

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tatu Väyrynen

PIENTALOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA ENERGIA TEHOKKUUS

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Marraskuu 2013**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä  
Tatu Väyrynen

Nimeke  
Pientalojen lämmitysjärjestelmät ja energiatehokkuus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla pientalojen lämmitysjärjestelmiä ja tutustua uudistuneisiin energiamääräyksiin. Lämmitysjärjestelmiä vertailtiin kustannusten, energiatehokkuuden ja asumismukavuuden näkökulmasta. Sähkölämmitystä on tarkasteltu muita lämmitystapoja tarkemmin, johtuen koulutusalaista. Opinnäytetyön lopussa on esimerkin vuoksi mitoitettu sähköinen lattialämmitys pientaloon. Lattialämmitys mitoitettiin laskennallisten lämpöhäviöiden avulla. Tämän työn tarkoitus on toimia energiaoppaana henkilöille, jotka haluavat vertailla lämmitysjärjestelmiä. Teksti kirjoitettiin helposti ymmärrettävään muotoon, jotta oppaasta voi hyötyä myös tekniikkaan perehtymätön henkilö.

Lämmitysjärjestelmää valittaessa huomion tulisi kiinnittyä investointikustannusten ohella vuotuisiin käyttökustannuksiin. Yleisesti kalliimman lämmitysjärjestelmän investointikustannus maksaa itsensä takaisin pitkällä aikavälillä tarkasteltuna halvempien vuotuisten käyttökustannusten seurauksena.

Kieli  
suomi

Sivuja 62  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 2

Asiasanat  
pientalo, energiatehokkuus, määräys, kustannus, lämmitysjärjestelmä



**THESIS**  
**November 2013**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**

Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
+358 (13) 260 6800

Author  
Tatu Väyrynen

Title  
Heating Systems and Energy Efficiency of Detached Houses

The purpose of this thesis was to compare the heating systems of detached houses and to introduce new construction specifications. The heating systems were compared from the perspective of costs, energy efficiency and indoor comfort. Electric heating has been examined a little more specifically than the other heating systems owing to the field of study. At the end of this thesis, there is an example plan for an underfloor heating system to a detached house, which was designed by calculative heat losses. Overall, this thesis is intended to serve as an energy guide to a person, who wants to compare different heating systems. The text was written in easily readable format to enable people to understand it even though their technical knowledge is limited.

Along the investment costs of the heating system, the annual operating costs should also be observed. Generally, the heating system with a little more investment will be cheaper in the long term, because of the cheaper annual operating costs.

Language  
Finnish

Pages 62  
Appendices 2  
Pages of Appendices 2

Keywords  
detached house, energy efficiency, specification, expenses, heating system

## Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Energiämääräykset .....	7
2.1	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi .....	7
2.2	Suomen rakentamismääräyskokoelma .....	8
2.2.1	D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto .....	8
2.2.2	D3 Rakennusten energiatehokkuus .....	9
2.2.3	D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta .....	10
2.3	E-luku .....	12
2.4	Energiatodistus .....	13
3	Pientalojen energiankulutus .....	15
3.1	Energian kulutuksen jakautuminen pientaloissa .....	15
3.2	Pientalon lämpöhäviöt.....	17
3.3	Pientalon suunnittelu energiatehokkuuden ehdoilla.....	18
3.4	Matalaenergia-, passiivienergia- ja nollaenergiatalot .....	19
4	Lämmitystavat vertailussa .....	20
4.1	Lämmitysjärjestelmien yleiskatsaus ja lämmönjakotavat.....	20
4.1.1	Vesikeskuslämmitys.....	22
4.1.2	Ilmakiertoiset järjestelmät .....	22
4.1.3	Huonekohtainen lämmitys .....	23
4.2	Sähkölämmitys .....	23
4.2.1	Suora sähkölämmitys .....	24
4.2.2	Varaava sähkölämmitys .....	25
4.2.3	Sähköinen lattialämmitys .....	25
4.2.4	Kattolämmitys .....	28
4.2.5	Sähköpatterilämmitys.....	29
4.2.6	Ikkunalämmitys.....	30
4.2.7	Sähkölämmitysjärjestelmien ohjaus ja säätö.....	31
4.2.8	Kodinohjausjärjestelmät ja taloautomaatio .....	33
4.3	Kaukolämpö .....	34
4.4	Maalämpö.....	36
4.4.1	Keruupiirit vertailussa .....	38
4.4.2	Maalämpöpumpun ja keruupiirin mitoitus.....	38
4.5	Pellettilämmitys .....	39
4.6	Öljylämmitys.....	40
4.7	Tukilämmitysjärjestelmät.....	41
4.7.1	Aurinkolämmitys .....	41
4.7.2	Tulisija .....	43
4.7.3	Ilmalämpöpumppu .....	43
4.8	Lämmitysjärjestelmien kustannukset .....	45
5	Ilmanvaihto.....	47
6	Lattialämmitysjärjestelmän mitoitus matalaenergiataloon.....	50
6.1	Esimerkkikohteen tiedot.....	50
6.2	Rakennusvaipan lämmönläpäisykertoimet .....	51
6.3	Rakennuksen lämmitystehon tarve .....	52
6.3.1	Rakenteiden läpi johtuva teho .....	52

6.3.2	Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho .....	54
6.3.3	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho .....	56
6.4	Lattialämmityksen mitoitus.....	57
6.4.1	Huonekohtaiset tulokset.....	58
6.5	Lämmityksen ohjaus ja säätö .....	59
6.6	Kustannukset.....	61
7	Pohdinta.....	61
	Lähteet.....	63

Liitteet

## 1 Johdanto

Energiansäästöasiat ovat jatkuvasti esillä julkisuudessa ja ne ovat globaaleita puheenaiheita ihmisten arjessa. Uudistuneiden energiamääräysten ja kansallisten ilmastotavoitteiden uudistukset ja muutokset vaikuttavat jatkuvasti rakennusalaan. Idea opinnäytetyön aiheeseen oli kypsynyt mielessäni jo pitemmän aikaa.

Aihe on erittäin ajankohtainen ja energiaoppaan tuottaminen opinnäytetyöksi tuntui järkevältä idealta. Energiankulutuksen kasvaessa kasvavat myös kasvihuonekaasupäästöt, jotka vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. Ilmaston jatkuvalla lämpenemisellä on huomattavia taloudellisia sekä yhteiskunnallisia vaikutuksia [1].

EU:n laatima 20–20–20 lainsäädäntöpaketti annettiin huhtikuussa 2009. Tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä saada 20 % EU:n kokonaisenergiasta uusiutuvista energianlähteistä. Samalla kasvihuonepäästöjä tulisi vähentää 20 %:lla ja energiatehokkuutta lisätä 20 %. Suomen valtion tavoite uusiutuvalle energialle on 38 % kokonaisenergiasta vuoteen 2020 mennessä [2].

Opinnäytetyön konkreettinen lopputulos on energia- / lämmitysopas talon rakennuttajille ja kohderyhmänä ovat erityisesti sellaiset henkilöt, joiden yleistuntemus lämmitysjärjestelmiä kohtaan on vähäisempi.

Oppaassa käsitellään uudistuneita energiamääräyksiä ja tarkastellaan, kuinka ne vaikuttavat rakentamiseen Suomessa. Määräysten ohella opinnäytetyössä tutustutaan pientalojen energiankulutukseen ja lämmitystapoihin. Työn lopussa on tehty esimerkkimitoitus sähkölämmityksestä kuvitteelliseen matalaenergiapientaloon. Sähkölämmitystä tarkastellaan muutenkin työssä hieman tarkemmin, koska opiskelen sähkötekniikkaa.

## 2 Energiamääräykset

Jatkuvasti muuttuvat energiamääräykset vaikuttavat rakentamiseen koko ajan. Energiamääräyksillä pyritään vaikuttamaan talojen energiatehokkuuteen. Energiamääräykset muuttuivat jälleen uudisrakentamisen osalta 1.7.2012 tiukempaan suuntaan. Muutoksen myötä siirrytään kokonaisenergiatarkasteluun, jossa jokaiselle rakennukselle määritetään rakennustyyppikohtainen yläraja kokonaisenergiankulutukselle, jota kuvataan E-luvulla. Kokonaisenergiatarkastelu käsittää kaiken rakennuksessa tapahtuvan energiankulutuksen. Uusilla määräyksillä haetaan noin 20 % parannusta nykyiseen tasoon verrattuna. Rakennusvaiheen investoinnit maksavat itsensä pitkällä tähtäimellä takaisin, koska käyttökustannukset pienenevät ajan saatossa rakennuksen ollessa taloudellisempi ja energiatehokkaampi [3].

### 2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi

Euroopan parlamentin ja neuvoston antaman rakennusten energiatehokkuutta koskevan direktiivin (2002/91/EY) tavoitteena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja vähentää ilmastolle haitallisia päästöjä. Direktiivin on tarkoitus edistää rakennusten energiatehokkuutta ja direktiiviä sovelletaan maakohtaisesti. Direktiivi pitää sisällään kolme ydinkohtaa [4]:

- energiatodistuksen käyttöönotto jäsenmaissa
- energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset
- lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset.

## 2.2 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat pääsääntöisesti uudisrakentamista. Seuraavat uudisrakentamiseen vaikuttavat, energiatehokkuutta koskevat rakentamismääräykset muuttuivat ja astuivat voimaan 1.7.2012 [5]:

- D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto
- D3 Rakennusten energiatehokkuus
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.

Suurimmat muutokset vuoden 2010 määräykseen olivat entisen C3:sen (rakennuksen lämmöneristys) yhdistyminen D3:een ja samalla kaikki energiatehokkuusvaatimukset siirtyivät D3:seen. Määräyksistä saadaan kaikki oleellinen tieto rakennuksen suunnittelua varten. Suunnitteluasteella olevan pientalon on täytettävä määräyksissä määrätyt vähimmäisarvot uusien energiamääräysten perusteella [5].

### 2.2.1 D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto

Rakentamismääräyskokoelman osalla D2 pyritään vaikuttamaan uuden rakennuksen sisäilmaan ja rakennuksen ilmanvaihtoon. Järkevästi suunnitellulla ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa melko merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Ilmanvaihtokojien moottorit ja pumput sekä mahdolliset taajuusmuuttajat kuluttavat sähköenergiaa. Optimaalisilla laitevalinnoilla ja tehokkaalla ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaitteella voidaan saada merkittäviä säästöjä vuotuisiin käyttökustannuksiin.

Yleisesti ottaen rakennus on suunniteltava siten, että rakennuksessa saavutetaan tavallisissa käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Sisäilman on oltava puhdasta eikä siellä saa esiintyä terveydelle haitallisia kaasuja, mikrobeja tai asumisviihtyvyyteen vaikuttavia pahoja hajuja. Oleskelutilojen huonelämpötilojen tulee olla viihtyisiä, niin ettei energiaa käytetä tarpeettomaan lämmitykseen [11]. Ilmanvaihtoa tarkastellaan tarkemmin luvussa 5.

### 2.2.2 D3 Rakennusten energiatehokkuus

Rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräykset käsittelevät energiatehokkuuden vaatimuksia kokonaisenergiankulutuksen kannalta. Kokoelma antaa myös energialaskennalle lähtötiedot ja laskusäännöt.

Rakennusmateriaalit ovat merkittävässä asemassa mahdollisimman energiatehokkaaseen lopputulokseen pyrittäessä. Rakennusvaipan täytyy olla mahdollisimman ilmanpitävä, jottei ilmavuodoista aiheutuisi suurempia haittoja rakennukselle, sen käyttäjälle tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ . Tietyissä tapauksissa luku voi ylittyä, jos rakennuksen rakenteelliset ratkaisut huonontavat ilmanpitävyyttä. Energiatehokkaassa rakennuksessa ilmanvuotoluku on tyypillisesti yhden ja kolmen välillä, passiivitaloissa jopa 0,5 [12].

Rakennusten lämmöneristeiden eristyskykyä mitataan lämmönläpäisykerroimella. Tätä kerrointa kutsutaan myös U-arvoksi. U-arvon yksikkö on  $W/(m^2 K)$  ja se ilmoittaa kuinka suurella teholla lämpöä siirtyy yhden neliömetrin kokoisen rakenteen läpi jokaisesta sisä- ja ulkolämpötilaeron lämpöastetta kohti [13].

Rakennusosien lämmönläpäisykerroimille on asetettu D3 määräysten mukaan enimmäisarvot. Rakennuksen vaippa muodostuu seinistä, yläpohjasta ja alapohjasta ja näiden lämmönläpäisykerroin saa olla enintään  $0,60 W/(m^2 K)$ . Lämpimässä tilassa olevan oven, ikkunan, savunpoisto- ja uloskäyntiluukun kerroin saa olla  $1,8 W/(m^2 K)$ . Vastaavan puolilämpimän tilan kerroin saa olla enintään  $2,8 W/(m^2 K)$  [12].

Rakennuksen lämpöhäviöitä täytyy rajoittaa maksimaalisen energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Lämpöhäviöitä syntyy vuotoilmasta, ilmanvaihdosta ja rakennuksen rakenteiden läpi johtuvasta energiasta. Lämpöhäviöt ovat haitallisia rakennuksen energiatehokkuudelle, koska ostoenergialla tuotettua lämpöä siirtyy rakennuksesta pois ja täten rakennusta täytyy lämmittää yhä enemmän. Lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennusosien kesken käytetään taulukon 1 arvoja laskettaessa vaipan lämpöhäviön vertailuarvoa [12].

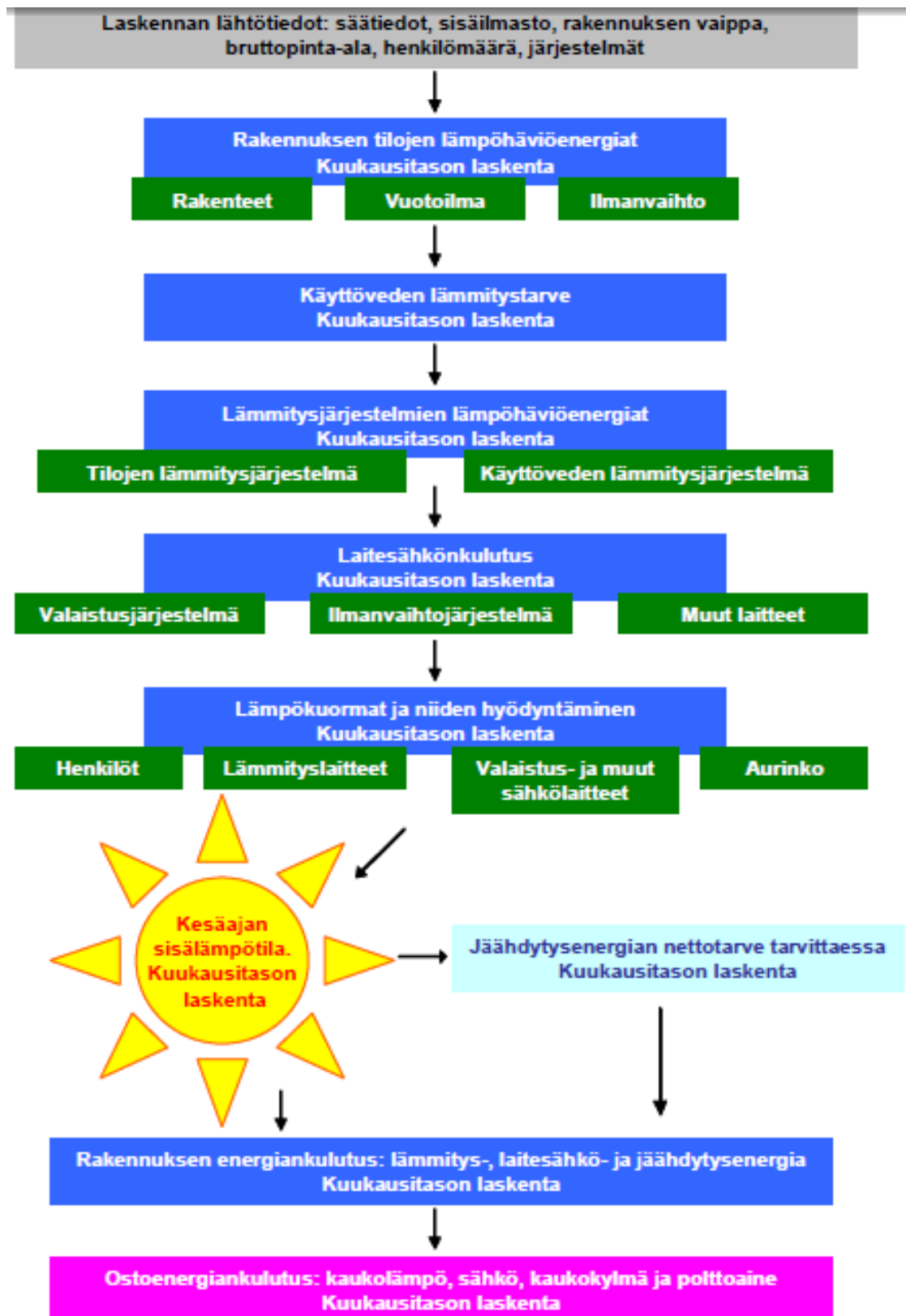
Taulukko 1. Rakennuksen vaipan U-arvoja [12].

Rakennuskomponentti	U-arvo
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16
Ikkuna, ovi tai kattoikkuna	1

### 2.2.3 D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 käydään syvällisesti läpi rakennuksen energiankulutuksen, lämmitystehontarpeen ja ostoenergiankulutuksen laskentamenetelmiä. Laskentaperiaatteena käytetään energiatasemenetelmää, jolloin energiankulutus laskeaan kuukausittain. Tasemenetelmän mukaan kuukauden aikana rakennukseen menee yhtä paljon energiaa sisään kuin rakennuksesta poistuu energiaa [14].

Laskentamenetelmässä käytetään yleensä kuukausikohtaisia keskimääräisiä arvoja. Menetelmä on yksinkertainen, ja se ottaa huomioon tärkeimmät energiankulutukseen vaikuttavat tekijät Suomen olosuhteet huomioiden. Menetelmä perustuu standardiin SFS-EN 13790 [14]. Laskennan kulku selviää tarkemmin kuvasta 1.

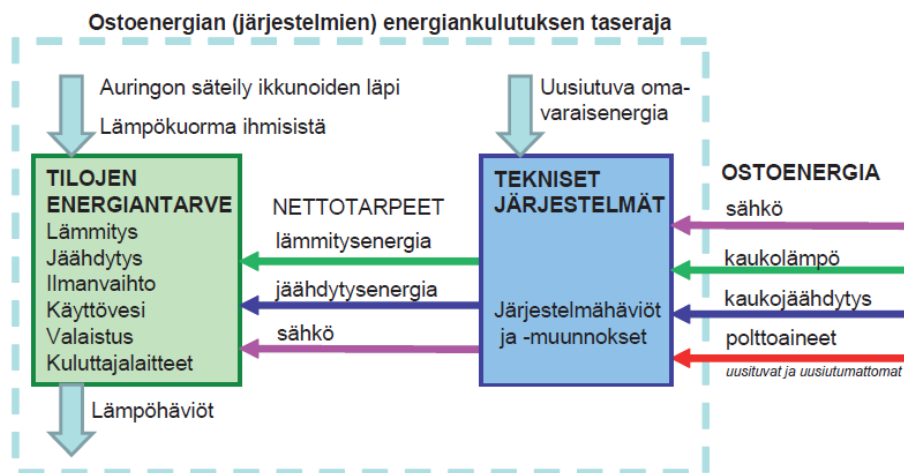


Kuva 1. Laskennan vaiheet [14].

## 2.3 E-luku

Uusien energiamääräysten myötä energiatehokkuutta määrittää kokonaisenergian käyttöä kuvaava E-luku. E-luku kuvaa rakennuksen vuotuista ostoenergiakulutusta suhteessa lämmitettyyn nettoalaan ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ). Mitä pienempi E-luku on, sitä energiatehokkaampi rakennus. Onnistunut rakennuksen suunnittelu ja toteutus pienentävät E-lukua ja täten parantavat rakennuksen energiatehokkuutta [6].

1.7.2012 uudisrakentamisen kohdalla siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun (kuva 2). Jokaiselle rakennukselle määritetään tietty yläraja, jota kuvataan E-luvulla. Rakennuskohtainen kokonaisenergiatarkastelu suoritetaan rakentamismääräyskokoelma D5:sen lukujen 3–8 avulla. Jokaiselle rakennukselle lasketaan tarvittava vuotuinen ostoenergian määrä, johon sisältyvät lämmittämiseen kuluva energia ja muu kotitaloussähkö.



Kuva 2. Rakennuksen kokonaisenergiatarkastelu [12].

E-luku saadaan laskettua kertomalla rakennuksen ostoenergiankulutus valitun energiamuodon kertoimella ja jakamalla tulo lämmitetyllä nettoalalla [6]. Energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat:

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4

- fossiiliset polttoaineet 1
- uusiutuvat polttoaineet 0,5 [6].

Taulukossa 2 on esitetty E-luvun ylärajoja pientaloille.

Taulukko 2. E-luvun raja-arvoja pientaloille [12].

Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo		Lämmitetty nettoala, $A_{\text{netto}}$	kWh/m <sup>2</sup> vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$ $120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$ $150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$ $A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	204 $372 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$ $173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$ 130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$ $120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$ $150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$ $A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	229 $397 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$ $198 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$ 155
	Rivi- ja ketjutalo		150

Uusiutuvaa energiaa hyödyntämällä voidaan parantaa rakennusten energiatehokkuutta, vähentää päästöjä ja pienentää rakennuksen E-lukua. Uudet energiamääräykset antavat mahdollisuuden vaikuttaa itse energiatehokkuuteen, koska E-lukua voidaan alentaa tehokkaasti esimerkiksi maalämmön, varaavan tulisijan tai aurinkosähkön käytöllä [6].

Suunnitteluvaiheessa myös riittävä rakennuksen vaipan eristäminen ja hyvällä vuosihyötysuhteella toimiva ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaite edesauttavat energiatehokasta lopputulosta. Kokonaisenergiatarkasteluun siirryttäessä mahdollisimman energiatehokas lopputulos saavutetaan hyödyntämällä uusiutuvaa energiaa, eristämällä riittävän hyvin ja valitsemalla oikea energiamuoto rakennuksen lämmitykseen [6].

## 2.4 Energiatodistus

Energiatodistusta koskeva laki hyväksyttiin 18.1.2013 ja se astui voimaan 1.6.2013. Suomessa energiatodistus on ollut käytössä vuodesta 2008. Todistus on ollut myös käytössä myynti- ja vuokraustilanteissa suurempien rakennusten tai vastavalmistuneiden

pientalojen kohdalla vuodesta 2009. Kesäkuussa 2013 voimaan tullut laki koskee kaikkea uudisrakentamista ja kiinteistökauppaa uusissa pientaloissa ja asuinkerrostaloissa, poikkeuksena ennen vuotta 1980 rakennetut pientalot, jotka tarvitsevat todistuksen vasta 1.7.2017 alkaen [7].

Energiatodistuksella rakennus luokitellaan tiettyyn energialuokkaan ja asteikkona toimii A-G. Energiatodistus myönnetään jo olemassa oleville rakennuksille ja se on voimassa 10 vuotta. Energiatodistuksen kustannukset ovat 500–800 euron luokkaa [7].

Energiatodistusta ei vaadita rakennuksista (pientalorakentajien kannalta):

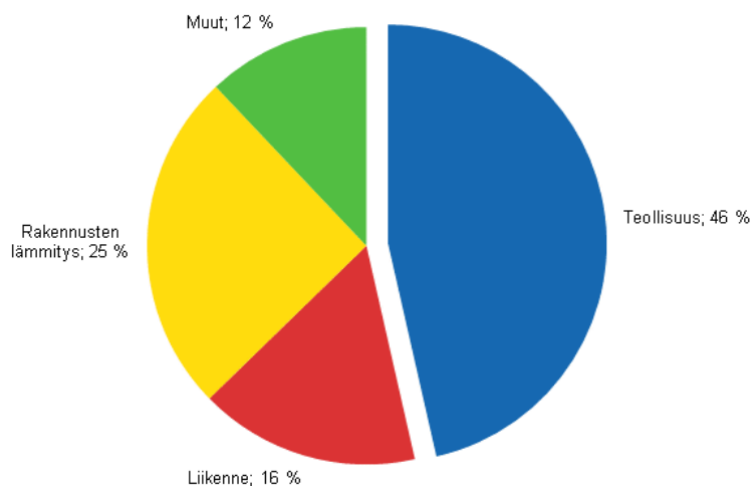
- rakennuksesta, jonka pinta-ala on alle  $50m^2$
- loma-asunnoista, jotka ovat käytössä enintään 4 kuukautta vuodessa (majoituslinkeinokäytössä vaaditaan energiatodistus)
- tilapäisestä tai määräaikaisesta rakennuksesta
- maanviljelysrakennuksesta, joka ei ole asuinkäytössä [67].

Energiatodistuksen voi laatia ainoastaan siihen pätevä henkilö. Todistusta laativalta henkilöltä tulee olla tehtävää vastaava tekniikan alan tutkinto tai tutkinnon korvaava työkokemus. Henkilön täytyy myös suorittaa koe, jolla osoitetaan hakijan perehtyneisyys asiaan. Kokeen läpäisseet henkilöt on rekisteröitävä energiatodistuksen laatijoista pidettävään rekisteriin [8].

Uudisrakentamisessa E-luku tulee vaikuttamaan oleellisesti rakennuslupiin. Rakennuksen lämmitystavan tulee olla valittuna jo siinä vaiheessa, kun rakennuslupaa haetaan. Uudisrakennuksille tehdään energiaselvitys, joka sisältää energiatodistuksen, E-lukulaskennan, tasauslaskennan sekä tehontarvelaskennan. Energiaselvityksen tulee olla rakennusluvan liitteenä lupaa haettaessa [10].

### 3 Pientalojen energiankulutus

Suuri osa rakennuksen kokonaisenergiasta menee rakennuksen tilojen lämmitykseen. Suomessa rakennusten lämmitykseen kuluva osuus kokonaisenergiasta on noin 25 % (kuva 3) [15]. Lämmityskulut vievät suurimman osan yksittäisen rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta ja niissä säästämällä voidaan vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen. Matalaenergia-, passiivi-, ja nollaenergiatalot tekevät entistä enemmän tuloaan ja esimerkiksi matalaenergiatalojen lämmitykseen kuluvan energian osuus on huomattavasti normaalia pientaloa pienempi.

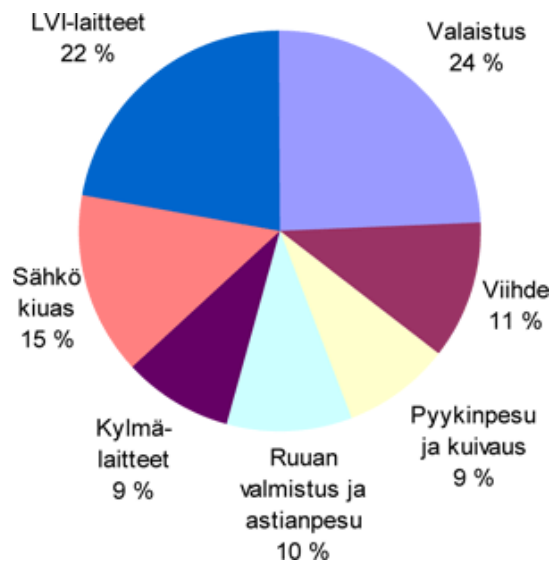


Kuva 3. Energian käytön jakautuminen Suomessa 2012 [15].

#### 3.1 Energian kulutuksen jakautuminen pientaloissa

Lämmitykseen kuluva energia on vain osa koko rakennuksen kuluttamaa kokonaisenergiaa. Rakennuksen lämmittämiseen tarvittavan energian lisäksi energiaa kuluu käyttöveden lämmittämiseen, valaistukseen, kodinkoneisiin, ilmanvaihtokoneiden pumppuihin, puhaltimiin ja moottoreihin, tuloilman lämmittämiseen ja saunan lämmittämiseen. Normaalisissa omakotitalossa energiankulutus jakautuu karkeasti huonetilojen lämmityk-

seen, käyttöveden lämmitykseen ja kotitaloussähköön. Lämmitykseen menee noin puolet rakennuksen kokonaisenergiasta eli 50 %, käyttöveden lämmitykseen kuluu noin 20 % ja loput 30 % kuluu kotitaloussähköön (kuva 4) [16].



Kuva 4. Kotitaloussähkön käytön jakautuminen [23].

Kuvassa 5 esitetty kotitaloussähkön käyttö on laskettu keskiarvoista ja todellinen kotitaloussähkön käytön jakautuminen vaihtelee talokohtaisesti henkiöiden kulutustottumusten mukaan. Kotitaloussähkön kulutus  $120 \text{ m}^2$  saunallisessa uudessa pientalossa oli yhteensä 5200 kWh vuodessa (taulukko 3). Taulukosta 3 voidaan todeta, että esimerkki rakennuksen kokonaiskulutuksesta lämmitykseen kuluu 54 %, kotitaloussähköön 27 % ja käyttöveden lämmitykseen 19 % [24].

Taulukko 3. Keskimääräinen sähkön käytön jakautuminen 120 m<sup>2</sup>, neljän asukkaan pientalossa [24].

TALOUSSÄHKÖ		
Ruoan valmistus	700 kWh	13%
Ruoan säilytys	1000 kWh	19%
Astianpesu	300 kWh	6%
Pyykinpesu	400 kWh	8%
Valaistus	1000 kWh	19%
Viihde- ja pienlaitteet	400 kWh	8%
Sauna	1100 kWh	21%
Auton lämmitin	300 kWh	6%
-----		
YHTEENSÄ	5200 kWh	100%
SÄHKÖLÄMMITYS	10500 kWh	
LÄMMIN KÄYTTÖVESI	3800 kWh	
-----		
YHTEENSÄ SÄHKÖ- LÄMMITYKSEN KANSSA	19500 kWh	
-----		
Kilowattitunti kertoo sähkönkulutuksen		

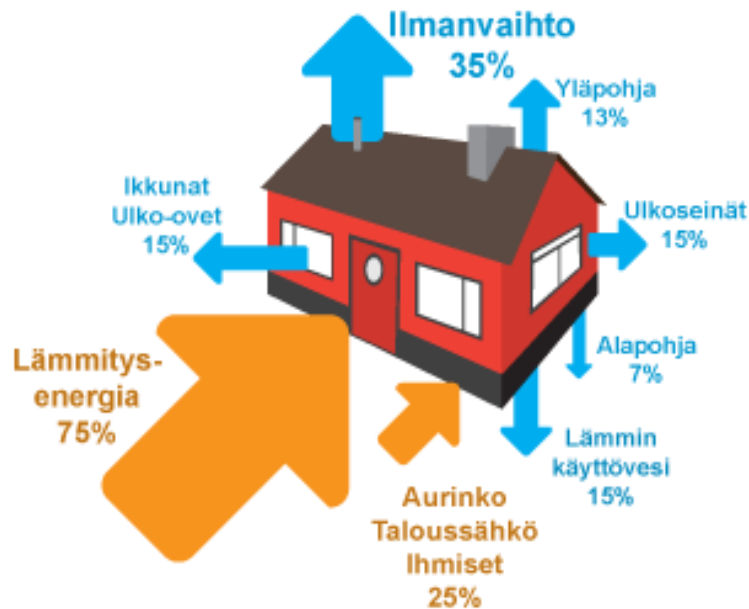
Talon rakennuttajan täytyy valita lämmitystapa tarkoin, koska se on pitkän tähtäimen investointi ja sillä on merkittävä vaikutus rakennuksen asumisviihtyvyyteen sekä energiatehokkuuteen. Kokonaiskustannuksia pohtiessa ei tulisi ajatella ainoastaan tietyn energiamuodon kalliimpia investointikustannuksia, jos kyseisen energiamuodon käyttökustannukset ovat vuositasolla edulliset. Lämmitystapoihin ja niiden kustannuksiin perehdytään tarkemmin työn edetessä.

### 3.2 Pientalon lämpöhäviöt

Pientaloissa lämpöhäviöiden määrä vaihtelee rakennuksesta riippuen. Vanhemmissa pientaloissa nettoenergiankulutus on rakennuksesta riippuen noin 30–80 kWh/m<sup>3</sup>. Pientalojen lämpöhäviöt muodostuvat käytännössä kolmesta eri tekijästä:

- rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöt
- ilmanvaihdon ja ilmavuotojen aiheuttamat lämpöhäviöt
- muut lämpöhäviöt (esimerkiksi lämmin käyttövesi) [27].

Rakennuksen ulkovaipan kautta karannut lämpö aiheuttaa suurimman osan pientalon lämpöhäviöistä (kuva 5). Vanhemmissa pientaloissa rakenteiden lisätiivistäminen on energiatehokkuuden parantamiseksi kannattavaa [27].



Kuva 5. Pientalon lämpöhäviöt [27].

### 3.3 Pientalon suunnittelu energiatehokkuuden ehdoilla

Energiatehokkaan ja toimivan talon toteuttaminen lähtee liikkeelle suunnitteluvaiheesta, jossa tarvitaan asiantuntevia sähkö-, LVI-, ja rakennussuunnittelijoita. Talo kannattaa suunnitella kerralla toimivaksi kokonaisuudeksi, jotta välttyttäisiin hintavilta ja haitallisilta korjaus- tai muutostöiltä [17].

Tehokkaan suunnittelun mahdollistaa suunnittelijoiden, rakentajien ja rakennuttajan tiivis yhteistyö. Suunnittelulle keskeisiä lähtökohtia ovat rakennuksen lämpöhäviöiden pienentäminen, sähkönkäytön tehostaminen ja uusiutuvan energian hyödyntäminen osatoenergian rinnalla [17].

Puhdas sisäilma on eleehto ja mahdollisimman halvat kustannukset ovat tietysti asukkaiden mieleen. Kustannukset muodostuvat investointikustannuksista, vuotuisista käyttökustannuksista, perusmaksuista ja huoltotöistä [17].

Energiatehokkaan talon rakentaminen on yleensä hieman kalliimpaa, mutta kokonaiskuvaa tulisi tarkastella pitkällä tähtäimellä. Kalliimman energiamuodon valinta maksaa itsensä takaisin vuosien saatossa alentuneiden käyttökustannusten vuoksi.

Suunnitteluvaiheessa voitaisiin korostaa muutamia pääkohtia jotka kannattaa ottaa huomioon energiatehokasta rakennusta suunniteltaessa [17]:

- rakennuksen lämmöneristys ja ilmanpitävyys
- ilmanvaihto ja poistoilman lämmöntalteenotto
- lämmitysjärjestelmän valinta
- uusiutuvan energian hyödyntäminen
- valaistus
- materiaalivalinnat.

Energiatehokkuuden ohella suunnitteluvaiheessa tulee huomioida asumisviihtyvyys. Osittain nämä kulkevat käsi kädessä, koska energiatehokkaassa kokonaisuudessa sisäilma on puhdasta ja ilmanvaihto toimii. Laittevalinnoilla voidaan vielä lisätä asumisviihtyvyyttä, esimerkiksi valitsemalla markkinoiden hiljaisin ilmanvaihtokone [17].

### **3.4 Matalaenergia-, passiivienergia- ja nollaenergiatalot**

Matalaenergiatalo kuluttaa normaalia pientaloa vähemmän energiaa ja sen vuosittainen lämmitysenergian kulutus on Etelä-Suomessa alle 60 kWh/brm<sup>2</sup> ja Pohjois-Suomessa alle 90 kWh/brm<sup>2</sup> ilmastollisista eroavaisuuksista johtuen. Matalaenergiatalon parempi energiatehokkuus saavutetaan rakennuksen vaipan tehokkaammalla eristyksellä ja energiatehokkaalla ilmanvaihdolla. Rakennusmääräysten mukaan matalaenergiatalon laskennallisten lämpöhäviöiden tulisi olla korkeintaan 85 % rakennukselle määritellyistä

vertailulämpöhäviöistä. Matalaenergiatalo kuluttaa noin 50 % vähemmän lämmitysenergiaa verrattuna vähimmäisvaatimuksin toteutettuun normaaliin pientaloon [18].

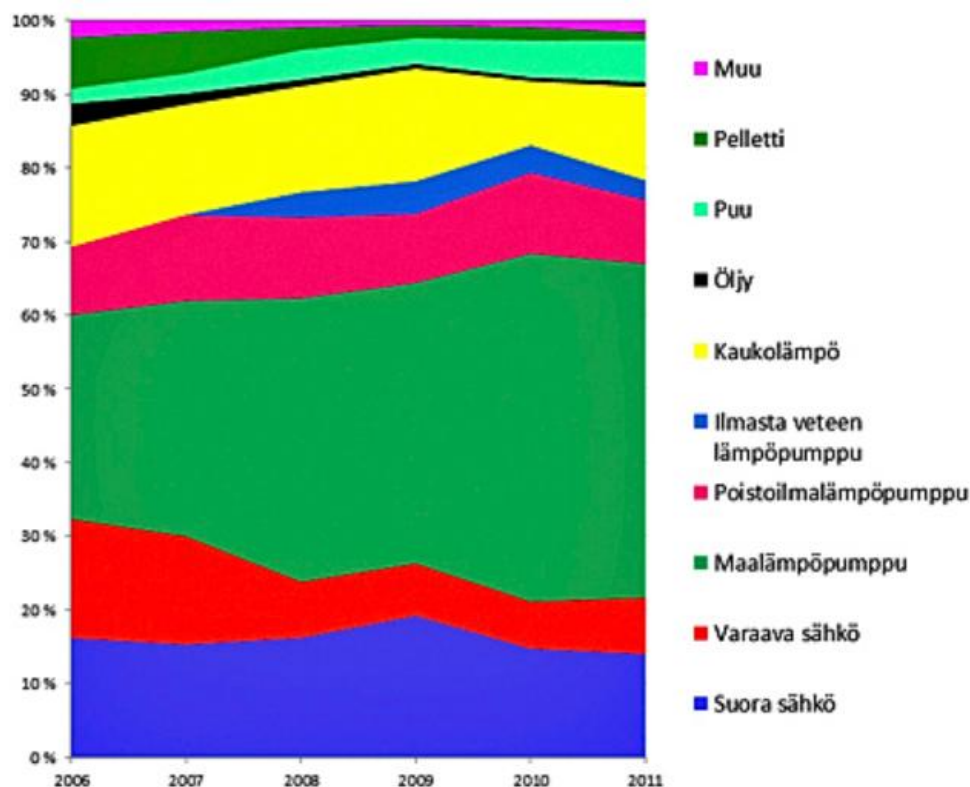
Passiivienergiatalo kuluttaa energiaa Etelä-Suomessa noin 20 kWh/*br*m<sup>2</sup> ja Pohjois-Suomessa noin 30 kWh/*br*m<sup>2</sup> [18]. Eristämisen merkitys korostuu entisestään passiivienergiataloissa, vaippa on todella tiivis ja ilmanvuotoluku on tyypillisesti 0,6 tai alle. Passiivienergiatalossa yritetään tuottaa suurin osa lämmöstä erilaisten lämpökuormien avulla, kuten ihmisten, valaistuksen, auringonvalon ja kodinkoneiden avulla. Suomen maantieteellisestä sijainnista johtuen passiivienergiataloratkaisut eivät ole vielä niin tehokkaita kuin esimerkiksi Etelä-Euroopassa [68].

Nollaenergiatalossa itse rakennus tuottaa energiaa omiin tarpeisiinsa uusiutuvien energialähteiden avulla. Vuositasolla rakennus tuottaa saman verran energiaa kuin se kuluttaa. Plusenergiatalo tuottaa energiaa enemmän kuin kuluttaa [18].

## **4 Lämmitystavat vertailussa**

### **4.1 Lämmitysjärjestelmien yleiskatsaus ja lämmönjakotavat**

Lämmitysjärjestelmät kehittyvät kovaa vauhtia ja markkinoilla on tarjolla useita erilaisia lämmitysratkaisuja. Vastuu lämmitysjärjestelmän valinnasta on viime kädessä talon rakentajalla, mutta ammattilaisten mielipiteitä kannattaa ehdottomasti kuunnella päätöstä tehtäessä. Huomion arvoisia asioita ovat ainakin pientalon lämmitettävä pinta-ala, rakennukseen asettuvien henkilöiden lukumäärä, järjestelmän helppous ja luotettavuus sekä kustannukset pitkällä tähtäimellä. Suuremmissa taloissa lämmitettävä pinta-ala kasvaa, jolloin kannattaa investoida lämmitysjärjestelmään, jolla on alhaiset käyttökustannukset. Asukkaiden määrän kasvaessa myös käyttöveden kulutus kasvaa, joka taas vaikuttaa suoraan lämmityskustannuksiin [19]. Tässä luvussa tarkastellaan ja vertaillaan yleisimpiä pientalon lämmitysjärjestelmiä.



Kuva 6. Pientalojen lämmitysjärjestelmien markkinaosuus 2006 – 2011 [37].

Pientalon lämmitysjärjestelmä voidaan jakaa neljään toiminnalliseen osaan jotka ovat:

- lämmönkehityslaitteet (lämpöpumppu)
- lämmön varastointi (käyttövesivaraaja, betonilattia, tulisija)
- lämmönjakojärjestelmä (vesikeskuslämmitys, huonekohtainen sähkölämmitys)
- lämmityksen säätö- ja ohjauslaitteisto [37].

Siinä missä lämpöä voidaan tuottaa useiden energiamuotojen avulla, myös lämmitysjärjestelmässä tuotetun lämpöenergian jakamiseen on muutamia eri vaihtoehtoja, joita tarkastellaan tarkemmin tässä kappaleessa.

#### 4.1.1 Vesikeskuslämmitys

Vesikeskuslämmitys toteutetaan patteri- tai lattialämmityksenä tai niiden yhdistelmänä. Vesikiertoinen lattialämmitys on yleisin tapa uusissa pientaloissa sen monipuolisuuden vuoksi. Järjestelmän energiamuotoa on helppo muuttaa myös jälkikäteen. Vesikiertoisessa järjestelmässä lattiassa olevissa putkissa kiertää 40-asteinen vesi ja se sopii lähes kaikille lattiapinnoille. Patterilämmitys toteutetaan samalla tavalla, mutta lämmin vesi kiertää patteriverkostossa [25].

Järjestelmän säätömahdollisuudet ovat hyvät ja kiertävän veden lämpötilaa säädellään suhteessa ulkolämpötilaan, jolloin sisälämpötila nousee automaattisesti ulkolämpötilan laskiessa. Pattereissa käytetään termostaattiohjattuja säätöventtiileitä ja lattialämmityksessä jakotukin venttiileitä. Jokaisella rakennuksella on oma säätökäyränsä ja käyrä on melko vapaasti asukkaan säädeltävissä [25].

#### 4.1.2 Ilmakiertoiset järjestelmät

Ilmakiertoisissa järjestelmissä lämpö siirtyy rakennukseen ilman avulla. Ilmakiertoiset järjestelmät sopivat hyvin matalaenergia- tai passiivenergiataloihin, koska lähtökohtaisesti talot ovat paremmin eristettyjä ja lämmitystarpeet ovat pienemmät kuin normaaleissa pientaloissa. Ilmakiertoiset järjestelmät ovat vesikiertoisiin järjestelmiin verrattuna riskittömämpiä, koska varsinaista vesivahingon vaaraa ei ole [25].

Lattialämmitys voidaan toteuttaa ilmakiertoisesti, jolloin lattiaan asennetaan ilmakanavisto ja lämmöntuottoon soveltuva laite. Ilmakanavistossa kulkeva lämmitetty ilma lämmittää lattialaattoja, jotka vapauttavat lämpöä huoneeseen. Ilma voidaan lämmittää esimerkiksi sähkön, kaukolämmön tai maalämmön avulla [25].

Ilmanvaihtolämmityksen avulla, samalla koneistolla voidaan hoitaa rakennuksen ilmanvaihto ja lämmittäminen. Ilmanvaihtokoneiden tehtävänä on kierrättää sisäilmaa ja pitää ilma raikkaana ja puhtaana. Ilmanvaihtolämmitys on siis lämmöntalteenotolla varustettu tehokas ilmanvaihtojärjestelmä, jolla lämmitetään huoneistoa. Ilma lämmitetään ilman-

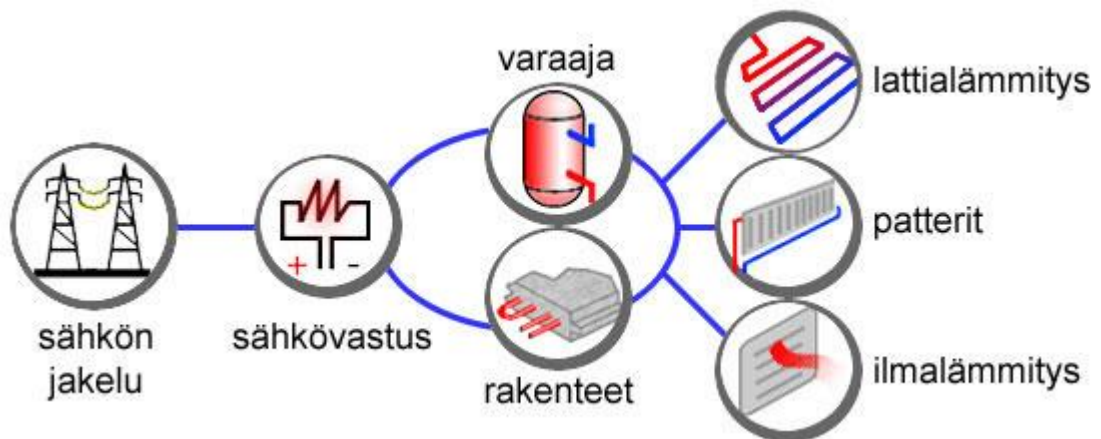
vaihtokoneen päätelaitteen sähkövastuksella, josta lämmin ilma ohjataan rakennukseen. Ilmanvaihtolämmitystä käyttävän pientalon pesutiloihin on silti asennettava sähköinen lattialämmitys, jotta tilat pysyvät kuivina ja asumismukavuus ei kärsi. Ilmanvaihtolämmitys soveltuu erityisen hyvin passiivitaloihin, joissa lämmitysenergian tarve on muutenkin vähäinen. Ilmakiertoisissa järjestelmissä energiamuotoa voidaan vaihtaa vapaasti myös jälkikäteen [25].

### **4.1.3 Huonekohtainen lämmitys**

Huonekohtainen lämmitys toteutetaan sähköllä ja siinä ei ole erillistä vesikiertoista lämpöverkostoa. Huonekohtainen sähkölämmitys on yleinen matalaenergia- ja passiivien energiataloissa, joissa rakennusvaippa on tiivis ja lämmitykseen ei kulu suuria määriä energiaa. Huonekohtainen sähkölämmitys toteutetaan joko lattia-, katto-, patteri- tai ikkunalämmityksenä tai näiden yhdistelmillä. Vesikiertoisen verkon puuttuessa, käyttövesi lämmitetään erillisessä noin 3 kW:n vastuksella varustetussa 300 - 600 litran lämminvesivaraajassa. Huonekohtaisessa lämmitysratkaisussa säätömahdollisuudet ovat erinomaiset [25].

## **4.2 Sähkölämmitys**

Sähkölämmitys on edelleen yksi yleisimpiä lämmitysmuotoja suomalaisissa pientaloissa. Sähkölämmitysratkaisu päättyy useisiin kotitalouksiin halpojen hankintakustannusten, erinomaisten säätömahdollisuuksien ja järjestelmän helppokäyttöisyyden vuoksi. Normaalisti eristetyissä pientaloissa sähkölämmityksen vuotuiset käyttökustannukset voivat nousta yllättävänkin suuriksi. Sen sijaan suora sähkölämmitys soveltuu hyvin matalaenergiataloihin, joissa vuotuinen lämmitysenergiatarve on huomattavasti normaalia pientaloa pienempi.



Kuva 7. Sähkölämmityksen kuvaus [22].

Sähkölämmitteisissä rakennuksissa lämmitys on toteutettu vesikeskuslämmityksenä lattia- tai patteriverkostolla tai huonekohtaisena sähkölämmityksenä lattia-, katto-, patteri- tai ikkunalämmityksenä tai näiden yhdistelmillä [20].

Sähkölämmityksen etuina voidaan pitää halpoja investointikustannuksia, helppokäyttöisyyttä, huoltovapautta sekä erinomaisia säätömahdollisuuksia. Sähkölämmityksen avulla asumismukavuutta voidaan entisestään lisätä yhdistelemällä eri sähkölämmitysmuotoja keskenään [21].

Sähkölämmitys voidaan myös rakentaa maantieteellisesti lähes minne vain. Huonoina puolina voidaan pitää sähkön hintaa, tuotannon aiheuttamia päästöjä ja käyttökustannuksia jos rakennus ei ole riittävästi eristetty [20].

#### 4.2.1 Suora sähkölämmitys

Lattiassa, katossa tai pattereissa olevat sähkövastukset luovuttavat lämpöenergiaa suoraan järjestelmästä huonetilaan. Suora sähkölämmitys toteutetaan nykyisissä uudispienitaloissa huonekohtaisesti, yleisimmin lattialämmityskaapeleilla tai sähköpattereilla, joita ohjataan termostaateilla. Suoraa sähkölämmitystä käytetään hyvin eristetyissä pientaloissa ja vapaa-ajan asunnoissa, joissa asutaan vain tietty aika vuodesta. Suoran sähkö-

lämmityksen rinnalle voidaan asentaa esimerkiksi ilmalämpöpumppu tai varaava tulisija kompensoimaan käyttökustannuksia [20].

#### **4.2.2 Varaava sähkölämmitys**

Varaava sähkölämmitys hyödyntää halvempaa yösähköä, silloin kun se on päiväsähköä edullisempaa [20]. Rakennuksen lämmöntuotto voi toimia kokonaan varaavan lämmityksen varassa, jos vaippa on tarpeeksi eristetty ja rakenteisiin varattu energiamäärä riittää koko päivän tarpeisiin. Kaikissa tapauksissa varattu energia ei riitä koko päiväksi, jolloin osa lämmöstä joudutaan tuottamaan muilla keinoin, esimerkiksi päiväsähköä käyttämällä.

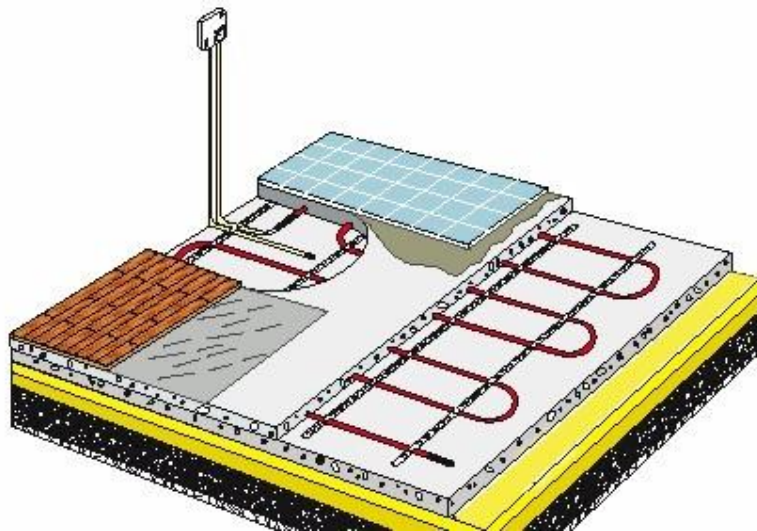
Varaavassa lattialämmityksessä lämpöä on tarkoitus varastoida lattiarakenteisiin, esimerkiksi laattoihin, jotka luovuttavat lämpöä eteenpäin huoneilmaan pitkin päivää. Materiaalin tulee olla hitaasti lämpöä luovuttavaa, jotta lämmön siirtyminen olisi mahdollisimman pitkäkestoista [26]. Lämmin käyttövesi on myös järkevää lämmittää lämminvesivaraajassa yöllä halvemman tariffin aikana. Vesikiertoinen sähkölämmitys toteutetaan yleensä halvemman yösähkön avulla, jossa vesi lämmitetään yöaikaan varaajassa [21].

#### **4.2.3 Sähköinen lattialämmitys**

Lattialämmitys on sähköpatterien ohella yleisin sähkölämmitysjärjestelmä omakotitaloissa. Lämmin lattia tuntuu mukavalta jalkojen alla ja esteettistä haittaa ei synny, koska lämmityskaapelit ovat piilossa lattiarakenteissa. Lattialämmityksen tehokkuuteen ja ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lattian pinnoitteen materiaaleilla ja lattiakaapeleiden asennusteholla ja asennusvälillä [69]. Lattialämmitys voidaan toteuttaa joko varaavana tai suorana. Varaavassa lattialämmityksessä kaapelit lämmittävät betonilaattaa halvemman tariffin aikaan yöllä, jonka jälkeen laatat luovuttavat lämpöä huoneistoon päiväsai-kaan [21].

Lattialämmityksen säätömahdollisuudet ovat erinomaiset. Huonekohtaisessa säädössä voidaan tilan lämmitystarpeen mukaan käyttää joko lattiatermostaatteja tai yhdistelmätermostaatteja. Tiloissa, jossa lattian lämpötila halutaan pitää koko ajan lämpimänä ja vakiona, käytetään yleensä lattiatermostaatteja. Yhdistelmätermostaatti säätää tilan lämpötilaa huoneen lämpötilan ja lattian lämpötilan mukaan [31].

Lattialämmitys mitoitetaan huonekohtaisesti laskettujen lämpöhäviöiden mukaan, joiden pohjalta valitaan tarpeeksi tehokas lämmityskaapeli, jonka jälkeen lasketaan sopiva asennusväli ja lämmityskaapelin pituus [63]. Lämmityskaapeleiden mitoitusta tarkastellaan tarkemmin luvussa 6.



Kuva 8. Lämmityskaapeli betonirakenteessa [63].

Lattialämmityksestä hyödytään paljon kosteissa tiloissa, koska lattialämmitys nopeuttaa tilojen kuivumista ja ennaltaehkäisee kosteusongelmia [26]. Pesutiloissa lattian tasaisella ja riittävällä lämpimällä lämpötilalla on suurempi merkitys, kuin muissa huoneissa, koska pääsääntöisesti tiloissa oleskellaan paljain jaloin.

Lämmin lattia poistaa tehokkaasti lattiavedon tunnetta ja ehkäisee epämiellyttävää tunnetta, jonka kylmä betonilaatta voi aiheuttaa. Optimaalisessa tilanteessa mukavuuden ja tehokkuuden kannalta, lattian lämpötila säädetään muutama aste huoneen lämpötilaa korkeammaksi, kosteissa tiloissa jopa korkeammaksikin.

Lattialämmityskaapelit ovat yleisesti vakioresistanssisia lämmityskaapeleita ja asennusvaiheessa ne tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle lattian pintaa. Lattialämmityskaapeleiden tyyppi, tehontarve ja asennustapa riippuu lattiassa käytettävästä materiaalista ja huonekohtaisista lämpöhäviöistä. Esimerkiksi puu- ja levylattioissa käytetään yleensä 8 – 10 W/m kaapeleita ja betonilattioissa 10 – 20 W/m kaapeleita [26].

Kaapeleiden asennusvälit ovat yleensä valmistajakohtaisia ja ne riippuvat myös lattian materiaalista ja sen lämmönjohtavuudesta. Asennusväli ei saa olla liian suuri, jottei lattia lämpene epätasaisesti. Keskimääräinen radikaali asennusväli valmistajasta riippuen on yleensä noin 8-30 cm [63].

Lattialämmityksen tehontarpeet vaihtelevat huonekohtaisesti. Tehontarpeille on annettu yleisiä suuntaviivoja, ja tehontarve riippuu esimerkiksi rakennuksen tyypistä, (vrt. matalaenergiatalo, passiivitalo tai normaali pientalo) tilan käyttötarkoituksesta ja tilan lattiaelementistä. Pääpiirteittäin esimerkiksi kivilattia vaatii korkeamman neliötehon kuin puu- tai laminaattilattia (taulukko 4) [28].

Taulukko 4. Lattialämmityksen tehontarpeen suuntaviivoja tilakohtaisesti normaalisti eristetyssä pientalossa [28].

Huonetyyppi	Tehosuositus
Eteinen	80-120 W/m <sup>2</sup>
Olohuone, keittiö, makuuhuone	60-90 W/m <sup>2</sup>
Kylpyhuone	80-120 W/m <sup>2</sup>
Autotalli	90-150 W/m <sup>2</sup>
Ulkotila	130-160 W/m <sup>2</sup>
Kellari/betoni (hyvä eristys)	60-90 W/m <sup>2</sup>
Kellari/betoni (huono eristys)	90-150 W/m <sup>2</sup>

Lattialämmityksen kustannukset 120 m<sup>2</sup> pientalossa ovat noin 4000 euroa. Hintaan sisältyvät kaapelit ja säätötermostaatit asennettuna. Suora sähkölämmitys edellyttää erillisen lämminvesivaraajan käyttöveden lämmitystä varten, joten 300 litran varaajan kustannukset asennuksineen ovat noin 1000 euroa. Kokonaiskustannukset liikkuvat 5000 - 6000 euron tienoilla, säätötekniikan ja automaation tasosta riippuen [29].

#### 4.2.4 Kattolämmitys

Kattolämmitysjärjestelmä muodostuu lämmityselementeistä jotka asennetaan sisäkattoon verhoumateriaalin alle. Elementeissä muodostuva lämpöenergia siirtyy lämpösäteilynä huoneilmaan. Lämpösäteily osuu huoneessa rakennuksen muihin pintoihin, joista lämpö siirtyy edelleen huoneilmaan. Kattolämmityselementit ovat katon sisällä piilossa, joten ne eivät sisustamiseen tai tilan esteettiseen ilmeeseen [29].

Kattolämmityksen tuottaman tasaisen lämmöntunteen seurauksena, kattolämmityksen lämpötilaa voidaan pitää 1 – 2 °C muita lämmitystapoja alempana. Kattolämmitystä käytetään harvemmin pääasiallisena lämmöntuottolähteenä, mutta se toimii erittäin hyvin yhdessä esimerkiksi varaavan lattialämmityksen kanssa [29].

Kattolämmitysjärjestelmää suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon muutamia materiaalisia seikkoja. Sisäkaton pinnoite ei saa olla liian paksua, jotta lämpö pääsee siirtymään elementeistä huoneilmaan. Elementtien valmistajat ilmoittavat tyypillisesti raja-arvoja pinnoitemateriaaleille. Jotta kattolämmityselementit voidaan asentaa turvallisesti, huonekorkeuden tulee olla vähintään 2,3 m. Elementtien sijoituksen suhteen on myös yleisiä sääntöjä, niitä ei tule sijoittaa valaisimien, ilmanvaihtokanavien tai kaappien tielle [29].

Kattolämmityselementin lämmitysteho on yleisesti noin  $150 \text{ W/m}^2$ . Järjestelmän suunnitteluvaiheessa tehontarpeena pientalolle voidaan käyttää laskentatietona noin  $25 \text{ W/m}^3$ . Tehontarve vaihtelee tietysti talokohtaisesti ja se riippuu myös muista rakennuksessa käytettävistä lämmitysmuodoista ja ennen kaikkea tilakohtaisista lämpöhäviöistä [29].

Kattolämmitysjärjestelmän rakennuskustannukset  $120 \text{ m}^2$  pientaloon ovat noin 3000 euroa. Hintaan sisältyvät kattolämmityselementit ja säätötermostaatit asennettuna [29].

#### 4.2.5 Sähköpatterilämmitys

Patterilämmitysjärjestelmä koostuu lämpöpattereista ja niitä säädetään joko patteritermostaateilla tai keskitetyllä säädöllä. Patterilämmitys perustuu huonekohtaisiin sähköpattereihin, jotka luovuttavat lämpöenergiaa huoneilmaan. Patterilämmitysjärjestelmä toimii erityisen hyvin tasaavana lämmöntuottojärjestelmänä esimerkiksi varaavan lattialämmityksen rinnalla [29].

Patterilämmitys reagoi nopeasti ja ottaa huomioon muut lämmönlähteet, kuten asumisen ilmaislämmön ja täten säästää energiaa. Patterit ovat helposäätöisiä ja asuntoon voidaan säätää huonekohtaiset lämpötilat asumismukavuuden ja energian säästämiseksi [29].

Sähköpatterit voidaan jakaa suljettuihin lämmittimiin ja yhdistelmälämmittimiin. Suljettujen lämmittimien kohdalla huoneilma ei kosketa patterin vastuselementtiä, vaan ainoastaan patterin ulkopintaa, josta lämpö säteilee edelleen huoneeseen. Suljettujen lämmittimien pintalämmöt ovat yhdistelmälämmittäjiä korkeampia, koska säteilylämmön osuus on suurempi [29].

Yhdistelmälämmittimet lämmittävät huoneilmaa osittain lämpösäteilyn avulla ja osa huoneilmasta lämpenee ilman virratessa lämmittimen ja vastuselementin läpi. Noin puolet kokonaislämpöenergiasta vapautuu lämpösäteilynä ja loput virtauslämpönä [29].

Seinillä sijaitsevat lämpöpatterit ovat esillä, eikä niitä saada piiloon kuten lattia- tai kattolämmityselementtejä. Markkinoilla on nykyään useita eri malleja myös muotoilun osalta, jolloin järjestelmän lopulliseen ulkonäköön voidaan vaikuttaa omien mieltymysten mukaisesti. Lämpöpatterit tulisi sijoittaa ikkunoiden alle, jolloin ne estävät ikkunoiden edessä vedon tunnetta ja täten jakavat tasaisemmin lämpöä huonetilaan [29].

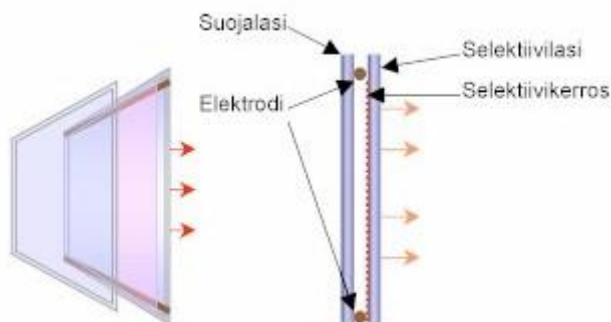
Patterilämmityksen kustannukset  $120 \text{ m}^2$  pientalossa ovat noin 3000 – 3500 euroa, jonka rinnalle tarvitaan noin 300 litran lämminvesivaraaja, joka asennettuna kustantaa noin 1000 euroa. Kokonaiskustannukset liikkuvat 4000 – 5500 euron välillä [29].

#### 4.2.6 Ikkunalämmitys

Ikkunat ovat ristiriitaisia elementtejä rakennuksissa energiatehokkuuden ja asumismukavuuden kannalta tarkasteltuna. Ikkunat aiheuttavat merkittävän osan rakennuksen lämpöhäviöistä, mutta ne tuovat rakennukseen luonnonvaloa, joka lisää asumisviihtyvyyttä [70]. Puhtaasti energiatehokkuuden kannalta tarkasteltuna, ikkunoiden määrää tulisi rajoittaa, mutta harva ihminen viihtyisi sellaisessa talossa, jossa luonnonvaloa ei olisi tarjolla.

Ikkunan edustalla huoneilma tuntuu yleensä viileimmältä, koska ikkunoiden lämmönläpäisykerroin on huomattavasti muita talon rakenteita suurempi [70]. Lämpöpatterit asennetaan yleensä ikkunoiden eteen, koska viileiden ikkunoiden edustalla oleskelu mielletään epämukavaksi. Varsinkin isojen ikkunapintojen kohdalla, ikkunalämmitystä kannattaa harkita, jotta oleskelu ikkunoiden lähellä olisi miellyttävää.

Ikkunan lähellä vellova viileämpi ilma valuu lattiatasoon ja aiheuttaa ikävää vedontunnetta. Ikkunoiden aiheuttamaa vedontunnetta voidaan vähentää, lämmittämällä ikkunalaseja sähköisesti [30]. Lämmitettävät ikkunat lämpenevät joko ikkunalasin pintaan asennetun selektiivisen kalvon tai lasin avulla. Toiminta perustuu selektiivilasin pinnoitteeseen, joka on voimakkaasti sähköä johtavaa. Pinnoitteessa kulkeva sähkövirta, aiheuttaa voimakasta lämpösäteilyä heijastamalla lasirakenteesta (kuva 9) [70].



Kuva 9. Ikkunalämmityksen toimintaperiaate [70].

Pääasiallinen ikkunalämmityksen käyttötarkoitus on vedon tunteen poistaminen ikkunoiden edustalta, mutta samalla se ehkäisee myös höyryn tiivistymistä ikkunalasin pin-

taan ja sulattaa lunta ja jäätä lasien ulkopinnoilta. Ikkunalämmitystä ei yleensä käytetä pääasiallisena lämmitysmuotona, vaan sen rinnalla käytetään esimerkiksi lattia-, katto- tai sähköpatterilämmitystä [30].

#### **4.2.7 Sähkölämmitysjärjestelmien ohjaus ja säätö**

Sähkölämmitysjärjestelmien energiatehokkuuteen, käyttökustannuksiin ja asumisviihtyvyyteen voidaan vaikuttaa tehokkaasti sähkölämmitystekniikan tarjoamien erinomaisten säätö- ja ohjaustekniikoiden avulla. Suomen kaltaisten valtioiden maantieteellisestä sijainnista johtuen sähköverkkojen energiankulutus on vuositasolla melko epätasaista, koska kylmät talvet muodostavat piikkejä kokonaisenergiankulutuksessa. Sähkölämmitysjärjestelmät kuluttavat talvella enemmän energiaa, jolloin muukin energiankulutus on muita vuodenaikoja suurempaa. Sähkölämmitystalojen ohjauksilla voidaan rajoittaa kohteen huipputehoa suunnittelemalla ohjaus siten, että lämmitysajankohtaa siirretään niille vuorokaudentunneille, jolloin muu sähkönkulutus on vähäisempää [31].

Ohjaustarpeita voidaan tarkastella asukkaan tai verkkoyhtiön näkökulmasta, joista molemmat edellä mainitut haluavat tietyissä tilanteissa rajoittaa asunnon tai verkon kuormituksen huipputehoa. Käyttäjän kannalta yleisimpiä ohjaustarpeita aiheuttavat käyttökustannukset. Käyttökustannuksiin voidaan vaikuttaa esimerkiksi varaavalla lämmitysmuodolla, jolloin rakennusta pyritään lämmittämään yöllä halvemman tariffin aikana [31].

Toinen tehokas keino on rakennuksen huipputehon rajoittaminen, joka voidaan suunnitella esimerkiksi vuoro-ohjausten avulla. Rajoittamalla rakennuksen huipputehoa, voidaan säästää liittymis- ja perusmaksuissa. Käyttökytkimien avulla voidaan sähkölämmitys ohjata pois päältä kesäaikana. Verkkoyhtiöiden yleisimpiä ohjaustarpeita ovat verkon kapasiteetin optimointi, verkon kapasiteetin riittävyys ja kytkentäpiikkien estäminen [31].

Lämmitysten säätömahdollisuuksia on huomattavasti enemmän ja niillä vaikutetaan rakennuksen asumisviihtyvyyteen ja energiatehokkuuteen. Säätölaitteiden ja termostaat-

tien täytyy reagoida nopeasti, jottei huonelämpötila muuttuisi liikaa säädettyihin raja-arvoihin nähden [31].

Säädöllä voidaan vaikuttaa lämmitysenergiankulutukseen muun muassa seuraavilla tavoilla:

- Huonelämpötilaa lasketaan silloin, kun tilassa ei ole kukaan.
- Rakennuksen lämpötiloja tiputetaan, kun asunto on tyhjillään.
- Kesä-aikana lämmitys kytketään pois tai asetetaan alhaisin mahdollinen lämpötila.
- Huomioidaan erilaisten tilojen lämmöntarve.
- Huomioidaan lämpötilan etäsäätö [31].

Jatkuvatoimisilla lämmitysratkaisuilla tarkoitetaan lattia-, katto-, patteri- ja ikkunälämmityksiä. Rakennusten ja sähkölämmitysjärjestelmien säätötavat ja säätötarpeet ovat riippuvaisia lämmityksen ohjaustavasta, tilojen rakenteista ja lämmitysjärjestelmästä. Huonekohtainen lämpötila saadaan säädettyä lattialämmitteisissä taloissa erittäin mukavaksi lattia-, huone- tai yhdistelmätermostaatin avulla (taulukko 5) [31].

Taulukko 5. Jatkuvatoimisen sähkölämmityksen säätövariaatioita [31].

Lämmitin	säätötapa	Erytyspiirteitä, ominaisuuksia
Sähkölämmittimet (-patterit)	laitekohtainen termostaatti	o lämpötilan pudotus ohjausjännitteellä
	huone-/tilakohtainen termostaatti tai ohjausjärjestelmä	o lämmittimen ilman termostaattia ("orjalämmittimet") o lämmittimet toimii samanaikaisesti
Kattolämmitys	tilakohtainen huonetermostaatti/ohjausjärjestelmä	o tilakohtainen toiminta o lämpötilan pudotus ohjausjännitteellä
Lattialämmitys (jatkuvatoiminen)	lattiatermostaatti	o lattian pintalämpötila pidetään säädettyssä arvossa o ilman lämpötila vaihtelee lämmöntarpeen mukaan
	huonetermostaatti	o huonelämpötila pidetään säädettyssä arvossa o lattian lämpötila vaihtelee lämmöntarpeen mukaan o voidaan käyttää vain, jos lattiapinnoite ei edellytä lämpötilan rajoittamista
	yhdistelmätermostaatti	o lattian pintalämpötilaa rajoitetaan lattiapinnoitteen ja miellyttävän pintalämpötilan mukaisesti o lämmitys kytkeytyy päälle huoneilman lämpötilan mukaan o lattian lämpötila vaihtelee lämmöntarpeen mukaan
ikkunalämmitys	huonetermostaatti (+läsnäolotunnistin)	o lämmitystä säädetään huoneen lämpötilan mukaan o lämmitys kytkeytyy päälle tilassa oleskeltaessa o huoneen peruslämmitykseen toinen järjestelmä

Osittain varaavan lattialämmityksen suhteen säätötavat poikkeavat hieman jatkuvatoimisen lämmityksen säätötavoista. Varaavan lämmitysjärjestelmän säädön tulisi pitää huolta seuraavista asioista:

- Energiaa varataan lämpöhäviöiden tarpeen verran.
- Lattian lämpötila ei nouse liikaa raja-arvoihin nähden.
- Lattian lämpötila pysyy mukavana, vaikka huonelämpötila muuttuisi.
- Tarpeen vaatiessa lisälämmitys kytketään päälle, jos varattu energia ei riitä [31].

#### **4.2.8 Kodinohjausjärjestelmät ja taloautomaatio**

Ohjaus- ja säätötoimenpiteiden toteuttamiseksi tarvitaan toimenpiteet mahdollistava kodinohjausjärjestelmä. KNX-järjestelmä on paljon käytetty väyläpohjainen taloautomaatiojärjestelmä, joka on kansainvälinen laitevalmistajasta riippumaton kiinteistöautomaatiostandardi (EN50090). Kodinohjausjärjestelmän ansiosta talosta saadaan entistäkin energiatehokkaampi, helppokäyttöisempi, kustannustehokkaampi ja yleisesti viihtyisämpi [32].

Järjestelmän avulla voidaan ohjata kaikkia rakennuksen toimintoja, kuten ilmastointia, lämmitystä, valaistusta, jäähdytystä ja valvontaa. KNX-järjestelmässä rakennuksen sähköiset toiminnot muodostavat yhteisen verkon, johon on helppo lisätä komponentteja jälkikäteen [32].

Energiatehokkuuden parantamiseksi kodinohjausjärjestelmän avulla voidaan tehdä erilisiä ohjauksia esimerkiksi lämmitykselle ja valaistukselle. Säästöjä saadaan aikaan yksinkertaisilla ohjausjärjestelmän toimenpiteillä, jotka on toteutettava järkevästi. Lämmitys vie suurimman osan pientalon energiankulutuksesta, joten sen säätöön ja ohjaukseen kannattaa panostaa energiatehokkuuden parantamiseksi. Yleisen määritelmän mukaan yhden asteen muutos lämpötilassa aiheuttaa 5 % muutoksen rakennuksen lämmitysenergiantarpeeseen [33].

Energian säästämiseksi lämpötiloja voidaan tiputtaa esimerkiksi päivällä, jolloin asukkaat ovat yleensä töissä. Myös öisin voidaan pudottaa joidenkin huoneiden lämpötiloja, jossa ei oleskella yöaikaan. Loma- tai työmatkoja varten järjestelmään voidaan ohjelmoida asetus, joka tiputtaa lämpötilaa hieman enemmän koko rakennuksesta poissaolon ajaksi. Järjestelmän avulla voidaan myös huolehtia, ettei rakennuksen sisälämpötila laske alle määriteltyjen raja-arvojen, jos esimerkiksi ikkuna unohtuisi auki kovan pakkasen aikana [33].

Valaistuksen energiankulutusta voidaan pienentää kodinohjausjärjestelmän avulla huomattavasti. Eri tunnelmaa vaativille tilanteille voidaan ohjelmoida valmiiksi oikeita valaistustiloja [33].

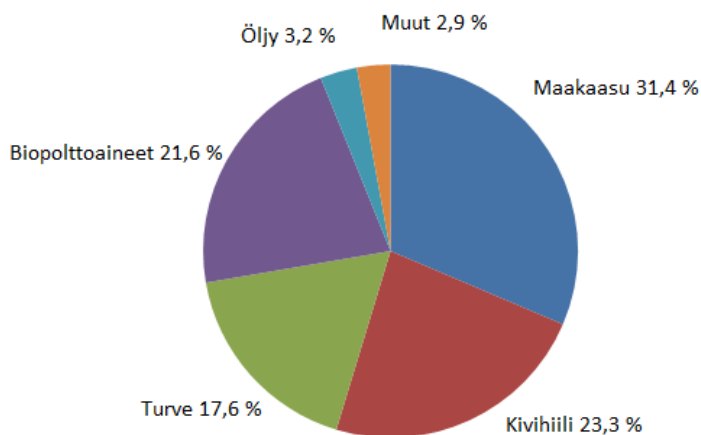
Kodinohjausjärjestelmät eivät ole kaikista edullisimpia, mutta tapauskohtaisesti investointia kannattaa harkita. Järjestelmän hinta riippuu pientalon koosta, järjestelmän laajuudesta ja monesta muusta tekijästä, joten tarkkaa hintaa on mahdoton lähteä arvioimaan. Kodinohjausjärjestelmällä varustettu uusi pientalo voi säästää noin 10 % vuosittaisista kokonaisenergiakustannuksista verrattuna taloon, jossa järjestelmää ei ole [33].

### **4.3 Kaukolämpö**

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto kaikki rakentaminen huomioon otettuna. Kaukolämmityksen osuus koko Suomen lämmitysmarkkinoista on noin 46 % luokkaa ja asukkaina se vastaa noin 2,7 miljoonaa suomalaista. Lähes 95 % asuinkerrostoista Suomessa ovat kaukolämmitettyjä. Taloudellisimmillaan kaukolämmitys on tiheästi asutuilla alueilla, jossa on paljon isoja rakennuksia [34].

Kaukolämpö on erittäin energiatehokasta ja ympäristöystävällistä, koska se hyödyntää hukkalämpöenergiaa, jota syntyy esimerkiksi sähkön tuotannon yhteydessä. Kaukolämmön tuottaminen tapahtuu erillisissä lämpökeskuksissa tai sähköä ja lämpöä tuottavissa yhteisvoimalaitoksissa. Noin 75 % kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa ja loput 25 % erillisissä lämpökeskuksissa. Kaukolämpöä tuotetaan vaihtoehtoisil-

la polttoaineilla kuten, kivihiilellä, maakaasulla, turpeella, öljyllä tai puulla (kuva 10) [36].



Kuva 10. Kaukolämmön polttoaineet energialähteittäin vuonna 2011 [36].

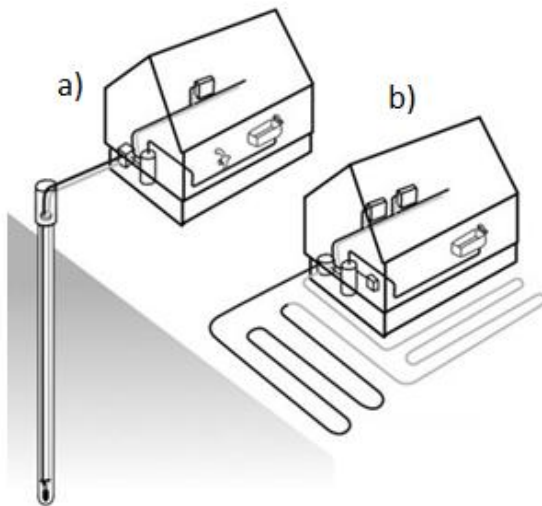
Asiakkaalle lämpöenergia siirtyy kuuman veden avulla, joka kiertää kaukolämpöverkossa. Kuuma vesi siirtää lämpöenergiaa asiakkaan talon lämmönjakokeskukseen, jossa lämmönsiirtimien kautta lämpöenergiaa siirtyy edelleen rakennuksen lämmönjakoverkoon. Lämmönsiirrin erottaa kaukolämpöverkon ja asiakkaan lämmitysverkoston toisistaan, joten kaukolämpöverkossa kiertävä vesi ei kierrä rakennuksen lämmitysverkostossa. Menoveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65 – 115 °C välillä ja paluueden lämpötila 40 - 60 °C välillä [34].

Lämmönjakokeskus pientaloissa käsittää lämmönsiirtimet, säätölaitteet, kiertovesipumput, paisunta- ja varolaitteet, mittarit ja sulkuventtiilit. Yleisin lämmönjakotapa kaukolämpöaloissa on vesikeskuslämmitys, joka on toteutettu patteri- tai lattialämmityksenä [35].

Pientalojen osalta kaukolämmön osuus on noussut hieman vuosien aikana, mutta kalliit hankintakustannukset ja rajoitettu saatavuus vaikuttavat edelleen kaukolämmön suosioon kuluttajien keskuudessa [35].

#### 4.4 Maalämpö

Maalämpö on ympäristöystävällinen ja ekologinen lämmitysmuoto. Maalämpöpumppu hyödyntää maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta auringon tuottamaa lämpöenergiaa, jota käytetään rakennuksen lämmitykseen. Maalämpöä varten tarvitaan maalämmön keruuputkisto, joka upotetaan syväälle kallioperään 80 – 200 metrin syvyyteen. Vaihtoehtoisesti putkisto voidaan asentaa maahan vaakatasoon, jolloin keruuputkisto asennetaan noin yhden metrin syvyyteen (kuva 11) [38].

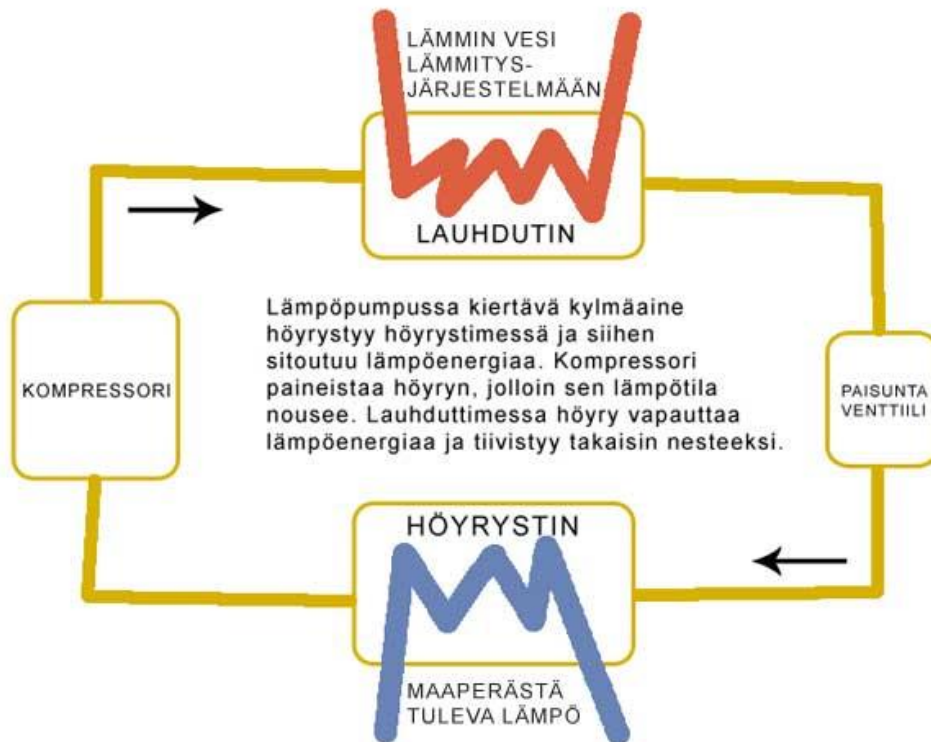


Kuva 11. Maalämmön keruuputkisto [39].

Putkisto voidaan tietyissä tapauksissa sijoittaa myös vesistöön, jolloin keruuputkisto ankkuroidaan vesistön pohjaan painoja apuna käyttäen. Kaikissa edellä mainituissa tapauksissa keruuputkisto liitetään rakennuksen päässä maalämpöpumppuun, jonka kompressori toimii sähköllä. Keskimäärin maalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä  $\frac{2}{3}$  on maaperästä kerättyä uusiutuvaa energiaa ja loput  $\frac{1}{3}$  lämmöstä on tuotettu sähköllä [38].

Maalämpöjärjestelmän keruuputkistossa kiertää jäätymätön neste, joka lämpenee kiertojärjestelmässä maasta saadun lämpöenergian johdosta. Lämmennyt neste ohjataan höyrystimeen, joka höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Höyrystynyt kylmäaine nousee kompressoriin, jossa sen painetta nostetaan, kunnes lämpötila lähtee nou-

semaan. Höyry siirtyy edelleen lauhduttimeen, jossa se muuttuu nesteeksi, samalla vapauttaen lämpöenergiaa rakennuksen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Takaisin nesteeksi muuttunut kylmäaine ajetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen ja kierto alkaa alusta (kuva 12) [38].



Kuva 12. Maalämpöpumpun toimintaperiaate [40].

Maalämpöpumput ovat kovassa nosteessa pientalorakentajien keskuudessa ja vuonna 2011 lähes 50 % uusista pientalorakentajista valitsi maalämmön ensisijaiseksi energialähteeksi. Maalämpöpumpun investointikustannukset ovat suurimmasta päästä, uudessa 120 – 180 neliömetrin pientalossa 12 000 – 20 000 euron luokkaa. Maalämpöpumpun vuotuiset käyttökustannukset ovat halvimmasta päästä, joten pitkällä aikavälillä tarkasteltuna investointi voi olla kannattava [38].

#### 4.4.1 Keruupiirit vertailussa

Syvälle maaperään pystysuunnassa poratut keruupiirit, tutummin lämpö- tai porakaivot ovat yleisiä Etelä-Suomessa, koska keruupiiri ei vaadi suurta tonttia. Lämpökaivo on lämmönkeruuvaihtoehtona kustannuksiltaan selvästi kallein vaihtoehto. Noin 60 % kaikista maalämpökohteista toteutetaan lämpökaivotyyppisesti, noin 30 % toteutetaan vaakakeruuputkistojen avulla ja loput vesistöihin asennetuilla keruupiireillä [38].

Vaakakeruupiirejä suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon, että putkilenkkien väli on oltava vähintään 1,5 metriä. Maapintakin vaikuttaa keruupiirin tehokkuuteen, savimaan ollessa kaikista tehokkain ja hiekkamaa selvästi heikoin. Savi- ja hiekkamaan vertailussa, savimaahan toteutettu lämmönkeruupiiri tarvitsee keskimäärin 30–40 % vähemmän putkimetrejä kuin hiekkamaa [38].

Vesistöön asennettava keruupiirin putkisto tulisi asentaa vähintään kahden metrin syvyyteen, jotta vesi voi talvellakin liikkua putkiston ympärillä, ilman jäätymisvaaraa. Lämpötila putkiston ympärillä ei saisi laskea alle + 1 °C, ettei putkiston pintaan vahingossakaan muodostu jäätä. Vesistöön rakennetusta putkistosta saadaan lähtökohtaisesti irti enemmän tehoja maaputkitukseen verrattuna, koska veden maaperä omaa paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet [38].

#### 4.4.2 Maalämpöpumpun ja keruupiirin mitoitus

Maalämpöpumpun mitoituksessa täytyy ottaa huomioon rakennuksen lämmitettävä pinta-ala, materiaalit, vuotuinen arvioitu energiantarve, asukasmäärä ja kerrosmäärä. Lämpöpumppu voidaan mitoittaa joko täysi- tai osatehoiseksi. Täysitehoinen pumppu tuottaa tarvittavan lämmön ja lämmittää käyttöveden ilman erillisiä sähkövastuksia. Tämä on taloudellinen ja energiatehokas mitoitustapa lämpöpumpulle [41].

Osatehoisessa mitoituksessa pumppu tuottaa edelleen suurimman osan energiasta, mutta lisäenergian tarpeessa, esimerkiksi kulutushuippujen aikaan maalämpöpumpun lisälämmitysvastus tuottaa lopun tarvittavan energian [41]. Osatehomitoituksessa pumppu

mitoitetaan noin 60 – 80 % suuruudelle laskennalliseen huipputehoon verrattuna. Osamitoituksen hyvinä puolina voidaan pitää pidempää kompressorin kestoikää ja hieman lyhyempää investoinnin takaisinmaksuaikaa. Haittapuolina voidaan pitää suurempaa lisäenergian tarvetta sähköverkosta [38].

Lämpöpumpun mitoituksella ei ole suoranaista vaikutusta keruupiirin mitoitukseen, vaan lämmönkeruupiiri mitoitetaan vuotuista energiantarvetta vastaavaksi. Esimerkiksi vaakakeruuputkiston mitoitukseen ja energiatehokkuuteen vaikuttavat maapinta ja maan kosteus [38].

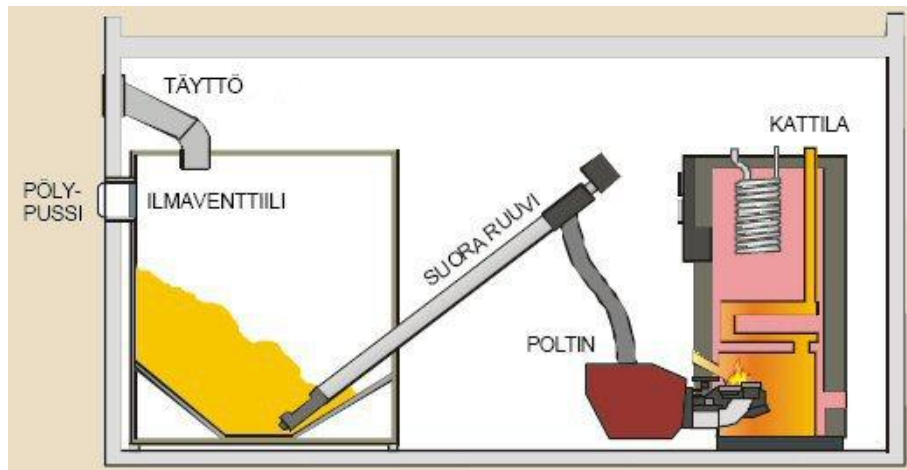
Parhaiten maalämpöpumput sopivat pientaloihin, jotka käyttävät vesikiertoista patteri- tai lattialämmitystä. Lattialämmityspotkistoissa kulkevan veden ei tarvitse olla niin lämmintä kuin patterilämmitysjärjestelmässä, jolloin lämpöpumpun hyötysuhde paranee [38].

#### **4.5 Pellettilämmitys**

Puupelletit ovat kotimaista puhdasta bioenergiaa, joilla lämmittäminen on taloudellista ja ympäristöystävällistä. Laskennallisesti puupellettien polttaminen ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja samalla hiukkaspäästöt pysyvät alhaisina. Puupellettejä valmistetaan muun muassa kutterinpurusta, hiontapölystä ja sahanpurusta. Valmistusvaiheessa puupelletit puristetaan pieniksi kappaleiksi kovassa lämpötilassa, joista saadaan sylinterimäisiä 10–40 millimetriä pitkiä pellettejä. Normaalisti 130–150  $m^2$  pientalon lämmittämiseen ja käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan noin 6 - 8 kuutiota puupellettejä vuodessa [42].

Pellettilämmitysjärjestelmään kuuluu lämmityskattila, poltin, siirtoruuvi ja varastosiiilo. Siilo toimii varastointipaikkana pelleteille ja sen koko riippuu pientalon pinta-alasta. Normaalisti kahdeksan kuution siilo riittää omakotitaloon. Yleensä pellettilämmitystalossa lämmitystapana toimii vesikeskuslämmitys, joka on toteutettu lattia- tai patterilämmityksenä [43].

Pelletit siirretään varastosiilosta polttimelle siirtoruuvilla, jossa polttimen ohjausyksikkö säätelee polttimen toimintaa lämmöntarpeen mukaan (kuva 13). Keskuslämmitysjärjestelmän automaatio huolehtii polttimen toiminnoista, kuten tehonpudotuksista [42].



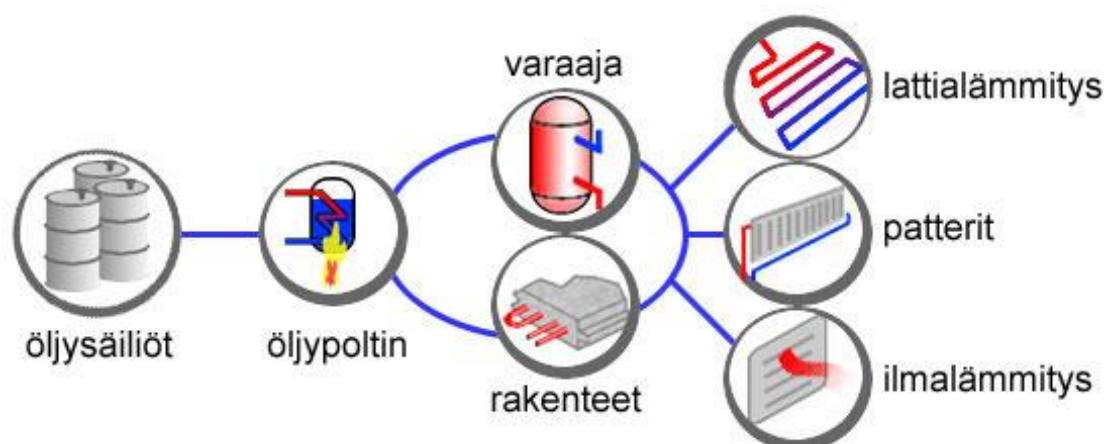
Kuva 13. Pellettijärjestelmän toimintaperiaate [44].

Pellettilämmitteisen pientalon huonoina puolina voidaan pitää ylimääräistä, jopa keskimääräistä suurempaa teknisen tilan tarvetta, jonne laitteisto ja varastosiilo sijoitetaan. Järjestelmä vaatii myös säännöllistä huoltoa [42].

#### 4.6 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, polttimesta, öljysäiliöstä ja säätölaitteista. Öljylämmitystaloissa lämmönjakotapana toimii vesikeskuslämmitys. Öljypolttimessa poltetaan öljyä, joka lämmittää lämmitysverkostossa kiertävän veden. Öljylämmityksen osuus pientaloissa on nykyään erittäin pieni, joka johtuu öljyn hinnan nousujohteisesta kehityksestä ja öljyn hinnan suurista vaihteluista [45].

Öljylämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta voidaan parantaa, liittämällä rinnalle esimerkiksi aurinkosähköä hyödyntävä tukijärjestelmä, jolla voidaan kattaa jopa 25–30 % vuotuisesta lämpöenergiatarpeesta [45].



Kuva 14. Öljylämmitysjärjestelmän periaate [46].

## 4.7 Tukilämmitysjärjestelmät

Tukilämmitysjärjestelmä toimii täydentävänä lämmitysjärjestelmänä varsinaisen päälämmitysjärjestelmän rinnalla. Tukilämmitysjärjestelmän tehtävänä on kompensoida ostettavan energian määrää ja täten lämmityskustannuksia, jotta rakennuksista saataisiin energiatehokkaampia. Yleisimpiä tukilämmitysjärjestelmiä ovat aurinkokeräimet, varaava tulisija ja ilmalämpöpumppu [47].

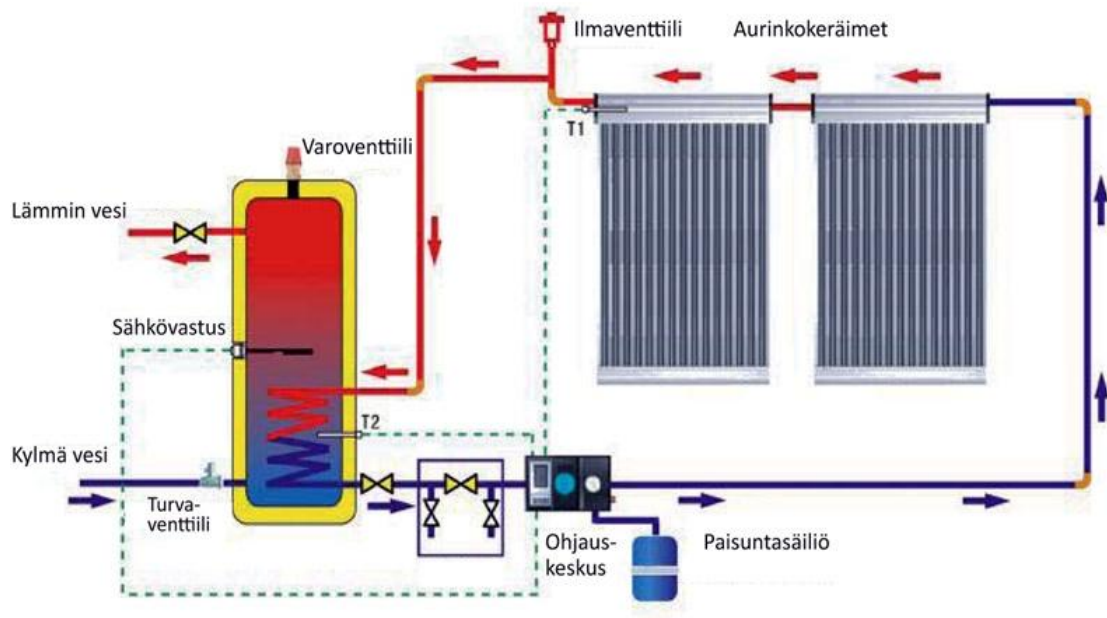
### 4.7.1 Aurinkolämmitys

Aurinkolämmityksellä tarkoitetaan tapaa, jossa auringon tuottamaa energiaa hyödynnetään rakennuksen käyttöveden tai sisäilman lämmittämiseen. Aurinkolämmitysjärjestelmässä auringon tuottamaa lämpöenergiaa kerätään katolle asennettujen aurinkokeräinten avulla. Yleisesti aurinkolämpöä käytetään lähinnä käyttöveden lämmitykseen, mutta kerääjien tehokkuudesta riippuen aurinkokeräijät voidaan liittää myös vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään suuremman hyödyn saavuttamiseksi [47].

Aurinkokeräinten avulla kerätyn lämpöenergian määrä voi olla järjestelmästä riippuen hyvinkin suuri voi ja sillä voidaan tuottaa jopa 50 % lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittavasta energiasta. Optimaalisessa tilanteessa jopa 25–35 % vuotuisesta kokonaisenergiasta voidaan tuottaa aurinkolämmön avulla, jos aurinkokeräät on liitetty lämmitysjärjestelmään. Suomessa auringon energiaa voidaan hyödyntää helmikuun ja marraskuun välisenä aikana [47].

Järjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, varaajasta, putkistosta ja pumppuyksiköstä. Auringon säteilyenergia lämmittää keräimiä, joista lämpöenergia siirtyy putkistossa virtaavaan jäätymättömään lämmönsiirtonesteeseen. Neste kulkeutuu lopulta varaajaan, jossa se lämmittää veden [47].

Teoriassa keräimet tulisi suunnata etelää kohti ja asennuskulman tulisi olla  $45^\circ$ . Käytännössä tämä ei ole aina mahdollista, mutta keräimet tulisi pyrkiä suuntaamaan kaakko – etelä - lounas akselille  $30^\circ - 50^\circ$  kulmaan [51].



Kuva 15. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate [48].

Aurinkosähköjärjestelmissä auringon energia muutetaan sähköksi aurinkopaneelin avulla. Aurinkopaneelijärjestelmä on yleinen paikoissa, jonne sähköverkko ei ylety. Tyypillisiä käyttökohteita ovat kesämökit ja saaristokohteet [48].

#### **4.7.2 Tulisija**

Uusiin pientaloihin asennetaan lähes poikkeuksetta varaava takka, joka toimii lämpöä varaavana lisälämmönlähteenä. Lämmitystarve uusissa pientaloissa vähenee jatkuvasti parantuneiden eristysratkaisujen ja eritoten matalaenergia- ja passiivienegeriarakentamisen ansiosta. Tulisija toimii myös erinomaisena varalämmönlähteenä mahdollisten ongelmatilanteiden kohdalla. Varaava takka sitoo itseensä lämpöä ja ihannetapauksessa luovuttaa lämpöä pienellä teholla tasaisesti pitkin päivää, jottei sisäilma kuumene kerralla liikaa [47].

Asunnon pinta-alasta, varaavan tulisijan koosta ja tulisijan paikasta riippuen tulisijan hyötysuhde voi olla jopa 80–85 % luokkaa ja sillä voidaan tuottaa jopa 1/3 koko rakennuksen lämmöntarpeesta. Sähkölämmitteisissä taloissa varaavasta takasta hyödytään varsinkin kovien pakkasten aikaan, jolloin kulutushuiput ovat kovimmillaan [47].

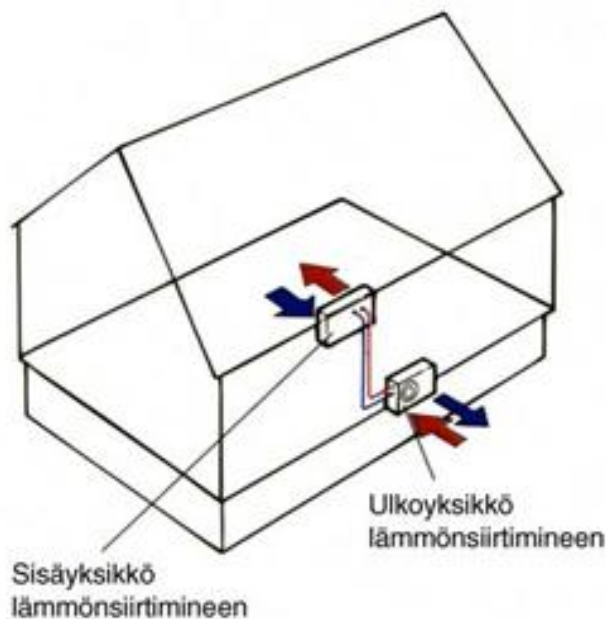
#### **4.7.3 Ilmalämpöpumppu**

Ilmalämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköistä. Ulkoyksikkö koostuu höyrystymisestä, kompressorista ja automaattikan ohjauslaitteista. Sisäyksikkö toimii puhaltimena, joka kierrättää huoneilmaa. Ilmalämpöpumpulla voidaan kattaa jopa 40 % rakennuksen huonetilojen lämmittämiseen tarvittavasta energiasta [49].

Ilmalämpöpumppu toimii lähes samalla tavalla kuin aikaisemmin työssä esitelty maalämpöpumppu, jossa lämpö siirtyi putkistoissa kulkevan lämmönsiirtonesteen välityksellä höyrystimelle. Ilmalämpöpumppu ottaa suoraan lämpöä ulkoyksikön läpi menevästä ulko-ilmasta, josta lämpö siirtyy sisä- ja ulkoyksikön välillä kiertävän kylmäai-

neen välityksellä. Sisäyksikön tehtävä on kierrättää talon sisäilmaa lävitseen samalla sitä lämmittäen. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde riippuu ulkoilman lämpötilasta [47].

Sisä- ja ulkoyksikkö tulee sijoittaa lähelle toisiaan (kuva 16) ja kylmäaineputket on eristettävä riittävän hyvin. Sisäyksikön sijoittelussa tulee ottaa huomioon keskeinen sijainti, jotta ilma leviää mahdollisimman tasaisesti huoneistoon. Ulkoyksikköä ei kannata ensisijaisesti sijoittaa lähelle makuuhuonetta, koska puhallinäänet saattavat aiheuttaa häiritsevää ääntä [49].



Kuva 16. Ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikkö [50].

Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumpun toiminnot käännetään päinvastoin, jolloin sisäyksikön tehtäväksi jää sisäilman jäähdytys, jonka jälkeen ulkoyksikkö poistaa jäähdytetyn ilman. Keskimäärin jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumppu kuluttaa  $150 \text{ m}^2$  pientalossa noin 200 – 300 kilowattituntia vuodessa [49].

#### 4.8 Lämmitysjärjestelmien kustannukset

Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannuksia tarkastellaan yleensä 15–30 vuoden aikavälillä. Rakentajan kannattaa harkita matalaenergia- tai passiivienergiataloa hyvien eristysominaisuuksien vuoksi, koska vuotuiset lämmityskustannukset tulevat pieneneväksi. Valintaan vaikuttaa suuresti lämmitettävä pinta-ala, henkilömäärä, investointikustannukset ja käyttökustannukset. Tietyn energiamuodon kalliimmat investointikustannukset maksavat sijoituksen takaisin pitemmällä aikavälillä tarkasteltuna, koska vuotuiset käyttökustannukset ovat pääsääntöisesti halvemmat [19].

Lämmitysjärjestelmien hankintakustannukset muodostuvat seuraavasti:

- suunnittelukustannukset
- lämmön jakotapa / jakojärjestelmä
- säätö- ja ohjauslaitteisto
- liittymismaksut (esimerkiksi kaukolämpöverkko)
- asennustyöt [19].

**Investointikustannusten suuruusluokkia**

Oheiset hintahaarukat sisältävät koko lämmitysjärjestelmän kustannukset eli lämmöntuotto-, lämmönvarastointi- ja lämmönjakojärjestelmät sekä liittymismaksut.

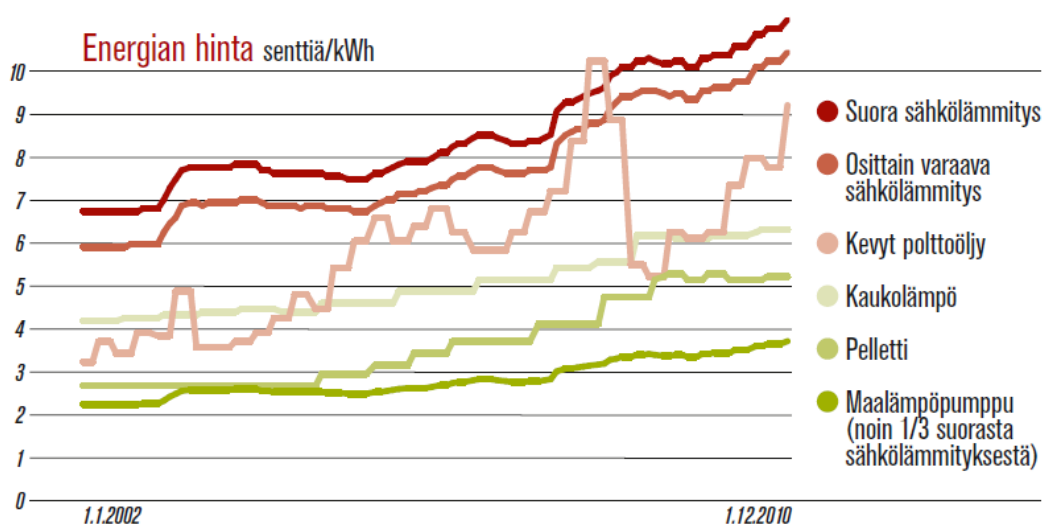
Maalämpöpumppu	15 000–20 000 €
Pellettilämmitys	10 000–20 000 €
Ilma-vesilämpöpumppu	10 000–15 000 €
Kaukolämpö	10 000–15 000 €
Öljylämmitys	10 000–15 000 €
Poistoilmalämpöpumppu	7 500–12 500 €
Vesikiertoinen sähkölämmitys	7 500–12 500 €
Huonekoht. sähkölämmitys	5 000–10 000 €

Kuva 17. Suuntaa-antavia investointikustannuksia [19].

Investointikustannusten lisäksi toinen merkittävä tekijä on vuotuiset käyttökustannukset jotka muodostuvat seuraavasti:

- rakennuksen lämmityskustannukset
- lämpimän käyttöveden lämmityskustannukset
- huoneistosähkön kulutus
- kiinteistösähkön kulutus (pumput, IV-kojeet)
- huolto- ja korjaustyöt [19].

Investointikustannuksiltaan listan kärkipäässä on maalämpöpumppu (kuva 17). Käyttökustannuksiltaan maalämpöpumppu on edullisimmasta päästä (kuva 18). Sähkölämmitteisen talon käyttökustannukset ovat listan kärkipäässä, koska sähkö on kallista. Sähkölämmitteisen talon suunnittelu ja toteutus vaatii todella paljon asiantuntemusta, jotta rakennus saadaan täyttämään kiristyneet energiamääräykset.



Kuva 18. Energian hinta [19].

Taulukosta 6 nähdään vuotuiset käyttökustannukset yleisimmille lämmitystavoille. Hinnat sisältävät lämmittämiseen tarvittavan energian ja laitesähkön vuotuisen kulutuksen. Hintaan ei ole sisällytetty mahdollisia huolto- ja korjaustyitä. Lähtötietoina kaikille lämmitystavoille vuotuinen lämmitysenergian kulutus on 18 000 kWh ja laitesähkönku-

lutus 5000 kWh. Maalämmön kohdalla lämpöpumpun COP-kerroin on kolme, jolloin yhden kilowatin kulutuksella voidaan tuottaa kolme kilowattia lämpötehoa. Öljylämmityksen kohdalla kattilan hyötysuhde on 90 %, jolloin ostoenergian määrä on hieman muita lämmitystapoja korkeampi. Kaukolämmön hinta 75,69 €/MWh on Fortumin aluehinta Joensuusta [65]. Sähkön ja öljyn hinnat ovat tammikuulta 2013 [64].

Taulukko 6. Vuotuiset käyttökustannukset ilman huolto- ja korjaustöitä noin 130 m<sup>2</sup> esimerkkitalossa.

Lämmitystapa	Lämmitysenergia (kWh / vuodessa)	Laitesähkö (kWh / vuodessa)	Energiahinta (snt / kWh)	Hinta (€ / vuodessa)
Suora sähkölämmitys	18000	5000	12,8	2944
Öljylämmitys	20000	5000	11,2	2880
Maalämpöpumppu	6000	5000	12,8	1408
Kaukolämpö	18000	5000	7,6	2008

## 5 Ilmanvaihto

Hyvä ilmanvaihto parantaa pientalon energiatehokkuutta ja sisäilman laatua. Energiatehokas pientalo pyritään rakentamaan mahdollisimman tiiviiksi, jottei ylimääräinen vuotoilmavirta heikentäisi energiatehokkuutta. Ihannetilanteessa ilma vaihtuisi vain ilmanvaihtojärjestelmän kautta, mutta valitettavasti ilma vaihtuu myös hallitsemattomina ilmapuotoina. Sisäilman tulee olla raikasta ja oleskelutilojen ilman tulisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa (ilmanvaihtokerroin 0,5 1/h). Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda raikasta ilmaa oleskelutiloihin ja poistaa epäpuhtauksia ilmasta. Tuloilmaventtiilit sijoitetaan oleskelutiloihin, esimerkiksi makuuhuoneisiin ja olohuoneeseen. Poistoilmaventtiilit sijoitetaan ”likaisiin” tiloihin, joissa epäpuhtauksia syntyy, kuten keittiö, wc ja kylpyhuone [52].

Lähes kaikkiin uusiin pientaloihin tulee koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla varustettuna. Tuloilmasta suodatetaan epäpuhtaudet pois ennen huonetiloihin johtamista ja poistoilman lämmöntalteenotolla pyritään lämmittämään tuloilmaa ilman erillistä tuloilman esilämmitystä. Tietyissä tapauksissa pelkällä poistoilman lämmöntalteenotolla ei voida lämmittää tuloilmaa tarpeeksi lämpimäksi, jolloin tarvitaan erillistä sähkövastusta tuloilman lämmittämiseen (imuilman esilämmitys) [53].

Keskimääräisesti lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone kuluttaa normaalissa perusomakotitalossa noin 900 kilowattituntia vuodessa. Koneellisen ilmanvaihdon hyvät säätömahdollisuudet luovat edellytyksen puhtaalle ja raikkaalle sisäilmalle. Tyypillisesti ilmanvaihtokoneissa on käyttökytkin, jossa on neljä asentoa (kuva 17). Käyttökytkimellä voidaan säätää ilmanvaihdon tehoa tilanteen mukaan ja näin ollen vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen [52].

#### **Asento 1**

- poissaoloasento, kun asunto on tyhjiällä
- huom! 1-asento ei ole riittävä, jos asuntoon jää kuivuvaa pyykkiä

#### **Asento 2**

- asunnossa oleskelee yksi tai kaksi henkilöä
- tyhjiällä olevassa asunnossa kuivataan pyykkiä
- pakkaskeleillä usein riittävä asento isommallekin porukalle

#### **Asento 3**

- normaaliasento, jolla tyypillisesti saavutetaan mitoitusilmamäärä
- asunnossa oleskelee useampi henkilö
- normaali ruuanlaitto
- pyykin kuivaus, pesutilojen kuivaaminen suihkussa käynnin jälkeen

#### **Asento 4**

- ilmanvaihdon tehostusasento
- käryn poisto ruuanlaiton yhteydessä
- saunominen

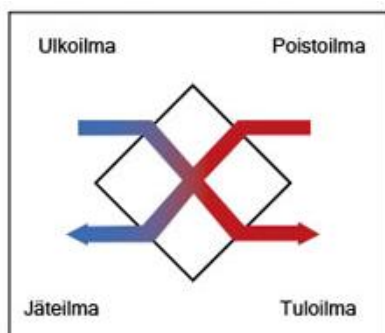
Kuva 17. Ilmanvaihtokoneen kytkimen asennot [52].

Tuloilman lämpötilan säädöllä on suuri merkitys energiatehokkuuteen. Kylmällä ilmalla poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia ei välttämättä riitä tuloilman lämmittämiseen, jolloin energiankulutusta kasvattaa jälkilämmitysvastuksen käyttö. Tuloilman lämpötilan asetusarvoista ja jälkilämmitysvastuksen tehosta riippuen, lisälämmityksen tarvitsema energiankulutus voi nousta jopa 320 kWh vuodessa 1 °C kohti. Tämä pätee ainoastaan, jos puhalluslämpötila on huonelämpötilaa korkeampi [52].

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 määrittää seuraavat arvot koneelliselle ilmanvaihdolle ja ilmanvaihdon energiatehokkuudelle:

- Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja pelkän poistoilmajärjestelmän teho 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).
- Ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmitykseen kuluneesta lämpömäärästä [13].

Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton tehokkuutta kuvataan lämpötila- ja vuosihyötysuhteella. Lämpötilasuhteella tarkoitetaan lämmöntalteenottokennon kykyä ottaa lämpöä talteen poistoilmasta standardoidussa tilanteessa. Ilmanvaihtokoneen valinnassa enemmän painoarvoa kannattaa kohdistaa vuosihyötysuhteelle, joka kuvaa kuinka suuri osuus kaikesta ilmanvaihtolaitteiston tarvitsemasta lämmitysenergiasta katetaan lämmöntalteenoton avulla. Vuosihyötysuhde ottaa huomioon myös koko lämmityskauden ja lämmönsiirtimen jäätyminen eston [54]. Huonetiloista poisjohdettavasta ilmasta otetaan lämpöenergiaa talteen viileämmän tuloilman lämmitystä varten. Lämmöntalteenotto tapahtuu lämmöntalteenottolaitteen lämmönsiirtimessä (kuva 18).



Kuva 18. Lämmöntalteenoton toimintaperiaate [55].

## 6 Lattialämmitysjärjestelmän mitoitus matalaenergiataloon

Työssä on tähän mennessä esitelty uudistuneet energiamääräykset ja pientalojen yleisimmät lämmitystavat. Tässä kappaleessa esitetään konkreettinen esimerkki eräästä pientalon lämmitysratkaisusta. Esimerkkinä käytän kuvitteellista matalaenergiapientalon pohjakuvaa, jonka pohjapiirroksen piirsin Caava Designerin avulla [56]. Talon pohjakuva löytyy liitteestä 1.

Sähkölämmitysesimerkin valitsin koulutusalani suuntautumisen takia. Pääosin esimerkiksi keskitytään sähkötekniiseen puoleen ja lämmityksen mitoittamiseen. Rakennusteknisen puolen rajaan työstä pois, jottei aihe laajene liian suureksi. Rakennusmateriaalien valitseminen ja rakennuksen vaipan lämmönläpäisykertoimien laskeminen vaatisi asiantuntemusta routaeristyksestä, rakenteiden eristyksestä ja rakennustekniikasta yleisesti.

Tästä johtuen käytin rakennuksen ulkovaipan U-arvoina suuntaa-antavia arvoja, jotka ovat lähellä oikean matalaenergiatalon keskimääräisiä U-arvoja.

### 6.1 Esimerkkikohteen tiedot

Kuvitteellinen matalaenergiapientalo sijaitsee Pohjois-Karjalan alueella, Joensuun kaupungin ruutukaava-alueella. Rakennus on yksikerroksinen harkkotalo, jonka julkisivu on puuverhoiltu. Rakennuksen kerrosala on  $143 \text{ m}^2$  ja huoneistoala  $127,3 \text{ m}^2$ . Rakennus sijoitetaan siten, että suurimmat ikkunat ovat suunnattuna etelään, joilla pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon auringon säteilyenergiaa. Rakennuksessa on 1:3 harjakatto.

Päälämmitysmuotona on suora sähkölämmitys, joka on toteutettu lattialämmityksenä ja tukilämmitysmuotona on varaava tulisija. Käyttövesi lämmitetään erikseen 300 litran lämminvesivaraajassa. Ilmanvaihtojärjestelmänä toimii koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla varustettuna.

## 6.2 Rakennusvaipan lämmönläpäisykertoimet

Taulukossa 7 esitetyt matalaenergiatalon lämmönläpäisykertoimet vaihtelevat hieman lähteestä riippuen. Ne ovat enemmän suuntaa-antavia ohje-arvoja matalaenergiataloille. Taulukon arvot ovat pienimmästä päästä vertailussa, joten kyseisiä arvoja voidaan pitää hyvänä lähtökohdانا energiatehokkaalle matalaenergiapientalolle. Lopulliset arvot määräytyvät tapauskohtaisesti eristyksen ehdoilla.

Taulukko 7. Matalaenergiatalon lämmönläpäisykertoimet ( $W/m^2 K$ ) [57].

Rakenne	U-arvo
Seinä	0,12
Alapohja	0,12
Yläpohja	0,08
Ikkuna	0,8
Ovi	0,6

Alapohja on maanvastainen ja se voitaisiin toteuttaa esimerkiksi ThermiSolin PLATINA-lattialevyillä. PLATINA-lattialevyillä toteutettu matalaenergiatalon alapohjan eristepaksuuden tulisi olla vähintään 200 millimetriä, joilla saadaan matalaenergiatalon alapohjan U-arvoksi  $0,12 W/m^2 K$  [58]. Tässä esimerkkimitoituksessa alapohjan U-arvo on  $0,12 W/m^2 K$ .

Tyypillisiä yläpohjan eristeitä ovat muun muassa puhallusvilla, levyvilla, mineraalivilla ja polyuretaani. Eistemateriaalista riippuen yläpohjan eristepaksuus on tyypillisesti 350–550 mm välillä. Esimerkkimitoituksessa yläpohjan U-arvo on  $0,08 W/m^2 K$  [59].

Yleensä matalaenergia- ja passiivienergiatalot rakennetaan hyvin lämpöä eristävästä lämpöharkoista. Harkkotaloihinkin on mahdollista laitattaa puu- tai tiiliverhous, vaikka rappaus on yleisin vaihtoehto. Tässä työssä seinien U-arvo on  $0,11 W/m^2 K$ . Harkkoja löytyy useilta valmistajilta ja harkkojen tyypillinen leveys on noin 200–450 mm.

Esimerkkikohteessa on kaksi ovea ja kymmenen ikkunaa. Ikkunapinta-alaa rakennuksessa on yhteensä  $15,7 \text{ m}^2$  ja ovien pinta-alaa  $4,5 \text{ m}^2$ . Työssä ikkunoiden U-arvo on  $0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  ja ovien  $0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

### 6.3 Rakennuksen lämmitystehon tarve

Tässä kappaleessa tarkastellaan esimerkkikohteen huonekohtaisia lämpöhäviöitä, jotka ovat perustana sähkölämmityksen mitoitusta varten. Jokaisen huonetilan lämpöhäviöt on laskettu erikseen ja ne ovat taulukoituna liitteessä 2. Huonekohtaiset lämpöhäviöt muodostuvat rakenteiden läpi johtuvasta tehosta, vuotoilman lämmityksen tarvitsemasta tehosta ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta tehosta. Tässä alaluvussa esitetään rakennuksen lämpöhäviöiden laskenta teoreettisesti.

#### 6.3.1 Rakenteiden läpi johtuva teho

Johtumisteho rakenteiden läpi on ulkoseinien, ikkunoiden, ulko-ovien, yläpohjan ja alapohjan johtumistehojen summa [14].

Johtumislämmitysteho lasketaan kaavalla 1.

$$\Phi_{joht} = \Sigma H_{joht} (T_s - T_{u,mit}) \quad (1)$$

jossa

$$\Phi_{joht} = \text{johtumislämmitysteho, W}$$

$$\Sigma H_{joht} = \text{Rakennusosien yhteenlaskettu lämpöhäviö, W/K}$$

$$T_s = \text{sisäilman lämpötila, } ^\circ\text{C}$$

$T_{u,mit}$  = mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

Ulkolämpötilan arvo saadaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 liitteen yksi arvoilla (taulukko 8). Mitoittavalle ulkoilman lämpötilalle on neljä eri arvoa, jotka riippuvat maantieteellisestä säävyöhykkeestä. Esimerkkitapauksessa mitoittavana ulkoilman lämpötilana käytetään säävyöhykkeen kolme lämpötilaa (-32 °C, Jyväskylä) [14].

Taulukko 8. Mitoittava ulkoilman lämpötila [14].

*Taulukko L1.1. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.*

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

Alapohjan lämpöhäviöitä laskiessa käytetään alapohjan mitoittavaa ulkolämpötilaa, koska alapohjan alapuolisen maan lämpötila ei ole samassa lämpötilassa ulkoilman kanssa [14].

Alapohjan lämpöhäviöitä laskiessa, mitoittavana ulkoilman lämpötilana käytetään vuoden keskimääräistä ulkoilman lämpötilaa, johon lisätään 2 °C. Työn esimerkkitapauksessa pientalo sijaitsee Pohjois-Karjalassa, joten käytetään kolmannen säävyöhykkeen lämpötiloja. Alapohjan mitoittava lämpötila vyöhykkeellä kolme + 4 °C [14].

Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö  $\Sigma H_{joht}$  lasketaan rakennekohtaisesti kaavalla 2 [14].

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma(U_{ulkoseinä} * A_{ulkoseinä}) + \Sigma(U_{alapohja} * A_{alapohja}) + \Sigma(U_{yläpohja} * A_{yläpohja}) + \Sigma(U_{ikkuna} * A_{ikkuna}) + \Sigma(U_{ovi} * A_{ovi}) \quad (2)$$

jossa

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/ m<sup>2</sup> K

$A =$  rakennusosan pinta-ala,  $m^2$

Edellä esitettyjen kaavojen 1 ja 2 avulla saataisiin laskettua rakennuksen yhtenäisen vaipan johtumislämpöhäviöt. Tässä työssä sovellamme kaavoja hieman, jotta saamme laskettua huonekohtaiset lämpöhäviöt.

Huonekohtaiset johtumishäviöt lasketaan kaavalla 3 [14].

$$\Phi_{joht,huone} = H_{joht} (T_s - T_{u,mit}) \quad (3)$$

Huonekohtaiset ominaislämpöhäviöt lasketaan kaavalla 4 [14].

$$H_{joht,alapohja} = (U_{alapohja} * A_{alapohja})$$

$$H_{joht,ulkoseinä} = (U_{ulkoseinä} * A_{ulkoseinä})$$

$$H_{joht,yläpohja} = (U_{yläpohja} * A_{yläpohja})$$

$$H_{joht,ikkuna} = (U_{ikkuna} * A_{ikkuna})$$

$$H_{joht,ulko-ovi} = (U_{ulko-ovi} * A_{ulko-ovi}) \quad (4)$$

### 6.3.2 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho

Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho  $\Phi_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 5 [14].

$$\Phi_{vuotoilma} = H_{vuotoilma} * (T_s - T_{u,mit}) \quad (5)$$

Vuotoilman ominaislämpöhäviö  $H_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 6 [14].

$$H_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * Q_{v,vuotoilma} \quad (6)$$

joissa

$\Phi_{vuotoilma}$  = vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho, W

$H_{vuotoilma}$  = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  = ilman tiheys,  $1,2 \text{ kg} / \text{m}^3$

$c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti,  $1000 \text{ Ws} / (\text{kgK})$

$q_{v,vuotoilma}$  = vuotoilmavirta,  $\text{m}^3/\text{s}$

$T_s$  = sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,mit}$  = mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

Vuotoilmavirta  $q_{v,vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 7 [12].

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50*}}{(3600*x)} * A_{vaippa} \quad (7)$$

jossa

$q_{50}$  = rakennusvaipan ilmavuotoluku,  $\text{m}^3 (\text{h} * \text{m}^2)$

$A_{vaippa}$  = rakennusvaipan pinta-ala,  $\text{m}^2$

3600 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos  $\text{m}^3/\text{h} \rightarrow \text{m}^3/\text{s}$

x = kerroin, joka yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisia korkeammille rakennuksille 15

Tässä esimerkkikohteessa rakennusvaipan ilmanvuotolukuna  $q_{50}$  käytetään arvoa 1 (kuva 19).

Ilmanvuotoluku	Tiiviys	Energiansäästö
< 0,6	Passiivi	> 25 %
< 1	Kiitettävä (Rakennusmääräysten suositusarvo)	> 21 %
1 – 2	Erittäin hyvä	14 – 21 %
2 – 3	Hyvä	7 – 14 %
3 – 4	Tyydyttävä	0 – 7 %
4	Rakennusmääräysten vaatimustaso	0 %
> 4	Huono	Energian tarve kasvaa

Kuva 19. Ilmanvuotolukujen vertailua [62].

### 6.3.3 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho

Esimerkkikohteen ilmavaihtokone valittiin Valloxin katalogista. Valinta kohdistui Vallox 110 SE malliseen A+ energialuokan matalaenergiailmanvaihtokoneeseen [60]. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 75,7 %. Sisään puhallettava tuloilma pyritään pitämään lämmityskaudella vähintään 17 °C, jolloin tuloilmaa täytyy huonetilassa lämmittää enintään 4 °C, jotta saavutetaan keskimääräinen ihannehuone-lämpötila (21 °C).

Sähkölämmityksen huonekohtaisessa mitoituksessa huomioidaan ainoastaan se ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, jonka esilämmitetty tuloilma (17 °C) tarvitsee, lämmitäkseen huoneenlämpöiseksi (21 °C).

Huonekohtaisessa mitoituksessa huomioitu ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho on laskettu kaavalla 8 [14].

$$\Phi_{iv} = H_{iv} * (T_s - T_{tulo}) \quad (8)$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho on huomioitu ainoastaan niissä huoneissa, joissa on tuloilmaventtiilejä. Tuloilmaventtiilit sijoitetaan makuuhuoneisiin, olohuoneeseen, kodinhoituhuoneeseen ja eteiseen. Poistoilmaventtiilit sijoitetaan rakennuksen ”likaisempiin” tiloihin, kuten keittiöön, vessaan ja pesuhuoneeseen. Saunaan asennetaan sekä tulo-, että poistoilmaventtiili.

#### 6.4 Lattialämmityksen mitoitus

Huonekohtainen lämmityksen tarvitsema tehon tarve saadaan laskettua huonekohtaiset lämpöhäviöt yhteen. Huonekohtaiset häviöt muodostuvat ilmanvaihdon tehon, vuotoilman tehon ja rakenteiden läpi johtuvan tehon summasta. Tässä esimerkkikohteessa lattialämmityskaapelit suunnitellaan jatkuvatoimisiksi, eikä varaavuutta hyödynnetä, jolloin lattialämmityksen kaapelin teho mitoitetään huonekohtaisesti kaavalla 9. Varaavan lattialämmityksen kohdalla, kertoimena käytettäisiin arvoa 1,4 [63].

$$P_{lattiakaapeli} = 1,2 * \text{huonekohtaiset lämpöhäviöt} \quad (9)$$

Lattialämmityskaapeli täytyy suhteuttaa huonetilaan sopivaksi, jolloin lasketaan se pinta-ala, johon lattialämmityskaapeli voidaan asentaa. Kaapeleita ei asenneta kiinteiden rakenteiden alle, joihin luetaan esimerkiksi keittiön tai kodinhoituhuoneen maavaraiset kaapit ja tasot [63].

Kun lattialämmityskaapelin laskettu minimiteho on tiedossa, voidaan etsiä tilaan sopiva lämmityskaapeli. Kaapelin tehon tulee olla vähintään mitoitetun tehon verran. Tässä esimerkkikohteessa käytettyjen kaapeleiden metriteho on 10 W/ m.

Normaalisti eristetyn pientalon betonilattiassa käytettäisiin suuremman metritehon omaavia kaapeleita (20 W/m). Matalaenergiatalon pienempi huonekohtainen tehontarve mahdollistaa pienempi tehoisten kaapeleiden käytön, jotta asennusväli saadaan pidettyä sopivana.

Kun sopiva lämmityskaapeli on valittu valmistajan katalogista, tiedetään tällöin myös kaapelin pituus, metriteho, kokonaisteho, nimellisjännite ja suuntaa-antava asennusala.

Keskimääräinen asennusväli  $d$  lasketaan kaavalla 10 [63].

$$d = \frac{A}{s} \quad (10)$$

jossa

$A$  = asennuspinta-ala,  $m^2$

$s$  = kaapelin pituus, m

Tyypillinen asennusväli on 10–30 cm, mutta se riippuu tilakohtaisesti muun muassa lattiamateriaalista, lattiamateriaalin lämmönjohtavuudesta, tilan käyttötarkoituksesta ja asennettavasta pinta-alasta.

#### 6.4.1 Huonekohtaiset tulokset

Esimerkkikohteen lämpöhäviöt laskettiin huonekohtaisesti, jonka jälkeen lämmityskaapelit mitoitettiin. Taulukossa 9 on nähtävillä huonekohtaiset mitoituksen tulokset.

Taulukko 9. Huonekohtaiset mitoitus tulokset.

		KHH	PH+S	MH1	OH	K	ET	MH2	WC	MH3
Pinta-ala	m <sup>2</sup>	8,4	3,7 + 2,3	12,9	40	26	4,6	9,5	2,1	10
Asennusala	m <sup>2</sup>	8	3,7	12	35	18	4	9	1,4	9,5
Lämpöhäviöt	W	264	84,5	325	619	332	118	231	39	279
P mitoitus	W	317	101	390	743	399	142	278	47	335
P asennus	W	400	300	600	800+800	800	300	400	130	400
Kaapelityyppi		Tassu 4S	Tassu 3S	Tassu 6S	2 x Tassu 8S	Tassu 8S	Tassu 3S	Tassu 4S	ThinKit	Tassu 4S
Kaapelin pituus	m	42	29	20	79 + 79	79	29	42	13,5	42
Asennusväli	cm	19	12	59	22	23	14	21	10	23
Neliöteho	W / m <sup>2</sup>	48	50	47	40	31	65	42	62	40

Laskennassa käytetyt huonekohtaiset lämpöhäviöt löytyvät liitteestä 2.

## 6.5 Lämmityksen ohjaus ja säätö

Huonekohtaista lattialämmitystä säädetään lattia- ja yhdistelmätermostaateilla. Kosteissa tiloissa tai tiloissa, jossa oleskellaan paljain jaloin, lattian lämpötila halutaan pitää hieman korkeampana ja tasaisena, jolloin lämmitystä ohjataan lattiatermostaateilla.

Yhdistelmätermostaatti ohjaa lämmitystä mittaamalla huonelämpötilaa. Jos huoneen lämpötila laskee alle säädetyn, lattialämmitys säätää lämpötilan takaisin raja-arvojen sisälle. Yhdistelmätermostaateissa on tärkeää, että lattialämpötilan yläraja-arvot on määritelty lattiapinnan mukaan, (esimerkiksi parkettilattian maksimi pintalämpötila on 27 °C) ettei lattian pinta vahingoitu. Myös lattian minimilämpötila voidaan asettaa, jolla varmistetaan, ettei asumismukavuus kärsi lämmityksen säädön vuoksi.

Tässä työssä kodinhoitohuoneen, eteisen ja pesuhuoneen lämmityksiä ohjataan lattiatermostaateilla. Kaikissa edellä mainituissa tiloissa on klinkkerilattia, jolloin lattian lämpötila halutaan pitää mukavana. Pesuhuoneessa ja saunassa lämmin lattia poistaa myös tehokkaasti kosteutta. Edellä mainittujen tilojen lattian pintalämpötilat halutaan pitää 26–27 °C asteen välillä. Lattiatermostaatin asetusarvo on yleensä 1–2 °C suurempi, kuin todellinen pintalämpötila [61].

Taulukko 10. Lattiapinnoitteiden ihannelämpötiloja [61].

Lattiapinnoite	Lattiapinnan ihannearvo [°C]
Puu	23–28
Betoni, keraaminen laatta	24–28
PVC-matto	25–28
Kokolattiamatto	21–28

Makuuhuoneiden, olohuoneen ja keittiön lämmitystä ohjataan yhdistelmätermostaateilla. Kaikissa edellä mainituissa huoneissa on parkettilattia ja lattian pintalämpötilat halutaan pitää 23–25 °C välillä vuoden ajasta riippuen. Yhdistelmätermostaatin yhdistelmäkäytössä huoneen lämpötilaa säädetään lattia- ja huoneanturin tietojen mukaan.

Koko rakennuksen lämmityksen tarkempi ohjaus toteutetaan Enston ECO360.1 e-ohjaimella, joka on kiinteistöön asennettava valvonta- ja ohjauslaite. Talon järjestelmien ja laitteistojen ohjaus toteutetaan erilaisilla tilavariaatioilla (taulukko 11).

Taulukko 11. ECO360.1 ohjaimen tilavariaatiot [66].

Tila	Läsnäolo	Esimerkki ohjattavista asioista
<b>Kotona</b>	Asukkaita paikalla	Kiinteistö normaalitilassa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämpötilansäätö normaali</li> <li>• Murtohälytin ei-aktiivinen</li> <li>• Pistorasioissa sähköt</li> <li>• Ilmanvaihtonopeus normaali</li> </ul>
<b>Kotona turvassa</b>	Asukkaita paikalla (Nukkumassa)	Kiinteistö kuorivalvontatilassa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämpötilansäätö normaali</li> <li>• Murtohälytin aktiivinen, liiketunnistimet ei käytössä</li> <li>• Pistorasioissa sähköt</li> <li>• Ilmanvaihtonopeus normaali</li> </ul>
<b>Poissa</b>	Asukkaat poissa lyhyen ajan tai ollaan saapumassa pitkän ajan jälkeen. (Käydään kaupassa, käydään töissä, saavutaan mökille)	Kiinteistö turvatilassa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämpötilansäätö normaali</li> <li>• Murtohälytin aktiivinen, liiketunnistimet käytössä</li> <li>• Keittiön pistorasioista sähkö pois</li> <li>• Ilmanvaihtonopeus alennettu</li> </ul>
<b>Poissa pitkään</b>	Asukkaat poissa pitkän ajan (Useamman päivän poissaolot)	Kiinteistö minimienergiankulutustilassa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämpötilansäätö pudotettu</li> <li>• Murtohälytin aktiivinen, liiketunnistimet käytössä</li> <li>• Keittiön ja viihde-elektroniiikan pistorasioista sähköt pois</li> <li>• Ilmanvaihtonopeus minimillä</li> </ul>

## 6.6 Kustannukset

Kaikki työssä käytetyt tarvikkeet ovat Enston tuotteita. Taulukossa 12 on listattu asennuskaapelit ja ohjauslaitteet hintoineen. Taulukon kokonaishinta sisältää pelkät tarvikkeet ilman asennuskustannuksia.

Taulukko 12. Tarvikeluettelo.

Tuote	Tyyppi	Kpl	Yksikköhinta, €
Lämmityskaapeli 300 W	Tassu 3S	2	89,3
Lämmityskaapeli 400 W	Tassu 4S	3	121
Lämmityskaapeli 600 W	Tassu 6S	1	152
Lämmityskaapeli 800 W	Tassu 8S	3	192
Lämmityskaapeli 130 W	ThinKit EFHTK1+T	1	182,3
Lattiatermostaatti	ECO16FJW	3	93,9
Yhdistelmätermostaatti	ECO16FRJ	5	74,5
Ohjauslaite	eOhjain ECO603.1	1	989
<b>Yhteensä (sis. Alv 24%)</b>			<b>3095,1</b>

## 7 Pohdinta

Mielestäni työssä saavutettiin johdannossa määritellyt asiat hyvin. Työn tavoitteena oli tuoda ilmi uudistuneet energiamääräykset ja niiden vaikutukset pientalorakentamiseen Suomessa. Työssä myös esiteltiin pientalojen yleisimmät lämmitysjärjestelmät ja vertailtiin niiden kustannuksia. Näistä tekijöistä muodostui työlle lopputulos, jota kutsuisin energia- tai lämmitysjärjestelmäoppaaksi. Eniten työstä hyötyvät sellaiset henkilöt, jotka suunnittelevat talon rakennuttamista tai ostoa ja heidän teknillinen tuntemus on vähäisempi.

Työssä ei varsinaisesti tähdätty mihinkään tiettyyn tulokseen tai ratkaisuun kuten tutkimustyössä, vaan työstä muodostui opasmuotoinen tiivistelmä lämmitystavoista ja ener-

giatehokkuudesta. Työ ei sisältänyt sinällään kehitystyötä, mutta tämä opinnäytetyömalli oli minulle mieluinen.

Mielestäni onnistuin kirjoittamaan selvää ja helposti ymmärrettävää tekstiä, edellä mainittua kohderyhmää silmällä pitäen. Opinnäytetyöprosessin aikana suurimmaksi haasteeksi muodostui työn rajaus ja aiheen laajuus. Varsinkin viimeisessä luvussa jouduin miettimään rajausta pitkään, ettei aihe karannut liikaa sähkötekniikasta rakennustekniikkaan. Työ oli erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen minulle itselleni, koska lämmitysjärjestelmiä käsiteltiin hyvin vähän koulussa. Tämä oli yksi suurimmista syistä, miksi työtä lähdin toteuttamaan. Omasta mielestäni onnistuin kokonaisuuteen nähden hyvin ja olen lopputulokseen tyytyväinen. Esimerkkikohteen pohjakuva ei ehkä ole paras mahdollinen, mutta se ei onneksi vaikuta lopputulokseen. Opinnäytetyöprosessi kokonaisuudessaan oli opettavainen, koska aihe oli mielenkiintoinen ja ajankohtainen.

## Lähteet

1. Öljyalan keskusliitto. Päästöt ja ilmastonmuutos. 2013.  
<http://www.oil.fi/fi/ymparisto/paastot>. [Luettu 16.9.2013.]
2. Työ- ja elinkeinoministeriö. Vuoden 2013 strategia. 2013.  
[http://www.tem.fi/energia/energia-\\_ja\\_ilmastostrategiat/vuoden\\_2013\\_strategia](http://www.tem.fi/energia/energia-_ja_ilmastostrategiat/vuoden_2013_strategia). [Luettu 16.9.2013.]
3. Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto. Uudisrakentamisen energiamääräykset muuttuvat. 2012.  
<http://www.hel.fi/hki/rakvv/fi/uutiset/uudet+energiamaaraykset+voimaan+1.7.2012>. [Luettu 17.9.2013.]
4. Motiva. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. 2013.  
[http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten\\_energiatehokkuusdirektiivi](http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi). [Luettu 17.9.2013.]
5. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013.  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma). [Luettu 19.9.2013.]
6. Rakentaja. E-luku ohjaa rakentamista. 2012.  
[http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9220/eluku\\_ohjaa\\_rakentamista.htm#.UkRC6j\\_529A](http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9220/eluku_ohjaa_rakentamista.htm#.UkRC6j_529A). [Luettu 19.9.2013.]
7. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Rakennuksen energiatodistus. 2013.  
[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Rakennuksen\\_energiatodistus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus). [Luettu 20.9.2013.]
8. Finlex. Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013. 2013.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>. [Luettu 20.9.2013.]
9. Thermisol. Energiamääräykset kiristyivät 1.7.2012. 2013.  
<http://www.thermisol.fi/erista-oikein/eristaminen>. [Luettu 20.9.2013.]
10. Suomen asuntomessut. Mikä ihmeen E-luku. 2013.  
[http://www.asuntomessut.fi/sites/default/files/e-lukuesite\\_very\\_final\\_2906.pdf](http://www.asuntomessut.fi/sites/default/files/e-lukuesite_very_final_2906.pdf). [Luettu 21.9.2013.]
11. Sähkötieto Ry. ST 11.50 Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. 2013. [Luettu 20.9.2013.]
12. Sähkötieto Ry. ST 11.51 Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2013. [Luettu 20.9.2013.]
13. Harsia, P. VirtuaaliAMK. Sähkölämmityksen peruskurssi. 2009.  
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490.html>. [Luettu 25.9.2013.]
14. Sähkötieto Ry. ST 11.52 Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2013. [Luettu 20.9.2013.]
15. Tilastokeskus. Energian hankinta ja kulutus. 4. vuosineljännes 2012.  
[http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2012/04/ehk\\_2012\\_04\\_2013-03-22\\_kuv\\_014\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_kuv_014_fi.html). [Luettu 28.9.2013.]
16. Korjaustieto. Pientalon energiankulutus ja päästöt. 2013.  
<http://www.korjaustieto.fi/pientalot/pientalojen-energiatehokkuus/energiatehokkuus-pientaloissa/pientalon-energiankulutus-ja-paastot.html>. [Luettu 1.10.2013.]

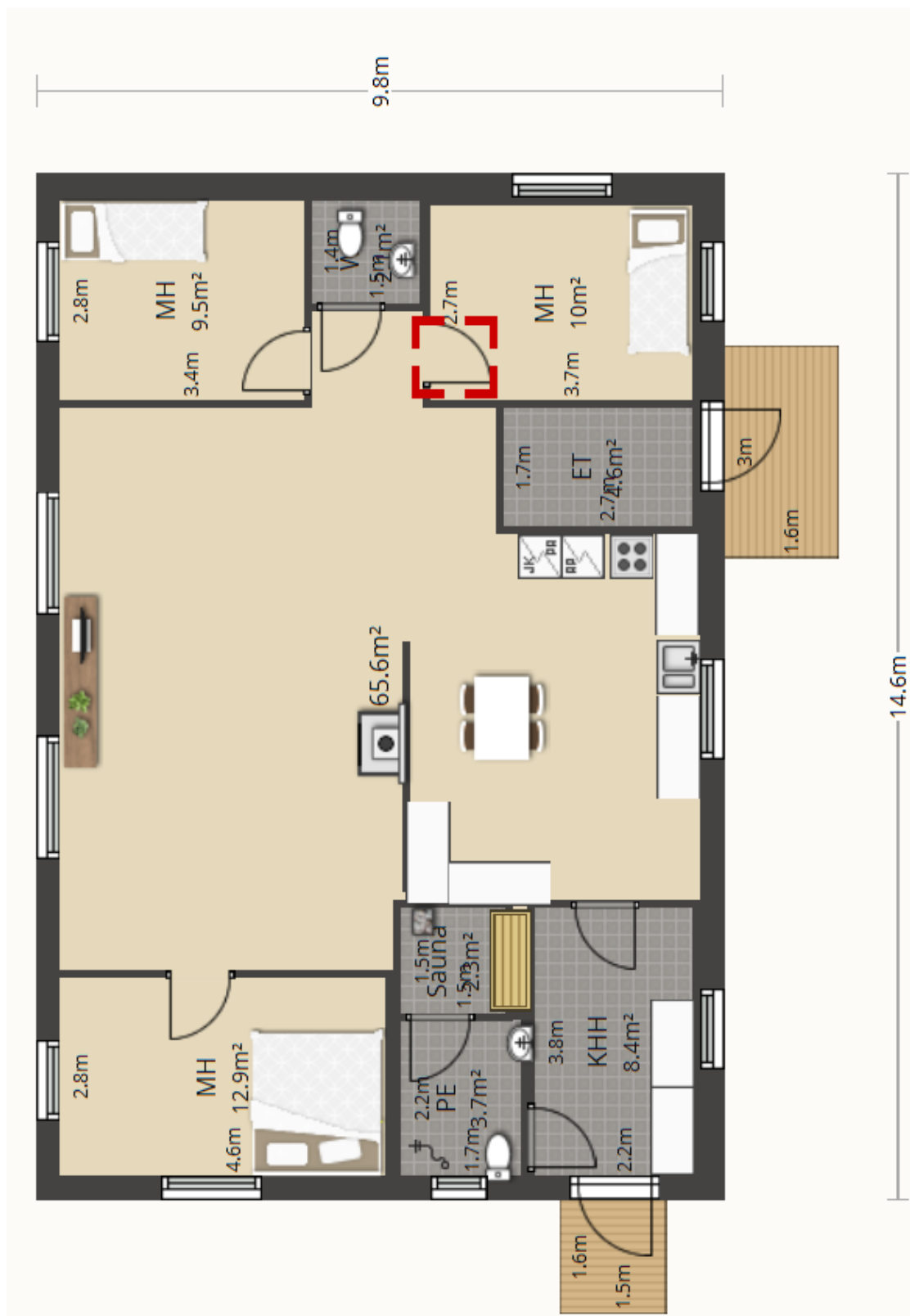
17. Motiva. Rakennetaan energiatehokas pientalo. 2013.  
[http://www.motiva.fi/files/2766/Hyva\\_talo\\_Rakennetaan\\_energiatehokas\\_pientalo.pdf](http://www.motiva.fi/files/2766/Hyva_talo_Rakennetaan_energiatehokas_pientalo.pdf). [Luettu 2.10.2013.]
18. Motiva. Matalaenergiatalon määritelmiä. 2013.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen\\_on\\_energiatehokas\\_pientalo/matalaenergiatalon\\_maaritelmiä](http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmiä). [Luettu 2.10.2013.]
19. Motiva. Pientalojen lämmitysjärjestelmät. 2013.  
[http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon\\_lammitysjarjestelmat.pdf](http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf). [Luettu 2.10.2013.]
20. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus. Suora vai varaava sähkölämmitys. 2013.  
[http://www.stek.fi/sahko\\_ja\\_rakentaja/pientalon\\_sahkolammitys/fi\\_FI/suora\\_vai\\_varaava\\_sahkolammitys/](http://www.stek.fi/sahko_ja_rakentaja/pientalon_sahkolammitys/fi_FI/suora_vai_varaava_sahkolammitys/). [Luettu 3.10.2013.]
21. Energiateollisuus. Sähkölämmitys. 2013.  
<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/sahkolammitys>. [Luettu 5.10.2013.]
22. Energiaverkko Sähkölämmitys. 2003.  
[http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/koti\\_ja\\_energia/ri\\_vitalo/sahko.htm](http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/koti_ja_energia/ri_vitalo/sahko.htm). [Luettu 8.10.2013.]
23. Mäntsälän sähkö. Kodin energiankulutus. 2013.  
[http://www.msoy.fi/energiatietoa/energiansaasto/fi\\_FI/kodin\\_energiakulutus/](http://www.msoy.fi/energiatietoa/energiansaasto/fi_FI/kodin_energiakulutus/). [Luettu 11.10.2013.]
24. Valkeakosken energia. Kodin sähkökulutus. 2013.  
<http://www.valkeakoskenenergia.fi/tabid/2698/Default.aspx>. [Luettu 7.10.2013.]
25. Motiva. Lämmönjaon vaihtoehdot, 2012.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammonjaon\\_vaihtoehdot](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot). [Luettu 10.10.2013.]
26. Sähköala. Lattialämmitys. 2013.  
[http://www.sahkoala.fi/koti/sahkolammitys/fi\\_FI/lattialammitys/\\_print/](http://www.sahkoala.fi/koti/sahkolammitys/fi_FI/lattialammitys/_print/). [Luettu 10.10.2013.]
27. Valkeakosken Energia. Kodin energiansäästöohjeita: lämmitys. 2013.  
<http://www.valkeakoskenenergia.fi/Vinkit/Kodinenergians%C3%A4%C3%A4st%C3%B6ohjeita/L%C3%A4mmitys/tabid/2721/Default.aspx>. [Luettu 10.10.2013.]
28. Ebeco. Lattialämmitys eri huoneissa. 2013.  
<http://www.ebeco.fi/lattialammitys/lattialammitys-eri-huoneissa>. [Luettu 10.10.2013.]
29. Kymenlaakson sähkö. Sähkölämmitysratkaisut. 2013.  
<http://www.ksoy.fi/kotitalouksille/rakentajille/sahkolammitysratkaisut>. [Luettu 10.10.2013.]
30. Lämmin koti. Ikkunalämmitys. 2013.  
<http://www.lamminkoti.fi/index.php?k=17615>. [Luettu 10.10.2013.]
31. Harsia, P. VirtuaaliAMK. Sähkölämmityksen ohjaus ja säätö. 2005.  
[http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/e\\_tuotanto/0505015/5h2Dcd8Db/SL\\_ohjaus\\_saato\\_moniste.pdf](http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/e_tuotanto/0505015/5h2Dcd8Db/SL_ohjaus_saato_moniste.pdf). [Luettu 10.10.2013.]
32. Sähköala. Miksi ja mihin tarvitaan kodinohjausjärjestelmää. 2009.  
[http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/sahkoala\\_koti\\_2009/lammin\\_koti/fi\\_FI/kodinohjaus/](http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/sahkoala_koti_2009/lammin_koti/fi_FI/kodinohjaus/). [Luettu 13.10.2013.]
33. Sähköala. Miten kodinohjausjärjestelmä säästää energiaa. 2009.

- [http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/sahkoala\\_koti\\_2009/suunnittelu/fi\\_FI/kodi\\_nohjaus/](http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/sahkoala_koti_2009/suunnittelu/fi_FI/kodi_nohjaus/). [Luettu 13.10.2013.]
34. Energiateollisuus. Kaukolämmitys. 2009.  
<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/>. [Luettu 13.10.2013.]
  35. Motiva. Kaukolämpö. 2011.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/kaukolampo/](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/kaukolampo/). [Luettu 13.10.2013.]
  36. Energiateollisuus. Kaukolämmön tuotanto ja polttoaineet. 2013.  
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/tuotanto-ja-polttoaineet/>. [Luettu 16.10.2013.]
  37. Energiatehokaskoti. Lämmitys. 2013. Kuva: Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry.  
[http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/). [Luettu 13.10.2013.]
  38. Motiva. Maalämpöpumppu. 2013.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/maalampopumppu/](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu/). [Luettu 17.10.2013.]
  39. Suomela. Säästää lämpöpumpuilla. 2013.  
<http://www.suomela.fi/Archive/suomela.fi/7/a/0/7a02ad2c-b66e-4213-8aff-901b6c0ff0e6.jpg>. [Luettu 17.10.2013.]
  40. Ilmalämpö. Maalämpöpumppu. 2013.  
<http://ilmalampo.org/maalampopumppu/>. [Luettu 21.10.2013.]
  41. Rakentaja. Maalämpöpumpun mitoitus ja valinta. 2013.  
<http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/kuluttaja/Slapp/lampoassa3.htm#.UnkXDxD52A8>. [Luettu 21.10.2013.]
  42. Motiva. Lämpöä puusta puhtaasti ja uusiutuvasti. 2013.  
[http://www.motiva.fi/files/1375/Lampoa\\_puusta\\_puhtaasti\\_ja\\_uusiutuvasti\\_-\\_pellettilammitys.pdf](http://www.motiva.fi/files/1375/Lampoa_puusta_puhtaasti_ja_uusiutuvasti_-_pellettilammitys.pdf). [Luettu 27.10.2013.]
  43. Motiva. Pellettilämmitys. 2011.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/pellettilammitys/](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/pellettilammitys/). [Luettu 29.10.2013.]
  44. Pellettilämpö Mitä on pelletti. 2013.  
<http://www.pellettilampo.com/vanhat/yleinen.php>. [Luettu 29.10.2013.]
  45. Motiva. Öljylämmitys. 2011.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/oljylammitys/](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/oljylammitys/). [Luettu 30.10.2013.]
  46. Energiaverkko. Öljylämmitys. 2013.  
[http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/koti\\_ja\\_energia/ri\\_vitalo/oljy.htm](http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/koti_ja_energia/ri_vitalo/oljy.htm). [Luettu 30.10.2013.]
  47. Motiva. Tukilämmitysjärjestelmät. 2013.  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/tukilammitysjarjestelmat/](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat/). [Luettu 20.10.2013.]
  48. Gree. Aurinkoenergia. 2013.  
<http://www.gree.fi/index.php?page=1022&lang=1>. [Luettu 19.10.2013.]
  49. Motiva. Lämpöä ilmassa. 2013.  
[http://www.motiva.fi/files/211/Lampoa\\_ilmassa\\_Lammitysjarjestelmat\\_ilmalampopumppu.pdf](http://www.motiva.fi/files/211/Lampoa_ilmassa_Lammitysjarjestelmat_ilmalampopumppu.pdf). [Luettu 30.10.2013.]
  50. Humiref. Ilmalämpöpumput. 2013.  
<http://www.humiref.fi/ilmalampopumput.php>. [Luettu 27.10.2013.]
  51. Ahlsell asiakaslehti. Aurinkoenergia voittaa alaa. 2010.

- <http://ahlsell.tiedottaa.fi/asiakaslehti/10-02-aurinkoenergia-voittaa-alaa.html>. [Luettu 5.11.2013.]
52. Motiva. Energiatehokas ilmanvaihto. 2013.  
[http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas\\_ilmanvaihto.pdf](http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf). [Luettu 5.11.2013.]
53. Energiateollisuus. Koneellinen ilmanvaihto. 2013.  
<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kodin-sahkolaitteet/koneellinen-ilmanvaihto>. [Luettu 8.11.2013.]
54. Energiatehokaskoti. Ilmanvaihto. 2011.  
[http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/ilmanvaihto](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto). [Luettu 8.11.2013.]
55. FläktWoods Suomi. Vastavirtakennoinen levylämmönsiirrin. 2013.  
<http://www.flaktwoods.fi/newsarchive3/eq-plate-vastavirtakennoinen-levylammonsiirrin/>. [Luettu 9.11.2013.]
56. Caavatalot. Caavadesigner. 2013.  
<http://www.caavatalot.fi/designer>. [Luettu 11.11.2013.]
57. Uponorkoti. Energialaskurin perusteet. 2013.  
[http://www.uponorkoti.fi/energialaskuri?p\\_p\\_id=efficiencycalculator\\_WAR\\_efficiencycalculatorportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=pop\\_up&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&efficiencycalculator\\_WAR\\_efficiencycalculatorportlet\\_action=viewArticle&efficiencycalculator\\_WAR\\_efficiencycalculatorportlet\\_articleId=28055](http://www.uponorkoti.fi/energialaskuri?p_p_id=efficiencycalculator_WAR_efficiencycalculatorportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=pop_up&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&efficiencycalculator_WAR_efficiencycalculatorportlet_action=viewArticle&efficiencycalculator_WAR_efficiencycalculatorportlet_articleId=28055). [Luettu 18.11.2013.]
58. ThermiSol. Platina lattia. 2013.  
<http://www.thermisol.fi/tuotteet-ja-palvelut/eriste/platina-eristeet/platina-lattia>. [Luettu 15.11.2013.]
59. Laine, J & Saari, M. VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka. Matalaenergiäharkkotalon yleissuunnitteluohje. 2002.  
[http://www.harkkokivitalo.fi/Download/25806/harkko\\_matala\\_yleissuunnitteluohje.pdf](http://www.harkkokivitalo.fi/Download/25806/harkko_matala_yleissuunnitteluohje.pdf). [Luettu 16.11.2013.]
60. Vallox. Vallox 110 SE ilmanvaihtokone. 2013.  
<http://www.vallox.com/vallox-110-se>. [Luettu 5.11.2013.]
61. Sähkötieto Ry. ST 55.11 Matalaenergiapientalon lattialämmitys. 2013. [Luettu 15.11.2013.]
62. Vertia. Ilmanvuotoluku. 2013.  
<http://www.vertia.fi/tiiveysmittaus/ilmanvuotoluku>. [Luettu 19.11.2013.]
63. Harsia, P. VirtuaaliAMK. Lattialämmityksen suunnittelu, betonilattia. 2005.  
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490/1119959757290/1119959880369/1119962385334.html>. [Luettu 17.11.2013.]
64. Lämpövinkki. Maalämmön kustannukset pikaopas. 2013.  
[http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavat\\_opaatjatyokalu/Maal%C3%A4mm%C3%B6n%20kustannukset%20pikaopas.pdf](http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavat_opaatjatyokalu/Maal%C3%A4mm%C3%B6n%20kustannukset%20pikaopas.pdf). [Luettu 15.11.2013.]
65. Energiateollisuus. Kaukolämmön hintakehitys. 2013.  
[http://energia.fi/sites/default/files/hinta\\_010713.xls](http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010713.xls). [Luettu 19.11.2013.]
66. Ensto. Ensto eOhjain. 2012.

- [http://products.ensto.com/documents/ii/heat/eOhjain\\_RAK87\\_UM2.pdf](http://products.ensto.com/documents/ii/heat/eOhjain_RAK87_UM2.pdf).  
[Luettu 20.11.2013.]
67. Vuolle, M. Equa simulation Finland Oy. Rakennuksen energiatodistus ja sen E-luvun laskenta 1.6.2013 alkaen.  
[http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistustenlaatijat/tapahtumat/et\\_vuolle\\_verkkoon\\_19032013.pdf](http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistustenlaatijat/tapahtumat/et_vuolle_verkkoon_19032013.pdf). [Luettu 5.10.2013.]
68. Wikipedia. Passiivitalo.  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Passiivitalo>. [Luettu 13.11.2013.]
69. Harsia, P. VirtuaaliAMK. Lattialämmitys. 2005.  
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490/1119952735385/1119958909384/1119961653611.html>. [Luettu 22.11.2013.]
70. Harsia, P. VirtuaaliAMK. Ikkunalämmitys. 2005.  
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490/1119952735385/1119962748923/1119962774991.html>. [Luettu 22.11.2013.]

Pohjakuva



## Huonekohtaiset lämpöhäviöt

			KHH	PH	Sauna	MH1	OH	K	ET	MH2	WC	MH3
	Huonekorkeus	m	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	ulkoseinän pituus	m	6	1,7	0	7,4	8,2	5,3	1,7	6,2	1,5	6,4
Pinta-alat	A lattia	m <sup>2</sup>	8,4	3,7	2,3	12,9	40	26	4,6	9,5	2,1	10
	A seinä	m <sup>2</sup>	11,5	3,9	0	15,56	15,7	11,6	2,05	13,8	3,75	13,06
	A katto	m <sup>2</sup>	8,4	3,7	2,3	12,9	40	26	4,6	9,5	2,1	10
	A ikkuna	m <sup>2</sup>	1,26	0,36	0	2,94	4,8	1,68	0	1,68	0	2,94
	A ovi	m <sup>2</sup>	2,2	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0
U-arvot	Lattia	W / (m <sup>2</sup> K)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	Seinä	W / (m <sup>2</sup> K)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	Katto	W / (m <sup>2</sup> K)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	ikkuna	W / (m <sup>2</sup> K)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Ovi	W / (m <sup>2</sup> K)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ominaislämpöhäviöt	H lattia	W / K	1	0,44	0,28	1,55	4,8	3,12	0,55	1,14	0,25	1,2
	H seinä	W / K	1,27	0,43	0	1,71	1,73	1,39	0,23	1,52	0,41	1,44
	H katto	W / K	0,7	0,3	0,18	1,03	3,2	2,08	0,37	0,76	0,168	0,8
	H ikkuna	W / K	0,9	0,25	0	2,06	3,36	1,18	0	1,18	0	2,06
	H ovi	W / K	1,32	0	0	0	0	0	1,32	0	0	0
Mitoitus lämpötilat	T sisä	° C	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	T ulko	° C	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32
	T lattia	° C	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Lämpöhäviöt	φjoht lattia	W	17	7,5	4,8	26,4	81,6	53	9,4	19,4	4,3	20,4
	φjoht seinä	W	67	22,8	0	90,6	91,7	73,7	12,2	80,6	21,7	76,3
	φjoht katto	W	37	15,9	9,5	54,6	169,6	110,2	19,6	40,3	8,9	42,4
	φjoht ikkuna	W	47	13,3	0	109,2	178,1	62,5	0	62,5	0	109,2
	φjoht ovi	W	70	0	0	0	0	0	70	0	0	0
	<b>YHTEENSÄ</b>	<b>W</b>	<b>238</b>	<b>59,5</b>	<b>13,5</b>	<b>280,8</b>	<b>521</b>	<b>299,4</b>	<b>111</b>	<b>202,8</b>	<b>34,9</b>	<b>248,3</b>
Vaipan pinta-ala	A	m <sup>2</sup>	31,8	11,7	4,6	44,3	100,5	65,25	13,45	34,5	7,95	36
Rakennusvaipan ilmavuotoluku	q50	m <sup>3</sup> / (h*m <sup>2</sup> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vuotoilmavirta	qv, vuoto	m <sup>3</sup> / s	3E-04	0	4E-05	4E-04	8E-04	5E-04	1E-04	3E-04	6E-05	3E-04
Vuotoilman ominaislämpöhäviö	H vuotoilma	W / K	0,3	0,11	0,044	0,422	0,96	0,62	0,13	0,324	0,076	0,34
Vuotoilman lämmitysteho	Q vuotoilma	W	15,9	5,9	2,3	22,4	50,7	33	6,8	17,2	4	18,2
Ilmatilavuus	V	m <sup>3</sup>	21		5,75	32,25	100		11,5	23,75		25
Poistoilmavirta	qv, poisto	m <sup>3</sup> / s	0,003		8E-04	0,005	0,014		0,002	0,003		0,004
Poistoilman lämpötilasuhde	Np, mit		0,3		0,3	0,3	0,3		0,3	0,3		0,3
Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö	H ilmanvaihto	W / K	2,52		0,67	5,4	11,76		1,34	2,77		2,94
Ilmanvaihdon lämmitysteho	Q ilmanvaihto	W	10,1		2,7	21,6	47			11,1		11,8
<b>Huonekohtaiset häviöt</b>	<b>Q huone</b>	<b>W</b>	<b>264</b>	<b>65,5</b>	<b>19</b>	<b>325</b>	<b>619</b>	<b>332</b>	<b>118</b>	<b>231</b>	<b>39</b>	<b>278,5</b>