



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Lea Hämäläinen

# 1980-luvun rivitalon ilmanvaihdon parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

10.4.2021

Tekijä Otsikko	Lea Hämäläinen 1980-luvun rivitalon ilmanvaihdon parantaminen
Sivumäärä Aika	76 sivua + 6 liitettä 10.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen taloyhtiön hallituksen puheenjohtaja Harri Rajala
<p>1980-luvulta peräisin olevan talotuulettimilla toteutetun koneellisen poiston rivitalolle tutkitiin erilaisia korjausvaihtoehtoja. Nykytila arvioitiin olemassa olevan dokumentaation ja silmämääräisen tarkastelun perustuen, sekä mittaamalla ilmamääriä. Asuinnoissa mitattiin lisäksi suhteellinen ilmankosteus ja huonelämpötila.</p> <p>Asunnoissa suurimmiksi ongelmiksi havaittiin riittämätön hallittu korvausilma, osassa asunnoissa talotuulettimen pienimmällä puhallinnopeudella riittämätön ilmanvaihto, sekä asukkaiden tapa käyttää tai pikemminkin olla käyttämättä talotuulettimia. Asuntojen ilmanvaihdolle esitetään perushuoltopaketti ja 6 korjausvaihtoehtoa. Vertailun jälkeen suositellaan mm. talotuulettimen käytön ohjausta asukkaille sekä ikkunaremontin yhteydessä tuuloilmaikkunoiden valitsemista korvausilman lisäämiseksi, vetoisuuden vähentämiseksi ja saavutettavan pienen energiasäästön takia.</p> <p>Huoltorakennuksissa ongelmina olivat mm. pesutuvan ja erityisesti kuivaushuoneen ilmankosteus ja puutteellinen ohjeistus huippuimurin käytöstä, huippuimurin puutteellinen käyttö sekä lämmittämättömien varastotilojen heikko ilmanlaatu. Kuivaushuoneeseen esitetään mm. ilmalämpöpumpun asentamista kosteuden poistamiseksi.</p> <p>Sekä nykytilasta tehdyt havainnot että korjausvaihtoehdot ovat sovellettavissa samantyyppisiin rivitalokohteisiin ja mahdollisesti myös koneellisen poiston pientaloihin. Suositukset saattavat kuitenkin poiketa tässä esitetyn esimerkkirivitalon suosituksista riippuen mm. rakennuksen kunnosta ja tulossa olevista remonteista</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, koneellinen poisto, 1980-luvun rivitalo, talotuuletin, korvausilma

Author Title	Lea Hämäläinen Improving the ventilation of a 1980s row house
Number of Pages Date	76 pages + 6 appendices 10 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Harri Rajala, Chair of Housing Company Board
<p>The final year project studied options for refurbishing the mechanical exhaust air ventilation in a row house built in the 1980s. The current situation was analysed by measuring airflow volumes, relative humidity and room temperatures. The most significant problems in the apartments were insufficient controlled make-up air, insufficient air change rates with the lowest setting of the exhaust fan, and residents either misusing or not using the exhaust fan. In the maintenance facilities, the main problems were high humidity and incorrect use of the exhaust fan in the laundry and drying rooms, and poor air quality in the unheated storage rooms.</p> <p>Renovation options were presented to address these and other problems. The renovation options were compared on the basis of cost estimations and a set of qualitative factors. Recommendations included the installation of supply-air windows, ensuring make-up air flows to create energy savings.</p> <p>Both the findings on the current condition and the presented renovation options can be adapted to similar row houses or one-family homes with mechanical exhaust air ventilation. The recommendations may differ from those presented here, depending on several variables such as the current condition of the building.</p>	
Keywords	ventilation, mechanical exhaust ventilation, 1980s row house, cooking hood exhaust air ventilation, make-up air

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tarvittava teoreettinen tausta lyhyesti	2
2.1	Rakentamismääräykset ja asumisterveysasetus	2
2.2	Ilmanvaihdon energiankulutuksen teoriaa	5
2.3	Rakennuksen tiiveys, paine-ero ja ilmanvaihto	7
2.4	Nykytilan selvittämiseen käytetyt menetelmät ja mittalaitteet	10
3	Yleiskuvaus kohteesta	11
4	Rivitaloyhtiön sisäilman nykytila	15
4.1	Asunnot	16
4.1.1	Asuntojen ilmanvaihdon nykytilan kuvaus	16
4.1.2	Asuntojen mitattujen ilmamäärien analysointi	21
4.1.3	Asunnon C11 ilmanvaihdon tarkempi tarkastelu	24
4.1.4	Asuntojen ilmanvaihdon energiankulutus	29
4.1.5	Huonelämpötilat ja suhteellinen ilmankosteus asunnoissa	33
4.2	Huoltorakennus ja häkkivarastot	36
4.2.1	Huoltorakennuksen ilmanvaihto	36
4.2.2	B- ja E-talojen häkkivarastojen ilmanvaihto	40
4.2.3	Huoltorakennuksen ja B-talon häkkivaraston koneellisten ilmanvaihtojen energiankulutus	42
5	Asuntojen ilmanvaihdon korjausvaihtoehdot	44
5.1	Nykyisen ilmanvaihdon huolto	46
5.2	Korjausvaihtoehto 1: korvausilmaventtiilien vaihtaminen ja/tai lisääminen	47
5.3	Korjausvaihtoehto 2: korvausilmapatterit	50
5.4	Korjausvaihtoehto 3: tuloilmaikkunat	51
5.5	Korjausvaihtoehto 4: talotuulettimien korvaaminen huippuimureilla	56
5.6	Korjausvaihtoehto 5: asuntokohtainen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla	57
5.7	Korjausvaihtoehto 6: huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet lämmöntalteenotolla	62
5.8	Korjausvaihtoehtojen vertailu	65
5.9	Huoltorakennuksen ja häkkivarastojen korjausvaihtoehdot	67

6	Päätelmät ja yleistyks	68
6.1	Suositukset esimerkkitaloyhtiölle	68
6.2	Yleistyks	69
	Lähteet	71

#### Liitteet

Liite 1. Talotuuletin Ilmon tekniset tiedot

Liite 2. Mittausten virhetarkastelu ja virheen eteneminen kaavassa

Liite 3. Asunnon C11 ilmamäärien mittaustulokset virherajoiheen

Liite 4. Ulkolämpötilan pysyvyys ja lämmitystarveluvut

Liite 5. Ilmamäärät asunnoissa A1, A2, B8 ja C11 mittausten, D2/1978:n, LVI 30-10086:n ja vuoden 2017 rakentamismääräysten mukaan

Liite 6. Huoltorakennuksen ilmanvaihdon lämpöenergiankulutuksen haarukointia

## Lyhenteet

AEC        *annual electricity consumption*, vuotuinen sähkön kulutus

LTO        lämmöntalteenotto

RH        *relative humidity*, suhteellinen kosteus

SPI        *specific power input*, ominaissähköteho

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esimerkinomaisesti käsitellä asuntokohtaisella koneellisella poistolla varustetun rivitalon ilmanvaihdon nykytilaa ja korjausvaihtoehtoja. Esimerkistä pyritään löytämään myös yleistyksiä, joiden voidaan olettaa koskevan muitakin vastaavan tyyllisiä rivitaloja. Esimerkkikohteena oleva rivitaloyhtiö hyöttyy suoraan tehdyistä tutkimuksista ja suosituksista. Muut vastaavat rivitalot ja mahdollisesti myös koneellisella poistolla varustetut pientalot hyötyvät opinnäytteestä tehtävistä yleistyksistä.

Esimerkkikohteena on Lapualla sijaitseva 1986 vuonna valmistunut rivitalo. Opinnäytetyöntekijä teki vuoden 2019 maaliskuun aikana kohteeseen kevyen kuntokatselmuksen lähinnä pitkäaikaiskorjaussuunnitelmaa varten. Kuntokatselmuksen aikana mitattiin asuntojen poistoilmamääriä, suhteellista ilmankosteutta ja sisälämpötilaa. Opinnäytettä varten tehtiin lisämittauksia huoltorakennukseen, B-talon häkkivarastoihin ja asuntoon C11 lokakuussa 2019.

Työn alussa käsitellään opinnäytteessä sovellettaviin asetuksia ja määräyksiä, sisäilmateoriaa, mittausstandardeja ja esitellään käytetty mittauslaitteisto. Teoriaa on myös ripoteltu muihin tekstiosuuksiin tulkintojen selkeyttämiseksi ja luettavuuden lisäämiseksi.

Lyhyen teoriaosuuden jälkeen tutustutaan rivitalon kohteeseen yleisesti, minkä jälkeen ilmanvaihdon nykytilaan paneudutaan hieman yksityiskohtaisemmin.

Työssä käsitellään myös ilmanvaihdon korjausvaihtoehtoja. Vaihtoehtoja vertaillaan keskenään mm. ilmamäärien, tarvittavan korjauslaajuuden ja hintatason, sekä energiankulutuksen näkökulmista.

Työn lopussa esitetään opinnäytteen käsittelemistä aiheista päätelmiä ja pyritään yleistämään löydökset koskemaan vastaavan tyyppisiä koneellisella poistolla varustettuja rivitaloja.

## 2 Tarvittava teoreettinen tausta lyhyesti

Tähän lukuun on koottu opinnäytetyön mittausten suorittamiseen ja tulosten analysointiin käytettyjä standardeja, määryksiä ja ohjeita sekä muuta teoreettista taustaa. Luetavuuden parantamiseksi tähän on lähinnä annettu yleiskuvaus teorioista ja esitetty tarpeelliset kaavat. Teorian sisältöä on avattu tarkemmin opinnäytetyön tekstistä sitä mukaan, kun sitä on ollut tarpeen soveltaa.

Tässä opinnäytteessä käsitellään ilmanvaihtoa lähinnä energia- ja ilmanvaihtuvuuden näkökulmista. Ilmanvaihtoon liittyy myös muita näkökulmia, kuten ääni- ja palotekniset asiat. Näitä käsitellään opinnäytetyössä vain lyhyesti mainiten.

### 2.1 Rakentamismääräykset ja asumisterveysasetus

Ilmanvaihdon tarkoitus on varmistaa riittävä ulkoilmamäärä sisätiloissa sekä poistaa epäpuhtauksia ja kosteutta. Oikein mitoitettu ja toimiva ilmanvaihto on hyvän sisäilman perusta. Ilmanvaihdon suunnittelua uudisrakennuksissa ja rakennusluvan alaisissa toimenpiteissä ohjaa Suomen rakentamismääräyskokoelman asetukset ja näiden tausta-aineistot. Nämä ilmoittavat ilmanvaihdon minimirajan, jolla saavutetaan tyydyttävä ilmanvaihtotaso. Asumisterveysasetusta puolestaan sovelletaan olemassa olevan asunnon tai muun oleskelutilan terveydellisten olosuhteiden valvonnassa. [1; 2; 3.]

Edellä mainittujen lisäksi on olemassa Sisäilmaluokitus. Sisäilmaluokitus on vapaaehtoinen työkalu, jolla määritellään yksilöllisen (sisäilmaluokka 1) ja hyvän (sisäilmaluokka 2) saavuttamiseen vaikuttavat asiat ja raja-arvot [4]. Sisäilmaluokitusta ei sovelleta tässä opinnäytetyössä.

Tässä opinnäytetyössä mittauksin selvitettyjä ilmamääriä ja ilmanvaihtokertoimia verrataan esimerkki rivitalon rakentamisen aikoihin voimassa oleviin rakentamismääräyksiin, opinnäytetyön kirjoittamiseen hetkellä voimassa oleviin rakentamismääräyksiin sekä asumisterveysasetuksen ilmoittamiin raja-arvoihin. Vertailun tarkoituksena on saada kuva siitä, missä tilassa rivitaloyhtiön ilmanvaihto on tällä hetkellä.

Vanhat rakentamismääräykset ovat määritelleet rakennuksen suunnittelua ja toteutusta ja ovat siitä syystä tärkeitä. Nykymääräykset antavat tiedon siitä, miten nyky-



ymmärryksen mukaan asuinrakennus tulisi suunnitella ja aiheeseen liittyen erityisesti millaisilla ilmamäärillä saavutetaan riittävä ilmanvaihto. Asumisterveysasetus antaa puolestaan vähimmäisrajat, jotka olemassa olevan asunnon tai muu oleskelutilan tulee täyttää. Jos asumisterveysasetuksen ehdot eivät täyty, rakennuksessa on ryhdyttävä pikimmiten toimenpiteisiin tilanteen korjaamiseksi.

Taulukkoon 1 on kerätty opinnäytetyössä käytettävät rakentamismääräysten osiot sekä lyhyt kuvaus siitä, miten niitä tullaan soveltamaan.

Taulukko 1. Lista opinnäytetyössä sovellettavista rakentamismääräyksistä ja näiden taustaineistoista.

Rakentamismääräyskokoelman osa	Vuosi	Sovellus
D2/1978 Rakennusten ilmanvaihto [5]	1978	Ilmanvaihdon nykytilan analysointi ja korjausvaihtoehtojen ilmamäärien määrittäminen
Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen 2019 [6]	2019	Ilmanvaihdon nykytilan analysointi ja korjausvaihtoehtojen ilmamäärien määrittäminen
2009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta [7]	2017	Ilmanvaihdon nykytilan analysointi ja korjausvaihtoehtojen ilmamäärien määrittäminen
4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. [8]	2013	Tulee ottaa huomioon korjausvaihtoehtoisissa, joihin tarvitaan rakennus- tai toimenpidelupa. Ei käsitellä syvällisesti tässä opinnäytetyössä.
2/17 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta [9]	2017	Tulee ottaa huomioon korjausvaihtoehtoisissa, joihin tarvitaan rakennus- tai toimenpidelupa. Ei käsitellä syvällisesti tässä opinnäytetyössä.
Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta [10]	2018	Ilmanvaihdon energiankulutuksen ja ilmatiiveyden arviointi
Tasauslaskentaopas 2018 – Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen [11]	2017	Ilmanvaihdon energiankulutuksen arviointi
Laskentaliite ympäristöministeriön asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä” [12]	2013	Rakennuksen ilmatiiveyden arviointi
C6/1984 Asuinrakennusten LVI-laitteiden ääniteknikka [13]	1984	Kanavan ilmavirtojen ja äänen suhteen pohdintaa.
1007/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä [14]	2017	Kanavan ilmavirtojen ja äänen suhteen pohdintaa.

Taulukkoon 2 on kerätty ilmanvaihtoon liittyviä raja-arvoja edellä mainituista lähteistä. Taulukossa esitettyjen arvojen lisäksi määräyksissä on taulukoitu ilmamääriä eri tiloille.

Näitä hyödynnetään asunnon C11 ilmanvaihdon tarkemmassa tarkastelussa sekä korjausvaihtoehtojen suunnittelussa.

Taulukko 2. Ilmanvaihdon raja-arvoja Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D2/1978 Rakennusten ilmanvaihto, ja vuoden 2017 ympäristöministeriön asetus uudenrakennuksen ilmanvaihdon mitoittamiseen ja tämän asetuksen oppaasta asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoittamiseen sekä asumisterveysasetuksesta. Arvoja käytetään opinnäytetyön kohteen ilmanvaihdon analysoimisessa.

	D2/1978 [5]	2019 Asetus ilmanvaihdosta [7] ja Opas asuinhuoneiston ilmanvaihdon mitoittamiseksi 2019 [6]	Asumisterveysasetus [3]	Miten sovellettu opinnäytetyössä
<b>Ulkoilman alaraja koko asuinpinta-alaa kohti</b>	0,35 dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>	0,35 dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>	0,35 dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>	Raja-arvosta lasketaan ilmanvaihtokerroin, johon verrataan mittaustuloksista laskettuja ilmanvaihtokertoimia.
<b>Asunnon vähimmäisulkoihmavirta</b>	-	18 dm <sup>3</sup> /s	-	Otetaan huomioon vaihtoehtojen suunnitteluissa
<b>Kokonaisilmanvirran yläraja, lähinnä vedon vuoksi</b>	1,5 l/h*	Ilmannopeus oleskeluvyöhykkeellä ei saa ylittää 0,2 m/s 3 minuutin mittausjaksolla	Kuva, jossa suurin ilmannopeus on annettuna suhteessa lämpötilaan. esim. 21 °C max. 0,225 m/s	D2/1978 Ilmanvaihtokertoimen ylärajaa on verrattu asuntojen ilmanvaihtokertoimiin.
<b>Oviraon siirtoilmanvirran yläraja</b>	-	18 dm <sup>3</sup> /s asti [5, s. 10]	-	Huomioidaan mittaustulosten analysoinnissa ja vaihtoehtojen vertailussa

\* Ei ehdoton.

Kaikissa näissä lähteissä asunnon ulkoilman alarajaksi on ilmoitettu 0,35 dm<sup>3</sup>/s, m<sup>2</sup>, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 l/h, kun huonekorkeus on 2,5 m. Rivitaloyhtiössä huonekorkeus on 2,6 m; tällekin korkeudelle ilmanvaihtokerroin pyöristyy 0,5 l/h. Ilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa tunnissa tilan ilmamäärä vaihtuu. 0,5 l/h -kertainen ilmanvaihto tarkoittaa, että tilan ilma vaihtuu kokonaan 2 tunnin välein. Ilmanvaihtokertoimella analysoidaan asuntojen mitattujen ilmamäärien riittävyyttä.

Huonelämpötilojen arviointiin käytetään asumisterveysasetuksen soveltamisohjetta Osa 1. [15.]

## 2.2 Ilmanvaihdon energiankulutuksen teoriaa

Ilmanvaihdon energiatarkastelussa on kaksi näkökulmaa, lämpöenergia ja sähköenergia. Lämpöenergia tarvitaan korvausilman lämmittämiseen. Ilmanvaihtopuhaltimet puolestaan kuluttavat sähköä.

Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia lasketaan, käyttäen rakentamismääräyksen ohjetta ”Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta” [10]. Oppaassa alaluvussa 3.4 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve esitetään korvausilman lämpenemisen nettoenergian tarpeen laskemiseen tarvittava kaava

$$Q_{iv,korvausilma} = \frac{c_{pi}\rho_i q_{v,korvausilma}(T_s - T_u)\Delta t}{1000} \quad (1),$$

jossa  $Q_{iv,korvausilma}$  on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh),  $c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa (1 000 J/kgK),  $\rho$  on ilman tiheys (1,2 kg/m<sup>3</sup>),  $q_{v,korvausilma}$  on korvausilmavirta (m<sup>3</sup>/s),  $T_s$  on sisäilman lämpötila (°C),  $T_u$  on ulkoilman lämpötila (°C),  $\Delta t$  on ajanjakson pituus ja 1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi. Korvausilmavirta lasketaan vähentämällä poistoilmavirrasta tuloilmavirta. Koska tässä on koneellinen poisto, on korvausilma yhtä suuri kuin poistoilmavirta. [10.]

Energiatarkastelua varten halutaan laskea korvausilman tarvitsema energia vuoden yli. Tämän laskemiseksi voidaan käyttää, joko keskimääräistä kuukausilämpötilaa tai ulkoilman lämpötilan pysyvyyssarvoja. Opinnäytetyön tarpeeseen on valittu jälkimmäinen vaihtoehto. Ulkolämpötilan pysyvyyssarvot saadaan Ilmatieteen laitoksen tilastoista [16] ja ne on myös esitetty liitteessä 4. Tutkimuksen kohteena oleva taloyhtiö sijaitsee vyöhykkeellä 2, jolloin valitaan 1 ja 2 vyöhykkeiden yhteinen tilasto.

Ulkoilman lämpötilan pysyvyyssarvojen hyödyntämiseen käytetään rakentamismääräyksen ”Tasauslaskentaopas 2018 – Rakennuksen lämpöhäviön määräyksenmukaisuuden osoittamiseen” [11] liitteen 4 ohjeita. Ohjeen esimerkkiä seuraten vuotoilman tarvitsema lämpöenergia lasketaan ulkolämpötilaan 12 °C asti. Ajanjakson lämmöntarveluku lasketaan seuraavan kaavan mukaan.

$$S_s = \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (2),$$

jossa  $S_s$  on huonelämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämmitystarveluku lämmityskaudella (Kd) ja  $\Delta \tau$  on aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ( $T_s - T_u$ ) esiintyy (d). [11]

Yhdistämällä kaavat 1 ja 2 saadaan

$$Q_{iv, korvausilma} = c_{pi} \rho_i q_{v, korvausilma} S_s * 24/1000 \quad (3),$$

jossa kerroin 24 muuttaa lämmitystarveluvun yksikön kelvinpäivästä kelvintuntiin.

Yhtenä korjausvaihtoehtona esitetään LTO:lla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Tässä yhteydessä lasketaan lämmöntalteenoton tuomaa energiasäästöä, soveltaen jo edellä mainitun ohjeen [11] esimerkkiä. Vuosihyötysuhteen voi selvittää esimerkiksi ympäristöministeriön LTO-laskurin [17] avulla. Tasauslaskentaoppaasta sovelletaan seuraavaa kaavaa:

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (4),$$

jossa  $\eta_a$  on LTO:n vuosihyötysuhde,  $Q_{LTO}$  on poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia lämmityskaudella ja  $Q_{iv}$  on ilmanvaihdon lämmitystarve ilman LTO:a [11, s 58]. Tästä kaavasta saadaan johdettu poistoilmasta lämmityskaudella talteen otetulle lämpöenergialle seuraava kaava:

$$Q_{LTO} = \eta_a * Q_{iv} \quad (5),$$

Ilmanvaihdon lämmitystarve ilman LTO:a lasketaan käyttäen kaavaa (3). Tässä kohteessa ilmanvaihdon oletetaan olevan päällä jatkuvasti. Jos käyntiaikaa rajoitettaisiin, tulisi ilmanvaihdon lämpöenergianlaskelmissa käyttää käyntiajoille painotettuja ilmamääriä [11, s. 63].

Ilmanvaihdon puhaltimien sähkönkulutusta arvioidaan saatavilla olevista aineistoista. Lukijan on syytä huomata, että korjausvaihtoehtojen soveltamista pohtiessa on kuitenkin otettava huomioon rakentamismääräyksen korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset. Koneellisen poistoilmanvaihdon osalta niissä todetaan, että poistoilmajär-

jestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 1,0 kW/(m³/s) [9]. Ominaissähkötehoja ei lasketa tässä opinnäytetyössä.

### 2.3 Rakennuksen tiiveys, paine-ero ja ilmanvaihto

Ilmanvaihto perustuu paineroon, ilma virtaa suuremmasta paineesta matalampaan paineeseen. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa paine-ero syntyy lämpötilaerosta johtuvan nosteen ja tuulen vaikutuksesta. Koneellisessa poistossa puhaltimilla tehdään tilaan alipaine, jolloin ilma alkaa virrata rakennuksen epätiiveyskohdista sisälle. Korvausilma-venttiileillä pyritään tekemään tarpeeksi ”helppoja” ja vedottomia reittejä ilmalle ja varmistamaan, että kaikissa halutuissa tiloissa vaihtuu ilma. Tulo- ja poistoilmanvaihdossa pyritään molempia edellistä vaihtoehtoa hallitumpaan ilmanvaihtoon, kun sekä tuloilmaa, että poistoilmaa johdetaan tiloihin tai tiloista pois puhaltimin. Rakennuksen tiiveyden merkitys kasvaa, kun siirrytään painovoimaisesta ilmanvaihdosta, koneelliseen poistoon ja koneellisesta poistosta, koneellisen tulon ja poistoon.

Hallitussa ilmanvaihdossa poistoilma poistuu tiloista ja rakennuksesta ja ulkoilma tulee tiloihin ja rakennukseen suunniteltuja reittejä pitkin. Tällöin varmistutaan siitä, että jokaisessa tilassa ilma vaihtuu ja suunnittelua vastaavissa normaaleissa oloissa ilman epäpuhtaudet, hajut ja kosteus eivät jää huonetiloihin.

70- ja 80-luvuilla suositeltiin rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelemista 0–30 Pa:n alipaineeseen ulkoilmaan nähden. Ajatuksena oli erityisesti estää kostean sisäilman kulkeutuminen rakenteisiin. Nykyään halutaan estää kostean sisäilman kulkeutuminen rakenteisiin, mutta myös epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan, joten ilmanvaihdossa pyritään lähemmäksi tasapainoa sisäilman ja ulkoilman välillä. Tähän pyritään ainakin koneellisen tulon ja poiston kohteissa. [6, s. 6; 13.]

Ilmanvaihdon toiminnan kannalta ilmanvaihtolaitteistojen ja -kanavien ilmantiiveyden lisäksi myös rakennuksen tiiveys on tärkeää. Hatarassa rakennuksessa vuotoilmavirtojen aiheuttama paine-ero rakennuksen sisällä ja vaipan yli, on usein suurempi kuin ilmanvaihtolaitteiston. Tällöin ilmanvirrat eivät toimi suunnitellusti. [18, s. 124; 19.]

Vuotoilman käyttövoimana on tuuli, lämpötilaerot, sekä mahdollisen koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama paine-erot ulko- ja sisäilman välillä [18]. Koska mikään rakennus ei

ole täysin tiivis, vaikuttaa rakennuksen tiiveyden lisäksi myös ympäröivä maasto rakennuksen painesuhteisiin. Esimerkiksi avoimessa maastossa tuulee enemmän, jolloin tuulen vaikutukset rakennuksen painesuhteeseen ovat myös suuremmat.

Paine-erojen hallitseminen ei ole siis helppoa. Tähän alle on kerätty lähdeaineistoista tietoa rakennuksen tiiveyden ja painoerojen hallintaan liittyen.

Björkrothin [20] esityksessä D2 asuntojen ilmanvaihdon mitoitus ja säätö on esitetty taulukko, jossa arvioidaan, kuinka paljon tulo- ja poistoilmavirrat saavat poiketa toisistaan, kun halutaan saada sisä- ja ulkoilman välille  $-5$  Pa:n paine-ero. Taulukossa huomioidaan rakennuksen tyyppi ja tiiveys. Esimerkiksi 2-kerroksisessa vanhassa pientalossa, jonka ilmatiiveys ( $n_{50}$ ) on noin 3, poiston ja tulon suhde voi olla noin 214 %. Toisin sanoa heikohkon ilmatiiveyden takia poistoilman tulee olla, jopa kaksinkertainen tuloilmaan nähden, jotta saavutetaan 5 Pa:n paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä.

Kumotussa RT-kortissa LVI 30-10086 vuodelta 1987 ”Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman suunnittelu” opastetaan, että hallittu tuloilma tuloilmaventtiilien kautta suunnitellaan 55 % kokonaispoistoilmavirrasta [22, s. 2]. Suunnittelussa siis arvioitiin 1987 mittapuun mukaan tiiviissä talossa ulkoilmasta tulevan ei hallittuna vuotoilmana lähes puolet tarvittavasta ulkoilmasta. Tähän peilaten on tärkeätä huolehtia tuloilman riittävydestä, kun vanhoja taloja korjataan ja niiden tiiveyttä parannetaan.

Koneellisen poiston korvausilmaventtiilit ovat usein suunniteltu toimimaan 10 Pa:n alipaineessa, joten koneellisen poiston hallitussa ilmanvaihdossa tulisi pyrkiä tuohon 10 Pa:iin [21]. Kahden edellisen kappaleen perusteella voidaan todeta, että 10 Pa:n paine-eroa ei todennäköisesti saavuteta epätiiviissä rakennuksissa ilmanvaihdon normaalikäytön aikana. Tämä tarkoittaa, että vain osa korvausilmasta tulee suunniteltuja reittejä, eli korvausilmaventtiilien kautta. [18, s. 124; 19, s. 29.]

Rakennuksen paine-eroja ilmanvaihdon ja rakennuksen tiiveyden näkökulmista on tarkemmin käsitelty 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisätilimastosta ja ilmanvaihdosta [7] taustamateriaalina olevassa Rakennusten paine-erojen mittaushje -projektin loppuraportissa [21]. Björkrothin aiemmin mainittu esitys [20] liittyy tähän projektiin.

Ilmanvaihdon hallittavuuden heikentymisen lisäksi, myös ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuoma hyöty pienenee, jos rakennus on kovin epätiivis. Maaston ja rakennuksen tiiveyden yhteismerkitystä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kannattavuuteen tutkivat Säteri, Kovanen ja Pallari [19] julkaisussaan ”Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen”. Heidän tutkimuksensa mukaan epätiivisissä rakennuksissa hallitsemattoman vuotoilman osuuden määrittäviksi nousevat sijainti paikkakunnan ulkolämpötila ja rakennusta ympäröivä maasto. Esimerkiksi pientalon rakennuksen ilmanvuotoluku ( $n_{50}$ ) tulisi olla avoimessa maastossa parempi kuin 1,5 1/h, kaupunkimaastossa parempi kuin 2,8 1/h ja kaupunkikeskustassa parempi kuin 4,2 1/h. Muutoin lämmöntalteenotolla varustettu tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä kuluttaa jopa enemmän energiaa kuin pelkkä koneellinen poisto. Päätelmä on tehty lämmöntalteenoton hyötysuhteella 65 %, tuloilmavirralla 0,4 1/h ja poistoilmavirralla 0,5 1/h. Jos harkitaan ilman lämmöntalteenoton käyttöön ottamista, kannattaa myös suunnitella rakennuksen ilmatiiveyden lisäämistä. Päätelmän lisäksi he kuitenkin muistuttavat, että lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto tuo energiasäästön lisäksi myös muita hyötyjä kuten sisäilmalaadun parantumisen ja vedottomat sisäolot. [19, s. 26–29.]

Soveltaen ympäristöministeriön asetuksen ”Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä” laskentaliitteessä olevaa taulukkoa Rakennusvaiipan ilmavuotolukua ( $q_{50}$ ) ja rakennuksen ilmavuotoluku ( $n_{50}$ ) [12, s. 8] voidaan arvioida esimerkki rivitalon ilman vuotolukua 50 Pa:n paine-erolla. Tämän taulukon mukaan 1985 ja 10/2003 vuosien välillä rakennettujen rakennusten ilmanvuotoluku ( $n_{50}$ ) on 6,0 1/h.

Edellä esitetyn tutkimuksen valossa ja koska rivitalo sijaitsee avoimessa peltomaastossa, pitäisi rakennuksen ilmavuotoluvun olla alle 1,5 1/h, jotta lämmöntalteenotto olisi energianäkökulmasta kannattava. Tutkimus on tehty vuonna 1999, jonka jälkeen lämmöntalteenotto järjestelmien hyötysuhteet ovat parantuneet. Tästä syystä raja-arvo voisi mahdollisesti olla korkeampi. Tutkimuksen pääasia eli rakennuksen tiiveydellä ja sijainnilla on merkittävä rooli lämmöntalteenoton kannattavuudessa, on edelleen paikansapitävä. Joten tästä voisi päätellä, että ilman rivitaloon kohdistunutta rakennuksen tiivistämistoimia tulo- ja poistoilmanvaihto ei ole energiataloudellisesti kannattava.

Verraten tätä 6,0 l/h ilmanvuotolukua myös Björkrothin esitykseen D2 asuntojen ilmanvaihdon mitoitus ja säätö [20] voidaan todeta, ettei aikaisemmissa rakentamismääräyksissä tavoiteltua 0–30 Pa:n alipainetta ole kovin helppo saavuttaa.

## 2.4 Nykytilan selvittämiseen käytetyt menetelmät ja mittalaitteet

Opinnäytetyötä varten on suoritettu ilmamäärän, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksia.

Ilmamäärämittausten suorittamisessa sovellettiin osin standardia SFS-EN 16211 Ventilation for buildings – Measurement of air flows on site [23] ja Valviran Terveysturvallisuuden valvontaohjeiston mittausohjetta MO3: Ilmanvaihto [24].

Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksissa sovellettiin Valviran Terveysturvallisuuden valvontaohjeiston mittausohjetta MO2: Sisäilman lämpöolojen kenttämittaukset [25].

Kiinteistön nykytilasta saatiin tietoa olemassa olevista asiakirjoista, tehdystä silmämääräisestä kuntokartoituksesta, kartoituksen aikana tehdyistä mittauksista ja kartoituksen aikana kotona olleiden asukkaiden haastatteluista. Kerättyä aineistoa analysoidaan ilmanvaihdon osalta tässä opinnäytetyössä. Asunnosta C11 tehdään muita tarkempi analyysi.

Kiinteistöstä saatavilla olevia asiakirjoja olivat pohjakuvat, asemakuva/salaojakuva, huoltorakennuksen leikkauskuvat ja yksi leikkauskuva asuinrakennuksesta. Lisäksi asunnosta C11 käytössä on liesituulettimen käyttöopas.

Kevään 2019 aikana opinnäytetyöntekijä toteutti kevyen kuntokatselmuksen rivitaloyhtiössä. Kaikki asunnot, kylmät häkkivarastot ja huoltorakennus tarkastettiin silmämääräisesti sisältä ja ulkoa. Kuntokatselmuksen tavoitteena oli kartoittaa taloyhtiön kiinteistöjen kunto ja tuottaa tietoa pitkäaikaishuolusuunnitelmaa varten.

Katselmoinnin suorittamisen aikana ulkolämpötila oli –6... +2 °C. Mittaukset suoritettiin siis lämmityskaudella. Asunnoissa mitattiin ilman suhteellinen kosteus (RH), sisälämpötila ja poistoilmavirrat. Ilman suhteellinen kosteus ja sisälämpötila mitattiin AIRFLOW



TA440 -mittaria käyttäen. Ilmavirrat mitattiin AIRFLOW LGA501 -mittarilla, johon yhdistettiin kantikaskartio keittiön liesituulettimen suuaukon mittauksessa ja ympyräkartio muiden poistoilmaventtiilien mittauksissa. Käytetyt mittarit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Vasemmassa kuvassa on AIRFLOW TA440 -mittari, jota käytettiin sisälämpötilan ja RH:n mittaukseen. Keskikuvassa on AIRFLOW LGA501 -mittari, jolla mitattiin poistoilmavirrat. Oikeanpuoleisessa kuvassa on ilmavirtamittauksissa käytetyt kartiot.

Mittausohjeistuksista poiketen ilmanvaihtokanavia ja liesituulettimen rasvasuodattimia ei puhdistettu mittauksia varten. Kanavat on puhdistettu ja ilmamäärät säädetty noin 2 vuotta ennen mittauksia. Liesituulettimen suuaukon virtausmittauksessa käytettävissä oleva kartio oli hieman liian pieni, joten mittaustarkkuus ei ole kovin hyvä. Mittauksista saadaan kuitenkin suuntaa antavaa tietoa poistoilmavirtojen suuruuksista. Liesituulettimien rasvasuodattimet olivat myös vaihtelevasti likaisia, mikä vaikuttaa myös mittaus-tulokseen. Näitä ja muita mittauksiin liittyviä virheitä on tarkasteltu tarkemmin liitteessä 2.

### 3 Yleiskuvaus kohteesta

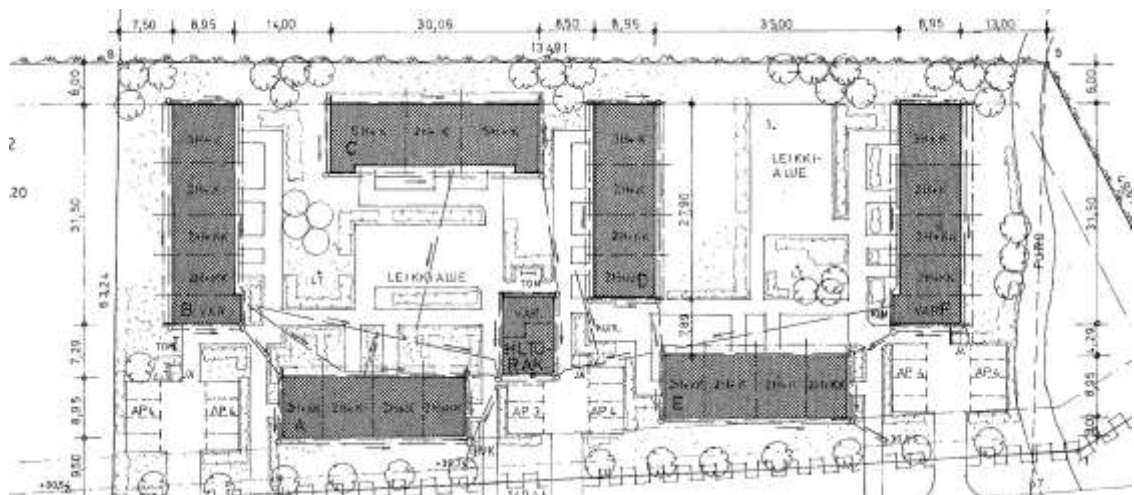
Rivitaloyhtiössä on seitsemän rakennusta, joista kuusi on asuinrakennuksia ja yksi huoltorakennus. Asuntoja on yhteensä 23. Pienimmät asunnot ovat 47 m<sup>2</sup> ja isoimmat 95 m<sup>2</sup>. Kaikissa asunnoissa on sauna. Asuntojen tyyppi ja pinta-alat on lueteltu taulukossa 3.

Taulukko 3. Rivitalon asuntojen pinta-alat ja tyyppi.

Asunnot	Tyyppi	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Saunan pinta-ala (m <sup>2</sup> )
---------	--------	-----------------------------	------------------------------------

A1, A4, B5, B6, D14, D15, E16, E19, F20, F21	2h+kk	47	2,5
A2, A3, B7, C10, D13, E17, E18, F22	2h+k	60	3
B8, D12, F23	3H+k	70	3
C9, C11	5h+k	95	3

Rakennukset ovat valmistuneet vuonna 1986. Kuvassa 2 on salaojapiirustus, jossa näkyvät taloyhtiön rakennukset. Kuvassa on myös asuinrakennusten nimikointi A:sta F:ään. Huoltorakennukselle ei ole määritelty nimikkokirjainta. Kuvat 3–5 ovat valokuvia rivitaloyhtiön rakennuksista.



Kuva 2. Asuntoyhtiössä on 7 rakennusta. Asuinrakennukset A-F ja huoltorakennus.

Kuva 3 on A-, B-, C- ja D-talon sisäpihasta ja D-talosta. Rakennukset ovat puurunkoisia, tiili- ja puuverhoilulla. Vesikaton materiaali on kattotiili.



Kuva 3. Vasemmassa kuvassa näkyvät alkaen vasemmasta reunasta huoltorakennuksen nurkka, A-talo, B-talo ja C-talon nurkka. Oikeanpuoleisessa kuvassa on D-talon etupihoja.

Aikaisemmin rivitaloyhtiö on lämmennyt öljyllä, mutta nykyään lämmitysmuotona on kaukolämpö. Huoltorakennuksessa (kuva 4) sijaitsee taloyhtiön kaukolämmön lämmönjakokeskus, josta lämpö jaetaan kiinteistöihin maanalaisin lämpökanaalein. Asunnoissa ja huoltorakennuksissa on vesikiertoiset patterit. Joidenkin asuntojen pesutiloihin on remonttien yhteydessä asennettu sähköinen lattialämmitys.



Kuva 4. Kuvassa näkyvät vasemmalla D-talon nurkka, keskellä huoltorakennus ja oikealla A-talon kattoa.

Huoltorakennuksessa sijaitsevat myös sähköpääkeskus ja kiinteistön vesiliittymä, sekä käytöstä poistetut vesivaraaja, öljysäiliö ja -kattila. Asunnoissa on asuntokohtaiset kylmän ja lämpimän veden vesimittarit.

Rivitalon energian- ja vedenominaiskulutuksen tiedot on esitetty taulukossa 4. Vertailuarvoina on käytetty Motivan [26; 27; 28] ilmoittamia keskimääräisiä kulutuksia taloyhtiöille.

Taulukko 4. Rivitaloyhtiön energian- ja vedenkulutus ominaiskulutuksina laskettuna tarkastelujakson 2019–2016 keskiarvosta. Lämmönkulutuksen ominaislämmönkulutuksen laskennassa käytetty taloyhtiön lämmitetty tilavuutta. Veden ominaiskulutuksen laskennassa käytetty arvioitua asukaslukumäärää. Alempi kulutusarvo on laskettu olettaen, että kaikki ovat kotona vuoden jokaisena päivänä. Suurin arvo laskettu arvioiden, että kaikki ovat poissa jokaisena viikonloppuna vuodessa. Todellinen ominaiskulutus asettuu johonkin tähän väliin. Sähkön ominaiskulutuksen laskennassa käytetty rakennustilavuutta.

	Ominaiskulutus	Vertailuarvo
<b>Normitettu lämmönkulutus*</b>	68 (kWh/m <sup>3</sup> )	50–72 kWh/m <sup>3</sup> [26]
<b>Veden kulutus</b>	103–144 (dm <sup>3</sup> /vrk, henk.)	140 dm <sup>3</sup> /vrk, henk. [27]
<b>Kiinteistösähkön</b>	2,2 kWh/m <sup>3</sup>	2–6 kWh/m <sup>3</sup> /v [28]

\*Normitus tehty Jyväskylään. Vertailuarvio on Motivan ilmoittamat Etelä-Suomen tyypilliset lämpöindeksit +10 %, jotta päästään Keski-Suomen tyypillisiin arvoihin [26].

Lämmityksen ominaiskulutuksen laskentaan on käytetty taloyhtiön lämmitettyä tilavuutta. Lämmityksen ominaiskulutus sijoittuu vertailuarvojen keskiarvon yläpuolelle. Lämmönkulutuksen suuruuteen vaikuttaa rakennusten ominaisuuksien lisäksi myös lämpökanaalin lämmönhukka. Lämmityksen kulutuksessa ei ole tapahtunut huomattavia nousuja vuosien 2016–2019 tarkastelujaksolla. Asuntojen kylpyhuoneisiin jälkikäteen asennettujen sähköisten lattialämmitysten tulisi pienentää tässä taulukoitua kaukolämmön kulutusta. Tiedossa ei ole, kuinka monen asunnon kylpyhuoneremontit ja näiden yhteydessä lisätyt sähköiset lattialämmitykset osuvat nyt tarkastelun alla olevalle ajanjaksolle. Siten tähän näkökulmaan ei voida ottaa tämän enempää kantaa.

Kiinteistösähkön ominaiskulutus sijoittuu vertailuasteikossa selkeästi mataliin kulutuksiin. Tähän vaikuttaa taloyhtiön kiinteistösähkön vähäinen kulutus. Taloyhtiön kiinteistösähkönkulutus koostuu ulkovalaistuksesta, autojen lämmitystolpista, huoltorakennuksen ja B-talon päädyn häkkivaraston poistoilmapuhaltimista, pesutuvan valaistuksesta ja koneiden sähkönkulutuksesta, sekä käyttöveden ja kaukolämmön pumpuista ja laitteista. Kiinteistösähkõminaiskulutuksen laskennassa on käytetty taloyhtiön lämpimät ja kylmät tilavuudet. Kiinteistösähkõkulutus on pysynyt tasaisena vuosien 2016–2019 tarkastelujaksolla.

Veden ominaiskulutus on laskettu arvioidun asukaslukumäärän perusteella ja kahdella eri oletuksella. Alempi ominaiskulutus on laskettu olettaen, että kaikki ovat olleet paikalla vuoden jokaisena päivän. Tämä oletus ei ota huomioon asukkaiden pidempiä poissaoloja esimerkiksi viikonloppuisin tai lomien aikoihin. Suurempi ominaiskulutus on laskettu olettaen, että kaikki ovat olleet poissa kotoa vuoden jokaisena viikonloppuna.

Todellinen tilanne asettuu johonkin näiden kahden vaihtoehdon välille. Toinen huomioitava asia vedenkulutuksen vertailuarvoon liittyen on, että 140 dm<sup>3</sup> keskimääräinen vedenkulutus henkilöä kohtaan on tutkimustieto vuodelta 1998. Työteho-seuran ja muiden tahojen käynnissä oleva Kestävä vedenkäyttö -hanke [29] tutkii vedenkulutusta tällä hetkellä. Näiden tutkimusten alustavien tietojen valossa keskimääräinen vedenkulutus on laskenut. Alustava arvio veden keskimääräisestä kulutuksesta henkilöä kohti vuorokaudessa silloin kun veden kulutus laskutetaan kulutukseen perustuen, on 120 dm<sup>3</sup> henkilöä kohti vuorokaudessa. Nämä kaksi seikkaa huomioiden taloyhtiön vedenkulutus on lähellä Suomen keskimääräistä veden kulutusta. Vedenkulutus on myös pysynyt tasaisena tarkastelujaksolla 2016–2019.

Tällä hetkellä taloyhtiön energiankulutusta seurataan lähinnä vuositasolla. Energian- ja vedenkulutusta kannattaisi seurata ainakin 4 kuukauden välein, jotta olisi mahdollista havaita ja reagoida mahdollisiin kulutuspiikkeihin. Esimerkiksi veden kulutuksen yhtäkkiset muutokset voivat kieliä vuodoista.

Teknisten tilojen lisäksi huoltorakennuksessa sijaitsee taloyhtiön pyykkitupa, WC, kuivaushuone, sekä C- ja D-talojen asuntojen lämmittämättömät häkki- ja pyörävarastot. Talojen A ja B lämmittämättömät häkki- ja pyörävarastot sijaitsevat B-talon päädyssä. E- ja F-talojen vastaavat tilat ovat F-talon päädyssä.

Asunnoissa on asuntokohtaiset talotuulettimet eli koneellinen poisto keittiöstä, vaatehuoneesta, kodinhoitohuoneesta sekä WC- ja pesutiloista.

Huoltorakennuksen häkkivarastossa on oma koneellinen poisto. Pyykkituvan ilmanvaihdosta huolehtii huippuimuri. Muista huoltorakennuksen tiloista ilma vaihtuu lähinnä oviin sijoitettujen venttiilien kautta. B-talon päädyssä olevaan lämmittämättömään häkkivarastoon on 2019 kesänä asennettu koneellinen poisto. F-talon lämmittämättömien häkkivarastojen ilma vaihtuu ovissa olevien venttiilien kautta.

#### **4 Rivitaloyhtiön sisäilman nykytila**

Tässä luvussa kuvaillaan tarkemmin rivitaloyhtiön sisäilman ja erityisesti ilmanvaihdon nykytilaa sekä käytössä olleen kirjallisen aineiston, että kierroksella tehtyjen mittausten ja havaintojen valossa. Nykytilaa verrataan rakentamivuonna voimassa olleisiin ja tällä



hetkellä voimaassa oleviin rakentamismääräyksiin sekä asumisterveysasetuksen raja-arvoihin. Tarkempi ilmanvaihdollinen tarkastelu tehdään asunnosta C11. Asuntojen ilmanvaihdon nykytilan analysoinnin jälkeen käsitellään asunnoissa tehtyjä huonelämpötila- ja ilmansuhteellisen kosteuden mittauksia. Viimeisenä analysoidaan huoltorakennuksen ja kylmien häkkivarastojen ilmanvaihtoa.

#### 4.1 Asunnot

##### 4.1.1 Asuntojen ilmanvaihdon nykytilan kuvaus

###### *Poistoilma*

Asunnoissa on huoneistokohtaiset talotuulettimet ja poistot asianmukaisista tiloista (WC, keittiö, vaatehuone, pesuhuone ja sauna). Poistoilmakanavat on viety välikaton puolelle eristeiden alla. Jäteilma johdetaan vesikatolle.

Alkuperäiset ilmanvaihtokoneet ovat olleet Valloxin valmistama, merkki Talotuuletin ILMO. Alkuperäisissä koneissa on ollut 0–1–2–3-säätöportaat ja säätöpelti, jolla voidaan säätää lieden päältä otettavan poistoilman määrä. Kuvassa 5 on esitetty talotuulettimen käyttöohjeet. Käyttöohjeiden mukaan asetukset 1 ja 2 ovat normaalille käytölle. Tällöin säätöpellin tulisi olla kiinni. Asetukset 2 ja 3 ovat tehostustilanteessa tarpeelliset esimerkiksi ruokaa laittaessa. Säätöpelti on tällöin auki. Vain osa asukkaista osasivat käyttää tässä esitettyjä säätömahdollisuuksia.



Kuva 5. Talotuuletin ILMO:n käyttöohjeet.

Asunnossa C11 tarkastettiin poistovenktiilien ja kanavien koot. Koot vastasivat talotuuletin ILMO:n teknisiä ohjeita. Siten pesuhuoneessa kanavan halkaisija oli 125 mm ja muissa tiloissa 100 mm. ILMO:n tekniset tiedot näkyvät liitteessä 1.

Yleisesti ottaen ilmanvaihdossa mm. puhaltimilla ja pääte-elimillä on suurempi merkitys ilmavaihdon äänitasoon. Korjausvaihtoehtoissa nostetaan olemassa olevan poistokanavan ilmamäärää, jos tämä nousu on yli kanavakoolle suositellun nopeusrajan, nousee myös kanavien merkitys äänilaskelmissa suuremmiksi.

Pyöreän peltikanavan, jonka halkaisija on 125 mm, suositeltava suurin ilmamäärä asunnoissa on 40 dm<sup>3</sup>/s ja vastaavasti halkaisijan 100 mm pyöreäkanavan suositeltava suurin ilmamäärä on 25 dm<sup>3</sup>/s. Suositeltavissa maksimivirtausnopeuksissa huomioidaan kanavan hankintahinta, puhallinenergiakustannukset, perussäädönkustannukset, äänitekniikka ja kokemuseräinen tieto. Nämä ilmamäärät vastaavat noin virtausnopeutta 3,5 m/s kanavistossa. Tämä on suositeltava virtausnopeus kanavistossa, kun halutaan max. 25 dB(A) äänitaso. 25 dB(A) äänitasoa vaaditaan esim. makuuhuoneisiin. [13; 14; 30 s. 41.]

Korjausvaihtoehtojen suunnitellut ilmamäärät esitetään liitteessä 5. Näitä tarkastelemalla nähdään, että olemassa olevan poistoilmakanaviston halkaisijaperusteiset suositellut ilmamäärärajat tulevat vastaan vain isoimmissa asunnoissa ja niissäkin lähinnä kokoojakanavissa, eli ei esimerkiksi makuuhuoneissa. Siten korjausvaihtoehtoissa on ainakin tämän pintapuolisen ääniteknisen tarkastelun perusteella mahdollista nostaa ilmamäärää liitteessä 5 esitetyille ilmamäärille.

Talotuuletin ILMO on asennettu maustehyllyn taakse lieden päälle. Asunnossa C11 on valittu ILMO:ista kapeampi vaihtoehto. Tämä on 498 mm leveä. Korkein kohta tuulettimella on 530 mm. Kuvun kohdalla tuuletin syvyys on 530 mm, muutoin syvyys on 300 mm. Talotuuletin mittoja voi katsoa tarkemmin liitteestä 1. Maustehyllyn takaisen tilan koko asettaa rajoitteita esimerkiksi samaiseen tilaan asennettavan tulo- ja poistoilmavaihtokoneen asentamiselle.

Joissakin asunnoissa oli uusittu joko talotuuletin koneistoa tai sitten koko tuuletin kupuineen. Osassa oli vielä alkuperäinen ILMO-talotuuletin.

## Korvausilma

Korvausilma otetaan ikkunoiden yläreunoilla olevista rakovehtiileistä (kuvat 6 ja 7) asuinhuoneista, joista ilma siirtyy siirtoilmana likaisimpiin tiloihin. Tämän lisäksi lähes kaikissa ikkunoissa on avattavat tuuletusikkunat, jolla voidaan tarvittaessa tuulettaa sisätiloja. Saunoihin ulkoilma otetaan ulkoseinän läpi laitetuista korvausilmaventtiileistä.



Kuva 6. Ikkunoiden yläpuolella sijaitseva rakovehtiili.



Kuva 7. Rakovehtiilin reiät ulkoseinässä.

Rakovehtiilit ovat kooltaan 23 cm leveät ja 1,5 cm korkeat. Seinän ulkopinnassa on kolme reikää rakovehtiiliä kohti. Dir Air Oy:lla [31] on esite, jossa käsitellään korvausilmaventtiilien ilmamääriä 20 Pa:n paine-erolla venttiilin hydraulisen pinta-alan suhteessa. Hydraulinen halkaisija, joka on mielivaltaisen muotoisen aukon poikkileikkausta vastaavan ympyrän halkaisija, lasketaan seuraavasti

$$d_h = \frac{4A}{U}, \quad (6),$$



jossa  $d_h$  on hydraulinen halkaisija,  $A$  on muutettavan aukon pinta-ala ja  $U$  on muutettavan aukon piiri. [32.]

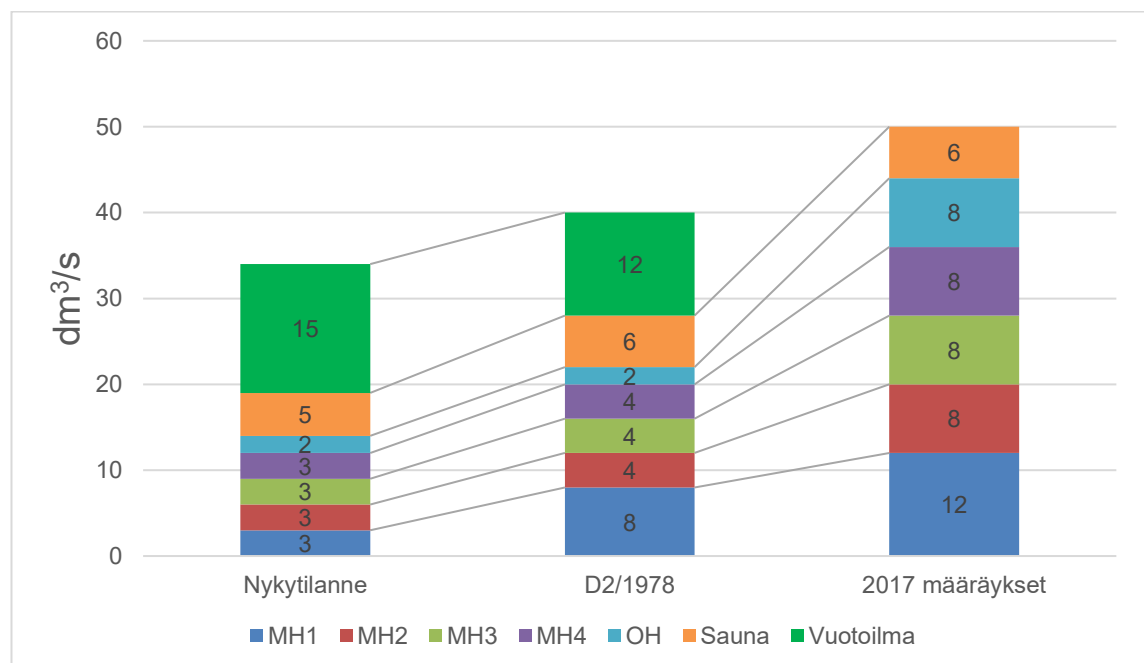
Lasketaan rakovehtiiliä vastaava hydraulinen halkaisija

$$d_h = \frac{4 * 23 \text{ cm} * 1,5 \text{ cm}}{(23 \text{ cm} + 1,5 \text{ cm}) * 2} \approx 2,8 \text{ cm}$$

ja pinta-ala

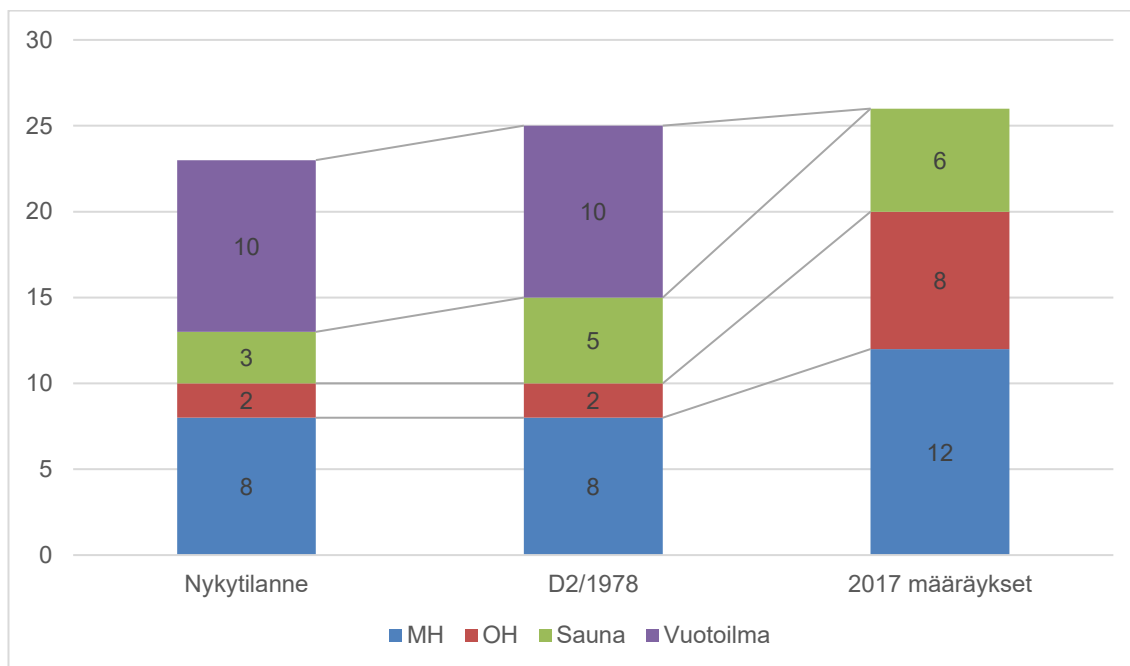
$$A_h = \frac{\pi d_h^2}{4} = \frac{\pi * (2,8 \text{ cm})^2}{4} \approx 6,2 \text{ cm}^2.$$

Dir Airin taulukosta [31] luettuna 20 Pa:n paine-erolla tämä vastaa noin tilavuusvirtaa  $2 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tässä arvioissa on hieman oiottu mutkia, koska tuloilmaa varten oleva aukko ei ole kokomatkalta tuo  $23 \times 1,5 \text{ cm}$  kokoinen. Lisäksi kuten aiemmin on jo teoriaosuudessa huomattu, 10 Pa:n paine-eron luominen on haastavaa epätiivissä rakennuksissa. Nykyisistä rakovehtiileistä ei saada kovin suuria ilmamääriä ja niissä jäädyään RT-kortin LVI 30-10086 [22] ohjeistaman 55 % hallitun tuloilman alapuolelle. Kuvassa 8 on esitetty korvaus- ja tuloilmat huonekohtaisesti suurimmissa asunnoissa käyttäen asuntoa C11 esimerkkinä ja pienemmissä asuinnoissa käyttäen esimerkkinä asuntoa A1. Kuvajaan on merkitty myös vuotoilman osuus tarvittavasta korvausilmasta. Vastaavat tiedot on esitetty liitteen 5 taulukoissa.



Kuva 8. Korvausilma asunnossa C11 normaalissa ilmanvaihdon tilanteessa. Nykytilanteen ilmamäärät vastaavat syksyllä 2019 mitattuja poistoilmamääriä, soveltaen LVI 30-10086 [22] ohjeistusta. D2/1978 korvausilmamäärissä on sovellettu D2/1978 rakenta-

mismääräyksen [5] ohjeistusta poistoilmamäärälle ja LVI 30-10086 [22] ohjeistusta korvausilman suunnittelulle]. 2017 määräykset tuloilman osuus on suunniteltu 2017 määräysten mukaisesti erityisesti käyttäen Asuntokohtaisen ilmanvaihdon suunnittelun ohjeistusta [6].



Kuva 9. Korvausilma asunnossa A1 normaalissa ilmanvaihdon tilanteessa. Nykytilanteen ilmamäärät vastaavat keväällä 2019 mitattuja poistoilmamääriä, soveltaen LVI 30-10086 [22] ohjeistusta. D2/1978 korvausilmamäärissä on sovellettu D2/1978 rakentamismääräyksen [5] ohjeistusta poistoilmamäärälle ja LVI 30-10086 [22] ohjeistusta korvausilman suunnittelulle. 2017 määräykset tuloilman osuus on suunniteltu 2017 määräysten mukaisesti erityisesti käyttäen Asuntokohtaisen ilmanvaihdon suunnittelun ohjeistusta [6].

Korvausilma siirretään siirtoilmana lähinnä ovirakojen kautta puhtaammista oleskelutiloista ilmanlaadultaan likaisempiin tiloihin.

#### *Huomiot ilmanvaihdesta*

Kuntokatselmuksen aikana huomattiin ilmanvaihdon kannalta kaksi merkittävää seikkaa. Ensimmäinen huomio oli, että useat asukkaat eivät pidä poistoilmalaitteitaan päällä muutoin kuin ruokaa laittaessa tai saunottaessa, jos silloinkaan. Näin ollen monessa asunnossa sisäilmanlaatu kärsii ilmanvaihdon puutteesta. Toinen havainto oli, että monet ulkoilma-aukot oli tukittu tai jopa poistettu kokonaan remonttien yhteydessä. Joissakin ensimmäisinä valmistuneissa asunnoissa ei ole, alkuperäisten asukkaiden mu-

kaan, koskaan ollutkaan korvausilmaventtiileitä. Näissä asunnoissa on mahdollista, että ikkunoiden tiivisteisiin on jätetty aukoja korvausilmareiteiksi. Tiivisteitä ei erikseen tarkasteltu. Vaikka liesituulettimia olisikin pidetty päällä, monen asunnon ulkoilma tulee osittain tai kokonaan ikkunoiden ja ovien raoista. Asuntojen ikkunat ja ovet ovat alkupe- räisiä ja epätiivittä, jolloin niistä saadaan useimmissa asunnoissa riittävä ulkoilmavirta. Joskin tällöin ilmanvaihto ei kata välttämättä kaikkia asuntojen huoneita, koska suunnitellut ilmavirta reitit eivät toteudu.

Jos asuntoihin tehtäisiin ikkuna- ja oviremontti, ilman että huomioitaisiin ilmanvaihdon tarpeet, siirtyisi korvausilman otto entistä enemmän rakennuksen muihin epätiivitey- skoh- tiin. Tällöin esimerkiksi lattian alta voisi vuotaa sisäilmaan merkittäviä epäpuhtauksia. Yleisesti ottaen koneellisen poistoilman kohteissa ikkuna- ja oviremonttien yhteydessä tulee tarkastella myös ilmanvaihdon toimivuutta.

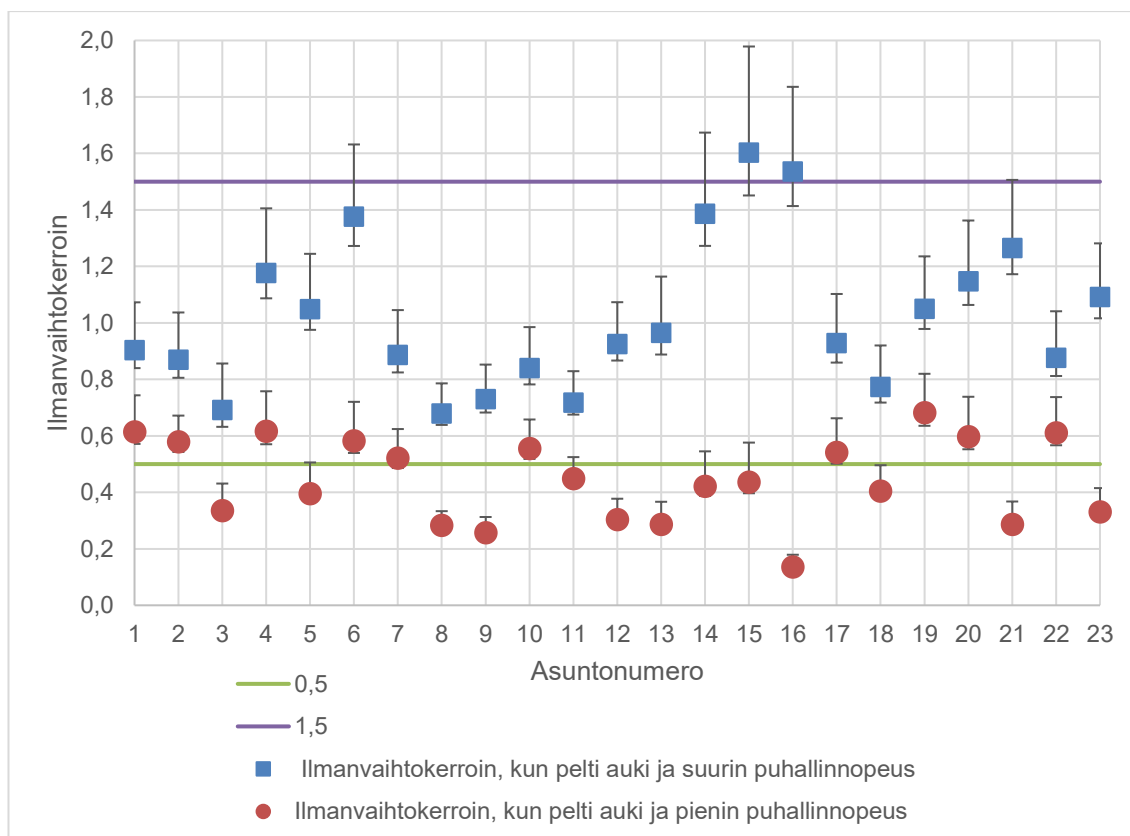
Syitä siihen, miksi ilmanvaihtoa ei pidetty päällä olivat mm. liian kova meteli, epätietoi- suus siitä, että liesituuletin/talotuuletin vastaa koko asunnon ilmanvaihdosta ja ilman- vaihdon ollessa päällä asuntoihin kulkeutuva paha haju. Näihin ongelmiin tartutaan korjausvaihtoehtojen käsittelyn yhteydessä.

#### 4.1.2 Asuntojen mitattujen ilmamäärien analysointi

Asuntojen ilmamäärät mitattiin kahdessa eri tilanteessa. Ensimmäinen oli suurin saata- villa olevan ilmamäärän tilanne, eli suurimmalla puhallinnopeudella keittiön säätöpelti auki-asennossa. Tällöin suurin ilmavirta ohjautuu keittiöön. Toinen mittaustilanne oli säätöpelti auki ja puhallinnopeus kaikkein pienimmällä asetuksella. Vaikka ohjeistuksen mukaan normaalitilanne ilmanvaihdolle on asetus 1 tai 2 puhaltimessa ja säätöpelti kiinni, mittaukset toteutettiin pelti auki, sillä useimmat asukkaat pitävät säätöpellin auki koko ajan ja säättävät vain puhallinnopeutta. Tämän lisäksi tarkemmat mittaukset asun- non C11 kohdalla osoittavat (katso kuva 13), että kokonaisilmamäärät ovat lähellä toi- siaan pienimmällä puhallinnopeudella, oli säätöpelti auki tai kiinni, vain niiden jakautu- minen asunnon kanavistossa muuttuu. Siten valitulla mittaustilanteilla saadaan tar- peeksi kattava kokonaiskuva asuntojen ilmanvaihdon riittävydestä

Kuvassa 10 on esitetty asunnoissa tehtyjen poistoilmavirtamittausten perusteella laske- tut asuntokohtaiset (poistoilman) ilmavaihtokertoimet virherajoineen. Mittausten virhe- tarkastelu on esitetty liitteessä 2. Saatujen tulosten arvioinnin helpottamiseksi kuvaan

on piirretty viivat kohdille 0,5 ja 1,5. Talon rakentamisvuonna voimassa olleen rakentamismääräyksen D2/1978 Rakennusten ilmanvaihto [5] mukaan rakennukseen tulee johtaa ulkoilmaa  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ , joka vastaa 0,5 kertaista ilmanvaihtoa normaalikorkuissa huoneissa. Toisaalta siinä myös mainitaan, että erityisesti pienasunnoissa ilmanvaihtokerroin ei saisi ylittää 1,5 1/h, jottei veto kasva liian suureksi. Asumisterveysasetuksessa käytetään samaa alarajaa [3]. Näiden perusteella kuvassa näkyvät rajaviivat on valittu.



Kuva 10. Kunkin asunnon ilmanvaihtokerroin laskettu ilmavirtausmittauksien perusteella. Siniset pisteet kertovat tilanteen, kun asunnon liesituulettimesta on valittu suurin puhallinnopeus ja keittiön liesituulettimen pelti on auki. Punaiset pisteet kertovat tilanteen, kun asunnon liesituulettimesta on valittu pienin mahdollinen puhallinnopeus ja keittiön liesituulettimen pelti on auki. Lisäksi kuvaajan on piirretty viivat raja-arvojen 0,5 ja 1,5 kohdalle. Normitilanteessa ilmanvaihdon tulisi asettua näiden väliin. *Huom. Asunnon A3 saunan poistoventtiili on peitetty saunankattopaneeleilla. Asunnon C9 kodinhoituhuoneessa ei ollut poistoa. Asunnon E18 saunan poistoilmavirtaa ei päässyt mittaamaan vaan sen arvioidaan olevan sama kuin asunnossa E19.*

Mittauksia tehtäessä huomattiin, että asunnosta A3 oli pintaremontin yhteydessä peitetty saunan poistoventtiili kokonaan, asunnossa C9 on jossain vaiheessa poistettu poistoilmaventtiili kodinhoituhuoneesta ja asunnossa E18 ei päässyt mittaamaan saunan poistoilmaventtiiliä. Asunnot E18 ja E17 ovat toistensa peilikuvat ja mitatuilta ilmamää-

riltään lähellä toisiaan, joten asunnosta E18 puuttuvan saunan ilmanvaihdon mittausarvon arvioitiin olevan sama kuin E17:n. Arvioimalla tehty lisäys ei vaikuta asunnon E18 kohdalla ilmanvaihtokertoimeen. Saunan ilmanvaihtoa ei huomioida ilmanvaihtokertoimissa eikä asuntojen vähimmäisilmavirran laskennassa, koska saunan ilmanvaihto kohdistuu vain saunatilaan [34, s. 10]. Koko rivitalon mittakaavassa tehty arvio on pieni.

Kun tarkastellaan asunnoissa mitattujen poistoilmanmäärien ja niiden perusteella laskettujen ilmanvaihtokertoimien tilannetta edellä mainituin rajoin huomataan, että suurimmalla puhallinnopeudella kaikkien asuntojen ilmanvaihtokertoimet ovat D2/1978 määräyksen rajojen sisällä. Huomioitava on, että raja-arvot koskevat ulkoilmavirtaa, jolloin poistoilmavirran tulisi olla vähintään yhtä suuri kuin tuo raja-arvo tai hieman suurempi. Suurin puhallinnopeus on tehostustilanne, joten tärkeämpi on tarkastella pienimmällä puhallinnopeudella toteutuvia ilmanvaihtokertoimia.

Pienimmällä puhallinnopeudella 13 asunnossa jäädään rajan 0,5 alapuolella. Kun huomioidaan virherajat yhdeksässä asunnossa, jäädään rajan 0,5 alapuolelle. Tämä tarkoittaa, että nykyisessä kunnossa ilmanvaihtokoneet eivät riittävästi poista ilmaa. Ilmanvaihtuvuus jää näissä asunnoissa vuoden 1978 D2 tavoitearvon ja myös asumisterveysasetuksen raja-arvon alapuolelle. D2 Rakennusten ilmanvaihto [5] -määräyksessä on kuitenkin pieni lievennys eli mahdollisuus huomioida vuotoilma ilmanvaihtokertoimessa läpi talon olevissa huoneistoissa jopa 0,2:n verran. Kaikki asunnot ovat läpitalon asuntoja. Tämä huomioiden pienimmälläkin puhallinnopeudella saavutetaan tuon ilmanvaihtokertoimen 0,5 raja lähes kaikissa asunnoissa.

Kuten jo aikaisemmin on todettu, monissa asunnoissa korvausilmaventtiilit puuttuivat kokonaan. Ne vielä päällisin puolin kunnossa olevat korvausilmaventtiilit lienevät myös ainakin osittain tukossa, sillä niissä ovat tuloilmasuodattimet eivät ole helposti vaihdettavissa. Ulkoilma tulee siis asuntoihin lähinnä vuotoilmana alkuperäisten ikkunoiden ja ovien kautta.

Asumisterveysasetuksen ohjeen mukaista poistoilmavirran mittausta ulkoilman riittävyyden todentamiseksi ei tehty. Ohjeistus on, että ensi mitataan asunnon poistoilmavirrat ulko-ovi tms. kiinni ja sitten uudestaan ulko-ovi auki. Jos mittaustulokset poikkeavat paljon toisistaan nykyisissä korvausilmaventtiileissä ei kulje riittävä ilmamäärä. [15, s. 19.]

Asuntotason lisäksi ilmanvaihdon riittävyttä tulisi tarkastella myös huonekohtaisesti. Asunnosta C11 on tehty tarkempi huonekohtainen tarkastelu.

#### 4.1.3 Asunnon C11 ilmanvaihdon tarkempi tarkastelu

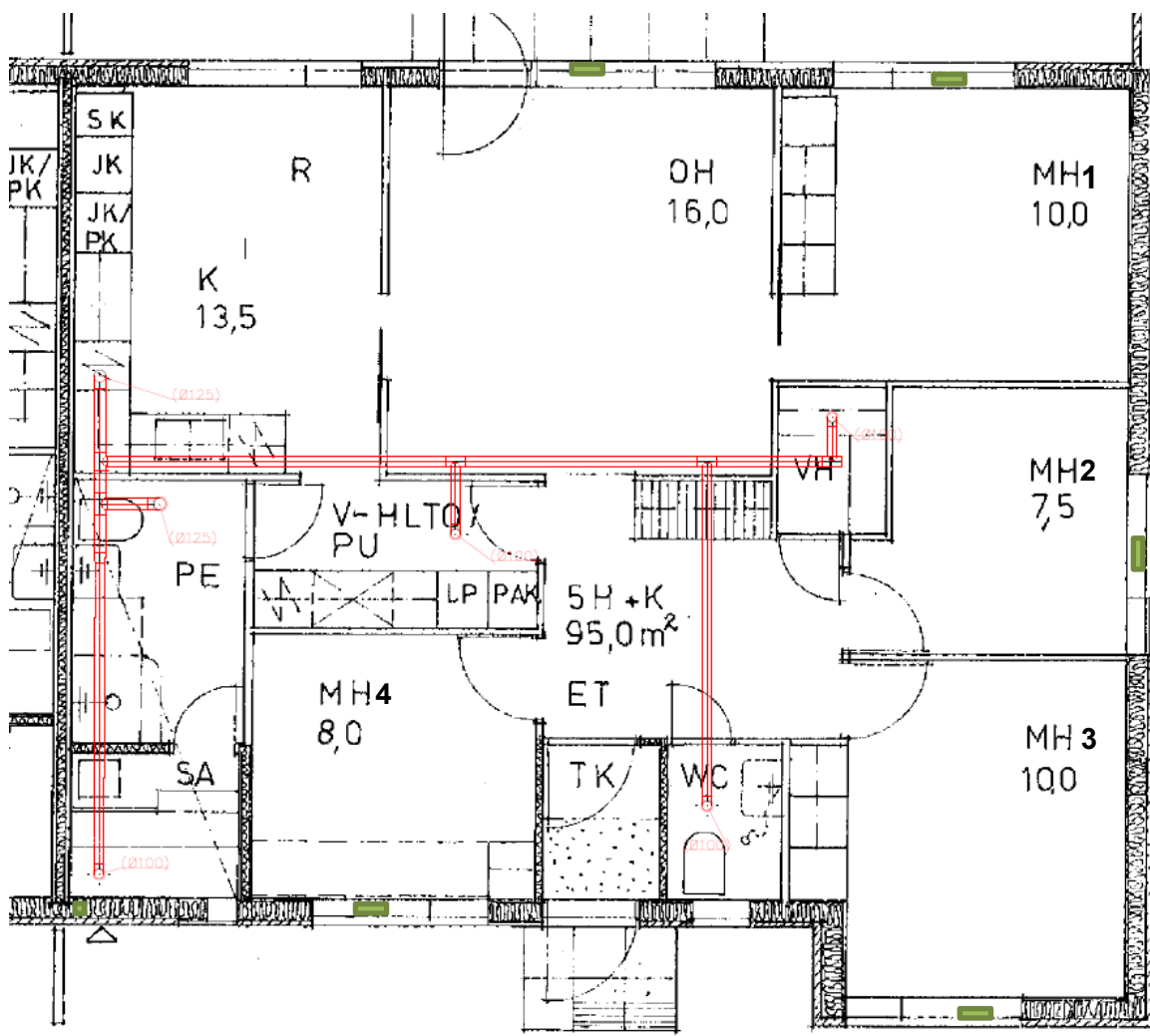
Tehdään nyt tarkempi tarkastelu asunnon C11 ilmanvaihtoon. Asunto on pinta-alaltaan suurimpia taloyhtiön asunnoista. Talotuulettimen puhallin on uusittu viimeisen 5 vuoden sisällä. Tarkka ajankohta ei ole tiedossa. Uusi puhallin on Österberg RFE 140 CUU -puhallin.

Kuvassa 11 on asunnon C11 talotuuletin. Kuvasta nähdään, että kanava on teipattu usean kertaan. Putki materiaali on taipuisa ”ruttuputkea”, joka saanut vuosien saatossa painaumia. Putken painaumia, teippaukset ja mutkat aiheuttavat turhaa painehäviöitä. Lisäksi ruttuputken puhdistus on hankalaa ja on palovaaran aiheuttaja [33, s. 13]. Olisi siis suositeltavaa vaihtaa nämä kanavaosuudet peltikanavaan.



Kuva 11. Vasemmalla on asunnon C11 talotuuletimeen kytketyt kanavat, jotka ovat ruttuputkea ja ne on teipattu useampaan otteeseen. Ylimääräinen kanavalähtökaulus on tulpattu ja teipattu. Oikealla on asunnon C11 talotuulettimen puhaltimen kilpi.

Kuvassa 12 on hahmoteltu asunnon C11 ilmanvaihtokanavistoa ja merkitty myös korvausilmaventtiileiden paikat. Poistot ovat erillisestä WC:stä, vaatehuoneesta, kodinhoitohuoneesta, keittiöistä, pesuhuoneesta sekä saunasta. Korvausilmaventtiilit löytyvät olohuoneen ja makuuhuoneiden ikkunoiden yläreunoista sekä saunan lauteiden alta. Sisäovissa on raot lattiatasossa siirtoilman liikkumista varten. Kanavat on asennettu välikattoon eristeiden alle. Poistoilma johdetaan katon kautta pihalle.

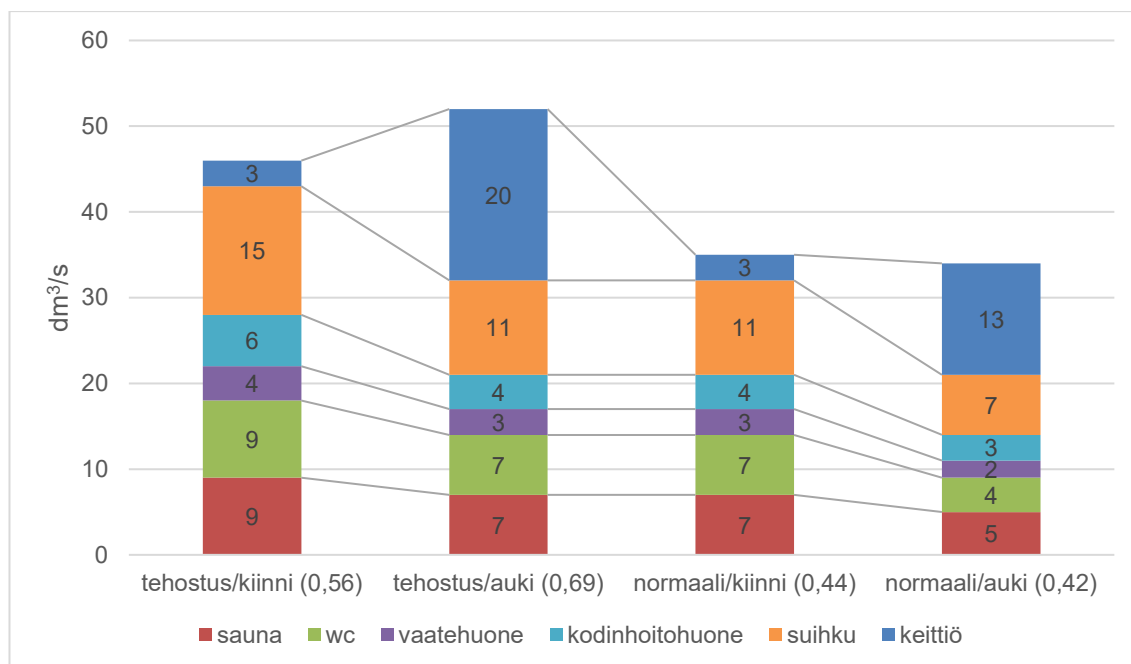


Kuva 12. Asunnon C11 poistoilmakanavistosta tehty hahmotelma. Korvausilmaventtiilien sijainnit on merkitty kuvaan vihrein suorakulmioin. Makuuhuoneet numeroitu myöhemmin tehtäviä viittauksia varten.

Keväällä 2019 koko rivitaloyhtiöön tehdyn kuntokatselmuksen aikoihin tehtiin myös ilmamäärämittauksia tässä asunnossa. Kevään mittaustuloksia käytetään kuvan 7 vertailussa. Syksyllä 2019 tehtiin uusintamittaukset asunnon ilmanvaihdon tarkempaa tarkastelua varten. Mittauksia tehtiin useammalla säädöllä kuin kevään mittaukset. Tarkoituksena oli havainnoida järjestelmän säädettävyys. Syksyn mittaustuloksia arvioidaan tässä luvussa. Kevään ja syksyn mittausten välillä oli vain vähäistä eroa, mikä johtuu todennäköisesti mm. kodin siivouksen yhteydessä venttiilien asentojen pienistä muutoksista ja keittiön mittauksessa mittauskuvun erilaisesta asennosta. Näitä eroja ei ole tarkoituksen mukaista arvioida tässä tämän enempää.

Asunnon C11 ilmanvaihdon ilmamääriä mitattiin neljässä tilanteessa. Nämä tilanteet olivat suurin puhallinnopeus ja liesituulettimen pelti auki ja kiinni sekä pienin puhallin-

nopeus ja liesituulettimen pelti auki ja kiinni. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 13, josta on selkeyden vuoksi jätetty virherajat pois. Mittaustulosten virherajojen arviointia on avattu liitteessä 2. Liitteessä 3 on taulukoitu keväällä asunnossa C11 tehdyt mitaukset virherajoihin. Kuvasta nähdään ilmanvaihtokoneen antamat säätömahdollisuuksien ääriarajat. Esimerkiksi suihkutilan ilmamääriä voidaan säätää välillä  $15 \pm 2 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja  $3 \pm 1 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Mitattujen arvojen lisäksi puhaltimen voi asettaa keskinopeudelle pelti auki tai kiinni. Tätä vastaavia ilmamääriä ei mitattu.



Kuva 13. Asunnon C11 nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän ilmamäärät eri puhallinnopeuksilla ja peltiasennoilla. Yhteensä erilaisia tilanteita mitattiin neljä: Tehostus eli suurin puhallinnopeus ja normaali eli pienin puhallinnopeus sekä keittiön säätöpelti auki ja kiinni. Suluissa olevat luvut kertovat kukin tilanteen ilmanvaihtokertoimen. Kuvan selkeyden vuoksi virherajat on jätetty pois kuvasta.

Nykyisellä järjestelmällä asunnossa voidaan tehostaa pienintä ilmamäärää noin 50 %. Käytäntö ja kierroksella tehty kysely on osoittanut, että säätömahdollisuuksista hyödynnetään koneessa lähinnä kolmea eli pelti auki ja suurin puhallinnopeus ruuanlaitossa, pelti kiinni ja suurin puhallinnopeus saunoessa sekä pienin puhallinnopeus ja pelti auki tai kiinni riippuen siitä, mihin asentoon se on viimeisessä tehotustilanteessa jäänyt. Tämä on tilanne niissä asunnoissa, joissa koneellista ilmanvaihtoa hyödynnetään.

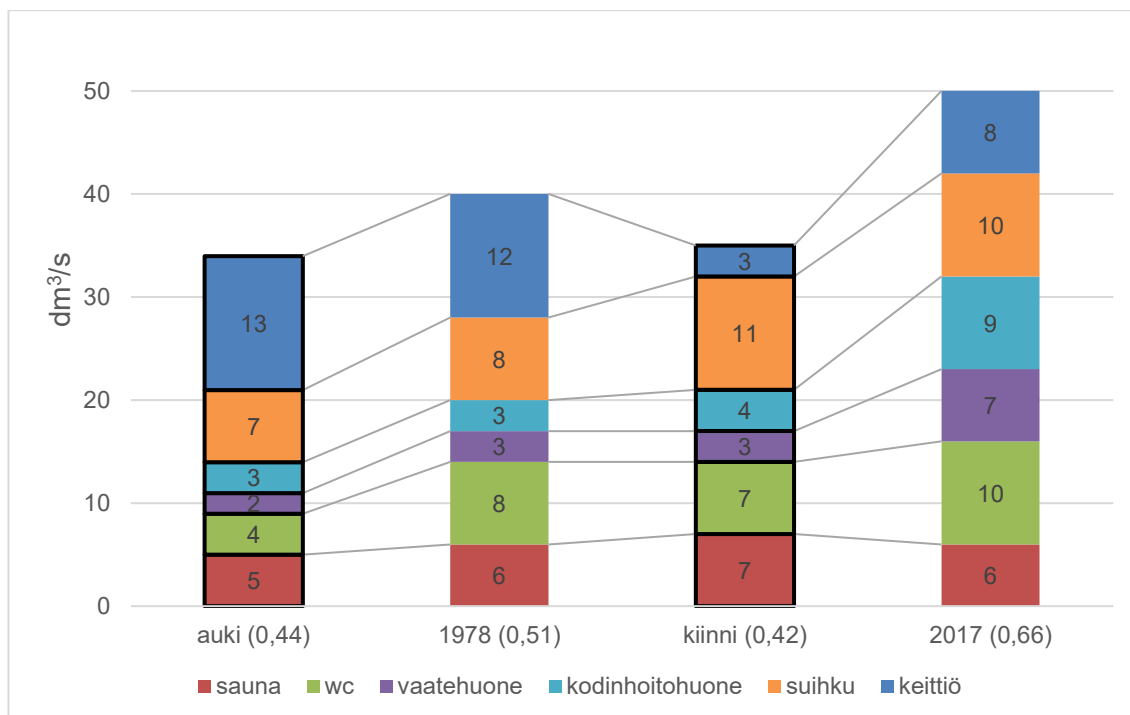
Mielenkiintoisena yksityiskohtana mittaustulokset osoittavat, että tehostustilanteessa ja pelti auki saadaan keittiötä lukuun ottamatta kaikkiin muihin tiloihin sama poistoi-



ilmamäärä kuin normaalitilanteessa pelti kiinni. Toinen mielenkiintoinen seikka on, että mittaustulosten perusteella pienimmällä puhallinnopeudella saavutetaan lähes sama ilmamäärä pelti auki tai kiinni. Tämä tulos johtunee keittiön ilmamäärien mittausrvirheestä. Pienimmällä puhallinnopeudella pelti auki keittiön mittaustulos on  $13 \pm 6 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja pienimmällä puhallinnopeudella pelti kiinni  $3 \pm 3 \text{ dm}^3/\text{s}$ , eli vaikka kokonaisilmamäärä näyttäisi samalta, on pelti auki -tilanteessa huomattavan suuri positiivinen virhe mitauksissa, joten ilmamäärät ovat hieman suurempia kuin pelti kiinni.

Säädettävyyden lisäksi asuntoon C11 tehdyn tarkemman mittaustarkastelun tavoitteena on tarkastella ilmanvaihdon riittävyyttä huonetasolla. Kuvassa 14 verrataan mitattua normaalitilanteen poistoilmamäärien mittaustuloksia vuoden D2/1978 [5] ja nykymääräyksen [6] mukaisia ohjeita soveltaen toteutettuun mittaukseen. Mitoituksen teoriaa ei avata tässä opinnäytetyössä.

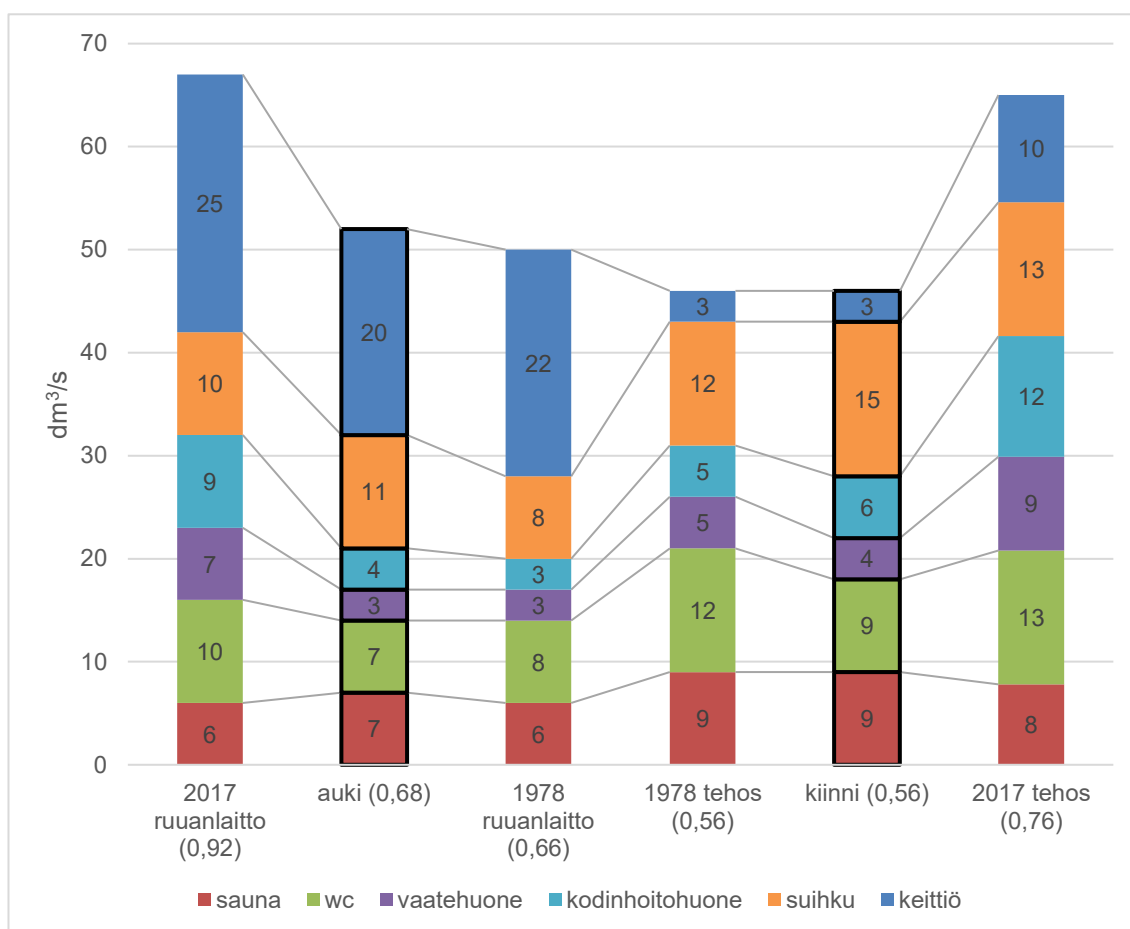
Pienimmällä puhallinnopeudella pelti auki -tilanteessa mitatut ilmamäärät ovat hyvin lähellä D2/1978 [5] mukaan valittuja suunnitteluarvoja. Kuitenkin mitatuilla ilmamäärillä ilmanvaihtoluvuksi on saatu vain 0,42 ja 0,41. Nämä ovat alle 0,5:n minimiraja-arvon. Toisaalta taas D2/1978:n [5] mukaan valituilla ilmavirroilla saavutetaan juuri ilmanvaihderoin 0,5. Tämä ero johtuu saunan ilmanvaihdon suhteellisesta osuudesta, joka on suunnittelutilanteessa pienempi kuin mitatussa tilanteessa. Kuten on jo todettu, saunan ilmamääriä ei huomioida asunnon ilmanvaihtolukua laskettaessa. Nykymääräyksiä soveltaen saaduista suunnitteluarvoista jäädään kuitenkin lähes kaikissa huoneissa ja myös kokonaisilmamäärässä.



Kuva 14. Pienimmällä puhallinnopeudella tehtiin kaksi mittausta: liesituulettimen pelti auki ja kiinni. Kuvassa näitä kahta mittaustilannetta verrataan 1978 ja 2017 rakentamismääräyksen mukaisiin ilmamääriin [5; 6]. C11:n mittaukset on taulukoitu liitteessä 3 ja mitoitusaulukot ovat liitteessä 5. Mittaustulokset on merkitty paksummalla reunaviivalla. Suluissa olevat luvut kertovat kukin tilanteen ilmanvaihdon kertoimen. Kuvan selkeyden vuoksi virherajat on jätetty pois kuvasta.

Kuvassa 15 on esitetty suurimmalla puhallinnopeudella tehdyt mittaustulokset pelti auki ja kiinni. Tämän lisäksi on esitetty D2/1978 [5] ja nykymääräyksen [6] mukaisia ohjeita soveltaen tehostuksen ja ruuanlaitto-tilanteen suunnitellut ilmamäärät toteutettuun mittaukseen. Suunniteltu tehostus on 30 % suurempi kuin normaalitilanteen ilmamäärä. Tämä vastaa nykyjärjestelmällä suurinta puhallinnopeutta pelti kiinni. Ruuanlaitto-tilanteessa vain keittiön ilmamäärät kasvavat. Tämä vastaa nykyjärjestelmässä tilannetta, jossa on suurin puhallinnopeus ja pelti auki.

Kuvasta 15 nähdään, että mitatut tehostus- ja ruuanlaitto-tilanteiden ja D2/1978:n [5] mukaan suunnitellut ilmamäärät vastaavat hyvin toisiaan. Nykymääräyksen ilmamäärästä jäädytään lähes kaikissa tiloissa.



Kuva 15. Suurimmalla puhallinnopeudella tehtiin kaksi mittausta: liesituulettimen säätöpelti auki ja kiinni. Kuvassa näitä kahta mittaustilannetta verrataan 1978 ja 2017 rakentamismääräyksiin mukaisiin ilmamääriin [5; 6]. C11:n mittaukset on taulukoitu liitteessä 3 ja mitoitusaulukot ovat liitteessä 5. Mittaustulokset on merkitty paksummalla reunaviivalla. Suluissa olevat luvut kertovat kukin tilanteen ilmanvaihdon kertoimen. Kuvan selkeyden vuoksi virherajat on jätetty pois kuvasta.

#### 4.1.4 Asuntojen ilmanvaihdon energiankulutus

Asuntojen ilmanvaihdon lämmitysenergian selvitetään käyttäen teoriaosuudessa esitettyjä kaavoja 1–3. Alla on laskettu kaavalla 2 yksi välitulos huonelämpötilan ja ulkolämpötilan välisestä lämmitystarveluvusta, kun ulkolämpötila on  $-20\text{ °C}$  ja käyttäen sisälämpötilaa  $+21\text{ °C}$ . Saadaan

$$S_{-20} = (21 - (-20))K * (365 * (0,0008 - 0))d = 12 \text{ Kd}.$$

Kun vastaava laskenta tehdään tasalukuaskelmin välillä  $-21 \dots +12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , saadaan lämmityskauden lämmitystarveluvuksi  $S_s = 5\,011 \text{ Kd}$ . Liitteessä 4 on esitetty käytetyt lämpötilan pysyvyysarvot ja lämmitystarveluvun laskenta. Tässä käytetyn lämpötilavälin energialaskennassa määrittelee rivitaloyhtiön sijainti vyöhykkeellä 2, jolloin ulkolämpötilan pysyvyysarvot ovat vain  $-21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen asti. Teholaskennassa tulee käyttää kuitenkin vyöhykkeen mitoittavaa ulkolämpötilaa  $-29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . [16]

Kun kaikkien asuntojen talotuulettimet ovat päällä pienimmällä puhelinnopeudella säätepelti auki on asuntojen poistoilmavirrat yhteensä  $490 \text{ dm}^3/\text{s}$ :ssa (virherajat  $+20$  ja  $-7$ ). Tätä tilannetta vastaava energiankulutus saadaan käyttämällä edellä laskettua lämmöntarvelukua ja kaavaa 3.

$$Q_{iv,korvausilma} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * 0,49 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 5011 \text{ Kd} * \frac{24\text{h}}{1000} = 70\,715 \text{ kWh}$$

$$\approx 71 \text{ MWh}$$

Näin saadaan korvausilman lämmitysenergian tarpeeksi lämmityskaudella  $71 \text{ MWh/a}$  (virherajat  $+3$  ja  $-1$ ). Suurimmalla puhallinnopeudella pelti auki saadaan vastaavasti kaikkien asuntojen poistoilmavirtojen summaksi  $1\,080 \text{ dm}^3/\text{s}$  (virherajat  $+40$  ja  $-20$ ) ja tätä vastaava energian kulutus on  $156 \text{ MWh/a}$  (virherajat  $+10$  ja  $-3$ ).

Kuntokatselmuksen aikana havaittiin, että suurin osa asukkaista eivät pidä ilmanvaihtoa jatkuvasti päällä. Jos arvioidaan, että nykyisellään  $30 \%$  asukkaista pitää ilmanvaihdon pienimmällä teholla jatkuvasti päällä, on korvausilman lämmitysenergiankulutus noin  $21 \text{ MWh/a}$ . Jos ohjeistuksen ja opastuksen seurauksena kaikki asukkaat alkaisivat pitämään ilmanvaihtoa jatkuvasti päällä, olisi ilmanvaihdon käytön lisäys prosentteina  $70 \%$ , mikä vastaa noin  $50 \text{ MWh:n}$  lisäystä rivitaloyhtiön lämmönkulutukseen vuositasolla. Tällöin lämmönkulutus nousisi noin  $220 \text{ MWh:sta}$  noin  $270 \text{ MWh:iin}$ . Nykyisillä kaukolämmön hinnoilla ( $70,43 \text{ €/MWh}$  [35]), tämä  $50 \text{ MWh:n}$  lisäys olisi noin  $3\,500 \text{ €}$  vuositasolla. Lisäksi taloyhtiön lämmönkulutuksen noustessa edessä voisi olla hyppäys korkeampaan perusmaksuluokkaan, alle  $250 \text{ MWh:n}$  luokasta alle  $500 \text{ MWh:n}$  luokkaan, jolloin perusmaksu nousisi  $161,20 \text{ €:sta}$  kuukaudessa  $291,40 \text{ €:oon}$  kuukaudessa. Tällöin perusmaksun lisäys vuodessa olisi noin  $1\,560 \text{ €}$ . Perusluokissa on sekä kulutus-, että tehorajat. Tässä ei huomioida lämpötehoa. Kokonaisuus vuodessa olisi siis noin  $5\,000 \text{ €}$ . Hinnat on katsottu Lapuan energian nettihinnastosta [35] ja sisältävät

arvolisäveron. Maksuluokka on arvioitu kulutustietojen perusteella, eikä kaukolämpösopimusta ole tarkastettu. Taloyhtiön olisi hyvä tarkistaa kaukolämpösopimuksensa.

Edellä esitetty ilmanvaihdon energiankulutusarvio tehtiin nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän oletetulle normaalille käytölle, eli pienimmällä puhallinnopeudella säätöpelti auki. Aikaisemmassa tarkastelussa huomattiin, että ilmanvaihto näillä asetuksilla jää useassa asunnossa alhaisemmaksi kuin vaatimustaso  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ . Riittävän ilmanvaihdon saamiseksi asunnoissa kannattaisi pitää talotuuletinta jatkuvasti asetuksella 2. Tällöin lämpöenergiankulutus asettuisi puhallinasetusten 1 ja 3 ilmamäärien mukaan laskettujen lämpöenergian kulutusten (71–156 MWh:n) välimaastoon. Jos lähdetään samasta alkuoletuksesta, että 30 % asukkaista pitää ilmanvaihdon jo tällä hetkellä jatkuvasti pienimmällä asetuksella ja lopussa kaikki pitäisivät ilmanvaihdon koko ajan päällä jollakin asetuksella, olisi lämpöenergian lisäys välillä 50–135 MWh/a. Joka euroissa tarkoittaisi 5 000–11 000 €:n nousua vuositasolla sisältäen myös kaukolämmön perusmaksuluokkamuutoksen.

Edellä olevat laskelmat on esitetty tiivistettynä taulukossa 5.

Taulukko 5. Asuntojen ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lämmityskaudella arvioidaan eri ilmamäärillä. Lisäksi lasketaan energiamäärän vastine euroissa, kun kaukolämmön hinta on 70,43 €/MWh ja energialisäys saattaa aiheuttaa hyppäyksen korkeampaan perusmaksuluokkaan alle 250 MWh luokasta alle 500 MWh luokkaan, jolloin perusmaksu nousisi nykyisestä 161,20 € kuukaudessa 291,40 €:n kuukaudessa. Hinnat on katsottu Lapuan energian nettihinnastosta [35] ja sisältävät arvolisäveron. Virherajat on merkitty vain kahdelle ensimmäiselle riville.

	Tilanne	$q_v \text{ (dm}^3/\text{s)}$	$Q_{iv, korvaus} \text{ (MWh/a)}$	Kustannuslisäys yhteensä (€/a)
A	Pienin puhallinnopeus kaikissa asunnoissa koko ajan päällä, pelti auki	490 (+20, -7)	71 (+3, -1)	-
B	Suurin puhallinnopeus, kaikissa asunnoissa koko ajan päällä, pelti auki	1080 (+40, -20)	156 (+10, -3)	-
C	Ilmanvaihdon käyttöaste nykyisellään vuositasolla (30 %*A)	147	21	0
D	Arvio <b>lisäyksestä</b> , jos kaikki pitäisivät ilmanvaihdon koko ajan päällä pienimmällä puhallinnopeudella, pelti auki (70 %* A)	343	50	5 000
E	Arvio <b>lisäyksestä</b> nykyhetkeen verrattuna, jos kaikki pitäisivät ilmanvaihdon koko ajan päällä suurimmalla puhallinnopeudella (B-C)	933	135	11 000

Ilmanvaihdon päällä pitäminen lisää myös puhaltimien sähkönkulutusta. Asukkaat vastaavat itse omasta sähkönkulutuksestaan, joten tehdään laskelma aluksi yhdelle asun-

nolle. Alkuperäisen talotuulettimen tehot ovat käyttöohjeen mukaan 12 W, 30 W ja 75 W, riippuen puhallinnopeudesta (liite 1). Käyttöohjeessa ei ole mainintaa, ovatko kyseiset luvut otto- vai antotehoja. Oletetaan näiden olevan ottotehoja.

Tällöin asunnossa, jossa ei ole pidetty ilmanvaihtoa jatkuvasti päällä ja, jossa aletaan pitämään ilmanvaihtoa päällä jatkuvasti, on sähkökulutuksen nousu pienimällä teholla noin 105 kWh/a ( $12 \text{ W} \cdot 365 \text{ vrk} \cdot 24 \text{ h}/1000$ ). Jos sähkön hinnaksi arvioidaan 0,17 €/kWh, saadaan noin 18 €:n lisäys sähkölaskuun vuositasona. Vastaavasti pitämällä alkuperäinen talotuuletin koko ajan päällä suurimmalla puhallinnopeudella sähkönkulutus nousisi vuodessa noin 660 kWh/a, joka vastaa noin 112 €:n lisäystä sähkölaskuun vuositasona. Sähköenergian kulutuksen lisäys vuositasona asuntoa kohti alkuperäisellä talotuulettimella asettuu johonkin välille 105–660 kWh/a.

Lasketaan lisäys taloyhtiön tasolla käyttäen samoja oletuksia kuin lämmitysenergian laskennassa, eli tällä hetkellä noin 30 % asunnoissa pidetään ilmanvaihto päällä koko ajan ensimmäisellä asetuksella ja että lopuksi kaikki pitävät ilmanvaihdon koko ajan päällä. Tällöin sähköenergian kulutuksen lisäys kaikissa asunnoissa yhteensä olisi välillä 1,7–14,4 MWh/a ja euroissa 290–2 400 €. Sähkönkulutuksen nousu ei siis ole kovin suuri, varsinkin, jos vertaa lämmönkulutukseen. Sähkönkulutuksen lisäys jää asukkaiden maksettavaksi. Asuntojen sähköenergiankulutus on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Asuntojen ilmanvaihdon sähköenergiankulutuksen tarkastelu. Sähkön hintana on käytetty 0,17 €/kWh. Teho on alkuperäisille talotuulettimille.

	Tilanne	Otto- teho (W)	Sähköener- giakulutus asuntoa kohti (kWh/a)	Sähkön käyttö taloyhtiö tasol- la, 23 asuntoa (kWh/a)	Kulutus euroina (€/a)
A	Pienin puhallinnopeus koko ajan päällä, pelti auki	12	105	2 415	18 €/asunto 410 €/taloyhtiö
B	Suurin puhallinnopeus, koko ajan päällä, pelti auki	75	657	15 100	112 €/asunto 2 570 €/taloyhtiö
C	Ilmanvaihdon käyttöaste nykyisellään vuositasona taloyhtiöissä (30 %*A)	12		730	120 €/taloyhtiö
D	Arvio lisäyksestä taloyhtiöissä, jos kaikki pitäisivät ilmanvaihdon koko ajan päällä pienimällä puhallinnopeudella, pelti auki (70 %* A)	12		1 690	290 €/taloyhtiö
E	Arvio lisäyksestä taloyhtiöissä nykyhetkeen verrat-	75		14 400	2 400 €/taloyhtiö

	tuna, jos kaikki pitäisivät ilmanvaihdon koko ajan päällä suurimmalla puhallinnopeudella (B-C)				
--	--	--	--	--	--

Asunnon C11 talotuulettimen uuden puhaltimen sähköteho on hieman suurempi kuin alkuperäisen. Puhaltimen kilven mukaan ottoteho on 140 W (kuva 11). Tällä teholla ilmanvaihdon olleessa jatkuvasti päällä sähköenergiankulutus asuntotasolla vuodessa olisi noin 1 220 kWh/a ja euroina vastaavasti noin 210 €/a. Koska puhallinta ei pidetä jatkuvasti täydellä teholla, on todellinen kulutus tätä hieman pienempi.

Vaikka ilmanvaihdon käytön lisääminen lisää energiankulutusta, riittämätön ilmanvaihto johtaa sisäilmalaadun heikentymiseen ja sitä kautta asumisen laadun heikentymiseen. Pitkään jatkuessaan riittämätön ilmanvaihto voi johtaa jopa rakennevaurioihin rakenteisiin kertyvän liiallisen kosteuden kautta. [36.]

Edellä tehdyistä laskelmista huomataan, että koneellisessa poistossa lämmitysenergian hukka on suurempi kuin sähkönkulutus. Rakentamismääräyksissä otetaan kantaa luvanvaraisten korjaustoimenpiteiden vaikutuksesta energiankulutukseen. Koneellisen poistoilmanvaihdon ominaissähköteho on määritelty yläraja 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) [8; 9] ja uudet puhaltimet/ilmavaihtokoneet on suunniteltu toteuttamaan tätä arvoa. Näistä syistä korjausvaihtoehtojen tarkastelua tehdessä on tärkeä kiinnittää huomioita erityisesti lämpöenergian säästömahdollisuuksiin.

#### 4.1.5 Huonelämpötilat ja suhteellinen ilmankosteus asunnoissa

Ihmisen kokemiin lämpöoloihin vaikuttavat ulkoiset parametrit huoneilmanlämpötila ja läheisten pintojen lämpötilat, jotka yhdessä muodostavat operatiivisen lämpötilan, ilman virtausnopeus, suhteellinen kosteus sekä sisäiset parametrit esim. vaatetus ja anatomia ja aktiivisuus [37, s. 104]. Opinnäytetyössä ei käsitellä sisäisiä parametreja. Ulkoisista parametreista tarkastellaan ilmanvaihdon aiheuttaman vedon lisäksi suhteellista ilmankosteutta ja huonelämpötilaa. Vetoa tarkasteltiin aikaisemmissa luvuissa lähinnä ilmanvaihtokertoimen ylärajan 1,5 kautta.

Kuntokatselmuskierroksen aikana jokaisessa asunnossa mitattiin suhteellinen ilmankosteus ja huonelämpötila. Ilmankosteus- ja huonelämpötilamittauksilla haluttiin varmistaa, ettei missään huoneistossa ollut mitään erityisen poikkeavaa näissä indikaatto-

reissa. Lämpötiloja ja suhteellista ilmankosteutta ei mitattu huoltorakennuksen tiloissa eikä myöskään B- ja F-talojen päädyissä olevista lämmittämättömistä häkkivarastoista.

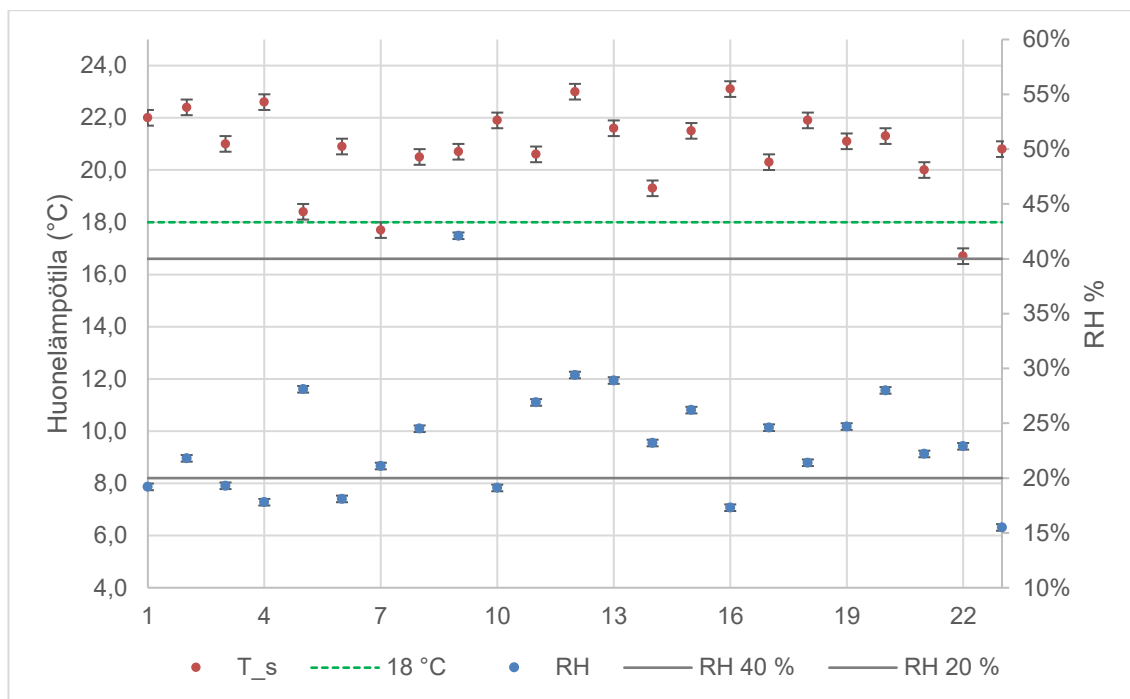
Suhteellinen ilmankosteus ja huonelämpötila mitattiin yhdestä huoneesta, yleensä keittiöissä tai olohuoneessa. Asuntoon tultaessa mittari asetettiin sopivalle pöytätasolla keskelle mitattavaa huonetta. Mittarin annettiin asettua valitseviin olosuhteisiin ja mitaustulos katsottiin viimeisenä ennen asunnosta lähtöä. Kyseessä on yksittäinen hetkellinen mittaustulos, joka ei anna kattavaa kuvaa sisälämpötiloista tai kosteusolosuhteista. Normaalista poikkeavista lämpötiloista tai ilmankosteuksista voi kuitenkin tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi lisätutkimuksen tarpeista. Pintalämpötiloja ei mitattu. Vaikka näilläkin on roolinsa koetussa termisessä viihtyvyydessä [37, s. 104].

Kuvassa 16 on esitetty mittaustulokset virherajoihin. Mittausten virhearvot koostuvat lähinnä mittarin omista virhelähteistä. Lämpötilamittauksessa AIRFLOW TA440 -mittarin virheraja mittaustuloksella  $-10\ldots+60\text{ °C}$  on  $\pm 0,3\text{ °C}$ . Ilman suhteellisen kosteuden mittauksessa virheraja mittaustuloksella  $5\text{--}95\text{ %}$  on  $\pm 3\text{ %}$ . Tarkempi virhetarkastelu on esitetty liitteessä 2.

Mitattu suhteellinen ilmankosteus pysytteli yhtä poikkeuksetta lukuun ottamatta 15–30 % välissä. Tämä on vuodenaikaan ja ulkolämpötiloihin nähden normaali sisäilman suhteellinen ilmankosteus, joskin aika kuiva. Hengitysliiton [38] mukaan sopiva huoneilman suhteellinen ilmankosteus talvikaudella on 20–40 %.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa ei anneta ilman suhteelliselle kosteudelle sitovia raja-arvoja. Ennen suosituksena on ollut 20–60 %. Nykyisin suositus on kiinnittää huomioita kosteuslisään eli sisäilmassa syntyvään lisäkosteuteen ulkoilmaan nähden. Kosteuslisän noustessa korkeammalle kuin noin  $3\text{--}4\text{ g/m}^3$  riski mikrobien kasvuun rakenteissa ja niiden pinnoilla nousee. [15, s. 11.]





Kuva 16. Asuntojen huonelämpötilan ja suhteellisen ilmankosteuden mittaustulokset virherajoi-neen. Lisäksi kuvaajaan on merkitty asumisterveysasetuksen [3] huoneilman lämpötilan toimenpideraja 18 °C ja talviaikaan sopivan suhteellisen ilmankosteuden rajat 20 % ja 40 % [38].

Lasketaan kosteuslisä tilanteessa, jossa asunnon sisälämpötila on 21 °C, RH sisällä on 30 % ja ulkolämpötila on –6 °C. Tämä oli mittausten suorittamisen aikoihin kylmin ulko-lämpötila. Laskennassa käytetään CoolPack-ohjelman [39] I-x-diagrammaa kostealle ilmalle ilman kosteussisällön arvioimiseksi. Ilman absoluuttinen kosteus 21 °C:ssa ja 30 % suhteellisella kosteudella on 4,6 g/kg. Ilman absoluuttinen kosteus –6 °C:ssa ja 100 % suhteellisessa kosteudessa on 2,3 g/kg. Kosteuslisä näissä olosuhteissa on  $(4,6 - 2,3 \text{ g/kg}) 2,3 \text{ g/m}^3$ , eli alle raja-arvon.

Asunnossa, jossa mitattiin yli 40 %RH, oli mittaushetkellä ruuanlaitto käynnissä ja pyykkiä kuivumassa pyykkitelineellä. Molemmat toimenpiteet nostavat hetkellisesti huoneilman suhteellista kosteutta. Ilmankosteusmittauksissa ei ilmennyt hälyttävästi poikkeavia arvoja.

Voimassa olevan rakentamismääräyskokoelman asetuksessa uuden rakennuksen si-säilmastosta ja ilmanvaihdesta [7] todetaan lämmityskaudella huoneilman lämpötilan suunnitteluarvona käytettävän 21 °C:ta ja lämpötilan sallitaan vaihtelevan välillä 20–27 °C:n. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksessa [3] on huoneilman lämpötilan toimenpiderajoiksi lämmityskaudella asetettu 18–26 °C. Saadut mittaustu-

lokset pysyttelevät hyvin molempien näiden rajojen yläarvojen alapuolella, mutta 18 °C:n lähellä olevia ja sen alle meneviä arvoja saatiin myös. Näissä poikkeustapauksissa alhaisin lämpötila oli 17 °C.

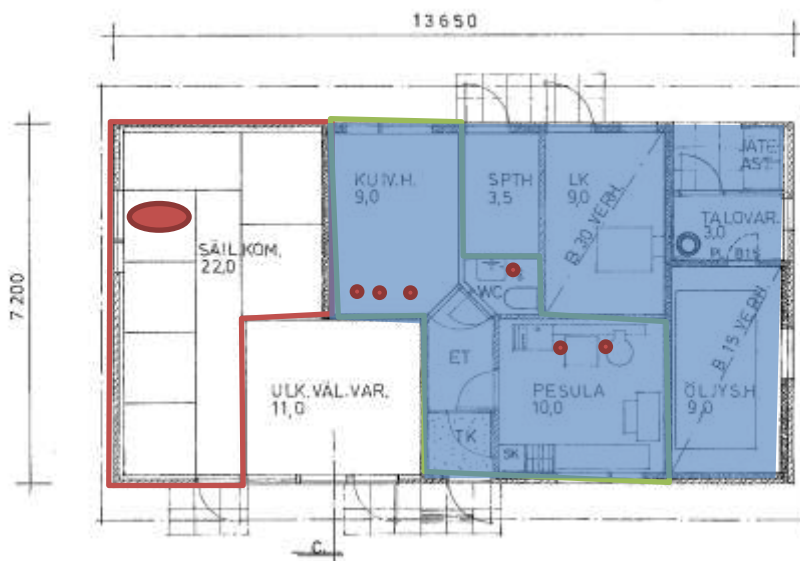
Osissa asunnoissa termostaattiventtiilit olivat jumissa, eivätkä patterit lämmenneet kunnolla. Huoltoyhtiölle ilmoitettiin näistä. Saadut lämpötilat antavat kuitenkin aihetta ainakin harkita lämpötilojen uudelleen mittausta tulevalla lämmityskaudella, jotta varmistutaan, että jokaiseen asuntoon saadaan riittävästi lämpöä. Lämmitysverkoston perushuolto ilmauksineen ja tasapainotuksineen voisi olla tarpeen.

## 4.2 Huoltorakennus ja häkkivarastot

### 4.2.1 Huoltorakennuksen ilmanvaihto

Asuntojen lisäksi rivitaloyhtiöön kuuluu erillinen huoltorakennus, jossa sijaitsevat B- ja D-talojen lämmittämättömät häkkivarastot ja pyörävarasto, tekniset tilat ja talopesula.

Kuvassa 17 on huoltorakennuksen pohjakuva. Siihen on merkitty sinisellä taustalla lämpimät tilat. Vihreällä viivalla on merkitty talopesulan huippuimurin palvelualue. Punaisella viivalla on merkitty lämmittämättömän häkkivaraston poistopuhaltimen palvelualue. Punaiset ympyrät osoittavat poistoilmaventtiilien paikat. Iso punainen soikio kuvaa häkkivaraston poistopuhallinta.



Kuva 17. Huoltorakennuksen pohjakuva. Katolla sijaitseva huippuimuri palvelee vihreällä rajattua aluetta, jossa sijaitsevat pesula, kuivaushuone, WC ja eteistilat. Punaiset ympyrät osoittavat poistoilmaventtiilien sijainnit. Siniset tilat ovat lämpimiä tiloja. Jäteastion tila ja talovarasto on yhdistetty ja siihen on sijoitettu kaukolämmön lämmönjakokeskus. Punaisella on merkitty lämmittämätön häkkivarasto, johon on jälkiasennettu poistopuhallin. Häkkivaraston poistopuhallin on merkitty kuvaan punaisena soikiona.

Huoltorakennuksen kunto on huono. Kosteiden pyykkitilojen ja erityisesti kuivaushuoneen sijaitseminen lämmittämättömien varastotilojen vieressä on ollut riskiratkaisu kosteuskäytännön näkökulmasta. Ratkaisun riskiä on lisännyt varastotilojen riittämätön ilmanvaihto ja pyykkituvan huippuimurin käytön laiminlyöminen. Kylmien tilojen ja lämpimien tilojen välisistä löytyykin kosteuden aiheuttamia jälkiä (kuva 18).



Kuva 18. Huoltorakennuksen pyörävaraston seinän ja sisäkaton nurkassa näkyviä kosteusjälkiä. Tämä kohta on pesutuvan kuivaushuonetta vastaan. Vastaavan näköisiä jälkiä on myös huoltorakennuksen häkkivaraston kuivaushuonetta vastaan olevalla seinällä.

Huoltorakennuksen häkkivarasto on ilmanlaadultaan sen verran heikko, ettei siinä voi säilyttää tavaroita tarttuvan hajun takia. Alun perin häkkivaraston ilmanvaihto on hoidettu lähinnä ulko-oven alareunassa olevan venttiilin kautta. Lisäksi varaston sisäkattona on harvalauditus, jolloin myös välikaton ilmaraoit ovat vaihtaneet varaston ilmaa. Häkkivarastoon on jälkikäteen asennettu koneellinen poistopuhallin.

Puhallin ei ole vähentänyt esiintyvää hajuhaittaa, vaikka ilmanvaihto on parantunut. Poisto tapahtuu yhdestä kohdasta varastoa ja koska tilasta on suora yhteys ulkoilmaan välikaton kautta, vähenee poiston todellinen vaikutus häkkivaraston ilmatilaan. Välikaton kautta myös pyörävarasto on ilmayhteydessä häkkivarastoon. Voidaankin ajatella poistoilmapuhaltimen palvelevan myös pyörävarastoa. Tätä vaikutusta vähentää pyörävarastosta puuttuvat korvausilmaventtiilit.



Kuva 19. Huoltorakennuksen häkkivaraston poistopuhallin.

Kuvassa 19 on häkkivaraston poistoilmapuhallin ja siihen liitetty kanavapätkä. Ulospuhallus on seinästä.

Huoltorakennuksen häkkivaraston poistoilmapuhaltimessa on portaaton säätö. Katselmuksen aikana mitattiin suurin ja pienin ilmavirta. Mittaustulokset näkyvät taulukossa 7. Häkkivaraston puhaltimen pienin ilmamäärä on reilusti yli asetettujen suunnitteluarvojen. Korvausilma tulee varaston oven alareunassa olevan venttiilin kautta (kuva 20) sekä harvalaudituksen läpi välikaton ilmarakojen kautta. Puhaltimen nimellissähköteho on 0,071 kW. Jos puhallin kävisi nimellisteholla koko ajan olisi sähkökulutus

620 kWh vuodessa. Tämä vastaa noin 6 % taloyhtiön kiinteistösähköstä. Suurimman osan ajasta puhallin käy täyttä tehoa pienemmällä teholla.

Taulukko 7. Huoltorakennuksen häkkivaraston poistoilmapuhaltimen mitatut suurin ja pienin poistoilmamäärät. Varaston poistoilman suunnitteluarvot D2/1978 [5] ja 2017 [6] rakentamismääräysten mukaan on myös taulukoitu.

häkkivarasto (pinta-ala 22 m <sup>2</sup> )	Mittaustulos	D2/1978 [5]	2017 [6]
pienin (dm <sup>3</sup> /s)	33 ±3		
suurin (dm <sup>3</sup> /s)	82 ±8		
suunnittelu arvo (dm <sup>3</sup> /s)		16	7,7

Taloyhtiön huoltorakennuksessa sijaitseva talopesulaa ja kuivaushuonetta palvelee huippuimuri, jota ohjataan käsikäyttöisesti tarpeen mukaan joko täydellä teholla, puoliteholla tai kokonaan pois. Poistoilmaventtiilit löytyvät pesulahuoneesta, kuivaushuoneesta ja erillisestä WC-tilasta. WC-tilan poistoilmaventtiilit olivat niin hankalasti patteriverkoston putkien takana, ettei niistä saatu mitattua ilmanmäärää.

Pesulan ja kuivaushuoneen ilmamäärät virheineen on ilmoitettu taulukossa 8. Samassa taulukossa ovat myös rakennuksen valmistumisvuoden ja nykymääräysten mukaiset suunnitteluarvot. Pesulan korvausilma tulee seinien läpi laitetuista pyöreistä venttileistä. Lisäksi pesulatilassa ja kuivaushuoneessa olevat ikkunat on varustettu tuuletusikkunoin.

Taulukko 8. Huoltorakennuksen mitatut sekä D2/1978:n [5] ja 2017:n [6] rakentamismääräysten mukaiset poistoilmamäärät. Pesulan erillisen WC:n ilmamäärää ei päästy mittaamaan, joten huippuimurin kokonaispoistoilmamäärää ei voitu selvittää.

	mitattu teholla 0,5 (dm <sup>3</sup> /s)	mitattu teholla 1 (dm <sup>3</sup> /s)	D2/1978 [5] (dm <sup>3</sup> /s)	2017 [6] (dm <sup>3</sup> /s)
<b>Pesula (10 m<sup>2</sup>)</b>	5,1 ±0,1	27,4 ±0,1	22	10
<b>Kuivaushuone (9 m<sup>2</sup>)</b>	10,2 ±0,1	75,6 ±0,1	22	18

Pesulan ja kuivaushuoneen ilmapoistoilmamäärät ovat täydellä teholla määräyksiin verrattuna hyvällä tasolla. Puoliteholla ilmamäärät ovat melkein puolet pienemmät kuin nykymääräyksen mukaiset ilmavirrat.

Huoltorakennuksessa sijaitsevassa öljysäiliön tilassa on painovoimaan perustuva ilmanvaihto. Tilassa on seinäventtiiliä lattiatasossa ja katonrajassa. Tilan ilmanlaadusta päätellen ilmanvaihtuvuus on heikkoa.

Sähköpääkeskuksen ja kaukolämmön lämmönjakokeskuksen tiloissa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, eikä ilmanottoaukkoja tai -venttiileitä. Molemmat tilat ovat pienet ja niissä on epätiivit ulko-ovet, joiden kautta ilma vaihtuu vähän. Lisäksi tilojen pienuus johtaa siihen, että kun tilassa on joku, ovi jätetään todennäköisesti auki.

Vanhan öljykattilan tilaan on suurehkon seinäaukon kautta hoidettu palamisilma ja sama aukko palvelee edelleen tilan ilmanvaihtoa.

#### 4.2.2 B- ja E-talojen häkkivarastojen ilmanvaihto

F- ja B-talon päädyissä on lämmittämättömät häkki- ja pyörävarastot A- ja B- talon sekä E- ja F-talon asunnoille. Näiden ilmanvaihto on suunniteltu toteutuvan ulko-ovien alareunoihin asennettujen venttiilien kautta (kuva 20). B-talon häkkivaraston ilmanlaatu on ollut heikko ja asukkaat ovat vältelleet varaston käyttöä. Häkkivaraston viereisen asunnon asukkaat ovat myös valittaneet varaston aiheuttavan ongelmia heidän asuntonsa ilmanlaatuun. Tilanteen korjaamiseksi asennettiin häkkivarastoon koneellinen poisto kesän 2019 aikana. Tarkoituksena oli parantaa varaston ilmanvaihtoa sekä alipaineistaa varasto ja siten estää ilman siirtyminen varastosta asunnon puolelle.



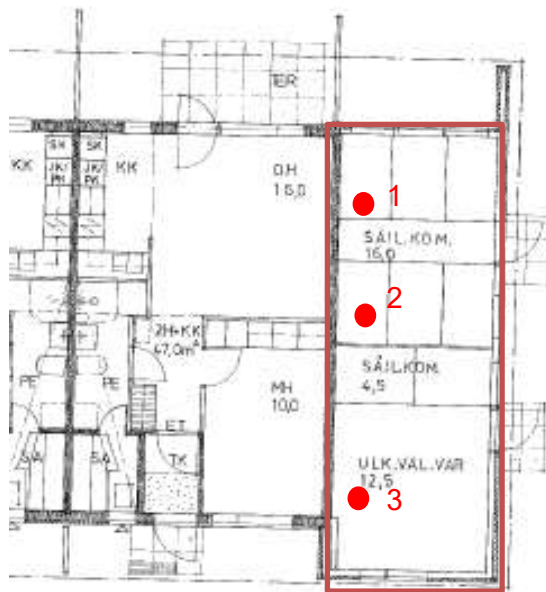
Kuva 20. Ulko-oven alareunaan asennettu ilmanvaihtoventtiilistä. Käytössä F- ja B-talojen häkkivarastoissa sekä huoltorakennuksen häkkivarastossa ja pyörävarastossa.

B-talon häkkivaraston ilmanvaihto on reilusti ylimitoitettu, ja sillä on saatu häkkivaraston ilmalaatu selkeästi parantumaan. Asukkaat ovat ottaneet varaston jälleen käyttöön, ja viereisen asunnon asukkaat eivät ole enää valittaneet hajusta. Mitatut ilmamäärät on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. B-talon päädyssä sijaitsevan häkkivaraston ilmamäärien mittaustulokset ja D2/1978 [5] ja nykymääräysten [6] mukaiset suunnitteluarvot. Poistoilmaventtiilejä on kolme kappaletta, jotka on numeroitu kuvassa 21.

Mittauspaikka	Mittaustulos	D2/1978 [5]	2017 [6]
venttiili 1	28 ± 3		
venttiili 2	25 ± 3		
venttiili 3	24 ± 2		
yhteensä	77 ± 5	16	12

Kuvaan 21 on merkitty asennetun koneellisen poiston venttiilien sijainti.



Kuva 21. B- talon päädyssä oleva lämmittämätön häkkivarasto on merkitty kuvaan punaisella suorakulmiolla. F-talon lämmittämätön häkkivarasto on samanlainen, joskin peilikuva. F-talon varastossa ei ole koneellista ilmanvaihtoa. B-talon häkkivarastoon on asennettu huippuimuri ja poistoilmaventtiilit. Venttiilien sijainnit on merkitty punaisilla palloilla kuvaan.

#### 4.2.3 Huoltorakennuksen ja B-talon häkkivaraston koneellisten ilmanvaihtojen energiankulutus

Huoltorakennuksissa on kaksi erilaista poistoratkaisua, painovoimainen ja koneellinen. Huoltorakennuksen poistopuhaltimet palvelualueineen on merkitty huoltorakennuksen pohjakuvaan kuvassa 17. B-talon häkkivarasto on lämmittämätön, joten ilmanvaihdon lämmitysenergiakulutusta ei käytännössä ole. B-talon huippuimurin ottotehoa ei ollut tiedossa, joten huippuimurin sähkönkulutus jää arvioimatta tässä työssä. F-talon häkki-varastossa ei ole koneellista ilmanvaihtoa.

Huoltorakennuksen pesulatilojen huippuimuri on käytössä satunnaisesti ja huippuimurin ottoteho ei ole tiedossa. Pesulatilojen huippuimurin sähkönkulutus jää siis arvioimatta. On kuitenkin mahdollista haarukoida taloyhtiön pesulan vuosittaista käyttöä ja siten myös ilmanvaihdosta johtuvaa lämpöenergian kulutusta. Haarukointia tehdään eri käyttäjoille, huippuimurin täys- ja puolitehoasetuksilla sekä sisälämpötiloilla 21 °C ja 25 °C. Sisälämpötila voi kuivaushuoneessa nousta tätäkin korkeammaksi.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian laskemiseksi on hyödynnetty teoriaosuuden kaavoja 1–3. Lisäksi on sovellettu D2/1978:n [5] ilmanvaihdon energiatalouteen liittyvää kylmää säätä koskevaa lausetta:

”Tarkoituksen mukaisena voidaan pitää esim. ratkaisua, jossa tilakohtaiset ulkoilmavirrat puolitetaan lämpötilan laskettua vain 15 °C korkeammaksi kuin paikakunnan mitoitusulkolämpötila.” [5.]

Rivitalo sijaitsee lämpötilavyöhykkeellä 2, jossa mitoittava ulkolämpötila on –29 °C. Soveltaen yllä olevaa lausetta voidaan ilmanvaihto käyttää puoliteholla silloin kun ulkolämpötila on –14 °C. Toisaalta pesulan ilmankosteus nousee varsinkin kuivaushuoneessa varsin korkealle, ja tämän kosteuden tulisi poistua mahdollisimman hallitusti poistoilman mukana myös kylmällä säällä. Tästä syystä ilmanvaihdon nopeuden tiputtaminen voi olla hieman riskialtista. Mutta koska huippuimurissa on mahdollisuus käyttää puolitehoa, niin otetaan tämä määritelmä käyttöön lämmitystarpeen haarukoinnissa.

Viikoittainen käyntiaika huomioidaan tasauslaskenta oppaan [11] esimerkin mukaan seuraavaa kaavaa soveltaen:

$$q_p = q * t_v * t_d \quad (7),$$



jossa  $q_p$  on käyntiajoilla painotettu poistoilmavirta,  $q$  on mitoitus (tai tässä tapauksessa mitattu) ilmavirta,  $t_v$  on viikoittainen käyntiaikasuhde ja  $t_d$  on vuorokautinen käyntiaikasuhde [11, s. 49]. Haarukointia on toteutettu taulukossa 10. Talopesulan WC:n ilmamääriä ei saatu mitattua, joten todellinen lämpöenergianhukka on suurempi kuin tässä on laskettu.

Taulukosta 10 nähdään, että valituista muuttujista käyttöajalla on suurin merkitys. Tämän takia ja myös siitä syystä, että huippuimuria tulee käyttää aina kun pesula ja/tai kuivaushuone on käytössä, pesulan seinällä tulisi olla ytimekäs ohjeistus huippuimurin käytöstä.

Huoltorakennuksen varastotilojen poistopuhallin on käytössä jatkuvasti, mutta puhaltimen palvelemat tilat ovat lämmittämättömiä. Tästä syystä ei arvioida ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutusta. Huoltorakennuksen puhaltimen sähkönkulutusta nimellisteholla on arvioitu luvussa 4.2.1. Arvion mukaan, jos puhallin kävisi nimellisteholla koko ajan vastaisi puhaltimen sähkönkulutus 6 % nykyisestä kiinteistösähkönkulutuksesta. Tästä näkökulmasta puhaltimen sähkönkulutus on merkittävä. Normaalisti puhallin kuitenkin käy pienemmällä teholla, ja koska puhaltimen sähkönkulutuksesta ei ole nimellistehoa tarkempaa tietoa, asiaa ei tarkastella tämän tarkemmin.

Taulukko 10. Taloyhtiöpesulan ja kuivaushuoneen ilmanvaihdon lämmitysenergiakulutuksen haarukointia. Sama huippuimuri palvelee myös pesulan erillistä WC-tilaa, jonka ilmamääriä ei päästy mittaamaan. Värit on laitettu helpottamaan taulukon arvojen vertailua. Haarukoinnissa käytetyt ilmavirrat ja muut tiedot on esitetty liitteessä 6.

Käyttötilanteen kuvaus	Huippuimuri päällä x tuntia vuorokaudessa, joka päivä vuodessa (h/d)	Sisälämpötila (°C)	Ilmanvaihdon lämmöntarve lämmityskaudella, eli kun ulkolämpötila on alle 12 °C (kWh/a)
½-teholla kun ulkolämpötila kylmempi kuin -14 °C, muutoin 1-teholla	1	21	580
	1	25	700
	5	21	2 900
	10	21	5 800
	5	25	3 500
Huippuimuri läpi lämmityskauden huipputeholla	1	21	620
	5	21	3 100
	10	21	6 200
	5	25	3 700

## 5 Asuntojen ilmanvaihdon korjausvaihtoehdot

Seuraavaksi tutkitaan esimerkki rivitaloyhtiön asuntojen mahdollisia ilmanvaihtokorjausvaihtoehtoja. Kuusi vaihtoehtoa esitellään lyhyesti. Niiden tuoma lisähyöty ja kustannukset arvioidaan. Kustannusarviot ovat vain suuntaa antavia, kertovat lähinnä vaihtoehdon kustannustason. Kustannukset on arvioitu nettihinnastoista, RT-kustannuslaskentatyökalun [40] avulla sekä käyttäen 75 €/n tuntihintaa työlle ja työn määrä arvioiden. Kustannusarviot sisältävät arvonlisäveron.

Kunkin vaihtoehdon esittelyn jälkeen vertaillaan vaihtoehtoja keskenään ja tehdään suositus rivitaloyhtiölle. Tämän jälkeen on lyhyt pohdinta huoltorakennuksen ja häkki-varastojen ilmanvaihdon korjaustarpeesta.

Vaihtoehtojen tarvitsemat ilmamäärätiedot on esitetty liitteessä 5. Kustakin asuntotyyppistä on esitetty arvot yhden esimerkiasunnon avulla. Asunto A1 edustaa pienimpiä asuntoja (47 m<sup>2</sup>, sauna 2,5 m<sup>2</sup>, 2h+kk), asunto A2 toiseksi pienimpiä asuntoja (60 m<sup>2</sup>, sauna 3 m<sup>2</sup>, 2h+k), asunto B8 toiseksi isoimpia asuntoja (70 m<sup>2</sup>, sauna 3 m<sup>2</sup>, 3h+k) ja asunto C11 isoimpia asuntoja (95 m<sup>2</sup>, sauna 3 m<sup>2</sup>, 5h+k).

Ilmanvaihdossa hyödynnetään siirtoilmaa ovirakojen kautta. Siirtoilmamääriä arvioitaessa huomion arvoista on, että rakentamismääräyksen [6] mukainen yläraja ovirakojen siirtoilmavirralle on 18 dm<sup>3</sup>/s; tämä ilmamäärä ei ylity missään mitatuissa tai suunnitelluissa normaalin käytön tilanteissa.

Korjausvaihtoehtoja pohtiessa on otettava huomioon myös laitteiden sijoitus. Osa korjausvaihtoehtoista ovat sellaisia, että ne voidaan sijoittaa keittiöön nykyisen talotuuletimen paikalle. Tämän vaihtoehdon käyttöä rajoittaa lähinnä maustehyllyn leveys 500 mm. Muu tilantarve ja käyttö arvioidaan korjausvaihtoehtokohtaisesti.

Korjausvaihtoehtoissa on esitetty esimerkinomaisesti markkinoilla olevia laitteita, sillä tarkoituksena on vertailla käytännössä toteutettavissa olevia vaihtoehtoja.

Korjaamalla on tarkoitus pyrkiä ratkaisemaan havaittuja ongelmia. Havaitut ongelmat on esitelty taulukossa 11.

Taulukko 11. Ilmanvaihtoon liittyvä ongelma, mahdollisia syitä ja korjausehdotuksia.

Ongelma	Mahdollisia syitä	Korjausehdotuksia	Korjausvaihtoehdon numero
Talotuulettimen aiheuttama liian kova meteli.	Talotuulettimen teknisen käyttöikä lähestyy loppuaan.	Talotuulettimen vaihtaminen uudempaan, ilmamäärien ja ilmanvaihtokanaviston päätelaitteiden tarkistus ja tasapainotus, puhallinnopeuden ohjausjännitteet sopiviksi ilmamäärille. [41.]	PHP*, 1–3
	Talotuuletin sijaitsee huonetilassa.	Talotuulettimen vaihtaminen hiljaisempaan vastavaan.	1–3
		Talotuulettimen vaihtaminen huippumuriin.	4
		Ilmanvaihtojärjestelmän vaihtaminen koneellisen tulon ja poiston järjestelmäksi.	5
	Talotuulettimen yläpuolinen ”ruttuputki” saanut painauma, jolloin painehäviöt ovat suuremmat ja myös äänitaso kasvaa.	Ruttuputkien vaihtaminen peltikanavaputkeen.	PHP*
Huono sisäilma	Talotuuletin pidetään pois päältä. Asukkailla on puutteellinen tieto ilmanvaihdon merkityksestä ja talotuulettimen käytöstä.	Sanallinen ja kirjallinen asukkaiden ohjeistus. Tulisi tapahtua toistuvasti säännöllisin väliajoin. Uudelle asukkaalle luodaan Terve-tuloa taloyhtiömme asumaan -tiedote.	PHP*
		Estetään talotuulettimien sammutus muutoin kuin sähkövirran katkaisulla.	4 ja mahdollisesti 1–3.
	Liian pienet pistoil- mamäärät pienimmällä puhallinasetuksella.	Pidetään talotuulettimet jatkuvasti 2 asennossa.	-
		Vaihdetaan huippumuriin.	4
		Vaihdetaan talotuuletin uudempaan ja nostetaan normaaliasennon ilmamäärät.	1–3
Ilmanvaihdon ollessa päällä asuntoihin kulkeutuu paha haju.	Liian pienet, puuttuvat tai poistetut korvausilmaventtiilit, jolloin asuntoon ei saada hallittuja reittejä pitkin tarpeeksi korvausilmaa. Korvausilma-venttileitä on saatatet-	Lisätään korvausilmaventtiileitä, huomioiden vedotisuus.	1–3
		Ikkunaremontin yhteydessä valitaan tuloilmaikkunat.	3
		Vaihdetaan ilmanvaihto	5

	tu myös sulkea tai poistaa esimerkiksi vedon takia.	järjestelmä koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi.	
		Siirtoilmareitit kunnostetaan.	PHP*
Ilmanvaihdon energiankulutus	Koneellinen poisto ilman LTO:a.	Asennetaan tuloilmaikkunat.	3
		Asennetaan koneellinen tulo ja poisto ilmanvaihto LTO:lla.	5
	Tehottomat vanhat puhaltimet	Talotuulettimien uusiminen.	1–3
		Huippumuriin vaihtaminen.	4

\*PHP =perushuoltopaketti

### 5.1 Nykyisen ilmanvaihdon huolto

Nykyinen ilmanvaihto vaatii perusteellisen huollon. Ennen korjausvaihtoehtoihin siirtymistä käydään läpi tämä perushuolto. Edellisissä luvuissa on useammassa kohdassa jo mainittu tähän liittyviä asioita. Tehtäviä toimenpiteitä ovat talotuulettimen yläpuolisten ruttuputkien vaihto peltikanaviin, saunan korvausilmaventtiilin avaus, putsaus ja tarvittaessa korjaus tai vaihto, välikatossa kulkevien ilmanvaihtokanavien eristeiden tarkistus, sekä siirtoilmareittien tarkastus ja tarvittaessa korjaus tai lisääminen. Perushuoltopakettiin sisältyy myös töiden jälkeen tehtävä ilmanvaihdon tasapainotus ja säätö. Taulukkoon 12 on arvioitu näiden toimenpiteiden kustannuksia. Seuraavissa korjausvaihtoehtojen vertailussa viitataan tähän taulukkoon perushuoltopakettina ja käytetään siitä toimenpiteiden yhteissummaa.

Taulukko 12. Perushuoltopaketti. Nykyisen ilmanvaihdon perusteellisen huollon tarpeet. Korjausvaihtoehtoisissa käytetään tästä nimitystä perushuoltopaketti ja esitetään vain toimenpiteiden paketin kustannusarvio.

	Tehtävä	Kustannusarvio (sis. alv:n)	Saavutettu hyöty ja muut huomiot
Taloyhtiö	Talotuulettimissa kiinni olevien "ruttuputkien" vaihtaminen peltikanavaan	5 000–6 000 €	Paloturvallisuus kasvaa, painohäviöt vähenvät ja kanavien puhdistaminen helpottuu.  Hinta-arvioon sisältyy työt ja tarvikkeet.
	Välikatossa olevien ilmanvaihtokanavien eristyksen tarkastus	2 000–3 000 €	Välikatossa kulkevien ilmanvaihtokanavien eristysten kunto kannattaa tarkistaa, erityisesti kondenssiveden varalta. Voidaan suositella vain päätyasuntojen kohdalta välikatopalo-osastoinnin takia.  Hinta-arvioon ei sisälly mahdollisia korjaustarpeita.

	Saunojen korvausilma-venttiilien korjaaminen tai vaihto	2 000–3 300 €	Hinta-arvio verkkohinnastoista ja arvioiden työnosuus.
	Siirtoilmareittien tarkastus ja tarvittavien siirtoilma rako- jen/venttiilien lisääminen	2 000–3 300 €	Siirtoilmareittien tarkastus tapahtuu yhtä aikaa korvausilmaventtiilien korjauksen yhteydessä. Varmista myös tuulikaappien ilmanvaihto.  Hinta-arvioon sisältyy työt ja tarvikkeet.
	Ilmanvaihdon tasapainotus ja säätö	3 000–5 000 €	Hinta-arvioon sisältyy työt ja tarvikkeet.
	Asukkaiden kirjallinen ja suullinen ohjeistus talotuulettimen käytössä		Tälle toimenpiteelle ei ole määritetty kustannuksia, sillä se voidaan toteuttaa esimerkiksi taloyhtiön hallituksen panostuksella.
	<b>Yhteensä</b>	<b>14 000–20 600 €</b>	Huom. ei sisällä mahdollisia rakennuslupakuluja eikä myöskään mahdollisia suunnittelukuluja.

Perushuolto parantaa ilmanvaihtojärjestelmän paloturvallisuutta, vähentää riskiä kondenssiveden syntymiseen ilmanvaihtokanavien ympärillä välikatossa, mahdollistaa ilman siirtymisen suunnitellusti asuinhuoneista muihin tiloihin ja turvaa saunan korvausilman saannin.

## 5.2 Korjausvaihtoehto 1: korvausilmaventtiilien vaihtaminen ja/tai lisääminen

Tämä vaihtoehto on helpoiten toteuttavissa, eikä se muuta nykyistä ilmanvaihtojärjestelmää tai omistussuhteita. Perushuoltopaketin lisäksi korjataan riittämättömän tuloilman ongelma lisäämällä korvausilmaventtiileitä. Lisäksi taloyhtiön tulisi myös suosittaa osakkaille talotuulettimen vaihtoa. Taloyhtiön ja asunnon omistajien työt jakautuisivat taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 13. Ensimmäisen korjausvaihtoehdon tehtävät, vastaava taho, kustannusarvio, saavutettava hyöty ja muut huomiot.

	Tehtävä	Kustannusarvio (sis. alv:n)	Saavutettu hyöty ja muut huomiot
Taloyhtiö	Perushuoltopaketti	14 000–20 600 €	Katso tarkempi kuvaus taulukosta 12.
	Korvausilmaventtiilien vaihtaminen suurempiin ja puuttuvien lisääminen	6 600–22 100 €	Koneellinen poisto tarvitsee oikean määrän toimivia korvausilmaventtiileitä.  Hinta-arvioon sisältyy työt ja tarvikkeet. Korkeampi hinta on puhaltimilla varustetuille korvausilmaventtiileille.
	<b>Yhteensä</b>	<b>20 600–42 700 €</b>	Huom. ei sisällä mahdollisia rakennuslupakuluja eikä myöskään mahdollisia suunnitte-

			lukuluja.
Osakas	Talotuulettimen vaihto uuteen tai pelkästään puhaltimen vaihto.	Talotuulettimen hinta 350–500 €/kpl + asennustyö	Suuremmat ilmamäärät, parempi ilmanlaatu ja energiatehokkuuden parantuminen. Osa asukkaista tehneet jo tämän. Kannattaa toteuttaa yhtä aikaa ruttuputken vaihdon kanssa. Tällöin asennustyön kustannukset pysyvät alhaisina ja voi syntyä mahdollisuus saada paljous alennus talotuulettimista.
	<b>Yhteensä</b>	<b>350–500 € + asennustyö</b>	

Tämän vaihtoehdon työt parantavat sisäilmaa ja paloturvallisuutta, mutta eivät vähennä energiankulutusta vaan pikemmin lisäävät sitä, kun ilmanvaihtoa ruvetaan pitämään koko ajan päällä.




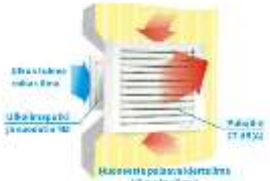
Koska nykyiset korvausilmaventtiilit eivät riitä tuottamaan tarvittavaa korvausilmamäärää, vaihdetaan nykyiset rakoilmaventtiilit, joko pidempiin vastaaviin tai johonkin muuhun vaihtoehtoon. Uusissa venttiileissä on usein huomioitu äänen kulkeutuminen ja lisäksi niissä on helposti vaihdettava suodatin.

Markkinoilla on runsaasti erilaisia korvausilmaventtiileitä. Taulukkoon 14 on kerätty esimerkinomaisesti neljä vaihtoehtoa. Kolmessa ensimmäisessä vaihtoehdossa suurin ilmamäärä 10 Pa:n paine-erolla on noin 9 dm<sup>3</sup>/s ja 5 Pa:n paine-erolla noin 6 dm<sup>3</sup>/s. Näillä venttiileillä saadaan teoriassa tarvittava korvausilma mitatuille poistoilmavirroille ja D2/1978:n [5] mukaan suunnitelluille ilmamäärille. Varsinkin jos otetaan huomioon tuo LVI 30-10086:n [22] ohjeistus, että 55 % poistoilmasta tuodaan hallitusti venttiilien kautta.

Nykymääräysten mukaisiin tuloilmamääriin on taulukon korvausilmaventtiileillä hankala päästä, jos asennetaan makuuhuoneisiin ja olohuoneisiin vain yksi venttiili. Toisaalta nykymääräysten mukainen 12 dm<sup>3</sup>/s tuominen kylmänä makuuhuoneeseen aiheuttaa todennäköisesti sen, että asukas sulkee venttiiliin vedon takia. Vaikka tässä korjausvaihtoehdossa lisätään korvausilmaventtiileitä, todellisuudessa turvaudutaan edelleenkin osin vuotoilmaan korvausilmana.

Taulukko 14. Katsaus erilaisiin korvausilmaventtiileihin.

Nimi/tyyppi	Ilmamäärä 10 Pa:n paine-erolla	Ilmamäärä 5 Pa:n paine-erolla	Lisätietoa
KIV-125 [42]	2,6–8,9 dm <sup>3</sup> /s	1,8–6 dm <sup>3</sup> /s	KIV-venttiilillä voidaan

			tuoda ilmaa 10 Pa:n paine-erolla 8 l/s vedottomasti huonetilaan ulkoilman lämpötilan ollessa -20 °C. [42.]
FRESH 40 [43] 	Rako 9 dm <sup>3</sup> /s, Rivi reikiä 5,3 dm <sup>3</sup> /s	Rako 6,5 dm <sup>3</sup> /s, Rivi reikiä 3,4 dm <sup>3</sup> /s	Nämä ilmamäärät ovat suuremmat kuin luvussa 4.1.1 arvioitu nykyisten rakovoventtiilien ilmamäärät.
VTR-100, [44] 	4–8,4 dm <sup>3</sup> /s, ilman äänieristystä ja 4,5–6,2 dm <sup>3</sup> /s äänieristykseen kanssa, kun tuuletusluukun koko 300 x 1200	2,9–5,4 dm <sup>3</sup> /s, ilman äänieristystä ja 2,9–4,0 dm <sup>3</sup> /s äänieristykseen kanssa, kun tuuletusluukun koko 300 x 1200	Tässä ilmoitetut ilmamäärät ovat tuuletusluukulle, jonka koko on 300 x 1200. Rivitalossa on pienemmät tuuletusluukut. Venttiilissä on vahatermostaatti, joka sulkee venttiiliä ulkolämpötilan mukaan. Perusasennossa alle -5 °C venttiili on auki 2 mm eli minimiilmavirran verran auki. [44.]
<b>Puhaltimella ja vastuksella varustettu korvausilmaventtiili</b>			
Mobair 2015 – Puhaltimella ja vastuksella varustettu korvausilmalaite. [45.]  	ilmamäärät	Kokonaisilmavirta 6–12 dm <sup>3</sup> /s.	Puhaltimen ansioista venttiili ei vaadi paine-eroa, mutta lisää sähkökulutusta.
	sähkö	Maadoittamaton pistotulppa, Puhallin ottoteho 1,0 W Lämmitysteho 20–600 W, automaattisesti säätävä, voidaan kytkeä pois päältä	Ylipaineen muodostumisen mahdollisuus.
	ääni	27 dB	Samalla valmistajalla myös malleja, joissa ei ole lämmitysvastusta vaan tuloilma sekoitetaan laitteessa kiertoilmaan.
	suodatus	M5 pussisuodatin	

Talotuulettimien tai näiden puhaltimien uusimisen yhteydessä on mahdollista valita täysin manuaalisen version sijaan sellaiset, joissa on hieman automatiikkaa, esimerkiksi, liedon päällisen pellin automaattinen sulkeutuminen tietyn ajan kuluttua avaamisesta [46]. Talotuulettimet kuuluvat kuitenkin osakkaiden vastuulle, joten päätös asiasta tehdään yksilötasolla, ellei yhtiökokous muuta päättä.

Tämän vaihtoehdon huoltotoimenpiteet pysyvät suurin piirtein samoina kuin tähänkin asti. Ainoa pakollinen lisätyö on korvausilmaventtiilien suodattimien vaihto kaksi kertaa vuodessa. Suodattimien vaihto kuuluu talon asukkaille. Taloyhtiöt voivat halutessaan ottaa tämän vastuulleen. Tämä on suositeltavaa, jotta varmistetaan kunkin asunnon ilmanvaihdon toimivuus.

### 5.3 Korjausvaihtoehto 2: korvausilmapatterit

Korvausilma johdetaan sisälle pattereiden läheisyydessä, jotta ilma pääsee lämpenemään ja vähennetään vedon tunnetta. Joskus korvausilmaventtiilit on sijoitettu suoraan pattereiden taakse. Purmo [47] on kehittänyt tästä omille pattereilleen sopivan tuotteen, joka johtaa korvausilman patterin alle ja ylös pattereiden läpi huoneeseen.

Tämän vaihtoehdon olisi voinut käsitellä edellisten korvausilmaventtiilien kanssa samassa. Erilliseen käsittelyyn päädyttiin, koska tähän vaihtoehtoon liittyy lämmitysjärjestelmän uusimista ja lämmitysjärjestelmän uusimiseen liittyy muista korvausilmaventtiileistä poikkeavia kustannuksia. Taulukossa 15 on esitetty tämän vaihtoehdon kustannuksia.

Purmo Airilta voidaan valita korvausilman suodattamiseen G1-, F7- tai F9-luokan suodattimet. Suodattimien merkintä on uudistunut, tässä ja muuallakin tekstissä käytetään kuitenkin valmistajien ilmoittamia suodatin luokka merkintöjä. Saatavat korvausilma-määrät riippuvat valitusta suodatin luokasta, ulkosäleiköstä sekä seinäkanavan muodosta ja koosta. Esimerkiksi F7-suodattimen läpi paine-erolla 10 Pa saadaan ilmapirta noin 10 dm<sup>3</sup>/s. Seinäkanavan muoto ja koko sekä mahdollinen ulkosäleikkö aiheuttavat noin 30–50 %:n painehäviöisän. Purmo Airilla korvausilma tulee ottaa huomioon pattereiden tehoja suunniteltaessa, joten se on vartenotettava vaihtoehto silloin kun uusitaan lämmönjakoa. [47.]

Taulukko 15. Toisen korjausvaihtoehdon tehtävät, vastaava taho, kustannusarvio, saavutettava hyöty ja muut huomiot.

	Tehtävä	Kustannusarvio (sis. alv)	Saavutettu hyöty ja muut huomiot
Talo- yhtiö	Peruspaketti	14 000–20 600 €	Katso tarkempi kuvaus taulukosta 12.
	Lämmönjaon uusiminen	60 000– 200 000 €	Tähän valittu hintahaarukka on suuri. Todellinen hinta riippuu hyvin paljon siitä, miten laajasti lämmönjakoa uusitaan. Uusitaanko kaik-



			ki (patterit, patteriventtiilit, putkistot, lämpökanaalit rakennusten välillä lämmönjaon alakeskus laitteistoinen, säästölaitteisto) vai esim. vain patterit ja termostaatit. Toisaalta myös purkutyön mahdolliset lisäkustannukset esim. mahdollinen asbestipurku, voivat nostaa kustannuksia vielä tätä arvioita korkeammalle.
	Tuloilmaventtiilit (PURMO AIR)	6 400 €	Arvioitu ohjehinnastosta [47] ja tarvittavien kappaleiden lukumäärästä.
	<b>Yhteensä</b>	<b>86 400–227 000 €</b>	Huom. ei sisällä mahdollisia rakennuslupakuluja eikä myöskään mahdollisia suunnittelukuluja.
<b>Osakas</b>	Talotuulettimen vaihto uuteen tai pelkästään puhaltimen vaihto.	Talotuulettimen hinta 350–500 €/kpl + asennustyö	Katso tarkempi kuvaus taulukosta 13.
	<b>Yhteensä</b>	<b>350–500 € + asennustyö</b>	

Vaikka tämä vaihtoehto ei tuota energiasäästöä ilmanvaihdon osalta, lämmönjaon uusiminen osittain tai kokonaan tuottaa energiansäästöä. Tätä energiansäästöä ei lasketa tässä opinnäytetyössä.

Vaihtoehtoon huoltotoimenpiteet pysyvät suurin piirtein samoina kuin tähänkin astikin. Ainoa pakollinen lisätyö on korvausilmaventtiilien suodattimien vaihto kaksi kertaa vuodessa.

#### 5.4 Korjausvaihtoehto 3: tuloilmaikkunat

Taloyhtiöllä on edessä ikkuna- ja oviremontti. Tässä yhteydessä pitää huomioida remontin vaikutus ilmanvaihtoon. Nykyiset korvausilmaventtiilit sijaitsevat ikkunakarmeissa, joten korvausilman tulo on varmistettava. Yksi vaihtoehto on tuloilmaikkunat. Tuloilmaikkunaventtiilit voidaan asentaa myös olemassa vanhoihin ikkunoihin. Tässä kuitenkin oletetaan toteutuksen tapahtuvan ikkuna- ja oviremontin yhteydessä, sillä esimerkiksi rivitalon ikkunat ja ovet ovat huonokuntoisia.

Tuloilmaikkunassa ulkoilma johdetaan lasitusten välistä sisälle. Lasitusten välissä ulkoilma lämpiää sisältä johtuvan lämmön ja auringon vaikutuksesta. Näin huoneeseen tuleva ulkoilma on lämpimämpää kuin korvausilmaventtiilin kautta suoraan sisään tuleva ilma. Tämä vähentää tuloilmasta johtuvaa vedontunnetta. Toisaalta kylmän ilman johtaminen ikkunalasitusten välistä viilentää ikkunan huonetilanpuoleista lasia, mikä saa pinnan tuntumaan tavanomaista viileämmältä ja myös lisää lasituksen läpi tapah-

tuvaa lämmönjohtumista. Tuloilma kuitenkin nappaa osan johtuvasta lämmöstä takaisin sisään. Energian kulutuksen kannalta katsottuna tuloilmaikkuna on hieman parempi kuin vastaava ikkuna ja perustuloilmaventtiili. Viileämpi sisäikkuna vaikuttaa oleskelutilan mukavuuteen ikkunan välittömässä läheisyydessä. [18, s. 101.]

Tuloilmaikkuna myyjät mainostavat ilman lämpiävän noin 10 °C ja energiaa säästyvän perinteiseen korvausilmaventtiiliin nähden 15–30 % [48]. Heimosen ja Hemmilän [49] tutkimusta tuloilmaikkunan energiatehokkuudesta käsitellään VTT:n tiedotteessa vuodelta 2006. Heimonen ja Hemmilä huomasivat tutkimuksessaan, että ilmavirroilla 6 dm<sup>3</sup>/s ilman lämpenemissuhde oli 43 %:n ja 60 %:n välillä. Ilman lämpenemiseen vaikutti ilmanvirran lisäksi mm. ikkunan pinta-ala, ikkunan tyyppi ja sisimmän ikkunanelementin lämpöeristävyys. Mitä paremmin ilma lämpeni sitä enemmän, jäähtyi ikkunan sisäpinta. Toisaalta tuloilman kierrättäminen lasitusten välissä paransi ikkunoiden tehollista lämmönläpäisykerrointa. Esimerkiksi MSE-tyyppisessä ikkunassa normaalitilanteessa lämmönläpäisy kerroin oli noin 1,8 W/m<sup>2</sup>K, kun tuloilma kierrätettiin 6 dm<sup>3</sup>/s ikkunassa, saatiin teholliseksi lämmönläpäisykerroimeksi noin 1 W/m<sup>2</sup>K. [49, s. 62.]

Tutkimus vahvistaa jo sanottua. Tuloilmaikkuna on energiakulutukselta vähän parempi kuin vastaava ikkuna ja erillinen korvausilmaventtiili. Se vähentää tuloilmasta johtuvaa vedon tunnetta, mutta tuloilmaikkunan sisäpinnan tavallista ikkunaa matalampi lämpötila tuntuu viileänä lähiympäristöön.

Toinen asia, jonka Heimonen ja Hemmilä [49, s. 20.] nostavat esille tuloilmaikkunaan liittyen, on viileään sisälasipintaan mahdollisesti tiivistyvä vesi. Tuloilmaikkuna ei siis sovellu sellaisiin kohteisiin, joissa on talvella korkea suhteellinen kosteus. Esimerkki tällaisesta kosteasta tilasta on rivitalon huoltorakennuksessa sijaitseva talopesula.

Tuloilmaikkunoissa piilee myös toinen vaara. Jos huonetilaan muodostuu ylipaine ulkoilmaan nähden ja sisäilma alkaa virrata ikkunan lasitusten väliin, voi jäähtyvistä sisäilmasta tiivistyä vettä lasitusten väliin. Tätä ilmiötä vastaan on nykyaikaisissa tuloilmaikkunoissa takaisinvirtauksen estävät venttiilit, jotka eivät kuitenkaan pysty kokonaan estämään virtausta väärään suuntaan. Tuloilmaikkunoita tuleekin käyttää vain alipaineisissa kohteissa eli yleisesti ottaen koneellisen poiston kohteissa. Myös näissä kohteissa tuuliolosuhteet voivat johtaa ylipainetilanteeseen. Tästä syystä kaksikerroksi-

sisä rakennuksissa tuloilmaikkunoita ei suositella toiseen kerroksen ikkunoiksi. [18, s. 102.]

Edellä mainitut rajoitukset huomioiden, tuloilmaikkunat ovat varteenotettava vaihtoehto esimerkkinä olevassa rivitalokohteessa. Rakennukset ovat yksikerroksia ja matalahkoja. Ikkuna pinta-alat eivät myöskään ole normaalia suuremmat. Lisäksi kertamittauksena toteutettu sisäilman suhteellisen kosteuden mittausten perusteella näyttäisi siltä, ettei ilmankosteus nouse asunnoissa normaalioloissa talvella kovin korkealle.

Taulukko 16. Kolmanteen korjausvaihtoehtoon liittyvät tehtävät, vastaava taho, kustannusarvio, saavutettava hyöty, ja muut huomiot.

	Tehtävä	Kustannusarvio (sis. alv)	Saavutettu hyöty ja muut huomiot
Taloyhtiö	Peruspaketti	14 000–20 600 €	Katso tarkempi kuvaus taulukosta 12.
	Ikkunaremontti	65 000– 150 000 €	Arvio perustuen RT-kustannuslaskentatyökalun [40] arvioille ja ikkunoiden verkkokauppahinnastoille. Suurin hintatekijä on valittu ikkunatyyppi, sekä siihen kuuluvat lisävarusteet. Mutta myös ikkunoiden yhteydessä tehtävät mahdolliset muut tarvittavat korjaukset tuovat oman lisänsä.
	Tuloilmaikkuna venttiili	6 600 €	Hinta-arvio verkkokauppojen hinnastoista (120 €/ikkuna). Uusiin ikkunoihin voidaan asentaa tuloilma-venttiilit jo tehtaalla.
	<b>Yhteensä</b>	<b>85 600– 177 200 €, josta ilman- vaihdon osuus 20 600–27 200 €</b>	Huom. ei sisällä mahdollisia rakennuslupakuluja eikä myöskään mahdollisia suunnittelukuluja.
	<b>Tuloilmaikkunan venttiilin tuottama säästö</b>	Tuloilmaikkuna venttiilien energian säästö 750 €/a	Perustuu arvioon, että tuloilmaikkuna vähentää 15 %:n verran vastaavan ikkunaan ja tuloilma-venttiilin nähden ilmanvaihdon energiaa. Hyvin yksinkertaistettu arvio.
Osakas	Talotuulettimen vaihto uuteen tai pelkääseen puhaltimen vaihto	Talotuulettimen hinta 350–500 €/kpl + asennustyö	Katso tarkempi kuvaus taulukosta 13.
	<b>Yhteensä</b>	<b>350–500 € + asennustyö</b>	

Tässä korjausvaihtoehdossa saadaan lämpöenergiansäästöä. Säästöä tuottavat paremmat ikkunat ja tuloilmaikkunaventtiilit. Näiden kahden erottaminen toisistaan on hankalaa, mutta koska opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella ilmanvaihtoa, tehdään tässä yksinkertaistus ja arvioidaan vain tuloilmaikkunaventtiilien säästövaikutusta.

Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän korvausilman lämpöenergiankulutus on laskettu aiemmin taulukossa 5. Siinä arvioitiin ilmanvaihdon nykyisen käytön mukaiseksi lämpöenergiankulutukseksi noin 21 MWh/a. Tuloilmaikkunoiden tuoma säästö voitaisiin laskea tätä arvoa vastaan. Koska tarkoituksena on, että kaikki pitäisivät ilmanvaihdon koko ajan päällä vähintään pienimmällä teholla, tehdään säästölaskenta ilmanvaihdon kokonaiskulutusta vastaavaan lukuun verrattuna, eli lasketaan säästö 71 MWh:n vuosikulutuksesta.

Jos tuloilmaikkuna säästää 15 % tästä kulutuksesta 71 MWh/a, on saatava säästö noin 11 MWh/a. Kustannussäästö on noin 770 € vuodessa, kun kaukolämmön hinta on 70,43 €/MWh [35]. Kustannusarvioissa tuloilmaikkunaventtiilien osuudeksi on arvioitu 6 600 €. Näillä tiedoilla suoratakaisinmaksuaika on alle 9 vuotta. Tässä laskennassa ei ole huomioitu kaukolämmön perusmaksua tai perusmaksuluokan muutokseen liittyviä kustannusta.

Tarkemmin tuloilmaikkunan tuottamaa säästövaikutusta on arvioitu jo mainitussa Heimonen ja Hemmilä [49] julkaisussa sekä Koskisen [50] opinnäytetyössä Tuloilmaikkunoihin ja vakiopaineohjaukseen perustuva poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa ensin mainittua tutkimusta sovelletaan.

Huomionarvoista on, että ikkunan vaihdon yhteydessä korvausilmaventtiilit joudutaan joka tapauksessa uusimaan. Perinteiset korvausilmaventtiilit eivät tuo energian säästöä. Tuloilmaikkunat tuovat pienen energiasäästön.

**Taulukko 17.** Tuotekorttien ja valmistajien ilmoittamia tuloilmaikkunaventtiilien ilmamääriä eri paine-eroilla sovellettuna eri huoneistoihin ja ikkunamääriin. Tuloilmaikkunaventtiilit asennetaan makuuhuoneisiin ja olohuoneeseen. Sinisellä on merkitty vaihtoehdot, joissa täyttyvät kumotun LVI 30-10086:n mukainen ilmamäärä. Vihreällä on merkitty vaihtoehdot, joissa myös vaadittu vähimmäisulkoilmamäärä toteutuu. Huom. saunan osuus ilmamäärästä jätetty pois, sillä saunassa oma korvausilmaventtiili.

Yksikkö dm <sup>3</sup> /s	Yhden venttiilin ilmamäärä	47 m <sup>2</sup> , 2h+kk, 2 ikkunaa	60 m <sup>2</sup> , 2h+k, 2 ikkunaa	70 m <sup>2</sup> , 3h+k, 3 ikkunaa	95 m <sup>2</sup> , 5h+k, 5 ikkunaa
Mitattu poistoilmamäärä pois lukien saunan ilmamäärä esimerkkiasunnoissa (pienin teho/suurin teho) dm <sup>3</sup> /s *		20/29	24/36	14/33****	29/45*** *
Vaadittu minimiulkoilma määrä**		16	20	24	33

LVI 30-10086:n mukainen ilmamäärä***			10	10	7	14
5 Pa:n paine-ero	Klick- raitisilmaventtiili/Talvi [51]	4,7	9,4	9,4	14,1	23,5
	Air Termico/1000 [52]	6	12	12	18	30
	Biode ThermoMax M/600/talvi [53]	2,5	5	5	7,5	12,5
10 Pa:n paine-ero	Klick- raitisilmaventtiili/Talvi [51]	6,9	13,8	13,8	20,7	34,5
	Air Termico/ 1000 [52]	8,5	17	17	25,5	42,5
	Biode ThermoMax M/600/talvi [53]	4,8	9,6	9,6	14,4	24

\*Liitteessä 3 on esitetty asunnon C11 ilmamäärien mittaustulokset. Liitteessä 5 on esitetty esimerkki asuntojen mitattuja ja suunniteltuja ilmamääriä. Asuntojen A1, A2 ja B8 suurimman puhallinnopeuden ilmamääriä ei ole esitetty taulukko muodossa.

\*\*0,35 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup>. [3; 6.]

\*\*\*Kumotun ohjeen [22] mukaan koneellisen poiston kohteessa voidaan suunnitella hallituksi tuloilmaksi 55 % poistoilmamäärästä. Tällöin loput tulee vuotoilmana. Katso luvut liitteestä 5.

\*\*\*\*Tämän kokoisissa asunnoissa mitatut poistoilmamäärät jäävät pienimmällä puhallinteholla minimiulkoilmamäärän alle.

Energiasäästön lisäksi tätä korjausvaihtoehtoa on tärkeää tarkastella myös hallitun korvausilman ja vuotoilman välisen suhteen näkökulmasta. Ensimmäisessä korjausvaihtoehdossa pitäydttiin rakennuksen alkuperäisessä tilanteessa, jossa iso osa tarvittavasta korvausilmasta tulee vuotoilmana. Tämä on toiminut riittävästi, sillä alkuperäisissä ikkunoissa ja ovissa on ollut vuotokohtia, joista ulkoilma on päässyt helpohkosti sisälle. Ikkuna- ja oviremontti sulkee nämä vuotokohdat, jolloin ilma etsii uusia kulkureittejä sisälle. Nämä vuotoilman kulkureitit tulevat todennäköisesti olemaan entistä enemmän rakennuksen muut epätiivetyshkohdat esim. lattia- ja seinäliitokset. Tämä lisää mahdollisuutta, että sisäilmaan kulkeutuu epäpuhtauksia.

Taulukossa 17 on esitetty tuloilmaikkunoiden ilmamääriä 5 Pa:n ja 10 Pa:n paine-erolla. Rivaloyhtiön erikokoisille asunnoille on laskettu tuloilmamäärä näiden tuloilmaikkunoiden tuotekorttien ilmamäärien sekä makuuhuoneiden ja olohuoneiden lukumäärän mukaan. Saatuja ilmamääriä verrataan LVI 30-10086:n [22] ohjeistamaan ilmamäärään, vaadittuun minimi-ulkoilmamäärään, sekä saman tyyppisten asuntojen mitattuun poistoilmamäärään käyttäen esimerkiasuntojen ilmanvaihtoa pienimmällä puhallinteholla pelti auki. Taulukosta nähdään, että näillä tiedoilla ainoastaan kolmessa tapauksessa saavutetaan 0,35 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup> ilmanvaihtuvuuden vähimmäismäärä hallitusti

tuloilmaikkunoiden kautta. Tapaukset on merkitty vihreällä taulukkoon 17. Nämä kolme tapausta osuvat vain suurimpien asuntojen kohdalle ja vain jos paine-ero on vähintään 10 Pa.

Yksi tuloilmaikkunaventtiili makuuhuonetta ja olohuonetta kohti johtaa kumotun LVI 30-10086:n [22] määrittelemälle hallitulle korvausilmatasolle useassa vaihtoehdossa. Tämän tason saavuttamista voidaan pitää parannuksena nykytilanteeseen nähden, sillä nykyiset korvausilmaventtiilit ovat käytännössä tukossa. Kuitenkin tämän määritelmän mukaan 45 % tarvittavasta korvausilmasta tulisi vuotoilmana. Lisäksi tuloilmaikkunat tarvitsevat oikein toimiakseen 5–20 Pa:n alipaineen. Teoriaosassa on jo todettu, että riittävän alipaineen saaminen epätiiviissä rakennuksessa on hankalaa. Tuloilmaikkunoiden kautta tuleva todellinen korvausilmamäärä todennäköisesti on pienempi kuin laskettu. Tämä huomioiden mahdollisuus hetkelliseen tuulettamiseen kannattaa säilyttää valitsemalla ikkunat, joissa on tuuletusluukut.

Korjausvaihtoehdossa on toteutettava määritellyn perushuollon tehtävät. Tehostustilanteessa alipaineisuus huoneistoissa kasvaa.

Tuloilmaikkunatoteutuksen jälkeen huoltotyöt eivät oleellisesti kasva nykyiseen järjestelmään nähden. Kuten ensimmäisessä ja toisessa vaihtoehdossa tuloilmaikkunan suodattimien vaihto kaksi kertaa vuodessa on ainoa pakollinen lisätyö.

Tässäkin vaihtoehdossa on suositeltavaa, että asukkaita opastetaan ilmanvaihdon toimintaan ja erityisesti siihen, ettei korvausilma-aukkoja tukittaisi.

#### 5.5 Korjausvaihtoehto 4: talotuulettimien korvaaminen huippuimureilla

Taulukkoon 18 on kerätty tämän vaihtoehdon kustannuksia. Tässä vaihtoehdossa vaihdetaan talotuuletin katolle sijoitettavaan huippuimuriin. Vaihtoehdossa hyödynnetään olemassa oleva poistoilmakanavisto, toteutetaan peruspaketin mukaiset toimet sekä valitaan vaihtoehdoista 1–3 sopiva korvausilman tuonti. Taulukkoon 18 on valittu vaihtoehto 1. Korjausvaihtoehto vaatii hieman sähkötyötä ja kanavistojen uudelleen järjestämistä lähinnä maustehyllyn eli talotuulettimen sijainnin kohdalla.

Syy esittää tämä korjausvaihtoehto on asukkaiden mainitsema äänen häiritsevyys talotuulettimen ollessa päällä. Huippuimuri sijaitsee katolla, jolloin siitä aiheutuu sisätiloihin pienempi ääni.

Taulukko 18. Neljänteen korjausvaihtoehtoon liittyvät tehtävät, vastaava taho, kustannusarvio, saavutettava hyöty ja muut huomiot.

	Tehtävä	Kustannusarvio (sis. alv)	Saavutettu hyöty ja muut huomiot
Taloyhtiö	Peruspaketti	14 000–20 600 €	Peruspaketti on selitetty taulukossa 12
	Huippuimureiden asentaminen ja tarvittavat muutokset IV-kanavistoon	42 000–70 000 €	
	Korvausilmaventtiilien vaihtaminen suurempiin ja puuttuvien lisääminen	6 600–22 100 €	Korjausvaihtoehto 1. Arvioitu taulukossa 13
	<b>Yhteensä</b>	<b>62 600–112 700 €</b>	Huom. ei sisällä mahdollisia rakennuslupakuluja eikä myöskään mahdollisia suunnittelukuluja.

Tässä vaihtoehdossa vaihtuvat vastuusuhteet. Talotuuletin on pääsääntöisesti osakkaan vastuulla, huippuimurit ovat taloyhtiön vastuulla.

Kuten talotuulettimen uusimisen yhteydessä, on mahdollista valita laite, joka mahdollistaa ilmavirtojen kasvattamisen ja myös pakotetun jatkuvan käytön, minimi asetuksella. Talotuulettimen vaihtoon verrattuna huippuimurille ei ole samalla tavalla tilarajoitusta.

Huippuimurit ovat ainakin vanhoja talotuulettimia energiatehokkaampia. Tällöin ominaissähkönkulutus pienenee. Absoluuttinen sähkönkulutus voi kuitenkin nousta ilmapäärien noustessa. Samoin nousee myös ilmanvaihdon kautta hukattu lämpömäärä.

#### 5.6 Korjausvaihtoehto 5: asuntokohtainen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Viides tarkasteltava korjausvaihtoehto on nykyisen koneellisen poistoilmanvaihdon korvaaminen asuntokohtaisella lämmöntalteenotolla varustetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Taulukossa 19 on haarukoitu tämän vaihtoehdon kustannuksia. Vaihtoehto on laajuudessaan sen verran iso, että se vaatii todennäköisesti myös luvat ja siihen liittyvät energialaskelmat.

Taulukko 19. Viidenteen korjausvaihtoehtoon liittyvät tehtävät, vastaava taho, kustannusarvio, saavutettava hyöty, ja muut huomiot.

	Tehtävä	Kustannusarvio (sis. alv)	Saavutettu hyöty ja muut huomiot
Taloyhtiö	Välikatossa olevien ilmanvaihtokanavien eristyksen tarkastus	2 000–3 000 €	Välikatossa kulkevien ilmanvaihtokanavien eristysten kunto kannattaa tarkistaa, erityisesti kondenssiveden varalta.  Hinta-arvioon ei sisälly mahdollisia korjaustarpeita. Toimenpide on osa perushuoltopakettia taulukossa.
	Siirtoilmareittien tarkastus ja tarvittavien siirtoilma rako- ja venttiilien lisääminen	2 000–3 300 €	Siirtoilmareittien tarkastus tapahtuu yhtä aikaa korvausilmaventtiilien korjauksen yhteydessä. Varmista myös tuulikaappien ilmanvaihto.  Hinta-arvioon sisältyvät työt ja tarvikkeet. Toimenpide on osa perushuoltopakettia taulukossa.
	Korvausilmaventtiilien poisto ja tukkiminen	2 000–5 000 €	Lähinnä työkustannuksia.
	Koneellinen tulo- ja poistoilma	122 000–150 000 €	Arvio perustuu RT-kustannuslaskentatyökalun [40] antamalla arvioille. Hintaan vaikuttaa mm. valittu IV-kone, sekä onko mahdollista käyttää olemassa olevaa poistokanavistoa vai ei. Tasapainotuksen ja säädön oletetaan kuuluvan tähän kokonaisuuteen.
	<b>Yhteensä</b>	<b>128 000–161 300 €</b>	Huom. ei sisällä mahdollisia rakennuslupakuluja eikä myöskään mahdollisia suunnittelukuluja.
	<b>Lämmöntalteenoton tuottama säästö</b>	<b>4 300–5 400 €</b>	Laskentaa selvittää taulukko 21.

Tässä korjausvaihtoehdossa pyritäisiin hyödyntämään olemassa oleva poistokanavisto ja lisättäisiin tuloilmakanavisto asuntoihin koteloituna. Tuloilmakanavisto voidaan toteuttaa perinteisemmin peltikanavilla tai esimerkiksi Valloxin kehittämällä BLUESKY-ilmanjakojärjestelmällä [54], jossa on pieneen tilaan mahtuvat, taipuisat ja ääntä vaimentavat ilmanvaihtojärjestelmän osat. Tuloilma tuodaan makuu- ja olohuoneisiin sekä saunaan. Olemassa olevat korvausilmaventtiilit poistettaisiin ja tukittaisiin.

Talotuulettimet poistettaisiin. Lieden päälle asennettavat ilmanvaihtokoneet korvaavat nämä. Muualle kuin lieden päälle asennettavissa ilmanvaihtojärjestelmissä, talotuuletin korvataan esimerkiksi aktiivihieillä varustetulla liesituulettimella tai huippuimurilla ja liesikuvulla. Näitä ei ole erikseen listattu kustannustaulukkaan.

Kanaviston lisäksi tarvitaan myös itse ilmanvaihtokone. Markkinoilla on erilaisia pieneen tilaan sopivia ilmanvaihtokoneita. Taulukkaan 20 on kerätty esimerkinomaisesti



neljä vaihtoehtoa. Kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa ovat ilmanvaihtokoneista, jotka on suunniteltu mahtumaan maustehyllyn taakse liedon päälle. Tällainen sijoitus mahdollistaisi parhaiten olemassa olevan poistoilmakanaviston käytön. Esimerkki rivitalossa maustehyllyt ovat leveydeltään (500 mm) kuitenkin liian pienet näille koneilla. Joten joko keittiön kaappeja olisi muutettava tai ilmanvaihtokone pitää sijoittaa muualle. Mahdollisia sijoitus paikkoja ovat esimerkiksi eteisten katot tai suihkutilat. Esimerkkirivitalossa molemmat vaihtoehtoiset tilatkin ovat liian ahtaat ilmanvaihtokoneille. Lisäksi näiden vaihtoehtoisien sijoituspaikkojen valinta vaatisi ainakin osittaista poistokanaviston uusimista.

Taulukon 20 kaksi viimeistä ilmanvaihtokonetta ovat vaihtoehtoisin sijoitus paikkoihin sopivia koneita. Koneille pitää tuoda sähkö ja viedä kondenssiveden purkuputki.

Valitut esimerkki-ilmanvaihtokoneet edustavat kahta erilaista LTO-tekniikkaa. Enerventin koneissa on pyöriväkennoinen lämmönsiirrin, ja Valloxin ilmanvaihtokoneissa on ristivirtalämmönsiirtimet. Taulukkoon 20 kerättyjä tietoja vertailemalla näkee, että suurin ero kahden tekniikan välillä on vuotuinen sähkönkulutus (AEC). Pyöriväkennoisissa vaihtoehtoisissa on huomattavasti pienempi sähkönkulutus, sillä oikein mitoitettussa järjestelmässä esilämmitystä ei tarvita [30, s. 52].

Taulukko 20. Esimerkkejä huoneistokohtaisista ilmanvaihtokoneista.

Malli	Tekninen tieto		Muut huomiot
Vallox 90 K MC [55]	Koneen mitat, L x K x S (mm)	597 x 798 x 346	Liesikuvullinen ilmanvaihtokone, joka asennetaan liedon päälle  Säätö liesikuvulla 1–4.  Sähköinen esi- ja jälkilämmitys.
	Maksimi ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)	–85 / +70	
	LTO:n tyyppi; tuloilman lämpötilasuhte	ristivirta 83 %	
	AEC kylmäilmasto (kWh/a)	1083,1	
	SPI (W/(m <sup>3</sup> /h))	0,40	
Enervent Pinion [56]	Koneen mitat, L x K x S (mm)	598 x 630 x 320	Voidaan asentaa liesikupuun.  Pyörivä kenno oikein mitoitettuna ei tarvitse esilämmitystä [30 s. 52].  Mahdollisuus sähköiseen tai vesikiertoiseen esi- ja jälki-
	Maksimi ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)	–72 / +66	
	LTO:n tyyppi ja lämpötilasuhte	regeneratiivinen, 75 %	
	AEC-kylmäilmasto (kWh/a)	26	

	SPI (W/(m <sup>3</sup> /h))	0,49	lämmitykseen.  Ilmamäärät ovat aivan rajoilla, että riittävät isompien asuntojen suunnitelluille ilmamäärille.
Vallox 096 MC [57]	Koneen mitat, L x K x S (mm)	600 x 543 x 428	Sähköinen esi- ja jälkilämmitys.
	Maksimi ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)	–95 / +92	
	LTO:n tyyppi ja lämpötilasuhde	ristivirta	
	AEC-kylmäilmasto (kWh/a)	1 045,5	
	SPI (W/(m <sup>3</sup> /h))	0,37	
Enervent Salla [58]	Koneen mitat, L x K x S (mm)	580 x 490 x 500	Matala ilmanvaihtokone suunniteltu esimerkiksi pesutornin päälle asennettavaksi.
	Maksimi ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)	–91 / +88	
	LTO:n tyyppi ja lämpötilasuhde	regeneratiivinen 84 %	Pyörivä kenno oikein mitoitetuna ei tarvitse esilämmitystä [30 s. 52].
	AEC-kylmäilmasto (kWh/a)	195	
	SPI (W/(m <sup>3</sup> /h))	0,37	Mahdollisuus sähköiseen tai vesikiertoiseen esi- ja jälkilämmitykseen.

LTO:lla talteen saatu energia on esitetty taulukossa 21. Laskelmat on tehty esimerkki rivitalon erikokoisille asunnoille Vallox 90 K MC- ja Enervent Pinion -koneista. LTO:n vuosihyötysuhteena on Valloxin koneen osalta käytetty valmistajan ilmoittamaa vuosihyötysuhdetta [55; 57] ja Enerventin koneen osalta on käytetty Enerventin mitoitusohjelmasta saatavaa vuosihyötysuhdetta [59]. Isoimman huoneiston kohdalla Enervent Pinion on hieman pienekkö, mikä näkyy vuosihyötysuhteen laskussa. Korvausilman tarvitsema energiamäärä on laskettu kuten aiemmin luvussa 4.1.4 Asuntojen ilmanvaihdon energiankulutus. Talteen otettu energian määrä on laskettu kertomalla ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia vuosihyötysuhteella kaavan 6 mukaisesti.

Taulukko 21. Asuntokohtaisen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuottama energiasäästö.

		47 m <sup>2</sup> ; 2h+kk; 10 asuntoa	60 m <sup>2</sup> ; 2h+k; 8 asuntoa	70 m <sup>2</sup> ; 3h+k; 3 asuntoa	95 m <sup>2</sup> ; 5h+k; 2 asuntoa	yhteensä
	Nykymääräyksen mukaiset ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)*	26 / –26	27 / –27	37 / –37	50 / –50	
	Q <sub>iv</sub> (kWh/a)	3800	3900	5 300	7200	

Vallox 90 K MC [55]	Tuloilman lämpötila-hyötysuhde	83 %	83 %	83 %	83 %	
	Vuosihiötysuhde	62 %	62 %	62 %	62 %	
	Q_LTO (kWh/a)	2356	2418	3286	4464	
	Säästö kaikissa asunnoissa (kWh/a)	23 560	19 344	9 854	8 928	61 690
	Säästö euroina, kun kaukolämmön hinta on 70,43 €/MWh [35]					4 300 €
Enervent Pinton [56]	Tuloilman lämpötila-hyötysuhde	75 %	75 %	75 %	75 %	
	vuosihiötysuhde	79%	79%	77 %	75 %	
	Q_LTO (kWh/a)	2987	3062	4097	5386	
	Säästö kaikissa asunnoissa	29 868	24 492	12 291	10 771	77 422
	Säästö euroina, kun kaukolämmön hinta on 70,43 €/MWh [35]					5 400 €

\*Huonekohtaiset ilmamäärät taulukoitu liitteessä 5.

\*\* Mahdollista perusluokanvaihtoa ei ole huomioitu.

Taulukossa 21 esitettyä energiasäästöä ei voi verrata nykytilanteesta tehtyihin ilmanvaihdon energialaskelmiin, sillä LTO:n energiasäästö lasketaan nykymääräyksen mukaisista ilmapirroista.

Nykymääräyksiä soveltaen asuntojen ilmanvaihto on laskettu tasapainotilanteeseen. Liitteessä 5 on esitetty taulukoituna jokaiselle asuntokoolle yhden esimerkkiasunnon ilmamäärät huonekohtaisesti.

Lasketulla energiansäästöllä investoinnin takaisinmaksuaika olisi 24–38 vuoden välissä. Teoriaosuudessa oli pohdintaa koneellisen tulo- ja poistoilman kannattavuudelle suhteutettuna rakennuksen ilmatiiveyteen. Esimerkkirivitalon nykyinen ilmanpitävyys on teoriaosuuden arvioinnissa lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmanjärjestelmän kannattavuusrajan alapuolella. Siten on mahdollista, että tässä laskettu säästö jää todellisuudessa pienemmäksi. Tähän kun lisätään maustehyllyjen kapeus, jolloin joudutaan mahdollisesti tekemään tuloilmakanaviston lisäksi muutoksia keittiökaappeihin tai joudutaan valitsemaan muu kuin maustehyllyn taakse tarkoitettu ilmanvaihtokone, jolloin joudutaan uusimaan ainakin osittain poistoilmakanavistoa, on vaihtoehdon taloudellisuus kyseenalaista.

Isoimmissa asunnoissa Enervent Pinion ja Vallox 90 K MC ovat siinä rajoilla, että ne ovat liian pienet. Tällöin näihin kohteisiin voidaan joutua valitsemaan suuremmat koneet, joiden sijoitus on ongelmallista ja myös olemassa olevan poistokanaviston hyödyntäminen vaikeutuu.

Tätä korjausvaihtoehtoa puoltaa muihin vaihtoehtoihin verrattuna mahdollisuus saada suurempi energiansäästö sekä sisäilman laadun parantuminen.

Huoltotarve kasvaa tuloilmakanaviston huollon verran. Myös ilmanvaihtokoneen suodattimet tulee vaihtaa 2 kertaa vuodessa.

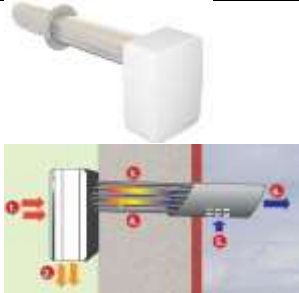


Vastuusuhteet vaihtuvat, sillä talotuuletin on pääsääntöisesti osakkaan vastuulla ja ilmanvaihtokoneet ovat taloyhtiön vastuulla.

#### 5.7 Korjausvaihtoehto 6: huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet lämmöntalteenotolla

Viimeisenä korjausvaihtoehtona tässä opinnäytetyössä käsitellään huonekohtaisia pieniä lämmöntalteenotolla varustettuja ilmanvaihtokoneita. Markkinoilla on useita erilaisia vaihtoehtoja ja ilmanvaihtoa voidaan tuottaa monen huonekokoon. Tässä käsitellään esimerkkeinä lähinnä pienempiä asuinhuoneisiin soveltuvia vaihtoehtoja. Ulkonäöllisesti ja kooltaan nämä voivat muistuttavat korvausilmaventtiiliä tai pienen ilmalämpöpumpun sisäyksikköä. Osa laitteistoista toimivat vuorottaen sisään ja ulospuhalluksia, jolloin poistoilman lämpö varautuu ilmanvaihtimen lämmönsiirtomassaan, joka puolestaan lämmittää tuloilmaa. Toisissa on vastavirta- tai ristivirtalämmönsiirtimet, jolloin tulo- ja poistoilma siirtyvät omissa putkissaan tai kanavissaan ja lämpö siirtyy lämmönsiirtimen seinämien läpi. Taulukkoon 22 on kerätty muutama vaihtoehto esimerkinomaisesti.

Taulukko 22. Esimerkkejä markkinoilla olevista huonekohtaisista ilmanvaihtokoneista lämmöntalteenotolla.

Tuote			Hintaluokka (sis. 24 % alv.)
Atlantic LTO DF [60]	Ilmamäärät (d°m³/s)	6,1 / 9,2 / 15,3	350–400 €

	Sähkö (W) Kiinteä sähkö- asennus	3,2 / 26,6	
	Ääni (dB) 3 m etäisyydellä	28 / 36	
	LTO pestävä putkilämmönsiir- rin	85 %–5 %	
	Suodatin	Halutessa voi tuloilmariti- län alle laittaa suodatti- men.	
	Kondenssivesi	Lämmönvaihdinputki asennetaan viettämään ulospäin mahdollisen kondenssiveden takia.	
	Toimintalämpöti- lat	–20 °C... +40 °C	
	Läpivienti	Ø 110 mm,	
	Blauberg Vento Expert A50- 1 Pro [61],	Ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)	700 €
		Sähkö (W) Kiinteä sähkö- asennus	
		Ääni (dB) 3 m etäisyydellä	
		LTO – keraami- nen LTO-kenno	
		Suodatin	
		Kondenssivesi	
		Toimintalämpöti- lat	
		Läpivienti	
		Lisähuomio	
	Mitsubishi Electric Lossnay Mini VL-50, [62]	Ilmamäärät (dm <sup>3</sup> /s)	500 €
		Sähkö (W) pistotulppaliitän- nällä	
		Ääni (dB(A))	
		LTO – Ristivirta- kenno	
		Suodatin	
		Kondenssivesi	
		Toimintalämpöti- lat	
		Läpivienti	
		Sisäyksikön mitat	

Huonekohtaisten ilmanvaihtokoneiden yhdistämistä olemassa olevaan poistoilmavaihtoon pitää harkita tarkoin. Koneellinen poisto on suunniteltu ilmamäärältään sellaiseksi, että se hoitaa koko asunnon ilmanvaihdon. Jos huonekohtaisia ilmanvaihtokoneita lisätään varmistamatta olemassa olevan koneellisen poistoilmajärjestelmän tarvitsemaa korvausilman saantia, synnytetään tarpeetonta alipainetta asuntoihin.

Tässä neljä esimerkkiä sovellusvaihtoehdoista.

1. Yksittäisessä huoneessa otetaan käyttöön huonekohtainen ilmanvaihtokone. Huone erotetaan muusta asunnon ilmanvaihdosta esimerkiksi ovella, jossa ei ole siirtoilmarakoa. Voi vaatia korvausilmaventtileitä lisää muihin huoneisiin. Tämä on kohtalaisen helppo toteuttaa.
2. Korvataan keskitetty koneellinen poisto ilmanvaihtojärjestelmä huonekohtaisilla ilmanvaihtokoneilla ja erillisellä liesituulettimella ja alipaineessa avautuvalla korvausilmaventtiilillä. Erityishuomioita pitää kiinnittää tiloihin, jotka eivät ole ulkoseinässä. Pitää myös varmistaa, että esimerkiksi pesutiloihin saadaan riittävä ilmanvaihto.
3. Kakkosvaihtoehtoa lievempi versio on, että käytetään pääasiassa huonekohtaisia ilmanvaihtolaitteita. Saunottaessa, suihkua käytettäessä tai muussa tehostusta vaativassa tilanteessa käytetään talotuuletinta ja sallitaan hetkellisesti suurentunut alipaine. Tai sammutetaan huonekohtaiset laitteistot. Tämä vaatii joko automaatiota tai osaamista ja viitsimistä asukkailta.
4. Yhdistetään huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet poistoilmajärjestelmän kanssa niin, että huonekohtaisista laitteistoista tuodaan tuloilmaa enemmän kuin poistetaan ilmaa. Tällöin saadaan koneelliselle poistoilmajärjestelmälle riittävä määrä korvausilmaa. Tämä heikentää huonekohtaisista ilmanvaihtokoneista saatavaa lämmöntalteenottoa. Vaihtoehto vaatii myös huolellista suunnittelua ja toteutusta, jotta rinnakkaiset järjestelmät saadaan toimimaan yhteen.

Huonekohtaisista ilmanvaihtolaitteista ei tehdä samanlaista kustannusarviotaulukkoa kuin muista, koska tässä on erilaisia tarkempaa suunnittelua vaativia toteutusvaihtoehtoja. Myös vastuu huonekohtaisista ilmanvaihtolaitteista riippuu taloyhtiössä tehtävistä päätöksistä.

## 5.8 Korjausvaihtoehtojen vertailu

Edellä esitettyjen korjausvaihtoehtoja vertaillaan taulukoissa 23 ja 24. Taulukossa 23 tehdään laadullista vertailua ja taulukossa 24 kustannusarvioiden vertailua. Vertailtavia laadullisia tekijöitä ovat mm. sisäilman parantuminen ja saavutettava energiansäästö. Laadullisten tekijöiden näkökulmasta parhaiten pärjää korjausvaihtoehto 5 Asuntokeittainen koneellinen tulo ja poisto lämmöntalteenotolla. Heikointen näyttäisi toimivan Korjausvaihtoehdot 1 ja 2.

Taulukko 23. Vaihtoehtojen laadullinen vertailu. Yksi plusmerkki tarkoittaa väitteen toteutuvan. Kaksi plusmerkkiä tarkoittaa väitteen toteutuvan erittäin hyvin. Miinusmerkki tarkoittaa, ettei väite toteudu. Kaksi miinusmerkkiä osoittaa vahvasti, ettei väite toteudu. Tyhjä ruutu tarkoittaa, että ei vaikuta. +/- tarkoittaa, että voi vaikuttaa riippuen tehtävistä valinnoista.

	Vaihtoehto 1: Korvausilmaventtiilien korjaus	Vaihtoehto 2: Korvausilmapat- terit	Vaihtoehto 3: Tuloilmaikkunat	Vaihtoehto 4: Huippuimurit	Vaihtoehto 5: Asuntokeittainen koneellinen tulo ja poisto LTO:lla	Vaihtoehto 6: Huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet LTO:lla
Sisäilmanlaatu paranee	+	+	+	+	++	++
Voidaan kasvattaa ilmamäärää	+/-	+/-	+/-	+	+	+
Äänitasot pienenevät	+/-	+/-	+/-	++	+	-
Lämpöenergiankulutus pienenee	-	-	+	-	++	+
Ilmanvaihdon aiheuttama vedon tunne pienenee	+/-	+	+	+/-	++	+
Ilmanvaihdosta tulee hallitumpi					++	+
Ei vaadi suurta oheisremonttia	++	--	-- tai +/-*	-	--	--

\*Osa tuloilmaventtiileistä voidaan asentaa olemassa oleviin ikkunoihin. Tällöin ei vaadita suurta oheisremonttia.

Kaikki ehdotetut korjausvaihtoehdot parantavat sisäilmaa ja vähentävät vedontunnetta.

Kolmessa ensimmäisessä vaihtoehdossa on mahdollista ainakin hieman parantaa äänitasoja ja nostaa ilmamäärää, jos osakkaat saadaan uusimman talotuulettimensa. Äänitasot paranevat selkeästi vaihtoehdossa 4. Huippuimurit ja hieman vaihtoehdossa 5. Asuntokeittainen koneellinen tulo ja poisto LTO:lla. Vaihtoehdossa 6. Huonekohtaiset

ilmanvaihtokoneet LTO:lla äänet siirtyvät makuuhuoneisiin ja oleskelutiloihin, joka voi johtaa ilmanvaihdon äänien häiritsevyyden kasvamiseen.

Lämpöenergian kulutus pienenee vaihtoehtoissa 3. Tuloilmaikkunat ja 5. Asuntokohtainen koneellinen tulo ja poisto LTO:lla. Vaihtoehdot 1. Korvausilmaventtiilien korjaus ja 6. Huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet LTO:lla voidaan toteuttaa pienin oheisremontin.

Vaihtoehto 5. Asuntokohtainen koneellinen tulo ja poisto LTO:lla edustaa parhainta ilmanvaihdon hallittavuutta.

Taulukko 24. Korjausvaihtoehtojen kustannusten vertailu. Huom. Esitetyt kustannusarvioit ovat vain suuntaa antavia. Todellinen toteutushinta tulee selvittää tarjouspyynnöin. Kustannusarviot sisältävät arvonlisäveron 24 %.

Korjausvaihtoehto	Keskimääräinen kustannusarvio (vain taloyhtiön kustannukset)	Takaisinmaksuaika	Kommentti
Vaihtoehto 1: Korvausilmaventtiilien korjaus	32 000 €		Ei energiansäästöä, ei takaisinmaksuaikaa
Vaihtoehto 2: Korvausilmapatterit	157 000 €, josta ilmanvaihdon osuus noin 24 000 €		Ei energiansäästöä ilmanvaihtoon (lämmitysjärjestelmän energiansäästöä ei lasketa tässä opinnäytetyössä), ei takaisinmaksuaikaa
Vaihtoehto 3: Tuloilmaikkunat	132 000 €, josta ilmanvaihdon osuus noin 24 000 €	Tuloilmaventtiilien takaisinmaksuaika on noin 9 vuotta.	Kustannusarvioissa tuloilmaikkunaventtiilien osuudeksi on arvioitu 6 600 € ja niillä saavutetaan noin 770 € vuotuinen säästö. Näillä tiedoilla suora takaisinmaksuaika on alle 9 vuotta.  Uusista ikkunoista syntyvää energiansäästöä ja takaisinmaksuaikaa ei huomioitu tässä opinnäytetyössä.
Vaihtoehto 4: Huipputuuletin	88 000 €		Sähkösäästöä voi syntyä, kun korvataan vanhat talotuulettimet uusilla. Tätä määrää ei ole arvioitu opinnäytetyössä.
Vaihtoehto 5: Asuntokohtainen koneellinen tulo- ja poisto LTO:lla	145 000 €	30 vuotta	Asuntokohtainen ilmanvaihto ja rakennusten epätiiveys heikentävät lämmöntalteenoton kan-



			nattavuutta
Vaihtoehto 6: Huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet LTO:lla	500 €		<b>Vain laitteen hankintahinta. Ei ole siis suoraan vertailukelpoinen.</b>

Taulukon 23 vertailussa vaihtoehto 5. Asuntokohtainen koneellinen tulo- ja poisto LTO:lla erottuu edukseen, suurimmalla määrällä plusmerkkejä. Taulukossa 24 sama vaihtoehto on kalliimpien investointien joukossa pitkällä takaisinmaksuajalla. Rivitaloyhtiön poistoilmasta lämmöntalteenoton kannattavuutta heikentävät mm. rakennuksen epätiivetyys sekä ilmavirtojen hajanaisuus eli asuntokohtainen ilmanvaihto keskitetyn sijaan.

Vaihtoehdot 2: Korvausilmapatterit ja 3: Tuloilmaikkunat tulevat kannattavaksi, jos on tarvetta muutoinkin remontoida lämmönjakoa tai tehdä ikkunaremonttia.

Vaihtoehdon 4: Huippumuri toteutus ei esimerkikohteessa tuo suurta muutosta järjestelmään. Vaihtoehto voisi tulla ajankohtaiseksi, jos halutaan nostaa ilmanvaihdon automatisointia ja toteuttaa vaikka tarpeenmukainen ilmanvaihto ohjaus.

Vaihtoehto 6: Huonekohtaiset ilmanvaihtokoneet voidaan käyttää yksittäisen huoneen ilmanvaihdon ongelmien ratkaisuksi. Jos niillä on tarkoitus kattaa koko asunnon ilmanvaihto, pitää tämä suunnitella tapauskohtaisesti.

Vaihtoehto 1: Korvausilmaventtiilien korjaus esittää minimityön, joka esimerkikirivitalossa tulisi toteuttaa. Ja yleisesti ottaen myös kaikissa vastaavissa kohteissa tarvittavin osin.

## 5.9 Huoltorakennuksen ja häkkivarastojen korjausvaihtoehdot

Huoltorakennuksen yleiskunto on heikko. Rakennuksesta olisi hyvä tehdä kokonaiskorjaus sekä kattava korjaussuunnitelma kustannusarvioineen. Yhtiökokouksen tulisi käsitellä, kannattaako huoltorakennus korjata vai mahdollisesti uusia.

Yhteiskäyttöisen pesulan ilmanvaihdon näkökulmasta kannattaa harkita esimerkiksi lämmöntalteenottoa poistoilmalämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumppu ottaisi talteen myös ilmankosteuteen sitoutuneen lämmön. Tämän lisäksi, koska pesula sijaitsee

huoltorakennuksessa, josta jaetaan lämpö kaikkiin muihin rakennuksiin, olisi talteen otettu energia helpohkosti koko taloyhtiön käytettävissä.

Toinen vaihtoehto olisi lisätä ilmalämpöpumppu kuivaushuoneeseen kuivattamaan ilmaa. Tämä olisi poistoilmalämpöpumppua halvempi ja helpompi toteuttaa.

Huoltorakennuksen häkkivaraston koneellinen poisto ei ole poistanut tilan liittyvää haajuongelmaa, joten tilan kunto kannattaisi tarkistaa muiltakin osin. B-talon häkkivaraston koneellisen poiston sähkönkulutusta kannattaa seurata. F-talon häkkivaraston ilmanlaatua kannattaa tarkkailla ja koneellisen poiston tarvetta harkita.

## 6 Päätelmät ja yleistyks

### 6.1 Suositukset esimerkkitaloyhtiölle

Tehtyjen havaintojen perusteella voi sanoa, että taloyhtiön asukkaat hyötyisivät asunnon talotuulettimen käyttöön liittyvästä opastuksesta. Monet asukkaat eivät pitäneet koneita ollenkaan päällä. Myös pesulan huippuimurin käytöstä olisi hyvä tehdä selkeät käyttöohjeet, jotka olisivat esillä pesulan seinällä.

Kaikkien asuntojen korvausilmaventtiilit tulisi puhdistaa ja avata. Puuttuvat tai poistetut korvausilmaventtiilit tulisi asentaa uudestaan. Korvausilmaventtiilien tarkastaminen ja kunnostaminen pitää ottaa käsittelyyn viimeistään ikkunoiden ja ovien uusimisen yhteydessä. Tässä yhteydessä tulisi harkita tuloilmaikkunoita.

Talotuulettimen ylläpuoliset ruttuputket kannattaa vaihtaa peltikanavaan jo pelkästään paloturvallisuus syistä.

Nykyisellään talotuulettimet eivät kaikissa asunnoissa tuota riittävää ilmanvaihtoa pienimmällä puhallin asetuksella. Suuremman asetuksen käyttö tuo riittävän ilmanvaihdon, mutta nostaa sekä äänitasoja, että sähkönkulutusta. Alkuperäiset puhaltimet kannattaakin vaihtaa uusiin. Kun nostetaan poistoilmavirtoja, on todennäköisesti myös tarpeen lisätä korvausilmaventtiilien määrää. Näitä suositellaan asennettavan makuuhuoneisiin ja muihin oleskelutiloihin painottaen niitä tiloja, jotka ovat kauimpana keitti-

öistä. Keittiöstä, kun on suurin poistoilmavirta. Tällä tavoin toimien pyritään varmistamaan riittävä ilmanhuuhteluefekti koko asuntoon.

Asuntojen lämpötilat kannattaisi mitata uudelleen lämmityskaudella ja pohtia esimerkiksi patteriverkoston tasapainottamista. Tämä voisi tuoda myös lämmönkulutukseen säästöjä kompensoimaan ilmanvaihdon lisäämiseen liittyvää lämmitysenergian kulutuksen nousua.

Huoltorakennuksen kokonaiskuntoa tulisi arvioida ja tehdä kattava korjaussuunnitelma.

Näiden toimenpiteiden rinnalla on suositeltavaa tarkistaa kaukolämpösopimus ja perusmaksuluokka, joskin kaukolämpöyhtiökin ottanee tämän asian käsittelyyn, jos huomaavat lämmönkulutuksen kasvaneen. Kannattaa myös aloittaa energian säännöllinen seuranta vuositason lyhyemmillä väleillä. Asukkaita voidaan myös opastaa tarkkailemaan omaa sähkönkulutustaan.

Nykyinen ilmavaihtojärjestelmä vaatii ainakin perushuoltopaketissa esitetyt korjaustarpeet ja korvausilmaventtiilien kunnostuksen. Esitetyistä korjausvaihtoehdoista tuloilmaikkunanvaihtoehtoa kannattaa harkita ikkuna- ja oviremontin yhteydessä. Asunto-kohtaisten ilmanvaihtokoneiden käyttöönottamista voidaan harkita, mutta esimerkiksi maustehyllysten leveys vaikeuttaa nykyisten poistoilmakanavien käyttöä ja sitten nostavat tämän vaihtoehdon kustannuksia.

## 6.2 Yleistykset

Rivitaloyhtiössä oli nähtävissä monia yleisiä koneellisella poistolla varustettujen rivitalojen ja myös pientalojen ongelmia. Esimerkiksi ilmanvaihdon pitäminen pois päältä ja korvausilmaventtiilien tukkiminen tai poistaminen ovat varmasti varsin yleisiä ongelmia [63]. Siten lähes kaikki rivitaloyhtiölle tehtyt havainnot ja suositukset ovat sovellettavissa vastaavan tyyppisiin kohteisiin.

Yksi kohta, joka liittyy erityisesti käsillä olevaan rivitaloyhtiöön, on maustehyllyn leveys. Tässä kohteessa maustehyllyn leveys oli liian pieni markkinoilla oleviin maustehyllysten taakse mahtuville tulo- ja poistoilmakoneille. Mikäli maustehyllyn leveys olisi sopivampi, voisi tulo- ja poistojärjestelmän kannattavuus olla parempi, kuin tässä on arvioitu.

Tässä opinnäytteessä ei pohdittu keskuspölyimurin tai takan aiheuttamia haasteita ilmanvaihdolle, sillä esimerkkirivitalossa näitä ei ollut. Näillä on kuitenkin merkittävä rooli pientalon ilmanvaihdossa ja niitä ei tulisi jättää käsittelemättä, jos kohteesta nämä löytyvät. [62.]

## Lähteet

- 1 Ilmanvaihdon vaikutus. 2020. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Ilmanvaihdon-vaikutus>>. 6.5.2020. Luettu 1.6.2020.
- 2 Sisäilmasta ja ilmanvaihto -opas. 2020. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/8-ss-ilmanvaihto>>. 10.6.2020. Luettu 5.6.2020.
- 3 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. 545/2015.
- 4 Merikari, Anna. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018 julkaistu Sisäilmayhdistyksen julkaisuna. Verkkoaineisto. Sisäilmauutiset. <<https://www.sisailmauutiset.fi/rakentaminen-2/sisailmastoluokitus-2018-julkaistu-sisailmayhdistyksen-julkaisuna/>>. 26.10.2018. Luettu 23.3.2020.
- 5 Rakennusten ilmanvaihto. 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma, kumottu osa D2. Helsinki: Sisäministeriö.
- 6 Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen. 2019. Suomen rakentamismääräyskokoelma, 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta taustamateriaali. Helsinki: FINVAC ry.
- 7 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/2017.
- 8 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. 4/13.
- 9 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 2017. 2/17.
- 10 Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohje. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 11 Saari, Mikko & Nyman, Mikko & Kokko, Erkki & Vuolle, Mika. 2017. Tasaustalentaopas 2018 – Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohje. Helsinki: VTT expert service.
- 12 Laskentaliite ympäristöministeriön asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä”. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö.

<<http://www.ym.fi/download/noname/%7BE6B413C1-DAB5-4433-9D0F-F4C81AC6EF00%7D/31398>> Luettu 19.6.2020.

- 13 Asuinrakennusten LVI-laitteiden äänitekniikka. 1984. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa C6. Helsinki: Ympäristöministeriö. Kumottu.
- 14 1007/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 15 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa 1. 8/2016. Helsinki: Valvira
- 16 Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa - Ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvot. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. Luettu: 22.3.2020.
- 17 Ympäristöministeriö. 2017. LTO-Laskin 2018, joulukuu 2017.
- 18 Ojanen, Tuomo & Nykänen, Esa & Hemmilä, Kari. 2017. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Opas. VTT.
- 19 Säteri, Jorma & Kovanen, Keijo & Pallari, Marja-Liisa. 1999. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen. VTT-Tiedote. Espoo. VTT. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf>>. Luettu 29.3.2020.
- 20 Björkroth, Marko. 2017. D2 asuntojen ilmanvaihdon mitoitus ja säätö. A-insinöörit. Verkkoaineisto. SULVI ry. <[https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/08/Esitys\\_Bjorkroth\\_21082017.pdf](https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/08/Esitys_Bjorkroth_21082017.pdf)>. Luettu 17.5.2020.
- 21 Björkroth, Marko & Eskola, Lari. 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohje. Helsinki.
- 22 Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman sisäänoton suunnittelu. 1987. LVI 30-10086. Rakennustieto Oy. Kumottu.
- 23 SFS-EN 16211 Ventilation for buildings. Measurement of air flows on site. Methods. Helsinki: 2015.
- 24 MO 3: Ilmanvaihto. 2010 Mittausohje. Verkkoaineisto. Valvira. <<http://www.valvira.fi/documents/14444/22511/MO%203.doc>>. Luettu 19.6.2020.
- 25 MO 2: Sisäilman lämpöolojen kenttämittaukset – lämpötila, ilmanvirtasnopeus ja ilman suhteellinen kosteus. 2010. Mittausohje. Verkkoaineisto. Valvira. <<http://www.valvira.fi/documents/14444/22511/MO%202.doc>>. Luettu 19.6.2020.

- 26 Lämmitysenergiankulutus. 2016. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa\\_energian-\\_ja\\_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-_ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus)>. Luettu 17.5.2020.
- 27 Vedenkulutus taloyhtiössä. 2019. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa\\_energian-\\_ja\\_vedenkulutuksesta/vedenkulutus\\_taloyhtiossa](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-_ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiossa)>. Luettu 17.5.2020.
- 28 Kiinteistösähkönkulutus. 2017. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa\\_energian-\\_ja\\_vedenkulutuksesta/kiinteistosahkonkulutus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-_ja_vedenkulutuksesta/kiinteistosahkonkulutus)>. Luettu 17.5.2020.
- 29 Kuusela, Minna. 2020. Kestävä vedenkäyttö. Kestävä vedenkäyttö webinaari 2.4.2020. Verkkoaineisto. Motiva.  
<[https://www.motiva.fi/files/17170/5.\\_Kestava\\_vedenkaytto-hankkeen\\_tuloksia.pdf](https://www.motiva.fi/files/17170/5._Kestava_vedenkaytto-hankkeen_tuloksia.pdf)>. Luettu 17.5.2020.
- 30 Suunnitteluohje – Ilmanvaihdon teoriaa & käytännön tietoa. 2014. Porvoo. Verkkoaineisto. Ensto Enervent Oy.  
<<https://doc.enervent.com/op/op.ViewOnline.php?documentid=3299&version=0>>. 9/2014. Luettu 31.7.2020.
- 31 Miten saada riittävä ilmamäärä? Verkkoaineisto. Dir-Air Oy. <[https://www.dir-air.fi/assets/files/ohjeet/p%C3%A4ivitetyt/ilmamaarat\\_esite.pdf](https://www.dir-air.fi/assets/files/ohjeet/p%C3%A4ivitetyt/ilmamaarat_esite.pdf)>. Luettu 4.4.2020.
- 32 Valkeapää, Aki. 2016. Putki- ja kanavavirtauksiin liittyviä peruskäsitteitä ja määritelmiä. Opetuskalvot. Metropolia.
- 33 Ilmanvaihdon kunnossapidon ja korjausten opas. Kerrostalot. 2019. Verkkoaineisto. Oulu: Oulun rakennusvalvonta.  
<<https://www.ouka.fi/documents/486338/18477137/Kerrostalo+-+Ilmanvaihdon+kunnossapito+ja+korjaukset/55b99a16-0943-4ad1-9dd5-df29c7938770>>. 14.6.2019. Luettu 19.3.2020.
- 34 Perustelumuistio: Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelman tausta-aineistoa. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 35 Kaukolämmön lämmönmyyntitariffit. 1.1.2020. Verkkoaineisto. Lapuan Energia Oy. <<http://www.lapuanenergia.fi/default.aspx?pageid=157>>. Luettu 15.2.2020.
- 36 Ilmanvaihdon ongelmat. 2020. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <<https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihto-ongelmat>>. Luettu 28.3.2020.
- 37 Tuomaala, Pekka. 2013. Ihmisen lämpöaistimuksen uusi arviointimenetelmä. RK130303, Rakentajain kalenteri 2013. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130303.pdf>>. Luettu 10.5.2020.

- 38 Sisäilman kosteus ja lämpötila. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <<https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila>>. Luettu 30.10.2020.
- 39 I-x diagram for moist air. 2000. CoolPack -ohjelmisto. Refrigeration Utilities version 2.84. Technical University of Denmark.
- 40 RT-kustannuslaskenta. Online työkalu. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://kustannuslaskenta.rakennustieto.fi/#/>>. Luettu 30.10.2020.
- 41 Virtanen, Marjo. 2020. Tekninen asiantuntija. Vallox Oy. Sähköpostikeskustelu Valloxin talotuulettimien ominaisuuksista. 18.5.2020.
- 42 Korvausilmaventtiili KIV. 2018. Verkkoaineisto. FläktGroup. <<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/64a31a4e-e66e-47ed-b53e-73ff7f1bea9d>>. 19.03.2018. Luettu 17.5.2020.
- 43 Fresh 40 ikkunaventtiili. Verkkoaineisto. Fresh AB. <<http://www.freshsuomi.fi/tuotteet/korvausilmaventtiilit/ikkunaventtiilit/401031>>. Luettu 17.5.2020.
- 44 Tekniset tiedot – Suunnittelijalle. Verkkoaineisto. Terveysilma. <<https://www.terveysilma.fi/userData/70300/tiedostot/suunnittelijalle.pdf>>. Luettu 17.5.2020.
- 45 Mobair 2015 – Puhaltimella varustettu korvausilmalaite. 2020. Verkkoaineisto. Mobair. <<https://mobair.fi/2015-korvausilmalaite>>. Luettu 24.5.2020.
- 46 Vanhojen Valmet, MUH ja Vallox -liesikupujen vastaavuus. 2020. Verkkoaineisto. Vallox. <<https://www.vallox.com/files/2279/vastaavuustaulukko2020.pdf>>. Luettu 28.3.2020.
- 47 PURMO AIR. 2020. Purmo. <<https://www.purmo.com/fi/tuotteet/vesikiertoiset-radiaattorit/paneeliradiaattorit/purmo-air.htm#tab-perustiedot>>. Luettu 31.7.2020.
- 48 Tuloilmaikkunat. Verkkoaineisto. Ikkunawiki. <<http://www.ikkunawiki.fi/ilmanvaihto/tuloilmaikkuna/>>. Luettu 17.4.2020.
- 49 Heimonen, Ismo & Hemmilä, Kari. 2006. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus. VTT-Tiedote. Verkkoaineisto. VTT. Espoo. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2006/T2329.pdf>>. Luettu 17.4.2020.
- 50 Koskinen, Matias. 2015. Tuloilmaikkunoihin ja vakiopaineohjaukseen perustuva poistoilmanvaihtojärjestelmä. Insinöörintyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.



- 51 Klik-raitisilmaventtiili. 2019. Tuotekortti. Verkkoaineisto. Pihla. <<https://www.pihla.fi/app/uploads/sites/2/2019/08/tuotekortti-klik-raitisilmaventtiili.pdf>>. 01.07.2019. Luettu 17.5.2020.
- 52 AIR TERMICO -Venttiilit – Maailman helpoin tuloilmaikkuna, Huippuluokan lämmöntalteenotolla. Verkkoaineisto. DirAir Oy. <<https://www.dir-air.fi/fi/tuotteet/termico/tuloilmaikkunaventtiilit-termico/>>. Luettu 17.5.2020.
- 53 Tuloilmaventtiilit ja hallittu ilmanvaihto. Verkkoaineisto. Scancerco. <<https://scancerco.fi/wp-content/uploads/2018/06/Ilmanvaihdon-mitoituksen-ja-venttiilin-valinta-ohje21062018.pdf>>. 11.06.18. Luettu 22.5.2020.
- 54 Vallox BLUESKY -ilmanjakojärjestelmä. Verkkoaineisto. Vallox. <[https://www.vallox.com/tuotteet/vallox\\_bluesky-ilmanjakojarjestelma.html](https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_bluesky-ilmanjakojarjestelma.html)>. Luettu 22.8.2020.
- 55 Vallox 90KMC -ilmanvaihtokone. Verkkoaineisto. Vallox. <[https://www.vallox.com/tuotteet/vallox\\_ilmanvaihtokoneet/vallox\\_90k\\_mc.html](https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_90k_mc.html)>. Luettu 22.8.2020.
- 56 Enervent Pinion. Tuotetietokortti. Enervent. <<https://doc.enervent.com/op/op.ViewOnline.php?documentid=2990&version=0>>. Luettu 22.8.2020.
- 57 Vallox 096 MC – ilmanvaihtokone. Verkkoaineisto. Vallox. <[https://www.vallox.com/tuotteet/vallox\\_ilmanvaihtokoneet/vallox\\_096\\_mc.html](https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_096_mc.html)>. Luettu 22.8.2020.
- 58 Enervent Salla. Tuotetietokortti. Enervent. <<https://doc.enervent.com/op/op.ViewOnline.php?documentid=370&version=0>>. Luettu 30.10.2020.
- 59 Mitoitusohjelma Energy Optimizer. Verkkoaineisto. Enervent. <<https://www.enervent.fi/optimizer/>>. Luettu 30.10.2020.
- 60 Huonekohtainen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Verkkoaineisto. Atlantic. <[https://atlantic.fi/wp-content/uploads/2017/03/1663\\_874\\_atlantic-mono-df-lt-FI2-04-2018.pdf](https://atlantic.fi/wp-content/uploads/2017/03/1663_874_atlantic-mono-df-lt-FI2-04-2018.pdf)>. 12.04.2018. Luettu: 24.5.2020.
- 61 ISEC Blauberg. Käyttöohje VENTO Expert A50-1 Pro. Verkkoaineisto. Taloon.com <[https://www.taloon.com/media/attachments/airsec/ohjeet\\_Blauberg\\_VENTO\\_Expert\\_A50-1\\_Pro.pdf](https://www.taloon.com/media/attachments/airsec/ohjeet_Blauberg_VENTO_Expert_A50-1_Pro.pdf)>. Luettu 19.9.2020.
- 62 Mitsubishi Electric. Lossanay Mini -ilmanvaihtolaitteet. Verkkoaineisto. Finqu <<https://files.finqu.com/merchant/3907/mitsubishi-electric-lossnay-mini-vl-100-esite-fin.pdf>>. Luettu 19.9.2020.

- 63 Palonen, Jari. Asuntoilmanvaihto. RK-tuotteet. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy.  
<<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040402.pdf>>. Luettu 20.3.2020

## Liite 1. Talotuuletin Ilmon tekniset tiedot

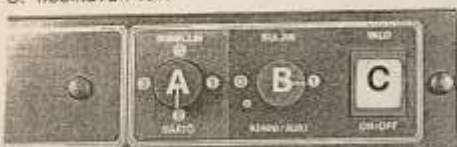
## TEKNISEET TIEDOT:

## MITAT:

mitoitettu normaalkaapistojen mittojen mukaan, kaksi leveyttä 498 ja 598 mm  
moottoriosa mahdollista peittää esim. maustehyllyllä

## SÄÄTIMET:

- A: ilmanvaihdon määrän säädin  
0 off asento  
1 ja 2 normaali ilmanvaihto  
3 tehostettu ilmanvaihto  
B: liesikuvun ilmamäärän säätölappä  
C: liesikuvun valo



## ASENNUS:

kupu kiinnitetään seinään neljällä ruuvilla asennusohjeen mukaisesti. Kuvun alareuna asennetaan kaapiston alareunan tasalle. Asennustarvikkeet josta tavallisimmat asennuksessa tarvittavat kiinnitystarvikkeet sisältyvät toimitukseen.

## SÄHKÖKYTKENNÄT:

liitetään sähköverkkoon maadoitetulla pistokkeella, liesikuvun valaisin tyyppi KYH/220V 40 W  
Vain valtuutettu asentaja saa avata liesikuvun etulevyn — takana jännitteellisiä osia

## HUOLTO:

ainoa säännöllinen huoltotoimenpide on liesikuvun rasvasuodattimen pesu

## SUUNNITTELU:

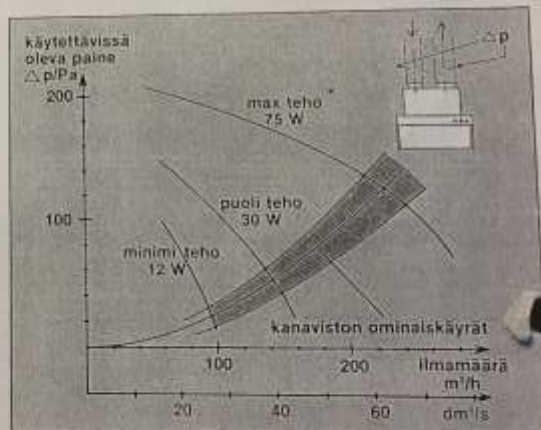
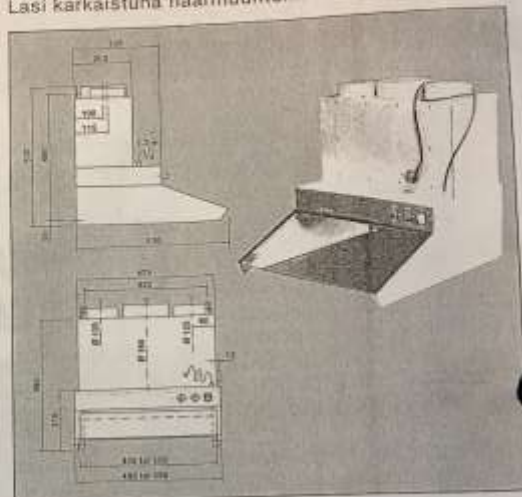
Poistokohteet valitaan normaalisti. Talotuulettiin liitettyyn kokoojahormiin (Ø125) yhdistetään poistoventtiilit kanavitse. Pesuhuoneen venttiili yleensä Ø125 muut Ø100. Mitoitusilmamäärän 0,5 l/h (D2) mukaan voidaan suunnitella poistoventtiilien perusilmanvaihto siten, että liesikuvun läppä on kiinni. Mitoitusmäärä tulee saavuttaa puhaltimen 1 tai 2-teholla.

Poistoilmahormi katolle Ø125 75 m<sup>2</sup>:n asunnnot, Ø160 suuremmat asunnnot. Hormin eriste kylmässä tilassa väh. 5 cm.

Oviraot ja korvausilman tulo tulisi myös muistaa. Ilmanvaihto voidaan kytkeä toimimaan jatkuvasti, esim. rivitaloasunnoissa.

## VÄRIT:

vakiövärät valkoinen ja ruskea, saatavana (lisähintaa) myös punaisena, keltaisena, cameena  
Lasi karkaistuna naarmuuntumaton.



Laite on erittäin hiljainen esim. minimiteholla äänitaso 25 dBA ja puoliteholla äänitaso 30 dBA.

edustus:

**MEPTEK OY** LVI  
TEKNIikka

Konemestarinkatu 20780 Kaarina (921) 435 522

valmistaja:

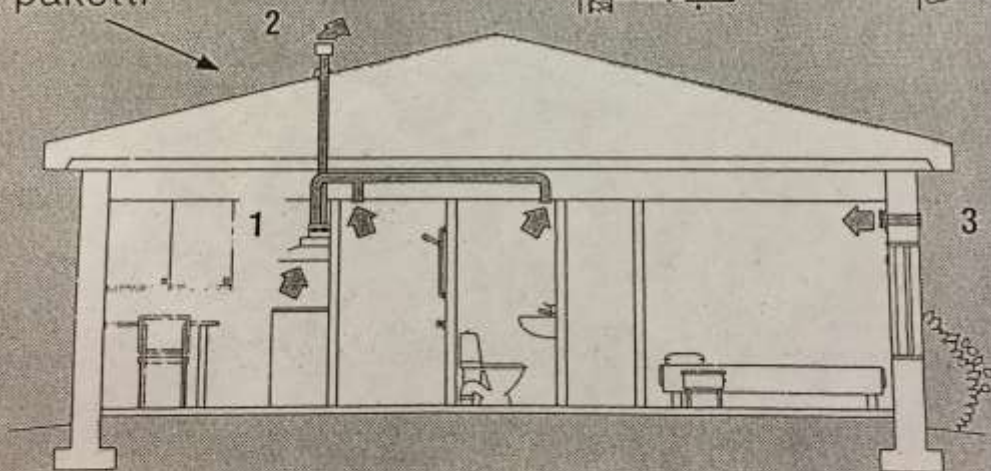
**VALLOX**

4388322

Ilmo talotuuletin on suunniteltu erityisesti huolehti-  
maan normaalikokoisten pien- ja rivitaloasuntojen il-  
manvaihdsta, hallitusti ja sopivalla teholla.

Määräysten mukaan huoneil-  
man on vaihdettava kokonaan  
kerran kahdessa tunnissa.  
(Rakentamismääräyskokoelma D2)

Ilpo-kattoläpivienti-  
paketti



1 • ILMO talotuuletin 2 • ILPO kattoläpivienti 3 • ILU ulkoilmaventtiili

**TALOTUULETIN ILMO®**





## **Liite 2. Mittausten virhetarkastelu ja virheen eteneminen kaavassa**

Mittauksia tehtäessä on aina syytä arvioida tulosten luotettavuutta eli mittauksen virhetä. Mahdollisia virhelähteitä ovat mittalaitteen sisäinen virhe, mittauksen suorittamiseen liittyvät asiat kuten mittalaitteen virheellinen käyttö tai mittauslukeman väärin lukeminen, mittaustilanteessa vallitsevat olosuhteet sekä mitattavaan järjestelmän liittyvät mittauksen luotettavuuteen vaikuttavat asiat.

Tässä opinnäytetyössä mitattiin kolmea suuretta ilmankosteutta, huonelämpötilaa ja poistoilmanvaihdon ilmavirtoja pääte-elimissä.

### *Huonelämpötila ja sisäilmansuhteellisen kosteuden mittauksien virhelähteet*

Sekä huonelämpötilojen että sisäilmansuhteellisen kosteuden mittauksessa pyrittiin minimoimaan mittauksen suorittamiseen, valitseviin olosuhteisiin ja mittavaan järjestelmään liittyviä virheitä. Nämä mitattiin samalla mittarilla, joka asetettiin olohuoneen tai keittiöön pöydälle mahdollisimman keskelle tilaa, jossa mittaukset suoritettiin. Mittaria ei asetettu suoraan auringon paisteeseen.

Asuntoon tultaessa mittari asetettiin heti mittauspaikalle ja lukemat katsottiin vasta asunnosta lähtiessä, joten mittari ehti asettua hyvin mittaviin olosuhteisiin. Valviran ohjeistuksen [1] mukaan huonelämpötila tulee mitata oleskeluvyöhykkeeltä noin 1,1 metrin korkeudelta. Pöytien korkeus vaihteli noin 0,6–1 metrin välillä. Tästä ei arvioida aiheutuvan suurta virhettä.

Jos mittaustilanteeseen liittyi jotain poikkeavaa, kuten ruuanlaittoa huoneistossa, asia kirjattiin muistiin.

Ilman suhteellisen kosteuden ja huonelämpötilan mittausten suurin vaikuttava virhelähde on mittarin sisäinen virhe. Lämpötilamittauksessa AIRFLOW TA440 -mittarin virhe mittausvälillä  $-10...+60\text{ °C}$  on  $\pm 0,3\text{ °C}$  ja suhteellisen ilmakosteuden mittauksessa mittausvälillä 5–95 % virhe on  $\pm 3\text{ %}$ . Mittaukset virheineen on esitetty kuvassa 16 sivulla 35.

### *Poistoilmavirtojen mittausten virhelähteet*

Poistoilmanvirtaamien mittauksiin liittyi mittarilaitteen sisäisen virheen lisäksi sekä valittuun mittauslaitteistoon ja sen käyttöön, että mitattavaan järjestelmään liittyviä virhelähteitä. Ilmavirrat mitattiin AIRFLOW LGA501 -mittarilla, johon yhdistettiin kantikaskartio keittiön liesituulettimen suuaukon mittauksessa ja ympyräkartio muiden poistoilmaventtiilien mittauksissa. Mittaukseen liittyviä virheitä on listattu tähän alle.

- Ilmanvaihtokanavia ja liesituulettimen rasvasuodattimia ei puhdistettu mittauksia varten. Kanavat on puhdistettu ja ilmamäärät säädetty noin 2 vuotta ennen kevään mittauksen suorittamista. Koska tehtyjen mittauksen tarkoituksena ei ollut säätää järjestelmää, vaan pikemmin selvittää käytön aikaisia ilmavirtoja ja niiden riittävyyttä, ei tästä aiheutuvaa virhettä huomioida erityisemmin.
- SFS-EN 16211 [2] standardin mukaan käytetyn mittausmenetelmän virhelähteenä on mittausstorven aiheuttama painehäviö. Kun mittausmenetelmää sovelletaan standardin mukaan varmistaen, että mittausstorvet ovat tiivistä alakaton pintaa vastaan, voidaan käyttää standardia virhettä  $\pm 5 \%$ . Tätä standardia virhettä käytetään vaatehuoneiden, kodinhoitohuoneiden ja erillisten WC-tilojen mittauksissa, sillä näissä tiloissa päästiin mittausjärjestelyissä lähelle standardia. Keittiössä liesituulettimen suuaukon virtausmittauksessa käytettävissä oleva kartio oli hieman liian pieni, joten mittausvirhe on paljon tätä suurempi. Liian pienen kartion tähden tulos on todellista pienempi, joten positiivisen virheen arvioidaan olevan  $25 \% + 2$  yksikköä ja negatiivinen virhe arvioidaan olevan  $-10 \%$ . Suihkutiloissa ja saunassa paneelikatopinta esti torven asettamisen tiivistä sisäkattoon vasten. Näissä tiloissa virhe arvioidaan olevan  $\pm 7 \%$ . Pesutuvan huippuimurin palvelualueen ja lämmittämättömien häkkivarastojen poistojen mittauksiin käytetään samaa virhettä kuin sauna- ja suihkutiloihin käytetty virhettä.
- Mittalaitteen tarkkuus ja sisäinen virhe on ilmoitettu laitteiston käyttöohjeissa olevan  $0,25\text{--}30 \text{ m/s}$  mittausvälillä  $\pm 1,0 \% \pm 0,02 \text{ m/s}$ . Koska suoritettavat mittaukset ovat lähellä arvoa  $1 \text{ m/s}$ , arvioidaan virtaaman  $\pm 0,02 \text{ m/s}$  virheen olevan  $2 \%$ . Saadaan tähän kohtaan virhearvioiksi  $3 \%$ .

Edellä kuvatut virheet arvioidaan kumulatiivisiksi. Jolloin saadaan seuraavanlaiset virheet mittauksille.

Taulukko 1. Poistoilmavirtojen mittauksen virherajat tilakohtaisesti

Tila	Negatiivinen virhe	Positiivinen virhe
Keittiö	$-13 \%$	$+ 28 \% + 2 \text{ dm}^3/\text{s}$
erillinen WC, kodinhoitohuone, vaatehuone	$-8 \%$	$+ 8 \%$
Suihkutila, sauna, pesutuvan huippuimurin palvelualue ja lämmittämättömät häkkivarastot	$-10 \%$	$+10 \%$

*Virheen eteneminen kaavassa*

Mitatuista ilmajäroista esitetään tässä opinnäytteessä huoneistojen ilmanvaihtokertoimet. Tässä on esitetty tapa millä mittausvirheet siirtyvät laskettaviin tuloksiin.

Summa ja erotuslaskuissa virheen eteneminen voidaan laskea neliösummien neliöjuurena. Jos siis lähtötilanne on esimerkiksi  $a = b + c$ , jossa b ja c ovat mitattuja arvoja, niin a:n virhe lasketaan kaavan 1 avulla.

$$\Delta a = \sqrt{\Delta b^2 + \Delta c^2} \quad (1),$$

jossa  $\Delta a$  on a:n virhe,  $\Delta b$  on b:n virhe ja  $\Delta c$  on c:n virhe. [3, s. 44.]

Kerto- ja jakolaskuissa virhe etenee suhteellisten neliösummien neliöjuurena. Jos lähtökaava on  $a = bc$ , jossa b ja c ovat mitattuja arvoja, niin a:n virhe lasketaan kaavan 2 avulla.

$$\Delta a = a \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2} \quad (2),$$

jossa  $\Delta a$  on a:n virhe,  $\Delta b$  on b:n virhe ja  $\Delta c$  on c:n virhe. [3, s. 46.]

Sovelletaan esimerkinomaisesti yllä olevia kaavoja asunnon C11 ilmanvaihtokertoimen virheen laskemiseen.

Taulukko 2. Asunnon C11 keväällä 2019 suoritettujen mittauksille tehty esimerkkilaskenta mittausvirheestä ja sen etenemisestä summassa kaavan 1 mukaan.

Tila	mittaustulos (dm <sup>3</sup> )	positiivinen virhe	negatiivinen virhe
Keittiö	23	$23 \cdot 28 \% + 2 \approx 6 + 2 = 8$	$23 \cdot 13 \% \approx 3$
erillinen wc	6	$6 \cdot 8 \% \approx 0,5$	$6 \cdot 8 \% \approx 0,5$
kodinhuutohuone	5	$5 \cdot 8 \% \approx 0,4$	$5 \cdot 8 \% \approx 0,4$
vaatehuone	3	$3 \cdot 8 \% \approx 0,2$	$3 \cdot 8 \% \approx 0,2$
suihku	11	$11 \cdot 10 \% \approx 1$	$11 \cdot 10 \% \approx 1$
sauna	7	$7 \cdot 10 \% \approx 1$	$7 \cdot 10 \% \approx 1$
Yhteensä	55	$\sqrt{8^2 + 0,5^2 + 0,4^2 + 0,2^2 + 1^2 + 1^2} \approx 8$	3
Yhteensä - sauna	48	8	3



Lasketaan vielä asunnon ilmanvaihtokerroin ja sen virhe. Ilmanvaihtokerroin lasketaan seuraavasti:

$$\text{ilmanvaihtokerroin} = \frac{q_{\text{poisto}}}{V_{\text{asunto}}} \times 3,6 \quad (3),$$

jossa  $q_{\text{poisto}}$  on poistoilmavirrat ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ), joista vähennetään saunan ilmavirta. Saunan ilmavirtaa ei oteta huomioon laskettaessa asunnon ilmanvaihtokerrointa, jos saunan ulkoilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirta [4, s. 10].  $V_{\text{asunnot}}$  on asunnon ilmatilavuus pois lukien saunan ilmatilavuus ( $\text{m}^3$ ) ja 3,6 on yksiköiden muutoskerroin.

Asunnon C11 pinta-ala on  $95 \text{ m}^2$ . Tälläkin arvolla on virhe. Koska se ei ole mitattu tässä yhteydessä vaan lähdeaineistosta otettu arvo, jossa virhettä ei ole ilmoitettu, otetaan tämä luku laskentaan ilman virhettä. C11:n ilmanvaihtokerroin keväällä mitatuista suurimman puhallinnopeuden poistoilmamääristä laskien on

$$\text{ilmanvaihtokerroin} = \frac{48 \left( \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \right)}{95 (\text{m}^2) * 2,6(\text{m})} \times 3,6 = 0,6996$$

Lasketaan sitten positiivisen virheen eteneminen kaavan 2 mukaisesti.

$$\Delta \text{ilmanvaihtokerroin} = 0,6996 \sqrt{\left( \frac{8}{48} \right)^2} \approx 0,1$$

Taloyhtiön kaikkien asuntojen ilmanvaihtokertoimet virheineen on esitetty kuvassa 10 sivulla 22.

Asunnon C11 syksyllä 2019 tehtyjen ilmamäärien mittausten tulokset virherajoineen on esitetty liitteessä 3.

## Liitteen 2 lähteet

- 1 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa 1. 8/2016. Helsinki: Valvira
- 2 SFS-EN 16211 Ventilation for buildings. Measurement of air flows on site. Methods Helsinki: 2015

- 3 Hiltunen, Erkki & Linko, Linnéa & Hemminki, Sari & Hägg, Margareta & Järvenpää, Eila & Saarinen, Pertti & Simonen, Seppo & Kärhä, Petri. 2011. Laadukkaan mitaamisen perusteet. Espoo: Metrologian neuvottelukunta. Verkkoaineisto. VTT. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>> 12.12.2011. Luettu 30.10.2020.
- 4 Perustelumuuisto: Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma, tausta-aineistoa. Helsinki: Ympäristöministeriö.

### Liite 3. Asunnon C11 ilmamäärien mittaustulokset virherajoiineen

Taulukko 1. Asunnon C11 poistoilmamäärien syksyn 2019 mittaustulokset virherajoiineen. Virhetarkastelu esitelty liitteessä 2. Mittausyksikkönä  $\text{dm}^3/\text{s}$ . Keittiön virheraja on suurempi positiivisen suuntaan kuin negatiiviseen suuntaan, johtuen käytetyistä mittausvälineistä.

Puhallinasetus/pellin asento	tehostus/auki		normaali/auki		tehostus/kiinni		normaali/kiinni	
	mittaus	virhe	mittaus	virhe	mittaus	virhe	mittaus	virhe
keittiö	20	+8 -3	13	+6 -2	2,9	+3 -0,4	3,2	+3 -0,4
sauna	7	$\pm 1$	5	$\pm 1$	9	$\pm 1$	7	$\pm 1$
WC	7	$\pm 1$	4,0	$\pm 0,3$	9	$\pm 1$	7	$\pm 1$
vaatehuone	3	$\pm 0,2$	1,9	$\pm 0,2$	3,9	$\pm 0,3$	3,0	$\pm 0,2$
kodinhuone	4	$\pm 0,3$	2,9	$\pm 0,2$	6	$\pm 1$	4,2	$\pm 0,3$
suihku	11	$\pm 1$	7	$\pm 1$	15	$\pm 2$	11	$\pm 1$

## Liite 4. Ulkolämpötilan pysyvyys ja lämmitystarveluvut

Taulukko 1. Lämmitystarveluvut laskettuna lämpötilapysyvyysarvoista sisälämpötilalla 21 °C. Aineistona on käytetty tasaaslaskentaoppaan esimerkkiä [1].

T <sub>ulkoilma</sub> (°C)	2012 [2]	ΔT (K)	ΔT (d)	S <sub>i</sub> (Kd)
-21	0	42	0	0
-20	0,0008	41	0,292	12
-19	0,003	40	0,803	32
-18	0,0056	39	0,949	37
-17	0,008	38	0,876	33
-16	0,0114	37	1,241	46
-15	0,0177	36	2,2995	83
-14	0,0272	35	3,4675	121
-13	0,0344	34	2,628	89
-12	0,0426	33	2,993	99
-11	0,0485	32	2,1535	69
-10	0,0541	31	2,044	63
-9	0,0597	30	2,044	61
-8	0,0684	29	3,1755	92
-7	0,0826	28	5,183	145
-6	0,0993	27	6,0955	165
-5	0,1186	26	7,0445	183
-4	0,1385	25	7,2635	182
-3	0,1605	24	8,03	193
-2	0,1849	23	8,906	205
-1	0,2119	22	9,855	217
0	0,2463	21	12,556	264
1	0,3055	20	21,608	432
2	0,3619	19	20,586	391
3	0,4144	18	19,1625	345
4	0,4548	17	14,746	251
5	0,4868	16	11,68	187
6	0,5212	15	12,556	188
7	0,553	14	11,607	162
8	0,5872	13	12,483	162
9	0,6192	12	11,68	140
10	0,6517	11	11,8625	130
11	0,6848	10	12,0815	121
12	0,7183	9	12,2275	110
			Yhteensä	5011

**Liitteen 4 lähteet:**

- 1 Saari, Mikko & Nyman, Mikko & Kokko, Erkki & Vuolle, Mika. 2017. Tasauslaskenta-opas 2018 – Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohje. Helsinki: VTT expert service.
- 2 Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa - Ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvot. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. Luettu: 22.3.2020.

**Liite 5. Ilmamäärät asunnoissa A1, A2, B8 ja C11 mittausten, D2/1978:n, LVI 30-10086:n ja vuoden 2017 rakentamismääräysten mukaan**

Asunnon C11 tarkemmassa tarkastelussa ja korjausvaihtoehtoissa tarvitaan tietoa huonekohtaisista ilmamääristä. Seuraaviin taulukkoihin on koostettu nykyiset mitatut sekä 1978 vuoden määräyksiä ja nykymääräyksiä soveltaen suunnitellut ilmamäärät normaalitilanteessa. Lisäksi asunnon C11 tehostus- ja ruuanlaitto-tilanteiden ilmamäärät on myös ilmoitettu. Suunniteltuja tilakohtaisia tehostusilmamääriä ei ole välttämätöntä esittää, koska ne asettuvat toisiinsa suhteessa tehostukseen ja liesituulettimen pellin asentoon [1, s. 11]. Asunnon C11 tehostus- ja ruuanlaitto-tilanteista on jätetty tuloilmamäärät kirjaamatta nyky- ja D2/1978:n [2] tilanteessa, sillä ei voida tietää, kuinka paljon tulee venttiilien kautta ja kuinka paljon vuotoilmana näissä tilanteissa.

Kustakin asuntokoosta/-tyypistä on esitetty arvot yhden esimerkkiasunnon avulla. Asunto A1 edustaa pienimpiä asuntoja (47 m<sup>2</sup>, sauna 2,5 m<sup>2</sup>, 2h+kk) taulukossa 4, asunto A2 toiseksi pienimpiä asuntoja (60 m<sup>2</sup>, sauna 3 m<sup>2</sup>, 2h+k) taulukossa 5, asunto B8 toiseksi isoimpia asuntoja (70 m<sup>2</sup>, sauna 3 m<sup>2</sup>, 3h+k) taulukossa 6 ja asunto C11 isoimpia asuntoja (95 m<sup>2</sup>, sauna 3 m<sup>2</sup>, 5h+k) (taulukoissa 1–3).

Taulukko 1. Asunnon C11 normaalitilanteen ilmamääriä. Nykytilanteen poistoilmamäärät ovat mittaustuloksia. Virherajat on jätetty selkeyden vuoksi pois. Nykytilanteen arvoissa ja D2/1978 [2] tuloilmamäärät on laskettu LVI 30-10086:n [3] ohjeiden mukaan sitten, että noin 55 % tarvittavasta korvausilmasta suunnitellaan tulevan venttiilien kautta ja loput vuotoilmana.

		Nykytilanne ja LVI 30-10086 [3]		D2/1978 [2] ja LVI 30-10086 [3]		2017 määräykset [1]	
		tulo	poisto	tulo	poisto	tulo	poisto
MH1	10	3		8		12	
MH2	7,5	3		4		8	
MH3	10	3		4		8	
MH4	8	3		4		8	
OH	16	2		2		8	
Keittiö	13,5		-13		-12		-8
WC	2,5		-4		-8		-10
Kodinhuone	6		-3		-3		-9
Suihku	6		-7		-8		-10
Sauna	3	5	-5	6	-6	6	-6
vaatehuone	2,5		-2		-3		-7

eteinen + TK	10						
<b>Yhteensä</b>	<b>95</b>	<b>19</b>	<b>-34</b>	<b>28</b>	<b>-40</b>	<b>50</b>	<b>-50</b>
<b>Ilmanvaihtoluku</b>			<b>0,44</b>		<b>0,51</b>		<b>0,66</b>

Taulukko 2. Asunnon C11 tehotustilanteen ilmamääriä.

	Nykytilanne ja LVI 30-10086 [3]		D2/1978 [2] ja LVI 30-10086 [3]		2017 määräykset [1]	
	tulo	Poisto	tulo	poisto	tulo	poisto
MH1					16	
MH2					11	
MH3					10	
MH4					10	
OH					10	
Keittiö		-3		-3		-10
WC		-9		-12		-13
kodinhuone		-6		-5		-12
Suihku		-15		-12		-13
Sauna	9	-9	9	-9	8	-8
Vaatehuone		-4		-5		-9
eteinen + TK						
<b>Yhteensä</b>		-46		-46	65	-65
<b>ilmanvaihtoluku</b>		0,56		0,56		0,86

Taulukko 3. Asunnon C11 ruuanlaitto-tilanteen ilmamääriä.

	Nykytilanne ja LVI 30-10086 [3]		D2/1978 [2] ja LVI 30-10086 [3]		2017 määräykset [1]	
	Tulo	Poisto	tulo		pinta-ala	tulo*
MH1					17	
MH2					11	
MH3					11	
MH4					11	
OH					11	
keittiö		-20		-22		-25
WC		7		-8		-10
kodinhuone		-4		-3		-9
suihku		-11		-8		-10
sauna	7	-7	6	-6	6	-6
vaatehuone		-3		-3		-7
<b>Yhteensä</b>		-53		-50	67	-67
<b>ilmanvaihtoluku</b>		0,68		0,66		0,92

Taulukko 4. Asunnon A1 normaalitilanteen ilmamääriä. Nykytilanteen poistoilmamäärät ovat mittaustuloksia. Virherajat jätetty selkeyden vuoksi pois. Nykytilanteen arvoissa ja D2/1978 [2] tuloilmamäärät on laskettu LVI 30-100086 [3] ohjeiden mukaan siten, että noin 55 % tarvittavasta korvausilmasta suunnitellaan tulevan venttiilien kautta ja loput vuotoilmana.

	Nykytilanne ja LVI 30-10086 [3]		D2/1978 [2] ja LVI 30-10086 [3]		2017 määräykset [1]	
	tulo	poisto	tulo	poisto	tulo	poisto
MH	8		8		12	
OH	2		2		8	
keittokomero		-10		-12		-10
suihku + WC		-10		-8		-10
sauna	3	-3	5	-5	6	-6
<b>Yhteensä</b>	<b>13</b>	<b>-23</b>	<b>15</b>	<b>-25</b>	<b>26</b>	<b>-26</b>
<b>ilmanvaihtoluku</b>		<b>0,62</b>		<b>0,62</b>		<b>0,62</b>

Taulukko 5. Asunnon A2 normaalitilanteen ilmamääriä. Nykytilanteen poistoilmamäärät ovat mittaustuloksia. Virherajat jätetty selkeyden vuoksi pois. Nykytilanteen arvoissa ja D2/1978 [2] tuloilmamäärät on laskettu LVI 30-100086:n [3] ohjeiden mukaan sitten, että noin 55 % tarvittavasta korvausilmasta suunnitellaan tulevan venttiilien kautta ja loput vuotoilmana.

	Nykytilanne ja LVI 30-10086 [3]		D2/1978 [2] ja LVI 30-10086 [3]		2017 määräykset [1]	
	tulo	poisto	tulo	poisto	tulo	poisto
MH	8		10		13	
OH	2		2		8	
keittiö		-10		-12		-10
suihku + WC		-14		-15		-11
sauna	7	-7	6	-6	6	-6
<b>Yhteensä</b>	<b>17</b>	<b>-31</b>	<b>18</b>	<b>-33</b>	<b>27</b>	<b>-27</b>
<b>Ilmanvaihtoluku</b>		<b>0,58</b>		<b>0,66</b>		<b>0,51</b>

Taulukko 6. Asunnon B8 normaalitilanteen ilmamääriä. Nykytilanteen poistoilmamäärät ovat mittaustuloksia. Virherajat jätetty selkeyden vuoksi pois. Nykytilanteen arvoissa ja D2/1978 [2] tuloilmamäärät on laskettu LVI 30-100086:n [3] ohjeiden mukaan sitten, että noin 55 % tarvittavasta korvausilmasta suunnitellaan tulevan venttiilien kautta ja loput vuotoilmana.

	Nykytilanne ja LVI 30-10086 [3]		D2/1978 [2] ja LVI 30-10086 [3]		2017 määräykset [1]	
	tulo	poisto	tulo	poisto	tulo	poisto
MH1	3		8		13	
MH2	2		4		9	
OH	2		2		9	



keittiö		-3		-12		-8
suihku + WC		-7		-8		-10
sauna	3	-3	6	-6	6	-6
WC		-4		-3		-7
vaatehuone		0		-3		-6
<b>Yhteensä</b>	<b>13</b>	<b>-22</b>	<b>20</b>	<b>-32</b>	<b>37</b>	<b>-37</b>
<b>Ilmanvaihtoluku</b>		<b>0,29</b>		<b>0,54</b>		<b>0,64</b>

Siirtoilmamääriä arvioitaessa huomion arvoista on, että rakentamismääräyksen mukainen yläraja ovirakojen siirtoilmavirralla on 18 dm<sup>3</sup>/s [1]. Tämä ilmamäärä ei ylitä missään mitatuissa tai suunnitelluissa ilmamäärissä.

### Liitteen 5 lähteet:

- 1 Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. Suomen rakentamismääräyskokoelma, 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta taustamateriaali. Helsinki: FINVAC ry
- 2 Rakennusten ilmanvaihto. 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma, kumottu osa D2. Helsinki: Sisäministeriö
- 3 Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman sisäänoton suunnittelu. 1987 LVI 30-10086. Rakennustieto Oy. Kumottu.

## Liite 6. Huoltorakennuksen ilmanvaihdon lämpöenergiankulutuksen haarukointia

Taulukko 1. Lähtötiedot

$q_{\text{täys}}$ (poistoilmavirta täysteholla)	103 dm <sup>3</sup> /s
$q_{\text{puoli}}$ (poistoilmavirta puoliteholla)	15,3 dm <sup>3</sup> /s
$T_{s1}$ (sisäilman lämpötila 1)	21 °C
$T_{s2}$ (sisäilman lämpötila 2)	25 °C
$T_u$ (ulkolämpötila)	-21...+12 °C
$\rho_{\text{ilma}}$ (ilmantiheys)	1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$ (ilman ominaislämpökapasiteetti)	1000 J/kgK

Taulukko 2. Käyntiajalla painotetut ilmavirrat

	$t_v$	$t_d$	$q_{\text{täys,p}}$ (dm <sup>3</sup> /s)	$q_{\text{puoli,p}}$ (dm <sup>3</sup> /s)
1 h/päivä, joka päivä viikossa	7/7 = 1	1/24 = 0,04	4,29	0,64
5 h/päivä, joka päivä viikossa	1	0,21	21,5	3,19
10 h/päivä, joka päivä viikossa	1	0,42	42,9	6,38

Taulukko 3. Huoltorakennuksen energiankulutuksesta laskentaesimerkki, kun käyntiaika on 1 tunti päivässä, joka päivä viikossa, -14 °C:n lämpötilassa käytetään puolitehoa ja sisälämpötila on 21 °C. Lämpötilan pysyvyysarvoina käytetään liitteessä 3 esitettyjä arvoja.

$\Delta T$ (K)	$\Delta T$ (d)	$S_i$ (Kd)	$q_{p,1}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_1$ (kWh)
42	0	0	0,000638	0
41	0,292	12	0,000638	0,219806
40	0,803	32	0,000638	0,589723
39	0,949	37	0,000638	0,679522
38	0,876	33	0,000638	0,611168
37	1,241	46	0,000638	0,843036
36	2,2995	83	0,000638	1,519878
35	3,4675	121	0,000638	2,228216
34	2,628	89	0,004292	11,04391
33	2,993	99	0,004292	12,20785
32	2,1535	69	0,004292	8,517523
31	2,044	63	0,004292	7,83179
30	2,044	61	0,004292	7,579152
29	3,1755	92	0,004292	11,38226
28	5,183	145	0,004292	17,93733
27	6,0955	165	0,004292	20,3419
26	7,0445	183	0,004292	22,63821

25	7,2635	182	0,004292	22,44422
24	8,03	193	0,004292	23,82019
23	8,906	205	0,004292	25,31798
22	9,855	217	0,004292	26,79772
21	12,556	264	0,004292	32,59035
20	21,608	432	0,004292	53,41498
19	20,586	391	0,004292	48,34416
18	19,1625	345	0,004292	42,63273
17	14,746	251	0,004292	30,9843
16	11,68	187	0,004292	23,09837
15	12,556	188	0,004292	23,27882
14	11,607	162	0,004292	20,08475
13	12,483	162	0,004292	20,05768
12	11,68	140	0,004292	17,32378
11	11,8625	130	0,004292	16,12826
10	12,0815	121	0,004292	14,93273
9	12,2275	110	0,004292	13,60187
			<b>Yhteensä</b>	<b>581</b>