

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

## **ILMALÄMMITYKSEN SOVELTUVUUS PIENTALOIHIN**

### **Suitability of warm air heating for single-family houses**

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Mikhail Vinokurov

Lappeenrannassa 29.1.2014

Miia Liikanen

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	3
1.1 Taustaa .....	3
1.2 Tavoite ja rajaukset .....	4
2 ENERGIANKULUTUS PIENTALOISSA .....	4
2.1 Pientalojen energiatase .....	6
2.2 Lämmitys .....	7
2.3 Ilmanvaihto .....	8
3 ILMALÄMMITYS .....	9
3.1 Taustaa .....	9
3.2 Toiminta .....	10
3.3 Ilmalämmityskone .....	11
3.4 Kanavointi .....	13
3.5 Ilmanjako .....	14
4 ILMALÄMMITYKSEN SOVELTUVUUS PIENTALOIHIN .....	14
4.1 Energiatehokkuus .....	15
4.1.1 Lämmönlähteet .....	15
4.1.2 Tarpeenmukaisuus .....	15
4.1.3 Lämpökuormien siirtäminen .....	16
4.2 Sisäilmasto-olosuhteet .....	17
4.2.1 Vedon tunne .....	18
4.2.2 Lämpötilaprofiilit .....	20
4.2.3 Meluhaitat .....	21
4.2.4 Epäpuhtauspitoisuudet .....	23
4.3 Kustannukset .....	25
4.3.1 Investointikustannukset .....	25

4.3.2 Käyttökustannukset .....	28
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
6 YHTEENVETO .....	33
LÄHTEET .....	34

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Taustaa

Energiatehokkuuden kehittäminen on yksi keino kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ja siten ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Energiatehokkuus on tärkeässä osassa Euroopan unionin strategiassa. Unionin yhteinen tavoite on parantaa energiatehokkuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä. (Energiatehokkuus 2013.) Tämä tavoite pyritään saavuttamaan erilaisin ohjauskeinoin, kuten direktiivien ja kansallisten ohjauskeinojen avulla. (Taustatietoa 2013). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi tuli voimaan vuonna 2002. Direktiivi koostuu kolmesta eri osasta: energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset, energiatodistuksen käyttöönotto sekä lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkistukset. (Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2013.)

Energiatehokkuus on täten tärkeässä osassa tämän päivän rakentamisessa ja talotekniikassa. Talojen energiatehokkuudesta ollaan yhä tietoisempia ja rakentamisessa pyritään tekemään mahdollisimman järkeviä taloteknisiä ratkaisuja. Pientaloissa, kuten lähes kaikissa asuinrakennuksissa, lämmitys on suurin energiankuluttaja. Yksi tehokas keino energiatehokkuuden parantamisessa on oikean lämmitysjärjestelmän valinta. Koska lämmitys muodostaa suurimman osuuden pientalojen energiankulutuksesta, on lämmitysjärjestelmiin kiinnitettävä erityistä huomiota ja tutkittava eri järjestelmien soveltuvuutta.

Pientaloja ovat omakotitalot ja paritalot sekä kaksikerroksiset omakotitalot, joissa on kaksi asuntoa (Pientalo 2013). Pientalo on Suomessa yleinen talotyyppi: vuonna 2011 noin puolet suomalaisista asui pientalossa (Asuntokunnat ja asuinolot 2011 2012). Pientaloissa onkin merkittävää energiasäästöpotentiaalia johtuen talotyypin yleisyydestä. Niiden talotekniikkaan tulee perehtyä tarkemmin niin talokohtaisen kuin valtakunnallisen energiatehokkuuden kannalta.

Ilmalämmitys on vähän käytetty lämmitysjärjestelmä pientaloissa. Vielä 1980-luvulla sen käyttö oli yleistä. Pientaloissa ilmalämmitystä käytetään nykyään lähinnä matalaenergia- ja passiivitaloissa, jotka ovat yleistyneet 2010-luvulla. (Motiva 2012, 23). Il-

malämmitys voi kuitenkin olla potentiaalinen lämmitysjärjestelmävaihtoehto pientaloihin talotekniikan kehittymisen myötä.

## **1.2 Tavoite ja rajaukset**

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan ilmalämmityksen soveltuvuutta pientalojen lämmitysjärjestelmänä kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti ottaen huomioon kustannuksiin, energiatehokkuuteen ja asuinoloihin liittyvät näkökulmat. Työssä esitellään yleisesti pientalojen energiankulutus, lämmitys ja ilmanvaihto sekä ilmalämmityksen toiminta- ja toteutusperiaate. Näiden pohjatietojen perusteella tutkitaan ilmalämmityksen vaikutusta edellä mainittuihin asumiseen liittyviin näkökulmiin. Ilmalämmitystä verrataan totuttuun talotekniseen järjestelmään, jossa ilmanvaihto ja lämmitys on toteutettu erikseen.

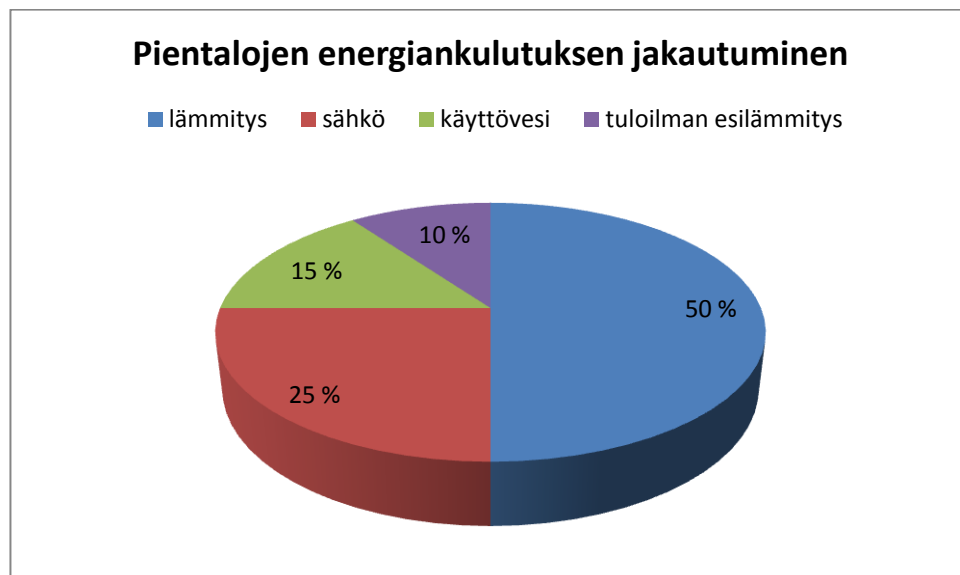
Kandidaatintyö toteutetaan kirjallisuusselvityksenä. Työssä tuodaan esille ilmalämmityksen vahvuudet ja heikkoudet pientalojen lämmitysjärjestelmänä. Ilmalämmityksen soveltuvuuden tarkastelua rajataan niin, että työssä käsitellään suomalaisia pientaloja. Soveltuvuutta tarkastellaan olettaen ilmalämmityksen olevan päälämmitystapa. Rajauksen taustalla on tarve selvittää, onko ilmalämmitys soveltuva päälämmitystapa pohjoisella pallonpuoliskolla, jossa rakennusten lämmityksellä on suuri merkitys pientalojen energiankulutuksessa ja talotekniikassa.

## **2 ENERGIANKULUTUS PIENTALOISSA**

Rakennusten lämmitys kulutti neljäsosan Suomen energian loppukäytöstä vuonna 2012 (Liitekuvio 14 Energian loppukäyttö sektoreittain 2012). Samana vuonna asuinrakennusten osuus rakennuskannasta oli noin 85 %. Asuinrakennuksista taas suurin osa on pientaloja, ja pientalojen osuus koko rakennuskannasta oli noin 76 % (Rakennuskanta 2012). Koska pientalojen lämmitettävien neliöiden ja kuutioiden määrä on suurempi kuin kerrostalojen, pientalot kuluttivat yli puolet asuinrakennusten lämmitysenergiasta vuonna 2011 (Asumisen energiankulutuksesta yli 80 prosenttia kului lämmitykseen vuosina 2008–2011 2012). Tilastojen valossa voidaan perustellusti sanoa, että pientalojen lämmitysenergian kulutuksen osuus on merkittävä Suomen energiankulutuksen osal-

ta. Täten lämmitysjärjestelmän valinnalla on suuri merkitys niin yksittäisen kuluttajan kuin koko yhteiskunnan kannalta. Lämmitysjärjestelmän oikealla valinnalla voidaan säästää kustannuksista merkittävästi, sillä lämmitysjärjestelmän valinta vaikuttaa kustannuksiin rakennuksen koko elinkaaren aikana.

Lämmityksen osuus pientalojen energiankulutuksesta on 40–60%. Lämmitysenergiankulutus jakautuu rakennuksen ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen sekä rakennuksen johtumishäviöiden kesken (Lämmönkulutus 2013). Huoneisto- ja kiinteistösähkö kuluttaa 20–30 %, käyttöveden esilämmitys 10–25 % ja tuloilman esilämmitys 5–15 % pientalojen energiankulutuksesta. Energiankulutukseen vaikuttavat monet eri seikat: talon eristys, ilmanvaihto ja sen tehokkuus, kodinkoneiden energiankulutus, valaistus sekä lämmitysjärjestelmän valinta. Näiden seikkojen lisäksi ihmisten elintavat vaikuttavat merkittävästi energiankulutukseen, esimerkiksi kuinka lämpimään huoneilmaan ihmiset ovat tottuneet. (Energiakoulu omakotitalon rakentajalle 1 2013.) Energiankulutuksen jakauma onkin vain suuntaa-antava esimerkki, miten energiankulutus jakautuu pientalossa. Voidaan kuitenkin sanoa, että lämmityksen osuus pientalojen energiankulutuksesta on noin puolet lähes joka tapauksessa. Kuvassa 1 on esitetty eräs esimerkki energiankulutuksen jakautumisesta.



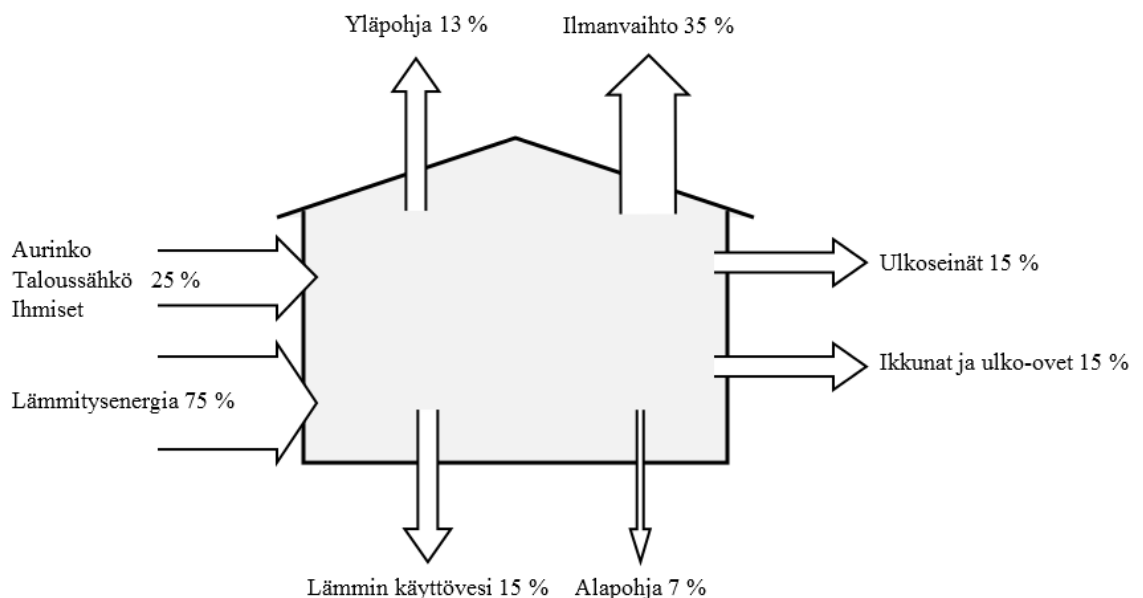
**Kuva 1.** Pientalojen energiankulutuksen jakautuminen (Energiakoulu omakotitalon rakentajalle 1 2013).

## 2.1 Pientalojen energiatase

Pientalojen energiankulutus-osiossa tarkasteltiin hankitun energiankulutuksen jakaamaa. Hankitun energian lisäksi pientaloja koskettavat myös muut energiavirrat. Energiataseessa otetaan tarkemmin huomioon pientalon lämpöhäviöt ja pystytään selvittämään ne eri tekijät, jotka kuluttavat hankittua lämpöenergiaa. Pientalojen energiataaseella havainnollistetaan pientaloon tulevia ja poistuvia energiavirtoja, jotta niistä saadaan selkeä kuva.

Pientalojen energiataaseessa taloon tulevat energiavirrat koostuvat lämmön- ja sähkön-hankinnasta sekä niin sanotuista ilmaisista lämpökuormista. Ilmaisia lämpökuormia ovat esimerkiksi auringon säteilyenergia ja ihmisestä vapautuva lämpöenergia. Ne vähentävät lämmitysenergian tarvetta. (Seppänen & Seppänen 1997, 257.)

Talosta poistuvat energiavirrat muodostuvat lämmitysenergiähäviöistä, jotka syntyvät ilmanvaihdosta, ylä- ja alapohjasta, ikkunoista, ulkoseinistä sekä lämpimästä käyttövedestä. Kaikkea lämpöenergiaa ei saada hyödynnettyä, joten lämpöenergiähäviöitä syntyy aina. Kuvassa 2 on esitetty pientalojen energiataase. (Seppänen & Seppänen 1997, 257.)



**Kuva 2.** Pientalojen energiataase (Kodin energiasäästöohjeita: lämmitys 2013).

Pientalon energiataseesta selviää, että ilmanvaihto on suurin yksittäinen lämmitysenergiähäviön aiheuttaja kuluttaen 35 % pientalon lämmitysenergiasta. Ilmanvaihdon tekniset ratkaisut ovatkin suuressa roolissa pientalojen kokonaislämpöhäviöissä ja täten myös energiatehokkuudessa. Ilmalämmitys voikin olla tekninen ratkaisu ilmanvaihdon lämpöhäviöiden hallinnassa.

## 2.2 Lämmitys

Lämmitys on tärkeässä osassa rakennuksen talotekniikassa. Lämmityksellä luodaan ja ylläpidetään terveellisiä ja viihtyisiä lämpöoloja sisätiloissa. Lämmityksellä pidetään lämpöolot oikeanlaisina säällä kuin säällä vuodenaikasta riippumatta. (Motiva 2012, 4).

Rakennusten lämmityksen tärkein tehtävä on kattaa tilasta poistuvat lämpöhäviöt. Lämmitysjärjestelmä mitoitetaan lämmöntarpeen mukaan, joka määritetään huonekohtaisesti (Seppänen 1995, 3). Huoneiden lämmöntarpeiden summasta muodostuu rakennuskohtainen lämmöntarve. Lämmitettävä tilan pinta-ala vaikuttaa siis vahvasti lämmöntarpeeseen.

Pientalon lämmitysjärjestelmä voidaan jakaa monella eri tavalla lähteestä riippuen. Yksi esimerkki on lämmitysjärjestelmän jako lämmönkehityslaitteisiin, lämmön varastointiin, lämmönjakojärjestelmään sekä säätö- ja ohjauslaitteisiin. Eri osien tulee toimia yhdessä hyvin, jotta koko lämmönjärjestelmä toimii halutulla tavalla. (Motiva 2012, 8.)

Lämmönkehityslaitteisto muuntaa pientaloon hankitun ulkopuolisen energian hyödynnettäväksi lämmöksi. Esimerkkeinä lämmönkehityslaitteistoista ovat kaukolämmönvaihdin ja lämpöpumppu. Lämmönvarastointilaitteistoa ei ole kaikissa pientalojen lämmitysjärjestelmissä. Esimerkiksi pellettilämmityksessä varastoidaan lämpöä varaajaan. Lämmönjakojärjestelmässä lämpö siirtyy lämmönkehityslaitteistolta lämmitettävään tilaan. Lämmönjakojärjestelmä koostuu siirtoputkistoista ja -kanavista sekä itse lämmityslaitteista. Esimerkki perinteisestä lämmönjakojärjestelmästä on vesipatterilämmitys, jossa lämmityslaitteena toimii patteri ja siirtoputkistossa kulkee lämmönsiirtoaine eli vesi. Toisena esimerkkinä lämmönjakotavasta mainittakoon työssä käsiteltävä ilmalämmitys. Ilmalämmityksessä vastaavat komponentit ovat ilmekanavistot sekä tulo- ja



poistoilmapäätelaitteet. Lämmönjakojärjestelmällä on suuri vaikutus viihtyvyyden kannalta, joten lämmönjakojärjestelmän suunnitteluun ja mitoitukseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota. Sääto- ja ohjausjärjestelmillä säädetään lämmitystehoa lämmitystarpeen mukaan. Sääto- ja ohjausjärjestelmiin kuuluvat esimerkiksi sähkölämmityksen sähköpattereiden termostaatit. Termostaatti säättää lämmitystä huoneilman lämpötilan mukaan. (Motiva 2012, 8-9.)

Uusien pientalojen yleisimmät lämmitysjärjestelmät vuonna 2011 olivat maalämpöpumppu, suora sähkölämmitys, kaukolämpö ja poistoilmalämpöpumppu (Lämmitysjärjestelmän valinta 2013). Vuosina 2006–2010 maalämpöpumpun osuus on kasvanut selkeästi uusien pientalojen lämmitysjärjestelmänä, kun taas sähkölämmityksen ja kaukolämmön osuudet ovat pienentyneet. Vastaavasti poistoilmalämpöpumpun osuus on pysynyt melko tasaisena. (Motiva 2012, 4-5.) Yleisempien uusien pientalojen lämmitysjärjestelmien osuuksista voidaan päätellä, että ihmiset valitsevat yhä useammin käyttökustannuksiltaan matalan lämmitysjärjestelmän, kuten maalämpöpumpun. Lämmitysjärjestelmien käyttökustannukset ovatkin merkittävä tekijä lämmitysjärjestelmien valinnassa.

### **2.3 Ilmanvaihto**

Ilmanvaihdolla luodaan ja ylläpidetään lämmityksen ohella oikeanlaista sisäilmaa. Hyvällä ilmanvaihdolla taataan se, että tilan sisäilma on terveellinen ja viihtyisä. Ilmanvaihdolla säädellään tilan happi-, kosteus- ja hiilidioksidipitoisuutta sekä poistetaan epäpuhtauksia. Ilmanvaihdolla vaihdetaan nimensä mukaisesti tilan ilmaa. Epäpuhtas ilma korvataan raittiilla ilmalla. Asuinrakennuksissa ilmanvaihdon tulee olla jatkuvaa, jotta taataan hyvä sisäilman laatu vuorokauden ympäri. Jatkuva ilmanvaihto estää epäpuhtaus- ja kosteuspitoisuuksien nousun sisäilmassa. (Seppänen & Seppänen 1997, 160–164.)

Raitista tuloilmaa johdetaan oleskeluhuoneisiin eli esimerkiksi makuuhuoneisiin ja olohuoneisiin. Oleskelutiloista poistoilma siirtyy niihin tiloihin, joissa on poistoilmavaihto. Epäpuhtasta ilmaa poistetaan tiloista, joissa on merkittäviä epäpuhtauslähteitä. Tällaisia tiloja ovat muun muassa märkätilat. Likaisissa tiloissa ei ole tavanomaisesti tuloilmakanavia, vaan tiloihin tulee korvausilma muista tiloista esimerkiksi ovirakojen

kautta. Tilat ovat alipaineisia, jotta epäpuhtas ilma ei pääse leviämään muualle rakennukseen. (Seppänen & Seppänen 1997, 165.)

Ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia joko koneellisesti tai painovoimaisesti. Koneellisessa ilmanvaihdossa tulo- ja poistoilmanvaihto toteutetaan puhaltimilla. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä perustuu paine-eroihin, joita aiheuttavat tuuli sekä korkeus- ja lämpötilaerot. Tuloilma tulee rakennukseen ulkoilmalaitteiden ja rakenteiden ilma-  
vuotojen kautta. Koska poistoilma on lämmintä, se virtaa poistoilmakanavassa kevyempänä ylöspäin ja johdetaan ulos rakennuksesta. (D2 Suomen rakentamismääräyskoelma 2012, 4.)

Edellä mainituista ilmanvaihtojärjestelmistä koneellinen ilmanvaihto on yleisempi. Lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä on 90 % uusista omakotitaloista (Koneellinen ilmanvaihto 2013). Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on määritetty, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 15). Tämä lämpömäärä on helpoin ottaa talteen lämmöntalteenotolla varustetulla koneellisella ilmanvaihdolla. Tästä syystä koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä on yleisin ilmanvaihtotapa ja käytössä lähes kaikissa uusissa pientaloissa.

## **3 ILMALÄMMITYS**

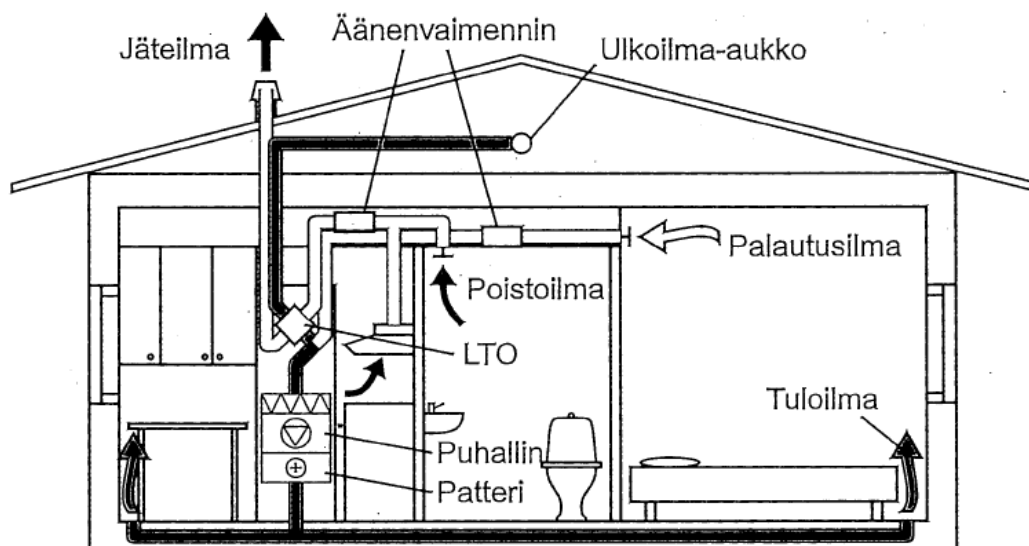
### **3.1 Taustaa**

Ilmalämmitys oli yleinen lämmitysjärjestelmä pientaloissa vielä 1980-luvulla. Se tuli markkinoille vuonna 1976. Markkinoille tulon jälkeen ilmalämmitys yleistyi nopeasti. Järjestelmä oli monilla tavoin haasteellinen jo alkuaan. Ilmalämmitysjärjestelmää varten täytyi rakentaa ilmanvaihtoputkistot pientaloihin, sillä koneellinen ilmanvaihto ei ollut yleinen tuolloin. Koska ilmalämmityksessä oli puutteita sekä järjestelmän toteutuksessa että toiminnassa, ilmalämmitys ei yleistynyt tunnetuksi lämmitysjärjestelmäksi ja suurin suosio jäi 1980-luvulle. (Heikkinen et al. 1982, 10.) Nykyisin ilmalämmitystä käytetään pientaloissa lähinnä matalaenergia- ja passiivitaloissa (Motiva 2012, 23).

### 3.2 Toiminta

Ilmalämmitys on lämmönjakojärjestelmä, jossa lämmin ilma johdetaan lämmitettävään tilaan ilmankanavistolla. Ilmalämmitysjärjestelmällä ei varsinaisesti tuoteta lämpöä, vaan järjestelmällä siirretään lämpö tilaan ilman ollessa lämmönsiirtoaineena. (Heikkinen et al. 1982, 11.) Ilmalämmitys yhdistää talon ilmanvaihdon ja lämmityksen (Seppänen & Seppänen 1997, 174).

Ilmalämmityksellä on monia yhteneväisyyksiä perinteisen lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen ilmanvaihdon kanssa. Kuten koneellisessa ilmanvaihdossa, raitis ilma tuodaan taloon tuloilmapuhaltimilla. Tuloilma johdetaan lämmöntalteenoton jälkeen lämmityspatteriin, jossa tuloilma lämmitetään haluttuun lämpötilaan. Lämmitetty tuloilma johdetaan lämmitettäviin tiloihin ilmankanavilla. Kanavista ilma siirtyy tilaan huonekohtaisten päätelaitteiden kautta. Lämpö siirtyy ilmasta tilaan konvektiolla. Likainen ilma poistetaan tilasta puhaltimilla. Ennen kuin poistoilma johdetaan rakennuksesta ulos jäteilmana, otetaan ilmasta vielä hyödyntämätöntä lämpöä talteen lämmöntalteenotossa. Ilmalämmitysjärjestelmä varustetaan lähes aina lämmöntalteenotolla parantaen rakennuksen energiatehokkuutta. Kuvassa 3 havainnollistetaan ilmalämmitysjärjestelmää pientalossa. (Seppänen & Seppänen 1997, 174–175.)



**Kuva 3.** Kuvassa on esitelty ilmalämmitysjärjestelmä pientalossa, jossa ilma tuodaan tilaan alajakoisesti. (Seppänen & Seppänen 1997, 175)

Suurin eroavaisuus ilmalämmityksen ja tavanomaisen ilmanvaihdon välillä on palautusilman kierrättäminen ilmalämmityksessä. Ilmalämmityksessä pääosa tilan ilmasta kierrätetään takaisin ilmalämmityskoneeseen ja ainoastaan osa ilmasta johdetaan poistaukkojen kautta ulos (Seppänen & Seppänen 1997, 174). Palautusilman käytön vuoksi ilmalämmityksen päätelaitteiden sijoittelu poikkeaa tavanomaisesta ilmanvaihdosta. Ilmalämmityksessä tulo- ja poistoilmapäätelaitteet sijoitetaan kaikkiin niihin tiloihin, jotka vaativat lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Tavanomaisessa ilmanvaihdossa sen sijaan ilmaa tuodaan oleskelutiloihin ja poistetaan likaisista tiloista. Myös tuloilman lämpötilat eroavat näiden kahden järjestelmän välillä. Ilmalämmityksen tuloilman lämpötila on jo valmiiksi halutussa lämpötilassa, kun tavanomaisen ilmanvaihdon lämpötila lämmitetään haluttuun oleskelulämpötilaan. Ilmalämmityksen tuloilman lämpöenergiasisältö on siis tavanomaista ilmanvaihtoa suurempi.

### **3.3 Ilmalämmityskone**

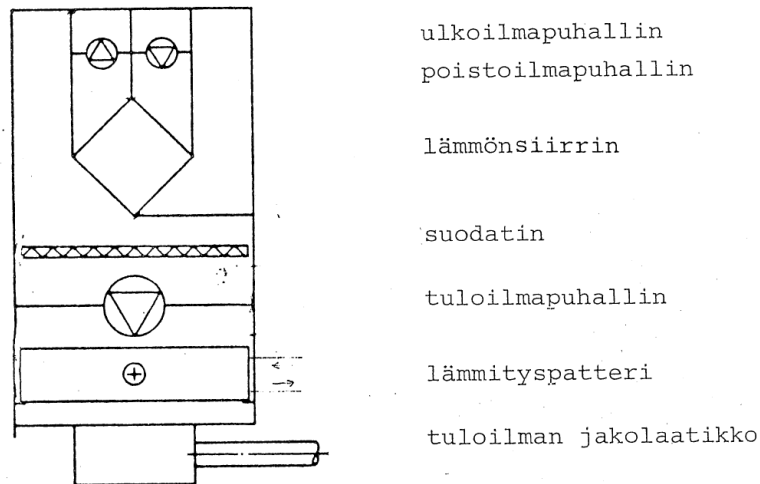
Ilmalämmityskoneessa tapahtuu varsinainen tuloilman lämmitys. Ilmalämmityskone ei tarvitse suurta tilanvarausta, sillä se on kokonsa puolesta verrattavissa jääkaappipakastinyhdistelmään. (Seppänen & Seppänen 1997, 175.) Kuvassa 4 on esitetty erään valmistajan ilmalämmityskone.



**Kuva 4.** Pingvin Kotilämpö-ilmalämmityskone (Enervent 2010).

Ilmalämmityskoneeseen kuuluvat perinteisen ilmanvaihtokoneen tavoin lämmityspatteri, puhaltimet, suodattimet ja lämmöntalteenotto. Lämmityspatterilla lämmitetään tuloilmaa. Lämmitystapa on vapaasti valittavissa. Lämmitys voi tapahtua vesikiertoisesti tai sähköpatterilla oman valinnan mukaan (Ilmalämmitys(a)).

Ilmalämmityskone eroaa ilmanvaihtokoneesta puhaltimien osalta. Ilmalämmityskoneessa on kolme erillistä puhallinta, joilla jokaisella on oma tehtävänsä ilmansiirrossa. Ilmalämmityskoneessa on tulo- ja poistoilmapuhaltimien lisäksi kiertoilmapuhallin. Kiertoilmapuhallin on niin sanottu pääpuhallin, joka mitoitetaan lämmitykseen käytettävän kiertoilmavirran perusteella. Suodattimia tulee ilmalämmityskoneessa sijoittaa poisto-, ulko- ja palautusilmaan. Palautusilman suodatuksella pyritään hyvän ilmanlaadun ylläpitoon. Suodattimia on erilaisia ja niistä voi valita käyttötarpeeseen sopivan. Lämmöntalteenotto voidaan sijoittaa erilleen ilmalämmityskoneesta, jolloin se sijoitetaan esimerkiksi keittiön liesikuvun yhteyteen. Kuvassa 5 on esitetty ilmalämmityskoneen periaate. (Seppänen & Seppänen 1997, 174–175.)



Kuva 5. Ilmalämmityskone (Heikkinen et al. 1982, 34).

### 3.4 Kanavointi

Ilmalämmityskone kannattaa sijoittaa rakennuksen keskelle. Siten kanavointi ja ilmavirtojen tasapainotus on helppo toteuttaa. Koska ilmalämmityskoneesta aiheutuu meluhaittoja, tulee ilmalämmityskone sijoittaa sille varattuun äänieristettyyn tekniseen tilaan. (Seppänen & Seppänen 1997, 175.)

Ilman ominaislämpökapasiteetti on selkeästi pienempi kuin veden. Ilmaan ei siis varastoidu yhtä paljon lämpöenergiaa tiettyä lämpötilaeroa kohti. Jotta saavutetaan sama lämmitysteho ilmalla ja vedellä, täytyy ilman lämpökapasiteettivirran olla merkittävästi suurempi. Tämän vuoksi ilmalämmityskanavien tilantarve on suuri. (Seppänen & Seppänen 1997, 175.)

Kuten ilmanvaihdon kanavoinnissa, tulee myös ilmalämmityksen kanavoinnissa tavoitella mahdollisimman selkeää ja symmetristä muotoa. Kanavakoot määräytyvät lämmöntarpeen mukaan ja kanavat voivat olla pyöreitä tai kantikkaisia. Kanavien eristäminen on erityisen tärkeässä osassa ulko- ja tuloilmakanavistossa, jotta ilmalla tuotava lämpö saadaan perille asti lämmitettävään tilaan. Kanavien lämpöeristyksen lisäksi voidaan tarvita kosteuseristystä, jos ulkoilmakanava kulkee lämpimässä tilassa. (Heikkinen et al. 1982, 51.)

### 3.5 Ilmanjako

Tavanomaisen ilmanvaihdon ilmanjakotapa pientalossa on yläjakoinen. Ilmalämmityksessä ilmanjako voidaan toteuttaa yläjakoisen tavan lisäksi alajakoisesti. Yläjakoisessa ilmanjaossa ilmalämmityskanavisto kulkee tilan katon rajassa. Tuloilmapäätelaitteet sijaitsevat myös tilan yläosassa joko kattoon tai seinään asennettuina. Alajakoisessa ilmanjaossa ilmalämmityskanavistot sijaitsevat lattian alapuolella. Alajakoisessa ilmanjaossa täytyy varmistaa, että kanavisto ei pääse kostumaan maaperän kosteuden vaikutuksesta. (Seppänen & Seppänen 1997, 175–176.)

Ilmanjako jaetaan sekoittavaan, laminaariseen ja syrjäyttävään ilmanjakoon. Näistä ilmanjakotavoista yleisin pientaloissa käytetty tapa on sekoittava ilmanjako. Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilman nopeus on heti tuloilmapäätelaitteen jälkeen suuri, jolloin tuloilma sekoittuu tehokkaasti tilaan. Tällä tavoin saadaan luotua tasaiset olosuhteet koko huonetilaan. Sekoittava ilmanjako on täten sopiva myös ilmalämmitykseen. (Seppänen 1996, 154.)

Ilmamäärien osalta tavanomainen ilmanvaihto ja ilmalämmitys eroavat. Koska ilmalämmityksessä käytetään palautusilmaa, ovat ilmalämmityksen ilmamäärät tavanomaisesta ilmanvaihtoa suuremmat. Tämä vaikuttaa myös ilmanjakoon. Ilmalämmityksen kanaviston tilantarve on tavanomaisesta ilmanvaihtoa suurempi, mikä vaikuttaa merkittävästi ilmanjaon suunnitteluun. Kanavistolle tuleekin varata riittävä tila, olipa kyseessä kumpi tahansa ilmanjakotapa.

## 4 ILMALÄMMITYKSEN SOVELTUVUUS PIENTALOIHIN

Suurin osa suomalaisista asuu pientaloissa (Rakennuskanta 2012). Pientalot ovat pääosin asuinrakennuksia, joten niiden talotekniikassa ovat tärkeässä roolissa energiatehokkuuteen, sisäilmasto-olosuhteisiin ja kustannuksiin liittyvät tekijät. Näitä tekijöitä käytetäänkin kriteereinä, joilla tarkastellaan ilmalämmityksen soveltuvuutta pientalojen lämmitysjärjestelmänä. Tarkastelu toteutetaan vertailemalla ilmalämmitystä perinteiseen talotekniseen järjestelmään, jossa ilmanvaihto ja lämmitys on toteutettu erikseen. Ilma-

lämmitystä vertaillaan siis lämmöntalteenotolla varustettuun koneelliseen ilmanvaihtoon ja erilaisiin lämmitysjärjestelmiin.

## **4.1 Energiatehokkuus**

Lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden kriteerejä ovat alhaiset lämmityskustannukset ja terveellinen sisäilmasto (Rakennustieto 2007, 14). Ilmalämmityksen energiatehokkuutta pientalossa tarkastellaan lähinnä käyttökustannusten osalta. Huomio kiinnitetään siis niihin ilmalämmityksen ominaisuuksiin, joilla on vaikutusta käyttökustannusten suuruuteen.

### **4.1.1 Lämmönlähteet**

Käyttökustannuksiltaan alhaisin lämmönkehitystapa on energiatehokkuuden kannalta paras vaihtoehto. Ilmalämmitysjärjestelmän lämmönkehitystapoja on useita. Sen lisäksi, että ilmalämmityksessä voidaan käyttää perinteisen radiaattorilämmityksen lämmönkehitystapoja, ilmalämmityksessä voidaan hyödyntää myös matalalämpötilaisia lämmönlähteitä. Järjestelmässä voidaan hyödyntää esimerkiksi aurinkolämmityksen tai lämpöpumpun kehittämää lämpöenergiaa. Matalalämpötilaisten lämmönlähteiden hyödyntäminen perustuu siihen, että ilmalämmityskoneen lämmityspatteriin on mahdollista saada runsaasti lämmönsiirtopintaa. (Harju 2010, 20.)

Ilmalämmitysjärjestelmään on siis monia hyviä lämmönkehitystapoja valittavana. Edellä mainittujen matalalämpötilaisten lämmönlähteiden lisäksi ilmalämmityksessä voidaan käyttää muitakin käyttökustannuksiltaan alhaisia lämmönkehitystapoja, kuten maalämpöä ja pellettilämmitystä.

### **4.1.2 Tarpeenmukaisuus**

Ilmalämmityksen tarpeenmukaisuuden tarkastelussa keskitytään siihen, kuinka helposti pientaloon on toteutettavissa tarpeenmukainen lämmitys. Käytännössä lämmityksen tarpeenmukaisuus tarkoittaa, että tilaa lämmitetään juuri niin paljon kuin on tarpeellista tietyllä ajanhetkellä. Tarpeenmukainen lämmitys on tärkeässä asemassa pientalon ener-



giatehokkuuden kannalta, koska lämmityksen osuus energiankulutuksesta on selvästi suurin.

Ilmalämmityksen etu on tarkka lämmityksen säätö (Vesikiertoinen vai kuiva lämmönjakojärjestelmä? 2013). Tarkka lämmityksen säätö perustuu palautusilman käyttöön. Ilmalämmityskoneeseen palautettavan ilman jo valmiin lämpöenergiasisällön ansiosta palautusilman lämmittämiseen vaadittava lämmitysteho pienenee. Toinen lämmityksen tarkan säädön mahdollistava tekijä on se, että ilmalämmityksessä johdetaan tilaan lämmintä ilmaa, kun muissa lämmitysjärjestelmissä lämmitetään tilassa olevaa ilmaa. Ilmalämmityksellä on siis mahdollista reagoida lämmitystarpeen muutoksiin nopeasti, minkä ansiosta järjestelmällä voidaan toteuttaa tarpeenmukainen lämmitys.

Kun ilmalämmitystä verrataan erikseen toteutettuun ilmanvaihtoon ja lämmitykseen tarpeenmukaisuuden kannalta, on lämmityksen tarkastelu tärkeämmässä osassa. Syynä on se, että molemmilla järjestelmävaihtoehdoilla ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö on yhtä helposti toteutettavissa. Tarpeenmukaisen käytön osalta ilmalämmitys eroaa erikseen toteutetusta ilmanvaihdosta ja lämmityksestä siten, että tarpeenmukainen lämmitys on ilmalämmityksessä helpommin toteutettavissa nopean reagoinnin ansiosta. Ilmalämmitysjärjestelmässä voidaan lisätä myös huonekohtaisiin tuloilmapäätelaitteisiin sähkövastukset, joilla tehdään lämpötilan loppusäätö (Motiva 2012, 23). Tällöin voidaan entisestään vaikuttaa siihen, että lämmitysteho vastaa tarvetta kullakin ajanhetkellä.

Ilmalämmitys on liitettävissä automatiikkajärjestelmään. Hetkellinen lämmitystarve tunnistetaan järjestelmissä esimerkiksi kosteus- ja hiilidioksidiohjauksilla. (Ilmalämmitys(b).) Tällöin lämmitystarpeeseen vaikuttaa tilassa oleskelevien ihmisten lukumäärän lisäksi toiminta, joka vaikuttaa sisäilman kosteuspitoisuuteen. Esimerkkinä tällaisesta toiminnasta on kylpeminen.

#### **4.1.3 Lämpökuormien siirtäminen**

Ilmalämmitysjärjestelmällä on mahdollista siirtää talon sisäisiä lämpökuormia. Lämpökuormat voivat aiheutua niin sisäisistä kuin ulkoisista tekijöistä. Esimerkiksi yllilämpö

aurinkoisista huoneista voidaan siirtää varjoisten huoneiden lämmitykseen. (Seppänen 1996, 218.) Ilmalämmityksellä voi myös jakaa takan lämpöä koko taloon (Harju 2010, 20). Tällöin voidaan pienentää hyödyntämättömän yllilämmön osuutta lämpöhäviöistä ja pienentää lämmitysenergian tarvetta. Lämpökuormien siirtämisellä voidaan siis parantaa talon energiatehokkuutta.

Ilmalämmityksellä on siis mahdollista parantaa pientalon energiatehokkuutta. Energia-  
tehokkuuden paranemisen odotukset perustuvat järjestelmän nopeaan säädettävyyteen ja lämpökuormien siirtämiseen talon sisällä. Näillä tiedoilla ei voida kuitenkaan todeta, kumpi on energiatehokkaampi vaihtoehto: ilmalämmitys vai erikseen toteutettu ilmanvaihto ja lämmitys. Ilmalämmitysjärjestelmä omaa kuitenkin potentiaalia kehittää pientalon energiatehokkuutta, mikäli järjestelmää käytetään tarpeenmukaisuuden kannalta oikein.

## **4.2 Sisäilmasto-olosuhteet**

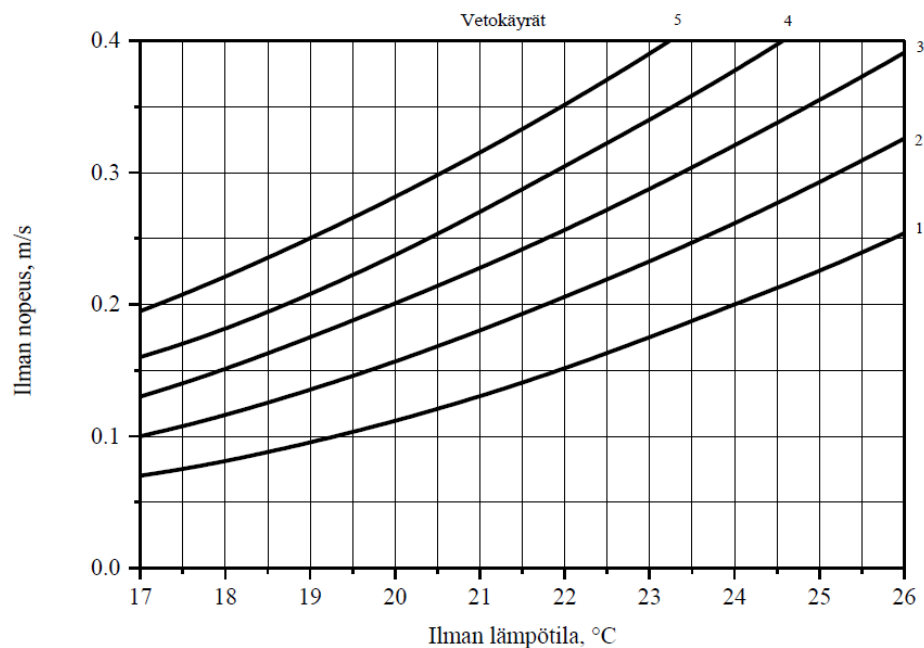
Pientalojen sisäilmasto-olosuhteisiin vaikuttavat monet eri tekijät. Pientalojen ollessa pääosin asuinrakennuksia, ovat asuinviihtyvyyteen ja sisäilmaston terveellisyyteen liittyvät tekijät tärkeässä osassa. Sisäilmasto-olosuhteiden osalta pientalojen sisäilman tulee olla jatkuvasti hyvä, sillä tilassa oleskellaan vuorokauden ympäri. Sisäilmasto tulee huomioida kaikissa taloteknisissä ratkaisuissa. Sisäilmaston ominaisuuksiin ei saa täten vaikuttaa negatiivisesti ratkaisut, joilla pyritään parantamaan pientalon energiatehokkuutta, kuten ilmalämmitys.

Sisäilmasto-olosuhteiden tarkastelussa keskitytään niihin sisäilmaston ominaisuuksiin, joihin ilmalämmityksellä on mahdollisesti negatiivista vaikutusta. Näitä ominaisuuksia ovat vetoisuus, lämpötilaprofiilit, melu ja epäpuhtauspitoisuudet. Ilmalämmityksen vaikutusta sisäilmasto-olosuhteisiin verrataan erikseen toteutettuun ilmanvaihtoon ja lämmitykseen.

#### 4.2.1 Vedon tunne

Vedon tunteen syntymisen ehkäisy on tärkeää pientaloissa, sillä vedoton sisäilma on perusta asuinviihtyvyydelle (Vedottomuus 2013). Vedon tunne johtuu ihon paikallisesta jäähtymisestä, joka aiheutuu ilmavirtauksesta, sen lämpötilasta ja säteilylämmönsiirrosta tai niiden yhteisvaikutuksesta (Seppänen 1996, 340). Vedon tunteeseen vaikuttavat ilmavirtauksen eri tekijät: ilman lämpötila, nopeus sekä säteilyllä tapahtuva lämmönsiirto (Seppänen 1996, 25).

Ilmalämmityksen kannalta ilmavirtauksen lämpötila ja nopeus ovat vedon tunteen syntymiselle altistavia tekijöitä. Kuvassa 6 esitetään näiden kahden tekijän välistä yhteyttä. Kuvassa olevat vetokäyrät kuvaavat sallittuja ilman enimmäisnopeuksia tietyille lämpötilalle. Kuva havainnollistaa, kuinka korkeammassa lämpötilassa oleva ilmavirtaus on vedon tunteen kannalta helpommin siedettävissä kuin matalammassa lämpötilassa oleva.



**Kuva 6.** Ilman nopeuden ja lämpötilan yhteys viihtyvyyden kannalta (D2 Suomen rakentamismääräyskoelma 2012, 24).

Kun tarkastellaan ilmavirran ominaisuuksia, on lämpötila helpommin hallittavissa kuin nopeus. Lämpötilan säätö voidaan toteuttaa ilmalämmityskoneen säädöillä. Nopeuden säätö sen sijaan aiheuttaa muutoksia ilman tilavuusvirtaan ja siten myös lämpökapasi-

teettivirtaan. Nopeuden muutokset vaikuttavat siis lämmityksen lisäksi ilmanvaihtoon. Vedon tunteen syntymisen tarkastelussa ilman nopeus on kriittisessä osassa. Ilmalämmityksessä käytettäviä ilman nopeuksia verrataan koneellisessa ilmanvaihdossa käytettäviin nopeuksiin, jotta saadaan vertailutaso ilmalämmitykselle. Taulukossa 1 on esitetty ilmalämmityksen ilmavirtauksen nopeuksia. Taulukossa on esitetty pyöreille ilmalämmityskanaville erikseen suositellut ja sallitut maksimi-tilavuusvirrat, joiden perusteella on selvitetty nopeudet erikokoisille kanaville. Taulukossa 2 sen sijaan on esitetty ilmanvaihtokanaviston ilman tilavuusvirrat ja nopeudet kanavan halkaisijan mukaan.

**Taulukko 1.** Maksimi-ilmamäärät ja niitä vastaavat ilman nopeudet ilmalämmityskanavistoissa (Heikkinen et al 1982, 51).

	Suositus		Sallittu	
Ø [mm]	qv [m <sup>3</sup> /h]	nopeus [m/s]	qv [m <sup>3</sup> /h]	w [m/s]
100	100	3,54	110	3,89
125	150	3,4	175	3,96
160	250	3,45	290	4,01
200	400	3,54	450	3,98

**Taulukko 2.** Ilmanvaihtorunkokanavien ilman nopeudet ja ilmamäärät erikokoisille kanaville (Harju 2009, 26).

Ø [mm]	w [m/s]	qv [m <sup>3</sup> /h]
125	2,5	110,45
160	3	180,96
200	3	282,74
250	3,5	441,79
315	3,5	701,38

Palautusilman käytön vuoksi ilmalämmityksessä käytettävän ilman nopeudet ja siten myös tilavuusvirrat ovat suuremmat kuin tavanomaisessa ilmanvaihdossa. Esimerkiksi 200 mm:n halkaisijaltaan olevalla kanavalla ilmalämmityksen suositeltu ilmamäärä on noin 41 % suurempi kuin ilmanvaihdon. Runkokanavien ilman nopeudet eivät ole suoraan verrattavissa vedon tunteen syntymiseen, sillä ilman nopeudet pienentyvät merkittävästi lähestyttäessä päätelaitetta. Jotta melua ja vedon tunnetta ei kehity, tulee liitäntäkanavien ilmavirran nopeuden olla 1-3 m/s. (Seppänen 1996, 102). Runkokanavien ilman tilavuusvirtojen ja nopeuksien perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että vedon tunteen syntyminen on todennäköisempää ilmalämmityksessä.

Täytyy huomioida, että ilmalämmityksessä tuloilman lämpötila on tavanomaista ilmanvaihtoa korkeampi. Kuvan 6 vetokäyrien perusteella korkeampi lämpötila kompensoi suurempaa ilmavirran nopeutta vedon tunteen syntymisen osalta. Ilmalämmityksen suuremmat ilmamäärät ja nopeudet ovat siis korkeamman lämpötilan ansiosta mahdollisesti helpommin siedettävissä. Korkeampi lämpötila voi pienentää riskiä aiheuttaa vedon tunnetta, mutta se ei poista sitä. Vedon tunteen syntyminen ilmalämmityksessä on siis riski, johon tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Ilmalämmityksen eri ilmanjakotapojen osalta yläjakoinen ilmanjako on kriittisempi vedon tunteen syntymisen kannalta. Yläjakoisessa ilmanjaossa tuloilman sekoittuminen tilaan edellyttää riittävän suurta tuloilman nopeutta päätelaitteen jälkeen. Tällöin kyseessä on sekoittava ilmanjako. (Seppänen 1996, 153.) Alajakoisessa ilmanjaossa sen sijaan tuloilman nopeus ei ole niin tärkeässä osassa, sillä lämmin ilma nousee tiheyseron ansiosta luonnostaan tilan yläosaan. Vedottomuuden kannalta alajakoinen onkin parempi ilmanjakotapa.

#### **4.2.2 Lämpötilaprofiilit**

Asuinviihtyvyyden kannalta vedon tunteen minimoinnin lisäksi tärkeässä osassa on tilan tasainen lämpötilaprofiili. Kun tilassa on tasainen lämpötilaprofiili, ei lämpötila ole riippuvainen huonekorkeudesta tai sijainnista. Tasaisella lämpötilaprofiililla taataan se, että kaikkialla tilassa on haluttu lämpötila viihtyvyyden ja terveellisuuden kannalta.

Ilmalämmityksen eri ilmanjakotapoja täytyy käsitellä erikseen myös lämpötilaprofiilien osalta. Alajakoisessa ilmanjaossa tuloilma johdetaan tilaan lattiaan sijoitettujen säleikköjen läpi (Heikkinen et al. 1982, 62). Säleiköt sijoitetaan samalla periaatteella kuin lämmityspatterit: tilan ulkoseinille ikkunoiden alle. Poistoilmapäätelaitteet ovat sijoitettu kattoon. (Seppänen & Seppänen 1997, 175.) Alajakoisessa ilmanjaossa syntyy tilaan luonnostaan tasainen lämpötilaprofiili, sillä lämmin tuloilma nousee pienemmän tiheydensä vuoksi tilan yläosaan. Täten tilan ylä- ja alaosassa on sama lämpötila.

Yläjakoisessa ilmanjaossa lämmin tuloilma johdetaan tilaan katon rajasta. Poistoilmapäätelaitteet ovat myös sijoitettu tilan yläosaan. Tuloilman ollessa lämpimämpää, jää

yläjakoisessa ilmanjaossa tuloilma helposti tilan yläosaan, eikä sekoitu tasaisesti. Näin yläosan lämpötila on alaosa korkeampi. Yläjakoisessa ilmanjakotavassa on myös mahdollista kehittyä oikosulkuvirtaus, jossa tuloilma kulkee suoraan poistoilmapäätelaitteelle, eikä sekoitu tilaan (Heikkinen et al. 1982, 64). Yläjakoinen ilmanjako on siis useasta syystä heikompi ilmanjakovaihtoehto, kun tarkastellaan lämpötilaprofiileja.

Ilmalämmitystä verratessa erikseen toteutettuun ilmanvaihtoon ja lämmitykseen lämpötilaprofiilien kannalta, on lämmönjakotapojen tarkastelu tärkeässä osassa. Ilmanvaihdon vaikutus lämpötilaprofiileihin on vähäinen. Ilmalämmityksellä luotuja lämpötilaprofiileja tulee verrata eri lämmönjakotapojen lämpötilaprofiileihin. Patterilämmityksessä päätelaitteiden sijoittaminen on tärkeää. Hyvä lopputulos lämpötilaprofiilin kannalta on saavutettavissa, kun patterit sijoitetaan ikkunan levyisenä sen alle. (Seppänen 1995, 158.) Patterit ovat paikallisia ja pistemäisiä lämmönjakotai kehitysyksikköjä, joten varsinkin suuren lämmitystarpeen aikana pattereiden lähellä on korkeampi lämpötila kuin muualla tilassa. Voidaankin sanoa, että ideaalisen lämpötilaprofiilin kannalta patterilämmitys ei ole paras lämmönjakotapa. Katto- ja lattialämmityksessä sen sijaan lämpö siirtyy tilaan suuremmalta pinta-alalta. Kattolämmityksessä on vaarana, että tilan yläosan lämpötila on alaosa korkeampi. Lattialämmityksessä tätä vaaraa ei ole. Lattialämmitys onkin lämmönjakotavoista paras vaihtoehto tasaisen lämpötilaprofiilin kannalta (Seppänen & Seppänen 1997, 122).

Ilmalämmitys ei ole siis paras vaihtoehto lämpötilaprofiilien kannalta. Alajakoisella ilmanjakotavalla saadaan kuitenkin luotua tilaan tasainen lämpötilaprofiili, kun päätelaitteet sijoitetaan oikein.

#### **4.2.3 Meluhaitat**

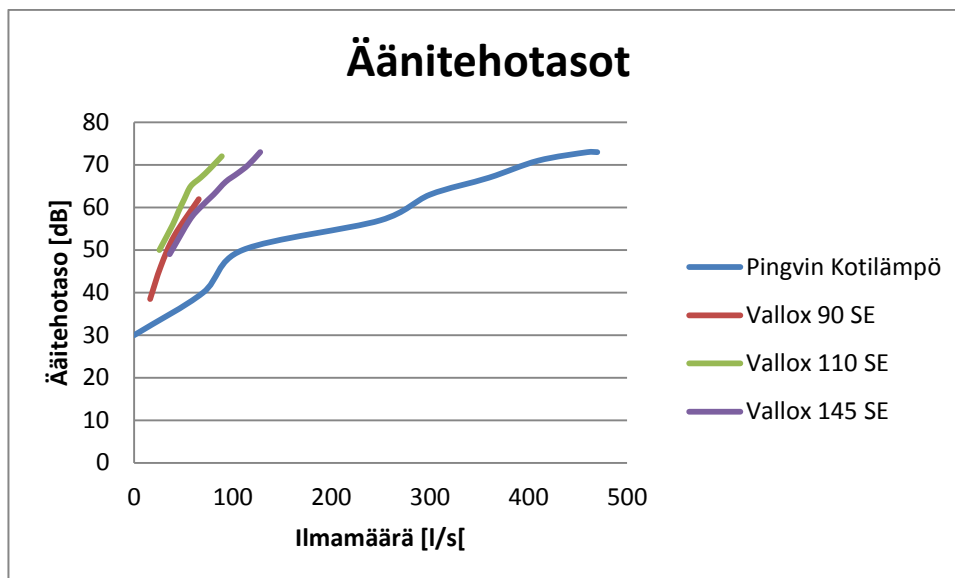
Melu on ääntä, joka koetaan epämiellyttäväksi tai häiritseväksi (Melu 2013). Meluhaittojen tulee olla vähäisiä pientaloissa, sillä pientalot ovat pääosin asuinkäytössä. Tällöin tiloissa täytyy pystyä oleskelemaan ja lepäämään häiriöttä.

Ilmalämmitysjärjestelmän suurimmat melulähteet ovat ilmalämmityskone ja ilmavirran aiheuttama humina. Ilmalämmityskoneen kolme puhallinta ovat sen suurimmat ääniläh-

teet. Meluhaittojen vähentämiseksi kone tulee sijoittaa tekniseen tilaan, jonka äänieristykseen on kiinnitettävä huomiota. Vaikka ilmalämmityskone sijoitetaankin äänieristettyyn tilaan, siirtyy puhaltimien aiheuttama melu kanavistoon ja siten asuintiloihin. Koneen pääpuhaltimesta on usein yhteys palautusilmasäleikön kautta asuintiloihin. Melu siirtyy myös tätä kautta. Ilmakanavistoon tulee sijoittaa äänenvaimentimet ainakin palautusilmakanavaan ja poistoilmakanavaan. (Seppänen & Seppänen 1997, 174–175.) Ilmavirran aiheuttama humina on sen sijaan ilman liikkeestä aiheutuva meluhaitta. Huminan suuruuteen vaikuttavat ilman nopeus ja siten myös sen tilavuusvirta.

Ilmalämmitystä verratessa erikseen toteutettuun ilmanvaihtoon ja lämmitykseen meluhaittojen kannalta, ei erikseen toteutetun järjestelmän lämmitysjärjestelmällä ole merkitystä. Sen sijaan ilmalämmityksen vertailu koneelliseen ilmanvaihtoon antaa paremman kuvan ilmalämmityksen meluhaitoista.

Sekä ilmalämmityksessä että koneellisessa ilmanvaihdossa melua syntyy koneesta ja ilmavirran huminasta. Kanavaäänet ovat pääosin puhaltimien aiheuttamia ja kanavaäänien voimakkuus riippuu puhaltimien säädöistä. Ilmalämmityksen kanavaääniä verrataan koneelliseen ilmanvaihtoon ilmalämmityskoneen ja ilmanvaihtokoneiden äänitehotasojen avulla. Kanavaäänien kannalta ilmalämmitys eroaa koneellisesta ilmanvaihdosta siten, että ilmalämmityskoneessa on kahden puhaltimen sijaan kolme puhallinta. Ilmalämmityskoneessa on siis tulo- ja poistoilmapuhaltimien lisäksi kiertoilmapuhallin. Kuvassa 7 on esitetty Pingvin Kotilämpö-ilmalämmityskoneen kiertoilmapuhaltimen kanavaäänien äänitehotasot ja ilmamääriltään erikokoisten Vallox-ilmanvaihtokoneiden tuloilmakanaviston äänitehotasot ilman tilavuusvirran funktiona. Vaikka ilmalämmityskoneen kiertoilmapuhaltimen äänitehotaso ei ole täysin verrattavissa ilmanvaihtokoneen tuloilmakanavan äänitehotasoon, saa vertailusta suuntaa-antavan kuvan ilmalämmityskoneen kiertoilmapuhaltimen meluhaitoista.



**Kuva 7.** Ilmalämmityskoneiden ja ilmanvaihtokoneiden äänitehotasot ilmamäärän funktiona (Enervent 2010, 3; Vallox 2012, 9; Vallox 2013a, 10; Vallox 2013b, 10).

Kuvasta 7 nähdään, että ilmalämmityskoneen kiertoilmapuhaltimen kanavaäänien äänitehotasot ovat ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhaltimen kanavaäänien äänitehotasoa pienemmät. Täytyy kuitenkin huomioida, että ilmalämmityskoneessa on yksi puhallin enemmän kuin ilmanvaihtokoneessa. Tällöin puhaltimien aiheuttamat meluhaitat ovat väistämättä suurempi haitta ilmalämmityksessä kuin koneellisessa ilmanvaihdossa. Tämän vuoksi ilmalämmitysjärjestelmissä kiinnitetään erityistä huomiota melun torjuntaan. Ilmalämmityskoneen meluisuus ei ole pientaloon soveltuvuuden kannalta poissulkeva tekijä, vaan järjestelmän ominaisuus, joka tulee huomioida suunnittelussa.

Ilmavirran humina voi olla hankalampi melulähde ilmalämmitysjärjestelmässä. Huminan voimakkuuteen vaikuttaa vahvasti ilmavirran nopeus. Meluhaittojen minimoimiseksi tulisikin suosia alajakoista ilmanjakoa, jossa voidaan käyttää pienempiä ilmavirran nopeuksia.

#### 4.2.4 Epäpuhtauspitoisuudet

Sisäilman epäpuhtaudet voivat olla terveydelle ja asuinviihtyvyydelle haitallisia. Usein epäpuhtaudet ovat määriltään niin pieniä, etteivät ne aiheuta haittaa terveydelle. Tällöin ne ovat lähinnä viihtyvyyshaittoja. Sisäilman epäpuhtaudet voivat olla peräisin ihmisen toiminnasta, ulkoilmasta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista sekä rakennuksen vauriois-



ta. (Sisäilman epäpuhtaudet 2013.) Pientaloissa ilman epäpuhtauspitoisuuksien hallinta on erittäin tärkeää, sillä ilman laadun tulee olla jatkuvasti hyvä. Ilmalämmityksen soveltuvuuden kannalta tulee tarkastella lisääkö ilmalämmitys sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia.

Ilmalämmitysjärjestelmässä ulko- ja poistoilma suodatetaan yhtä lailla kuin koneellisessa ilmanvaihdossa. Niiden suodattamisella estetään lämmöntalteenoton lämmönsiirtimien likaantuminen. Ilmalämmityksessä ainoastaan osa ilmasta johdetaan poistoaukkojen kautta ulos ja pääosa ilmasta kierrätetään takaisin ilmalämmityskoneeseen. Tämän vuoksi ilman kierrättämisessä käytettävä palautusilma on suodatettava. Palautusilman käytössä piilee vaara lisätä sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia. Ilmalämmitysjärjestelmää voidaanakin käyttää hygienia- ja paloturvallisuussyistä vain yhden asunnon sisällä. (Seppänen 1996, 217–219.)

Jotta ulko-, poisto- ja palautusilman suodattaminen toimisi hyvin, ovat suodattimien valinta ja huolto tärkeässä osassa. Suodattimien valinta perustuu suodatusarpeeseen: mekaaninen ja sähköinen suodatin kiinteiden hiukkasten poistoon, kemiallinen suodatin kaasumaisten epäpuhtauksien ja hajujen poistoon (Seppänen 1996, 219).

Suodatuksen lisäksi ilmalämmityksen mitoitus on tärkeässä osassa sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien hallinnassa. Jotta ilmalämmitys ei lisää epäpuhtauspitoisuuksia, tulee tulo- ja poistoilmavirtojen olla riittäviä epäpuhtauksien poistoon. Pientalo suunnitellaan yleensä hieman alipaineiseksi, jotta välttytään epäpuhtauspitoisuuksien nousulta ja kosteusvaurioilta (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 19). Poistoilmavirran tulee siis olla tuloilmavirtaa hieman suurempi. Vastuu ilmalämmityksen mitoituksesta on järjestelmän suunnittelijalla.

Sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien tarkastelun kannalta on oleellista vertailla ilmalämmitystä koneelliseen ilmanvaihtoon, sillä lämmitysjärjestelmien vaikutus ilman laatuun ei ole merkittävä. Ilmalämmityksessä uudelleen tuloilmana käytettävä palautusilma lisää riskiä, että sisäilman epäpuhtauspitoisuudet nousevat. Tätä riskiä koneellisessa ilmanvaihdossa ei ole. Jotta ilmalämmityksellä ei ole negatiivista vaikutusta epäpuhtauspitoisuuksiin, täytyy palautusilman suodatukseen kiinnittää erityisesti huomiota. Ilmalämmi-

tys omaa siis riskin lisätä sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia, mikä voi olla järjestelmän soveltuvuuden kannalta rajoittava tekijä.

### **4.3 Kustannukset**

Lämmitysjärjestelmän kustannukset jakaantuvat investointi- ja käyttökustannuksiin. Investointikustannukset ovat kertaluonteisia kustannuksia lämmitysjärjestelmän elinkaaren alkuvaiheessa. Käyttökustannukset sen sijaan ovat juoksevia, koko elinkaaren aikaisia kustannuksia.

#### **4.3.1 Investointikustannukset**

Lämmitysjärjestelmän investointikustannukset koostuvat järjestelmän suunnittelusta, laitehankinnoista, asennuskustannuksista, lämpöverkkojen liityntämaksuista ja lämmitysjärjestelmän vaatimasta tilantarpeesta. (Lämmitysjärjestelmän kustannukset 2013). Investointikustannukset tulee ottaa huomioon lämmitysjärjestelmän valinnassa, vaikka pidemmällä ajanjaksolla käyttökustannukset voivat olla investointikustannuksia selkeästi suuremmat. Lämmitysjärjestelmän valinnassa tulee arvioida kattavatko matalat käyttökustannukset korkeat investointikustannukset.

Ilmalämmityksen suunnitteluun ja asennukseen liittyvät investointikustannukset ovat pitkälti kohteesta riippuvia. Mikäli ilmalämmitys on valittu lämmönjakotavaksi jo pientalon suunnittelun alkuvaiheesta lähtien, voidaan asennukseen liittyviä kustannuksia vähentää varaamalla tarvittava tila järjestelmälle. Ilmalämmityksen ollessa harvinainen pientalojen lämmitysjärjestelmä, suunnittelu- ja asennuskustannukset voivat nousta keskimääräistä korkeammiksi.

Ilmalämmityksen tilantarve on suuri kanaviston osalta. Verrattuna esimerkiksi vesikiertoiseen patterilämmönjakoon, tarvitsee ilmalämmitys ilman pienemmän ominaislämpökapasiteetin vuoksi 350-kertaisen virtauspoikkipinta-alan samalla lämpökapasiteettivirralla (Seppänen 1996, 221). Ilmalämmityksen tilantarve on suurempi myös tavanomaiseen ilmanvaihtoon verrattuna. Tämä vaikuttaa myös investointikustannuksiin. Uuden pientalon tapauksessa kanaviston suuri tilantarve ilmenee rakennuskustannuksissa. Sa-

neerauskohteessa sen sijaan tulisi olla valmiiksi ilmalämmitykseen soveltuvat kanavistot, jotta ilmalämmitys olisi kustannusten osalta potentiaalinen lämmitysjärjestelmävaihtoehto. Mikäli ei ole, ilmalämmitys ei liene paras lämmönjakovaihtoehto kohteeseen.

Arvioidessa ilmalämmityksen ja erikseen toteutetun ilmanvaihdon ja lämmityksen investointikustannuksia laitehankintojen osalta, verrataan ilmalämmityskoneen kustannuksia ilmanvaihtokoneen ja lämmönjaon kustannuksiin. Taulukossa 3 on esitetty kahden markkinoilla olevan ilmalämmityskoneen hinnat. Perusasennuksineen ilmalämmityskoneen investointikustannukset ovat noin 10 000 € (Ilmalämmitys ajan tasalle 2012).

**Taulukko 3.** Lämpö Iiwari- ja Pingvin Kotilämpö-ilmalämmityskoneiden hinnat (Niemi & Kari oy, 2013; Pingvin kotilämpö 2013).

Konetyyppi	Hinta [€]	Asuinneliöt [m <sup>2</sup> ]
Lämpö Iiwari	7200	<250
Pingvin Kotilämpö	6500–12000	<220

Ilmalämmityskoneen hintaa täytyy siis verrata ilmanvaihtokoneen ja lämmönjakotavan kustannuksiin. Taulukossa 4 on esitetty erään valmistajan ilmanvaihtokoneiden hintoja vastaaville asuinneliömäärille kuin taulukossa 3 esitetyt ilmalämmityskoneet ovat tarkoitettu.

**Taulukko 4.** Ilmanvaihtokoneiden hintoja (Swegon, 2013).

Konetyyppi	Hinta [€]	Asuinneliöt [m <sup>2</sup> ]
Swegon CASA R85	3400	<170
Swegon CASA R120	3800	<260
Swegon CASA 270K	1700–2300	<130
Swegon CASA 430 K	2600–3200	<250
Swegon CASA W80	3000–3500	<120
Swegon CASA W130	3800–4500	<250

Taulukosta 4 nähdään, että kyseisen valmistajan ilmanvaihtokoneet maksavat 1700–4500 € konetyypistä riippuen. Jotta ilmanvaihtokoneiden hintoja voidaan vertailla ilmalämmityskoneisiin, täytyy hintoihin lisätä lämmönjakotavan hankintakustannukset. Lämmönjakotapoja ovat esimerkiksi lattialämmitys, vesikiertoinen patterilämmitys ja sähköpatterilämmitys. Näistä hankintakustannuksiltaan edullisin on sähköpatterilämmi-

tys, sillä sen hankintakustannukset muodostuvat pääasiassa itse pattereista. Tämän vuoksi hankintakustannusten arviointi on yksinkertaisinta toteuttaa sähköpatterilämmityksen kustannusten tarkastelulla. Muiden lämmönjakotapojen hankintakustannuksissa asennuksen ja putkiston osuus on selkeästi suurempi ja täten niiden hankintakustannuksia on vaikea arvioida yhtä luotettavasti. Taulukossa 5 on esitetty erikokoisten patterien hankintakustannuksia.

**Taulukko 5.** Erään valmistajan patterien hintoja (Sähköpatterit 2013).

Patterityyppi	Teho [W]	Hinta [€]
Ensto Tupa	350	129
Ensto Tupa	1000	165
Ensto Tupa	1200	189
Ensto Beta	750	74,5
Ensto Beta	500	71,5

Taulukosta 5 nähdään, että sähköpatterien hinnat vaihtelevat 70–190 € välillä. Patterien määrä pientalossa määräytyy lämmitystarpeen mukaan. Esimerkkinä olkoon 250 m<sup>2</sup> pientalo. Oletetaan, että pientalon mitoitusteho on 25 W/m<sup>3</sup>. Tällöin 1000 W patterilla lämmitettävä alue on 16 m<sup>2</sup>. (Ensto 2013, 16.) Sähköpattereita tarvitaan siis 16 kappaletta. Ensto Tupa 1000 W-patterin maksaa 165 €, joten yhteensä patterien hankintakustannukset ovat 2 640 €. Ilmanvaihtokoneen maksaessa 250 m<sup>2</sup> pientaloon 2600 €, ovat ilmanvaihdon ja lämmityksen kokonaislaitekustannukset 5 240 €. Kokonaislaitekustannukset ovat ilmalämmitystä pienemmät. Erikseen toteutettu ilmanvaihto ja lämmitys on siis mahdollista hankkia ilmalämmitystä pienemmillä kustannuksilla, kun valitsee lämmönjaoksi laitekustannuksiltaan edullisimman vaihtoehdon eli sähköpatterilämmityksen.

Ilmalämmityksen investointikustannukset ovat pitkälti kohteesta riippuvia. Vaikka ilmalämmitys ei merkittävästi poikkeaisi erikseen toteutusta ilmanvaihdosta ja lämmityksestä laitekustannusten osalta, täytyy investointikustannuksien arvioinnissa pitää mielessä ilmalämmityskanaviston suurempi tilantarve. Erikseen toteutetun järjestelmän lämmönjakotavasta riippuen ilmalämmitys voi olla investointikustannuksiltaan joko edullisempi tai kalliimpi vaihtoehto. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että ero järjestelmävaihtoehtojen investointikustannusten välillä ei ole soveltuvuuden kannalta merkittävä.

### 4.3.2 Käyttökustannukset

Lämmitysjärjestelmän käyttökustannukset muodostuvat energiakustannuksista, vuotuisista perusmaksuista sekä huolto- ja korjauskustannuksista (Lämmitysjärjestelmän kustannukset 2013). Käyttökustannusten suuruuteen vaikuttavat eniten energiakustannukset, jotka määräytyvät valitun lämmönkehitystavan mukaan. Ilmalämmitysjärjestelmän käyttökustannukset siis riippuvat valitusta lämmönkehitystavasta perinteisen lämmitysjärjestelmän tavoin.

Ilmalämmityksen käyttökustannuksiin vaikuttaa vahvasti järjestelmän käyttö. Koska järjestelmän etuna on helposti toteutettava tarpeenmukainen lämmitys, voidaan sen avulla vähentää käyttökustannuksia. Ilmalämmityksellä voi siirtää talon sisäisiä lämpökuormia, millä on myös vaikutusta käyttökustannuksiin. Onkin arvioitu, että tavallisen pientalon energiankulutusta voidaan pienentää 10–15 % ilmalämmityksen tarkan säädettävyyden ja ilmaislämpöjen hyödyntämisen ansiosta (Heikkinen et al 1982, 20). Vaikka arvio on 1980-luvulta, voidaan todeta ilmalämmityksen omanneen energiasäästöpotentiaali jo tuolloin. Pientalojen talotekniikan kehittymisen myötä on oletettavaa energiasäästöpotentiaalin olevan vähintäänkin samalla tasolla. Esimerkiksi ilmalämmityskoneiden puhaltimet, lämmöntalteenotto, lämmityksen säätö ovat kehittyneet merkittävästi 1980-luvulta. Ei ole kuitenkaan tietoa, kuinka paljon ilmalämmitys voi pienentää pientalon energiankulutusta 2010-luvulla. Sen selvittäminen edellyttäisi kokeellisia tutkimuksia, joissa eri järjestelmävaihtoehtoja vertaillaan pidemmällä ajanjaksolla.

Energiatehokkuuden parantamisella on suora yhteys käyttökustannusten pienemiseen. Kun pientalon energiankulutus on 20 000 kWh ja ilmalämmitys pienentää energiankulutusta 10 %, ovat vuosittaiset käyttökustannussäästöt selvät, mutta eivät kuitenkaan merkittävät. Taulukossa 6 on esitetty lämmitysenergian kuluttajahinnat ja käyttökustannussäästöt, kun energiankulutus pienenee 10 %. Taulukosta nähdään, että edullisimmilla lämmitysenergian lähteillä käyttökustannukset ovat yli 100 € pienemmät, kun lämmitysjärjestelmänä on ilmalämmitys. Mikäli pientalon lämmitysenergian lähde on sähkö, ovat käyttökustannussäästöt yli 300 €. Oletetaan ilmalämmityksen sekä erikseen toteutetun ilmanvaihdon ja sähköpatterilämmityksen investointikustannuksiksi 10 000 € ja 5 240 €. Tällöin ilmalämmityksen 10 % pienemmät käyttökustannukset maksavat 4 760 € korke-

ammat investointikustannukset takaisin 16 vuodessa. Ilmalämmityksen takaisinmaksu-aika on siis pitkä, joten 10 % käyttökustannussäästöllä ja nykyisillä lämmitysenergian hinnoilla järjestelmä ei ole kustannusten osalta kovin järkevä vaihtoehto edes kalliimmalla lämmitysenergian lähteellä eli sähköllä.

**Taulukko 6.** Ilmalämmityksen käyttökustannussäästöt vuoden ajalta (Liitetaulukko 3 Lämmitysenergian kuluttajahintoja kesäkuussa 2013 2013).

Energia	Hinta [€/MWh]	Energiasäästö [MWh]	Säästö [€]
Kevyt polttoöljy	107,4	2	214,8
Kotitaloussähkö	152,4	2	304,8
Puupelletti	55,2	2	110,4
Kaukolämpö	75,67	2	151,3

Käyttökustannuksiltaan ilmalämmitys voi olla erikseen toteutettua ilmanvaihtoa ja lämmitystä edullisempi, mikäli järjestelmää käytetään energiatehokkuuden kannalta oikein eli tarpeenmukaisesti. Käyttökustannussäästöihin vaikuttaa vahvasti lämmitysenergian hinnat. Mikäli oletetaan lämmitysenergian hintojen nousevan tulevaisuudessa, voivat käyttökustannussäästöt olla huomattavasti merkittävämmät.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmalämmityksen soveltavuuteen pientalossa vaikuttavat monet eri tekijät. Ilmalämmityksellä on sekä etuja että haittoja pientalojen lämmitysjärjestelmänä. Taulukkoon 7 on koottu järjestelmän soveltavuuden kannalta merkittävimmät edut ja haitat.

**Taulukko 7.** Ilmalämmityksen edut ja haitat.

<b>Kriteeri</b>	<b>Etu</b>	<b>Haitta</b>
Energiatehokkuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matalalämpötilaiset lämmönlähteet</li> <li>• Talon sisäisten lämpökuormien siirtäminen</li> <li>• Hyvä järjestelmän säädettävyys</li> <li>→ Tarpeenmukainen lämmitys helposti toteutettavissa</li> </ul>	-
Sisäilmasto-olosuhteet	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voi heikentää sisäilman laatua</li> <li>• Vetoisuus</li> </ul>
Kustannukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käyttökustannuksiin voi vaikuttaa järjestelmän käytöllä</li> <li>→ Pienemmät käyttökustannukset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ilmalämmityskone yksittäisenä laitehankintana kallis</li> <li>• Ilmakanaviston tilantarve suuri</li> </ul>
Muut	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harvinainen järjestelmä</li> <li>→ Puutetta tietotaidosta ja vähän käyttökokemuksia tältä vuosituhannelta</li> <li>• Alajakoinen parempi ilmanjakotapa</li> <li>→ Hankala toteuttaa</li> </ul>

Kun tarkastellaan taulukkoa 7, voidaan todeta ilmalämmityksen etujen liittyvän energiatehokkuuteen ja käyttökustannuksiin. Soveltuvuuden kannalta merkittävimmät haitat sen sijaan liittyvät sisäilmasto-olosuhteisiin. Sisäilmasto-olosuhteiden osalta sisäilman laadun heikentyminen ja vetoisuus ovat soveltuvuuden kannalta kriittisimmät tekijät. Jotta näiden tekijöiden vaikutus ei rajoittaisi järjestelmän käyttöä pientalossa, täytyy kiinnittää erityistä huomiota palautusilman suodattamiseen ja vedon tunteen syntymisen estämiseen. Vetoisuutta voidaan vähentää valitsemalla alajakoinen ilmanjako pientaloon. Alajakoinen ilmanjako on kuitenkin hankala toteuttaa ja se on lähinnä uudiskoh-teisiin soveltuva.

Ilmalämmitys soveltuukin parhaiten uusiin pientaloihin. Tällöin kanaviston suurin tilantarve voidaan ottaa huomioon jo heti suunnitteluvaiheesta lähtien. Saneerauskohteisiin ilmalämmitys ei ole järkevä vaihtoehto, sillä ilmakanaviston tilantarpeeseen ja asennukseen liittyvät kustannukset nousevat nopeasti liian suuriksi.

Ilmalämmitys soveltuu parhaiten pientaloon, jonka rakenne on tiivis (Heikkinen et al 1982, 201). Lämmintä ilmaa ei pääse tällöin vuotamaan rakenteiden läpi. Ilmalämmitys onkin erityisesti matalaenergiatalojen lämmitysjärjestelmä. Matalaenergiataloissa lämmitysenergian tarve on pieni, joten lämmitysilmavirrat ovat pienempiä. Tällöin vältetään esimerkiksi vetoisuuteen liittyvästä haitasta. Koska nykypäivän uusien pientalojen lämpöeristyksen taso on hyvä, sopii ilmalämmitys myös uusiin, lämpöeristykseltään normaaleihin pientaloihin.

Ilmalämmitys ei ole yksinkertainen tai huoltovapain lämmitysjärjestelmä käyttäjän näkökulmasta. Järjestelmän energiasäästöpotentiaali tulee esiin oikeanlaisen käytön myötä. Käyttäjältä vaaditaan paneutumista järjestelmän toimintaan. Sisäilman laadun ylläpito vaatii myös käyttäjän aktiivisuutta.

Mikäli pientalojen käyttäjä harkitsee ilmalämmitystä talonsa lämmitysjärjestelmäksi, on tärkeää huomioida eroavuudet ilmalämmityksen ja erikseen toteutetun ilmanvaihdon ja lämmityksen välillä. Taulukkoon 8 on koottu järjestelmävaihtoehtojen erot soveltuvuuden kannalta tärkeimpien kriteerien kannalta. Nämä kriteerit ovat vedon tunne, lämpötilaprofiili, ilman epäpuhtauspitoisuudet ja kustannukset.



**Taulukko 8.** Ilmalämmitys ja erikseen toteutettu ilmanvaihto ja lämmitys tarkasteltuna soveltuvuuden kannalta tärkeimpien kriteerien näkökulmasta.

<b>Kriteeri</b>	<b>Ilmalämmitys</b>	<b>Ilmanvaihto + lämmitys</b>
Vedon tunne	– Yläjakoinen ilmanjako voi aiheuttaa vedon tunnetta → Alajakoinen ilmanjako parempi vaihtoehto (hankala toteuttaa)	+ Riski aiheuttaa vetoisuutta pienempi
Lämpötilaprofiili	– Mahdollisuus epätasaiseen lämpötilaprofiiliin (yläjakoinen ilmanjako) – Ei optimaalisin vaihtoehto	+ Perinteisillä lämmönjakotavoilla saadaan helpommin luotua tasainen lämpötilaprofiili, esimerkiksi lattialämmityksellä
Ilman epäpuhtauspi-toisuudet	– Palautusilman käytön vuoksi voi huonontaa sisäilman laatua	+ Sisäilman laadun hallinta helpompaa
Kustannukset	– Investointikustannukset suuremmat → Ilmakanaviston tilantarve ja laitehankinnat + Voidaan pienentää energiakustannuksia	+ On mahdollista hankkia pienemmällä investointikustannuksilla (sähköpatterilämmitys) + Ilmakanaviston tilantarve pienempi - Suuremmat energiakustannukset

Taulukosta nähdään, että ilmalämmitysjärjestelmällä on monia soveltuvuuden kannalta merkittäviä riskejä. Jotta ilmalämmitys olisi pientaloon soveltuva järjestelmä, tulee nämä riskit minimoida. Mikäli järjestelmä saadaan toteutettua kohteessa niin, että se ei vaikuta negatiivisesti sisäilmasto-olosuhteisiin, on ilmalämmitys pientaloon soveltuva vaihtoehto lämmitysjärjestelmäksi.

## 6 YHTEENVETO

Ilmalämmitys on harvinainen lämmitysjärjestelmä pientaloissa. Vielä 1980-luvulla ilmalämmitysjärjestelmät olivat pientaloissa yleisiä, mutta niiden käyttö vähentyi merkittävästi ja nykyään ilmalämmitystä käytetään lähinnä matalanenergia- ja passiivitaloissa.

Tavoitteena tässä kandidaatintyössä oli selvittää, onko ilmalämmitys varteenotettava lämmitysjärjestelmävaihtoehto nykypäivän pientaloissa. Työssä käsiteltiin aluksi pientalojen energiankulutusta yleisellä tasolla, minkä jälkeen keskityttiin kahteen merkittävään energiankulutuksen komponenttiin: lämmitykseen ja ilmanvaihtoon. Tämän jälkeen kuvattiin ilmalämmityksen toteutus- ja toimintaperiaate. Ilmalämmityksen soveltuvuutta pientaloon tutkittiin tarkastelemalla järjestelmän vaikutusta asumiseen liittyviin kriteereihin. Ilmalämmityksen vaikutuksia verrattiin erikseen toteutettuun ilmanvaihtoon ja lämmitykseen. Vertailulla tuotiin esiin järjestelmän edut ja haitat.

Työssä käytetyt soveltuvuuskaiteerit olivat energiatehokkuus, sisäilmasto-olosuhteet ja kustannukset. Näistä kriteereistä energiatehokkuus ja kustannukset ovat toisistaan riippuvia, sillä pientalon energiatehokkuus vaikuttaa vahvasti käyttökustannuksiin. Merkittävimmän ilmalämmitys eroaa erikseen toteutetusta ilmanvaihdosta ja lämmityksestä sisäilmasto-olosuhteiden osalta, sillä järjestelmä omaa riskin lisätä sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia ja aiheuttaa vetoisuutta. Nämä haitat ovat soveltuvuuden kannalta kriittisimmät. Ilmalämmityksen etuna sen sijaan on hyvä järjestelmän säädettävyys. Hyvän säädettävyuden ansiosta järjestelmällä on helposti toteuttavissa tarpeenmukainen lämmitys, joten järjestelmällä on mahdollista parantaa pientalon energiatehokkuutta.

Ilmalämmityksellä on siis sekä etuja että haittoja verrattuna erikseen toteutettuun ilmanvaihtoon ja lämmitykseen. Järjestelmän soveltuvuus pientaloon on pitkälti kohteesta riippuvainen. Parhaiten ilmalämmitys soveltuu uusien pientalojen lämmitysjärjestelmäksi. Syyt järjestelmän harvinaisuuteen pientaloissa liittyvät järjestelmän hankalaan toteutukseen, sillä alajakoinen ilmanjako on useasta syystä parempi ilmanjakotapa. Tietotaidosta on myös puutetta, joten harvat ihmiset edes harkitsevat ilmalämmitystä pientalonsa lämmitysjärjestelmäksi. Ilmalämmityksen käyttö pientaloissa voi kuitenkin yleistyä, mikäli sen vaikutukset sisäilmasto-olosuhteisiin saadaan minimoitua.

## LÄHTEET

Asumisen energiankulutuksesta yli 80 prosenttia kului lämmitykseen vuosina 2008–2011 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. Päivitetty 16.11.2012 [Viitattu 6.9.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/asen/2011/asen\\_2011\\_2012-11-16\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_tie_001_fi.html)

Asuntokunnat ja asuinolot 2011 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. Päivitetty 24.10.2012 [Viitattu 9.9.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/asas/2011/01/asas\\_2011\\_01\\_2012-10-24\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asas/2011/01/asas_2011_01_2012-10-24_kat_002_fi.html)

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

Energiakoulu omakotitalon rakentajalle 1 [Rakentaja.fi:n www-sivuilla]. [Viitattu 6.9.2013]. Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/kuluttaja/Motiva/energiakoulu1.htm#.UimSdH>

Energiatehokkuus [Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivuilta]. Päivitetty 31.10.2013 [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <https://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus>

Enervent. 2010. Pingvin Kotilämpö ilmanvaihto-, lämmön talteenotto- ja ilmalämmityslaitte. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 8.10.2013]. Saatavissa: [http://www.enervent.fi/data/fi/brochures/Kotilampo\\_2010\\_fi.pdf](http://www.enervent.fi/data/fi/brochures/Kotilampo_2010_fi.pdf)

Ensto. 2013. Sähkölämmitysratkaisut. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: [http://www.ensto.com/download/13212\\_sahkolammitysratkaisut.pdf](http://www.ensto.com/download/13212_sahkolammitysratkaisut.pdf)

Harju Pentti. 2009. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Penan Tieto-opus Ky. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.10.2013]. Saatavissa: <http://www.penantieto-opus.fi/tuotteet/ilmastointitekniikka.pdf>

Harju Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto-opus Ky. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 22.10.2013]. Saatavissa: [http://www.penantieto-opus.fi/files/lammitystekniikan\\_oppikirja.pdf](http://www.penantieto-opus.fi/files/lammitystekniikan_oppikirja.pdf)

Heikkinen Jorma, Railio Jorma & Heinola Reino. 1982. Pientalojen ilmalämmitys. Espoo: VTT.

Ilmalämmitys(a) [Vattenfall:n www-sivuilla]. [Viitattu 14.9.2013]. Saatavissa: <http://www.vattenfall.fi/fi/ilmalammitys.htm>

Ilmalämmitys(b) [LämpöYkkösen www-sivuilla]. [Viitattu 4.1.2014]. Saatavissa: [http://lampoykkonen.fi/tuotteet/ilmalammitys/?gclid=CLjHh\\_Sb5LsCFUdZ3godKnoACw](http://lampoykkonen.fi/tuotteet/ilmalammitys/?gclid=CLjHh_Sb5LsCFUdZ3godKnoACw)

Ilmalämmitys ajan tasalle [Suomelan www-sivuilla]. [Viitattu 3.11.2013]. Saatavissa: <http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Lammitys-energiaAnna/ilmalammitys-ajan-tasalle-66732>

Kodin energiasäästöohjeita: lämmitys [Valkeakosken energian www-sivuilla]. [Viitattu 13.11.2013]. Saatavissa: <http://www.valkeakoskenenergia.fi/Vinkit/Kodinenergians%C3%A4%C3%A4st%C3%B6ohjeita/L%C3%A4mmitys/tabid/2721/Default.aspx>

Koneellinen ilmanvaihto [Energiateollisuuden www-sivuilla]. [Viitattu 14.9.2013]. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kodin-sahkolaitteet/koneellinen-ilmanvaihto>

Liitetaulukko 3 Lämmitysenergian kuluttajahintoja kesäkuussa 2013 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. Päivitetty 18.9.2013 [Viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2013/02/ehi\\_2013\\_02\\_2013-09-18\\_tau\\_003\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2013/02/ehi_2013_02_2013-09-18_tau_003_fi.html)

Liitekuvio14 Energian loppukäyttö sektoreittain 2012 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. [Viitattu 6.9.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk\\_2012\\_04\\_2013-03-22\\_kuv\\_014\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_kuv_014_fi.html)

Lämmitysjärjestelmän kustannukset [Motivan www-sivuilla]. Päivitetty 14.10.2013 [Viitattu 20.10.2013]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/vertaile\\_lammitysjarjestelmia/lammitysjarjestelmien\\_kustannukset](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/lammitysjarjestelmien_kustannukset)

Lämmitysjärjestelmän valinta [Motivan www-sivuilla]. Päivitetty 30.8.2013 [Viitattu 6.9.2013]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta)

Lämmönkulutus [Motivan www-sivuilla]. Päivitetty 1.3.2013 [Viitattu 12.9.2013]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/mihin\\_energiaa\\_kuluu/lammonkulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/lammonkulutus)

Melu [Liikenneviraston www-sivuilla]. Päivitetty 29.7.2013 [Viitattu 6.10.2013]. Saatavissa: [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/ymparisto\\_turvallisuus/vaylanpito\\_ymparisto/melu](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/ymparisto_turvallisuus/vaylanpito_ymparisto/melu)

Motiva. 2012. Pientalojen lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Motiva Oy [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 12.9.2012]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon\\_lammitysjarjestelmat\\_2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf)

Niemi & Kari oy. 2013. Asuntoilmavaihtotuotteet ja –varaosat. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.11.2013]. Saatavissa: <http://www.niemika-ri.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/Hinnasto/N&K%20hinnasto%202013%20valmis.pdf>

Pientalo [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. [Viitattu 6.9.2013]. Saatavissa: <http://www.tilastokeskus.fi/meta/kas/pientalo.html>

Pingvin kotilämpö [Enervent:n www-sivuilla]. [Viitattu 3.11.2013]. Saatavissa: <http://www.enervent.fi/unit.asp?menuid=20193&langid=1&countryid=100&modelid=1>

Rakennuskanta 2012 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. [Viitattu 6.9.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/rakke/2012/rakke\\_2012\\_2013-05-24\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2012/rakke_2012_2013-05-24_kat_002_fi.html)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi [Motivan www-sivuilta]. Päivitetty 12.2.2013 [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten\\_energiatehokkuusdirektiivi](http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi)

Rakennustieto. 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

Sisäilman epäpuhtaudet [Työterveyslaitoksen www-sivuilla]. Päivitetty 18.4.2013 [Viitattu 8.10.2013]. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman\\_epapuhtaudet/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhtaudet/sivut/default.aspx)

Seppänen Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistyksen liitto ry.

Seppänen Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-yhdistyksen liitto.

Seppänen Olli & Seppänen Matti. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry.

Swegon. 2013. Swegon CASA HINNASTO 2013. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: [http://www.swegon.com/Global/PDFs/Home%20ventilation/Other%20products/\\_fi/Swegon\\_Casa\\_hinnasto\\_2013.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Home%20ventilation/Other%20products/_fi/Swegon_Casa_hinnasto_2013.pdf)

Sähköpatterit [Taloon.com:n www-sivuilla]. [Viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: <http://www.taloon.com/tuotteet/tuoteryhma/5458/sahkopatterit>

Taustatietoa [Motivan www-sivuilta]. Päivitetty 13.9.2013 [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/taustatietoa>

Vallox. 2012. Vallox 90 SE Matalaenergiailmanvaihtokone lämmöntalteenotolla. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 8.10.2013]. Saatavissa: [http://lampoykkonen.fi/wp-content/uploads/2012/07/vallox\\_121se.pdf](http://lampoykkonen.fi/wp-content/uploads/2012/07/vallox_121se.pdf)

Vallox. 2013a. Vallox 110 SE Matalaenergiailmanvaihtokone lämmöntalteenotolla ja tarpeenmukaisella sulatusautomaatiikalla. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.9.2013]. Saatavissa: [http://www.vallox.com/tiedostot/4/pdf/1249\\_KHT110se\\_sf\\_280213/](http://www.vallox.com/tiedostot/4/pdf/1249_KHT110se_sf_280213/)

Vallox. 2013b. Vallox 145 SE Matalaenergiailmanvaihtokone lämmöntalteenotolla ja tarpeenmukaisella sulatusautomaatiikalla [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.10.2013]. Saatavissa: [http://www.vallox.com/tiedostot/4/pdf/1359\\_KHT145se\\_sf\\_130613/](http://www.vallox.com/tiedostot/4/pdf/1359_KHT145se_sf_130613/)

Vedottomuus [Isover:n www-sivuilla]. [Viitattu 20.9.2013]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/passiivitalo/asumismukavuus/vedottomuus>

Vesikiertoinen vai kuiva lämmönjakojärjestelmä? [Energiatehokas koti:n www-sivuilla]. Päivitetty 2.5.2013 [Viitattu 9.10.2013]. Saatavissa: [http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/vesikiertoinen\\_vai\\_kuiva\\_lammonjakojarjestelma](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/vesikiertoinen_vai_kuiva_lammonjakojarjestelma)