

Omakotitalojen  
viilennysjärjestelmien  
energiatehokkuus ja  
käyttömukavuus

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Ympäristötekniologia  
Energia-asiat  
Opinnäytetyö  
Syksy 2016  
Teemu Juhani Helonheimo

Lahden ammattikorkeakoulu  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

HELONHEIMO, TEEMU: Omakotitalojen viilennysjärjestelmien  
energiatehokkuus ja käyttömukavuus

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 56 sivua, 5 liitesivua

Syyskuu 2016

TIIVISTELMÄ

---

Lämpenevän ilmaston ja tiukentuvien rakennusmääräysten myötä tarve viilennysjärjestelmille kasvaa Suomessa. Uudet, hyvin lämpöeristetyt talot pitävät lämmön sisällä myös kesäisin, jolloin sisätilojen lämpöolot muuttuvat epämukaviksi. Euroopan unionin määrittämät energiatehokkuustavoitteet hankaloittavat runsaasti energiaa kuluttavien viilennysjärjestelmien käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa, joten energiatehokkaampia ratkaisuja on tutkittava.

Opinnäytetyössä käsitellään erilaisia teknisiä tapoja toteuttaa viilennysjärjestelmä omakotitalossa. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka omakotitaloihin suunnatut viilennysjärjestelmät vastaavat kysynnän tarpeisiin. Työ tehtiin toimeksiantaja Aurime Oy:lle tukemaan yrityksen tuotekehitystä ja markkinointia. Käytettyjä menetelmiä olivat erityyppisille kohderyhmille suoritettavat sekä kvalitatiiviset että kvantitatiiviset kyselyt. Järjestelmien hankintahintoja kartoitettiin pyytämällä tarjouksia viilennysjärjestelmiä tarjoavilta yrityksiltä.

Uuden järjestelmän hankkimisessa suurin kynnys on usein hankkimiskustannuksien suuruus. Energiatehokkuuden kannalta tarkasteltuna viilennyksen tekninen toteutustapa on tärkeässä osassa, sillä se määrittää suurelta osin myös järjestelmän käyttökustannukset. Järjestelmää hankkiessa tulisi siis ottaa huomioon kokonaiskustannukset laitteiston elinkaaren aikana.

Vertailluista järjestelmistä energiatehokkaimmaksi ja kustannustehokkaimmaksi tavaksi toteuttaa viilennys uudiskohteessa osoittautui vapaaviilennystä käyttävä vesikiertoinen lattiaviilennysjärjestelmä. Haastattelujen mukaan myös sen käyttömukavuus on hyvä. Saneerauskohteessa paras järjestelmä riippuu jo olemassa olevasta lämmitysjärjestelmästä ja sen muutostarpeesta. Olemassa olevat järjestelmät vastaavat kysynnän tarpeisiin hyvin, mutta uusia innovaatioita mahtuu markkinoille.

Asiasanat: lattiaviilennys, puhallinkonvektori, viilennysjärjestelmä, käyttömukavuus, energiatehokkuus, vesikiertoinen, lämmönjako, lämpömukavuus

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Environmental Technology

HELONHEIMO, TEEMU: Energy Efficiency and Comfort of Use of Cooling  
Systems in Detached Houses

Bachelor's Thesis in Environmental Technology, 56 pages, 5 pages of  
appendices

Autumn 2016

ABSTRACT

---

As global warming continues and building regulations get stricter, the demand for cooling systems in Finland increases. New and well insulated buildings keep excessive heat inside during summer. This leads to discomfort in thermal environment in the house. The energy efficiency goals set by the European Union will impinge on the usage of cooling systems that use plenty of energy. This leads to a necessity of researching and testing more energy efficient systems for cooling.

In this Bachelor's thesis, different technical approaches for constructing a cooling system in detached houses were studied. The goal of this thesis was to study the demand of cooling systems for detached houses and how that demand is satisfied. This thesis was made for the commissioner Aurime Oy to support the company's product development and marketing. The research methods used in this thesis included both quantitative and qualitative approaches in form of inquiries targeted to different types of target groups. Acquisition costs of the cooling systems were studied by requests of quotation and then comparing the prices.

The threshold for the purchase of a new cooling system is usually the high acquisition cost. The technical method of the execution plays a big role in the energy efficiency and the operating costs of the cooling system. When purchasing a cooling system, the overall costs during the lifetime of the system should be taken into consideration.

The most energy efficient and most economical cooling system for new detached houses, amongst the ones compared, turned out to be a water based underfloor cooling system powered by natural cooling energy from the ground. According to the inquiries targeted to the users of underfloor cooling, the comfort of use that system is good as well. In case of renovation, the best cooling system depends on the existing heating system and its renewal needs. The pre-existing cooling systems in the market satisfy the demand well, but there is always room for new innovations.

Key words: underfloor cooling, convective heater, cooling system, comfort of use, energy efficiency, thermal comfort, water based, distribution of heat

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TEORIA	3
2.1	Lämmön siirtyminen	3
2.1.1	Johtuminen	3
2.1.2	Lämpösäteily	3
2.1.3	Konvektio	4
2.2	Lämpömukavuus	5
2.2.1	Operatiivinen lämpötila	5
2.2.2	Näkyvyyskerroin	6
2.3	Kylmäkerroin	6
3	MÄÄRÄYKSET JA STANDARDIT	9
3.1	Euroopan unionin tavoitteet	9
3.2	Kesäajan huonelämpötilan vaatimus	9
3.3	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, EPBD	10
3.4	Uusiutuvan energian direktiivi, RES	11
4	VIILENNYKSEN TARVE	13
4.1	Lämpökuorma	13
4.2	Aurinkosuojaus	13
5	VIILENNYSJÄRJESTELMÄN TEKNINEN TOTEUTUS	15
5.1	Viileän tuotto	16
5.1.1	Maaviileä (vapaajäähdytys)	16
5.1.2	Ilmalämpöpumppu (kompressorijäähdytys)	18
5.1.3	Kaukojäähdytys (keskitetty jäähdytys)	20
5.2	Viileän jakotapa	22
5.2.1	Puhallinkonvektori	22
5.2.2	Lattiaviilennys	24
5.2.3	Kattoviilennys	26
5.2.4	Matalalämpöradiaattori	27
6	JÄRJESTELMIEN KUSTANNUSVERTAILU	29
6.1	Kustannusvertailun toteuttaminen	29
6.2	Vapaaviilennys maalämpöporakaivosta, lattiaviilennysjärjestelmä	31

6.3	Kompressorijäähdytys ilmalämpöpumpulla, puhallinkonvektorijärjestelmä	34
6.4	Vapaaviilennys maalämpöporakaivosta, kattoviilennysjärjestelmä	35
6.5	Käyttökustannusvertailu	36
6.6	Järjestelmävertailun yhteenveto	37
7	KÄYTTÖKOKEMUKSIA LATTIAVIILENNYKSESTÄ	40
7.1	Käyttökokemuskyselyn toteutus	40
7.2	Vastaukset	41
8	MESSUKÄVIJÄKYSELY	43
8.1	Tulokset	43
8.2	Tuloksiin vaikuttaneet tekijät	47
9	VIILENNYSRATKAISUJEN MYYJIEN HAASTATTELUT	48
9.1	Kyselyn toteutus	48
9.2	Tulokset	48
10	TEHOKKUUSSIMULOINNIN TOTEUTTAMINEN	50
11	YHTEENVETO	51
12	LÄHTEET	53
	LIITTEET	57

## 1 JOHDANTO

Erilaiset viilennysratkaisut ovat kasvattaneet suosiota Keski-Euroopassa. Viilennyksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on vielä suhteellisen pieni, mutta kysyntä kasvaa kausittain lämpiminä kesäkuukausina. (European Commission 2016a.) Harvalla suomalaisella on kuitenkaan kotonaan viilennykseen sopivaa järjestelmää, koska sen on oletettu olevan liian kallis tai tarpeeton; ilmankin tullaan toimeen. Jos ennusteet ilmastonmuutoksesta toteutuvat ja jo havaittu ilmaston lämpeneminen jatkuu Suomessa, voidaan olettaa, että tulevaisuuden uudisrakentamisessa ja saneerauskohteissa harkitaan yhä useammin viilennysjärjestelmän asentamista. Huomion arvoista on myös auringon säteilyn tulokulma eteläisimpiin maihin verrattuna; Suomessa aurinko paistaa enemmän seiniin ja ikkunoihin kuin Keski-Euroopassa (Beck, Dolmans, Dutoo, Hall & Seppänen 2011, 6).

Euroopan unionin tavoitteet ja määräykset rakennuksien energiatehokkuudessa ohjaavat voimakkaasti uudis- ja korjausrakentamista entistä paremmin energiaa säästävien rakennuksien suuntaan. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin 2010/31/EU tavoitteena on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen rakennusten energiatehokkuutta nostamalla. Viilennystehon kasvavaan kysyntään tulee vastata energiatehokkailla järjestelmillä, jotka hyödyntävät uusiutuvia energianlähteitä eivätkä haittaa lähes nollaenergiatalon määritelmän saavuttamista. (VTT Oy 2015.)

Opinnäytetyössä selvitetään vastausta pääasialliseen tutkimuskysymykseen: kuinka omakotitaloihin suunnattujen viilennysjärjestelmien energiatehokkuus ja käyttömukavuus vastaavat kysynnän tarpeisiin. Työ on kohdennettu vain omakotitaloihin, jotta aihe ei olisi liian laaja eikä työmäärä liian suuri. Tutkimuskysymykseen etsitään vastauksia empiiristen kyselytutkimusten ja teoriakirjallisuuden avulla. Kyselyjä tehtiin rakennus- ja remontointiaiheilla messuilla viidessä kaupungissa ympäri maata toimeksiantaja Aurime Oy:n esittelypisteellä.

Lisäksi haastateltiin lattiaviilennysjärjestelmien omistajia ja kysyttiin heidän käyttökokemuksiaan ja mielipiteitään järjestelmän toimivuudesta ja käyttömukavuudesta. Tuloksien tueksi haastateltiin myös viilennysratkaisujen jälleenmyyjä Tampereen Asta –messuilla, joista kaikki olivat yhtä mieltä kysynnän kasvusta tulevaisuudessa. Kustannusarviot laadittiin niin kutsutun Mystery shopping –metodin avulla, jolloin toimittiin potentiaalisena asiakkaana ja esitettiin kiinnostusta järjestelmän hankkimiseksi. Näin pyydettiin kustannusarvioita lämmönsäätelyjärjestelmien jälleenmyyjiltä samaan kuvitteelliseen esimerkkikohteeseen, jolloin voitiin verrata eri ratkaisujen kokonaiskustannuksia rakennuksen sijainnin ja huonejaon pysyessä muuttumattomina.

Viilennysjärjestelmien kysynnän kasvaessa niiden osuus rakennuksien energiakulutuksesta suurenee ja on tärkeä ottaa huomioon rakennuksien energiatehokkuudessa. Suomessa talon lämmitys lämmityskauden aikana on merkittävämmässä roolissa kuin esimerkiksi Keski-Euroopan lauhkeamman vyöhykkeen maissa, joissa on sen sijaan käytetty erilaisia tapoja asuinrakennusten huonelämpötilan alhaisena pitämiseen kuumien kesäkuukausien aikana. Näiden maiden käyttämistä ratkaisuista voidaan ottaa oppia muuallakin. Kylmissä Pohjoismaissa lämmitys vie suurimman osan lämmönsäätelyyn käytetystä energiasta, kun taas lämpimämissä maissa viilentäminen kuluttaakin enemmän energiaa kuin lämmitys. (European Commission 2016b.)

## 2 TEORIA

### 2.1 Lämmön siirtyminen

Lämmön siirtymisen kolme eri tapaa ovat johtuminen, lämpösäteily ja konvektio. Näistä jokainen osallistuu viilennysjärjestelmän toimintaan omalla tavallaan. Viilennysjärjestelmän toteutustavasta riippuen joko konvektio, johtuminen tai lämpösäteily on pääasiallinen tapa siirtää lämpöä huonetilasta lämmönsiirtoaineeseen. (Babiak, Olesen & Petras 2009, 9-10.)

#### 2.1.1 Johtuminen

Lämmön siirtyminen kiinteässä väliaineessa tapahtuu johtumalla, jolloin lämpö siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Väliaineen paksuus ja ominaisuudet sekä lämpötilaero vaikuttavat johtumiseen. Kun määritellään rakennuksen lämmityksen tai viilennyksen tarvetta, on johtumisella suuri merkitys. Johtuva lämpöteho määräytyy lämpöä johtavan rakenteen pinta-alan, pintojen lämpötilaeron ja lämmönläpäisykertoimen avulla. (Harsia 2005.)

Lämpöenergian johtumista tapahtuu, kun lattialämmitykseen käytettävä lämmin lämmönsiirtoneste luovuttaa lämpöä sitä ympäröiviin rakenteisiin, ensin lattialämmitysputkeen ja sitä kautta lattian rakenteisiin lopulta lämmittäen lattian pintaa. Johtuminen voi tapahtua myös lattian rakenteista lämmönsiirtonesteeseen, kun järjestelmää käytetään viilennykseen. Sama tapahtuu myös vesikiertoisessa patterilämmityksessä, jossa veden lämpöenergia siirtyy patterin rungon läpi sen pinnalle tai toisin päin.

#### 2.1.2 Lämpösäteily

Kaikki absoluuttisen nollapisteen yläpuolella olevat kappaleet lähettävät energiaa mukana kuljettavaa sähkömagneettista säteilyä. Ainetta kohdatessaan säteily voi mennä läpi, absorboitua aineeseen tai heijastua.

Aine lämpenee ainoastaan, jos se absorboi säteilyä. (Hautala & Peltonen 2011, 175.) Lämpösäteily sijoittuu sähkömagneettisessa spektrissä näkyvän valon ja radioaaltojen väliin, ja sen aallonpituus riippuu säteilevän aineen lämpötilasta. Se etenee valon nopeudella kuten muukin sähkömagneettinen säteily eikä tarvitse väliainetta edetäkseen. (Harsia 2005.)

Lämpösäteily ei lämmitä ilmaa suoraan, vaan pintoihin osuessaan epäsuorasti konvektion kautta. Säteilylämpövirta riippuu säteilevän ja sitä vastaanottavan pinnan näkyvyyskertoimesta sekä säteilevän pinnan emissiivisyydestä. Pintojen emissiivisyyden arvot vaihtelevat välillä 0-1, jossa arvo 1 vastaa teoreettisen mustan kappaleen säteilyä.

Tavallisimpien käytössä olevien pintamateriaalien emissiivisyys pitkäaaltoiselle lämpösäteilylle jää yleisesti alle 0,95. (Babiak ym. 2009, 9-10.)

Auringon säteilyn osuus, joka saavuttaa maanpinnan, on noin 53 % näkyvää valoa (380 nm ... 780 nm) ja noin 42 % lyhytaaltoista infrapunasäteilyä (780 nm ... 2500 nm), joka läpäisee näkyvän valon tavoin tavallisen ikkunalasin helposti. Loput 5 % säteilystä ovat ultraviolettisäteilyä (320 nm ... 380 nm). Lyhytaaltoista infrapunasäteilyä ei tule sekoittaa pitkäaaltoiseen infrapunasäteilyyn, eli lämpösäteilyyn (5000 nm ... 25 000 nm), joka taas ei läpäise ikkunalasia. Näin ollen sisälle päässyt energia ei pääse takaisin ulos sen jälkeen, kun se on muuttunut lämpösäteilyksi. (Beck ym. 2011, 4-5)

### 2.1.3 Konvektio

Lämmön siirtyminen kaasuissa ja nesteissä voi tapahtua myös virtauksen eli konvektion avulla. On olemassa kahta erilaista konvektiota: pakotettu ja vapaa. Vettä lämmitettäessä sen tiheys pienenee ja lämpötilaero saa veden virtaamaan, esimerkiksi lämmityspattereissa. Tällöin kyseessä on vapaa konvektio. Jos järjestelmään lisätään pumppu, jolla siihen lisätään

ulkoista energiaa, on kyseessä pakotettu konvektio. (Hautala ym. 2011, 173.)

Huonetilassa vapaan konvektion aiheuttaa esimerkiksi lämpimän pinnan läheisyydessä olevan ilman lämpeäminen. Lämmin ilma on viileää ilmaa harvempaa ja nousee siksi ylöspäin. Konvektion avulla siirtyvä lämpöteho riippuu ilman liikkeestä sekä ilman ja pinnan lämpötiloista ja niiden erosta. (Harsia 2005.) Konvektion seurauksena lämpö nousee korkealle huoneessa eikä lämmitä huoneen alaosaan tehokkaasti. Sama voi tapahtua myös toisin päin, jolloin viileän kappaleen läheisyydessä oleva ilma viilenee muuttuen tiheämmäksi ja laskeutuu lähelle lattiaa.

## 2.2 Lämpömukavuus

Huoneilman lämpötila ja lämpösäteily, ilman virtausnopeus ja vaatetus, kosteus sekä ihmisen toiminnan laatu ovat ihmisen kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttavia tekijöitä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Hyväksyttävillä lämpöoloilla on kaksi tärkeää tekijää: keskimääräinen säteilylämpötila ja ilman lämpötila, jotka yhdessä muodostavat operatiivisen lämpötilan (ks. seuraava alaotsikko). Esimerkiksi kun ilman virtausnopeus on 0,15 m/s tai yli ja ilman lämpötila on pienempi kuin 24 °C, johtavat olosuhteet usein epämukavaan vedon tunteeseen istumatyössä tavallisella sisätalvivaatetuksella. Vetoa voidaan välttää valitsemalla suuren pinta-alan ja pienen lämpötilaeron lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä konvektiivisen sijaan. (Babiak ym. 2009, 17-19.)

### 2.2.1 Operatiivinen lämpötila

Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan huoneilman lämpötilan ja havainnoitsijaa ympäröivien huoneen pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Sen tarkoituksena on kuvastaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta havainnoitsijan lämmöntunteeseen. Operatiivinen lämpötila saattaa poiketa huoneilman lämpötilasta paljon, erityisesti jos huoneessa on suuria ikkunoita tai lattian

alla on lämmittämättömiä ilmatiloja. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.) Operatiivista lämpötilaa hyödynnetään suurien pinta-alojen jäädytysratkaisuissa, joten lattia- ja kattoviilennyksessä sillä on merkittävä rooli viilennyksen kokemisen kannalta.

Pintalämmitysjärjestelmissä saadaan aikaiseksi sama operatiivisen lämpötilan taso pienemmällä ilman lämpötilalla kuin konvektiivisella järjestelmällä (Babiak ym. 2009, 14). Samalla logiikalla pintaviilennysjärjestelmät toimivat korkeammalla ilman lämpötilalla kuin konvektiiviset järjestelmät.

### 2.2.2 Näkyvyyskerroin

Näkyvyyskerroin ilmaisee, kuinka suuri osuus kappaleesta lähtevästä lämpösäteilystä osuu tarkastelevana olevaan pintaan, joka voi olla esimerkiksi henkilö tai huoneen pinta. Näkyvyyskerroimeen vaikuttaa koko, välimatka ja muoto. Huoneen kaikkien pintojen ja henkilön välisten näkyvyyskerroimien summa on 1 eli  $360^\circ$ . Koska istuvan ja seisovan henkilön keskipiste on aina lähempänä lattiaa kuin kattoa, on useimmissa tapauksissa lattialla kaikista huoneen pinnoista suurin näkyvyyskerroin oleskelijan suhteen. (Babiak ym. 2009, 12.) Tämä tarkoittaa sitä, että muuttamalla lattian pintalämpötilaa voidaan vaikuttaa lämpömukavuuteen helposti.

### 2.3 Kylmäkerroin

Viilennykseen käytettävän laitteiston kylmäkerroin voidaan määritellä eri tavoilla: hetkellisenä, osatehoa vastaavana, nimellistehoa vastaavana ja kausikylmäkertoimena. Näistä eniten käytettyjä kertoimia ovat EER (Energy Efficiency Ratio) = hetkellinen kylmäkerroin ja SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) = vuosikylmäkerroin. EER ja SEER kylmäkertoimia käytetään yleisesti muun muassa ilmalämpöpumppujen ja ilmastointilaitteiden yhteydessä. (Ympäristöministeriö 2012.) Kylmäkertoimia vertailemalla on helpompaa valita energiatehokas järjestelmä, kuin vain järjestelmien nimellistehoja vertailemalla.

Hetkellisen kylmäkertoimen (EER) määrittäminen laskentatunnin aikana:

$$\varepsilon_E = \frac{\Phi_{tu}}{P_{tu}} \quad (1)$$

$\varepsilon_E$  jäähdytysenergian tuoton hetkellinen (laskentatunnin olosuhteita vastaava) kylmäkerroin

$\Phi_{tu}$  jäähdytysyksikön tuottama jäähdytysteho

$P_{tu}$  jäähdytysyksikön käyttämä sähköteho (sisältäen kompressorit, ilmalauhduttimen puhaltimet, tuottoyksikön pumput)

Samalla logiikalla voidaan määrittää jäähdytysenergian tuoton vuosikylmäkerroin (SEER):

$$\bar{\varepsilon}_E = \frac{Q_{tuv}}{E_{tuv}} \quad (2)$$

$\bar{\varepsilon}_E$  jäähdytysenergian tuoton vuosikerroin

$Q_{tuv}$  jäähdytysyksikön tuottama kylmäenergia vuoden aikana, kWh

$E_{tuv}$  jäähdytysyksikön käyttämä sähköenergia vuoden aikana, kWh.  
(Ympäristöministeriö 2012.)

Edellä mainituista kaavoista kaava 1 (hetkellinen kylmäkerroin) ei sovellu suoraan käytettäväksi tuntitason laskentaan, sillä sen tulokset on saavutettu EN-14511 standardissa määritellyissä koeolosuhteissa.

Toisaalta kaava 2 (vuosikylmäkerroin) soveltuu periaatteessa suoraan käytettäväksi tuntitason laskentaan. (Ympäristöministeriö 2012.)

*Taulukko 1. Jäähdytysenergian tuoton vuotuisia kylmäkertoimia  
(Ympäristöministeriö 2012)*

Jäähdytysenergian tuottotapa	$\varepsilon_E$	$\varepsilon_Q$
Kompressori-kylmälaitos ilmalauhdutteinen	2,5	-
Kompressori-kylmälaitos ,vesilauhdutteinen	3	-
Vapaajäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5	-
Vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7	-
Vapaajäähdytys, (vertikaalinen) maaputkisto	30	-
Split laitteet	3	-
Kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	-	1
Absorptiojäähdytys	-	0,7

Taulukossa 1  $\varepsilon_E$  on jäähdytysenergian tuotto prosessin vuotuinen kylmäkerroin, kun jäähdytys tuotetaan sähköenergian avulla ja  $\varepsilon_Q$  on jäähdytysenergian tuotto prosessin vuotuinen kylmäkerroin, kun jäähdytys tuotetaan lämpö- tai kylmäenergian avulla. (Ympäristöministeriö 2012.)

### 3 MÄÄRÄYKSET JA STANDARDIT

#### 3.1 Euroopan unionin tavoitteet

Euroopan unionin pyrkimyksenä on vähentää energiankulutusta ja lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta nykyisestä. Tämä tapahtuu pääosin erilaisten standardien ja direktiivien avulla, joista osa ohjaa rakentamista ja rakennusten energiatehokkuutta. (VTT Oy 2015.)

EU:n jäsenmaat sitoutuivat Kioton sopimuksessa kahdeksan prosentin päästövähennyksiin vuoden 1990 tasosta vuosiin 2008-2012 mennessä, ja Suomen tavoitteeksi on asetettu päästöjen rajoittaminen vuoden 1990 tasolle. Energian kulutuksen vähenemistä ei ole näkyvässä, vaan kulutus kasvaa jatkuvasti. Euroopan unionissa noin 40 prosenttia energiasta kuluu rakennuksiin, joissa pääasialliset energiankuluttajat ovat valaistus, lämmitys, lämmin käyttövesi ja jäähdytys. (Motiva Oy 2015.)

Viilennysjärjestelmien osalta tämä merkitsee sitä, että energiatehokkuuden merkitys kasvaa nykyisestäään päästövähennyksiin ja energiansäästötavoitteisiin pyrittäessä.

#### 3.2 Kesäajan huonelämpötilan vaatimus

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012), Rakennusten energiatehokkuus, on esitetty vaatimuksia kesäajan huonelämpötilalle. Määräyksen tarkoituksena on estää sisäolosuhteiden kustannuksella saavutettu rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. (Ympäristöministeriö 2012.)

Kohtia rakennusmääräyskokoelman osasta D3 (2012), kesäajan huonelämpötilan hallinta:

*2.2.1 Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Tilojen yllilämpenemisen estämiseksi käytetään ensisijaisesti rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa.*

*2.2.2 Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen täyttämiseksi voi olla tarpeen jäähdytysjärjestelmän käyttäminen, jolloin kokonaisenergiankulutuksen sisällytetään jäähdytysjärjestelmän energiankulutus. (Ympäristöministeriö 2012.)*

Kesäajan huonelämpötilalle on lisäksi esitetty vaatimuksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012), Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto:

*2.2.1 Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.*

(...)

*2.2.1.2 Rakennuksen käyttöaikana ei oleskeluvyöhykkeen lämpötila yleensä saa olla korkeampi kuin 25 °C.*

*2.2.1.3 Ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvon ollessa korkeampi kuin 20 °C voi huoneilman lämpötila ylittää tämän arvon korkeintaan 5 °C. (Ympäristöministeriö 2012.)*

Käytännössä tämä tarkoittaa, että huonelämpötilan noustessa yli 30 °C asteeseen, rakennus ei täytä kesäajan huonelämpötilan vaatimuksia. Tällöin tarvitaan järjestelmä, joka pitää huonelämpötilan sallittujen rajojen sisällä kuluttamatta tarpeettomasti energiaa.

### 3.3 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, EPBD

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD 2010/31/EU on uudelleenlaadittu versio direktiivistä 2002/91/EY ja sisältää kolme eri pääaluetta:

- *energiatodistuksen käyttöönotto*
- *energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset;*
- *lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset tai ne korvaava kokonaisvaikutuksiltaan vastaava neuvontamenettely*

*Direktiivin kansallisen tason soveltamisessa otetaan*

*huomioon maan ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet, sisäilmastolle asetetut vaatimukset ja kustannustehokkuus.*

*Lähes nollaenergiarakentamisesta direktiivissä todetaan, että 31. päivän joulukuuta 2020 jälkeen valmistuvien uusien rakennusten on oltava lähes nollaenergiarakennuksia ja jäsenvaltioiden on laadittava kansalliset suunnitelmat lähes nollaenergiarakennusten lukumäärän kasvattamiseksi. (VTT Oy 2015.)*

Energiatodistuksen laadintaan tarvitaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus, johon lasketaan mukaan ilmastointi- ja jäähdytysjärjestelmät. Tämän vuoksi on tärkeää, että niiden energiatehokkuus on erinomainen.

*Lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus, sellaisena kuin se on määritettynä [direktiivin] liitteen I mukaisesti. Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä olisi hyvin laajalti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia.” (Euroopan unioni 2010.)*

Tulevaisuuden tavoitteena on nollaenergiarakentamiseen siirtyminen vaiheittain. Nollaenergiatalon määritelmästä käy ilmi, että tavoitteena on lisätä uusituvan energian käyttöä uusiutumattoman korvaamiseksi. Ideana ei ole, että talo kuluttaisi lähes olemattoman määrän energiaa, vaan että talo tuottaisi vuositasolla energiaa saman verran kuin se kuluttaisi. Talon ei tarvitse tuottaa käyttämänsä energia joka päivä, vaan se voi ottaa sähköenergiaa sähköverkosta, kun sitä tarvitaan. (Energiatehokas koti 2016.) Tarkoituksena on saavuttaa suuri energiatehokkuus, joten talon energiankulutus pitää minimoida. Tämän takia viilennysjärjestelmien hyvä energiatehokkuus on tärkeää nollaenergiatavoitteisiin pyrittäessä.

### 3.4 Uusiutuvan energian direktiivi, RES

Euroopan unionin tavoitteena vuoteen 2020 mennessä on lisätä uusiutuvan energian osuutta loppukulutuksesta 20 prosenttiin ja vuoteen 2030 mennessä 27 prosenttiin. Uusiutuvan energian direktiiviin on kirjattu

jäsenvaltioiden maakohtaiset tavoitteet, joiden toteutustavasta päätetään kansallisesti. Komission ehdotuksen mukaan Suomen uusiutuvan energian osuus olisi nostettava 38 prosenttiin loppukulutuksesta.

Virallisessa arviossa on esitetty osuuden olleen 36,8 prosenttia jo vuoden 2013 lopussa. Suomessa tärkeimmät uusiutuvat energiamuodot ovat bioenergia (erityisesti puu ja puupohjaiset polttoaineet), vesivoima, tuulivoima, maalämpö ja aurinkoenergia. (VTT Oy 2015.)

Pääsääntöisesti direktiivi käsittelee uusiutuvaa energiaa ja sen käytön edistämistä, mutta erityisesti rakennusalaan koskien on mainittu seuraavaa:

*Jäsenvaltioiden on rakennussäännöksissään ja -määräyksissään otettava käyttöön asianmukaiset toimenpiteet, joilla lisätään kaikentyyppisen uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuutta rakennusalaan. (Euroopan unioni 2009.)*

Direktiivin ohjeistukset koskevat lämmityksen lisäksi viilennykseen kuluvaan energiaan, jonka lähteenä tulisi tulevaisuudessa käyttää enemmän uusiutuvia ratkaisuja. Viilennysjärjestelmän energiatehokkuuden tärkeys korostuu tässäkin direktiivissä.

## 4 VIILENNYKSEN TARVE

### 4.1 Lämpökuorma

Viilennyksen tarpeen luo talon sisäinen lämpökuorma, joka aiheutuu pääasiassa sähkölaitteista, ihmisistä ja sisään päässeestä auringonsäteilystä. Suuret ikkunat ovat pitkään olleet trendinä rakentamisessa, mikä on nostanut esille rakennusten energiatehokkuuden haittapuolia auringonsäteilyn päästessä sisätiloihin. Auringonsäteiden tulokulma maanpintaan nähden on Suomessa Etelä-Eurooppaa pienempi, eli aurinko paistaa matalammalta, joten suoran auringonpaisteen aiheuttama säteilykuorma on suurempi talon pystysuorilla pinnoilla. Tämän vuoksi sisään taloon pääsee ikkunoiden lävitse merkittävän paljon säteilyenergiaa, joka nostaa talon sisätiloihin kohdistuvaa lämpökuormaa. Vuotuinen auringonsäteilyn määrä Etelä-Suomessa on samalla tasolla Pohjois-Saksan kanssa, mutta täällä säteily keskittyy vahvemmin kesäkuukausille (Motiva Oy 2016a).

### 4.2 Aurinkosuojaus

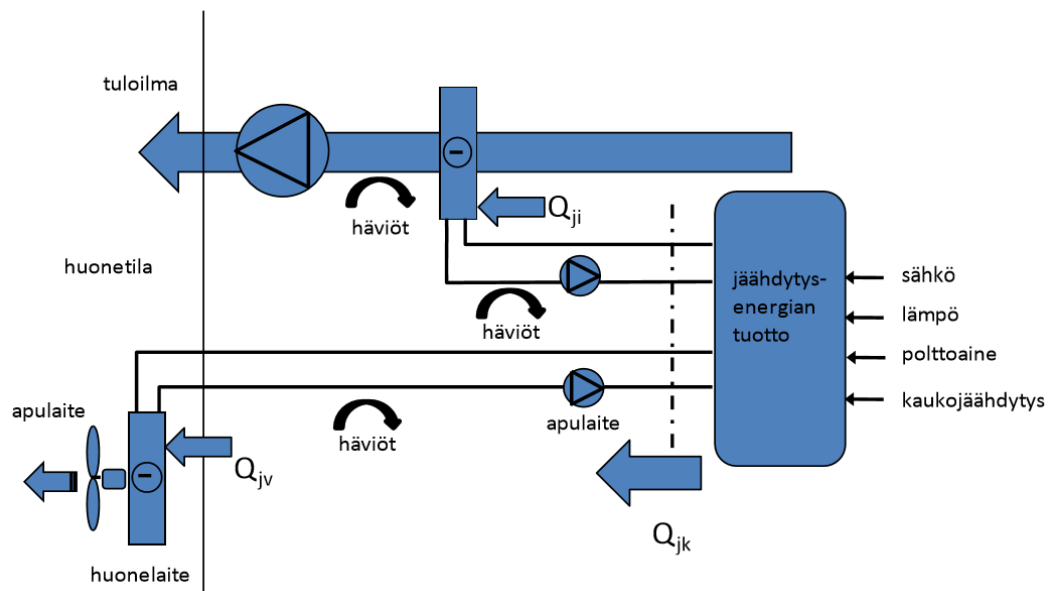
Suomen leveysasteilla pienet aurinkolipat eivät tuo suojaa matalalta paistavalta auringolta samalla tavalla kuin Etelä-Euroopassa, jossa auringon säteet saattavat pysähtyä keskipäivän aikaan melkein kokonaan katon räystäösosaan eikä säteily pääse ikkunoille asti (Beck ym. 2011, 6). Säteily kohdistuu katon lisäksi talon ulkoseiniin sekä talon ikkunoihin, joista se pääsee taloon sisälle helposti ja aiheuttaa sisätilojen yllämpenemisen. Ylimääräinen lämpö ei pääse poistumaan energiatehokkaasti eristetyistä taloista samalla tavalla kuin heikommin lämpöeristetyistä. Aurinkolipat ja muut erilaiset, passiiviset rakenteelliset lämpösuojaukset, harvoin riittävät ratkaisemaan nykyvaatimusten mukaisten, hyvin eristettyjen talojen viilennystarpeita. (Uponor Suomi Oy 2016.)

Aurinkosuojaus oikein asennettuna ja käytettynä vähentää sisätiloihin pääsevän säteilyn määrää ja laskee viilennystehon tarvetta viilennyskauden aikana. Aurinkosuojauksen tarkoituksena on estää ylimääräisen lämpösäteilyn pääsy sisätiloihin ja ehkäistä siitä johtuvaa yllilämpenemistä. Aurinkosuojausjärjestelmän voi asentaa ikkunan ulko- tai sisäpuolelle, kaksilasi-ikkunoissa se voidaan asentaa myös lasipintojen väliin. Tehokkaimmillaan aurinkosuojat ovat asennettuna ikkunan ulkopuolelle. (Beck ym. 2011, iv & 39.)

Esimerkiksi ikkunalasienvälissä olevat alumiiniset sälekaihtimet ovat tuttu näky suomalaisissa asunnoissa. Aurinkosuojaus vähentää lämpösäteilyn, mutta myös päivänvalon pääsyä sisätiloihin, mikä saattaa johtaa keinovalonlähteiden käyttöön päiväsaikaan lisäten sähkön kulutusta ja sisäistä lämpökuormaa. Toisaalta päivänvalon valaistusvoimakkuus saattaa aiheuttaa häikäisyä, varsinkin jos se paistaa kasvoille tai esimerkiksi vaalealle seinälle aiheuttaen epämiellyttävän kirkkaan pinnan, joka saattaa häiritä päätetyötä tai muita askareita.

## 5 VIILENNYSJÄRJESTELMÄN TEKNINEN TOTEUTUS

Viilennysjärjestelmällä tarkoitetaan rakennuksen lämpötilan alentamiseen kykenevää järjestelmää, joka on joko osittain tai kokonaan suunniteltu ylimääräisen lämpöenergian poistamiseen. Poistetusta lämpöenergiasta käytetään tässä työssä myös termiä viilennysenergia. Yleisin viilennysjärjestelmän käyttötarkoitus omakotitalossa on mukavuuden lisääminen erityisesti lämpimien kesäkuukausien aikana, jolloin talo yllilämpenee herkästi sisäisten lämmönlähteiden ja auringon säteilyn aiheuttaman lämpökuorman takia.



Kuvio 1. Viilennysjärjestelmän periaatekuva häviöineen  
(Ympäristöministeriö 2011)

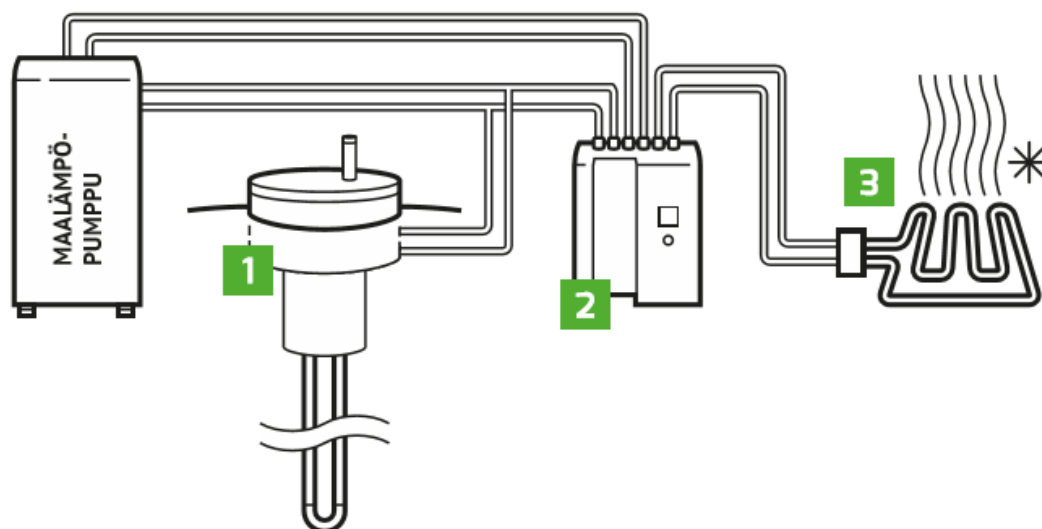
Kuvassa 1  $Q_{jk}$  on jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia,  $Q_{jv}$  on huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia ja  $Q_{ji}$  on ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia. (Ympäristöministeriö 2011.)

## 5.1 Viileän tuotto

Viileän tuotto tarkoittaa ylimääräisen lämpöenergian poistamista väliaineesta, jotta sen avulla voidaan viilentää taloa. Tässä osiossa käsitellään viileän tuoton kolme yleistä tapaa: luonnon vapaajäähdytys, kompressorijäähdytys ja kaukojäähdytys.

### 5.1.1 Maaviileä (vapaajäähdytys)

Maaviileä hyödyntää joko maalämpöjärjestelmää varten tehtyä porakaivoa tai vaakakeruujärjestelmää (Aurime Oy 2016). Maaperän lämpötila pysyy luonnollisesti matalana ympäri vuoden, joten maaperää voidaan hyödyntää passiiviseen jäähdyttämiseen, eli jäähdytyksen tuottoon ei tarvita erillistä sähköenergialla jäähdyttävää konetta. Maaviilennys hyödyntää maaperän viileyttä kierrättämällä pumppuyksikön avulla lämmönsiirtonestettä maanalaisessa putkistossa, jossa se luovuttaa sisäilmasta kerättyä ylimääräistä lämpöenergiaa maaperään itse viilentyen. Maaperään johdettu lämpö parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta lämmityskaudella. Lämmennyt jäädysvesi voidaan myös johtaa maalämpöpumpulle, joka tuottaa siitä tehokkaasti lämpöä käyttöveden lämmittämiseen. Viilentynyt lämmönsiirtoneste jäähdyttää viilennysjärjestelmän käyttämää vettä, joka ohjataan viilennyksenjakolaitteiston käytettäväksi. (Senera Oy 2016.) Viileää vettä voidaan hyödyntää joko pintaviilennysjärjestelmien (mm. lattia- ja kattoviilennys) tai puhallinkonvektorien avulla (Aurime Oy 2016, Senera Oy 2016, Warmia Oy 2016).



- 1** Aurime Coolbox ohjaa porakaivoa ja tuo sieltä viileää nestettä Coolboxille.
- 2** Coolbox siirtää jäähdytysenergian rakennuksen vesikiertoisen jäähdytysjärjestelmän käyttöön.
- 3** Viilennetty vesi johdetetaan viilennystä tarvitseviin asuintiloihin KAN-therm lattialämmitysjärjestelmällä.

Kuvio 2. Maaviileäjäjärjestelmä lattiaviilennyksellä, toteutettuna maalämpöpumpun ja porakaivon yhteydessä (Aurime Oy 2016)

Maaviileää tuotettaessa sähköenergiaa tarvitaan vain kiertovesipumpun käyttöön, joten sen kylmäkerroin on erittäin hyvä. Kuten taulukossa 1 (2.3 Kylmäkerroin) on mainittu, maaviileän kylmäkerroimen hetkellinen ohjearvo on 30. Maaviileän käyttökustannukset ovat huomattavasti pienemmät verrattuna runsaasti sähköä käyttäviin, huonon kylmäkerroimen omaaviin järjestelmiin. Kuviossa 2 on esimerkki maaviileäjäjärjestelmän toteuttamisesta. Huomioitavaa on myös järjestelmän pienet hiilidioksidipäästöt vähäisen ulkoisen energian tarpeen vuoksi. (Senera Oy 2016.) Taulukkoon 2 on koottu maaviileäjäjärjestelmän etuja ja haittoja.

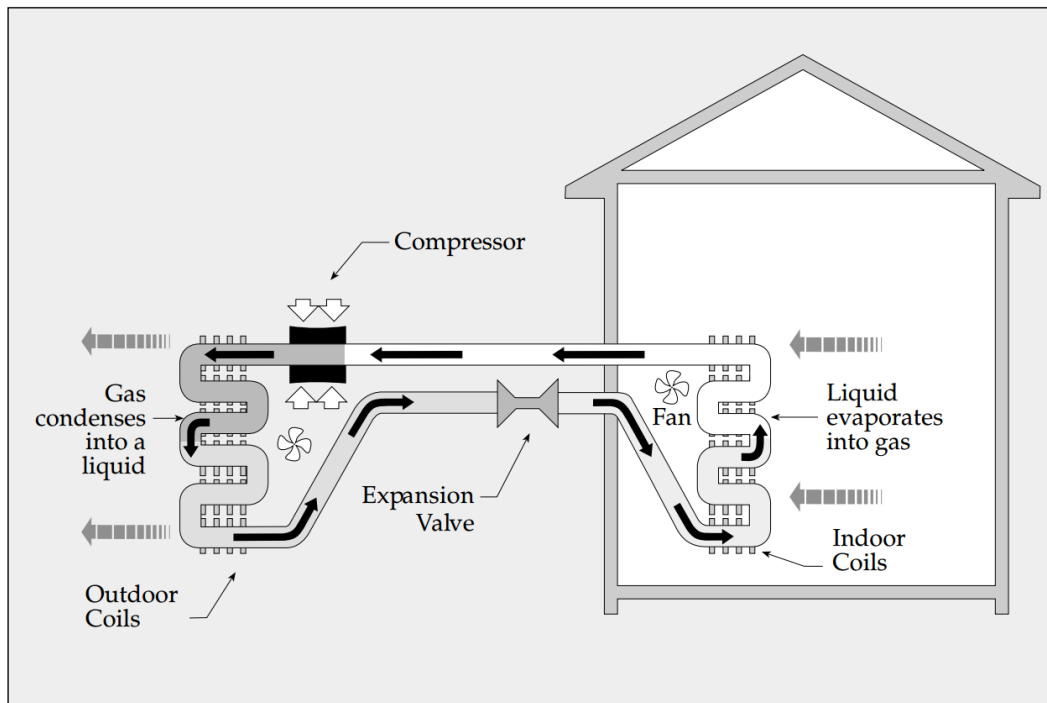
Taulukko 2. Maaviileän etuja ja haittoja

Etuja	Haittoja
+ erittäin hyvä kylmäkerroin	- vaatii maanalaisen putkiston
+ maalämpökohteissa lämpöenergia sitoutuu maaperään lämmityskautta varten tai sitä käytetään lämpimän käyttöveden tuottoon	- järjestelmän hankkiminen saneerauskohteeseen, jossa ei ole putkistoa tai energiakaivoa valmiina, on kallista
+ maaviileä on uusiutuvaa energiaa	- energiakaivon poraus saattaa paikasta riippuen olla kiellettyä
+ pieni sähkönkulutus	
+ yksinkertainen	
+ antaa maalämpöjärjestelmälle lisäarvoa, kun sitä voidaan käyttää viilennyksen tuottoon	

### 5.1.2 Ilmalämpöpumppu (kompressorijäähdytys)

Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate viilennettäessä (kuvio 3) on sama kuin perinteisessä ilmastointilaitteessa tai jääkaapissa. Se kerää ylimääräistä lämpöenergiaa sisä- ja ulkoyksikön välillä kiertävän kylmäaineen avulla, jonka faasi- eli olomuotomuutoksien avulla energiaa saadaan absorboitua tehokkaasti. Sisätilaa viilennettäessä kylmäaine pumpataan talon sisäyksikön jäähdyttimen putkistoon nestemäisenä, jossa se lämpeää aiheuttaen faasimuutoksen nesteestä kaasuksi, mikä sitoo lämpöenergiaa tehokkaasti. Lämmennyt ja kaasuuntunut kylmäaine johdetaan putkea pitkin lämpöpumpun ulkoyksikön lauhduttimeen, jossa se nesteytetään paineen avulla uudestaan. Nesteytyksen aikana kylmäaineeseen

sitoutunut lämpöenergia vapautuu ulkoilmaan jäähdytysrivaston kautta. Nesteytynyt kylmäaine johdetaan paisuntaventtiin läpi takaisin sisäyksikköön ja kierto alkaa alusta. (U.S Department of Energy 2016.)



Kuvio 3. Ilmalämpöpumpun toiminta sen viilentäessä sisätilaa (National Renewable Energy Laboratory 2001)

Ilmalämpöpumppu ei ole yhtä energiatehokas viilentäessään kuin lämmittäessään, mikä johtuu pääasiassa siitä, että pumpun käyttämiseen kuluva sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi eikä hyödytä tilan viilentämisessä. Ilmalämpöpumpuille ja ilmastointilaitteille määritellään EER (Energy Efficiency Ratio), eli kylmäkerroin, joka kertoo laitteen hetkellisen energiatehokkuuden. Korkeampi luku tarkoittaa energiatehokkaampaa laitetta. (RefGroup Oy 2016.)

Kompressorikäyttöisen jäähdytysenergiantuoton kylmäkertoimeen vaikuttaa höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat, laitteiston tyyppi sekä kylmäaine. Taulukosta 3 löytyy kompressorikäyttöisten kylmlaitteiden kylmäkertoimien ohjearvoja. (Ympäristöministeriö 2012.) Taulukkoon 4 on koottu kompressorijäähdytyksen etuja ja haittoja.

*Taulukko 3. Ohjearvoja jäähdytysenergian tuoton kylmäkertoimille [EN 15243], Split-järjestelmä vastaa yhden sisä- ja ulkoyksikön omaavaa ilmalämpöpumpputjärjestelmää. (Ympäristöministeriö 2012)*

Jäähdytysteho < 12 kW	$\epsilon_E$
Kaappikone, ikkuna tai seinäasennus	2,6
Split järjestelmä	2,7
Multi-split järjestelmä	2,9
Jäähdytysteho > 12 kW	
VRF muuttuvalla kylmäaineen massavirralla	3,5

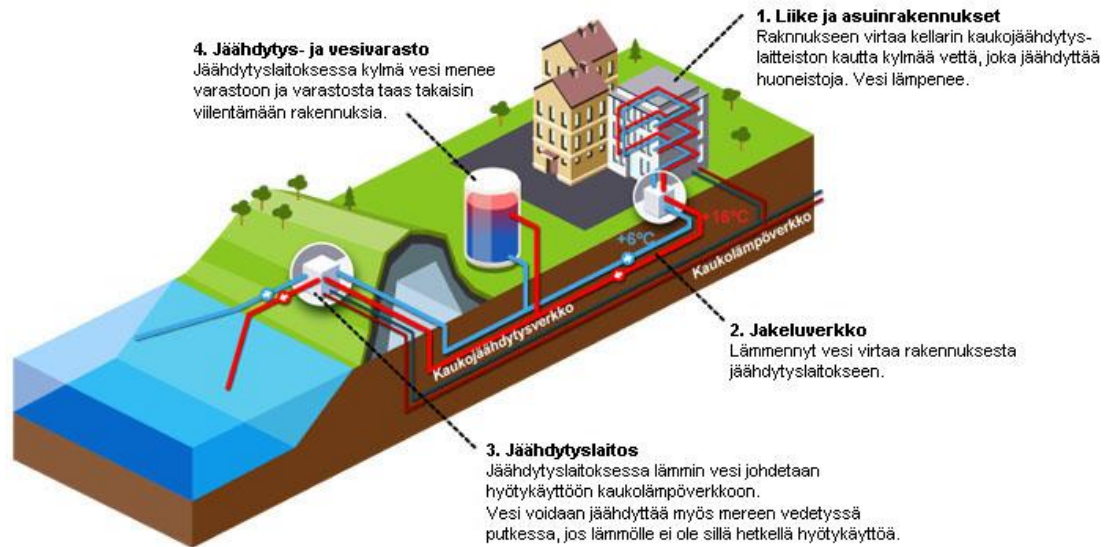
*Taulukko 4. Kompessorijäähdytyksen etuja ja haittoja*

Etuja	Haittoja
+ sopii järjestelmän yksinkertaisuuden vuoksi hyvin saneerauskohteisiin	- kuluttaa paljon sähköenergiaa
+ edulliset hankintakulut	- ei yleensä hyödynnä lämpöenergiaa muuhun käyttöön
+ matala hankintakynnys	- suuret käyttökustannukset

### 5.1.3 Kaukojäähdytys (keskitetty jäähdytys)

Kaukojäähdytys muistuttaa monin tavoin kaukolämmitystä: kylmäenergian tuotanto on keskitetty, sitä jaetaan jäähdytetyn veden avulla putkistoa pitkin asiakkaille ja lämmennyt vesi johdetaan takaisin jäähdytyslaitokselle (kuvio 4). Jäähdytysenergian tuotantotapoja ovat vapaajäähdytys (hyödynnetään luonnollisesti viileitä lähteitä), absorptiojäähdytyskoneet, kompressoriteknikka ja lämpöpumput. Absorptiotekniikassa hyödynnetään muuten hukkaan joutuva lämpöenergia, esimerkiksi kaukolämpö, jota ei kesällä muuten saataisi myytyä pienen kysynnän vuoksi. Eri tuotantotapoja voidaan yhdistellä edullisimman tuotantotavan saavuttamiseksi. Kaukojäähdytysenergiaa varastoidaan yleisesti

pienissäkin järjestelmissä parantamaan toiminnan kannattavuutta, lisäämään jäähdytysenergian tarjonnan toimintavarmuutta ja joustavuutta. (Energiateollisuus 2016a.) Kaukojäähdytystä tarjotaan Suomessa tällä hetkellä vasta kahdeksalla paikkakunnalla: Helsingissä, Turussa, Lahdessa, Heinolan Vierumäellä, Lempäälässä, Espoossa, Tampereella ja Porissa (Energiateollisuus 2016b).



Kuvio 4. Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate (Wikipedia 2011)

Jäähdytysveden lämpötilan välillä on eroja tuotantotavasta riippuen. Absorptio- tai vapaajäähdytyksellä jäähdytysenergiaa tuotettaessa jäähdytysveden lämpötila on esimerkiksi 8 °C, kun taas kompressoriteknikalla tuotettaessa sen lämpötila voi olla kylmempi, esimerkiksi 6 °C. Kaukojäähdytysjärjestelmää mitoittaessa meno- ja paluueden lämpötilaerona käytetään 8...10 °C. Kaukojäähdytyksessä suositellaan käytettävän epäsuoraa kytkentää kaukojäähdytysverkkoon, jolloin kaukojäähdytysverkosto muodostaa oman kiertopiirinsä ja rakennuksen oma jäähdytysjärjestelmä omansa. Suoraa kytkentää tulisi käyttää vain pienissä, muutaman asiakkaan suuruisissa verkostoissa. Kiertopiirien väliin tarvitaan rakennukseen sijoitettava lämmönvaihdin. (Energiateollisuus 2016a.) Taulukkoon 5 on koottu keskitetyn jäähdytyksen etuja ja haittoja.

Taulukko 5. Keskitetyn jäähdytyksen etuja ja haittoja

Etuja	Haittoja
+ laitteisto voi käyttää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa viilennyksen tuottoon	- heikko saatavuus
+ lämmennyt vettä voidaan hyödyntää	- liittymiskulut, varsinkin jos talo ei ole kaukolämmön piirissä
+ kylmää tuotetaan kustannustehokkaasti suurilla yksiköillä	- lämmennyt jäähdytysvettä ei ole aina kannattavaa hyödyntää
+ ei huollettavaa laitetta kotona	

## 5.2 Viileän jakotapa

Olenainen osa viilennysjärjestelmää on sen tapa kerätä ylimääräistä lämpöenergiaa talosta. Tämä voi tapahtua joko huoneilmaa viilentämällä tai huoneen pintoja viilentämällä. Huoneilman lämpötilan ja pintojen säteilylämpötilan yhteisvaikutus muodostaa tilan operatiivisen lämpötilan, joka vaikuttaa koettuun lämpömukavuuteen.

### 5.2.1 Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektorissa on lämmönsiirrin ja tuuletin, joka kierrättää huoneilmaa lämmönsiirtimen läpi. Se poistaa ylimääräistä lämpöenergiaa huoneilmasta ja johtaa sen viilennystavasta riippuen joko kylmäaineeseen tai veteen. Se voi myös jäähdyttäessään poistaa ylimääräistä kosteutta ilmasta lisäten huoneilman miellyttävyyttä. Jos omakotitalo on avara ja ilma pääsee virtaamaan vapaasti, huoneilman jäähdytykseen riittää usein yksi puhallinkonvektori. (Senera Oy 2016.)

Puhallinkonvektori on lämmönsiirtolaite, jota käytetään ilmalämpöpumpuissa, mutta sitä voidaan käyttää muidenkin viilennysratkaisujen lämmönsiirtoratkaisuna. Puhallinkonvektori nimensä mukaisesti puhaltaa ilmaa (pakotettu konvektio) huoneeseen, mikä saattaa lisätä vedon tunnetta ja pölyn määrää ilmassa.

Puhallinkonvektorin käyttäminen järjestelmissä, joissa kylmä tuodaan laitteelle kylmän veden avulla, on riskinä huonosti suojattujen putkien tai niiden liitoskohtien kondensoiminen. Myös kondenssiveden tyhjennysputken tukkeutuminen on riskitekijä. Tämä aiheuttaa kohonneen riskin mikrobikasvuston muodostumiselle, jos vettä pääsee rakenteisiin. Tämä voi aiheuttaa myös terveyshaittoja. Riskinä on myös seinärakenteissa kulkevien putkien eristys, vaikkeivat ne kondensoisikaan. Jos ilman suhteellinen kosteus pysyy erittäin korkeana useita vuorokausia samassa kohdassa, nousee homevaurion riski. Tätä riskiä ei ole pieniä lämpötilaeroja hyödyntävissä järjestelmissä, kuten lattia- ja kattoviilennysjärjestelmissä, koska niihin yleensä johdettavan veden lämpötila  $\geq 18$  °C ei ole Suomen sääpalvelun (2016) mukaan tarpeeksi matala kastepisteen saavuttamiseksi ja aiheuttaakseen kondensaatiota normaaliolosuhteissa kuukausitasolla tarkasteltuna.

Operatiivisen lämpötilan hallitsemisessa ilman lämpötila on yksi komponentti, jota voidaan hallita helposti juuri puhallinkonvektorilla, ja se onkin parhaimmillaan tiloissa, joissa ei ole suoraa auringonsäteilyä sisään. Jos auringon säteilyenergia pääsee lämmittämään esimerkiksi lattia- tai seinäpintoja, se vaikuttaa operatiiviseen lämpötilaan suuresti. Tämän operatiivisen lämpötilan kohoamisen kompensoimiseksi sisäilmaa tulee viilentää lisää huoneen pintojen viilentämiseksi ja operatiivisen lämpötilan muokkaamiseksi, jolloin siihen käytettävä teho ja energiankulutus kasvavat. Ilman välityksellä tehtävä viilennys tehoaa huonosti huoneen pintojen viilentämiseen, koska konvektion avulla huoneen pinnoista ei voida poistaa ylimääräistä lämpöenergiaa yhtä paljon kuin vesikiertoisella pintaviilennysjärjestelmällä. (Feng, Bauman & Schiavon 2013.) Taulukkoon 6 on koottu puhallinkonvektorin etuja ja haittoja.

Taulukko 6. Puhallinkonvektorin etuja ja haittoja

Etuja	Haittoja
+ nopeasäätöinen	- aiheuttaa vedon tunnetta ja levittää pölyä
+ edulliset hankintakustannukset	- aiheuttaa taustamelua
+ suhteellisen helppo asentaa saneerauskohteeseen	- huono teho säteilylämmön poistoon
+ poistaa kosteutta ilmasta	- lämmönsiirtonesteen ja ilman suuri lämpötilaero → kondensaattoririski → homevaurion riski
	- kondenssiveden poiston tarve
	- viilennys jakautuu epätasaisesti
	- näkyvä puhallinlaite huoneessa
	- tuulettimen huollon tarve

### 5.2.2 Lattiaviilennys

Lattiaviilennys perustuu vesikiertoiseen, lattiaan sisällytettyyn järjestelmään, jota voidaan käyttää sekä talon lämmittämiseen että viilentämiseen. Se on huomaamaton ja tehokas sekä jakaa viilennystehon tasaisesti koko jäähdytettävälle alueelle ilman epämiellyttävää konvektion aiheuttamaa vedon tunnetta ja huminaa. Sen teho perustuu suureen pinta-alaan, jonka vaikutus huoneen operatiiviseen lämpötilaan on suuri. (Aurime Oy 2016.) Lattiaviilennysjärjestelmä on erittäin tehokas poistamaan suorasta auringonsäteilystä syntyvää lämpökuormaa, minkä vuoksi verhojen kiinni pitäminen ei ole välttämätöntä viilennyksen

kannalta. Lattian pinnan ja huoneilman lämpötilan pienelläkin erolla saadaan aikaan huomattava viilennyskapasiteetti. Lattian pintalämpötilaa ei edes voi laskea useilla asteilla sen lämpömukavuuden säilyttämiseksi ja kondensaation estämiseksi. (Savolainen 2009, 8.)

Lattiaviilennysjärjestelmä on noussut suosioon erityisesti taloissa, joissa on jo asennettuna vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä sekä maalämpöpumppu. Kesäisin maalämpöpumpun energiakaivo on vähäisellä käytöllä, joten sieltä voidaan johtaa lähes ilmaista viileyttä keruunesteen kautta lattianviilennysjärjestelmän käyttöön. Järjestelmän etuna on se, että jos kohteessa on valmiina vesikiertoinen lattialämmitys, ei erillistä viileänjakojärjestelmää tarvitse asentaa. Se onkin yleensä ainoa realistinen ratkaisu omakotitalon viilentämiseen, sillä erillisen jäähdytysjärjestelmän rakentaminen pientaloon on harvinaista kustannussyistä johtuen. (Savolainen 2009, 8.) Taulukkoon 7 on koottu lattiaviilennyksen etuja ja haittoja.

Lattiaviilennysjärjestelmä käyttää viilennykseen huoneilmaa vain hieman viileämpää vettä, mutta ei niin kylmää, että se aiheuttaisi olennaista riskiä mikrobikasvuston muodostumiseen lattiarakenteissa.

*Taulukko 7. Lattiaviilennyksen etuja ja haittoja*

Etuja	Haittoja
+ hiljainen ja vedoton	- korkeat hankintakulut, jos vesikiertoista lattialämmitystä ei ole
+ poistaa säteilylämpöä tehokkaasti	- lämpötuntuma ei säädettäessä muutu välittömästi lattian suuren lämpökapasiteetin takia
+ huonetilasta saatua lämpöä voidaan hyödyntää lämpöpumpun avulla käyttöveden lämmittämiseen	- keraaminen lattia saattaa tuntua epämukavan kylmältä viilennettäessä

+ viilennys jakautuu tasaisesti	- ei poista kosteutta ilmasta
+ ei suurta kondensaatoriskiä	
+ ei esteettistä haittaa	
+ ei levitä pölyä ilmaan	

### 5.2.3 Kattoviilennys

Kattoviilennys on uudenlainen tapa viilennyksen toteuttamiseen, joka perustuu lattiaviilennyksen tavoin lämmön säteilysirtoon. Se on pintaviilennysratkaisu, jolla on monia samoja ominaisuuksia kuin lattiaviilennysjärjestelmässä, mutta se asennetaan sisäkaton pinnalle. (Warmia Oy 2016.) Pääasiallinen toimintaperiaate on sama: suuri viileä pinta absorboi ylimääräistä lämpöenergiaa huoneesta jäähdytysveteen ja siirtää sen muualle järjestelmästä poistettavaksi tai lämmityksessä hyödynnettäväksi. Suuri pinta-ala tarkoittaa suurta vaikutusta huoneen operatiiviseen lämpötilaan. Näkyvyyskerroin on yleensä kattoviilennysjärjestelmässä pienempi huoneessa oleskelijalle kuin lattiaviilennysjärjestelmässä, koska huoneessa yleensä oleskellaan lähempänä lattiaa kuin kattoa. Jos vesikiertoista lämmitysjärjestelmää ei ole asennettu kattoon, pitää asentaa kokonaan uusi putkisto, mikä nostaa järjestelmän kokonaishintaa.

Kattojäähdytykseen tarvittava viilennysenergia voidaan tuottaa melkein millä tavalla tahansa, mutta vapaajäähdytys energiakaivon viileän veden avulla on kustannus- ja energiatehokas tapa, jos olemassa on jo energiakaivo maalämpöä varten (Warmia Oy 2016). Taulukossa 8 on esitelty kattoviilennyksen etuja ja haittoja.

Kattoviilennysjärjestelmä käyttää viilennykseen huoneilmaa hieman viileämpää vettä, mutta ei niin kylmää, että se aiheuttaisi olennaista riskiä mikrobikasvuston muodostumiseen katon rakenteissa.

Taulukko 8. Kattoviilennyksen etuja ja haittoja

Etuja	Haittoja
+ hiljainen ja vedoton	- huomattavan korkeat hankintakulut
+ ei levitä pölyä ilmaan	- vaatii putkiston asentamisen sisäkattoon
+ viilennys jakautuu tasaisesti	- ei poista kosteutta ilmasta
+ ei korkeaa kondensaatoriskiä	
+ ei esteettistä haittaa	
+ huonetilasta saatua lämpöä voidaan hyödyntää lämpöpumpun avulla käyttöveden lämmittämiseen	

#### 5.2.4 Matalalämpöradiaattori

Matalalämpöradiaattori eli matalalämpöpatteri on pääasiassa lämmittämiseen tarkoitettu radiaattori, joissa lämmitykseen käytetään perinteisiin lämpöpattereihin verrattuna viileämpää vettä.

Matalalämpöradiaattoreita on käytetty Suomessa jo vuosikymmeniä, mutta harvoin viilennykseen. Viilennyskäytössä tulee ottaa huomioon kondensaation vaara, jos radiaattoriin johdetaan liian kylmää vettä. Tämä saattaakin olla tärkeimpiä syitä siihen, ettei pattereita yleisesti käytetä viilentämiseen. Jos pattereissa käytettäisiin vettä, jonka lämpötila ei useimmissa olosuhteissa aiheuta kondensaatiota, sen teho olisi verrattain pieni.

Markkinoilla on olemassa myös lämpöpatterin ja puhallinkonvektorin välimuotoja, jotka toimivat kuten normaalit matalalämpöpatterit, mutta niissä on sisäänrakennettuja tuulettimia, joita tarvittaessa käytetään

lämmönsiirron tehostamiseksi. Näin voidaan lisätä radiaattorin suorituskykyä lämmityskäytössä. Tämän kaltaisia tehostetun lämmönsiirron radiaattoreita voitaisiin käyttää myös viilennykseen, mutta erään valmistajan mukaan radiaattoriin pitää tehdä sisäisiä säätöjä sitä varten (Rettig ICC 2016). Taulukossa 9 on esitelty tällaisen järjestelmän etuja ja haittoja.

Valmiin järjestelmän puuttuminen markkinoilta johti siihen, että kustannusvertailuun ei sisällytetty puhaltimella varustettuja radiaattoreita.

*Taulukko 9. Tuulettimilla varustetun matalalämpöradiaattorin etuja ja haittoja*

Etuja	Haittoja
+ puhallin tarjoaa lisätehoa verrattuna tavalliseen radiaattoriin	- laite on näkyvillä huoneessa
+ huonetilasta saatua lämpöä voidaan hyödyntää lämpöpumpun avulla käyttöveden lämmittämiseen	- huono teho säteilylämmön poistoon
+ säätyy nopeasti	- saattaa aiheuttaa vedon tunnetta
+ ei kondensaatoriskiä, jos viilennysvesi on tarpeeksi lämmintä	- huonekalujen sijoittaminen rajoittuu
+ helppo asentaa olemassa olevien radiaattorien tilalle	- viilennyksen epätasainen jakautuminen
	- puhaltimien huoltotarve
	- saattaa aiheuttaa melua
	- puhallin levittää pölyä

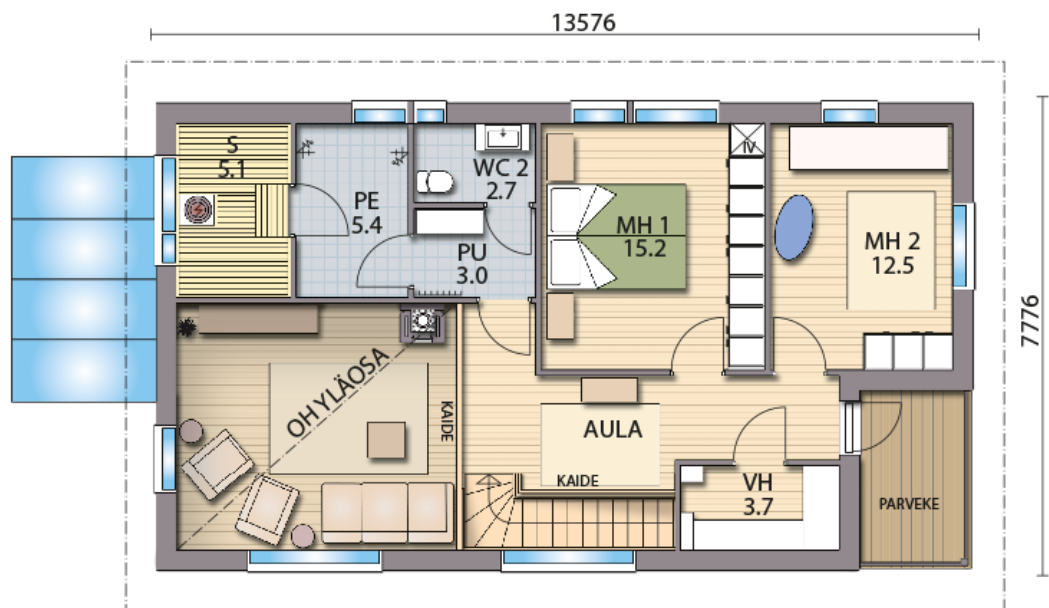
## 6 JÄRJESTELMIEN KUSTANNUSVERTAILU

### 6.1 Kustannusvertailun toteuttaminen

Jotta voitiin vertailla eri järjestelmien kustannuksia, suoritettiin kustannusvertailu järjestelmien kesken. Se toteutettiin lähettämällä tarjouspyyntöjä eri viilennysjärjestelmiä markkinoiviin yrityksiin, joilta kaikilta pyydettiin verollinen tarjous laitteiston asennuksesta ja käyttökuluista. Tätä ns. Mystery Shopping -tutkimusta varten valittiin talomalli ja paikkakunta kuvitteellista uudiskohdetta varten, jota käytettiin tarjouspyyntöjen pohjana. Paikkakunnaksi valittiin uudisrakentajien suosiossa oleva Lempäälä ja talomalliksi Jyväskylän 2014 asuntomessuilla esitelty moderni Kastelli-talojen kaksikerroksinen mallitalo, jonka huoneistoala on 147 m<sup>2</sup>. Tarjouspyynnöt tehtiin joko sähköpostitse tai yrityksen sivustoilla olevien erillisten tarjouspyyntökaavakkeiden kautta. Yritykset tekivät tarjoukset talon pohjapiirrosten (kuviot 5 & 6) ja perustietojen perusteella. Koska mikään tarkastelluista järjestelmistä ei ole tarkoitettu ainoastaan viilennykseen, ja lämmitys vaatii suurimman osan lämmönsäätelyyn kulutetusta energiasta, on syytä kiinnittää huomiota myös järjestelmän käyttökustannuksiin lämmityskauden aikana. Tähän ei kuitenkaan syvennytty sen tarkemmin tässä osiossa. Kustannusvertailussa ei ole huomioitu laitteistojen käyttöiä eikä huoltotarpeiden tiheyttä. Järjestelmää hankittaessa on syytä valita luotettava toimittaja ja tarkastaa takuun pituus sekä sen ehdot.



Kuvio 5. Kohdetalon alakerran pohjapiirros (Kastelli 2016)



Kuvio 6. Kohdetalon yläkerran pohjapiirros (Kastelli 2016)

## 6.2 Vapaaviilennys maalämpöporakaivosta, lattiaviilennysjärjestelmä

Tarjouspyyntö tehtiin sekä maalämpöpumppukaupan yritykselle että kahdelle lattialämpöjärjestelmiin erikoistuneelle yritykselle.

Maalämpöpumpun, energiakaivon porauksen sekä muut peruskulut sisältävä hinta saadussa tarjouksessa on 13 650 € (alv. 24 %). Tämän lisäksi kuluja koituisi lattialämmitys- ja viilennysjärjestelmästä ja sen asennuksesta 5 880 € (alv. 24 %) tai 7 450 € (alv. 24 %) toimittajasta riippuen. Pelkän lattialämmitysjärjestelmän hinta olisi asennettuna 2 330 € (alv. 24 %) ja toiselta toimittajalta 3 900 € (alv. 24 %).

Viilennysjärjestelmän tuomat lisäkulut ovat 3 550 € (alv. 24 %). Koko järjestelmän hinta asennuksineen olisi tarjouksien mukaan halvimmillaan noin 19 530 € (alv. 24 %). Maalämpöjärjestelmää ei hankittaisi ainoastaan viilennyskäyttöön vaan myös koko talon ja käyttöveden lämmittämiseen. Tarjotun maalämpöpumpun hyötysuhteeksi (COP) mainittiin 35 °C asteista vettä tuotettaessa 4,84 ja 55 °C asteista tuotettaessa 3,17. Kun maalämpöpumppua käytetään yhdessä vesikiertoisen lattialämmityksen kanssa, lämmitykseen käytettävän veden lämpötila voi olla patterilämmitystä alhaisempi, jolloin maalämpöpumppu tuottaa matalampilämpöistä vettä paremmalla hyötysuhteella lämmitystä varten.

Esimerkissä täytyy ottaa huomioon maalämpöjärjestelmän suuri hankinta- ja asennushinta, mutta suhteellisen pienet käytönaikaiset kustannukset.

Etenkin viilennyskäytössä energiaa kuluu vain lämmönkeruunesteen kierrättämiseen energiakaivossa ja lattian viilennyksen ohjaamisesta vastaavien laitteiden käyttöön. Näiden laitteiden energiankulutus viilennyskäytössä on maksimiteholla (n.110 W) 2,54 kWh/vrk, ja jos määritellään viilennyskauden pituudeksi kolme kuukautta eli 90 vuorokautta, koko viilennyskauden energiankulutukseksi saadaan 229 kWh. Sähkön hinnan ollessa siirtokuluineen esimerkiksi 0,10 €/kWh, tulee viilennyksen käyttökustannuksiksi maksimissaan 23 € vuodessa.

Todellisuudessa kustannukset ovat tätä pienemmät, koska viilennysjärjestelmää ei ole tarpeen käyttää täydellä teholla kolmea kuukautta tauotta, ellei sitä ole pahasti alimitoitettu. Kaavan 1 (2.3

Kylmäkerroin) mukaan voidaan laskea suuntaa antava saavutettu jäähdytysteho, kun  $\varepsilon_E = 30$ .

$$\varepsilon_E = \frac{\Phi_{tu}}{P_{tu}}$$

$$\Phi_{tu} = \varepsilon_E * P_{tu}$$

$$\Phi_{tu} = 30 * 110 \text{ W}$$

$$\Phi_{tu} = 3300 \text{ W} = 3,3 \text{ kW}$$

Viilennyskauden (90 vuorokautta) aikana viilennystehoa tuotettaisiin

$$30 (\text{EER}) * 229 \text{ kWh} = 6\ 870 \text{ kWh.}$$

Viilennyksen kustannuksia laskettaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon maalämpöpumpun hyötysuhteen nousu käyttöveden lämmittämiseen viilennyskauden aikana, kun talon viilennyksestä veteen sitoutunut lämpöenergia syötetään viilennyksen ohjausyksikön avulla lämpöpumpun käyttöön. Hyötysuhteen noustessa saavutetaan säästöjä ostoenergiassa, kun vähemmällä sähköenergialla voidaan tuottaa sama määrä lämmintä käyttövettä. Lämpöpumpun hyötysuhde nousee veteen sitoutuneesta lämpöenergiasta (lämpötilan noususta) ja lämpöpumpusta riippuen. Tarjouksessa olleessa esimerkkilaskussa todettiin lämpöpumpun hyötysuhteen nousevan n. 2,5 % jokaista asteen lämpötilaeroa kohden normaalioloissa, ja laskettiin käyttäen 10 °C asteen lämpötilan nousua. Tällöin hyötysuhde paranisi 25 %. Tästä voidaan laskea suuntaa antava sähköenergian säästö.

*Mikäli veden kokonaiskulutusta ei ole mitattu, käytetään lämpimän käyttöveden määrän  $V_{lkv}$  oletusarvona asuinrakennuksissa  $0,6 \text{ m}^3/\text{brm}^2$  ( $= 600 \text{ dm}^3/\text{brm}^2$ ) vuodessa. (...) Mikäli lämpimän käyttöveden energiankulutusta  $Q_{lkv}$  (kWh/vuosi) ei ole mitattu erikseen, lasketaan se kulutetun lämpimän käyttöveden perusteella kaavalla*

$$Q_{lkv} = 58 \times V_{lkv} \text{ jossa}$$

$V_{lkv}$  on kulutettu lämpimän käyttöveden määrä ( $m^3/vuosi$ );  
ja

58 on veden lämmittämiseen (lämpötilan muutos  $50\text{ }^\circ\text{C}$ )  
tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden,  $\text{kWh}/m^3$   
(Motiva Oy, 2016b.)

Esimerkkitalon pinta-ala on  $147\text{ m}^2$ , joten lämpimän käyttöveden kulutus  
vuodessa on

$$0,6\text{ m}^3 \times 147\text{ m}^2 = 88,2\text{ m}^3,$$

ja tällöin kolmen kuukauden käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan

$$58\text{ kWh}/m^3 \times 88,2\text{ m}^3 \times 3/12 = 1\,279\text{ kWh}.$$

Jos lämmintä käyttövettä tuotetaan tämän ajan 25 % paremmalla hyötysuhteella

$$3,17 \times 1,25 = 3,96\text{ (COP)},$$

lämpimän veden tuoton sähkönkulutuksen ero on

$$1279\text{ kWh}_{\text{lämpö}} / 3,96 = 322,8\text{ kWh}_{\text{sähkö}}$$

$$1279\text{ kWh}_{\text{lämpö}} / 3,17 = 403,4\text{ kWh}_{\text{sähkö}}$$

$$403,4\text{ kWh} - 322,8\text{ kWh} = 80,6\text{ kWh}.$$

Näin ollen ainakin reilu kolmasosa viilennykseen käytetystä sähköenergiasta säästetään käyttöveden lämmityksessä. Kuten aiemmin jo mainittiin, viilennysjärjestelmän laitteisto ei ole yhtäjaksoisesti päällä, joten ostettavan sähköenergian osuus voi olla huomattavasti pienempi. Myös lämpöpumpulle syötettävän veden lämpötila voi olla korkeampi, jos viilennyksen lämpökuorma on suuri. Tämä parantaisi lämpöpumpun hyötysuhdetta entisestään.

Lasketaan kuluarvio 15 vuoden aikaiselle käytölle 90 vuorokauden mittaisen viilennyskauden aikana täydellä teholla ja sähkön hinnalla 0,10 €/kWh:

$$(229 \text{ kWh} - 80,6 \text{ kWh}) * 15 = 2 \text{ 226 kWh}$$

$$2226 \text{ kWh} * 0,10 \text{ €/kWh} = 222,60 \text{ €}.$$

### 6.3 Kompressorijäähdytys ilmalämpöpumpulla, puhallinkonvektorijärjestelmä

Ilmalämpöpumpun hankintahinta asennettuna on kohtuullisen pieni, tarjouksen mukaan kohdetaloomme 1 800...2 000 € (alv. 24 %), eikä lisäkustannuksia koidu erillisistä viilennysjärjestelmistä. Tarjotun ilmalämpöpumpun SEER arvo on 8,9 ja EER arvo 4,27 sekä energiatehokkuusluokka viilennyksessä A+++ . Sen vaatima nimellissähköteho jäähdytyskäytössä on 0,82 kW. Ilmalämpöpumppu tuottaa viilennysenergian kompressorilla sähköä käyttäen, joten sen viilennyskäytössä kokonaiskustannuksista suuri osa koostuu kulutetusta sähköenergiasta. Jäähdytyksen nimellisteho laitteella on 3,5 kW. Tarjouksessa kerrottiin laitteiston kustannuksista viilennettäessä hyvin suurpiirteisesti; kulujen arveltiin olevan 50...60 € vuodessa, joka sähkön 0,10 €/kWh hinnalla tarkoittaisi

$$50...60 \text{ €} / 0,10 \text{ €/kWh} = 500...600 \text{ kWh kulutusta}.$$

Tällä energialla voitaisiin käyttää kyseessä olevaa ilmalämpöpumppua viilennyksen puoliteholla (arvioitu 1,8 kW jäähdytysteho)

$$500...600 \text{ kWh} / (0,82 \text{ kW} * 0,5) = 1 \text{ 463...1 220 h (eli 61...51 vuorokautta)}.$$

Vertailun vuoksi, jos ilmalämpöpumppua käytettäisiin täydellä teholla 90 vuorokautta, kuten lattiaviilennysjärjestelmän esimerkkilaskussa, sen sähkönkulutukseksi tulisi

$$0,82 \text{ kWh} * 24 \text{ h} * 90 \text{ vrk} = 1\,771,2 \text{ kWh.}$$

Tällä sähköteholla saataisiin 90 vuorokauden aikana tuotettua viilennysteho

$$4,27 \text{ (EER)} * 1\,771,2 \text{ kWh} = 7\,560 \text{ kWh.}$$

Lasketaan kuluarvio 15 vuoden aikaiselle käytölle 90 vuorokauden mittaisen viilennyskauden aikana täydellä teholla ja sähkön hinnalla 0,10 €/kWh

$$1\,771,2 \text{ kWh} * 15 = 26\,568 \text{ kWh}$$

$$26\,568 \text{ kWh} * 0,10 \text{ €/kWh} = 2\,656,80 \text{ €.}$$

Ilmalämpöpumpulla lämmitetään vain huoneilmaa, joten siitä ei ole hyötyä käyttöveden lämmittämisessä. Tällöin käyttöveden lämmittämiseen tulee olla oma järjestelmä, joka lisää talon kokonaisenergiankulutusta ja energiakustannuksia. Viilennettäessä talon sisältä saatu lämpöenergia johdetaan ulkoilmaan ja sen hukkalämpö jätetään hyödyntämättä.

#### 6.4 Vapaaviilennys maalämpöporakaivosta, kattoviilennysjärjestelmä

Katto- ja lattiaviilennysjärjestelmien kustannusarviointiin käytettiin samaa maalämpötarjousta. Tämän lisäksi pyydettiin erillinen tarjous kattoviilennysjärjestelmiin erikoistuneelta yritykseltä. Saatiin kaksi tarjousta, jossa toisessa oli tarjous kattoviilennysjärjestelmän lisäksi lattialämmitysjärjestelmästä ja toisessa ainoastaan lattialämmitysjärjestelmästä. Järjestelmä on siitä erikoinen, että siinä on kaksi erillistä putkistoa: lattiassa ja katossa. Lattiassa sijaitsevaa putkistoa käytetään vain lämmittämiseen, ja katossa sijaitsevaa tässä tapauksessa vain viilennykseen.

Maalämpöpumpun, energiakaivon porauksen sekä muut peruskulut sisältävä hinta saadussa tarjouksessa on 13 650 € (alv. 24 %). Tähän lisätään lattialämmitys- ja kattoviilennystarvikekulut sekä niiden

asennuskulut, jotka ovat yhteensä 18 700 € (alv. 24 %). Tarjous pelkästä lattialämmitysjärjestelmästä on 3 900 € (alv. 24 %).

Kattoviilennysjärjestelmän hinta yksinään olisi 14 800 € (alv. 24 %).

Maalämpöpumppujärjestelmä sekä lattialämmitys- ja kattoviilennysjärjestelmä suunnitteluineen ja asennuksineen maksaisivat yhteensä 32 350 € (alv. 24 %).

Järjestelmän kulut viilennyskäytössä ovat samaa luokkaa lattiaviilennysjärjestelmän kanssa, koska viilennykseen ei tarvita muuta energiaa kuin kiertovesipumppujen ja niiden ohjauselektronikan vaatima suhteellisen vähäinen sähköenergia. Myös kattoviilennysjärjestelmässä lämmennyt viilennysvesi on mahdollista syöttää maalämpöpumpulle sen hyötysuhteen nostamiseksi ja energian säästämiseksi. Tässä esimerkissä voidaan olettaa järjestelmän energiankulutuksen ja hukkalämmön hyödyntämisen olevan samaa luokkaa kuin lattiaviilennysjärjestelmällä. Sähköenergian kulutuksen oletetaan olevan maksimissaan 229 kWh ja hukkalämmön hyödyntämisen käyttöveden lämmittämiseen tuovan vähintään 80 kWh energiansäästön. Kokonaisjäähdytysteho voisi olla samaa luokkaa kuin lattiaviilennyksellä  $\Phi_{tu} = 3,3 \text{ kW}$  tai jopa suurempi.

Lattia- ja kattoviilennyksen käyttöönottokustannuksissa on huomattava ero, ja onkin syytä pohtia, mitä lisähyötyä kattoviilennyksestä on ja onko se hintansa arvoista.

## 6.5 Käyttökustannusvertailu

Koska simulointia ei suoritettu opinnäytetyön aikana, laitteistojen käyttökustannukset ovat suuntaa-antavia laskelmia ja voivat poiketa todellisista arvoista merkittävästi. Tarkempien lämpökuorma- ja viilennysteholaskelmien tekeminen olisi auttanut tarkempien arvioiden laatimista huomattavasti.

Verrataan vapaaviilennyksen ja ilmalämpöpumpun käyttökustannuksia. Kun tuotettu viilennysteho on sama, saadaan vaadittavan sähkötehon eroksi per viilennyskausi

$$(6\,870 \text{ kWh} / 4,27) - (229 \text{ kWh} - 80,6 \text{ kWh}) = 1\,460 \text{ kWh.}$$

Ilmalämpöpumppu tarvitsee siis 6870 kWh viilennystehton tuottamiseen

$$6\,870 \text{ kWh} / 4,27 = 1\,610 \text{ kWh,}$$

ja vapaaviilennysjärjestelmä

$$229 \text{ kWh} - 80,6 \text{ kWh (hyötysuhteen paranemisesta johtuva säästö)} = 148 \text{ kWh.}$$

Vapaaviilennyksen käyttö tuottaa ilmalämpöpumppuun verrattuna (sähkön hinnalla 0,10 €/kWh) säästöä 146 €/vuosi. Ilmalämpöpumpun ja vapaaviilennyksen käyttökustannuksien ja energiatehokkuuden välillä (kun maalämpöpumppu hyödyntää huoneilmasta saatavan hukkalämmön) on siis lähes 10-kertainen ero.

Takaisinmaksuaikoja ei laskettu kuluarvioiden epätarkkuudesta ja lämmityskäytön kulujen epävarmuudesta johtuen.

## 6.6 Järjestelmävertailun yhteenveto

Yhteenvedossa on arvioitu järjestelmien kustannuksia ja muita osa-alueita taulukkomuodossa (taulukko 10). Selitteet taulukon merkinnöille:

- +++ erinomainen / sopii erinomaisesti
- ++ hyvä / sopii hyvin
- + tyydyttävä / sopii tyydyttävästi
- heikko / sopii heikosti

Taulukko 10. Järjestelmien suoriutuminen eri osa-alueilla

	Lattiaviilennys, vapaaviilennys	Ilmalämpöpumppu, kompressori- jäähdytys	Kattoviilennys, vapaaviilennys
Energiatehokkuus	+++	+ / -	+++
Hankinnan edullisuus	+	+++	-
Käytön edullisuus	+++	-	+++
Käyttömukavuus	+++	++ / +	+++
Soveltuvuus saneerauskohteisiin	++ / +	+++	++ / +
Soveltuvuus uudiskohteisiin	+++	+++	+++
Helppokäyttöisyys	+++	++ / +	+++
Riskittömyys	+++ / ++	+	+++ / ++

Taulukossa esiintyy epävarmoja kohtia, jotka johtuvat mm. ihmisten yksilöllisistä mielipiteistä. Helppokäyttöisyys on suhteellinen käsite, kuten myös soveltuvuus saneerauskohteisiin. Jos kohteessa ollaan tekemässä

kokonaisvaltaista lämmitysjärjestelmän muutostyötä, voi lattia- tai kattoviilennysjärjestelmä olla erinomainenkin ratkaisu. Jos tavoitellaan vain viilennystä ja ehkä lisälämmitystehoa pienellä budjetilla ja vähäisellä remontoinnin tarpeella, on ilmalämpöpumppu hyvä vaihtoehto.

Riskittömyys on myös suhteellinen käsite. Ero ilmalämpöpumpun ja muiden viilennysjärjestelmien välillä muodostuu lähinnä siitä, että kondensaatioveden rakenteisiin pääsemisen riski on olemassa ilmalämpöpumppuja käytettäessä. Myös käyttömukavuutta on hankala arvostella tarkasti, sillä se on kiinni siitä, miten mukavuus yksilötasolla koetaan. Se riippuu myös esimerkiksi järjestelmän asennuspaikasta ja käyttötavasta.

## 7 KÄYTTÖKOKEMUKSIA LATTIAVIILENNYKSESTÄ

### 7.1 Käyttökokemuskyselyn toteutus

Lattiaviilennysjärjestelmän käyttömukavuuden ja helppokäyttöisyyden selvittämiseksi haastateltiin neljää omakotitaloasukasta, joilla on ollut järjestelmä käytössä vähintään yhden viilennyskauden ajan. Kysely suunnattiin lattiaviilennysjärjestelmien omistajille, koska kyseessä olevan järjestelmän todettiin olevan kustannus- ja energiatehokas ratkaisu ja sen käyttökokemuksista haluttiin tietää lisää. Toiveena oli myös se, että opinnäytetyön toimeksiantaja saisi kuulla mielipiteitä heidän tarjoamastaan järjestelmästä. Pienestä otannasta johtuen tutkimuksen luonne on kvalitatiivinen. Haastateltavilta oli kysytty etukäteen sopivasta haastatteluajankohdasta, joten heillä oli aikaa pohtia kokemuksiaan järjestelmästä. Kolme haastatteluista suoritettiin puhelimitse ja yksi sähköpostitse. Haastatteluissa kysyttiin seuraavat kysymykset:

- Koska lattiaviilennysjärjestelmä on asennettu teille ja kauanko (kuinka monta kesää) sitä on käytetty viilentämiseen?
- Missä talo sijaitsee (kunta/kaupunki)?
- Mitä mieltä olette järjestelmän huomaamattomuudesta?
- Onko järjestelmä mielestänne helppokäyttöinen ja säädettävissä helposti?
- Mistä järjestelmä saa kylmää viilentämiseen?
- Mitä mieltä olette järjestelmän energiatehokkuudesta (sähkönkulutus viilennyskauden aikana)?
- Miten olette kokeneet järjestelmän vaikutuksen verrattuna aiempaan asumiseen, joko samassa tai eri kiinteistössä?
- Onko järjestelmästä aiheutunut häiritsevää melua?
- Oletteko kokeneet järjestelmän tehon riittäväksi?
- Jakautuuko viilennys tasaisesti talon eri viilennettäviin osiin?
- Onko viilennettäessä koettu häiritsevää vedon tunnetta?

- Onko muita epä mukavuustekijöitä havaittu viilennettäessä, esimerkiksi lattian lämpötuntumassa?
- Mitä haluaisitte muuttaa järjestelmässä?
- Onko kysyttävää tai muuta mainittavaa aiheesta (vapaa sana)?

## 7.2 Vastaukset

Tutkimuksen kaikki kohdetalot sijaitsevat Etelä-Suomessa ja kaikkia järjestelmiä oli käytetty vähintään yhden kesän ajan talon viilentämiseen, kolmessa kohteessa kaksi kesää tai enemmän. Kaikkien mielestä järjestelmä on huomaamaton; sen olemassaolon havaitsee vain viilennettäessä, kun huone tuntuu viileämmältä ja ilma raikkaammalta. Järjestelmän säätäminen ja helppokäyttöisyys olivat kaikkien mielestä hyvät, koska se ei vaadi käyttäjältään suurta huomiota. Toisaalta järjestelmää oli mahdollista säätää oman mielen mukaan, jos sitä haluttiin.

Kolmessa kohteessa lattiaviilennyksen lähteenä oli maalämpöpumpun energiakaivo ja yhdessä kohteessa talon alle sijoitettu vaakakeruupiiri. Energiatehokkuus oli hieman hankala asia monelle vastaajista, koska ei oltu varmoja, miten se ilmenee. Kysyttäessä sähkölaskun suuruudesta viilennyskauden aikana, sanottiin, ettei mitään suuria yllätyksiä niissä ole ollut. Eräs vastaajista oli mielissään järjestelmän minimalistisesta sähkönkulutuksesta ja osasi kertoa kylmäkertoimen erittäin hyväksi.

Kaikkien mielestä parannus verrattuna aiempaan asumiseen viilentämättömässä asunnossa oli merkittävän suuri. Vaikka viilennys oli toiminut tehokkaasti, ei lattian lämpötuntuma pääasiassa ollut kylmä. Sanottiin myös, että lattian lämpötuntuman puolesta tehoa voisi olla enemmänkin. Erään vastaajan mielestä, kun viilennystä käytettiin ulkolämpötilan madaltuessa yön aikana, saattoi aamulla lattian tuntuma olla viileä. Tällöin järjestelmän voi kytkeä pois päältä tai säätää tehoa pienemmälle. Eräänä poikkeuksena mainittiin, että kohteessa oli virheellisesti suunniteltu viilennysjärjestelmä laattalattiallisiin tiloihin, joissa lattian lämpötuntuma aiheutti epä mukavuutta viilennettäessä. Toisaalta

toinen vastaaja taas koki laattalattiankin olevan sopivan tuntuinen viilennettäessä.

Kukaan vastaajista ei ollut havainnut järjestelmän käytöstä johtuvaa häiritsevää melua eikä vedon tunnetta. Vastanneista kaikki olivat sitä mieltä, että järjestelmän teho on riittävä. Yksi vastanneista muistutti myös, että viilennys ei vaikuta täydellä teholla heti sen päälle kytkemisen jälkeen, vaan lattian massan täytyy viilentyä ensin. Viilennystehon jakautuminen talossa oli koettu kaikkien mielestä hyväksi. Mainittiin kuitenkin, että koska lämmin ilma nousee ylös, oli alakerta usein viileämpi kuin yläkerta.

Kaksi neljästä vastaajasta oli tyytyväisiä järjestelmään eivätkä halunneet muuttaa järjestelmässä mitään. Yhdessä kohteessa oltaisiin haluttu parempi kondensaatioeristys lämmönvaihtimen ja kylmäpiirin putkiin, koska kondensaatio lämmityskauden aikana saattoi olla runsasta. Osalla valmistajista kondenssieristys ei ole valmiina tuotteessa, vaan siitä huolehtiminen jää asentajan vastuulle. Toisessa kohteessa oltaisiin haluttu jättää kaksi tilaa (WC ja keittiö) viilentämättä, koska kylmän tuntuisen laattalattian sanottiin olevan tiloissa epämukava. Molemmat ongelmat oltaisiin voitu ratkaista paremmalla suunnittelulla sekä asiakkaan että järjestelmän tarjoajan puolelta.

Vapaan sanan osuudessa erään vastaajan mielestä ei ollut mitään syytä olla ottamatta järjestelmää maalämpöpumpun ja vesikiertoisen lattialämmitysjärjestelmän hankkimisen yhteydessä, vaikka siitä koituikin lisäkustannuksia. Kolme vastanneista sanoi järjestelmän olevan hyvä. Mainittiin myös puhallinkonvektorien esteettiset haitat, tehottomuus ja vedon tunteen aiheuttaminen, jotka olivat edesauttaneet lattiaviilennyksen hankintaa. Eräs vastaajista pohti järjestelmän tarpeellisuutta Suomessa, mutta kuitenkin sanoi sen vaikuttavan lämpömukavuuteen positiivisesti.

## 8 MESSUKÄVIJÄKYSELY

Suoritimme opinnäytetyön toimeksiantajan kanssa kvantitatiivisen messukyselyn viilennysjärjestelmiin kohdistuvista mielipiteistä. Kysely suoritettiin alkuvuodesta 2016 Vantaan Myyrmäen Rakenna & Remontoi -messuilla, Oulun Rakentajamessuilla, Kuopion Rakenna ja Asu -messuilla, Tampereen Asta-messuilla ja Seinäjoen Pytinki-messuilla. Palkintona ja kannustimena arvottiin kylpylalahjakortti kaikkien osallistuneiden kesken. Tavoitteena oli selvittää, kuinka tarpeellisena viilennysjärjestelmää ja sen käyttöön liittyviä osa-alueita pidetään. Lomakkeita (Liite 1) palautettiin yhteensä 215 kappaletta, joista 94:ssä ei ollut vastattu kysymyksiin lainkaan, eli otantana voidaan pitää lukumäärää 121.

Henkilötietojen ja muiden arvontaan liittyvien tietojen lisäksi lomakkeessa kysyttiin mielipidettä aiheeseen seuraavalla tavalla.

*Osallistumme tutkimukseen lattiaviilennyksestä. Tämän vuoksi haluaisimme, että vastaatte vielä seuraaviin kysymyksiin:*

*1 = erittäin tärkeä, 4 = ei niin tärkeä*

*1. Miten tarpeellisena pidät viilennysjärjestelmää kotonasi?*

*2. Miten tärkeänä pidät viilennysjärjestelmän ekologisuutta?*

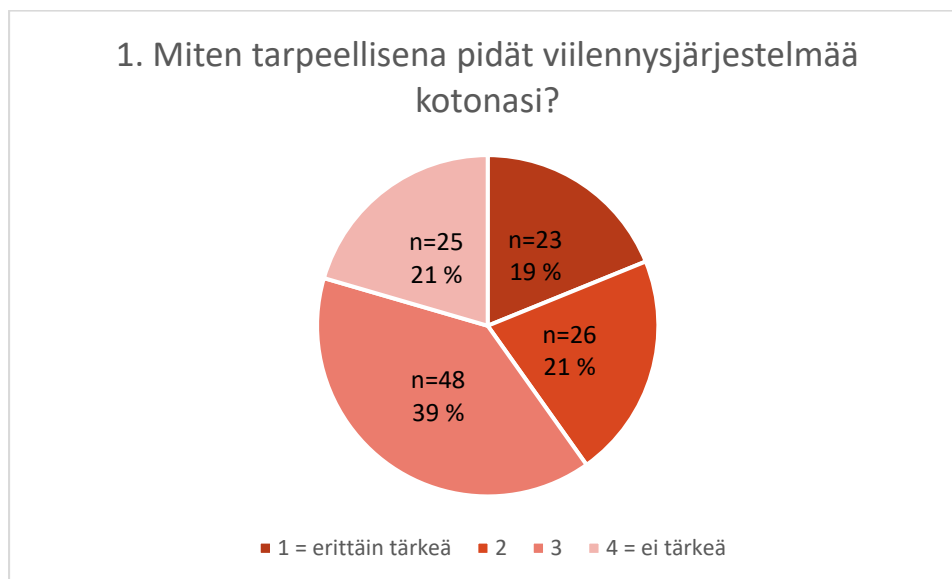
*3. Viilennysjärjestelmän matalat käyttökustannukset*

*4. Huonekohtainen ohjaus viilennysjärjestelmässä on minulle...*

*5. Lämmitys- ja viilennysjärjestelmän huomaamattomuus on minulle...*

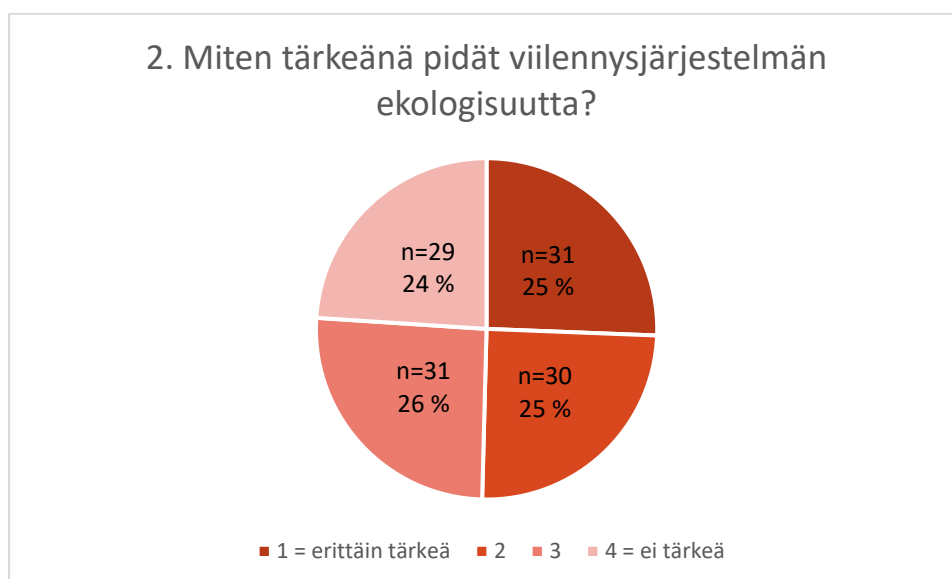
### 8.1 Tulokset

Tulokset kirjattiin Excel-taulukkoon (Liite 2) ja niistä muodostettiin ympyrädiagrammit.



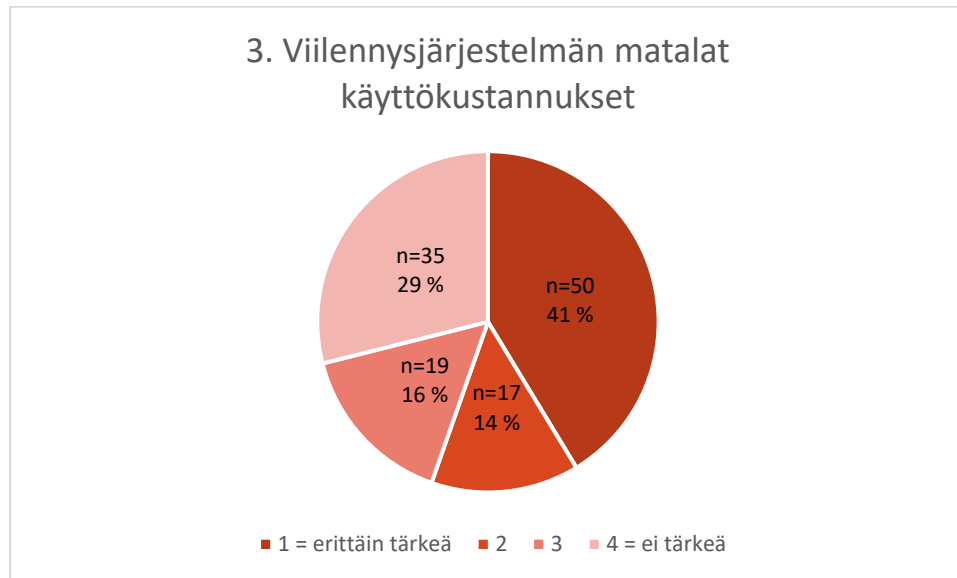
Kuvio 7. Vastaukset kysymykseen: Miten tarpeellisena pidät viiennysjärjestelmää kotonasi?

Kuviossa 7 nähdään, että kyselyyn osallistuneista enemmistö (60 %) ei koe tarvitsevansa viiennysjärjestelmää kotonansa. Kuitenkin lähes viidesosa (19 %) pitää viiennysjärjestelmän olemassaoloa erittäin tärkeänä ja yli viidesosa (21 %) melko tärkeänä. Yhteensä siis 40 % piti järjestelmää vähintään tärkeänä.



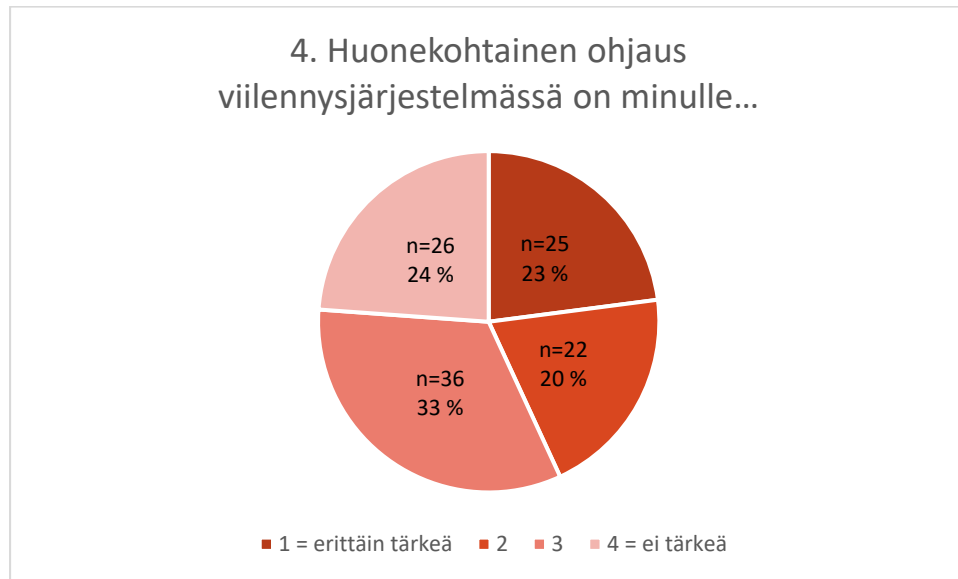
Kuvio 8. Vastaukset kysymykseen: Miten tärkeänä pidät viiennysjärjestelmän ekologisuutta?

Viilennysjärjestelmän ekologisuuden suhteen mielipiteet jakautuivat kuviossa 8 tasaisesti; jokaista mielipidettä edusti noin neljäsosa vastanneista. Viilennysjärjestelmän ekologisuus on kuitenkin puolen vastanneista mielestä tärkeää tai erittäin tärkeää, mikä on huomion arvoinen asia.



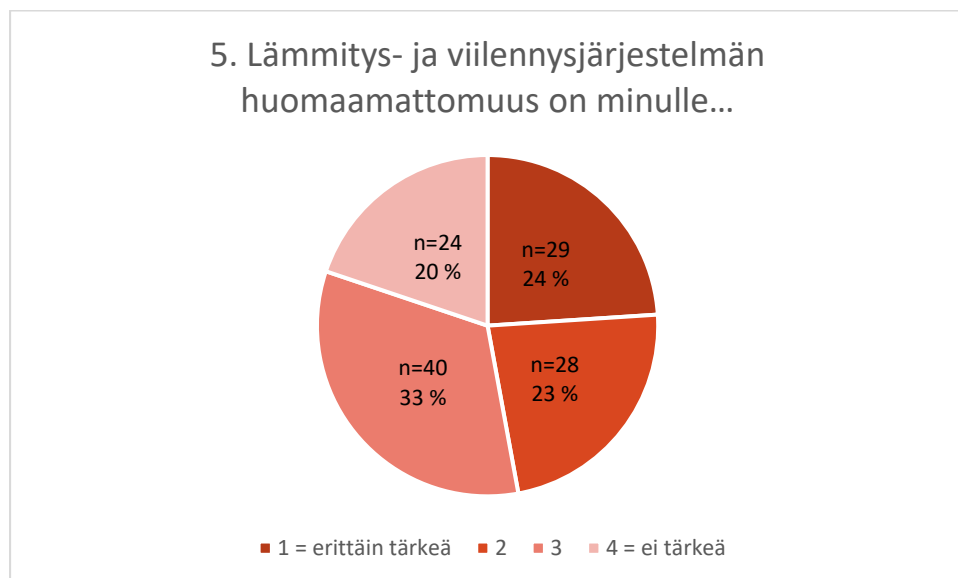
Kuvio 9. Vastaukset kysymykseen: Miten tärkeänä pidät viilennysjärjestelmän matalia käyttökustannuksia?

Kaikista kysymyksistä suurin yksimielisyys oli käyttökustannuksien suhteen. Kuten kuvio 9 selviää, 41 % kysymykseen vastanneista sanoi matalien käyttökustannuksien olevan erittäin tärkeitä ja yli puolen mielestä ainakin tärkeitä.



Kuvio 10. Vastaukset kysymykseen: Miten tärkeänä pidät huonekohtaista ohjausta viilennysjärjestelmässä?

Kuviosta 10 selviää, että mielipiteet huonekohtaisen viilennysjärjestelmän ohjauksesta jakautuivat melko tasaisesti, mutta painottuivat hieman ei niin tärkeän puolelle, kun 33 % vastanneista vastasi niin. Kuitenkin melkein puolet piti huonekohtaista ohjausta tärkeänä tai erittäin tärkeänä.



Kuvio 11. Vastaukset kysymykseen: Miten tärkeänä pidät lämmitys- ja viilennysjärjestelmän huomaamattomuutta?

Kuviosta 11 nähdään, että viilennysjärjestelmän huomaamattomuuskysymykseen saadut vastaukset jakautuivat melko tasaisesti painottuen vähemmän tärkeän puolelle (33 % vastanneista). Silti lähes puolet piti järjestelmän huomaamattomuutta tärkeänä tai erittäin tärkeänä asiana.

## 8.2 Tuloksiin vaikuttaneet tekijät

Tuloksista kävi ilmi kyselyn piirteitä, joita olisi voinut harkita tarkemmin ennen sen toteuttamista. Osa ääripäiden vastauksista oli sutattu ja vaihdettu toiseen ääripäähän, mikä kertoo siitä, ettei arviointijärjestelmää ymmärretty oikein ensisilmäyksellä. Voidaan siis päätellä, että osa vastauksista on mennyt asteikon väärään päähän väärinymmärrysten vuoksi. Vastauksien joukossa oli muutamia kesken jätettyjä vastauksia, joista osa todennäköisesti johtui siitä, että huomattiin lomakkeen lopussa ollut kohta, jossa pelkkään arvontaan osallistuminen valittiin. 27 vastauksessa oli valittu vain sama arvosana jokaisen kysymyksen kohdalla. Näistä osa on todennäköisesti oikeita mielipiteitä, mutta osa myös laiskuuden takia tehtyjä. Kaikki viiteen kohtaan saman arvosanan valinneet vastaukset olivat jakautuneet tasaisesti arvosanojen kesken arvosanaa 1 lukuun ottamatta, joten niillä ei ole suurta vaikutusta kokonaistulokseen.

Palkintoa tavoittelevat olivat suurimmaksi osaksi jättäneet täyttämättä kyselykohdat, täyttäneet ne nopeasti saman arvosanan kaikkiin kohtiin valitsemalla tai keskeyttäneet vastaamisen huomatessaan, ettei kyselyyn ole pakko vastata arvontaan osallistuttaessa. Lomakkeen täyttäneitä kehoitettiin mahdollisuuksien mukaan vastaamaan kysymyksiin, mutta kaikki eivät sitä tehneet. Palkinnon tavoittelu on yleistä messuilla, joten palkinnon laadun muuttamista kannattaa harkita tulevaisuudessa kyselyjä pidettäessä. Palkinto voisi olla jotain, joka kiinnostaa vain rakentajia tai remontoijia, esimerkiksi ilmainen LVI-suunnitelma. Sen avulla voitaisiin karsia suurin osa vain arvontoihin osallistuvista messukävijöistä.

## 9 VIILENNYSRATKAISUJEN MYYJIEN HAASTATTELUT

### 9.1 Kyselyn toteutus

Suoritin Tampereen Asta -messuilla kyselytutkimusta viilennysratkaisujen myyjien tarjoamista järjestelmistä, kokemuksista ja mielipiteistä viilennysratkaisuihin liittyen. Haastateltavilta kysyttiin suostumus heidän mielipiteidensä julkaisemiseen opinnäytetyössäni. Tavoitteena oli saada selville, minkälaisia viilennysratkaisuja on markkinoilla ja kuinka haastateltavat näkevät alan tulevaisuuden.

Haastateltavilta kysyttiin seuraavat kysymykset:

- Miten viilennyksen jako toteutetaan heidän tarjoamassaan järjestelmässä?
- Millä tavalla viilennysenergia tuotetaan?
- Kuinka ympäristöystävällinen ja energiatehokas järjestelmä kokonaisuudessaan on?
- Miten viilennysjärjestelmien kysyntä muuttuu tulevaisuudessa?

### 9.2 Tulokset

Kolmessa tapauksessa viidestä viileän jako oli pääasiallisesti toteutettu ilman välityksellä, ja yhdessä tapauksessa se oli vaihtoehtona, mutta ei pääasiallisena jakotapana. Kahdessa tapauksessa pääasiallinen jakotapa oli vesikiertoinen pintaviilennysratkaisu.

Viilennysenergian tuotto oli kolmessa tapauksessa viidestä toteutettavissa maapiirin avulla ja kolmessa viidestä ilma- tai ilma-vesilämpöpumpun avulla. Yhdessä tapauksessa oli siis mahdollista valita kumpikin tapa.

Ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus vaihtelevat tapauskohtaisesti, mutta maaviileäratkaisujen todettiin olevan ilmalämpöpumppuja

energiatehokkaampia, koska niiden viilennysenergian tuottoon ei tarvita kompressorijäähdytystä.

Kaikki haastateltavat olivat samaa mieltä siitä, että viilennysjärjestelmien kysyntä kasvaa.

Haastattelun tuloksien merkitys opinnäytetyössäni ei ole kovin merkittävä, mutta ne antavat viitteitä siitä, millä tavalla alalla toimivat yritykset suhtautuvat viilennysjärjestelmien markkinointiin ja toteutustapoihin sekä alan tulevaisuuteen. Haastattelun tärkeimpänä tuloksena voitaneen pitää kaikkien haastateltavien yksimielisyyttä siitä, että viilennysjärjestelmien kysyntä on kasvussa.

## 10 TEHOKKUUSSIMULOINNIN TOTEUTTAMINEN

Opinnäytetyötä varten olisi voitu tehdä viilennystehokkuuden simulaatio eri jäähdytysjärjestelmistä kohdetalossa, mutta siitä koituvan työmäärän ja rajallisen ajan takia sitä ei tehty. Simulaation avulla oltaisiin saatu tarkempaa tietoa tarvittavista viilennyksen tehomääristä kohdetalossa, mikä olisi auttanut viilennykseen kuluvan energian laskemisessa.

Simulaation avulla olisi voitu koostaa arviot järjestelmien kokonaiskustannuksista, takaisinmaksuajoista ja verrata niitä keskenään.

Mahdollinen simulointi olisi voitu suorittaa esimerkiksi IDA ICE -nimisellä simulaatio-ohjelmalla. Sillä voidaan tutkia rakennuksen lämpöasetta ja energiankulutusta monivyöhykemallinnuksen avulla. Rakennus, sen järjestelmät ja säätölaitteet voidaan mallintaa ohjelmalla tarkasti. Kyseiseen ohjelmaan on tarjolla opiskelijalisenssi, jota voi käyttää esimerkiksi opinnäytetyössä tarvittavien simulaatioiden tuottamiseen. (EQUA Simulation AB 2016.)

## 11 YHTEENVETO

Opinnäytetyöprosessin aikana saatujen tietojen perusteella voidaan sanoa, että kysyntää energiatehokkaille viilennysjärjestelmille on ja se on kasvamassa. Koska nykyisten ja tulevien vaatimusten mukaan rakennetut ja hyvin eristetyt uudisrakennukset suurine ikkunoineen yllämpenevät kesäisin herkästi ilman viilennystä, voidaan olettaa, että mielenkiinto viilennysjärjestelmiä kohtaan kasvaa. Järjestelmiä tarjotaan uusiin kohteisiin herkästi, jotta asukkaat olisivat tyytyväisiä asumiseen myös kesäisin.

Kaikki haastatellut viilennysratkaisujen markkinoijat olivat sitä mieltä, että kysyntä on kasvussa. Myös messukävijöille suunnatussa kyselyssä kaksi viidesosaa vastaajista sanoivat viilennysjärjestelmän olevan heille tärkeä tai erittäin tärkeä asia kotona. Samassa kyselyssä puolet vastaajista sanoivat viilennysjärjestelmän ekologisuuden olevan tärkeä tai erittäin tärkeä, ja yli puolen mielestä sen matalat käyttökustannukset ovat erittäin tärkeitä tai tärkeitä. Tämä tarkoittaa sitä, että energiatehokkaat ja taloudelliset ratkaisut ovat vastaus viilennysjärjestelmien kysyntään.

Käyttömukavuudesta kysyttäessä melkein puolet messukyselyyn vastanneista sanoivat sekä viilennysjärjestelmän huonekohtaisen säädön että järjestelmän huomaamattomuuden olevan tärkeitä tai erittäin tärkeitä asioita; järjestelmän halutaan olevan huomaamaton ja helppo käyttää.

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten omakotitaloihin suunnattujen viilennysjärjestelmien tarjonta kohtaa kysynnän energiatehokkuuden ja käyttömukavuuden näkökulmasta. Verrattaessa käsiteltyjen viilennysjärjestelmien energiatehokkuutta keskenään voidaan todeta lattia- ja kattoviilennysjärjestelmien olevan energiatehokkaimpia, kun niitä käytetään maalämpökohteessa vapaaviilennyksellä. Näistä kahdesta huomattavasti pienemmät käyttöönottokulut ovat lattiaviilennysjärjestelmällä, varsinkin jos kohteessa on jo tai siihen on tulossa vesikiertoinen lattialämmitys. Lattiaviilennyksen käyttömukavuudessa ei ilmennyt suuria epäkohtia sen käyttäjiä

haastattellessa, ja muutamat ilmenneet seikat olisivat estettävissä paremmalla suunnittelulla. Järjestelmä on huomaamaton sekä huonekohtaisesti säädettävä. Näin ollen se on potentiaalisesti hyvä vaihtoehto, jolla voidaan vastata energiatehokkaiden ja mukavakäyttöisten viillennysjärjestelmien kysyntään omakotirakentamisessa. Järjestelmien kysyntä on kuitenkin erilaatuista, ja siihen voidaan yleensä vastata hyvin, kunhan asiakas tietää mitä haluaa. Joillekin ilmalämpöpumppu puhallinkonvektorilla on tarpeeksi energiatehokas ja mukava viillennyskäyttöön, toisille ei. Tarjonta on kattava, joten kaikille pitäisi löytyä sopiva järjestelmä.

Tuloksien yleistettävyyden osalta on haasteellista, koska usein ihmisillä on eriäviä mielipiteitä laitteiston käytöstä ja kokemukset vaihtelevat yksilöllisesti. Voidaan kuitenkin yleistäen sanoa, että vapaajähdytteiset pintaviillennys-järjestelmät ovat energiatehokkaita verrattuna kompressoriviillennykseen ja että niillä on kysyntää tulevaisuudessa. Jos kehitetään järjestelmä, jossa on ilmalämpöpumpun hankinnan edullisuus ja maaviileäjärjestelmän energiatehokkuus samalla käyttömukavuuden säilyessä hyvänä, siitä voisi tulla suosittu viillennystapa.

Työ onnistui mielestäni kohtuullisen hyvin. Simulaation poisjääminen on harmittava asia, mutta suuntaa antavia tuloksia saatiin silti. Aikataulussa oli pientä epäselvyyttä, mutta siitä ei muuten koitunut suurta haittaa. Jatkotutkimuksena voisi suorittaa tästä työstä pois jääneen lämpökuorma- ja viillennystehosimulaation ja tehdä järjestelmien eroista tarkemman arvion. Myös laitteiden elinkaarta, takaisinmaksuaikaa ja huoltotarvetta voisi pohtia, jotta saataisiin entistä tarkempi arvio siitä, mikä on kustannustehokkain järjestelmä. Jatkotutkimukseen voisi sisällyttää myös muunlaisia järjestelmiä, esimerkiksi vesi-ilmalämpöpumpun.

## 12 LÄHTEET

Aurime Oy. 2016. Aurime Coolbox viilennysratkaisu [viitattu 28.9.2016].  
Saatavissa: [http://aurime.fi/pdf/aurime\\_coolbox\\_viilennysratkaisu.pdf](http://aurime.fi/pdf/aurime_coolbox_viilennysratkaisu.pdf)

Babiak, J., Olesen, B. W. & Petras, D. 2009. REHVA Guidebook. Ohjekirja NO 7: Rakennusten pintalämmitys ja –jäähdytys. Bryssel: Forssan Kirjapaino Oy.

Beck, W., Dolmans, D., Dutoo, G., Hall, A., Seppänen, O. 2011. REHVA Guidebook. REHVA Ohjekirja NO 12: Aurinkosuojaus. Bryssel: Forssa Print.

Energiatehokas koti. 2016. Nolla- ja plusenergiatalo [viitattu 23.11.2016].  
Saatavissa: [http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva\\_tietaa/nolla-\\_ja\\_plusenergiatalo](http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/nolla-_ja_plusenergiatalo)

Energiateollisuus. 2016a. Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate [viitattu 31.10.2016]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys/kaukojaahdytyksen-toimintaperiaate>

Energiateollisuus. 2016b. Kaukojäähdytys [viitattu 31.10.2016].  
Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys>

EQUA Simulation AB. 2016. IDA Indoor Climate and Energy [viitattu 22.11.2016]. Saatavissa: <http://www.equa.se/fi/ida-ice>

European Commission. 2016a. Heating and cooling [viitattu 20.9.2016].  
Saatavissa: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling>

European Commission. 2016b. An EU Strategy on Heating and Cooling [viitattu 20.9.2016]. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v14.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf)

Euroopan unioni. 2009. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2009/28/EY [viitattu: 26.9.2016]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>

Euroopan unioni. 2010. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2010/31/EU [viitattu: 26.9.2016]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:fi:PDF>

Feng, J., Bauman, F., Schiavon, S., 2013. Cooling load differences between radiant and air systems [viitattu 9.10.2016]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.aineistot.lamk.fi/science/article/pii/S0378778813003472>

Feng, J., Bauman, F., Schiavon, S., 2014. Experimental comparison of zone cooling load between radiant and air systems [viitattu: 9.10.2016]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.aineistot.lamk.fi/science/article/pii/S037877881400629X>

Harsia, P. 2005. Sähkölämmityksen peruskurssi [viitattu: 29.9.2016]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490.html>

Hautala, M., Peltonen, H., 2011. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA Osa I. 10. painos. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy

Kastelli-talot Oy. 2016. Jyväskylä 2014: Moderni 147/177 [viitattu 25.11.2016]. Saatavissa: <http://www.kastelli.fi/Talot/Moderni/Moderni-147/>

Motiva Oy. 2015. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi [viitattu 20.9.2016]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten\\_energiatehokkuusdirektiivi](http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi)

Motiva Oy. 2016a. Auringonsäteilyn määrä Suomessa [viitattu 6.10.2016].

Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinko\\_sahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinko_sahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)

Motiva Oy. 2016b. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi [viitattu 16.11.2016].

Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energiankayton\\_tehostaminen/kiinteis\\_tojen\\_energianhallinta/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteis_tojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)

National Renewable Energy Laboratory. 2001. Air-source heat pumps

[viitattu 28.10.2016]. Saatavissa:

<http://www.nrel.gov/docs/fy01osti/28037.pdf>

RefGroup Oy. 2016. Energian säästö ja lämpökertoimet [viitattu

28.10.2016]. Saatavissa: [http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-](http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto)

[lampopumppu/energian-saasto](http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto)

Rettig ICC. 2016. Belize E2 -matalalämpöradiaattorin edut [viitattu

23.11.2016]. Saatavissa: [http://whatsup.purmo.com/fi/2016/11/belize-e2-](http://whatsup.purmo.com/fi/2016/11/belize-e2-matalalamporadiaattorin-edut/)

[matalalamporadiaattorin-edut/](http://whatsup.purmo.com/fi/2016/11/belize-e2-matalalamporadiaattorin-edut/)

Savolainen, S., 2009. Lattiaviilennysjärjestelmät ja pientalon vesikiertoisen

lattialämmitysjärjestelmän hyödyntäminen viilennyksessä [viitattu:

9.11.2016]. Saatavissa:

[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2943/SSa\\_lopputyo.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2943/SSa_lopputyo.pdf?sequence=1)

Senera Oy. 2016. Maaviileä [viitattu 1.11.2016]. Saatavissa:

<http://www.senera.fi/Maalampo/Maaviilea/>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje [viitattu

28.9.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951->

[asumisterveysohje\\_pdf.pdf](http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-)

Suomen sääpalvelu. 2016. Vuositolastot - Helsinki: kastepiste [viitattu 24.11.2016]. Saatavissa:

<https://www.saapalvelu.fi/helsinki/tilastot/vuositolastot/#kastepiste>

U.S Department of Energy. 2016. Energy saver, air conditioning [viitattu 28.10.2016]. Saatavissa: <http://www.energy.gov/energysaver/air-conditioning>

Uponor Suomi Oy. 2016. Viilentävä lattialämmitysjärjestelmä ratkaisee asuntojen yllämpenemisongelman ilman lisäinvestointeja. [viitattu 22.9.2016]. Saatavissa:

[https://www.uponor.fi/uutiset/tiedotteet/ll\\_yllampenemisongelma.aspx](https://www.uponor.fi/uutiset/tiedotteet/ll_yllampenemisongelma.aspx)

VTT Oy. 2015. Tehokas CHP, kaukolämpö ja jäähdytys Suomessa 2010 – 2025 [viitattu 22.9.2016]. Saatavissa:

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/L%C3%A4mp%C3%B6karttaraportti\\_final\\_10-11-2015%20\(2\).pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/L%C3%A4mp%C3%B6karttaraportti_final_10-11-2015%20(2).pdf)

Warmia Oy. 2016. Coolia kattojäähdytys [viitattu 1.11.2016]. Saatavissa:

<http://warmia.fi/coolia-kattojaahdytys/>

Wikipedia. 2011. Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate (kuva) [viitattu 31.10.2016]. Saatavissa:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/fi/7/79/Kaukojaahdytys.jpg>

Ympäristöministeriö. 2011. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas [viitattu 28.10.2016]. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/download/noname/%7BB9D6D2F2-A816-4ECF-BE33-B8D56869253D%7D/30752>

Ympäristöministeriö. 2012. D3 laskentaopas kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen RakMK D3 2012 mukaan [viitattu: 27.9.2016]. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B7B8D0893-4715-4FD1-B685-D2B71D6A6559%7D/3127>

Täyttämällä yhteystietolomakkeen osallistut kahden hengen kylpyläloman arvontaan Naantali Spa -kylpylässä.

Olen rakentaja

Olen remontoija

Nimi: \_\_\_\_\_

Asuinpaikkakunta: \_\_\_\_\_

Rakennuspaikkakunta: \_\_\_\_\_

Sähköposti: \_\_\_\_\_

Puhelinnumero: \_\_\_\_\_

Rakennustyyppi:  omakotitalo  kesämökki

Rakennusvuosi: \_\_\_\_\_

Kerrosluku: \_\_\_\_\_ Lämmitetty pinta-ala: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Lämmönjakotapa:  lattia  patteri joku muu, mikä? \_\_\_\_\_

Lämmöntuottotapa:  sähkö  maalämpö  puu  
 öljy  kaukolämpö muu, mikä? \_\_\_\_\_

Olen kiinnostunut:  lattialämmityksestä  lattiaviilennyksestä  
 aurinkolämmityksestä  koko talon LVI-järjestelmästä  
 minulla on jo LVI-suunnitelma

**Osallistumme tutkimukseen lattiaviilennyksestä. Tämän vuoksi haluaisimme, että vastaatte vielä seuraaviin kysymyksiin:**

**1 = erittäin tärkeä, 4 = ei niin tärkeä**

Miten tarpeellisenä pidät viilennysjärjestelmää kotonasi? 1 2 3 4

Miten tärkeänä pidät viilennysjärjestelmän ekologisuutta? 1 2 3 4

Viilennysjärjestelmän matalat käyttökustannukset 1 2 3 4

Huonekohtainen ohjaus viilennysjärjestelmässä on minulle 1 2 3 4

Lämmitys- ja viilennysjärjestelmän huomaamattomuus on minulle 1 2 3 4

haluan vain kylpylään, raxsimalla tämän kohdan osallistut vain kylpyläloman arvontaan

Voittajalle ilmoitetaan toukokuun 2016 loppuun mennessä. Voittajan nimi mainitaan Aurime Oy:n Facebook-sivulla.

LIITE 2

Kysymys/ vastaaja	1	2	3	4	5						
1	3	1	1	2	2	116	2	3	4	4	4
2	3	3	3	3	3	117	4	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	118	3	4	3	3	3
4	0	0	0	0	0	119	4	1	1	4	1
5	2	2	1	3	2	120	2	2	2	2	2
6	1	3	2	2	1	121	0	0	0	0	0
7	4	4	4	4	4	122	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	123	1	2	4	1	1
9	0	0	0	0	0	124	3	1	2	3	3
10	1	1	1	1	1	125	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	126	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	127	3	3	4	4	4
13	3	3	2	2	3	128	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	129	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0
16	2	3	1	1	1	131	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	132	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	133	3	4	4	2	4
19	0	0	0	0	0	134	1	1	1	1	2
20	0	0	0	0	0	135	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	136	0	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	137	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	138	3	2	3	2	2
24	3	2	2	3	2	139	2	2	2	2	2
25	1	2	2	1	1	140	3	3	3	3	3
26	0	0	0	0	0	141	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	142	0	0	0	0	0
28	2	1	1	2	1	143	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	144	4	4	4	2	3
30	1	1	1	3	1	145	0	0	0	0	0

LIITE 2

31	0	0	0	0	0	146	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	4	147	3	4	4	3	3
33	0	0	0	0	4	148	3	3	3	3	3
34	1	1	1	1	1	149	0	0	0	0	0
35	3	3	3	3	3	150	3	2	1	1	3
36	1	2	1	1	1	151	1	1	1	3	2
37	4	1	1	2	1	152	2	4	1	3	3
38	4	4	4	3	4	153	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	154	4	4	4	4	4
40	1	1	1	1	1	155	0	0	0	0	0
41	3	3	4	4	4	156	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	157	2	4	2	4	4
43	0	0	0	0	0	158	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	159	0	0	0	0	0
45	3	3	1	1	2	160	4	1	1	4	2
46	4	4	2	4	0	161	3	3	3	3	3
47	3	3	3	3	3	162	4	4	4	4	4
48	2	2	1	1	1	163	0	0	0	0	0
49	1	1	1	1	1	164	4	4	4	4	4
50	0	0	0	0	0	165	2	3	1	1	1
51	0	0	0	0	0	166	2	2	2	2	2
52	1	1	1	1	1	167	0	0	0	0	0
53	3	3	2	3	3	168	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	169	0	0	0	0	0
55	2	2	1	2	3	170	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	171	0	0	0	0	0
57	1	2	1	1	2	172	4	4	4	4	1
58	0	0	0	0	0	173	3	4	4	4	4
59	3	4	4	3	3	174	0	0	0	0	0
60	3	3	3	2	3	175	1	2	3	1	3
61	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	0
62	3	1	1	3	3	177	0	0	0	0	0
63	3	3	4	3	3	178	0	0	0	0	0

LIITE 2

64	0	0	0	0	0	179	4	3	3	3	2
65	0	0	0	0	0	180	3	2	3	4	3
66	2	3	4	4	3	181	0	0	0	0	0
67	2	3	3	2	3	182	2	2	2	2	2
68	2	2	1	3	2	183	3	4	3	3	3
69	2	2	1	2	2	184	0	0	0	0	0
70	3	2	4	2	4	185	0	0	0	0	0
71	2	4	4	2	3	186	3	2	4	3	3
72	0	0	0	0	0	187	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	188	4	4	3	3	3
74	3	3	4	3	3	189	0	0	0	0	0
75	3	4	4	3	3	190	4	2	2	4	4
76	4	1	1	1	1	191	1	1	1	1	4
77	0	0	0	0	0	192	4	3	2	3	4
78	4	4	4	3	4	193	3	2	3	4	2
79	3	1	1	1	1	194	2	2	3	4	3
80	0	0	0	0	0	195	2	4	4	3	3
81	3	3	4	2	4	196	0	0	0	0	0
82	1	3	1	1	1	197	2	1	3	3	2
83	4	1	1	2	2	198	0	0	0	0	0
84	2	1	1	3	3	199	3	2	1	2	2
85	3	1	1	3	3	200	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	201	0	0	0	0	0
87	3	1	1	3	4	202	0	0	0	0	0
88	4	2	1	2	2	203	1	1	1	1	1
89	4	4	4	4	1	204	0	0	0	0	0
90	2	2	2	2	2	205	4	4	4	0	0
91	3	4	4	4	4	206	2	3	4	2	3
92	3	1	1	4	1	207	0	0	0	0	0
93	3	3	1	2	2	208	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	209	3	3	4	3	3
95	0	0	0	0	0	210	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	211	0	0	0	0	0

LIITE 2

97	0	0	0	0	0	212	3	1	1	2	2
98	3	3	2	4	3	213	1	1	1	1	1
99	0	0	0	0	0	214	3	3	4	2	3
100	3	4	4	2	3	215	4	4	1	4	1
101	4	4	4	4	4						
102	2	2	1	2	2	0	94	94	94	95	94
103	2	2	2	2	2	1 = erittäin tärk	23	31	50	25	29
104	3	3	1	3	2	2	26	30	17	22	28
105	0	0	0	0	0	3	48	31	19	36	40
106	1	2	1	3	2	4 = ei tärkeä	25	29	35	26	24
107	0	0	0	0	0						
108	4	4	4	4	4	1 n=23	n=31	n=50	n=25	n=29	
109	0	0	0	0	0	2 n=26	n=30	n=17	n=22	n=28	
110	3	2	4	2	3	3 n=48	n=31	n=19	n=36	n=40	
111	0	0	0	0	0	4 n=25	n=29	n=35	n=26	n=24	
112	3	1	1	2	1						
113	3	3	3	2	3						
114	1	4	1	4	4						
115	0	0	0	0	0						

Arvosteluasteikko:

0 = ei vastausta

1 = erittäin tärkeä

4 = ei niin tärkeä

Kysymykset:

1. Miten tarpeellisena pidät viilennysjärjestelmää kotonasi?
2. Miten tärkeänä pidät viilennysjärjestelmän ekologisuutta?
3. Viilennysjärjestelmän matalat käyttökustannukset
4. Huonekohtainen ohjaus viilennysjärjestelmässä on minulle...
5. Lämmitys- ja viilennysjärjestelmän huomaamattomuus on minulle...

vastaajia: 215

kokonaan tyhjiä vastauksia: 92

kaikki vastaukset 1: 9

kaikki vastaukset 2: 6

kaikki vastaukset 3: 6

kaikki vastaukset 4: 6