

Joni Torvi

**PAINE-EROJEN VAIKUTUS KIINTEISTÖN ENERGIA-
TEHOKKUUTEEN**

PAIN-EROJEN VAIKUTUS KIINTEISTÖN ENERGIATEHOKKUUTEEN

Joni Torvi
Opinnäytetyö
Syksy 2020
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma, Energiatekniikka

Tekijä: Joni Torvi

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Paine-erojen vaikutus kiinteistön energiatehokkuuteen.

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Impact of Pressure Differences on Property Energy Efficiency

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2020

Sivumäärä: 35

Tämän työn aiheena oli paine-erojen vaikutus kiinteistön energiatehokkuuteen. Työn tilaajana oli Measte Oy. Tavoitteena oli selvittää omakotitalon paine-erojen vaikutusta energiatehokkuuteen.

Työssä laskettiin teoreettisesti kohdeomakotitalon paine-erojen optimoinnilla säästetty energia. Energiankulutuksen säästöt laskettiin kaukolämpö- sekä sähkötalolle. Energiankulutuksen optimointi ja energiankulutuksen lisääminen ovat esimerkkejä paine-erojen optimoimisesta.

Laskelmissa todettiin, että paine-erojen pitäminen oikealla tasolla säästää energiankulutusta. Tulevaisuudessa paine-erojen mittausta voisi käyttää ilmanvaihdon ohjauksen tukena. Näiden teoreettisten laskelmien perusteella tuotteelle pyritään löytämään toimiva käyttötarkoitus. Lisäksi selvitetään sillä saavutettavissa oleva energiansäästöpotentiaali.

Painesuhteiden mittaamisella voidaan saavuttaa sähkötalossa noin 2000 kWh:n säästö vuodessa. Tämä tarkoittaa noin 7 %:a kokonaisenergiankulutuksesta 100 m²:n omakotitalolla. Tällä tuotteella olisi merkittävä rooli mittauksen mahdollistamisessa.

Asiasanat: paine-erot, alipaine, energia, ilmanvaihto, kestävä kehitys

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 SISÄILMASTO	7
2.1 Kemiaalliset tekijät	8
2.1.1 Hiilidioksidi	8
2.1.2 Häkä eli hiilimonoksidi	9
2.1.3 Otsoni	9
2.1.4 Radon	9
2.2 Hiukkasmaiset tekijät	10
2.2.1 Kosteusvauriomikrobit	10
2.2.2 Asbesti	11
2.3 Fysikaaliset tekijät	11
2.3.1 Ilman kosteus	11
2.3.2 Ilman liike ja veto	11
3 ILMANVAIHTO	12
3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät	12
3.1.1 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	13
3.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	14
3.1.3 Painovoimainen poistoilmanvaihto	15
3.2 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus (SFP)	16
3.3 Paine-erot	16
4 ILMANVAIHDON ENERGIANKULUTUSLASKELMAT	19
4.1 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus	19
4.2 Puhaltimen lämpötilan nousu	22
4.3 Ilmavirrat	22
4.4 Ilmanvaihtokone	23
5 PAINE-EROJEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN	25
5.1 Energiankulutuksen lisääminen	25
5.1.1 Sähköenergian säästö	25

5.1.2 Lämmitysenergian säästö	26
5.1.3 Energiankulutuksen säästö	26
5.2 Energiakulutuksen optimointi	28
5.2.1 Sähköenergian säästö	28
5.2.2 Lämmitysenergian säästö	29
5.2.3 Kokonaisenergian säästö	30
6 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	36

1 JOHDANTO

Usein talojen ilmanvaihto synnyttää liian suurta alipainetta rakennuksen sisälle. Tämä on johtanut siihen, että hallitsematon ilmavirtaus sisään on liian suuri. Rakennuksen paine-erojen pitäisi ideaalitapauksessa olla lähellä nollaa. Hallitsematon ilman sisääntulo tuo monia ongelmia rakennuksen käyttäjille ja itse rakennukselle.

Alipaine tuo mikrobit ja ilman epäpuhtaudet rakennuksen sisälle vuotoilmana. Myös yli-paineen muodostuminen on mahdollista. Ylipaineen avulla sisäilman kosteus siirtyy rakenteisiin ja eristeisiin, jolloin syntyy vakavia ongelmia. Korkea sisäilman kosteus synnyttää erityisesti kasvustoja. Nämä ongelmat johtavat huonoon sisäilmaan, jonka takia yleensä moni lisää ilmanvaihtoa holtittomasti. Ilmanvaihdon suurentaminen lisää energi-ankulutusta huomattavasti, koska ilma täytyy lämmittää. Sen lisäksi ilmanlaatu voi pahim-massa tapauksessa heiketä. On myös mahdollista vähentää energi-ankulutusta paine-erojen tarkan mittauksen avulla ilmanlaadusta tinkimättä. Tällöin energiatehokkuus kiin-teistössä paranee.

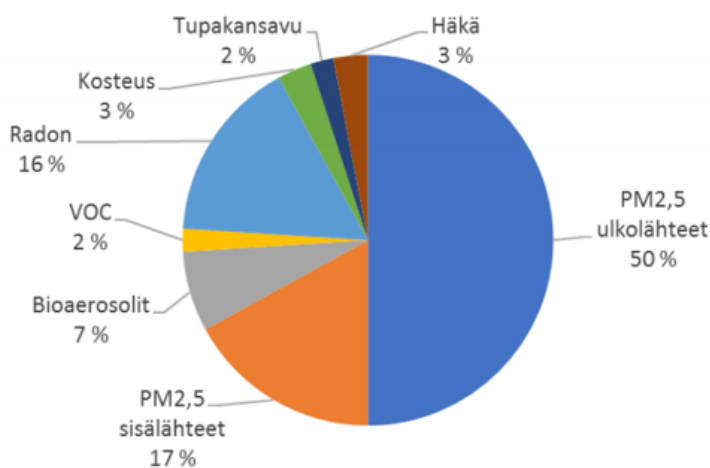
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia omakotitalojen paine-erojen vaikutusta en-ergiankulutukseen ja optimointia energi-ankulutuksen näkökulmasta. Aihe on rajattu käsittelemään omakotitaloja.

Työ on tehty Measte Oy:lle. Yritys tarjoaa ratkaisuja sähkö-, mittaus- ja aurinkoenergia-tekniikkaan sekä konsultointia vuosien kokemuksella. Lisäksi yritys myy aggregaatti-, va-laistus- ja lämmitystuotteita. Measte Oy on yhteistyössä kahden pohjoissuomalaisen tuo-tekehitysyrityksen kanssa.

2 SISÄILMASTO

Sisäilmasto tarkoittaa sisäilmaa, jota hengitetään rakennusten sisätiloissa. Sisäilmasto on jaettu kemiallisiin, hiukkasmaisiin, ja fysikaalisiin tekijöihin. Kemiallisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi hiilidioksidi, homeet, radon, tupakan savu, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC/TVOC), aldehydit, hiilimonoksidi, typen oksidit ja otsoni. Fysikaaliset tekijät vaikuttavat enemmänkin viihtyvyyteen kuin sisäilman epäpuhtauksiin. Säteily, ilman lämpötila ja kosteus, valaistus, melu ja ilman liike ovat esimerkkejä tyypillisistä fysikaalisista tekijöistä. Hiukkasmaisiin tekijöihin kuuluvat kosteusvauriomikrobit, asbesti ja allergeenit. (1.)

Kuva 1 kertoo Suomen sisäilmaston tautitaakkojen prosenttiosuudet lähteittäin. Huomataan ulkolähteiden olevan selvästi suurin 50 %:n osuudella. Seuraavaksi suurin tautitaakka on sisälähteet 17 %:lla.



KUVA 1. Suomen sisäilmaston tautitaakkojen prosenttiosuudet (2)

Myös rakennusta ympäröivä ulkoilman laatu vaikuttaa suuresti sisäilman laatuun. Rakennuksen sijainti on siis tässä suhteessa tärkeä tekijä. Ulkoilman laatu on sitä huonompi, mitä lähempänä rakennus sijaitsee suurta kaupunkia, isoja liikenneväyliä tai teollisuutta. Nykypäivänä hyvä sisäilmasto on rakentamisessa yksi tärkeimmistä tavoitteista niin rakennusten kuin ihmisten kannalta. Sillä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ja käyttömukavuutta sekä ihmisten terveyttä. (1.)

2.1 Kemialliset tekijät

Kemialliset tekijät ovat epäpuhtauksia, jotka ovat peräisin ihmisestä, maaperästä tai rakennuksesta. Kemiallisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi hiilidioksidi, hiilimonoksidi, otsoni ja radon. (3.)

2.1.1 Hiilidioksidi

Pääasiallinen hiilidioksidin (CO₂) lähde sisäilmalle on uloshengitysilmä. Keskikokoisella ihmisellä aineenvaihdunnan hiilidioksidin tuotto levossa on keskimäärin 20 l/h. Sitä syntyy myös palamisen tuotteena esimerkiksi kynttilästä, tupakasta tai kaasuliedestä. Hiilidioksidi ei reagoi elimistön kanssa. Jos huoneilman hiilidioksidipitoisuus on korkea, se yleensä kertoo huonosta ilmanvaihdosta. Seurauksena voi olla tunkkaisuuden tunnetta, väsymystä, päänsärkyä ja työtehon alenemista. Koska hengityksessä vapautuva hiilidioksidi on verrannollinen hiilidioksidin tuottoon, voidaan sitä käyttää kuvaamaan ilman laatua. Tämä onnistuu korkeilla ja normaaleilla pitoisuuksilla. Hiilidioksidipitoisuutta voidaan käyttää tavallisesti ilmanvaihdon mitoituksen perusteena. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm. (4.)

Taulukossa 1 on esitetty tietyn ilmanlaatutavoitteen hiilidioksidipitoisuus raja-arvoja. CO₂-pitoisuus yli taustan tarkoittaa, että taulukon hiilidioksidipitoisuuksiin lisätään ulkoilman pitoisuus 400 ppm. Esimerkiksi sisäilmastoluokituksen luokan S1 asettaman ilmanlaadun tavoitearvoihin pääseminen tarkoittaa, että CO₂-pitoisuuden pitää olla alle 750 ppm. (4.)

Taulukon 1 SIY 2018 tarkoittaa sisäilmaluokitusta vuodelta 2018. Sisäilmaluokka on S1, jos ilmanlaatu on erittäin hyvä. S2 kertoo, että sisäilman laatu on hyvä. YM 1009/17 on ympäristöministeriön asetus ilmanlaadulle vuodelta 2017. STM 545/2015 tarkoittaa sosi-aali- ja terveysministeriön asetusta asunnon ilmanlaadusta vuodelta 2015. (4.)

TAULUKKO 1. Ilmanlaadun hiilidioksidipitoisuus tavoitearvoja (4)

		SIY 2018	SIY2018	YM	STM
		S1	S2	1009/17	545/2015
CO ₂ -pitoisuus yli taustan	ppm	<350	<550	<800	<1150

2.1.2 Häkä eli hiilimonoksidi

Kun joku palaa epätäydellisesti, syntyy hiilimonoksidia (CO) eli häkää. Tulisijojen tai takan käyttö lisää yleensä häkäpitoisuutta sisäilmassa. Hiilimonoksidi sitoutuu veren hemoglobiiniin syrjäyttäen hapen ja aiheuttaa elimistölle hapen äkillisen puutteen. Lievänä se aiheuttaa päänsärkyä ja huonovointisuutta. Häkä on väritön ja hajuton kaasu, joten sitä on ihmisen vaikea havaita. (4.)

2.1.3 Otsoni

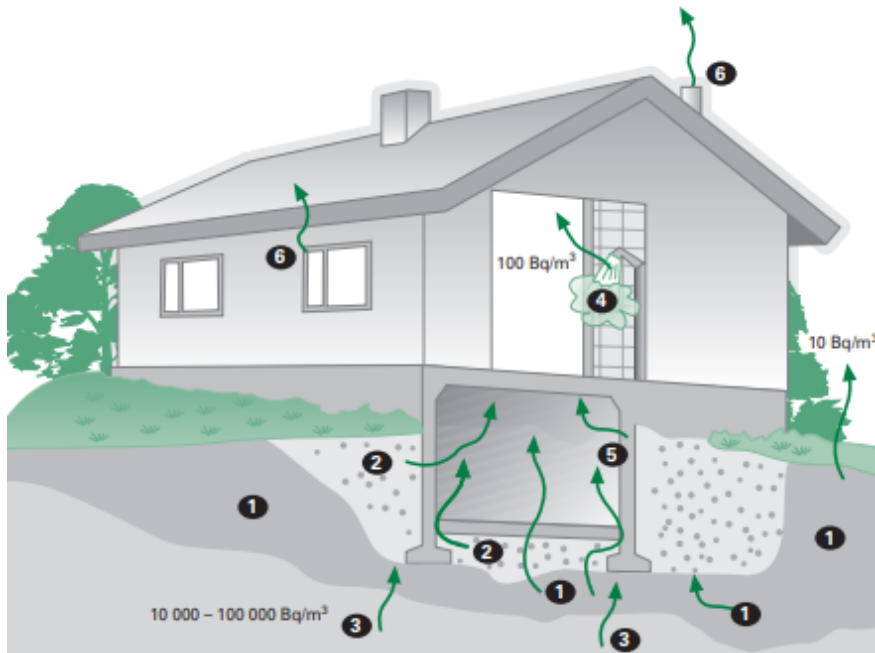
Otsonia (O₃) syntyy sähköpurkausten ja ulkoilman valokemiallisten reaktioiden yhteydessä. Sisäisiä synnyttäjiä ovat esimerkiksi kopiokoneet ja lasertulostimet. Otsoni vähentää keuhkojen hapensaantia pieninäkin pitoisuuksina. Ulkoilmaan syntyy otsonia suurina pitoisuuksina voimakkaan auringonpaisteen yhteydessä. Otsoni vaikuttaa myös sisäilmaan epäsuorasti reagoiden sisäilman muiden epäpuhtauksien kanssa. (4.)

2.1.4 Radon

Kun radioaktiivinen radium hajoaa, syntyy jalokaasua nimeltä radon. Suomessa maaperän kiviainekset ovat suurimmaksi osaksi moreenia ja graniittia. Radiumia on havaittu erityisesti juuri näissä kiviaineksissa. Radiumin puoliintumisaika on 1662 vuotta. Kaasumainen radon vapautuu maaperästä ja kulkeutuu yleensä rakennusten sisäilmaan. Radon muodostaa hajotessaan lyhytikäisiä tuotteita sekä alfasäteilyä. Jos hajoaminen tapahtuu ihmisen hengitettynä radonia, keho vahingoittuu. Varsinkin keuhkot ovat vaarassa. Tämä lisää keuhkosyöpäriskiä. (4.)

Radonin haittavaikutuksia voidaan välttää esimerkiksi hyvällä ilmanvaihdolla, paineeroilla ja alapohjan tiiveydellä. Suomalaisten saamasta säteilystä noin 70 % tulee radonista. Asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa 200 Bq/m³. (4.)

Kuvassa 2 on kuvattu, mitkä ovat sisäilman radonpitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä. Rakennuksen sisäilmaan radonia tuovat maaperä, täytemaa, kallioperä, talousvesi sekä rakennusmateriaalit. Rakennuksen sisäilmasta radonia poistava tekijä on ilmanvaihto.



KUVA 2. Sisäilman radonpitoisuuksiin vaikuttavat tekijät: 1. maaperä, 2. täytemaa, 3. kallioperä, 4. talousvesi, 5. rakennusmateriaalit ja 6. ilmanvaihto (5)

2.2 Hiukkasmaiset tekijät

Sisäilma sisältää orgaanisia sekä epäorgaanisia hiukkasia. Hengitettävät hiukkaset ovat kooltaan $< 10 \mu\text{m}$ ja pienhiukkaset $< 2,5 \mu\text{m}$. Epäorgaaninen hiukkanen on mm. asbesti ja orgaanisia hiukkasmaisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi homeitiöt, bakteerit ja virukset. (6.)

2.2.1 Kosteusvauriomikrobit

Suomen rakennuskannassa on syntynyt paljon kosteusvaurioita, jotka tuovat ihmisille terveyshaittoja. Kosteus- ja homevaurioepäilyissä on tärkeä selvittää ensin, onko todellista ongelmaa. Sen jälkeen mietitään ilmanvaihdon oikea toimivuutta sekä rakenteiden kosteutta. Home tarvitsee laajetukseen lämpöä, itiöitä, vettä ja ravinteita. Tärkein tekijä rakennusten näkökulmasta on kosteus. Kun suhteellinen kosteus on ilmassa tai rakenteissa noin 80 %, mikrobikasvustoa alkaa syntyä. Kasvaessaan kosteuspitoisuus synnyttää lisää uusia kasvustoja.

Mikrobikasvusto päästää ilmaan itiöitä ja kaasuja. Ne sisältävät homemyrkyjä eli toksineja. Ilmanvaihdolla ja paine-eroilla on suuri merkitys sisäilman puhtaana pysymiseen.

Alipaineinen ilmanvaihto vetää kosteudesta kärsineestä rakenteesta korvausilmaa suoraan sisäilmaan. Kun paine-erot ovat lähellä 0 pascalia, se vähentää haitallisten aineiden pitoisuuksia sisäilmassa. Tämä ei kuitenkaan yksin riitä vaurioiden ratkaisuksi, vaan kosteus pitäisi poistaa rakenteista. (4.)

2.2.2 Asbesti

Asbesti on kuitumaisten silikaattimineraalien kaupallinen yleisnimi. Ominaisuudet asbestikuidulla on yleisesti suuri vetolujuus, kestävyys emäksiä vastaan sekä palamattomuus. Kun asbesti joutuu hengitysteihin se ei kulkeudu sieltä pois. Tästä johtuu asbestin vaarallisuus. Sen käytöstä on luovuttu, mutta vanhemmissa taloissa sitä esiintyy. (4.)

2.3 Fysikaaliset tekijät

Fysikaaliset tekijät vaikuttavat viihtyvyyteen. Sisäilman epäpuhtauksiin se ei suuremmin vaikuta kuin tietyillä osa-alueilla. Säteily, ilman lämpötila ja kosteus, valaistus, melu ja ilman liike ovat esimerkkejä tyypillisistä fysikaalisista tekijöistä. (7.)

2.3.1 Ilman kosteus

Ilman kosteus eli suhteellinen kosteus kertoo, montako prosenttia ilmassa on vesihöyryä, joka tietyssä lämpötilassa voi olla tiivistymättä ilmassa. Esimerkiksi ulkoilman suhteellinen kosteusprosentti voi olla 100. Kun kylmäilma sekoittuu sisäilmaan, kylmä ilma lämpenee ja suhteellinen kosteus laskee. Suomessa kesän ilmasto on hyvä kosteuden suhteen. Yli 40 %:n suhteellinen kosteus johtaa pölypunkkien lisääntymiseen, yli 70 %:n homesienien kasvustoon ja yli 90 %:n lahovaurioihin. (7.)

2.3.2 Ilman liike ja veto

Ihminen tuntee vedon, kun lämpö siirtyy iholta. Ihmiset kokeva vedon yksilöllisesti. Veto syntyy yleisesti epätiiviestä rakennuksen vaipasta tai heikkolaatuisista ikkunoista. Ihmiset ovat herkkiä vedon tunteelle, kun lämpötila laskee alle 20 °C:seen. Veto itsessään ei aiheuta sairauksia vaan voimistaa kylmän tunnetta. (7.)

3 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdon tärkeimpiä tehtäviä on tuoda puhdasta ilmaa rakennuksen sisäilmaan sekä poistaa siellä syntyneet epäpuhtaudet. Rakennuksessa syntyy yleensä monia epäpuhtauksia, joiden lähteitä ei voi kokonaan poistaa riittävällä tavalla. Sen vuoksi tarvitaan hyvin suunniteltua ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon oikealla mitoituksella hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuudet saadaan pidettyä riittävän hyvällä tasolla, jotta terveysvaikutukset eivät olisi negatiiviset. Myös rakennukset pysyvät käyttökelpoisina pitempään. Sisäilmaongelmat ovat kytköksissä usein ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon kosteudensiirtoon ja toimintaan vaikuttavat erityisesti paine-erot sekä rakennuksen vaipan tiiveys.

Paine-erot muodostavat ilmanvaihdon toiminnan perusteet. Ilma kulkeutuu virtaamalla suuremmasta paineesta pienempään. Paine-erot syntyvät painovoimaisella ilmanvaihdolla lämpöeron ja tuulen yhteisvaikutuksella tai koneellisen ilmanvaihdon puhaltimella. Jos tuloilma puhalletaan koneellisesti tilaan, on kyseessä tulo- ja poistoilmanvaihto. Muissa tapauksissa tämä tarkoittaa vain poistoilmanvaihtoa. Korvausilman sisäänotto täytyy toteuttaa hallitusti poistoilmanvaihdossa. Tämä tapahtuu ulkoilmaventtiilien avulla. Lämmöntalteenoton mahdollisuus poistoilmasta on suuri etu koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa. Se säästää energiaa huomattavasti.

Kaikki kiinteät epäpuhtauslähteet pitäisi varustaa kohdepoistolla. Asunnoissa näitä ovat mm. liesi ja märkätilat. Ilmanvaihtoa tarvitaan erityisesti silloin, kun rakennuksen käyttäjät ovat paikalla. Muuten ilmanvaihdon käyttö olisi suunniteltava siten, että ilman laatu on hyvää tilojen käyttäjien saapuessa. Tuloilma tulee johtaa puhtaimpiin tiloihin, asunnoissa makuuhuoneisiin, joista se virtaa siirtoilmana keittiöön ja märkätiloihin. Näin taataan paras ilmanlaatu oleskelutiloissa. (8.)

3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmät luokitellaan yleensä kolmeen ryhmään. Ne ovat koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto sekä painovoimainen poistoilmanvaihto. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä on yleisin nykyaikaisissa pientaloissa. Se on lisäksi varustettu usein lämmöntalteenotolla ja keittiön liesituulettimella. Koneellinen poistoilmanvaihto- ja painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä ovat yleisempi

vanhemmassa rakennuskannassa. Myös näitä on täydennetty koneellisella poistolla keittiölieden päältä. (9.)

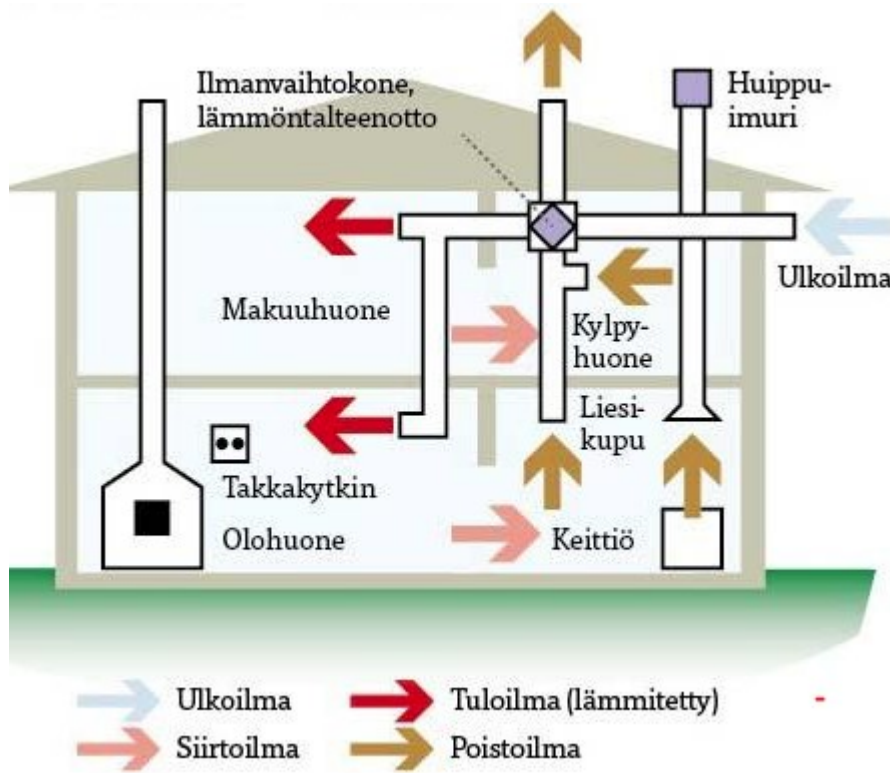
3.1.1 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmästä suurin osa tekniikasta on tullut valmiina tehtaalta. Se tekee siitä toimintavarman ja yksinkertaisen. Poisto- ja tuloilmavirrat ovat tasapainossa sekä lämmöntalteenotto ja suodatus helposti toteutettavissa. Järjestelmään kuuluvat puhaltimet, poistoilman lämmöntalteenotto, automatiikka ja ilmasuodatin.

Tuloilmaan voidaan tuoda lämpöä poistoilmasta lämmöntalteenoton avulla. Lämmöntalteenotto voidaan tehdä risti- ja vastaperiaatteella toimivilla levylämmönsiirtimillä tai pyörivällä lämmönsiirtimellä.

Ilmanvaihto voidaan toteuttaa myös pientalossa hajautetusti. Hajautettu ilmanvaihto voi toimia paremmin ohjausmahdollisuuksien takia kuin yksi suuri ilmanvaihtokone. Lisäksi kanavakoot ovat pienempiä. Jos jakokanavasta tulisi halkaisijaltaan yli 200 mm hajauttamista suositellaan. Pesu-, sauna- ja keittiötilat ovat hyviä erillisen ilmanvaihdon kohteita. (9;10.)

Kuvassa 3 on esitetty, kuinka koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto toimii rakennuksessa. Ulkoilmaa otetaan ulkoa ilmanvaihtokoneeseen, joka lämmittää sen tuloilmaksi. Lämmitetty tuloilma tuodaan ilmanvaihtokoneella makuu- ja olohuoneeseen. Siirtoilma siirtyy keittiöön sekä kylpyhuoneeseen, joista se poistetaan poistoilmana ilmanvaihtokoneella ja huippuimurilla ulkoilmaan.



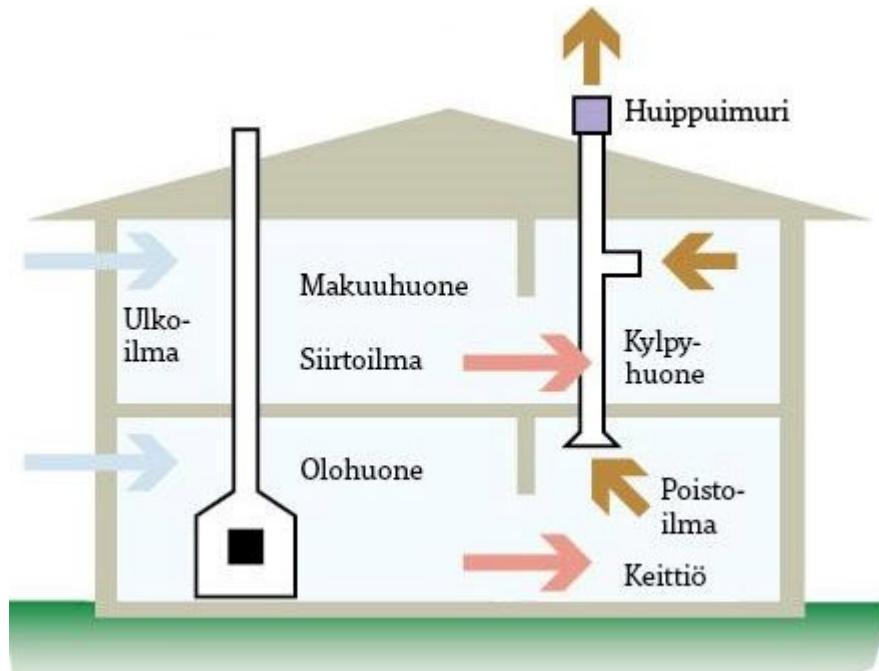
KUVA 3. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminta (10)

3.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Nykyään poistoilmanvaihtojärjestelmää käytetään enää harvoissa pientaloissa. Ennen sen käyttö on ollut yleistä. Haasteita tuovat mm. ulkoilmavirtojen hallinta ja sisään otettavan ulkoilman tehokas suodattaminen. Poistoilmavirrat pystytään hallitsemaan kohtuullisesti. Jotta ulkoilma virtaisi sisään, edellyttää tämä suurta alipainetta kiinteistön sisällä. Suuri alipaine tuo paljon haasteita mukanaan. Korvausilman mukana tulee epäpuhtauksia sisäilmaan esimerkiksi rakenteiden vuotokohtien kautta. Vuotoilma voi myös viilentää rakenteita, jolloin homeen syntymiselle tulee sopivat olosuhteet.

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenotto edellyttää yleensä lämpöpumppua. Talteen otettu lämpö siirretään vesivaraajaan, josta sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa huippuimurilla tai poistoilmaventtiilin päällä olevalla puhaltimella. Puhallin voidaan liittää valonkatkaisijaan. (9;10.)

Kuva 4 esittää koneellisen poistoilmanvaihdon periaatteen. Ulkoilma tulee rakennukseen alipaineen avulla makuu- ja olohuoneeseen. Ilma siirtyy siirtoilmana kylpyhuoneeseen sekä keittiöön. Sieltä ilma poistetaan poistoilmana huippuimurin avulla ulkoilmaan.

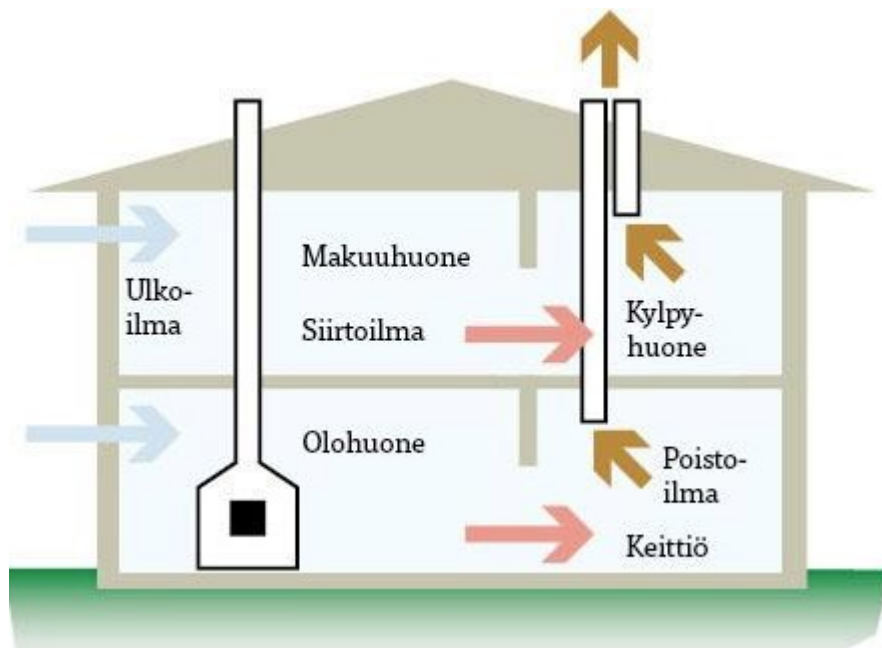


KUVA 4. Koneellisen poistoilmanvaihdon periaate (10)

3.1.3 Painovoimainen poistoilmanvaihto

Painovoimaisen poistoilmavaihtojärjestelmän heikkoutena ovat tulo- ja poistoilmavirtojen hallinta. Ilmanvaihdon suuruuteen vaikuttavat merkittävästi tuuli ja ulkoilman lämpötila. Korvausilmaventtiilit sijaitsevat yleensä ikkunan karmeissa tai oleskelutilojen seinissä. Poistoilmaventtiilit on laitettu likaisiin tiloihin kuten keittiö ja pesutilat. Ilmanvaihto toimii parhaiten ja tehokkaasti kovalla pakkasella ja tuulella. Kun sää on leuto, ilmanvaihto on pientä ja usein riittämätöntä. Painovoimainen ilmanvaihto ei tarvitse sähköä, joten sitä voidaan käyttää sähköttömässä kohteissa. Tämän ilmanvaihtojärjestelmän suosio perustuu usein alhaisiin investointikustannuksiin. (8; 9.)

Kuvassa 5 on esitetty painovoimaisen poistoilmanvaihdon toiminta. Ulkoilma tulee ulkoa makuu- ja olohuoneeseen korvausilmaventtiiliin kautta. Siirtoilma siirtyy keittiöön ja kylpyhuoneeseen, jossa sijaitsevat poistoilmaventtiilit. Näin poistoilma poistuu venttiilien avulla ulkoilmaan.



KUVA 5. Painovoimaisen poistoilmavaihtojärjestelmän toiminta (10)

3.2 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus (SFP)

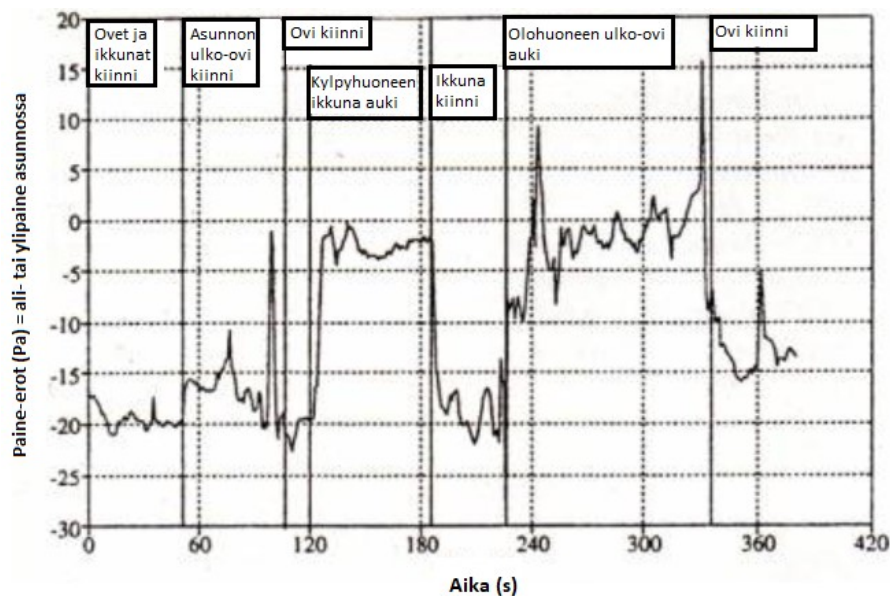
Ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuutta kuvaa SFP-luku (Specific Fan Power) eli ominaissähköteho. Oinaissähköteho kertoo lukuarvona, kuinka paljon kyseisen rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä tarvitsee sähkötehoa. Ilmanvaihtojärjestelmien sähkönkulutukseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi laitevalinnoilla ja oikeaoppisella suunnittelulla. Energian tarpeesta sähköenergialla on suuri osuus, joten hyvällä suunnittelulla pienennetään ympäristökuormitusta sekä elinkaarikustannuksia. (11.)

3.3 Paine-erot

Rakennuksen painesuhteilla tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman sekä rakennuksen eri osien välisiä ilmanpaine-eroja. Paine-eroa syntyy lähtökohtaisesti lämpötilaerojen, tuulen vaikutuksen, rakennuksen tiiviiden sekä ilmanvaihdon seurauksena. Paine-erot synnyttävät ilmavirtauksia korkeammasta matalampaan paineeseen. Nämä virtaukset kuljettavat mukanaan kosteutta, lämpöä ja epäpuhtauksia kuten radonia sekä homeen hajua rakenteista. (12;13.)

Kuvassa 6 on esitetty, kuinka ikkunoiden ja ovien asennot vaikuttavat rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välisiin paine-eroihin. Lisäksi nähdään paine-erojen suuri vaihtelevuus tietyissä tilanteissa, kun käytössä on koneellinen poistoilmavaihtojärjestelmä. Kun ikkunat ja ovet ovat kiinni, asunnossa on keskimäärin -20 pascalia alipainetta. Esimerkiksi kun kylpyhuoneen ikkuna laitetaan auki 120 sekunnin kohdalla, paine-erot jäävät noin 0 pascalin ja -5 pascalin väliin alipaineiseksi. Kun ikkuna taas suljetaan, kasvaa ali-paine heti -20 pascaliin.

Kun kaikki ikkunat ja ovet ovat kiinni, aukaistaan 220 sekunnin kohdalla olohuoneen ulko-ovi auki. Paine-erot hyppäävät -20 pascalin tasosta piikkinä 10 pascalin ylipaineeseen. Ulko-oven kiinni laitettaessa ylipaine romahtaa 15 pascalista -15 pascalin alipaineeseen.

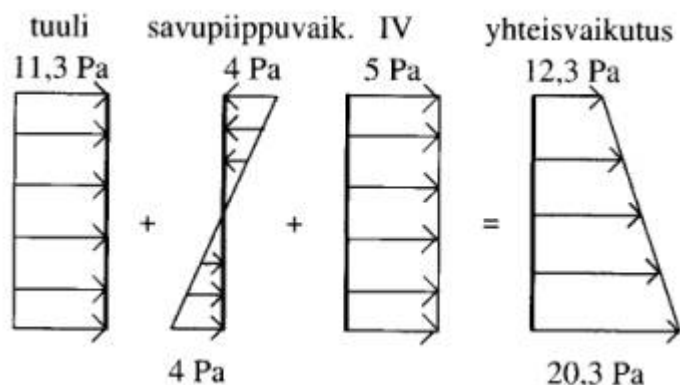


KUVA 6. Esimerkki pientalon paine-eroista, jossa on käytössä koneellinen poistoilmajärjestelmä (12)

Ilmanvaihdon vaikutus painesuhteisiin riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä. Koneellisessa tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmässä rakennukset pyritään tekemään mahdollisimman tiiviiksi, jotta painesuhteita voitaisiin hallita poiston ja sisäänpuhalluksen avulla. Rakennus on ylipaineinen, kun sisäänpuhallus on suurempi kuin poistoilmavirtaus. Ilmavirtojen suhteen ollessa käänteinen muuttuu rakennus alipaineiseksi. (12;13;14.)

Pienen ylipaineen ei ole raportoitu aiheuttaneen sisäilmaongelmia pientalojen kuivissa tiloissa. Jos ilmanvaihtojärjestelmä ei ole oikein tasapainotettu, voi esiintyä liian suuria paine-eroja. Kuopion yliopiston tutkimuksessa tehtyjen paine-eromittausten perusteella, hieman yli kolmasosassa rakennuksista on liikaa ali- tai ylipainetta ulkoilmaan nähden. Noin kolmasosassa kohteista painesuhteet ovat vähintään osasyynä rakennuksessa havaittuihin ongelmiin. Ylipainetta tai voimakasta alipainetta sisä- ja ulkoilman välillä oli tutkimusaineistossa kaikissa tarkastelluissa ilmanvaihtotyypeissä. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla on parhaat mahdollisuudet saada aikaan rakennukseen oikeat ilmanpainesuhteet. (12; 13; 14.)

Kuvassa 7 on esitetty, kuinka tuuli, ilmanvaihto ja savupiippu vaikuttavat yhdessä asunnon painejakaumiin. Yhteisvaikutus syntyy, kun vaikuttavien tekijöiden paineet pascalleina summataan yhteen. Kuvan 7 esimerkissä alhaalle syntyy suurempi paine kuin ylhäälle. Tämä johtuu savupiippuvaikutuksesta.



KUVA 7. Ilmanvaihdon, tuulen ja savupiippuvaikutuksen yhteisvaikutus paine-eroihin (12)

Pieni ali- tai ylipaine eivät tutkimusten mukaan aiheuta sisäilmaongelmia, joten tulisi tavoitella lähes ± 0 pascalin paine-eroa. Tämä osaltaan tukee koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän perusajatusta siitä, että huonetilan ilma vaihtuu pelkästään ilmanvaihtojärjestelmän kautta. (12;13;14.)

4 ILMANVAIHDON ENERGIANKULUTUSLASKELMAT

Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus lasketaan kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa lasketaan sähkönkulutus ilmanvaihtojärjestelmässä. Toisessa osassa lasketaan, kuinka paljon ilmanvaihto tarvitsee lämmitysenergiaa. Kun sähköenergian- ja lämmitysenergian kulutus lasketaan yhteen, saadaan ilmanvaihtojärjestelmän koko energiankulutus.

4.1 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus

Kaavalla 1 lasketaan ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus $W_{ilmanvaihto}$. Tuloksen yksikkö on kilowattitunti. (4)

$$W_{ilmanvaihto} = \Sigma SFP * q_v * \Delta t + W_{iv\mu u u t} \quad \text{KAAVA 1}$$

jossa

$W_{ilmanvaihto}$ = ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh

SFP = puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

q_v = puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

Δt = puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h

$W_{iv,\mu u u}$ = muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh

Kaavalla 2 lasketaan ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve Q_{iv} . Tuloksen yksikkö on kilowattitunti. (4)

$$Q_{iv} = t_d * t_v * p_i * C_{pi} * q_{v\text{tulo}} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 100 \quad \text{KAAVA 2}$$

Jossa

Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntisuhde, h/24h

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i = ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kgK)

$q_{v,tulo}$ = Tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila, °C

$\Delta T_{puhallin}$ = lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

T_{lto} = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = muunnoskerroin, kWh

Kaavalla 3 lasketaan lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho Φ_{lto} . Tuloksen yksikkö on watti. (4)

$$\Phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} * t_d * t_v * \rho_i * c_{pi} * q_{v,poisto} * (T_s - T_u) \quad \text{KAAVA 3}$$

jossa

Φ_{lto} = lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\eta_{a,ivkone}$ = ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)

$q_{v,poisto}$ = poistoilmavirta, m³

T_s = sisälämpötila, °C

T_u = ulkolämpötila, °C

Jotta kaavan 3 ulkolämpötila T_s voidaan määrittää, täytyy selvittää kuukauden keskilämpötilat. Taulukko 2 kertoo Oulun lentoasemalta vuonna 2018 mitatut ilman keskilämpötilat joka kuukaudelle.

TAULUKKO 2. Ilman kuukausikeskilämpötilat Oulun lentoasemalta vuodelta 2018 (15)

Kuukausi	°C
Tammikuu	-6,6
Helmikuu	-12,9
Maaliskuu	-7,8
Huhtikuu	1,6
Toukokuu	11,5
Kesäkuu	12,5
Heinäkuu	20,7
Elokuu	15,6
Syyskuu	10,6
Lokakuu	3,7
Marraskuu	1,7
Joulukuu	-4,5

Kaavalla 5 lasketaan lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila T_{lto} . Tuloksen yksikkö on celsiusaste. (4)

$$T_{lto} = T_u + \frac{\Phi_{LTO}}{t_d * t_v * p_i * c_{pi} * q_{v_{tul0}}} \quad \text{KAAVA 4}$$

jossa

T_{lto} = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

T_u = ulkoilman lämpötila, °C

Φ_{lto} = lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntisuhdeaika, vrk/7vrk

p_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntisuhde, h/24h

4.2 Puhaltimen lämpötilan nousu

Kaavalla 6 lasketaan puhaltimen lämpötilan nousu $\Delta T_{puhallin}$. Tuloksen yksikkö on celsiusaste. (4)

$$\Delta T_{puhallin} = \frac{P_{puh} \cdot p_s}{p_i \cdot c_{pi} \cdot q_v} \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

$\Delta T_{puhallin}$ = lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

P_{puh} = puhaltimen sähköteho, kW

p_s = ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde

p_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/(kgK)

q_v = puhaltimen ilmavirta, m³

4.3 Ilmavirrat

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräykset kumottiin vuonna 2018 ja tilalle tuli Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Uudesta asetuksesta oli otettu pois kaikki vanhat ohjearvot ja suorat ohjeet ilmavirroista. Vastuu siirrettiin suunnittelijalle vain toteamalla, että ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Järjestelmä tulee suunnitella siten, että tärkeimpiä toimintoja pystyy seuraamaan, mittaamaan ja ohjaamaan. Lisäksi järjestelmän täytyy kestää oikeinkäytettynä suunniteltu käyttöikä. (16.)

Taulukossa 3 on laskettu 100 m²:n omakotitalolle keskimääräinen ilmavirta 0,35 dm³/s lattiapinta-alaa kohti ja ilmanvaihtokerroin 0,5 1/h. Tuloksena saadaan keskimääräiseksi ilmavirraksi 35 dm³/s koko omakotitalolle.

TAULUKKO 3. 100 m²:n omakotitalon keskimääräinen ilmavirta ilmanvaihtokertoimella 0,5 1/h.

Ilmavirta	0,35	dm ³ /s
Pinta-ala	100	m ²
Ilmatilavuus	250	m ³
Keski ilmavirta	35	dm ³ /s

Taulukossa 4 on laskettu 100 m²:n omakotitalolle S1-sisäilmastoluokan ilmavirta dm³/s lattiapinta-alaa kohti ja 0,5 ilmanvaihtokerroin 0,7 1/h. Tuloksena saadaan keskimääräiseksi ilmavirraksi 50 dm³/s koko omakotitalolle.

TAULUKKO 4. 100 m² omakotitalon S1-sisäilmastoluokan ilmavirta ilmanvaihtokertoimella 0,7 1/h.

Ilmavirta	0,5	dm ³ /s
Pinta-ala	100	m ²
Ilmatilavuus	250	m ³
Ilmanvirta (S1)	50	dm ³ /s

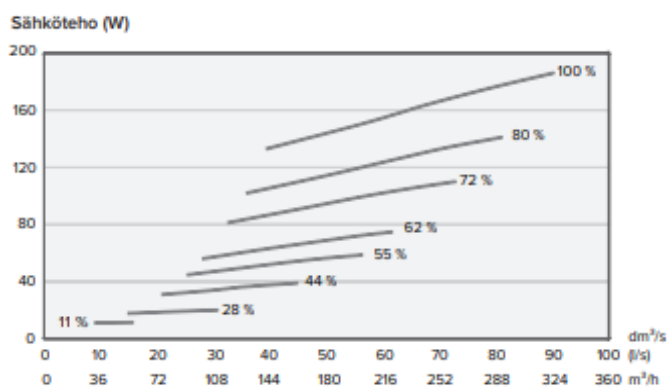
Kun ilmanvaihto halutaan optimoida, ilmavirta omakotitalolle on 6 dm³/s henkilöä kohti. Opinnäytetyön laskujen esimerkeissä ilmanvaihtokoneen ilmavirta on minimissään 10 dm³/s sillä se on alhaisin mitä pystytään tuottamaan kyseisellä ilmanvaihtokoneella. Suomessa optimoitu ilmanvaihto 6 dm³/s henkilö kohti on luonteva ihmisten terveysvaikutusten kannalta. Kaikissa olosuhteissa CEN-standardiehdotuksen arvoa 4 dm³/s henkilöä kohti on pidettävä ehdottomana alarajana. (17.)

4.4 Ilmanvaihtokone

Tarkastellaan esimerkkinä Vallox 90 MV -ilmanvaihtokonetta, joka on hyvä vaihtoehto keskisuurten asuntojen ilmanvaihtokoneeksi. Ilmanvaihtokone käy enintään 120 m²:n

omakotitalon ilmanvaihtoon. Siinä on suodattimet, jotka puhdistavat epäpuhtaudet ulkoilmasta. Näin ne eivät joudu tuloilman mukana rakennuksen sisäilmaan. Ilmoitettu vuosihyötysuhde on 62 %. Ilmanvaihtokoneeseen voi yhdistää kosteus- ja hiilidioksidimittaukset. Näin voidaan säätää paremmaksi ilmanvaihdon energiatehokkuutta ja ilmanlaatua sisäilmassa. (18.)

Kuvassa 9 on ilmoitettu Vallox 90 MV -ilmanvaihtokoneen puhaltimen ottotehot. Pystyakselilla on sähköteho W ja vaaka-akselilla ilmavirta l/s. Esimerkiksi 11 %:n teholla saadaan 10 - 16 l/s ilmavirtaa ja kulutus on 10 wattia sähkötehoa.



KUVA 9. Vallox 90 MV -ilmanvaihtokoneen puhaltimen ottotehot (19)

5 PAINE-EROJEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN

5.1 Energiankulutuksen lisääminen

Energiakulutusta lisätään liian suuren alipaineen takia. Suuri alipaine syntyy yleensä, kun ilmanvaihtojärjestelmä on väärin säädetty. Kun alipaine on kiinteistössä liian suuri, se tuo epäpuhtauksia sisäilmaan. Kun sisäilma muuttuu huonoksi, ilmanvaihtoa helposti suurennetaan paremman sisäilmaston toivossa. Silloin energiankulutus lisääntyy.

Teoreettinen kohde on 100 m²:n omakotitalo, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Huonekorkeus on normaali 2,5 metriä. Talossa asuu kaksi ihmistä. Talo on rakennettu vuonna 2003.

Ilmanvaihtokoneen tuottama keskimääräinen ilmavirta 0,35 dm³/s lattiapinta-alaa kohti ja ilmanvaihtokerroin 0,5 1/h. Tällöin kone käy 44 %:n teholla. Alipaine on asunnossa liian suuri, jolloin asukkaat kokevat ilmanlaadun heikentyneen ja lisäävät ilmanvaihtoa. Tästä syystä ilmanvaihto säädetään S1-sisäilmastoluokan ilmavirtaan 0,5 dm³/s lattiapinta-alaa kohti ja ilmanvaihtokerroin 0,7 1/h. Tällöin kone käy 55 %:n teholla.

5.1.1 Sähköenergian säästö

Taulukko 5 kertoo, kuinka paljon sähköenergiankulutusta säästää, jos ei olisi lisätty ilmanvaihtoa 44 %:n tehonsäädöstä 55 %:iin. Esimerkiksi kuukaudessa voi säästää tämän esimerkin avulla 27 kWh. Vuodessa säästöä tulisi 322 kWh. Ilmanvaihtokone käy 24 tuntia päivässä ja 7 päivää viikossa vakioteholla. Laskelmassa on käytetty kaavaa 1.

TAULUKKO 5. Sähköenergian säästö tietyssä ajanjaksona

Sähköenergia		Aika
0,04 kWh		tunti
1,0 kWh		vrk
7 kWh		viikko
27 kWh		kuukausi
323 kWh		vuosi

5.1.2 Lämmitysenergian säästö

Taulukko 6 kertoo vuoden lämmitysenergian säästön kuukausittain lämmöntalteenoton kanssa ja ilman sitä. Ilmavaihtoa on lisätty 44 %:n tehonsäädöstä 55 %:iin. Lämmöntalteenoton kanssa säästöä tulisi 450 kWh/a. Ilman lämmöntalteenottoa säästöä kertyisi 1954 kWh/a. Ulkolämpötilat ovat Oulun lentoasemalta vuonna 2018 mitatut ilman keskilämpötilat. Laskelmissa on käytetty kaavoja 2, 3, 4 ja 5.

TAULUKKO 6. Lämmitysenergian säästö kuukausittain

Kuukausi	LTO (kWh)	Ei LTO (kWh)
Tammikuu	78	285
Helmikuu	107	362
Maaliskuu	84	300
Huhtikuu	41	186
Toukokuu	-	66
Kesäkuu	-	54
Heinäkuu	-	-
Elokuu	-	17
Syyskuu	-	77
Lokakuu	31	161
Marraskuu	40	185
Joulukuu	69	260
Yhteensä	451	1954

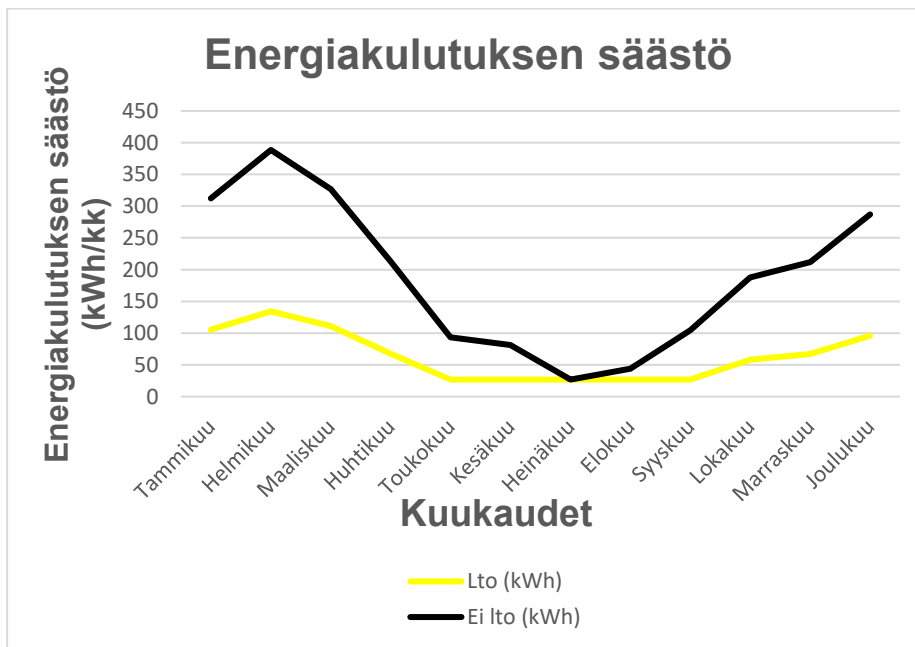
5.1.3 Energiankulutuksen säästö

Taulukko 7 kertoo vuoden energiankulutuksen säästön kuukausittain lämmöntalteenoton kanssa ja ilman sitä. Lämmöntalteenoton kanssa säästöä tulisi 773 kWh/a. Ilman lämmöntalteenottoa säästöä kertyisi 2276 kWh/a. Lämmöntalteenoton kanssa vuotuinen säästö on pienempi kuin ei lämmöntalteenottoa, koska energiankulutuskin on selvästi pienempi ilmanvaihdon tehon noston jälkeen. Tällöin säästöä ei voi kertyä enemmän.

TAULUKKO 7. Kokonaisenergian säästö kuukausittain

Kuukausi	LTO (kWh)	Ei LTO (kWh)
Tammikuu	105	310
Helmikuu	135	390
Maaliskuu	111	330
Huhtikuu	68	214
Toukokuu	27	94
Kesäkuu	27	80
Heinäkuu	27	27
Elokuu	27	44
Syyskuu	27	105
Lokakuu	58	188
Marraskuu	67	212
Joulukuu	96	290
Yhteensä	773	2280

Kuva 10 kertoo, kuinka paljon energiankulutuksen säästö on kilowattitunteina kuukausittain lämmöntalteenoton kanssa ja ilman sitä. Pystyakselilla on energiankulutuksen säästö kilowattitunteina ja vaaka-akselilla kuukaudet. Kuvan 10 keltainen viiva kertoo kilowattituntien säästön lämmöntalteenoton kanssa ja musta viiva ilman sitä. Esimerkiksi tammi-kuussa lämmöntalteenoton kanssa säästöä tulisi 105 kWh.



KUVA 10. Energiankulutuksen säästö kuukausittain

Taulukko 8 kertoo, kuinka paljon kaksi henkilöä säästää rahaa vuodessa kaukolämpö- tai sähkötalolla. LTO tarkoittaa, että ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenotto. Ei LTO tarkoittaa, ettei ilmanvaihtokoneessa ole lämmöntalteenottoa. Taulukosta 8 huomaa, että kaukolämpötalossa säästöt ovat vuosittain pienempiä, koska kaukolämpö on halvempaa kuin sähkö. Laskelmissa on käytetty sähkön hintana 16 snt/kWh. Hinta sisältää sähkön hinnan lisäksi siirtomaksun ja sähköveron. Hinta-arvio perustuu Tilastokeskuksen tilastoon pientalon sähkön hinnasta vuonna 2018. Kaukolämmön hinta on Oulun energialla 79,66 euroa/MWh pientalolle. (20; 21.)

TAULUKKO 8. Kahden henkilön säästö kaukolämpö- ja sähkötalolla vuodessa

Kahden henkilön säästö vuodessa (€)		
	Sähkötalo	Kaukolämpötalo
Lto	123,7	87,9
Ei lto	364,3	207,25

5.2 Energiakulutuksen optimointi

On mahdollista optimoida ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutusta pienemmäksi. Tämä tapahtuu pitämällä paine-eroja oikealla tasolla tarkan mittauksen avulla ilmanlaadusta tinkimättä. Ilmanlaadun mittauksessa käytetään paine-ero-, kosteus- ja hiilidioksidipitoisuusantureita, jotta varmistutaan hyvästä ilmanlaadusta.

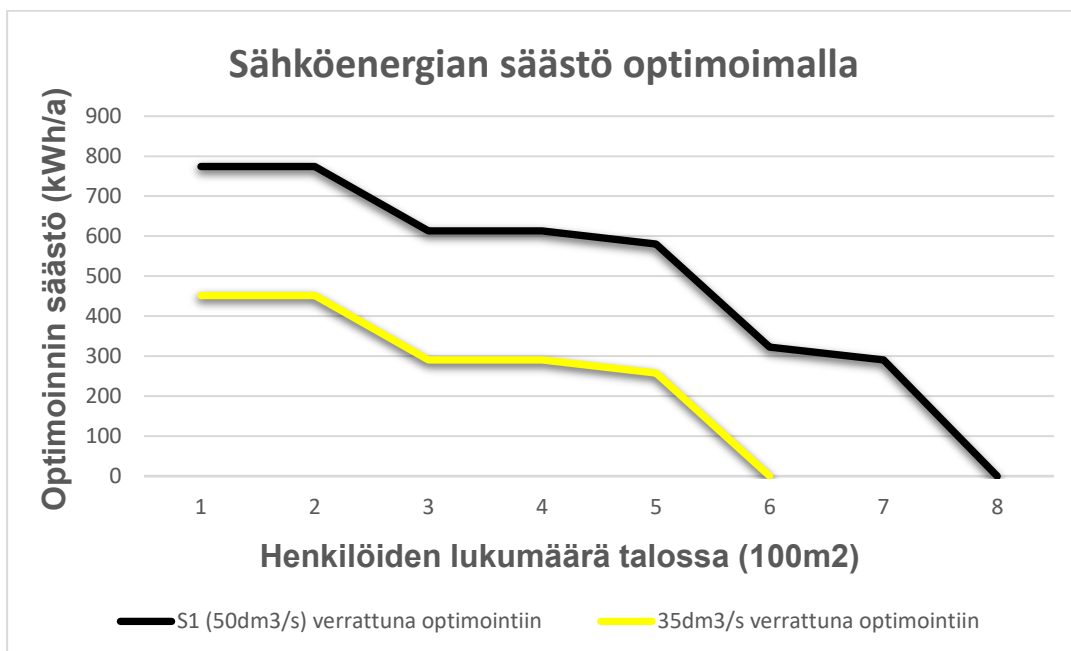
Omakotitalon ilmavirta on 35 dm³/s. Sen energiankulutus vähennetään optimoidun ilmavirran 6 dm³/s henkilöä kohti energiankulutuksesta. Sama tehdään myös S1-sisäilmastoluokan ilmavirran 50 dm³/s ja optimoidun välillä. Näin energiakulutukset riippuvat henkilöiden lukumäärästä talossa. Kun optimoitua ilmavirtaa käytetään, ilmanlaadun mittauksessa käytetään paine-ero, kosteus- ja hiilidioksidipitoisuusantureita.

5.2.1 Sähköenergian säästö

Kuva 11 kertoo, kuinka paljon voi säästää sähköenergiaa vuodessa optimoimalla, kun henkilöiden lukumäärä talossa pysyy samana. Pysty-akselilla on optimoinnin säästö kilowattituntia vuodessa. Vaaka-akselilla on henkilöiden lukumäärä talossa. Musta viiva ker-

to S1-sisäilmastoluokan ilmavirran sähköenergian kulutuksen verrattuna optimoituun ilmavirtaan. Keltainen viiva kertoo keskimääräisen ilmavirran sähköenergian kulutuksen verrattuna optimoituun ilmavirtaan.

Esimerkiksi kahdella henkilöllä säästö on S1-sisäilmastoluokkaan verrattuna 774 kWh/a ja keskimääräiseen ilmavirtaan verrattuna 450 kWh/a. Kun keskimääräistä ilmavirtaa verrataan optimointiin ja henkilöiden määrä talossa on 6 tai enemmän, se ei tuo enää sähköenergian säästöjä. Kun talossa on 8 tai enemmän ihmistä, ei S1-sisäilmastoluokituksen ilmavirta optimoituun verrattuna tuo enää säästöjä. Laskelmassa on käytetty kaavaa 1. Ihmisten lukumäärä talossa pysyy samana vuoden ajan jokaisena päivänä. Paine-erot pysyvät mittauksen ansiosta sopivalla tasolla.



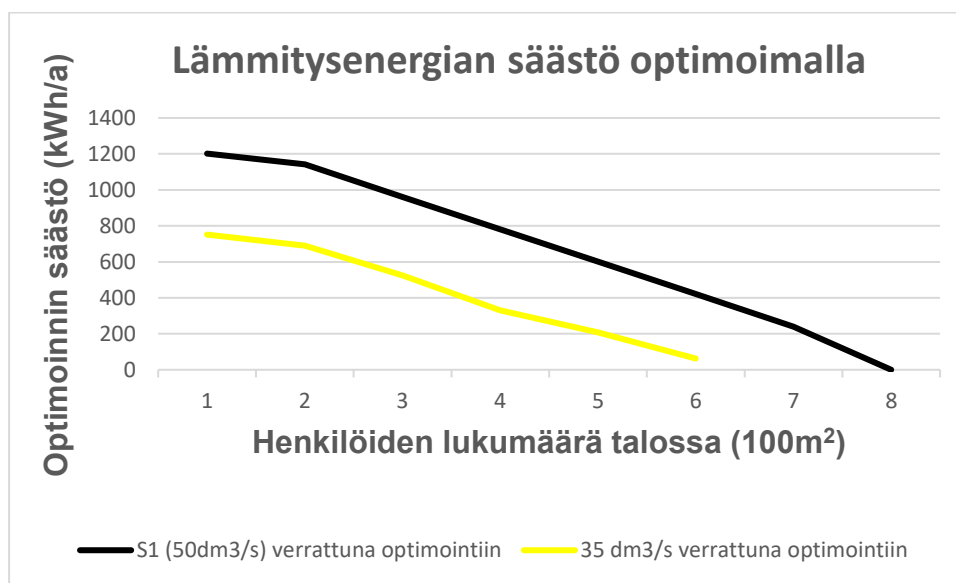
KUVA 11. Sähköenergian säästö vuodessa optimoimalla

5.2.2 Lämmitysenergian säästö

Kuva 12 kertoo, kuinka paljon voi säästää lämmitysenergiaa vuodessa optimoimalla, kun talossa on tietty määrä ihmisiä. Pysty-akselilla on optimoinnin säästö kilowattituntia vuodessa. Vaaka-akselilla on henkilöiden lukumäärä talossa. Musta viiva kertoo S1-sisäil-

mastoluokituksen ilmavirran lämmitysenergian kulutuksen verrattuna optimoituun ilmavirtaan. Keltainen viiva kertoo keskimääräisen ilmavirran lämmitysenergian kulutuksen verrattuna optimoituun ilmavirtaan.

Esimerkiksi kahdella henkilöllä säästö on S1-sisäilmastoluokka verrattuna optimointiin 1141 kWh/a ja keskimääräinen ilmavirta verrattuna optimoituun 690 kWh/a. Kun keskimääräistä ilmavirtaa verrataan optimoituun ja henkilöiden määrä talossa on 7 tai enemmän, se ei tuo enää lämmitysenergian säästöjä. Kun talossa on 8 tai enemmän ihmistä, ei S1-sisäilmastoluokituksen ilmavirta optimoituun verrattuna tuo enää säästöjä. Laskelmissa on käytetty kaavoja 2, 3, 4 ja 5.

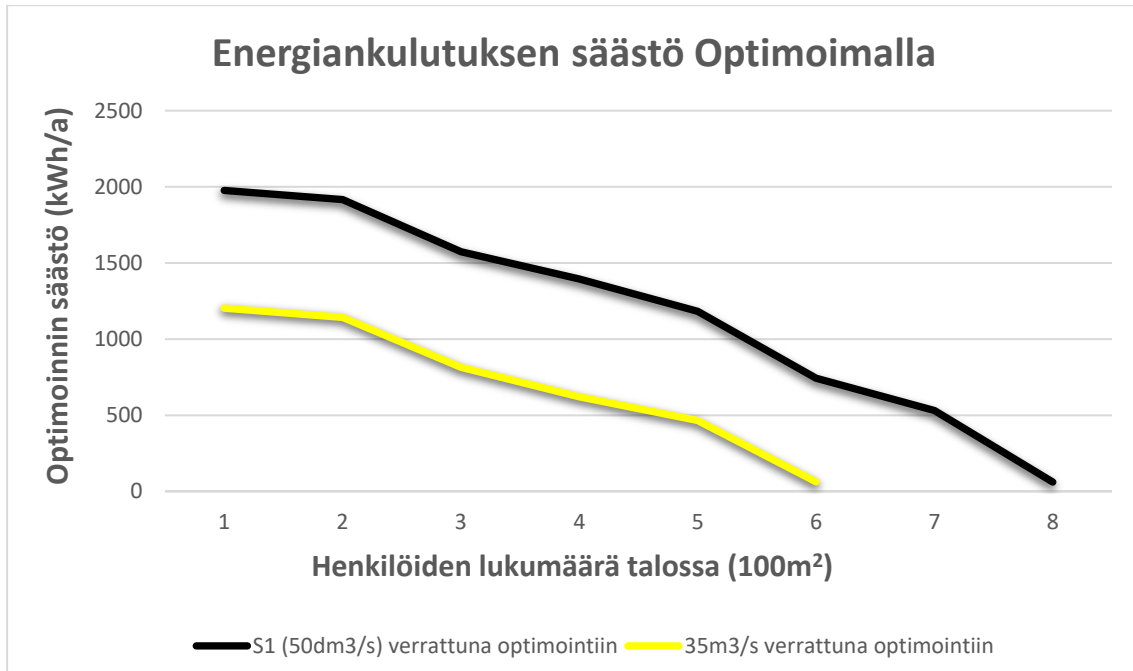


KUVA 12. Lämmitysenergian säästö vuodessa optimoimalla

5.2.3 Kokonaisenergian säästö

Kuva 13 kertoo kuinka paljon voi säästää energiaa vuodessa optimoimalla, kun talossa on tietty määrä ihmisiä. Pysty-akselilla on optimoinnin säästö kilowattituntia vuodessa. Vaaka-akselilla on henkilöiden lukumäärä talossa. Musta viiva kertoo S1-sisäilmastoluokan ilmavirran lämmitysenergian kulutuksen verrattuna optimoituun ilmavirtaan. Keltainen viiva kertoo keskimääräisen ilmavirran lämmitysenergian kulutuksen verrattuna optimoituun ilmavirtaan. Esimerkiksi kahdella henkilöllä säästö on S1-sisäilmastoluokkaan verrattuna optimointiin 1141 kWh/a ja 690 kWh/a keskimääräisellä ilmavirralla optimoituun verrattuna. Kun keskimääräistä ilmavirtaa verrataan optimoituun ja henkilöiden

määrä talossa on 7 tai enemmän, se ei tuo enää energiansäästöjä. Kun talossa on ihmisiä 8 tai enemmän, ei S1-sisäilmastoluokan ilmavirta optimoituun verrattuna tuo enää säästöjä.



KUVA 13. Energiankulutuksen säästö vuodessa optimoimalla

Taulukko 9 kertoo, kuinka paljon kaksi henkilöä säästää rahaa vuodessa kaukolämpö- tai sähkötalolla.

TAULUKKO 9. Kahden henkilön säästö kaukolämpö- ja sähkötalolla vuodessa

Kahden henkilön säästö vuodessa (€)		
	Sähkötal	Kaukolämpötal
S1	430,25	276,4
0,35 dm ³ /s	255	163,25

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia omakotitalojen paine-erojen optimointia ja vaikutusta energiankulutukseen. Esimerkit pyrittiin tekemään tapauksista, jotka ovat hyvinkin toteutettavissa ja mahdollisia. Ratkaisut ovat käytännössä toiminnallisesti mahdollisia, vaikka käsittely on pääasiassa teoreettinen.

Sisäilmasto on tärkeä asia rakennuksissa. Kun ilmanlaatu on hyvä, ihmiset voivat paremmin. Se on nykypäivänä yksi tärkeimmistä tavoitteista niin ihmisten kun rakennusten kannalta. Siksi omakotitalojen rakentamisessa on haluttu ottaa tämä asia hyvin huomioon.

Paine-erot vaikuttavat selvästi omakotitalon sisäilmastoon sekä energiatehokkuuteen. Hieman yli kolmasosassa rakennuksista on liikaa ali- tai ylipainetta ulkoilmaan nähden. Kaikissa ilmanvaihtojärjestelmä tyypeissä on havaittu liian suurta alipainetta tai ylipainetta. Tämän vuoksi on hyvä mitata asunnon paine-eroja. Paine-erojen mittauksen apuna käytetään kosteus- ja hiilidioksidiantureita, jotta varmistutaan hyvästä sisäilmanlaadusta.

Ilmanvaihtojärjestelmään olisi hyvä yhdistää paine-erojen mittaus. Paras ilmanvaihtojärjestelmä paine-erojen säätämiseen on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Sen avulla voidaan automatisoida ilmanvaihto sopivaksi käyttäjälle.

Opinnäytetyön laskelmissa huomattiin, miten paine-erot vaikuttavat energiankulutukseen. Kahdella henkilöllä energiankulutusta voisi säästää noin 2000 kWh:n vuodessa 100 m² talossa. Sähkötalolla säästöä tulisi 430 euroa vuodessa. Kaukolämpötalolla säästettäisiin noin 280 euroa vuodessa.

LÄHTEET

1. Sisäilmasto. 2008. Sisäilmastoyhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto>. Hakupäivä 5.2.2020.
2. Sisäilmaston tautitaakat. 2013. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Saatavissa: https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/11/isy_asikainena_ver02.pdf. Hakupäivä 2.2.2020
3. Kemialliset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmastoyhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>. Hakupäivä: 18.2.2020.
4. Heinonen Jarkko – Sandberg Esa. 2014. Ilmastointiteknikka.
5. Radon sisäilmassa. 2008. Suomen säteilyturvakeskus. Saatavissa: https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja2_4.pdf/e4ad6bfe-b60f-4394-b6a5-049d9c63e148. Hakupäivä: 22.3.2020
6. Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmastoyhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Hiukkasmaiset-epapuh- taudet>. Hakupäivä:12.2.2020.
7. Fysikaaliset tekijät. 2008. Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Fysikaaliset-tekijat>. Hakupäivä: 17.2.2020.
8. Energiatehokas ilmanvaihto. 2012. Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6147/Energiatehokas_ilmanvaihto2012.pdf. Hakupäivä: 15.2.2020.
9. Pientalon ilmanvaihto-opas. 2014. Teknologian tutkimuskeskus, VTT. Saatavissa: https://www.talteka.fi/sites/default/files/file_attachments/pientalon_ilmanvaihto-opas.pdf. Hakupäivä: 18.2.2020.
10. Ilmanvaihtojärjestelmät. 2020. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>. Hakupäivä: 13.3.2020

11. SFP-opas. 2009. LVI-talotekniikkateollisuus ry. Saatavissa: https://filtech.fi/data/sfpo-pas3_060709.pdf. Hakupäivä 26.2.2020.
12. Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustek-ninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>. Hakupäivä: 16.2.2020
13. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. 2019. A-insinöörit. Saatavissa: https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/rakennusten_paine-erojen_mittausohje_2019-10-11.pdf. Hakupäivä: 4.3.2020.
14. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. 2010. Seppänen Kim. Saatavissa: https://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0056-2/urn_isbn_978-952-61-0056-2.pdf. Hakupäivä: 4.4.2020.
15. Ilman keskilämpötila. 2019. Oulun kaupunki. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/50085/15048152/1.3+A.pdf/fa669af0-1e09-4859-9a50-a18ae048b469>. Hakupäivä: 12.4.2020.
16. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009> . Hakupäivä 15.3.2020.
17. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. 2017. Ympäristöministeriö, FINVAC ry. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7bD9B578DC-66D4-44BC-B1AE-DCAB875D5907%7d/144726>. Hakupäivä: 14.3.2020.
18. Vallox ilmanvaihtokoneet. 2020. Vallox. Saatavissa: https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_90_mv.html. Hakupäivä: 5.3.2020.
19. Vallox 90 MV -käyttöohjeet. 2020. Vallox. Saatavissa: https://www.vallox.com/files/3382/Manual_Vallox_90K_90_MV_FIN.pdf. Hakupäivä: 5.3.2020.
20. Kaukolämmön energia ja perusmaksut. 2020. Oulun Energia. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/lampo/kaukolampo/hinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut>. Hakupäivä: 27.9.2020.

21. Sähköhinta kuluttajatyypittäin. 2018. Tilastokeskus. Saatavissa:
http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_004_fi.px/. Hakupäivä: 27.9.2020.

LIITTEET