

Painovoimainen ilmanvaihto ja poistoilmahormien rakentaminen vanerista

LAB-ammattikorkeakoulu
Rakennusmestari (AMK)
2024
Pauli Parkkima

Tiivistelmä

Tekijä Pauli Parkkima	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2024
	Sivumäärä 28	
Työn nimi Painovoimainen ilmanvaihto ja poistoilmahormien rakentaminen vanerista		
Tutkinto ja koulutusala Rakennusmestari (AMK) Työnjohtokoulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja)		
Tiivistelmä <p>Kiinnostus painovoimaista ilmanvaihtoa kohtaan on kasvanut. Vaikka painovoimaisella ilmanvaihdolla on pitkät perinteet Suomessa, siitä tiedetään kuitenkin yllättävän vähän, eikä siihen liittyviä tutkimuksia juurikaan ole. Opinnäytetyössä käytiin lyhyesti läpi painovoimaisen ilmanvaihdon perusteita, suunnittelua ja säännöksiä.</p> <p>Poistoilmahormit ovat olennainen osa painovoimaperusteista ilmanvaihtoa, ja perinteisesti ne on valmistettu tiilestä ja puusta. Työssä poistoilmahormit rakennettiin vanerista, ja niiden rakentamista käytiin läpi kuvien avulla.</p> <p>Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan mittaaminen on haasteellista. Tutkimuksessa tarkasteltiin hormien toimintaa kesällä ja talvella kuukauden ajan, käyttäen apuna ilmanlaatumittaria. Mittarin avulla voidaan mitata radon-, VOC- ja hiilidioksidipitoisuuksia sekä ilmankosteutta, ilmanpainetta ja lämpötilaa.</p> <p>Opinnäytetyön ohjeiden avulla on helppo rakentaa poistoilmahormit vanerista. Toiminnan seuraamisen tulokset osoittivat, että vaneriset poistoilmahormit toimivat hyvin. Talvella painovoimainen ilmanvaihto toimii periaatteessa paremmin, mutta vedontunteen aiheuttamat ongelmat voivat ilmetä erityisesti kylmimpinä pakkasjaksoina. Opinnäytetyössä esitetään mahdollinen ratkaisu näihin haasteisiin. Ratkaisun toimivuutta ei kuitenkaan ehditty vahvistaa tutkimuksessa.</p> <p>Opinnäytetyö osoittaa, että painovoimainen ilmanvaihto vanerisine poistoilmahormeineen on varteenotettava vaihtoehto ilmanvaihtojärjestelmää valittaessa pientaloon.</p>		
Asiasanat Painovoimainen, hirsitalo, lamellihirsi, ilmanvaihto, ilmanvaihtojärjestelmät, sisäilma		

Abstract

Author Pauli Parkkima	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2024
	Number of Pages 28	
Title of Publication Natural ventilation and the construction of exhaust air ducts from plywood.		
Degree, Field of Study Bachelor of Construction Management (UAS)		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Abstract <p>The interest in natural ventilation has increased. Although natural ventilation has a long tradition in Finland, surprisingly little is known about it, and there is hardly any related research. Thesis briefly covers the basics, design, and regulations of natural ventilation.</p> <p>Exhaust air ducts play a vital role in natural ventilation, traditionally constructed from brick and wood. However, in the study, exhaust air ducts were innovatively crafted from plywood, and their construction is detailed with the aid of visual representations.</p> <p>Measuring the performance of natural ventilation is challenging. Research examines the operation of ducts during both summer and winter over a one-month period, utilizing an air quality monitor. The monitor enables the measurement of radon, VOC, and carbon dioxide concentrations, as well as air humidity, air pressure, and temperature.</p> <p>The thesis instructions make it easy to construct ventilation ducts from plywood. The results of monitoring the operation showed that plywood ventilation ducts perform well. In winter, natural ventilation theoretically works better, but problems caused by drafts can arise especially during the coldest freezing periods. The thesis presents a possible solution to these challenges. However, the effectiveness of the solution was not confirmed in the study.</p> <p>The thesis demonstrates that natural ventilation with plywood ventilation ducts is a viable option when selecting a ventilation system for a detached house.</p>		
Keywords natural ventilation, log house, laminated log, ventilation, ventilation systems, indoor air.		

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate.....	2
2.1	Luonnonvoimat moottorina	2
2.2	Hormivaikutus	3
2.3	Tuulen vaikutus	5
2.4	Tuloilmalaitteet, ikkunatuuletus ja säädettävyys	6
2.5	Energiatehokkuus	8
2.6	Painovoimaisen ilmanvaihdon heikkoudet.....	8
3	Sisäilmaa koskevia ohjeita ja säädöksiä.....	10
3.1	Ympäristöministeriön asetus	10
3.2	Määräystenmukaisuuden osoittaminen	10
4	Esimerkkitalo	13
4.1	Lamellihirsitalo	13
4.2	Tasauslaskenta	14
4.3	Tiivistäminen	15
5	Poistohormien rakentaminen.....	17
5.1	Ilmanvaihtokanavat vanerista	17
5.2	Hormin rakentaminen	18
5.3	Poistoilmaventtiili.....	21
6	Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan seuraaminen	23
6.1	Ilmamäärien mittaus.....	23
7.2	Ilmanlaadun seuranta	23
7	Yhteenveto ja pohdinta.....	27
	Lähteet	28

1 Johdanto

Ilman moottoria lentävä purjelentokone kauniina kesäpäivänä on monelle tuttu näky. Aika moni on myös tietoinen siitä, että sen ilmassa pysyminen ja lentäminen perustuu yhteen fysiikan peruslaista: lämmin ilma on kevyempää kuin kylmä ja nousee ylöspäin. Samainen fysiikan laki on myös keskeinen osa painovoimaista ilmanvaihtoa.

Nykyään painovoimaisen ilmanvaihdon rakentaminen pientaloon on helpompaa vuoden 2018 uudistuneen Suomen rakentamismääräyskokoelman myötä ja painovoimaisen ilmanvaihdon suosio onkin kasvanut. Painovoimaisella ilmanvaihdolla on Suomessa pitkät perinteet ja se sopii myös Suomen kylmiin olosuhteisiin hyvin.

Myös hirsi pientalojen rakennusmateriaalina on hyvin perinteinen ja myös hirsirunkoisten talojen suosio on kasvanut. Hirsi on toimiva ratkaisu varsinkin pientaloihin, joissa käytetään painovoimaista ilmanvaihtoa. Tämän työn esimerkkikohteena toimii lamellihirsitalo, johon rakennuttaja halusi painovoimaisen ilmanvaihdon. Kontio tuotteen Sarastus malli sopii hyvin myös tähän tarkoitukseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakentaminen vaati asiantuntemusta, valitettavasti rakennusmestarin opinnoissa aihetta ei juurikaan käsitellä. Painovoimainen ilmanvaihto valikoitui tämän opinnäytetyön aiheeksi kiinnostuksesta ja halusta oppia aiheesta lisää.

Tässä opinnäytetyössä rakennetaan painovoimaiseen ilmanvaihdon poistohormit vanerista ja tutkitaan järjestelmän toimintaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa käydään lyhyesti läpi, samalla kiinnittäen huomiota olennaisiin seikkoihin, jotka on otettava huomioon päädyttäessä rakentamaan painovoimainen ilmanvaihto. Tässä työssä keskitytään kahden vierekkäisen makuuhuoneen ja yhden vessan poistoilmahormien rakentamiseen.

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa on haastava mitata. Parasta tapa mitata painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa on pitkäaikainen seuranta. Talon valmistuttua seurattiin vaneristen ilmanvaihtohormien toimintaa yhden kuukauden ajan kesällä sekä alkutalvesta. Tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset esitetään tämän opinnäytetyön 6 luvussa.

Työn tavoitteena on tehdä tiivis tietopaketti rakennuttajalle, joka harkitsee painovoimaista ilmanvaihtoa. Tavoitteena on myös, että tämän työn ohjeilla pystyy rakentamaan poistoilmahormit painovoimaiseen ilmanvaihtoon vanerista.

2 Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate

2.1 Luonnonvoimat moottorina

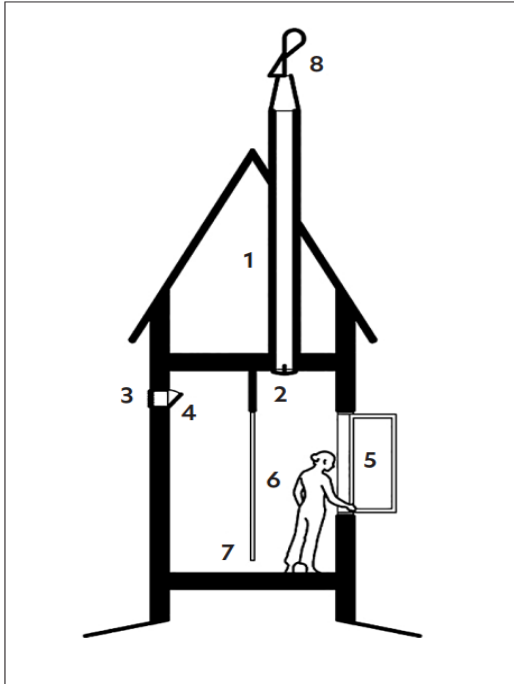
Purjelentokoneessa ei tarvita moottoria, vaan taitava lentäjä hyödyntää ylöspäin nousevia lämpimiä ilmavirtoja. Samaan tapaan painovoimainen ilmanvaihto ei moottoria kaipaa ja lentäjän tilalla on taitava suunnittelija, joka hallitsee painovoimaisen ilmanvaihdon lainalaisuudet ja osaa niiden perusteella mitoittaa tarvittavan järjestelmän. Järjestelmä toimii siis ilman ulkoista energiaa luonnonvoimien avulla ja siksi sitä kutsutaan myös luonnolliseksi ilmanvaihdoksi.

Suomessa suurimman osan vuodesta ulkona on kylmempää kuin sisällä. Kylmän ilmaston lämpötilaerot mahdollistavat hormivaikutuksen tehokkaan hyödyntämisen painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Pystysuuntaiset poistoilmahormit sekä tuloilma-aukot ovat olennainen osa hyvin toimivaa painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää. Kesällä lämpötilaerot eivät välttämättä ole tarpeeksi suuria synnyttääkseen riittävän suuria ilmavirtoja, silloin painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa ikkunoista tuulettamalla. Mahdollisuus tuulettaa onkin tärkeää painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tarvittaessa myös puhaltimilla, tällöin kyseessä on painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon yhdistelmä eli hybridi-ilmanvaihto. Yleensä koneellista tehostusta käytetään kosteissa tiloissa ja keittiössä. (Mikkola ym. 2022, 43–44.)

Tuloilma-aukoissa ja poistoilmahormeissa on oltava säädettävät venttiilit, jotka mahdollistavat ilmavirtojen säätämisen sääolosuhteiden mukaan. Venttiileitä säädetään vuodenajan mukaan ja ne mahdollistavat myös päivittäisen säädön tuuliolosuhteiden ja vuorokaudenajan mukaan. (Museovirasto. 2018. Painovoimainen ilmanvaihto, 7)

Kuvassa 1 on esitetty painovoimaisen ilmanvaihto järjestelmän tärkeimmät osat, jotka ovat:

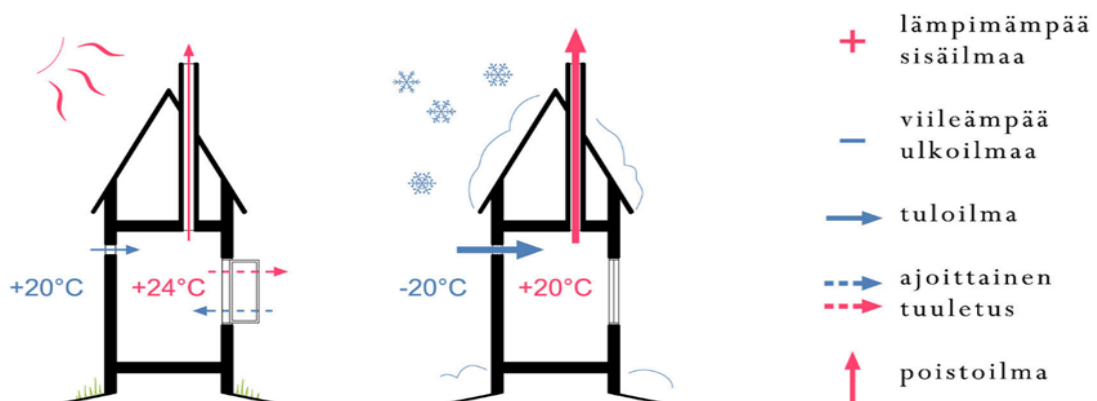
1. Poistoilmahormi
2. Poistoilmaventtiili
3. Tuloilma-aukko
4. Korvausilmaventtiili (tuloilma- ja raitisilmaventtiili)
5. Avattava ikkuna tai tuuletusluukku
6. Rakennuksen käyttäjä, säätää laitteita
7. Siirtoilma aukko, esimerkiksi ovirako
8. Vedonparantaja



Kuva 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon osat (Museovirasto. 2018. Painovoimainen ilmanvaihto, 4)

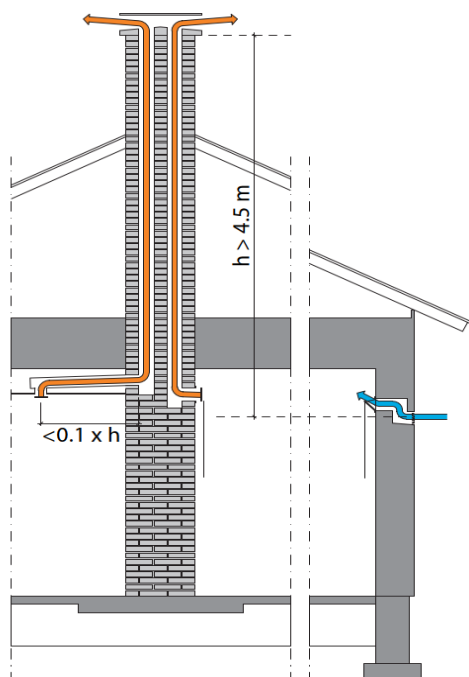
2.2 Hormivaikutus

Luonnolliseksi vedoksikin kutsuttu hormivaikutus saa voiman liikuttaa ilmaa lämpötilaerosta johtuvasta paine-erosta. Mitä suurempi lämpötilojen ero on, sitä suurempi on myös ilman liike hormoneissa. Pieni merkitys on myös ilman kosteudella, ilma on kevyempää mitä kosteampaa se on – vaikka sen voisi luulla olevan juuri toisinpäin. Kosteuden vaikutus on kuitenkin niin vähäinen että, sitä ei tarvitse huomioida hormivaikutusta arvioiessa. (Mikkola ym. 2022, 45–46.) Lämpötilaerojen vaikutusta havainnollistetaan kuvassa 2.



Kuva 2. Lämpötilaeron vaikutus (Mikkola ym. 2022, 45)

Hormivaikutus kasvaa hormin korkeuseron lisääntyessä. Korkeusero, joka mitataan tuloilmalaitteesta hormin yläpäähän, tulisi olla vähintään 4,5 metriä. Uutta asuinrakennusta suunniteltaessa tämä kannattaa ottaa huomioon ja rakentaa tarpeeksi korkea lämmittämätön ullakko. Virtausvastus kasvaa myös hormin pituuden kasvaessa, tästä syystä hormit onkin hyvä tehdä mahdollisimman pystysuoriksi välttämällä vaakavetoja ja mutkia. Hormin sivuttaissiirtymän ei tulisi olla yli 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta. (Kuuluvainen ym. 2018, 10.) Hormivaikutuksen korkeusero ja sivuttaissiirtymä tiilihormissa tuodaan esille kuvassa 3.

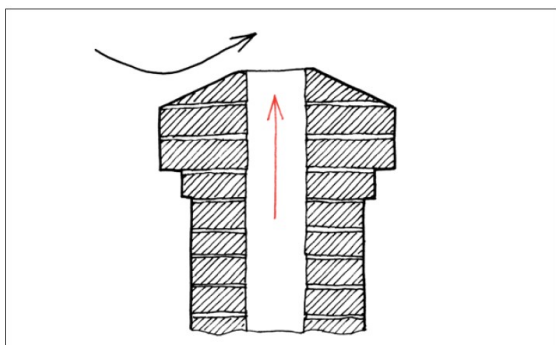


Kuva 3. Korkeuseron mittaaminen ja suositeltu sivuttaissiirtymän maksimi (Kuuluvainen ym. 2018, 11)

Ilman virtaukseen vaikuttaa myös hormin sisäpinnan karheus sekä poikkileikkauksen muoto. Mitä karheampi hormin sisäpinta on, sitä suurempi on virtausvastus. Pyöreissä ja neliön muotoisissa hormoneissa karheuden aiheuttama virtausvastus on kuitenkin aika vähäinen. (Mikkola ym. 2022, 46–47.) Perinteisesti ilmanvaihtohormit on rakennettu tulisijahormin viereen tiilestä ja ne on muurattu tiilen mittojen mukaan, puolen kiven (15 x 15 cm), $\frac{3}{4}$ -kiven (15 x 22 cm) ja koko kiven (15 x 29 cm) kokoisiksi. Tästä on myös se hyöty, että viereiset tulihormit lämmittävät ilmanvaihtohormia parantaen hormivaikutusta. Kylmät hormit onkin hyvä eristää, jotta vältetään ilman kylmenemisestä hormoneissa ja sitä kautta hormivaikutuksen heikkenemisestä. Ilmanvaihtohormeina käytetään myös pyöreitä muovi- ja pelitikanavia, joiden koot ovat yleensä 125 mm ja 160 mm. (Kuuluvainen ym. 2018, 10.)

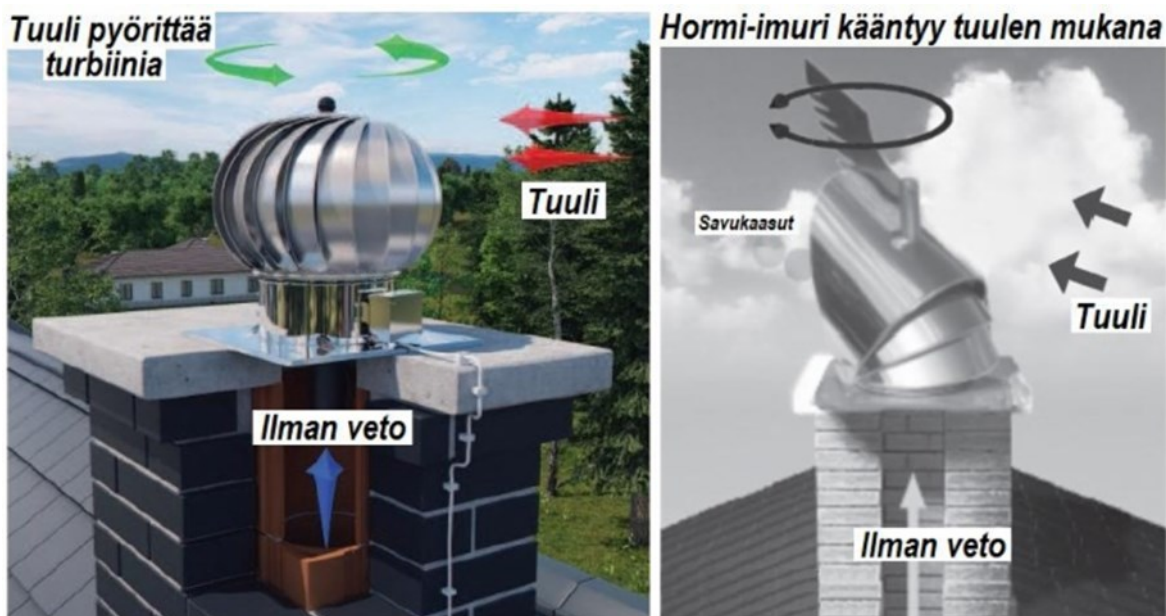
2.3 Tuulen vaikutus

Tuulesta on hyötyä painovoimaisessa ilmanvaihdossa etenkin kesällä. Kesällä lämpötilaerot ovat pienet ja se heikentää hormivaikutusta. Tuuli taas lisää alipainetta hormien yläpäässä tehostaen hormivaikutusta. Kesällä ilmanvaihdon venttiilit tulisi säätää isommalle, joka myös lisää tuulen vaikutusta. Vastaavasti talvella venttiilit säädetään pienemmälle, kun hormoneissa on vetoa hyvin lämpötilaeron aiheuttaman paine-eron takia. Tietyissä tilanteissa on myös mahdollista, että tuuli pääsee työntämään ilmaa hormiin aiheuttaen takaisinvirtausta. Tämä voidaan tehokkaasti estää rakentamalla hormit vähintään harjakorkeuteen. Tuulen vaikutusta voidaan parantaa myös hormin yläpään muotoilulla kuten kuvassa 4 on näytetty, myös sadehattu hormin päällä vähentää takaisinvirtausta. (Mikkola ym. 2022, 53–54.)



Kuva 4. Hyvä hormin yläpään muoto (Museovirasto. 2018. Painovoimainen ilmanvaihto, 10)

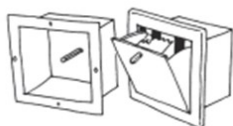
Takaisinvirtaus tarkoittaa, että ilma virtaa hormissa toiseen suuntaan kuin on suunniteltu. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei takaisin virtausta aina pystytä estämään. Lämpimään vuodenaikaan paine-erot ovat pieniä ja taikaisinvirtausta voi tapahtua huomaamatta, eikä tästä aiheudu suuremmin haittaa. Talvella tilanne on kuitenkin toisin, takaisinvirtaus aiheuttaa vedontunnetta kylmän ilman valuessa poistohormista huonetilaan. Tuuli voi synnyttää niin suuria paine-eroja, että takaisinvirtausta voi tapahtua myös talvella. Jos asuinrakennuksessa on laiminlyöty riittävä korvausilman saanti, voi takaisinvirtausta esiintyä tulisijaa lämmittäessä tai keittiön liesituulettimen ollessa päällä. Ilmanvirtausta voidaan parantaa myös käyttämällä tuulella toimivia vedonparantajia, jotka myös tehokkaasti estävät takaisinvirtauksen. (Museovirasto. 2018. Painovoimainen ilmanvaihto, 10.) Kuvassa 5 on kaksi erilaista tuulella toimivaa vedonparantajaa.



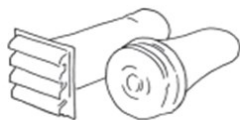
Kuva 5. Vedonparantaja (Viherpalvelut Ahonlaita Oy)

2.4 Tuloilmalaitteet, ikkunatuuletus ja säädettävyys

Painovoimaiseen ilmanvaihtoon liittyy olennaisena osana hyvä säädettävyys, koska painerot, ja sitä kautta ilman virtaus, vaihtelee merkittävästi sääolosuhteiden mukaan. Tuloilmakojeet ja poistoilmahormien venttiilit tulee olla helposti säädettäviä. Ulkoilman ollessa lämmin pidetään venttiilit kokonaan auki ja vastaavasti kireillä pakkasilla jopa ajoittain kokonaan kiinni. Ulkoilmaventtiili sijoitetaan yleensä seinän yläosaan ja sen olisi hyvä ohjata ilmavirta yläviistoon, jotta kylmempi ulkoilma sekoittuisi paremmin lämpimään sisäilmaan. Tämä ehkäisee tehokkaasti vedontunnetta kylmillä ilmoilla. Perinteinen kippiventtiili on hyvä vaihtoehto painovoimaiseen ilmanvaihtoon tuloilmalaitteeksi. (Kuuluvainen ym. 2018, 8–10.) Kuvassa 6 on esimerkkejä erilaisista tuloilmalaitteista.



Kippiventtiili.



Suodattimella varustettu lautasventtiili ja läpivientikappaleella varustettu ulkoilmasäleikkö.



Ulkolämpötilan mukaan säätävä lautasventtiili (vas.). Ulkoilmaventtiili, joka ohjaa ilmavirran sivuille vedon välttämiseksi (oik.).



Ulkoilmasäleikköjä.

Kuva 6. Tuloilmalaitteita (Kuuluvainen ym. 2018, 10)

Tuulettamalla ikkunoista ilmanvaihtoa on helppo tehostaa. Vaikka ulkoilma olisi kuumaa, ilmavirran liikkuminen saattaa saada ilman tuntumaan viileämmältä. Helteellä kanttaa tulettaa yöllä ilman ollessa viileämpää. Tehokkain tapa tulettaa on läpituuletus, jossa ikkunat aukaistaan talon vastakkaisilta sivuilta ja syntyy niin sanottu läpiveto. Läpiveto toimii usein, vaikka olisi tyyntä, sillä varjon puolella on yleensä viileämpää kuin aurinkoseinällä ja tästä aiheutuva paine-ero synnyttää ilmavirtauksen. (Mikkola ym. 2022, 59–60.)

Tuuletuksen tehokkuuden kannalta korkea ja kapea ikkuna on tehokkain. Varsinkin talvella, jos tuuletusta tarvitaan, oikeaoppinen tuuletusikkuna aiheuttaa voimakkaan tuuletusvirran, tehden tarvittavasta tuuletusajasta mahdollisimman lyhyen. Huoneen lämpötila laskee hetkellisesti nopeasti, mutta rakenteet eivät ehdi jäähtyä. Rakenteisiin sitoutunut lämpö nostaa huoneen lämpötilan nopeasti takaisin ennen tuuletusta vallinneeseen lämpötilaan, kun ikkunat on suljettu. (Kaijalainen 1990.)

2.5 Energiatehokkuus

Painovoimisessa ilmanvaihdossa lämmöntalteenotto poistoilmasta on käytännössä mahdotonta. Kylmässä ilmastossa tällainen järjestelmä ei kuullosta kovin energiatehokkaalta. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä ei kuitenkaan tarvitse sähköä toimiakseen ja se on pitkäikäinen sekä vähän huoltoa tarvitseva. Vastaavasti koneellinen ilmanvaihto tarvitsee sähköä toimiakseen. Tehokkaita suodattimia ei välttämättä Suomessa tarvita ilman puhdistamiseen ihmisille, mutta ilmanvaihtokoneet tarvitsevat hyvin puhdasta ilmaa toimiakseen edes jonkun aikaa ja suodattimia on vaihdettava usein. Otettaessa huomioon ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisenergiankulutus sisältäen sen käyttöikä ja sen aikana kulutettu energia, sekä rakentamiseen, korjaamiseen, huoltamiseen ja purkamiseen käytettävä energia, niin painovoimainen ilmanvaihto voi olla jopa koneellista ilmanvaihtoa energiatehokkaampi ratkaisu. (Mikkola ym. 2022, 61–64.)

Tampereen yliopiston tekemässä tutkimuksessa 2000-luvun alussa selvitettiin ilmanvaihtojärjestelmän yhteyttä toteutuneeseen energiankulutukseen. Selvisi, että rakennuksissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto, kokonaisenergian kulutus oli keskimäärin pienempi kuin rakennuksissa, joissa oli koneellinen ilmanvaihto. (Vinha ym. 2005, 37.) Ilmanvaihtojärjestelmää valittaessa pientaloon ei painovoimaista ilmanvaihtoa kannata jättää valitsematta ainakaan energiansäästön takia. Rakennuksen käyttäjä vaikuttaakin rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen merkittävästi enemmän kuin ilmanvaihtojärjestelmä.

2.6 Painovoimaisen ilmanvaihdon heikkoudet

Ei sovellu ilmansaaste- eikä meluympäristöön

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa paine-erot ovat pieniä. Koneellisessa ilmanvaihdossa herkästi esiintyvää liian suurta alipainetta ei painovoimaisessa ilmanvaihdossa pääse syntymään eikä mahdollisia haitallisia epäpuhtauksia pääse imeytymään sisäilmaan rakenteista. Toisaalta, jos ulkoilmaa joudutaan suodattamaan esimerkiksi liikenteen saasteista, painovoimaisen ilmanvaihdon vähäinen paine-ero ei sovellu tehokkaaseen suodatukseen. Painovoimainen ilmanvaihto on itsessään lähes äänetön, toisin kuin koneellinen, jossa puhaltimet pitävät aina jonkinlaista ääntä. Ikkunatuuletus sekä lyhyet tuloilmakanavat päästävät ulkoilman ääniä kuitenkin läpi. Painovoimainen ilmanvaihto ei sovikaan vilkasliikenteisille alueille, joista aiheutuu paljon melua ja ilmansaastetta. (Kuuluvainen ym. 2018, 6.)

Lämmittämätön tuloilma voi aiheuttaa vetoa

Talvella ulkoilmassa on vain vähän kosteutta ja mitä enemmän ilmaa vaihdetaan, sitä enemmän sisäilma kuivuu. Kuiva sisäilma aiheuttaa paljon ongelmia. Painovoimaisessa

ilmanvaihdossa viileä ilma tuloilmaventtiileistä aiheuttaa helposti vedontunnetta ja tämä toisaalta ohjaa käyttäjää säätämään venttiileitä pienemmälle, jolloin ilmaa ei vaihdeta liiallisesti. Näin säästy samalla energiaa ja kuivasta sisäilmasta aiheutuvat ongelmat vähenevät. (Mikkola ym. 2022, 65–67.)

Sisäolosuhteista ei saada täysin tasalaatuisia

Ulkoilman olosuhteet vaikuttavat painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan ja sisäilmasta ei saa täysin tasalaatuisia. Suomessa on kuitenkin neljä vuoden aikaa ja ihmisetkin ovat siihen luonnostaan tottuneet. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa talvella tuloilma on viileämpää ja kesällä lämpimämpää. Kesällä täytyy välillä tuulettaa, jotta sisäilman laatu saadaan pidettyä hyvänä, jos vaihtelut hyväksytään normaalina vuodenaikojen vaihteluna, voidaan säästää samalla energiaa. Painovoimainen ilmanvaihto tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että ilmanvaihtoa on käyttäjän helppo säätää. Painovoimaista ilmanvaihtoa voi usein myös säätää huonekohtaisesti. (Mikkola ym. 2022, 65–67.) Tuuletusikkunoihin voidaan lisätä suodattimet, jotka estävät siitepölyn ja pienhiukkasten kulkeutumisen sisälle tuuletus ikkunan ollessa auki. Kuvassa 7 on eräs ikkunasuodatin ja ohjeet sen asentamiseksi.



Kuva 7. ikkunasuodatin ja ohjeistus. (Ilmatalo Oy 2023)

3 Sisäilmaa koskevia ohjeita ja säädöksiä

3.1 Ympäristöministeriön asetus

Rakentamismääräyskokoelmaa on uudistettu vuodesta 2013 alkaen ja uudistustyö saatiin valmiiksi 2017 lopussa. Ympäristöministeriön uudet asetukset ovat olleet voimassa vuoden 2018 alusta alkaen. (Ympäristöministeriö tiedote 2017.) Suurin muutos aikaisempaan, koskien painovoimaista ilmanvaihtoa, on lämmöntalteenoton vaatimuksen poistuminen ilmanvaihtolaitteistosta. Lämmöntalteenotto aiheuttaa painehäviötä ja tämän takia sitä on lähes mahdotonta toteuttaa painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon suunnittelua ja rakentamista ohjaa Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 sekä painovoimaisen ilman vaihdon opas. (Kuuluvainen ym. 2018, 1–3.)

Ilmanvaihtoasetus (*Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017*) Määrittää painovoimaista ilmanvaihtoa seuraavasti:

- *Painovoimaisessa järjestelmässä ilmanvaihtoventtiilien on oltava helposti suljettavissa.*
- *Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei voida yhdistää yhden asunnon nousukanavia eikä käyttää usean asunnon yhteisiä nousukanavia.*
- *Painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää, koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää tai koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää ei saa suunnitella yhdistettäväksi siten, että ilman virtaussuunnat huonetilojen välillä ja kanavistoissa voivat muuttua ilmavirtoja ohjattaessa.*
- *Rakennuksen painovoimaisen tai koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän on oltava luja ja tiiviydeltään vähintään tiiviysluokkaa B. Jos poistoilmassa on merkittävästi muita kuin ihmisperäisiä epäpuhtauksia, on tiiviysluokan oltava vähintään C.*

Asetuksessa 1009/2017 määrätään myös, että laskettu ulkoilmavirta asuinneliötä kohden tulee olla vähintään 0,35 dm³/s.

3.2 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

Ennen painovoimaiseen ilmanvaihtoon päätymistä kannattaa selvittää rakennusviranomaisen kanta painovoimaiseen ilmanvaihtoon, eri kunnissa käytännöt vaihtelevat suurestikin. Myös rakennuspaikalla on suuri merkitys, jos ilmaa joudutaan suodattamaan paljon, esimerkiksi katupölyn takia, rakennukseen ei välttämättä kannata valita painovoimaista

ilmanvaihtoa. Ilman suodattaminen laskee paine-eroa ja tarvittavaa ulkoilmanvirtausta on vaikea saavuttaa.

Yksinkertaisimmillaan ilmavirtojen riittävyttä voidaan arvioida tarkastelemalla järjestelmän kokoonpanoa. Jos rakennusvalvonta edellyttää tarkempia laskelmia, niin yksittäisen hormin vaihtama ilmamäärä voidaan todeta riittävän tarkasti painovoimaisen ilmanvaihdon opasta löytyvistä taulukoista. Hormien ilmavirrat on myös mahdollista selvittää tarkasti laskemalla erilaisten kaavojen avulla, mutta pientaloissa tällaiseen ei ole tarvetta. Yleensä riittää, että pätevä suunnittelija arvio hormivirtojen riittävyyden järjestelmän perusteella. Suunnittelijaksi kannattaa valita henkilö, joka on perehtynyt painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Kuvassa 8 on neljä taulukkoa, joiden avulla voidaan arvioida hormivirtausta ja tuloilmalaitteen tarvittavaa kokoa. Yleensä pientalossa hormivaikutuksen korkeusero on pieni, neljä metriä on kuitenkin riittävä. Taulukosta nähdään, että neljän metrin korkeuserolla painehäviö ei voi olla suurempi kuin 1,5 Pa. Yksikerroksisessa pientalossa käytetään vihreää taulukkoa ja myös ulkoilmalaitte valitaan vihreältä alueelta. Taulukot on mitoitettu 10 °C ulkolämpötilalle ja 21°C sisälämpötilalle, näin varmistutaan siitä, että hormit toimivat hyvin suurimman osan vuodesta. Tuulen vaikutusta taulukoissa ei ole otettu huomioon. (Kuuluvainen ym. 2018, 10; Mikkola ym. 2022, 189–191.)

Taulukko 1: Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 1,5 Pa (painetaso 1).

Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C)							
Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	∅ 200 mm	∅ 160 mm	∅ 125 mm
		max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s
Seloste	metriä						
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	12	9	6	9	6	3
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	28	20	13	21	13	8
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	36	26	17	27	17	10

Taulukko 2: Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 2,5 Pa (painetaso 2).

Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C)							
Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	∅ 200 mm	∅ 160 mm	∅ 125 mm
		max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s
Seloste	metriä						
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	-	-	-	-	-	-
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	17	12	8	13	8	5
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	29	21	14	23	14	8

Taulukko 3: Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 3,5 Pa (painetaso 3).

Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C)							
Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	∅ 200 mm	∅ 160 mm	∅ 125 mm
		max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s
Seloste	metriä						
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	-	-	-	-	-	-
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	-	-	-	-	-	-
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	20	15	9	16	9	5

Taulukko 4. Ulkoilmalaitteen säleikön, kanavan ja venttiilin koko voidaan valita mitoitusilmamäärän mukaan alla olevan taulukon avulla (vihreä, keltainen tai oranssi tausta painetasoa vastaavasti).

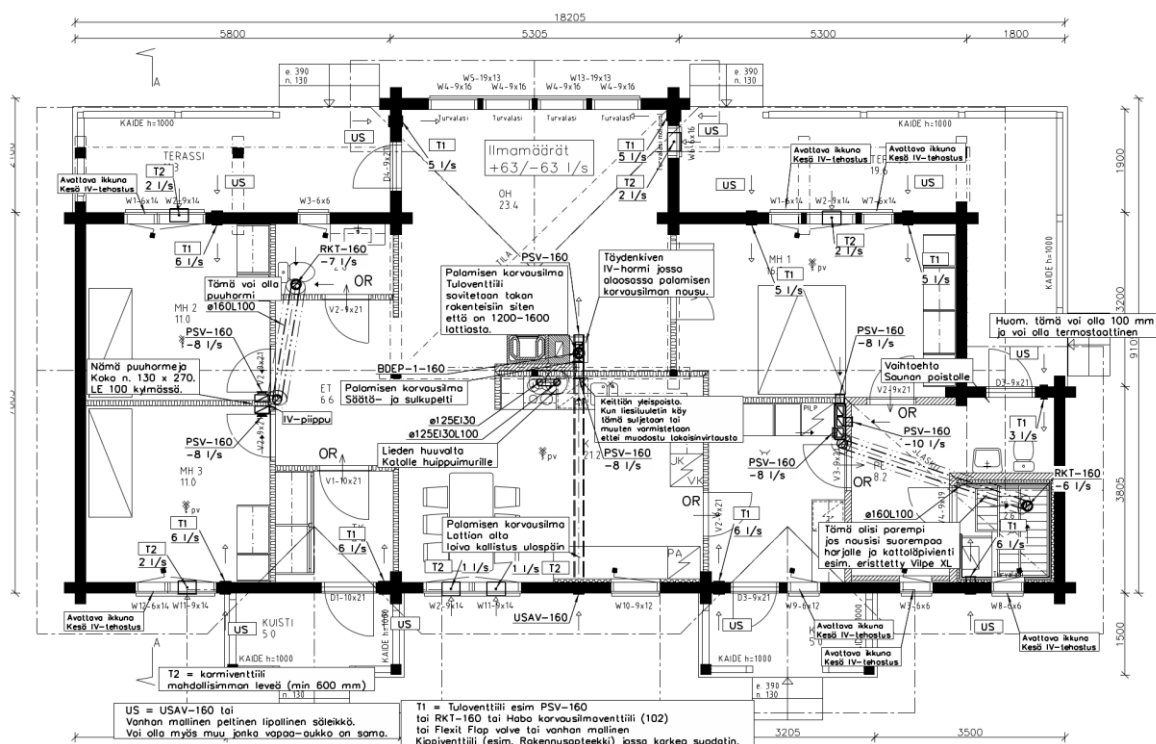
Käytettävä samaa painetasovalintaa (1, 2 tai 3) ilmanvaihdon palvelualueen poistoilmahormien ja ulkoilmalaitteiden mitoituksessa.		Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa eri kokoisille ulkoilmalaitteille.				
Sarakkeissa on merkitty pyöreän kanavan halkaisija (∅ XX mm) tai rakoventtiilin mitat (RXX x 12 mm) sekä ulkoilmalaitteen virtausala (cm ²). Neliömäisellä kanavalla voidaan käyttää vastaavan virtausalan pyöreän kanavan arvoa.		∅ 160 mm ~200 cm ² max. - dm ³ /s	∅ 125 mm ~125 cm ² max. - dm ³ /s	∅ 100 mm ~80 cm ² max. - dm ³ /s	R600 x 12 ~70 cm ² max. - dm ³ /s	R300 x 12 ~36 cm ² max. - dm ³ /s
		Painetaso 1	Siirtoilmalaitteen kautta	8	5	3
painehäviö ≤ 1,5 Pa	Ilman siirtoilmalaitteita	10	6	4	2	1
Painetaso 2	Siirtoilmalaitteen kautta	10	7	4	2	1
painehäviö ≤ 2,5 Pa	Ilman siirtoilmalaitteita	12	8	5	2	1
Painetaso 3	Siirtoilmalaitteen kautta	12	8	5	3	1,5
painehäviö ≤ 3,5 Pa	Ilman siirtoilmalaitteita	12	8	5	3	1,5

Kuva 8. Taulukoita hormin ilmavirran arvioimiseen (Kuuluvainen ym. 2018, 6)

4 Esimerkkitalo

4.1 Lamellihirsitalo

Tässä opinnäytetyössä toimii esimerkkinä lamellihirsitalo. Rakennuttaja halusi taloon painovoimaisen ilmanvaihdon ja valitsi Sarastus hirsitalopakettin Kontiotuote Oy:ltä, jonka pohja sopii myös painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon rakennukseen suunnitteli Jari Ketola LVI-Kalske Oy:stä. Jari Ketola on erikoistunut painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluun. Ilmanvaihdon suunnittelijalla pitää olla soveltuva tutkinto ja riittävä kokemus. Kuvassa 9 on ilmanvaihtosuunnitelma esimerkkitaloon.



Kuva 9. Ilmanvaihdon tasopiirustus (Jari Ketola)

Lamellihirsi sopii hyvin rakennusmateriaaliksi taloon, jossa tehdään painovoimainen ilmanvaihto. Hirsiseinä on rakenteeltaan massiivinen ja hengittävä, joka tasaa sisäilman lämpötilaa ja kosteutta. Massiivisuudesta on hyötyä myös rakennuksen energiatehokkuuteen, massiivinen rakenne varaa merkittävästi lämpöä. Valitettavasti runkorakenteen lämmönvaaromiskykyä ei huomioida riittävästi tasauslaskelmassa. Esimerkkitalo ei aivan läpäissyt tasauslaskelmaa rakennuslupaa haettaessa, mutta Savitaipaleen kunnan rakennuslupaviranomainen myönsi rakennusluvan, poikkeaman ollessa vähäinen. Myöhemmin tehty tiiveysmittaus ja sen yhteydessä tehty uusi tasauslaskelma meni hyväksyttävästi läpi. Tämä oli myös tiedossa rakennuslupaa haettaessa ja oli myös perusteluna poikkeukseen. Itseasiassa ilmanvuotolukuna olisi voinut käyttää parempaa arvoa jo lupaa haettaessa, koska oli

tiedossa, että rakennukseen tullaan tekemään tiiveysmittaus. Nyt rakennuslupaa haettaessa käytettiin ilmanvuotolukua $4,0 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, kun myöhemmin mitattu oli $0,6 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$.

4.2 Tasauslaskenta

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 määrittää, että yli 50 m^2 uudisrakennukselle pitää tehdä energiaselvitys. Asetus määrittää energiaselvitystä seuraavasti:

34 §

Energiaselvitys

Rakennusta suunniteltaessa on laadittava energiaselvitys. Energiaselvitys sisältää tarkastelut:

a) E-luku 4 §:n mukaan ja E-luvun laskennan keskeiset lähtötiedot ja tulokset, rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus 23 §:n mukaan ja koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho 30 §:n mukaan; tai

b) rakenteellisen energiatehokkuuden määräystenmukaisuus 33 §:n mukaan.

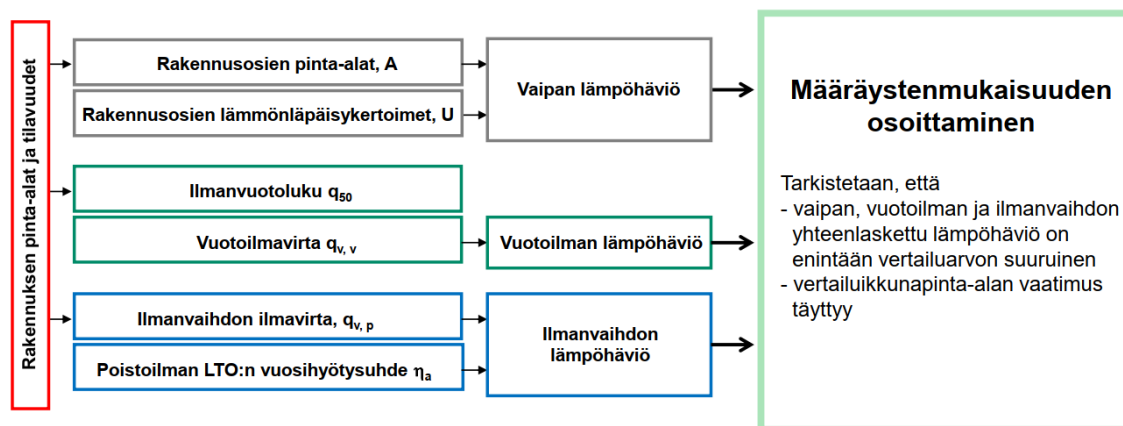
Lisäksi energiaselvitys sisältää tarkastelut:

a) laskennallinen kesäaikainen huonelämpötila 29 §:n mukaan;

b) rakennuksen energiatodistus, jos rakennuksen energiatodistusta koskeva lainsäädäntö sitä edellyttää.

Energiaselvitys on päivitettävä ennen rakennuksen käyttöönottoa, jos lupavaiheen energiaselvityksen perusteena oleviin suunnitelmiin on tullut muutoksia. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on tehtävä merkintä rakennustyön tarkastusasiakirjaan siitä, että rakennustyö vastaa energiaselvityksessä esitettyä.

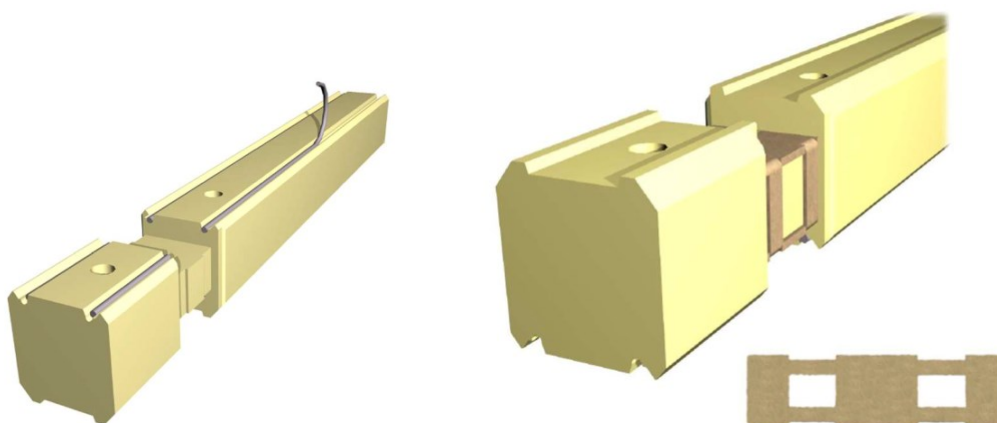
E-luku on rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku. E-luku kertoo mikä on ostoenergian kulutus vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luvun laskentaan vaikuttavat eri energiamuodot, eli eri lämmitystavat saavat eri kertoimet. E-luvun yksikkö on $\text{kWhE}/(\text{m}^2\text{a})$. Rakennuslupaa varten täytyy mm. E-luvun laskennalla ja tasauslaskennalla osoittaa rakennusvalvonnalle, että energiatehokkuuden vaatimukset täyttyvät. Näistä laskelmista ja muista tarvittavista selvityksistä säädetään energiatehokkuusasetuksessa. (Tasauslaskentaopas 2018, 10–12.) Kuvassa 10 esitetään rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan vaiheet ja määräystenmukaisuuden osoittaminen.



Kuva 10. rakennuksen lämpöhäviön taseuslaskennan vaiheet ja määräystenmukaisuuden osoittaminen (Taseuslaskentaopas 2018, 10)

4.3 Tiivistäminen

Rakennus on saatava mahdollisimman ilmatiiviiksi ja tämä on tärkeää myös rakennuksessa, jossa on painovoimainen ilmanvaihto. Rakennuksen tiiveyttä kannattaa ja uudessa rakennuksessa myös täytyy lain mukaan mitata. Mittaustuloksena saatu Ilmavuotoluku vaikuttaa merkittävästi E-luvun laskentaan. Mitä pienempi ilmanvuotoluku sitä parempi E-luku. Tiivistä taloa tehdessä on kiinnitettävä huomiota rakentamisen laatuun. Kontiotuote Oy:ltä tulee talopakettin mukana myös hyvät ohjeet hirsitalon tiivistämiseen. Kontiotuotteen hirsissä on hyvät saumanauhatiivisteet hirsien välissä ja myös salvoksien tiivistäminen on helppoa. Kuvassa 11 on Kontiotuote Oy:n saumanauha ja salvoseriste.



Kuva 11. Saumanauha ja salvoseriste (Kontiotuote Oy)

Esimerkkitaloon päätettiin tehdä yläpohjanhöyrynsulku tavanomaisen muovikalvon sijaan FF-PIR 30 mm paksulla eristeellä. FF-PIR eristeen pinnalla on molemmin puolin alumiinilaminaatti joka omaa erittäin korkean höyrynvastuksen ja sillä on helpompi saada aikaiseksi tiiviimpi yläpohja (Finnfoam Oy). Eriste voidaan asentaa kattoristikon alapaarteen alapintaan tai vaihtoehtoisesti kattoristikon alapaarteen väliin. Jos asennuksen aikoo tehdä kattoristikon alapaarteen väliin, kannattaa asia tuoda esille jo talopakettia tilatessa, jotta kattoristikoiden väli olisi sopiva asennettaessa eristettä. Esimerkkikohteessa eriste asennettiin alapaarteiden väliin.

Rakennuksen ollessa riittävän valmis voidaan tehdä ilmatiiveysmittaus. Mittaus kannattaa kuitenkin tehdä ennen pintamateriaalien asennusta, jotta mahdollisten vuotojen sattuessa, ei rakennetta tarvitse purkaa. Ilmatiiveysmittauksessa rakennuksen kaikki läpiviennit suljetaan ja sen jälkeen rakennukseen tuotetaan 50 Pascalin alipaine yleensä paineovilaitteistolla. Rakennuksen ilmavuodot pienentävät alipainetta ja paine-eron ylläpitämiseksi tarvittavaa ilmavirtaa mitataan. Mittauksen tuloksena saadaan ilmanvuotoluku qE50. Ilmanvuotoluku siis kertoo kuinka monta kuutiota ilmaa vuotaa rakennuksen yhden ulkovaipan neliön läpi tunnissa, kun rakennukseen on tuotettu 50 pascalin paine-ero. Ulkovaippa sisältää ulkoseinät, yläpohjan sekä lattian. Todellinen ilmanvuoto on kuitenkin paljon pienempi, koska todellinen paine-ero on 0–10 Pascalia. (Vertia Oy 2022). Esimerkkitalossa ilmanvuotoluksi saatiin 0,6 qE50, jota voidaan pitää erinomaisena lukuna varsinkin hirsitalolle. Kuvassa 12 on ote esimerkkitalon tiiveysmittaus raportista.

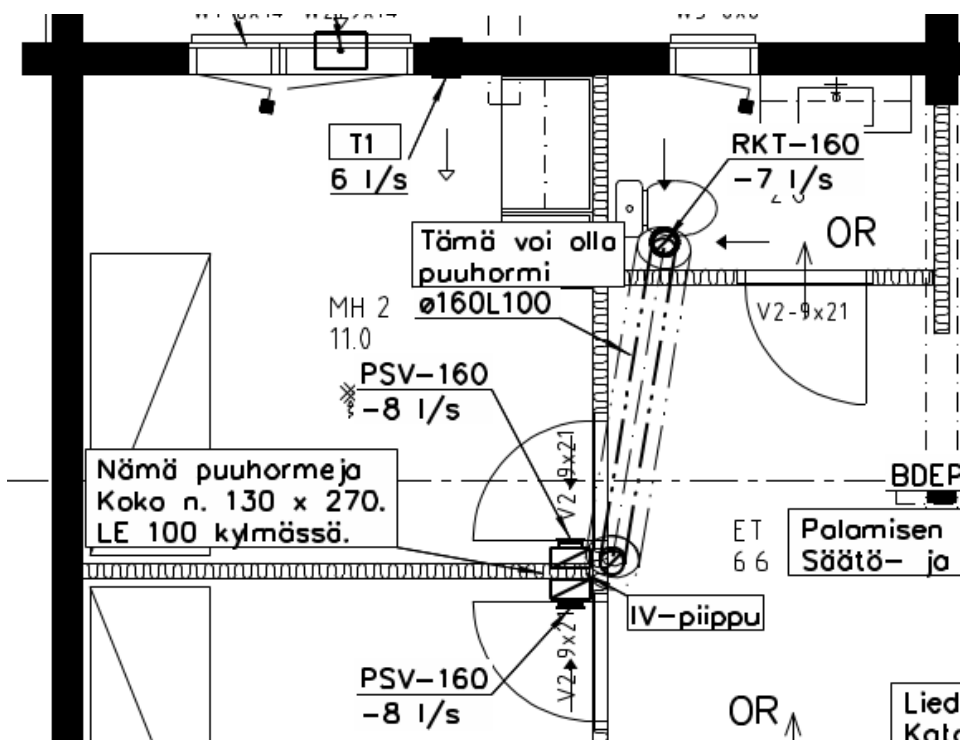


Kuva 12. Esimerkkitalon ilmanvuotoluku ja ilmatiiveysluokitus

5 Poistohormien rakentaminen

5.1 Ilmanvaihtokanavat vanerista

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kahden makuuhuoneen ja Wc:n poisilmahormien rakentamiseen vanerista. Lvi-suunnittelija oli suunnitellut, että makuuhuoneen ja myös vessan poistohormit voivat olla puurakenteisia. Kuvassa 13 on suurennos IV-tasopiirustuksesta.



Kuva 13. Puuhormit IV-suunnitelmassa (Jari Ketola)

Perinteisesti puuhormit on tehty laudasta. Puiset hormit tehtiin yleensä kaksinkertaisina, ja lautakerrostenväli tiivistettiin paperilla. Ullakolla hormit voitiin eristää tekemällä hormin ympärille laudoista puulaatikko. Laatikon ja hormin väliin jäävä tila täytettiin puupurulla. Vesikatolla hormit suojattiin sateelta. (Mikkola ym. 2022, 118.) Aluksi olikin suunnitelmissa tehdä hormit laudasta, mutta hormit päädyttiin rakentamaan havuvanerista. Hormit on helpompi tehdä vanerista ja hormit on myös helpompi saada ilmatiiviiksi.

Vaneri on ohuista puuviiluista liimattu levy, viilun paksuuden vaihdellessa 0,2–3,2 mm välillä. Vaneri on lujaa ja jäykistää rakennetta. Vaneri on myös kestävä ja mittatarkkaa. Perusominaisuuksiltaan vaneri on verrattavissa puuhun. Suomalainen havuvaneri on yleensä valmistettu kuusesta. Vaneria valmistetaan eri paksuuksia, alkanen 4 mm aina 50 mm asti. Yleisin levykoko on 1200 mm x 2400 mm. (Puuinfo Oy 2023.) Ilmanvaihtohormit rakennettiin

18 mm paksusta havuvanerista. Se on riittävän jäykkää, eikä siten tarvitse ylimääräisiä tukirakenteita.

5.2 Hormin rakentaminen

Ensiksi vaneri täytyy sahata oikeaan mittaan. Työmaaolosuhteissa levy on ehkä helpoin sahata käsipyörösahalla oikolautaa apuna käyttäen. Kuvassa 14 on oikolauta asetettu paikalleen ruuvipuristimilla ja käsipyörösahanterän syvyys asetettu siten, että se juuri ja juuri riittää sahaamaan levyn halki.



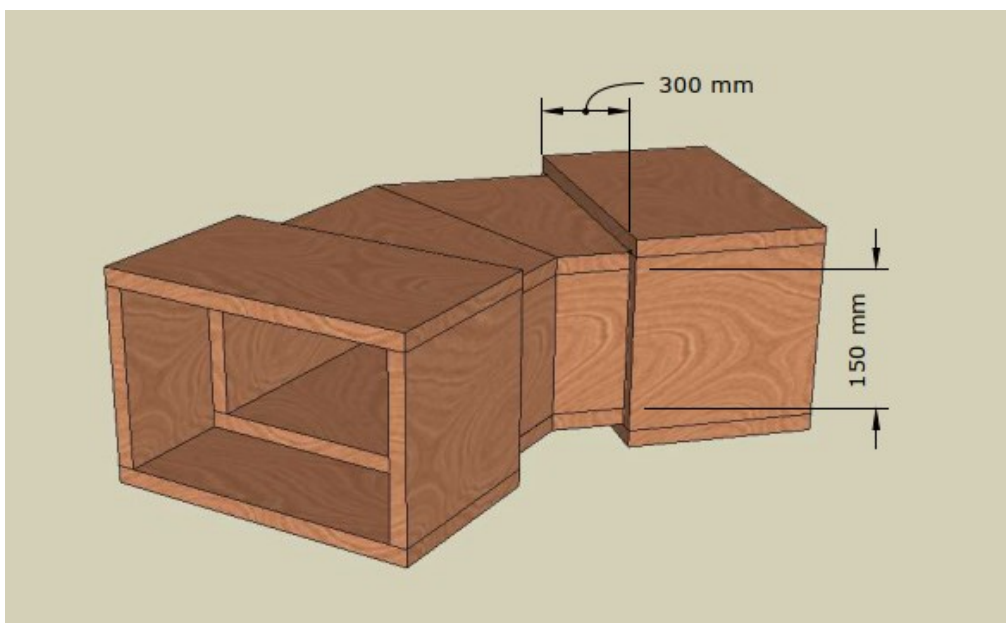
Kuva 14. Levyn sahaus työmaaolosuhteissa on helppoa (Pauli Parkkima)

Levystä sahataan sopivan kokoiset palaset ja niistä kootaan kanava. Levyt voi ruuvata toisiinsa kiinni esimerkiksi ruostumattomilla terassiruuveilla. Liitoksiin kannattaa laittaa asennusliimaa, joka tekee liitoksista tiiviimmät. Sivulevyt voi tukea pystyasentoon, vaikka suoraa kertopuu väliseinätolppaa apuna käyttäen. Tukien käyttäminen helpottaa myös kasaamista suoristaen levyjä. Kuvassa 15 sivulevyt on tuettu ruuvipuristimilla pystyyn ja niiden päälle asetetaan leveämpi levyn suikale ja ruuvataan pystylevyihin kiinni. Valmis kanava voidaan sahata kulmaan tavallisella käsisahalla.



Kuva 15. Asennus jigi ja valmis kanava sekä sen sahaus (Pauli Parkkima)

Jos kanaviin joudutaan tekemään mutkia, kannattaa tehdä erilliset kulmapalat. Suorat kanavat liitetään kulmapaloihin, aivan kuten tehdään käytettäessä tavallisia kierresaumakanavia. Kuvassa 16 on hahmotelma 45 asteen kulmasta.



Kuva 16. 45 asteen kulma (Pauli Parkkima)

Esimerkkikohteessa kanavat tehtiin ilman erillisiä kulmapaloja ja varsinkin wc:stä tulevan hormin kanssa oli tämän takia vaikeuksia. Makuuhuoneen kanavista toinen oli suora ja toisessa vain kaksi kulmaa ja nämä oli helpompi tehdä ilman kulmapaloja, mutta vessan

poistohormi olisi kannattanut tehdä erillisillä kulmapaloilla. Kuva 17 selventää hormin rakentamista ilman kulmapaloja.



Kuva 17. Toisen makuuhuoneen poistoilmahormi, jossa on kaksi kulmaa (Pauli Parkkima)

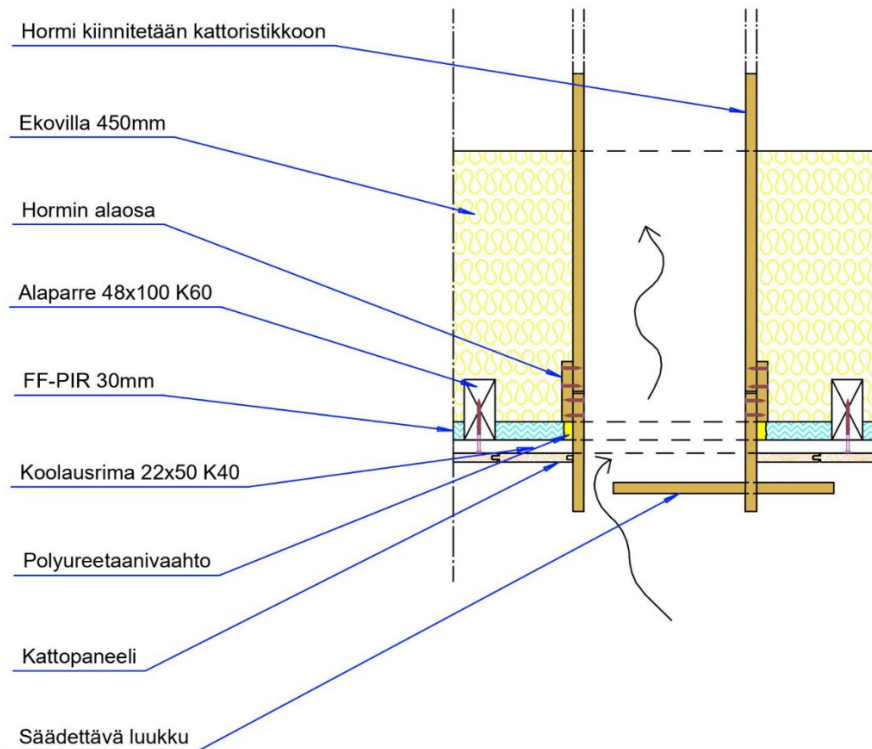
Ullakolla hormit pyritään liittämään yhteen, jotta katolle tarvitsee tehdä vain yksi läpivienti tässä tapauksessa kolmelle poistoilmahormille. Hormit täytyy myös eristää kylmässä ullakotilassa. Eristämiseen voi käyttää mineraalivillaa, jolloin eristettä tarvitaan 10 cm. Esimerkikohteessa käytettiin eristämiseen 50 mm ESP eristettä, jonka päälle laitettiin vielä 30 mm FF-PIR eristettä. Näitä eristeitä oli jäänyt ylimääräiseksi routasuojauksesta sekä yläpohjan höyrynsulusta. ESP ja FF-PIR eristeiden eristyskyky eli u-arvo on huomattavasti parempi kuin mineraalivillalla, joten näin tehty hormin eristys on vähintäänkin riittävä, vaikka se ei olekaan aivan 10 cm paksu. Hormista tuli näin myös erittäin ilmatiivis. Hormin yläosa eristettiin tekemällä hormin ympärille vanerista laatikko. Laatikon ja hormin väliin jäävä noin 10 cm tila täytettiin ekovillalla. Kuvassa 18 näkyy kuinka hormit liittyvät yhteen ullakolla, sekä hormien eristystä ja yläosan laatikko. Hormien yläosan eristys on kuvassa vielä kesken. Huomaa myös FF-PIR eristeet yläpohjan höyrynsulkuna, jonka päälle tulee vielä n. 50 cm puhallettavaa ekovillaa.



Kuva 18. Hormit ullakolla (Pauli Parkkima)

5.3 Poistoilmaventtiili

Poistoilmaventtiilinä voidaan käyttää esimerkiksi lautasventtiiliä, mutta esimerkikohteessa venttiilit päädyttiin rakentamaan vanerista. Poistoilma hormi asetetaan FF-PIR höyrnsulkueristeen päälle. Poistoilmahormin alaosaan on ensin ruuvattu 10 cm vanerisoirosta levennys jonne poistoilmaventtiili voidaan työntää ja ruuvata kiinni alakautta. Poistoilmahormin kohta voidaan merkitä höyrnsulku eristeeseen yksikertaisesti työntämällä naula yläkautta eristeen läpi. Alapuolelta on sitten helppo leikata riittävän kokoinen aukko poistoilma venttiilin asennusta varten. Aukon on hyvä olla noin 1,5 cm suurempi kuin hormi, jotta aukko saadaan tiivistettyä helposti polyuretaanivaahdolla ja höyrnsulkuteipillä. Kuvassa 19 on leikkauspiirustus poistoilmahormin alapäästä ja poistoilmaventtiilistä.



Kuva 19. Leikkauspiirustus (Pauli Parkkima)

Poistoilmaventtiili on periaatteessa samanlainen kanava kuin poistoilmahormi. Se on vain noin 15–20 cm pitkä ja toiseen päähän on tehty ura vaneriluukulle. Jos haluaa viimeistelymmän ulkonäön, voi kanavan nurkat tehdä jiiriin. Kuvassa 20 on valmis poistoilmaventtiili.



Kuva 20. Poistoilmaventtiili (Pauli Parkkima)

6 Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan seuraaminen

6.1 Ilmamäärien mittaaminen

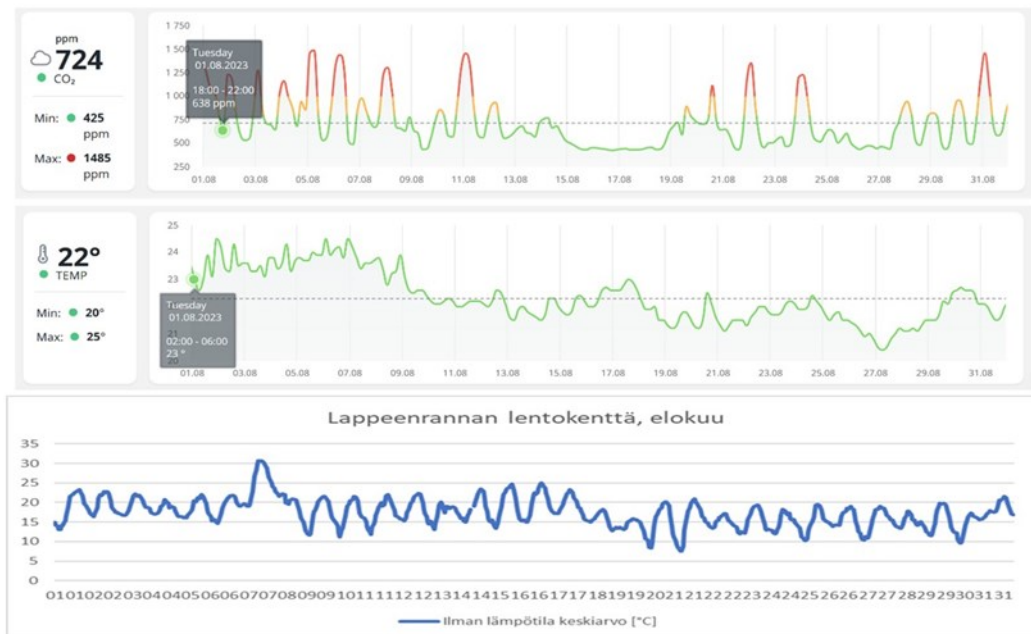
Jos rakennukseen on tehty ilmanvaihdon suunnitelma ja riittävät selvitykset, kuten rakennuslupamenettelyssä maankäyttö- ja rakennuslain 117 i §:n mukaan edellytetään, ei ilmamäärien mittausta yleensä edellytetä painovoimaisen ilmanvaihdon pientaloissa. Esimerkki kohteessa ei tehty ilmamäärien mittausta, vaan luotettiin kokeneen ilmanvaihdon suunnittelijan laskelmiin. Jos ilmamääriä haluaa mitata, se on myös mahdollista, kunhan käytettävä mittaustilasto on suunniteltu mahdollisimman pienille painehäviöille, koska painovoimaisessa ilmanvaihdossa paine-erot ovat yleensä melko pieniä.

Ilmanvaihtuvuutta voidaan mitata myös merkkiainemenetelmällä, jossa merkkiaineen pitoisuutta mitataan ilmasta. Mitattavaan tilaan syötetään tietty määrä merkkiainetta joka pitoisuutta mitaan. Merkkiaineen pitoisuus laimenee ilmanvaihdon vaikutuksesta ja ilmanvaihtuvuus voidaan laskea. Hiilidioksidi on käytetyin merkkiaine ilmanvaihdon mittaamiseen. (Mikkola ym. 2022, 192–193.)

7.2 Ilmanlaadun seuranta

Esimerkkikohteessa päätettiin seurata ilmanlaatua, kun taloon oli muutettu asumaan. Mittauslaitteena käytettiin Airthings Wave-Plus ilmanlaatumittaria. Wave-plus ilmanlaatumittarilla voidaan mitata radon-, VOC-, ja hiilidioksidipitoisuuksia, sekä ilmankosteutta, ilmanpainetta ja lämpötilaa. Laitteen valmistajan mukaan esimerkiksi hiilidioksidimittauksen tarkkuus on $\pm 3\%$ lämpötilan ollessa 15–35°C ja ilmankosteuden 0–80 %RH. (Airthings 2023.)

Mittaus tehtiin yhdessä makuhuoneessa, missä öisin nukkui yksi henkilö. Mittaus tehtiin elokuussa ja marraskuussa 2023. Kuvassa 21 on elokuun Airthings Wave-Plus ilmanlaatumittarista saadut hiilidioksidipitoisuudet ja sisäilmanlämpötila sekä ulkolämpötila. Ulkolämpötila on saatu ilmatieteenlaitoksen ilmastotilastoista. Kuvassa 22 on vastaavat tiedot marraskuulta 2023.



Kuva 21. Hiilidioksidipitoisuus, sisälämpötila ja ulkolämpötila elokuussa 2023

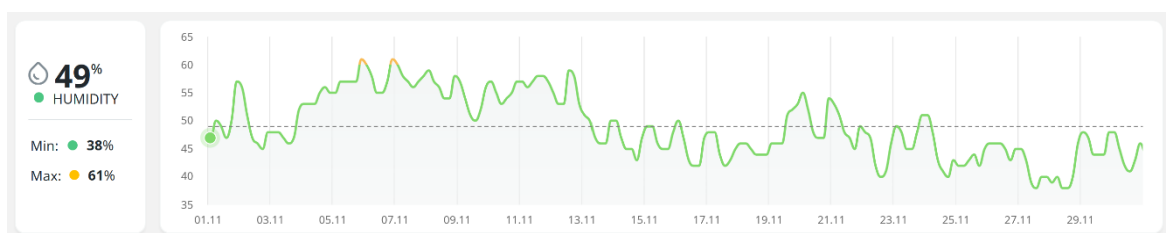


Kuva 22. Hiilidioksidipitoisuus, sisälämpötila ja ulkolämpötila marraskuussa 2023

Hiilidioksidipitoisuuden mittausarvoissa näkyy yli 1000 ppm pitoisuudet punaisella. Suunnitteluarvo ilmanvaihtoasetuksessa sisäilman hetkelliselle pitoisuudelle käyttöaikana voi olla enintään 800 ppm:ää suurempi kuin ulkoilman pitoisuus (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017, 5 §). Toimenpideraja asu-
misterveysasetuksessa taas on 1150 ppm:ää suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. Jos ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta ei pystytä mittaamaan tai sitä ei mitata, niin ulkoilman

hiilidioksidipitoisuutena voidaan käyttää 400 ppm. Tällöin toimenpideraja on 1550 ppm. Tämä ei tarkoita, että tätä suuremmilla pitoisuuksilla hiilidioksidisi olisi vielä vaarallista terveydelle. Hiilidioksidilla on helppo tutkia ilmanvaihdon riittävyttä ja arvon noustessa yli 1550 ppm:n voidaan olettaa, että ilmanvaihto ei ole riittävän tehokas. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016, 8§). Sosiaali- ja terveysministeriön mukaan hiilidioksidin haitalliseksi tunnettu pitoisuus työpaikoilla eli HTP-arvo on 5000 ppm kahdeksan tunnin aikapainotteisena keskiarvona (Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2020). Yli 2000 ppm:n hiilidioksidipitoisuudet eivät ole siis vielä terveydelle vaarallisia. Mikkola ym. (2022,23) toteaa, että raja-arvo pitoisuuksissa hiilidioksidi ei aiheuta minkäänlaisia terveys- tai viihtyvyyshaittoja, kuten yleisesti luullaan.

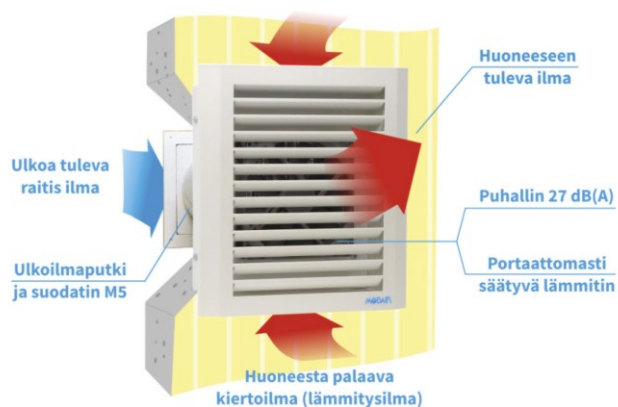
Esimerkkikohteessa elokuussa hiilidioksidi pitoisuus on pysynyt alle 1550 ppm:n. Yöllä hiilidioksidipitoisuus on noussut ja laskenut nopeasti aamulla, kun huoneesta on poistuttu. Voidaan siis todeta, että ilmanvaihto on ollut riittävää. Marraskuussa toimenpideraja on ylittynyt muutaman kerran, ilmanvaihto ei siis ole ollut riittävän tehokasta. Käyttäjät ovat kertoneet kokeneensa vedon tunnetta ulkoilmanlämpötilan laskiessa ja pienentäneet, ehkä liiallisesti, ilmanvaihtoa säätämällä venttiileitä pienemmälle. Käyttäjät ovat myös kertoneet, että eivät ole kokeneet sisäilmaa tunkkaiseksi. Sisäilman kosteuspitoisuus ei ole myöskään noussut huolestuttavan korkealle marraskuussa. Marraskuun alku oli hyvin kostea ja se näkyy myös sisäilman kosteudessa. Ulkolämpötilan ja suhteellisen kosteuden laskiessa myös sisätilan kosteus on laskenut. Kuvassa 23 on sisäilman kosteus pitoisuus marraskuussa, josta voidaan nähdä, että sisäilman suhteellinen kosteus seuraa ulkolämpötilaa, eikä ole noussut kuin hetkellisesti yli 60 prosentin marraskuun alussa.



Kuva 23. Sisäilman kosteus marraskuussa

Esimerkkikohteessa käyttäjä on harkinnut tuloilmaventtiilien tilalle tuloilmalaitetta, jossa on kiertoilmapuhallin ja lämmitys mahdollisuus. Kiertoilmapuhallin sekoittaa tehokkaammin katonrajassa olevaa lämmintä ilmaa kylmään ulkoilmaan ja estää näin tehokkaasti vedon tunnetta. Puhallin on teholtaan 1,0 wattia, joten sen energiankulutus on alhainen. Kovilla

pakkasilla on myös mahdollista kytkeä termostaattiohjattu lisälämmitin päälle. (Innoair.) Kuvassa 24 on Innoairin valmistama Mobair 2015 tuloilmakoje.



Kuva 24. Mobair 2015 tuloilmakoje (Innoair)

Tuloilmakoje olisi päällä vain tarpeen mukaan käyttäjien aistiessa vedontunnetta talvella. Muulloin kojeen ei tarvitse olla päällä. Toimintaa on tarkoitus testata yhdessä makuuhuoneessa ennen kuin päädytään vaihtamaan kaikkien huoneiden tuloilmaventtiilit.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Kuten purjelentokoneellakaan ei voi lentää joka säässä, on myös painovoimaisessa ilmanvaihdossa omat ongelmansa. Päinvastoin kuin purjelentokoneella lentäminen on vaikeampaa talvella, painovoimainen ilmanvaihto toimii talvella paremmin. Kesällä kun lämpimät ilmavirrat nostavat purjekoneen kauniiseen liitoon, on perinteisellä painovoimaisella ilmanvaihdolla vaikeuksia saavuttaa riittävää ilmavirtausta ilman ikkunatuuletusta. Myös talvella voi ongelmia aiheuttaa vedon tunteen kokeminen ja venttiilien säätäminen liian pienelle. Painovoimainen ilmanvaihto vaatii käyttäjältä enemmän, jopa päivittäisiä, toimia kuin koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvaihdon säätäminen onkin tehtävä käyttäjille mahdollisimman helpoksi. Ilmanvaihdon seuraamiseen on hyvä käyttää apuna ilmanlaatumittaria, joka seuraa esimerkiksi ilman hiilidioksidipitoisuutta ja suhteellista kosteutta ja helpottaa painovoimaisen ilmanvaihdon säätämistä.

Erityisen hyvin painovoimainen ilmanvaihto sopii hirsitaloon. Hirsi tasaa lämpötila- ja kosteuseroja massiivisuutensa ja hengittävyytensä ansiosta. On myös hyvä muistaa, että hirsi pintoja ei käsitellä liian tiiviillä pinnoitteella ja estetä puun luonnollista ominaisuutta sitoa kosteutta.

Ilmanvaihtokanavien rakentaminen vanerista on helppoa, eikä kustannuksetkaan nouse suuremmiksi, kuin käytettäessä kierresaumakanavia. Toki itse kanavien rakentamiseen menee jokin verran aikaa ja jos työn joutuu teettämään ulkopuolisella urakoitsijalla niin silloin kustannukset voivat olla korkeammat. Jos kuitenkin otetaan huomioon koko ilmanvaihtojärjestelmän elinkaari, eivät asennus kustannukset nouse merkittävään rooliin. Vaneriset poistoilmakanavat toimivat hyvin ja kondensoitumista ei tapahdu samalla tavalla kuin peltisissä kierresaumakanavissa.

Ilmastointitekniikkaa käydään rakennusmestarin opinnoissa päällisin puoli läpi, mutta painovoimaisesta ilmanvaihdosta ei juuri kerrota. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate on kuitenkin hyvin yksinkertainen, eikä sen perusteiden opettamiseen kovin paljon aikaa tarvittaisi. Jokaisen rakennusmestarin olisi hyvä osata ainakin perusteet painovoimaisesta ilmanvaihdosta.

Eri puolilla Suomea saattaa olla hyvin erilaiset vaatimukset painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Onkin suositeltavaa ottaa yhteyttä paikalliseen rakennusvalvontaan ennen kuin ilmanvaihtojärjestelmäksi valitaan painovoimainen ilmanvaihto. Painovoimainen ilmanvaihto on ekologinen ja pitkäikäinen ratkaisu. Sen toimintaa on helppo säätää, ja sillä on vankat perinteet. Painovoimainen ilmanvaihto on erinomainen vaihtoehto myös uudisrakentamiseen.

Lähteet

Airthings. 2023. Wave Plus. Viitattu 26.10.2023. Saatavissa <https://www.airthings.com/en/wave-plus>

Finnfoam Oy. Viitattu 16.9.2023. Saatavissa <https://finnfoam.fi/tuotteet/ff-pir/>

Ilmatalo Oy. 2023. Velco Aero-ikkunasuodatin. Viitattu 13.10.2023. Saatavissa <https://www.ilmatalo.fi/fi/korvausilmaventtiilit/ikkunasuodatin-velco-filtrete-aero-1300x550mm-3560>

Innoair. Viitattu 24.11.2023. Saatavissa https://www.innoair.fi/WebRoot/Kaupat/Shops/Innoair/MediaGallery/PDF/Mobair/Mobair_2015_esite.pdf

Kajjalainen Liisa 1990. Avattava ikkuna tuulettaa parhaiten. Viitattu 28.4.2023. Saatavissa rajoitetusti: <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000003008684.html>

Kontiotuote Oy. Viitattu 21.5.2023. Saatavissa rajoitetusti: <https://oma.kontio.fi>

Kuuluvainen, Leino – Lindberg, Ben-Roger – Lylykangas, Kimmo – Mikkola, Juulia – Sainio, Jukka – Vuolle, Mika 2018. Painovoimainen ilmanvaihto opas. Ympäristöministeriö – Suomen Kulttuurirahasto. Viitattu 23.4.2023. Saatavissa https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PVIV-OPAS-3729E8C3_9173_4EA5_ADB9_CD33C1432A01-143101.pdf/2ab85b97-a5fd-cee7-c096-930b297a8435/PVIV-OPAS-3729E8C3_9173_4EA5_ADB9_CD33C1432A01-143101.pdf?t=1603260091107

Mikkola, J., Leino, K. & Böök, N. 2022. Ilmakirja - Painovoimainen ilmanvaihto. Helsinki: Otava.

Museovirasto. Painovoimainen ilmanvaihto korjauskortti. Viitattu 30.5.2023. Saatavissa https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/PVIV_korjauskortti.pdf

Puuinfo Oy. 2023. Vaneri. Viitattu 13.7. 2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/puulevyt/vaneri>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2020. HTP-ARVOT 2020. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet Viitattu 3.8.2023. Saatavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162457/STM_2020_24_J.pdf

Tasauslaskentaopas. 2007. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osittaminen. Viitattu 19.5.2023. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/35099218/Tasauslaskentaopas+2018+310317+181217.pdf/24732e51-c23e-77bd-5877-c8ad9acc7cf7/Tasauslaskentaopas+2018+310317+181217.pdf?t=1680607919662>

Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Viitattu 18.7.2023. Saatavissa <https://valvira.fi/documents/152634019/163413488/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-1.pdf/8f095063-fb99-ee73-aade-06efd618fa20/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-1.pdf?t=1692347713569>

Vertia Oy. 2022. Tiiveysmittaus. Viitattu 23.7.2023. Saatavissa <https://vertia.fi/tiiveysmittaus>

Viherpalvelut Ahonlaita Oy. Hormi-imurit, vedonparantajat. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa <https://www.penantori.com/hormi-imurit>

Vinha, J.; Korpi, M.; Kalamees, Targo; Eskola, Lari; Palonen, J.; Kurnitski, J.; Valovirta, I.; Mikkilä, A.; Jokisalo, J. 2005 Ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Viitattu 28.4.2023. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-2011041510587>

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

Ympäristöministeriö 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017

Ympäristöministeriö tiedote 2017. Rakentamismääräyskokoelman mittava uudistus 2013–2017. Viitattu 3.6.2023. Saatavissa <https://ym.fi/-/rakentamismaarayskokoelman-mittava-uudistus-2013-2017-valmis>