

ILMANVAIHDON MERKITYS SISÄILMASTOLLE JA ENERGIA- HOKKUDELLE PIENTALOISSA

Eemil Hautamäki
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2026
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan Tutkinto-ohjelma

Tekijä: Eemil Hautamäki

Opinnäytetyön otsikko: Ilmanvaihdon merkitys sisäilmastolle ja energiatehokkuudelle pientaloissa

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2026

Sivumäärä: 30

Nykyaikaisessa rakentamisessa rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on keskeinen tavoite, mutta sitä ei tule toteuttaa sisäilman laadun kustannuksella. Ilmanvaihdon ensisijaisena tehtävänä on ylläpitää terveellistä ja turvallista sisäympäristöä vaihtamalla huoneilmaa ja poistamalla epäpuhtauksia. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kirjallisuuskatsauksen avulla, miten erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden käyttötavat vaikuttavat pientalon sisäilmaan ja energiankulutukseen.

Työn tietoperusta pohjautui voimassa oleviin Ympäristöministeriön asetuksiin, Sisäilmastoluokitus 2018 -ohjeistukseen sekä alan asiantuntijaorganisaatioiden julkaisuihin. Työssä vertailtiin painovoimaista ilmanvaihtoa, koneellista poistoilmanvaihtoa sekä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa lämmöntalteenotolla. Lisäksi tarkasteltiin energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten ominaissähkötehoa, lämmöntalteenoton hyötysuhdetta sekä rakennuksen vaipan tiiviyden merkitystä.

Tulosten perusteella koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla on energiatehokkuuden kannalta ylivoimainen ratkaisu, sillä se mahdollistaa jopa 50–80 prosentin säästöt tuloilman lämmitysenergian tarpeessa. Energiatehokkuuden optimoimiseksi järjestelmän on oltava tiivis, ja sen ohjauksen tulee perustua todelliseen tarpeeseen, kuten hiilidioksidi- tai kosteusanturointiin. Työssä havaittiin myös, että pelkkä tekninen järjestelmä ei takaa hyvää lopputulosta, vaan säännöllinen ylläpito ja suodattimien vaihto ovat ratkaisevassa asemassa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että pientalon hyvä sisäilmasto ja energiatehokkuus ovat saavutettavissa oikein mitoitettulla ja säädetyllä järjestelmällä. Erittäin saneerauskohteissa laitteiston modernisointi ja tarpeenmukaisen ohjauksen lisääminen tarjoavat merkittäviä säästömahdollisuuksia asumisviihtyvyyden paranemisen ohella.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Building Services

Author: Eemil Hautamäki

Title of thesis: The Significance of Ventilation for Indoor Climate and Energy Efficiency in Detached Houses

Term and year when the thesis was submitted: spring 2026

Number of pages: 30

In modern construction, improving the energy efficiency of buildings is a key objective, but it should not be achieved at the expense of indoor air quality. The primary function of ventilation is to maintain a healthy and safe indoor environment by exchanging room air and removing pollutants. The objective of this thesis was to investigate, through a literature review, how different ventilation systems and their usage affect the indoor climate and energy consumption of detached houses.

The theoretical framework of the work was based on current decrees of the Ministry of the Environment, the Finnish Classification of Indoor Climate 2018, and publications from expert organizations in the field. The study compared natural ventilation, mechanical exhaust ventilation, and mechanical supply and exhaust ventilation with heat recovery. Factors affecting energy efficiency, such as specific fan power (SFP), the efficiency of heat recovery, and the significance of the airtightness of the building envelope, were also examined.

Based on the results, mechanical supply and exhaust ventilation with heat recovery is the superior solution in terms of energy efficiency, as it enables savings of up to 50–80 per cent in the energy required for heating supply air. To optimize energy efficiency, the system must be airtight, and its control should be based on actual demand, such as carbon dioxide or humidity sensing. The study also found that a technical system alone does not guarantee a good result; regular maintenance and filter changes play a decisive role.

In conclusion, a good indoor climate and energy efficiency in a detached house can be achieved with a correctly dimensioned and adjusted system. Particularly in renovation projects, modernizing equipment and adding demand-controlled ventilation offer significant opportunities for energy savings alongside improved living comfort.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 PIENTALON ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT	7
2.1 Painovoimainen ilmanvaihto	7
2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	8
2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla ...	9
3 SISÄILMASTON LAATU JA TERVEYSVAIKUTUKSET	11
3.1 Sisäilmaston tavoitearvot (Sisäilmastoluokitus 2018)	11
3.2 Ilman epäpuhtaudet (CO ₂ , VOC, hiukkaset, radon)	12
3.3 Kosteuden hallinta ja rakenteellinen terveys	14
3.4 Ilmanvaihdon vaikutus asumisviihtyvyyteen	15
4 ILMANVAIHDON ENERGIATEHOKKUUS	16
4.1 Lämmöntalteenoton hyötysuhde ja merkitys	16
4.2 Puhaltimien sähkönkulutus (SFP-luku)	19
4.3 Rakennuksen vaipan tiiviys ja vuotoilman vaikutus	20
4.4 Ohjaustapojen vaikutus kulutukseen	21
5 KEINOT ILMANVAIHDON JA ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEEN	23
5.1 Järjestelmän huolto ja säädöt	23
5.2 Modernit ohjausjärjestelmät	24
5.3 Laitteiston saneerausmahdollisuudet vanhoissa pientaloissa	25
6 POHDINTA	27
6.1 Sisäilmaston ja energiatehokkuuden tasapaino	27
6.2 Havainnot ja suositukset pientaloasujalle	27
6.3 Tutkimuksen arviointi ja jatkotutkimusaiheet	28
LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on nykypäivän rakentamisessa keskeinen tavoite. Ilmanvaihdon tehtävä on ylläpitää terveellistä ja turvallista sisäilmaa vaihtamalla huoneilmaa. Ilmanvaihtojärjestelmän tarkoitus on tuoda rakennukseen riittävästi puhdasta ulkoilmaa ja poistaa sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, kosteutta ja hajuja. (Ympäristöministeriö 1009/2017.)

Hyvä sisäilmasto muodostuu useista tekijöistä, joihin kuuluvat ilmanlaadun lisäksi lämpöolosuhteet, ääniympäristö ja valaistus. Näistä erityisesti ilmanlaatuun voidaan vaikuttaa tehokkaasti toimivalla ilmanvaihdolla. Käytännön suunnittelun apuna käytetään usein Sisäilmastoluokitus 2018 -ohjetta, jossa määritellään tavoitearvot sisäympäristön laadulle luokissa S1, S2 ja S3. Luokituksen tavoitteena on edistää terveellisten ja viihtyisien rakennusten toteuttamista. Paras luokka S1 tarkoittaa yksilöllistä sisäilmastoa, jossa ilmanlaatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. (RT 07-11299 2018.)

Energiatehokkuuden näkökulmasta ilmanvaihto on merkittävä tekijä, sillä ilman siirtäminen ja lämmittäminen kuluttavat energiaa. Nykyaikaisissa pientaloissa yleisin ratkaisu on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka on varustettu lämmöntalteenotolla. Näin tuloilmaa voidaan lämmittää poistoilman lämpöenergialla. Vanhemmissa pientaloissa on kuitenkin edelleen laajasti käytössä painovoimaisia ilmanvaihtojärjestelmiä sekä koneellisia poistoilmanvaihtojärjestelmiä. (Motiva Oy s.a. a.)

Pelkkä ilmanvaihtokone ei kuitenkaan takaa hyvää lopputulosta, vaan järjestelmän oikea käyttö ja säännöllinen ylläpito ovat tärkeitä. Asukkaan vastuulla on huolehtia esimerkiksi suodattimien vaihdosta ja venttiilien puhdistuksesta, jotta ilmanvaihto toimii suunnitellulla tavalla. Likaiset suodattimet tai virheelliset säädöt voivat heikentää sisäilman laatua, lisätä energiankulutusta ja aiheuttaa vedon tunnetta. (Motiva Oy s.a. a.)

Tämä opinnäytetyö toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Työn tavoitteena on selvittää, miten erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden käyttötavat vaikuttavat

pientalon sisäilmastoon ja energiankulutukseen. Työssä vertaillaan painovoimaista ilmanvaihtoa, koneellista poistoilmanvaihtoa sekä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa lämmöntalteenotolla. Lisäksi tarkastellaan ilmanvaihdon energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten ominaissähkötehoa ja lämmöntalteenoton hyötysuhdetta, sekä keinoja parantaa olemassa olevien järjestelmien toimintaa.

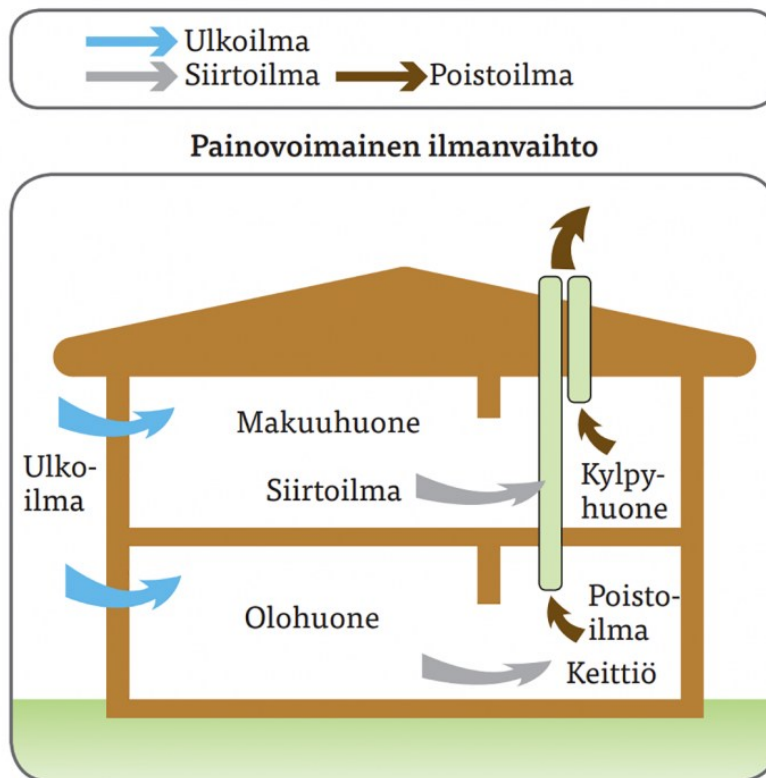
2 PIENTALON ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT

Rakennuksen ilmanvaihdon tavoitteena on ylläpitää hyvää sisäilman laatua vaihtamalla huoneilmaa ulkoilmaan (Ympäristöministeriö 1009/2017, 2 §). Asuinrakennuksessa tämä toteutetaan tuomalla puhdasta ulkoilmaa oleskelutuloihin, kuten olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin. Vastaavasti likaista ilmaa poistetaan tiloista, joissa syntyy epäpuhtauksia, kuten keittiöstä, kylpyhuoneesta ja WC:stä. (Motiva Oy s.a. a.) Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroon, joka saadaan aikaan joko puhaltimien avulla tai luonnollisten paine- ja lämpötilaerojen yhteisvaikutuksella (Motiva Oy s.a. a.). Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan pientaloissa käytössä olevia ilmanvaihtojärjestelmiä.

2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Järjestelmää, jossa ilman vaihtuminen tapahtuu ilman puhaltimia fysiikan lakien avulla, kutsutaan painovoimaiseksi ilmanvaihdoksi. Siinä hormin korkeus, lämpötilavaihtelut ja tuuliolosuhteet luovat paine-eron, joka liikuttaa ilmaa sisältä ulos ja ohjaa samalla uutta ulkoilmaa sisään tuloilmalaitteista (Ympäristöministeriö 1009/2017, 2 §). Se on tavallisin ilmanvaihtoratkaisu vanhoissa kerros- ja pientaloissa (Motiva Oy s.a. a.). Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilma virtaa asuinhuoneisiin ulkoilmaventtiilistä tai ikkunoiden ilmanvaihtoaukoista. Poistoilma ohjataan usein kylpyhuoneen tai liesituulettimen kautta poistoilmakanavaan ja näin ulos rakennuksesta. (Motiva Oy s.a. a.) Kuvassa 1 esitetään painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan merkittävin haaste on sen riippuvuus sääolosuhteista. Kesäisin paine- ja lämpötilaerot ovat pieniä, jolloin ilmanvaihto on usein riittämätöntä ja asuntoja joudutaan tuulettamaan ikkunoiden kautta. Talvella tilanne on päinvastainen, sillä suuret lämpötilaerot tehostavat ilmanvaihtoa huomattavasti. Tällöin ilma voi vaihtua liiankin tehokkaasti, mikä lisää energiankulutusta ja aiheuttaa vedon tunnetta. (Motiva Oy s.a. a.)

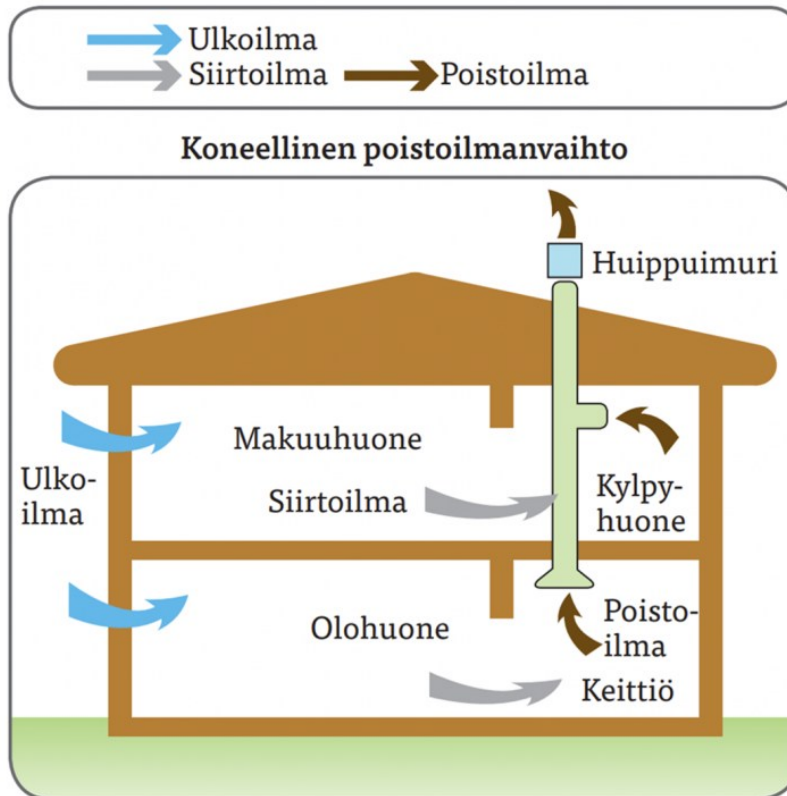


KUVA 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta (Hengitysliitto s.a.)

2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimien avulla ja tilalle tulee ulkoilmaa ulkoilmalaitteiden kautta (Ympäristöministeriö 1009/2017, 2 §). Tässä järjestelmässä keittiön, märkätilojen ja vaatehuoneen ilmanvaihtoventtiileistä imetään ilmaa puhaltimilla kanavien kautta ulos. Korvausilma otetaan asuintiloihin ikkunoissa ja seinissä olevista ulkoilmaventtiileistä. (Motiva Oy s.a. a.) Kuvassa 2 havainnollistetaan koneellisen poistoilmanvaihdon toiminta.

Koneellinen poisto mahdollistaa ilmanvaihdon tehokkuuden paremman hallinnan sääolosuhteista riippumatta verrattuna painovoimaiseen järjestelmään. Energia- tehokkuuden kannalta järjestelmän heikkoutena on kuitenkin se, että poistoilman mukana siirtyvää lämpöenergiaa ei voida suoraan hyödyntää sisälle tuloilman lämmityksessä samalla tavalla kuin lämmöntalteenotolla varustetuissa järjestelmissä. (Vrt. Motiva Oy s.a. a.)



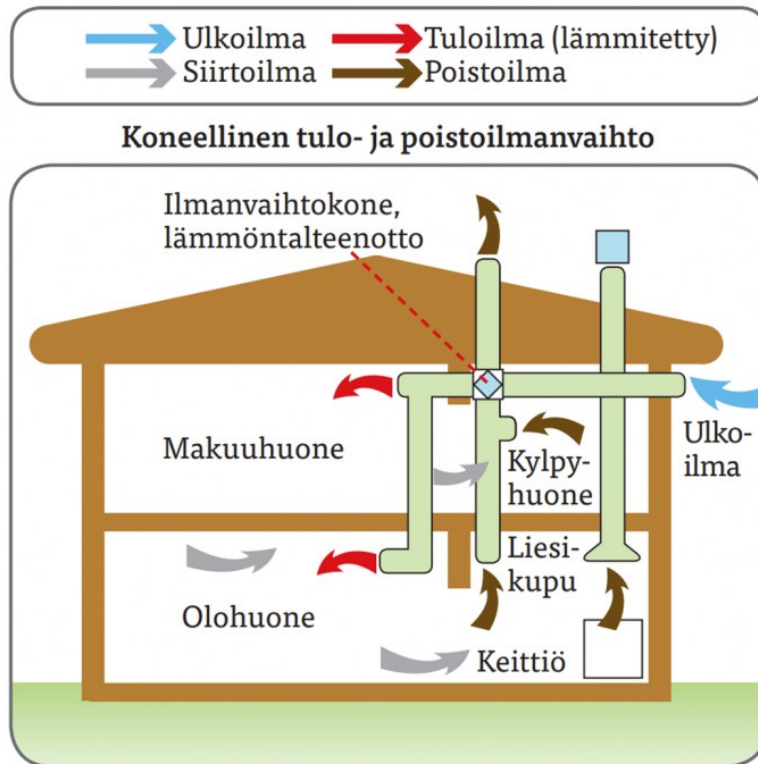
KUVA 2. Koneellisen poistoilmanvaihdon toiminta (Hengitysliitto s.a.)

2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä tarkoitetaan ratkaisua, jossa ilman poistaminen rakennuksesta ja ulkoilma tuominen sisälle tapahtuvat molemmat koneellisesti puhaltimien avulla (Ympäristöministeriö 1009/2017, 2 §). Tässä järjestelmässä tuloilmaventtiilit sijaitsevat oleskelutiloissa ja makuuhuoneissa, joihin ilma puhalletaan ilmanvaihtokoneen kautta (Motiva Oy s.a. a).

Nykyaikaiset ilmanvaihtokoneet on varustettu lämmöntalteenotolla, mikä tekee järjestelmästä energiatehokkaan. Lämmöntalteenoton avulla ulos puhallettavan poistoilman lämpöenergiaa voidaan hyödyntää sisälle tuotavan tuloilman lämmityksessä. Energiataloudellisuutta merkittävästi parantava lämmöntalteenotto on vakiona uudemmissa koneissa, ja se voi mallin mukaan löytyä myös vanhemmista laitteista. (Motiva Oy s.a. a.) Kuva 3 kuvaa koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaatetta.

Jotta koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto toimisi oikein ja energiatehokkaasti, se vaatii puhdistusta ja säätämistä. Väärin mitoitettu tai säädetty järjestelmä heikentää sisäilman laatua sekä aiheuttaa melua ja vedon tunnetta. (Motiva Oy s.a. a.)



KUVA 3. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminta (Hengitysliitto s.a.)

3 SISÄILMASTON LAATU JA TERVEYSVAIKUTUKSET

Sisäilmasto muodostuu rakennuksen sisäilmasta ja siihen vaikuttavista fysikaalisista tekijöistä, kuten lämpötilasta, kosteudesta, ilman liikkeestä ja valaistuksesta. Hyvä sisäilmasto edistää terveyttä ja asumisviihtyvyyttä, kun taas huono sisäilman laatu voi lisätä oireilua ja sairastuvuutta. (Sisäilmayhdistys ry 2022a.) Ilmanvaihdon keskeinen tehtävä on ylläpitää puhdasta ja turvallista sisäilmaa tuomalla tiloihin raikasta ulkoilmaa ja poistaa sieltä epäpuhtauksia (Ympäristöministeriö 1009/2017, 8 §).

3.1 Sisäilmaston tavoitearvot (Sisäilmastoluokitus 2018)

Käytännön suunnittelun apuna käytetään Sisäilmastoluokitus 2018 -ohjetta. Se jakaa sisäilmaston kolmeen eri laatuluokkaan. Yksilöllinen S1, hyvä S2 ja Tyydyttävä S3. S3-luokka vastaa virnaomaismääräysten vähimmäistasoa. Parhaassa S1- ja S2-luokissa tilojen ilmanlaatu on vähintään hyvä, eikä tiloissa esiinny häiritseviä hajuja. (RT 07-11299 2018, 6–7.)

Sisäilmastoluokituksessa asetetaan tavoitearvot muun muassa huoneenlämpötilalle, hiilidioksidipitoisuudelle ja ilman liikenopeudelle. Esimerkiksi S1-luokassa hiilidioksidin pitoisuuslisä saa olla enintään 350 ppm yli ulkoilman pitoisuuden, kun vähimmäistason S3-luokassa raja on 800 ppm. (RT 07-11299 2018, 6–7.) Taulukossa 1 näkyy sisäilmaston tavoitearvoja.

TAULUKKO 1. Sisäympäristön tavoitearvot (RT 07-11299 2018, 7.)

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	<100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	-
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	-	-	-
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]	-	-	-
Toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	-
Asunnot	90 %	80 %	-

3.2 Ilman epäpuhtaudet (CO₂, VOC, hiukkaset, radon)

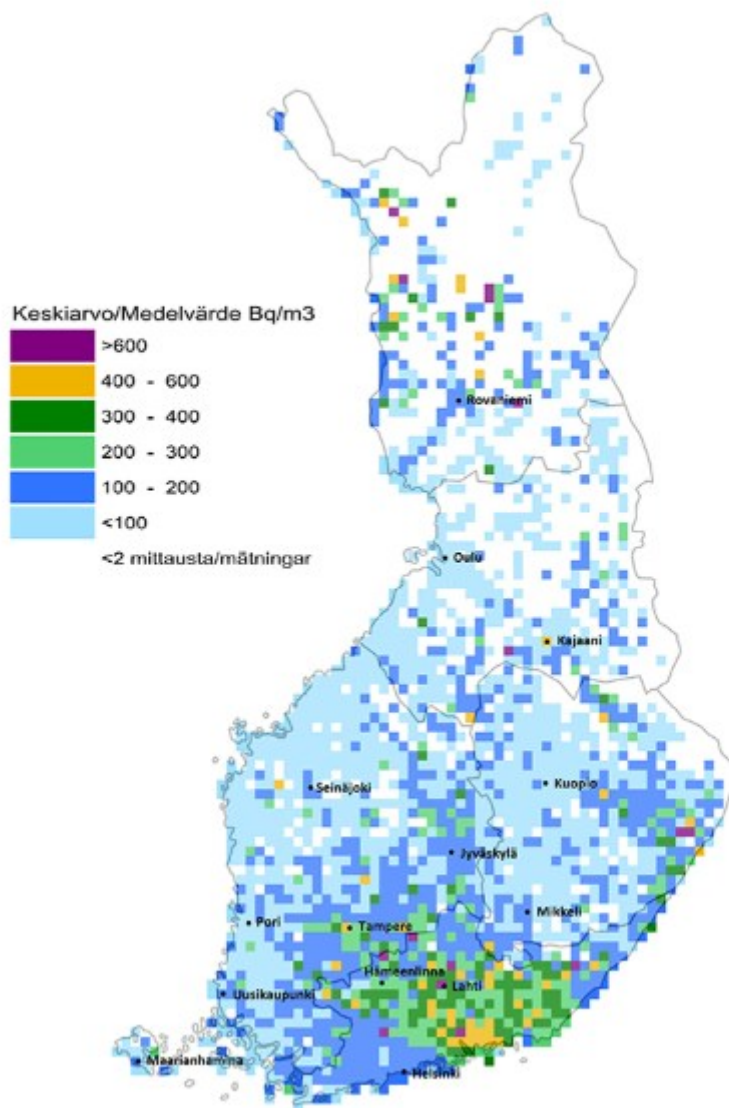
Sisäilmassa esiintyy useita erilaisia kaasumaisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Hiilidioksidi (CO₂) on peräsin ihmisen uloshengitysilmaasta, ja sitä käytetään yleisesti ilmanvaihdon riittävyyden mittarina. Liian korkea hiilidioksidi pitoisuus aiheuttaa tunkkaisuuden tunnetta, väsymystä ja päänsärkyä. (Sisäilmayhdistys ry 2022a.) Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 määrittää, että sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo oleskelutiloissa saa olla enintään 800 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ovat kaasumaisia epäpuhtauksia, joiden pääasiallisia lähteitä ovat rakennus- ja sisustusmateriaalit sekä pesuaineet. Ne voivat aiheuttaa silmien ja limakalvojen ärsytystä sekä päänsärkyä. (Sisäilmayhdistys ry 2022a.) Tämän vuoksi materiaalivalinnoissa on suositeltavaa käyttää vähäpäästöisiä M1-päästöluokiteltuja rakennusmateriaaleja (RT 07-11299 2018, 9).

Hiukkasmaisia epäpuhtauksia kulkeutuu sisätiloihin ulkoilmasta esimerkiksi liikenteen päästöinä, mutta niitä syntyy myös sisätiloissa pölystä ja kuitulähteistä. Pienhiukkaset (PM_{2,5}) pääsevät tunkeutumaan syväälle hengitysteihin ja ovat terveyden kannalta haitallisimpia. (Sisäilmayhdistys ry 2022a.) Ilmanvaihdon suodatuksen tason pitää olla riittävä ulkoilman ja sisäilman laadulle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi (Ympäristöministeriö 1009/2017, 12 §).

Radon on hajuton, mauton ja väritön radioaktiivinen jalokaasu, jota kulkeutuu sisäilmaan pääasiassa rakennuksen alla olevasta maa- ja kallioperästä sekä kivi-peräisistä rakennusmateriaaleista. Se on merkittävä terveysriski, sillä hengitysilman mukana keuhkoihin kulkeutuu radonin lyhtyikäiset hajoamistuotteet, jotka vapauttavat alfasäteilyä. Tämä säteily vaurioittaa soluja, aiheuttaa soluperimän muutoksia ja lisää merkittävästi keuhkosyövän riskiä. Erityisen suuri riski sairastua on tupakoitsijoilla. (Sisäilmayhdistys ry 2022a.)

Uudisrakennukset tulee suunnitella ja rakentaa siten, että sisäilman radonpitoisuus ei ylitä arvoa 200 Bq/m³. Sisäilmastoluokituksen parhaissa S1- ja S2-luokissa radonpitoisuuden tavoitearvo on tätäkin tiukempi, alle 100 Bq/m³. (RT 07-11299 2018; Sisäilmayhdistys ry 2022a.) Ilmanvaihdon ja rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden huolellinen suunnittelu on keskeisessä roolissa, jotta maaperässä olevan radonin siirtyminen sisäilmaan voidaan estää (Ympäristöministeriö 1009/2017, 21 §). Kuvassa 4 näkyy radonin esiintyminen Suomessa keskiarvoisesti.



KUVA 4. Radonin esiintyminen Suomessa (Säteilyturvakeskus 2017)

3.3 Kosteuden hallinta ja rakenteellinen terveys

Kosteuden hallinta on oleellinen osa tervettä rakennusta ja sisäilmastoa. Sisäilman kosteuden on pysyttävä tilojen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa siten, että vältetään kosteusvaurioita, mikrobin kasvua ja terveydellistä haittaa. (Ympäristöministeriö 1009/2017, 6 §.)

Sisäilman suhteellinen kosteus vaikuttaa merkittävästi terveyteen ja rakenteiden kestävyys. Yli 45 prosentin suhteellinen kosteus edesauttaa pölypunkkien kasvua, ja 70–80 prosentin kosteudessa olosuhteet muuttuvat edullisiksi

homesienille. Toisaalta liian kuiva ilma (alle 20 %) rasittaa ihoa ja hengityselimiä aiheuttaen limakalvojen kuivumista. (Sisäilmayhdistys ry 2022a.) Ilmanvaihdon tehtävänä on poistaa tehokkaasti asukkaiden toiminnasta, kuten peseytymisestä syntyvä ylimääräinen kosteus ennen kuin se ehtii tiivistyä rakenteisiin (Motiva Oy s.a. a).

3.4 Ilmanvaihdon vaikutus asumisviihtyvyyteen

Lämpötila on tärkein yksittäinen sisäilman viihtyvyystekijä. Suuren ihmisjoukon keskimäärin sopivana pitämä huonelämpötila on 20–22 astetta. Liian korkea lämpötila heikentää ilmanlaadun kokemista, lisää väsymysoireilua ja aiheuttaa ilman kuivuuden tunnetta. Lämpötilan pitäminen suunnitellulla tasolla on tehokas keino parantaa sisäilmastoa ja vähentää samalla energiankulutusta. (Sisäilmayhdistys ry 2022b.)

Vedon tunteeseen kohdistuvat huomiot ovat yleisimpiä sisäilmastoon kohdistuvia haittoja. Veto voi johtua liian suuresta ilman liikenopeudesta, kylmistä pinnoista tai epätiivistä ikkunoista. (Sisäilmayhdistys ry 2022b.) Pientaloissa vedontunnetta esiintyy tyypillisesti talvella, jos ilmanvaihtokoneen tuloilman jälkilämmityksen asetus on liian matala. Oikea ja energiatehokas lämpötila tuloilmalle on 16–17 astetta. Oikein säädetty ilmanvaihto ja riittävän tiivis rakennuksen vaippa varmistavat vedottoman ja viihtyisän oleskeluympäristön. (Motiva Oy s.a. a.)

Kesäaikaan asumisviihtyvyyteen ja energiankulutukseen vaikuttaa merkittävästi tilojen mahdollinen koneellinen viilennys. Suunnittelemalla ja käyttämällä jäähdytysjärjestelmiä oikein varmistetaan hyvät sisäilmaolosuhteet ilman turhaa energiankulutusta. Lämpötilat tulee pitää suunnitellulla tasolla, mutta tiloja ei aina tarvitse jäähdyttää liikaa. Kesällä asetusarvot voivat olla korkeampia kuin talven lämmityskaudella, eli sisälämpötilan voidaan antaa nousta hieman korkeammaksi. Automaatiojärjestelmien ohjauksissa on myös varmistettava, etteivät asunnon lämmitys ja jäähdytys toimi samanaikaisesti. (Motiva Oy s.a. b.)

4 ILMANVAIHDON ENERGIATEHOKKUUS

Ilmanvaihdon energiatehokkuus on keskeinen osa koko rakennuksen energiankulutuksen hallintaa. Tuloilman lämmittämiseen kuluva energia muodostaa Suomessa tyypillisesti 30–50 prosenttia koko rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta, mutta lämmöntalteenotolla tästä voidaan riippuen laitteesta kattaa 50–80 prosenttia (LVI 38-10454 2010, 1). Koska ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on siirtää suuria määriä ilmaa ja pitää sen lämpötila miellyttävänä, se kuluttaa merkittävästi sähkö- ja lämpöenergiaa. Energiatehokas ilmanvaihto saavutetaan laadukkaalla lämmöntalteenotolla, energiatehokkailla puhaltimilla, rakennuksen vaiipan tiiveydellä sekä tarpeenmukaisella ohjauksella. Seuraavissa alaluvissa käydään läpi erilaisia lämmöntalteenotto järjestelmiä, SFP lukua ja rakennuksen vaiipan tiiveyttä.

4.1 Lämmöntalteenoton hyötysuhde ja merkitys

Nykyaikaisissa koneellisissa tulo- ja poistoilmanvaihto järjestelmissä energiatehokkuus perustuu pitkälti lämmöntalteenottoon (LTO). Lämmöntalteenoton avulla ulos puhallettavan poistoilman lämpöenergiaa voidaan hyödyntää sisälle puhallettavan tuloilman lämmityksessä. Näin tuloilman lämmitykseen kuluva ostoenergian tarve pienenee. (Motiva Oy s.a. a.)

Lämmöntalteenoton tehokkuutta arvioitaessa on tärkeää erottaa toisistaan laitteen lämpötilahyötysuhde ja ilmanvaihdon vuosihyötysuhde. Lämpötilasuhde on laitteen tekninen ominaisuus, joka mitataan standardisoidussa testitilanteessa. Vuosihyötysuhde puolestaan on koko rakennuksen ilmanvaihdolle laskettava arvo. Se antaa parhaan käsityksen todellisesta säästetystä energiamäärästä. Siihen vaikuttavat laitteen ominaisuuksien lisäksi muun muassa rakennuksen sijaintipaikka, tulo- ja poistoilmavirtojen suhde sekä LTO-kennon jäätyminen esto. Jäätymisen eston vuoksi lämmöntalteenottoa joudutaan rajoittamaan kylmimpinä aikoina. Tämän takia laskennallinen vuosihyötysuhde on käytännössä aina pienempi kuin koneen mitattu lämpötilasuhde. (LVI 38-10454 2010, 1–2.)

Energiatehokkuuden ja asumisviihtyvyyden kannalta on tärkeää, että lämmöntalteenottolaitteistoa ohjataan oikein eri vuodenaikoina. Jos ilmanvaihtokoneessa ei ole automatiikkaa, asukkaan on huolehdittava lämmöntalteenoton kytkemisestä pois kesäkaudeksi. Kesäaikaan päälle unohtunut lämmöntalteenotto voi turhaan lämmitellä sisälle tuotavaa ilmaa. (Motiva Oy s.a. a.) Nykyaikaisista lämmöntalteenotolla varustetuista ilmanvaihtokoneista löytyy kuitenkin automaatiota, joka huolehtii lämmöntalteenoton pois kytkemisestä kesäaikaan. Pientaloissa yleisimmät lämmöntalteenotto laitteet ovat levylämmönsiirrin tai pyörivä lämmönsiirrin.

Levylämmöntalteenotto on yksinkertainen, sillä siinä ei ole liikkuvia osia. Siinä tulo- ja poistoilma virtaa ristiin, jolloin poistoilma luovuttaa lämpöenergian lämmönsiirtimen seinämiin. Kun tuloilma virtaa siirtimen läpi se kerää itseensä poistoilman lämpöenergian. Toiminta on havainnollistettu kuvassa 5. Levylämmöntalteenotto on myös helppo puhdistaa ja se on lähes huoltovapaa. Levylämmöntalteenoton hyötysuhde on noin 55–65 prosentin luokkaa. Pyörivän lämmönsiirtimen toiminta perustuu reiälliseen pyörivään kiekkoon koneen sisällä, jonka läpi tulo- ja poistoilma virtaa. Kuvassa 6 on havainnollistettu pyörivän lämmön siirtimen toimintaa. Pyörivä lämmönsiirrin ei ole niin huoltovapaa ja yksinkertainen, kuin levylämmönsiirrin, mutta sen hyötysuhde voi olla jopa 85 prosenttia. Lämmöntalteenoton hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 1 (Harju 2008, 73–77).

$$\eta = \frac{t_{u2} - t_{u1}}{t_{p1} - t_{u1}}$$

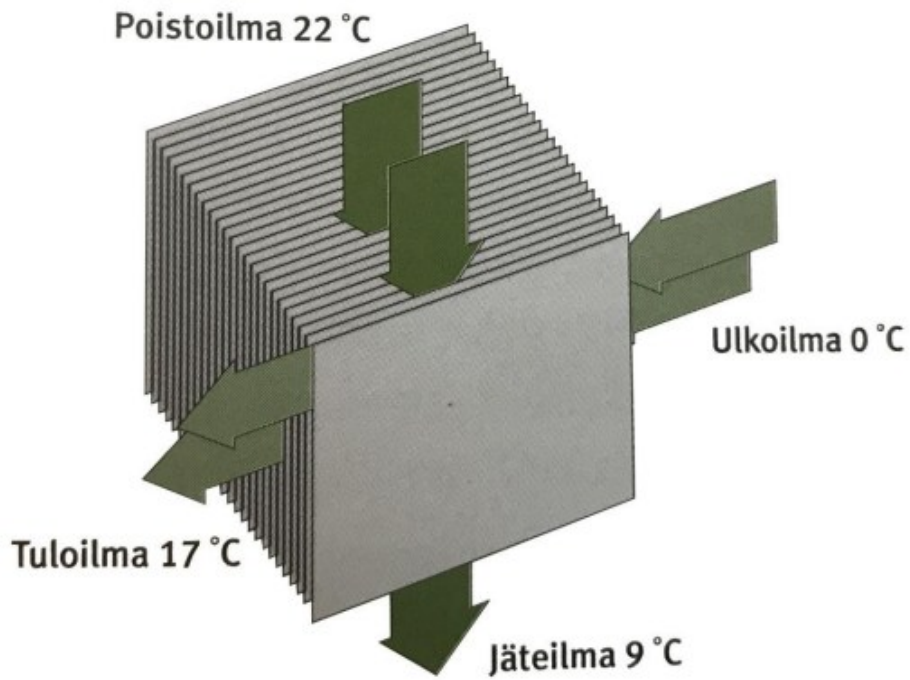
KAAVA 1

η = hyötysuhde

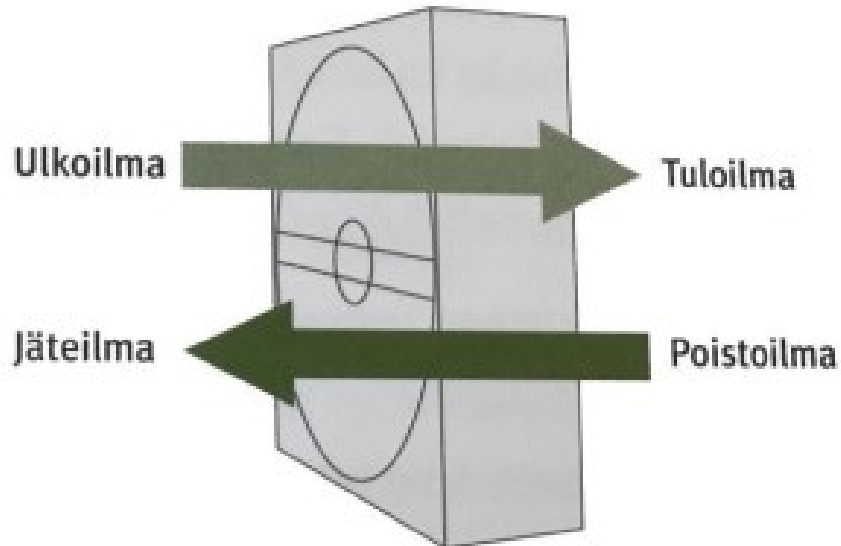
T_{u2} = tuloilma (°C)

T_{u1} = ulkoilma (°C)

T_{p1} = poistoilma (°C)



KUVA 5. Levylämmönsiirtimen toiminta (Lappalainen. 2010, 64)



KUVA 6. Pyörivän lämmönsiirtimen toiminta (Lappalainen. 2010, 64)

4.2 Puhaltimien sähkönkulutus (SFP-luku)

Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutusta kuvataan ominaissähkäteholla eli SFP-luvulla (Specific Fan Power). Ominaissähkäteho lasketaan jakamalla rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien ja niihin liittyvien tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettu sähkäteho ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellulla ulospuhallus- tai ulkoilmavirralla sen mukaan, kumpi näistä on suurempi. SFP-luku ilmoitetaan yksikössä kW/m³/s. (Ympäristöministeriö 1009/2017, 2 §.)

Puhaltimien sähkönkulutukseen vaikuttavat valittujen moottoreiden tyyppi sekä kanaviston ja laitteiden painehäviöt. Esimerkiksi vanhojen puhallinmoottorien vaihtaminen energiatehokkaisiin tasavirtamoottoreihin on keino vähentää energiankulutusta (Motiva Oy s.a. a). Järjestelmän huoltamattomuus nostaa myös sähkönkulutusta, sillä likaiset suodattimet kasvattavat painehäviötä, mikä pienentää ilmamääriä tai aiheuttaa puhaltimille ylimääräistä sähkönkulutusta (Sisäilmayhdistys ry 2022a). Kuten kuvassa 7 esitetään suodattimen likaantumisen vaikutusta paine-eroon ja energiakustannuksiin. Kaavassa 2 huomataan hyvin, miten suuri painehäviö vaikuttaa suoraan sähkönkulutukseen (Talotekninen teollisuus ja kauppa ry 2024, 5).

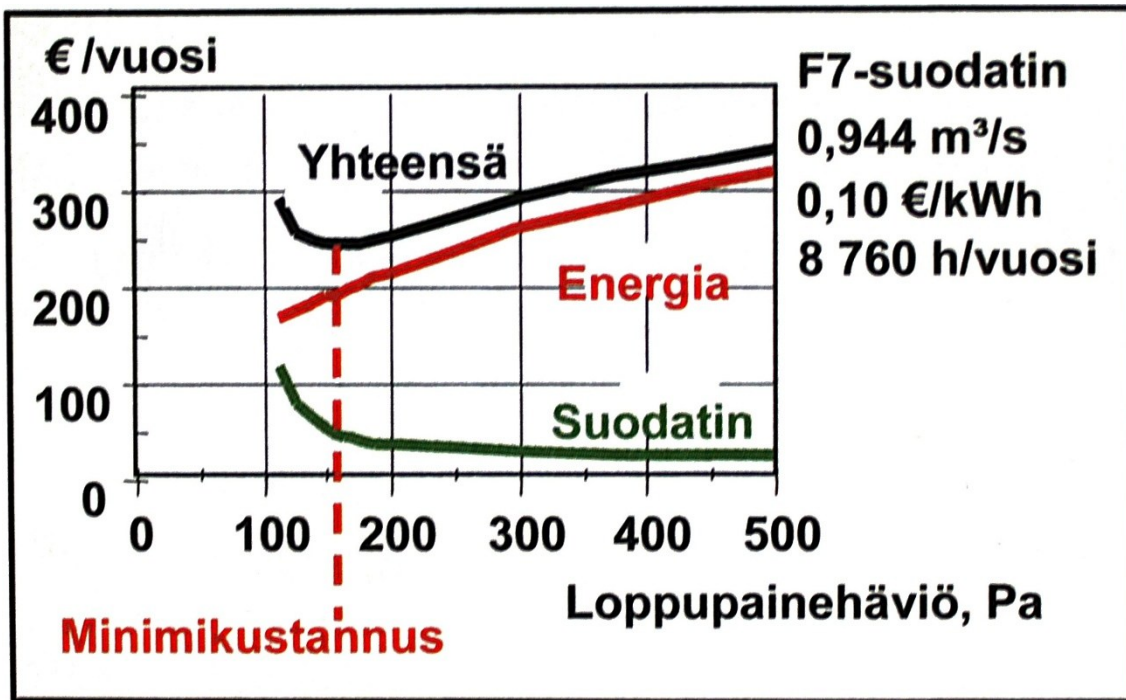
$$P_{verkko} = \frac{q_v \times \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \quad \text{KAAVA 2}$$

P_{verkko} = verkosta otettu pätöteho (W)

q_v = ilmavirta puhaltimen lävitse (m³ * s⁻¹)

ΔP_{tot} = kokonaispaineenkorotus puhaltimen imuaukosta puhallusaukkoon (Pa)

η_{tot} = puhaltimen kokonaispaineenkorotuksesta määritetty kokonaishyötysuhde

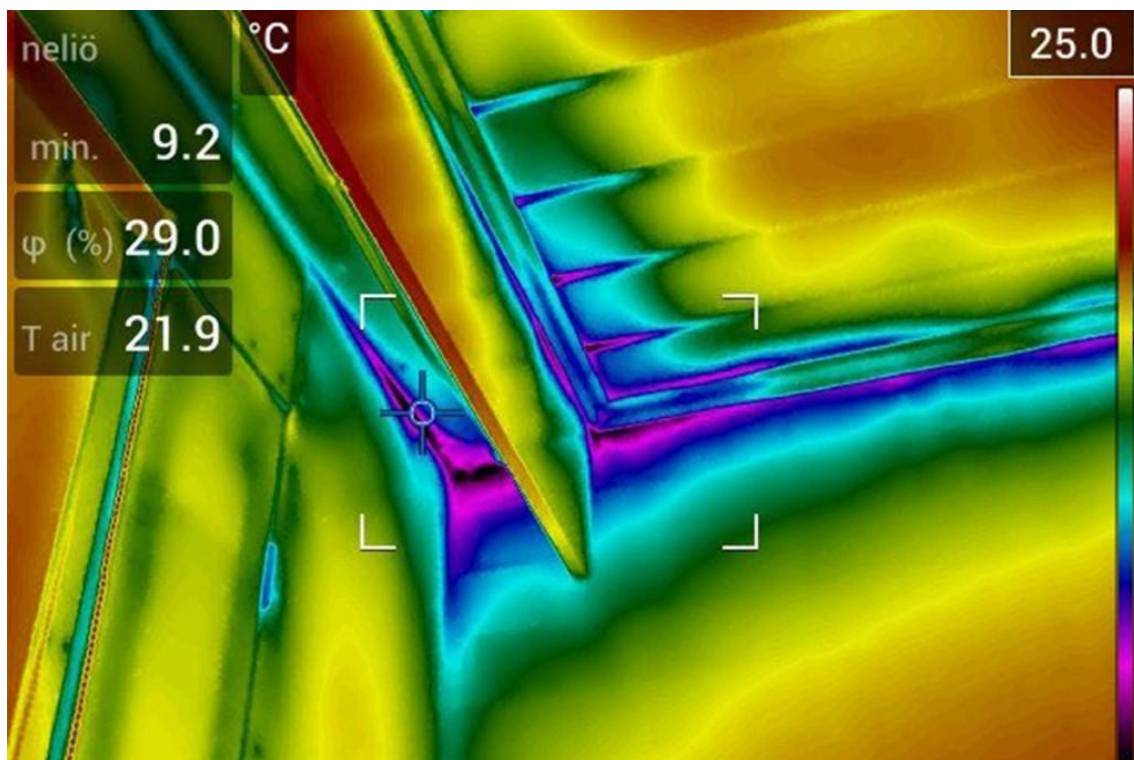


KUVA 7. Suodattimen likaantumisen vaikutus energiakustannuksiin (Sandberg 2014)

4.3 Rakennuksen vaipan tiiviys ja vuotoilman vaikutus

Rakennuksen vaipan tiiviys vaikuttaa keskeisesti ilmanvaihdon energiatehokkääseen toimintaan. Ilmanvaihto pystytään parhaiten hallitsemaan tiiviissä rakennuksessa, jossa lähes kaikki ilma kulkee suunnitellusti ilmanvaihtojärjestelmän kautta. (Motiva Oy s.a. a.) Jos rakennuksen vaippa on epätiivis, hallitsemattomat ilmavuodot aiheuttavat lämpöhäviöitä, koska vuotoilman lämpöä ei voida ottaa talteen ilmanvaihtokoneen lämmönsiirtimellä. Kuvassa 8 huomataan, mistä yleensä rakenteiden ilmanvuotoa tapahtuu.

Rakennuksen ilmanpitävyyttä kuvataan q50-luvulla, joka kertoo vaipan ilmavuotoluvun 50 pascalin paine-erolla. Pyrittäessä laadukkaaseen ja energiatehokkääseen sisäympäristöön (Sisäilmastoluokat S1 ja S2) ilmanpitävyyden tavoitearvon tulee olla korkeintaan 1,0 m³/h m². Tämän tavoitearvon saavuttaminen vähentää suoraan energian kulutusta, ehkäisee ulkovaipan kosteusriskejä ja torjuu ilmavuodoista aiheutuvaa vetohaittaa. (RT 07-11299 2018.)



KUVA 8. Sisänurkan ilmanvuoto lämpökamerassa (Sustera s.a.)

4.4 Ohjaustapojen vaikutus kulutukseen

Energiatehokkuuden optimoimiseksi ilmanvaihtoa on voitava ohjata tarpeenmukaisesti. Ilmavirtoja pitää pystyä säätämään rakennuksen kuormituksen tai ilmanlaadun mukaan vallitsevaa käyttötilannetta vastaavasti (Ympäristöministeriö 1009/2017, 10 §). Asunnon ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava siten, että ilmanvaihtoa voidaan tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin normaalin käyttöajan ilmavirrat, ja vastaavasti poissaolojen aikana ilmavirtoja voidaan pienentää enintään 60 prosenttia (Ympäristöministeriö 1009/2017, 10 §).

Teoreettisesti ilmanvaihdon energiankulutus on suoraan verrannollinen siirrettävän ilman määrään. Jatkuva ja tarpeeton ylituuletus tuhlaa merkittävästi puhaltimien sähköenergiaa ja erityisesti tuloilman lämmittämiseen kuluva ostoenergiaa. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, jossa ilmavirtoja säädetään automaattisesti todellisen tarpeen mukaan, voidaan saavuttaa jopa kymmenien prosenttien säästöt vakioilmavirtaiseen järjestelmään verrattuna. (Parmair ilmanvaihto Oy 2025.)

Kello-ohjauksella tai automaatiolla tehostettu ilmanvaihto voidaan kohdistaa esimerkiksi tyypilliseen ruoanlaitto- tai saunomisaikaan, kun taas minimitehoa käytetään asukkaiden ollessa poissa kotoa (Motiva Oy s.a. a). Rakennusautomaation ohjauksissa on energiahukan estämiseksi lisäksi varmistettava, etteivät asunnon lämmitys- ja jäähdytyslaitteet toimi koskaan samanaikaisesti (Motiva Oy s.a. b).

5 KEINOT ILMANVAIHDON JA ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEEN

Ilmanvaihdon energiatehokkuutta ja sisäilman laatua voidaan parantaa merkittävästi oikeanlaisella käytöllä, säännöllisellä huollolla sekä laitteiston modernisoinnilla. Erityisesti vanhoissa pientaloissa talotekniikan päivittäminen ja ohjaustapojen parantaminen tarjoavat suuria mahdollisuuksia rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen pienentämiseen. Seuraavissa luvuissa käydään läpi keinoja ja asioita, joilla voidaan parantaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta.

5.1 Järjestelmän huolto ja säädöt

Ilmanvaihtojärjestelmän säännöllinen huolto on edellytys sen energiatehokkaalle toiminnalle. Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän suodattimet tulee vaihtaa vähintään kerran tai kahdesti vuodessa (Motiva Oy s.a. a). Tukkeutuneet ja likaiset suodattimet kasvattavat kanaviston painehäviötä, mikä pienentää asuntoon tuotavia ilmamääriä tai pakottaa vakiopaineohjatut puhaltimet käyttämään huomattavasti enemmän sähkötehoa halutun ilmavirran ylläpitämiseksi (Sisäilmayhdistys ry 2022a; Talotekninen teollisuus ja kauppa ry 2024, 18). Kuvassa 9 huomaa vanhan ja uuden suodattimen eron.

Perushuoltoon kuuluu myös lämmöntalteenottokennon imurointi vuosittain ja pesu muutaman vuoden välein sekä poistoilmaventtiilien puhdistus. Energiatehokkuuden kannalta on olennaista, että asukas huolehtii vuodenaikojen mukaisista säädöistä. Esimerkiksi tuloilman jälkilämmitys on energiatehokkainta säätää lämmityskaudella 16–17 celsiusasteeseen, ja kesäaikana lämmöntalteenotto tulee ohittaa kokonaan, jotta asuntoa ei lämmitetä turhaan sisäilmaa viileämmällä ulkoilmalla. (Motiva Oy s.a. a.)



KUVA 9. Vanha ja uusi suodatin (Ravonius 2025)

5.2 Modernit ohjausjärjestelmät

Ilmanvaihdon energiatehokkuutta voidaan parantaa merkittävästi siirtymällä jatkuvasta maksimi- tai vakiotuuletuksesta tarpeenmukaiseen ohjaukseen. Nykyaikaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä tarpeenmukaisuus toteutetaan laitteistoon integroitujen hiilidioksidi- ja kosteusantureiden avulla. Hiilidioksidianturi seuraa sisäilman kuormitusta ja säättää ilmanvaihdon tehoa automaattisesti poissa-, kotona- ja tehostustilojen välillä ihmisten läsnäolon mukaan. (Parmair ilmanvaihto Oy 2025.)

Kosteusanturi puolestaan tunnistaa suihkussa käymisen tai pyykinkuivauksen aiheuttaman kosteusrasituksen ja tehostaa poistoilmanvaihtoa, kunnes tilat ovat jälleen kuivuneet. Suomen kylmissä talviolosuhteissa moderni automatiikka voi myös pienentää ilmavirtaa ulkolämpötilan laskiessa poikkeuksellisen matalalle. Tämä optimoi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton jäätymisenestoa ja vähentää tuloilman lämmitykseen kuluva ostoenergiaa jopa kymmeniä prosentteja. (Parmair ilmanvaihto Oy 2025.) Rakennusautomaation ja ohjausjärjestelmien suunnittelussa on energiahukan välttämiseksi kuitenkin aina varmistettava, etteivät asunnon lämmitys- ja jäähdytyslaitteet toimi koskaan samanaikaisesti (Motiva Oy s.a. b).

5.3 Laitteiston saneerausmahdollisuudet vanhoissa pientaloissa

Vanhojen pientalojen ilmanvaihdon parantamiseen on olemassa useita tasoja kevyistä huoltotoimista koko laitteiston uusimiseen. Kun vanha ilmanvaihtokone uusitaan, laitteiston on täytettävä korjausrakentamista koskevat energiatehokkuusvaatimukset. Ympäristöministeriön asetus 4/2013 asettaa rajat saneerattavien ilmanvaihtojärjestelmien sähkönkulutukselle korjaus- ja muutostöiden yhteydessä. Peruskorjauksen tai uusimisen kohteena olevan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon ominaissähköteho SFP-luku saa olla korkeintaan 2,0 kW/(m³/s). Mikäli kyseessä on pelkkä koneellinen poistoilmajärjestelmä, vastaava raja-arvo on tiukempi, enintään 1,0 kW/(m³/s). (Talotekninen teollisuus ja kauppa ry 2024, 7.)

Saneerauksen yhteydessä vanhan koneellisen ilmanvaihdon sähkönkulutusta voidaan pienentää vaihtamalla vanhat vaihtovirtamoottorit huomattavasti energiatehokkaampiin tasavirtamoottoreihin (Motiva Oy s.a. a). Kokonaan uuden ilmanvaihtokoneen asentaminen on kuitenkin usein perustellumpaa, sillä uusien laitteiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet ja puhaltimien teknologia ovat kehittyneet merkittävästi. Laitteiston uusimisen yhteydessä järjestelmään on helppo asentaa moderni anturiohjattu automatiikka. Tämä mahdollistaa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon, joka tuo merkittäviä energiansäästöjä ja parantaa asumismukavuutta vähentämällä laitemelua ja vedon tunnetta. (Parmair ilmanvaihto Oy 2025.)

Erittäin suuressa osassa vanhoja pientaloja on alkuperäisenä ratkaisuna painovoimainen ilmanvaihto. Täysin painovoimaiseen järjestelmään ei nykyisillä teknisillä ratkaisuilla voida toteuttaa lämmöntalteenottoa. (SuLVI 2018.) Saneerauksen yhteydessä koko järjestelmän muuttaminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi on energiatehokkain, mutta samalla teknisesti haastavin ja kallein vaihtoehto.

Vaihtoehtoisesti olemassa olevaa painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan parantaa puhallinvusteiseksi, jolloin vanhoihin poistoilmahormeihin asennetaan esimerkiksi sisäilman hiilidioksidi- tai kosteusmittaukseen perustuva poistoilmapuhallin (SuLVI 2018). Vedon tunnetta voidaan puolestaan vähentää korvaamalla vanhat

tuloilmaventtiilit esimerkiksi ulkoilmaradiaattoreilla tai tuloilmaikkunoilla, joissa sisään tuleva ulkoilma esilämpenee ennen huoneeseen virtaamista (SuLVI 2018).

Rakennuksessa voidaan toteuttaa myös niin sanottu hybridi-ilmanvaihto, jossa yhdistetään hallitusti koneellinen ja painovoimainen järjestelmä. Tällöin esimerkiksi asunnon märkätiloihin, kuten pesuhuoneeseen ja wc-tiloihin, asennetaan koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla, kun taas muut asuinhuoneet toimivat edelleen painovoimaisesti. Tällainen osittainen koneellistaminen vaatii kuitenkin huolellista suunnittelua. Järjestelmiä ei saa yhdistää siten, että koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamat paine-erot kääntävät painovoimaisten hormien ilman virtaussuunnat ja siirtävät epäpuhtauksia tilojen välillä. (SuLVI 2018.)

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmanvaihtojärjestelmän merkitystä pientalon sisäilmastolle ja rakennuksen energiatehokkuudelle. Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että ilmanvaihto on yksi kriittisimmistä rakennusteknisistä tekijöistä, jolla hallitaan samanaikaisesti rakennuksen energiankulutusta ja asukkaiden terveyttä.

6.1 Sisäilmaston ja energiatehokkuuden tasapaino

Työn keskeinen havainto on, että energiatehokkuuden parantaminen ei saa koskaan tapahtua sisäilman laadun kustannuksella. Suomen kaltaisessa kylmässä ilmastossa tuloilman lämmittäminen kuluttaa merkittävästi energiaa, mutta moderni lämmöntalteenottotekniikka (LTO) mahdollistaa jopa 80 prosentin säästöt kyseisessä energiatarpeessa.

LTO-laitteiston hyötysuhde ja puhaltimien SFP-luku ovat tärkeitä, kun pyritään kohti energiatehokasta pientaloa. Kuitenkin teknisten laitteiden rinnalla rakennuksen vaipan tiiviys (q50-luku) on edellytys sille, että ilmanvaihtojärjestelmä toimii suunnitellusti ja hallitsemattomat ilmavuodot saadaan minimoitua.

6.2 Havainnot ja suositukset pientaloasujalle

Pientaloasujan näkökulmasta järjestelmän ylläpito on energiatehokkuuden kannalta merkittävin tekijä. Huoltamaton järjestelmä, jossa on likaiset suodattimet kasvattavaa painehäviöitä ja lisää puhaltimien sähkönkulutusta. Säännöllinen suodattimien vaihto ja tuloilman lämpötilan oikea asetus (16–17°C) ovat yksinkertaisia, mutta tehokkaita keinoja parantaa viihtyvyyttä ja säästää energiaa.

Eriyisesti vanhemmissa pientaloissa, joissa on painovoimainen tai pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto, suurin haaste on lämmöntalteenoton puute. Saneerauskohteissa hybridi-ilmanvaihto tai järjestelmän osittainen koneellistaminen tarjoaa kustannustehokkaan tavan parantaa sisäilmanlaatua ja sen

energiatehokkuutta. On kuitenkin huomioitava, että painesuhteiden hallinta on tärkeää, jotta epäpuhtauksia tai kosteutta ei siirretä tilojen välillä virheellisesti.

6.3 Tutkimuksen arviointi ja jatkotutkimusaiheet

Tämä kirjallisuuskatsaus antaa yleiskuvan pientalojen nykyisistä ilmanvaihtoratkaisuista ja niiden vaikutuksista energiatehokkuuteen. Työssä käytetyt lähteet, kuten Ympäristöministeriön asetukset ja Sisäilmaluokitus 2018, antaa luotettavan pohjan teknillisille johtopäätöksille.

Jatkotutkimusaiheena olisi mielenkiintoista tarkastella automaation ja älykkään ohjauksen todellisia vaikutuksia energiankulutukseen kenttämittauksilla. Työssä nousi esiin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tärkeys, mutta sen käytännön säästöt vaihtelevat suuresti asukkaiden elintapojen mukaan. Tulevaisuudessa CO₂- ja kosteusantureiden yleistyminen todennäköisesti tekee tarpeenmukaisesta ohjauksesta yleisien ratkaisun myös vanhemmissa pientaloissa.

LÄHTEET

Harju, P. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Penan tieto-opus. Kouvola.

Hengitysliitto ry. s.a. Ilmanvaihtojärjestelmät. Luettavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/>. Luettu: 16.3.2026.

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

LVI 38-10454 2010. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS sr. Helsinki. Luettavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2038-10454?page=1>. Vaatii kirjautumisen. Luettu: 25.3.2026

Motiva Oy s.a. a. Ilmanvaihto kotona. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/rakentajan_ohjeet/hyva_talo/ilmanvaihto. Luettu: 20.3.2026.

Motiva Oy s.a. b. Ilmastointi ja jäähdytys. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/tietopankki/ilmastointi-ja-jaahdytys/>. Luettu: 20.3.2026.

Parmair ilmanvaihto Oy 2025. Tarpeenmukainen ilmanvaihto – mitä se käytännössä tarkoittaa? Luettavissa: <https://parmair.com/tarpeenmukainen-ilmanvaihto-ei-ena-tyhjan-talon-turhaa-tuulettamista/?srsltid=AfmBOoqTyHINHIVhY-Wixxp-qTZJn3rtxDipjxQat2EiLbnGjIEQ2787>. Luettu: 29.3.2026.

Ravonius, M. 2025. Nyt on oikea aika vaihtaa suodattimet. Rakentaja.fi. Luettavissa: <https://rakentaja.fi/artikkelit/nyt-on-oikea-aika-vaihtaa-suodattimet/>. Luettu: 31.3.2026.

RT 07-11299 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS sr. Helsinki. Luettavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299>. Vaatii kirjautumisen. Luettu: 20.3.2026.

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Opastusta sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen. Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sisäilmayhdistys ry. 2022a. Sisäilmasto. Luettavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto>. Luettu: 10.3.2026.

Sisäilmayhdistys ry. 2022b. Terveysvaikutukset. Luettavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Terveysvaikutukset>. Luettu: 10.3.2026.

SuLVI 2018. Painovoimainen ilmanvaihto. Opas, luonnos 12.4.2018. Suomen LVI-liitto SuLVI ry. Luettavissa: <https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2018/04/Painovoimaisen-ilmanvaihdon-ohjeluonnos-2018.pdf>. Luettu: 29.3.2026.

Sustera s.a. Kodin tutkimukset lämpökuvauksesta kuntotutkimukseen. Luettavissa: <https://sustera.fi/ajankohtaista/uutiset/kodin-tutkimukset-lampokuvauksesta-kuntotutkimukseen/>. Luettu: 31.3.2026.

Säteilyturvakeskus 2017. Radonkartat. Luettavissa: <https://stuk.fi/radonkartat>. Luettu: 29.3.2026.

Talotekninen teollisuus ja kauppa ry 2024. SFP-opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 4. painos. Helsinki. Luettavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-06/SFP-opas%2C%20p%C3%A4ivitetty%20kes%C3%A4kuu%202024.pdf> Luettu: 25.3.2026

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Luettavissa: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskoelma/2017/1009> Luettu: 20.3.2026.