisiin lisätä uusia äänenvaimentimia.



KUVA 24. Sisustukseen muokattava LUMI/LUMO ilmanvaihtoventtiili (Fläktwoods n.d.)

4.3.3 Jäähdytys

Ilmanvaihtosaneerauksen yhteydessä on koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään mahdollista lisätä ilmastointi, eli tuloilman viilennys. Ennen ilmastoinnin asennusta tulee selvittää, kuinka kanavisto on eristetty. Mikäli ilmastointi asennetaan, täytyy tuloilmakanavat eristää myös lämpimissä tiloissa. Lisäksi jäähdytykseen käytettävä kylmä vesi täytyy tuottaa jollain erillisellä järjestelmällä. Pientaloissa se on yleensä toteutettu maalämmön maaviileätoiminnolla. Toinen yleinen vaihtoehto viilennykseen on ilmalämpöpumppu (kuva 25), joka soveltuu käytettäväksi kaikkien ilmanvaihtotapojen kanssa. Ilmalämpöpumppu on yleensä ilmanvaihtokoneella toteutettua viilennystä edullisempi vaihtoehto, mutta sillä ei saavuteta yhtä tasaista viilennystä.



KUVA 25. Ilmalämpöpumppu (Bauhaus 2022)

5 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli luoda pientalojen ilmanvaihtojärjestelmien käyttäjille selkeä kuva, kuinka erilaiset ilmanvaihtotavat toimivat ja kuinka niitä voidaan kehittää. Lisäksi pyrittiin selvittämään, millaisia huoltotoimia niiden toiminnan ylläpitäminen vaatii ja mitä seurauksia voi olla huoltotoimien laiminlyömisellä. Tässä työssä esitetyt eri ilmanvaihtojärjestelmissä havaitut puutteet ja yleisimmät huoltotöiden laiminlyönnin seurauksena esiintyvät ongelmat perustuvat todellisissa kohteissa tehtyihin havaintoihin. Järjestelmien käyttäjien tietämättömyys oman ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ja huollontarpeesta ovat yleisin syy järjestelmien toimimattomuudelle, joten pyrittiin tässä työssä esittämään ratkaisut niiden välttämiseksi.

Kirjallisen tutkimuksen tuloksena sekä todellisissa kohteissa kohdattujen toteutusten pohjalta voidaan todeta, että painovoimainen ilmanvaihto ei usein ole hyvä vaihtoehto pientalon ilmanvaihtotavaksi. Sen tarpeenmukainen ja riittävä toiminta vaatii käyttäjältä liikaa tarkkailua ja säätämistä, jolloin sen toiminta jää usein puutteelliseksi eikä ilman vaihtuvuus ole riittävää. Koneellinen poistoilmanvaihto on riittävä ratkaisu takaamaan pientalon ilmanvaihto, kunhan huoltotoimenpiteet suoritetaan suunnitellusti. Voidaan siis todeta, että painovoimaisen muuttaminen koneelliseksi poistoksi tai painovoimaisen avustaminen puhaltimilla on suotavaa.

Työssä havaittujen asioiden nojalla koneellisen poistoilmanvaihdon päivittäminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi, ei ole riittävän ilman vaihtuvuuden kannalta tarpeellista, mutta parempaa käyttömukavuutta ja energiatehokkuutta tavoiteltaessa se on hyvä ratkaisu. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on kaikilla osa-alueilla eittämättä paras ratkaisu pientalon ilmanvaihtotavaksi. Sen energiatehokkuus ja käyttäjäystävällisyys ovat huomattavasti muita ilmanvaihtotapoja parempia.

Lopuksi voidaan todeta, että työssä onnistuttiin luomaan kattavat tiedot pientalojen käyttäjille ilmanvaihdon toiminnasta ja millaisilla ratkaisuilla sitä voidaan parantaa tarpeenmukaisemmaksi.

LÄHTEET

Antti Pasanen. 2016. Kotimaa. Aamulehti. Luettu 16.3.2022
<https://www.aamulehti.fi/kotimaa/art-2000007360638.html>

Bauhaus. 2022. LVI-Lämmitys, vesi ja ilmastointi. Ilmalämpöpumput ja tarvikeet. Luettu 17.5.2022
<https://www.bauhaus.fi/ilmalampopumppu-mitsubishi-electric-ap25.html>

Börje Hagner. 2015. Kun isoisa fläktiltä pajatuhottimen osti. LVI-alan historia-kooste, 82. Luettu 20.4.2022.
<https://www.ril.fi/media/files/seniorit/lvi-historiikki.pdf>

Domusclassica. n.d. Ilmanvaihto ja lämmitys. Säädetty tuuletusräppänä. Luettu 20.4.2022.
<https://www.domusclassica.fi/ilmanvaihto-ja-lammitys/ilmanvaihtventtiili-saadettava-tuuletusrappana>

Enervent. 2018. Optimizer. Luettu 2.5.2022
<https://www.enervent.fi/optimizer>

Enervent. 2019. Onko pyörivä lämmönsiirrin turvallinen. Luettu. 29.3.2022.
<https://www.enervent.fi/onko-pyoriva-lammonsiirrin-turvallinen/>

Fläktwoods. 2022. Ilox. Luettu 2.5.2022
<https://residential.flaktgroup.com/Select/Index>

Flaktgroup. n.d. Ratkaisut. Lumi ja lumo. Luettu 18.4.2022
<https://www.flaktgroup.com/fi/ratkaisut/lumi-ja-lumo/>

Hengitysliitto. n.d. Kodin sisäilma ja kunnossapito. Ilmanvaihtojärjestelmät. Luettu 15.3.2022
[https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/;](https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/)

Himberg. 2020. Insinööritoimisto Himberg. Ylipaineinen ilmanvaihto. Luettu 4.4.2022
<https://insinooritoimistohimberg.fi/ylipaineinen-ilmanvaihto/>

Ilmakas. n.d. Painovoimainen ilmanvaihto. Luettu 15.3.2022.
<https://ilmakas.fi/painovoimainen-ilmanvaihto/>

Kair. 2022. Ilmanvaihdon ABC. Luettu 15.4.2022
<https://www.kair.fi/fi/ilmanvaihdon-abc>

Laskentapalvelut. 2022. Luettu 10.5.2022
https://www.laskentapalvelut.fi/index_for_JRF.php

Lämpöpumput.info. 2018. Asuminen ja rakentaminen. Luettu 30.3.2022.
<https://lampopumput.info/foorumi/threads/radonputki-eristys-l%C3%A4pivienin-tiivistys.12817/>

Mobair. n.d. Mobair 2015. Luettu. 10.4.2022
<https://mobair.fi/2015-korvausilmaventtiili/>

Museovirasto. 2021. PVIV korjauskortti. Painovoimainen ilmanvaihto käyttö- ja huolto-ohje. Luettu 19.3.2022.
https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/PVIV_korjauskortti.pdf

Ouman. n.d. Ilmanvaihdon ja poistoilmakoneiden modernisointi. Luettu. 22.3.2022.
<https://ouman.fi/tuote/ilmanvaihdon-modernisointi/>

Paroc. 2019. Dokumentit ja työkalut. Esitteet. Talotekniikan eristykset asennusopas. 5/2019. Luettu 20.3.2022.
<https://www.paroc.fi/dokumentit-ja-tyokalut/esitteet>

Pete. 2021. Vedonparantajat. Luettu. 25.4.2022
<https://www.pete.fi/fi/vedonparantajat>

Sisäilmayhdistys. n.d. Perustietoa sisäilmasta. Ilmanvaihdon perusteet. Luettu. 16.3.2022.
<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

Talotarvike. N.d. Ilma. Ilmanvaihtokoneet. Iloxair Ilmanvaihtokone Ilox 129 Plus R. Luettu 2.5.2022
<https://www.talotarvike.com/iloxair-ilmanvaihtokone-ilox-129-plus-r>

Talotuote. N.d. Ilmanvaihto. Ilmanvaihtokoneet. Enervent ilmanvaihtokoneet. Luettu 2.5.2022
<https://talotuote.fi/p39206/enervent-ilmanvaihtokone-enervent-pandion-eair-e>

Tekeville. N.d. Ilmankosteus. Luettu 18.5.2022
<http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>

Terveysilma. n.d. Velco VLR-korvausilmaventtiili. Luettu. 25.3.2022.
<https://www.terveysilma.fi/velco-vlr-korvausilmaventtiili-uuteen-seinalapivientiin>

Vallox. n.d. Vallox silent klick. Luettu 2.4.2022.
https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_lisalaitteet_ja_varusteet/vallox_silent_klick.html

Vallox. n.d. Ilmanvaihtokoneet. Vallox 110 mv. Luettu 8.4.2022.
https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_110_mv.html

Netrauta. n.d. Ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla. Cooltron reco 60. Luettu 13.4.2022
<https://www.netrauta.fi/ilmanvaihtokone-lammon-talteenotolla-cooltron-reco-60>

Vilpe. 2021. Suodattimen vaihto on tärkeää korvausilmaventtiilin tehokkuuden kannalta. Luettu. 19.3.2022
<https://www.vilpe.com/fi/2021/03/25/suodattimen-vaihto-on-tarkeaa-korvausilmaventtiilin-tehokkuuden-kannalta/>

LIITTEET

Liite 1. Korjausrakennuslaskelma koneellisen poistoilmanvaihdon muuttamisesta koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi (Laskentapalvelut 2022)

1(2)

KORJAUSRAKENNUSLASKELMA

Rakennuskohde: Opinnäytetyö
Rakennustyyppi: Omakotitalo
Paikkakunta: Tampere
Projektin tavoite: Korjaus-/muutostyö

Laskelmassa mukana olevat rakenteet:
 Ilmanvaihtojärjestelmä

KORJAUSTEN YHTEISVAIKUTUS

Vanhon rakenteiden lämpöhäviö: 8560 kWh / vuosi
Korjattujen rakenteiden lämpöhäviö: 2670 kWh / vuosi = 0.31 x vanha häviö

Säästöt vuodessa: 5900 kWh / vuosi
 884.31 € / vuosi

Säästöt laskettu rakenneosien lämpöhäviöiden mukaan RakMk D3 2012 säätietojen mukaisesti ilman kesäkauden vaikutusta. **Energian hinta:** 0.15 € / kWh

Laskelman lisätiedot:

Esimerkki vanhan omakotitalon ilmanvaihtosaneerauksesta.

Kohteen tiedot:

Sijainti: Tampere
Rakennusmuoto: Omakotitalo
Rakennusvuosi: 1980
Rakennuspinta-ala: 140m²
Tilavuus: 364 m³
Ilmanvaihtotapa: Koneellinen poistoilmanvaihto (huippumuri)

Alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus on toteutettu nopeussäädöllä ja ohituspellillä varustetulla liesikuvulla. Järjestelmän saneerauksessa koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä päivitetään koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään. Saneerauksessa käytetään Vallox 110 MV ilmanvaihtokonetta, jonka lämmöntalteenoton vuosiyötysuhde on 75 %. Saneerauksen arvioitu kokonaishinta on 10500e (2022).

Laskelman tekijä:
 Juuso Saarinen

Päiväys:
 14.05.2022

RAKENTEIDEN ERITTELY

ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ

Arvioitu ilmanvaihtomäärä:	0.067 m³ / s
Vanhan ilmanvaihdon tyyppi:	Koneellinen poisto
Vanhan ilmanvaihdon ominaissähköteho:	1.6 kWh / (m³/s)
Uuden ilmanvaihdon tyyppi:	Koneellinen tulo ja poisto
Uusi LTO-prosentti:	75 %
Tulon ja poiston ominaissähköteho:	1.3 kWh / (m³/s)
Koko ilmanvaihdon ominaissähköteho:	1.3 kWh / (m³/s)

Alkuperäinen vuoden 1978 Rakentamismääräyskokoelma D2 ohjeiden mukaan laadittu ilmamääräsuunnitelma.

Tila	Poistoilmavirta (l/s)
Keittiö	12
Kodinhuone	12
Pesuhuone	16
WC 1	8
WC 2	8
Vaatehuone	5
Sauna	6
Yhteensä	67

Saneerauksessa käytetty vuoden 2012 Rakentamismääräyskokoelma D2 ohjeiden mukaan laadittu ilmamääräsuunnitelma.

Tila	Poistoilmavirta (l/s)	Tuloilmavirta (l/s)
Keittiö	8	
Kodinhuone	15	15
Pesuhuone	15	
WC 1	10	
WC 2	10	
Vaatehuone	3	
Sauna	6	6
Makuuhuone 1		6
Makuuhuone 1		6
Makuuhuone 1		12
Olohuone		18
Yhteensä	67	63

Ilmanvaihtokerroin: 0.66 1/h

Liite 2. ILOX 129PLUS ilmanvaihtokoneen tekninen mitoituspöytäkirja
(Fläktwoods 2022)

1(3)

TEKNINEN - ILOX 129PLUS

Mitoituspiste

	Tuloilma Poistoilma
Ilmavirta	100 l/s 100 l/s
Ulkoinen painehäviö	50 Pa 50 Pa

Toimintapiste

	Tuloilma Poistoilma
Ilmavirta	100 l/s 100 l/s
Ulkoinen painehäviö	50 Pa 50 Pa
Ulkoilman mitoituslämpötila	-26 °C
Tavoitelämpötila	17 21

Puhallin

	Tuloilma Poistoilma
Moottorin tyyppi	EC EC
Jännite	230V 1Ph ~ 230V 1Ph ~
Ohjausjännite	6.5v 6.3v
Ottoteho	70 W 60 W
Maks. puhaltimen virta	0.8 A 0.8 A

Suodatin

	Tuloilma Poistoilma
Suodatinluokka	ISO Coarse (G3) + ISO ePM1 55% (F7) ISO Coarse (G3)
Leveys	226 mm 255 mm
Syvyys	37 mm 15 mm
Korkeus	460 mm 372 mm
Lukumäärä	

	1
	1
Puhtaan suodattimen painehäviö	64 Pa
	18.2 Pa
Puoliliikaisen suodattimen painehäviö	122 Pa
	34.6 Pa
Likaisen suodattimen painehäviö	180 Pa
	51 Pa

Sähköinen jälkilämmitys

Maksimiteho	2400 W Δt_{19}
Jännite	230 V
Maksimivirta	5.3 A
Mitoituskuorma	25%
Ottoteho kW	0.609 kW

Yhteenvedo

Leveys	598 mm
Korkeus	930 mm
Syvyys	573 mm
Paino	70 kg
Verkköjännite	230V 1Ph ~
Taajuus	50 Hz
Maksimivirta	12.0 A
Nimellisteho	2760 W
SFP	1.30 kW/(m ³ /s)
SPI	0.37 W/(m ³ /h)
Tuloilmahyötysuhde	80.7 %
Kieli	Universaali
Anturit	Ei mitään
Kommunikaatio	Modbus RS 485
Liesikupu	Ei liesikupua
Kätisyys	Oikeakätinen

Säävyöhyke

Paikkakunta	Helsinki
Mitoitusulkolämpötila	-26 °C
Huurtumiseneston toimintalämpötila	-2.6 °C
Jälkilämmityksen suurin kytkentälämpötila	12.0 °C
Ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhde	78.9 %

3(3)

Vuotuinen lämmitysenergian tarve ilman LTO:ta	14432 kWh/Vuosi
Vuotuinen talteenotettu energia	11393 kWh/Vuosi
Vuotuinen lämmitysenergian tarve LTO:n kanssa	3039 kWh/Vuosi
Jälkilämmitystarve	547 kWh/Vuosi
Vuotuinen lämpökerroin	1 kWh sähköenergiaa tuottaa 10.1 kWh/Vuosi lämpöenergiaa
Jälkilämmityksen tehontarve	609 W

Liite 3. Enervent Pandion eAir E ilmanvaihtokoneen tekninen mitoituspöytäkirja (Enervent 2022)

1(4)

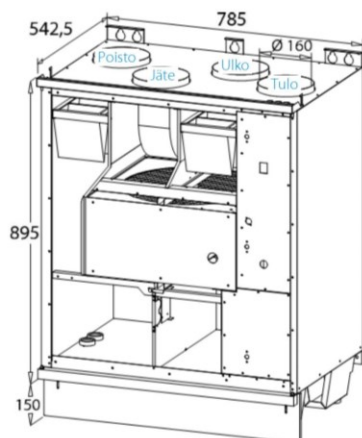
enervent

Energy Optimizer

Kohde: **Opinnäytetyö**
Käsittelijä: **Juuso Saarinen**

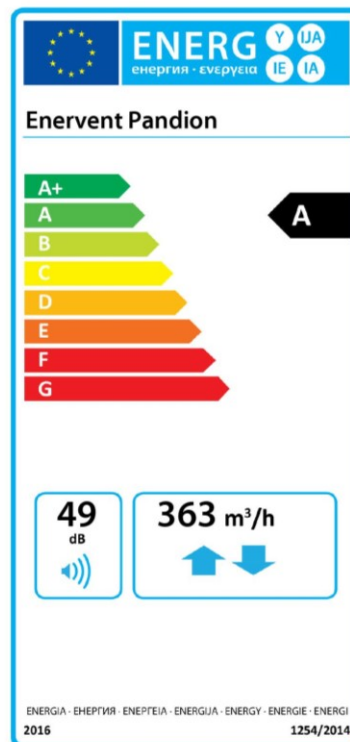
Sivu 1
2.5.2022

Pandion eAir E



Laitetiedot

Kanavalähdöt	Ø 160 mm
Ei liesikupuliitääntää	
Leveys	785 mm
Korkeus	895 mm
Syvyys	543 mm
Paino	90 kg
Suodatustaso	Tulo: F7, ePM1 60 %, pussi Poisto: M5, Coarse 80 %, pussi
Kätsisyys	Oikea
Asennus	kattoon, seinälle tai lattialle
Tuotenumero	P07 209 0012
LVI-numero	7935710
Sähkötiedot	230 V/50 Hz, 1~, 1B10A
Kondenssivedenpoisto	Runko: 1/4" (sisäkierre)
Nimellinen maksimiteho	1153 W



Pandion eAir E

Puhaltimet

	Tulo	Poisto
Mitoituspisteessä		
Puhallinnopeus	73 %	69 %
Syötetty ilmavirta	100 l/s	100 l/s
Kanavapaine	50 Pa	50 Pa
Ottoteho	77 W	62 W
SFP	1.39 kW/(m ³ /s)	
Huipputeho		
Maksimi-ilmavirta	137 l/s	144 l/s
Maksimikanavapaine	94 Pa	104 Pa
Tehostusvara	37 %	44 %

Vuosilaskenta

Kaupunki	Helsinki (I), Suomi
Vuosihyötysuhde	85.6 %
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	85.6 %
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	13 524 kWh
Vuotuinen jätkälämmitystarve	62 kWh

Äänet (Lw)

	Taajuuudet [Hz]								dB	dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
Vaipan läpi	53	52	49	47	47	36	30	22	57.2	49.7
10 m ² absorptio LpA										45.7
20 m ² absorptio LpA										42.7
Tuloilmakanava	56	58	60	66	67	66	57	44	72.0	71.3
Poistoilmakanava	52	47	45	44	45	38	28	21	54.9	47.7
Ulkoilmakanava	53	51	51	53	47	43	37	27	58.9	53.1
Jäteilmakanava	59	62	62	64	66	67	60	52	72.3	71.2

Ecodesign

SFPint	1019 W/(m ³ /s)
--------	----------------------------

Talvi

Lämmön talteenotto

Tyyppi	Vakio
Mitoituspisteessä	-26 °C / 90 %RH
Tuloilma jälkeen LTO:n	14.2 °C / 38 %RH
Hyötysuhde	85.6 %

Sähköinen patteri E

Patteri	800 W Sisäinen
Ilma ulos	17.0 °C / 31 %RH
Teho	0.34 kW

Kesä

Lämmön talteenotto

Tyyppi	Vakio
Mitoituspisteessä	25 °C / 59 %RH
Tuloilma jälkeen LTO:n	23.3 °C / 65 %RH
Hyötysuhde	85.6 %

Sähköinen patteri E

Patteri	800 W Sisäinen
Ilma ulos	23.3 °C / 65 %RH

Pandion eAir E

Vuosilaskenta

Vuosihyötysuhde	85.6 %
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmajäähdytyksillä	85.6 %
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	13524 kWh
Lämpötilan pysyvyys	TRY2012
Poistoilman lämpötila	21 °C
Tuloilman tavoitelämpötila	17 °C
Ilmajäähdytyksen suhde (tulo/poisto)	1.000

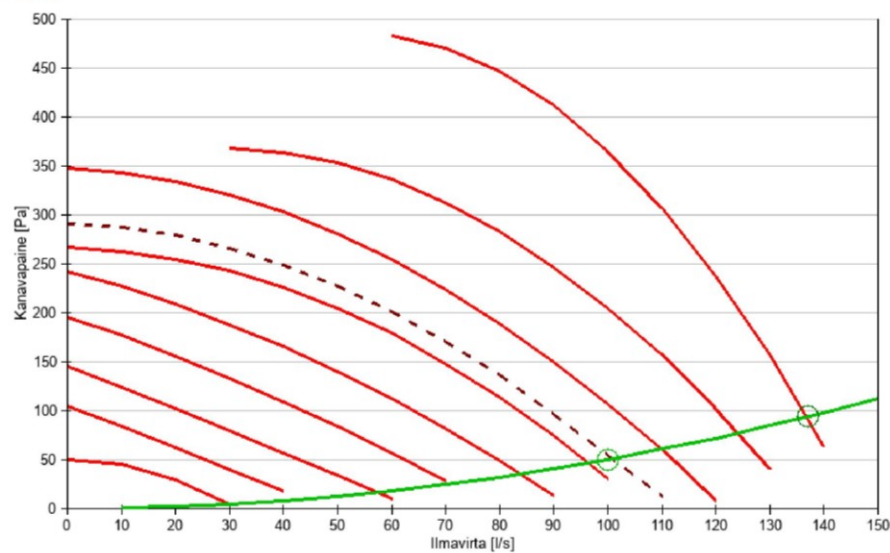
Käyttäjä hyväksyy tämän vastuuvapauslausekkeen vieraillessaan tällä verkkosivustolla ja/tai käyttäessään Enervent Energy Optimizeria (jäljempänä "Optimizer"). Optimizer on yleinen, perustason työkalu, jonka Enervent Zehnder Oy toimittaa maksutta informaatiotarkoituksessa sellaisille Enervent Zehnder Oy:n ja sen tytäryhtiöiden asiakkaille, jotka asuvat Euroopan unionin alueella, Hongkongissa, Kiinassa tai Saudi-Arabiassa. Optimizer on tarkoitettu yksinomaan Enervent Zehnder Oy:n valmistamien ilmastointilaitteistojen ominaisuuksien ammattimaiseen mallintamiseen ympäristössä, jonka Optimizerin käyttäjä määrittelee tarkemmin. Optimizer ei pysty ottamaan huomioon kaikkia mahdollisia olosuhteita tai elementtejä ja/tai niissä tapahtuvia, kuhunkin yksittäiseen ympäristöön liittyviä muutoksia, jotka voivat vaikuttaa ilmastointilaitteistojen ominaisuuksiin. Optimizerin asianmukainen toiminta on pyritty varmistamaan kohtuullisin toimenpitein, mutta Optimizer toimitetaan kuitenkin "sellaisenaan" ja "kulloisenkin saatavuuden mukaan". Enervent Zehnder Oy ei esitä minkäänlaisia nimenomaisia tai hiljaisia lausuntoja tai takuita Optimizerin täydellisyydestä, tarkkuudesta, luotettavuudesta, sopivuudesta, käyttötarkoituksen soveltavuudesta, oikea-aikaisuudesta tai käytettävyydestä, laitteistossa näytetyistä tiedoista ja/tai niistä saaduista tuloksista. Optimizerin, siinä näytettävien tietojen ja/tai niistä saatavien tulosten käyttäminen ja niihin luottaminen on yksinomaan käyttäjän omalla vastuulla. Optimizer toimitetaan vilpittömin mielin, mutta Enervent Zehnder Oy ei takaa, että se on aina käytettävissä, ajan tasalla tai paikkansapitävä. Enervent Zehnder Oy voi muuttaa Optimizeria tai lopettaa sen toimittamisen milloin hyvänsä ja mistä tahansa syystä. ENERVENT EI HYVÄKSY VASTUUTA EIKÄ OLE MISSÄÄN TAPAUKSESSA KORVAUSVELVOLLINEN SUORISTA, EPÄSUORISTA, ERITYISISTÄ TAI SEURANNAISVAHINGOISTA, JOTKA AIHEUTUVAT OPTIMIZERIN KÄYTÖSTÄ TAI TOIMINTAHÄIRIÖSTÄ TAI LIITTYVÄT SIIHEN, MUKAAN LUKIEN MENETETYT VOITOT JA ESINE- TAI HENKILÖVAHINGOT, SIINÄKÄÄN TAPAUKSESSA, ETTÄ KYSEISTEN MENETYSTEN TAI VAHINKOJEN MAHDOLLISUUDESTA ON KERROTTU. Optimizer ja kaikki siihen sisältyvät immateriaalioikeudet ovat Enervent Zehnder Oy:n omistuksessa, hallinnassa tai lisensoimissa.

Taulukko

Ulkolämpötila	Pysyvyys	Jäteilma	LTO:n jälkeen
-20	0.08 %	-14.1 °C	15.1 °C
-19	0.30 %	-13.2 °C	15.2 °C
-18	0.56 %	-12.4 °C	15.4 °C
-17	0.80 %	-11.5 °C	15.5 °C
-16	1.14 %	-10.7 °C	15.7 °C
-15	1.77 %	-9.8 °C	15.8 °C
-14	2.72 %	-8.9 °C	15.9 °C
-13	3.44 %	-8.1 °C	16.1 °C
-12	4.26 %	-7.2 °C	16.2 °C
-11	4.85 %	-6.4 °C	16.4 °C
-10	5.41 %	-5.5 °C	16.5 °C
-9	5.97 %	-4.7 °C	16.7 °C
-8	6.84 %	-3.8 °C	16.8 °C
-7	8.26 %	-3.0 °C	17.0 °C
-6	9.93 %	-2.1 °C	17.1 °C
-5	11.86 %	-1.2 °C	17.2 °C
-4	13.85 %	-0.4 °C	17.4 °C
-3	16.05 %	0.5 °C	17.5 °C
-2	18.49 %	1.3 °C	17.7 °C
-1	21.19 %	2.2 °C	17.8 °C
0	24.63 %	3.0 °C	18.0 °C
1	30.55 %	3.9 °C	18.1 °C
2	36.19 %	4.7 °C	18.3 °C
3	41.44 %	5.6 °C	18.4 °C
4	45.48 %	6.5 °C	18.5 °C
5	48.68 %	7.3 °C	18.7 °C
6	52.12 %	8.2 °C	18.8 °C
7	55.30 %	9.0 °C	19.0 °C
8	58.72 %	9.9 °C	19.1 °C
9	61.92 %	10.7 °C	19.3 °C
10	65.17 %	11.6 °C	19.4 °C
11	68.48 %	12.4 °C	19.6 °C
12	71.83 %	13.3 °C	19.7 °C

Pandion eAir E

Tulo



Poisto

