

Jarkko Paukkeri

**LVI-TEKNISET ENERGIANSAÄSTÖRATKAISUT ASUINRAKEN-
NUKSISSA**

LVI-TEKNISET ENERGIANSAÄSTÖRATKAISUT ASUINRAKEN- NUKSISSA

Jarkko Paukkeri
Opinnäytetyö
Kevät 2025
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Jarkko Paukkeri

Opinnäytetyön otsikko: LVI-tekniiset energiansäästöratkaisut asuinrakennuksissa

Työn ohjaaja(t): Mikko Virpi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 40

Lvi-tekniiset energiansäästöratkaisut ovat tärkeässä roolissa tulevaisuuden rakennusteollisuudessa. Kun erilaisiin rakennuksiin valitaan rakennuksen energiatarpeelle sopivat lämmönlähteet, on mahdollista säästää isojakin summia lämmitysenergian kustannuksissa.

Lämmönlähteillä on erilaisia energia- ja investointikustannuksia. Vaikka joidenkin lämmönlähteiden investointikustannukset voivat olla korkeammat, ajan myötä alhaisempien energiakustannusten vuoksi niistä voi tulla edullisempi vaihtoehto.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia lämmönlähteitä sekä niiden vaikutuksia rakennuksen lämmityskustannuksiin. Rakennuksia on erikokoisia, ja täten ei ole vain yhtä lämmönlähdettä, joka olisi paras ratkaisu kaiken kokoisiin rakennuksiin.

Työssä käydään myös läpi erilaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä sekä laskeaan niiden kustannusvaikutuksia rakennuksen lämmityksessä.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Building Services

Author(s): Jarkko Paukkeri

Title of thesis: HVAC Energy-Saving Solutions in Residential Buildings

Supervisor(s): Mikko Virpi

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2025

Number of pages: e.g. 40

HVAC-based energy-saving solutions play a crucial role in the future of the construction industry. By selecting heat sources that match the energy needs of different buildings, it is possible to save significant amounts on heating energy costs.

Heat sources have different energy and investment costs. Although the investment costs of some heat sources may be higher, over time, the lower energy costs may make them a more cost-effective option.

This thesis explores different heat sources and their impact on a building's heating costs. Buildings come in various sizes, and therefore, there is no single heat source that serves as the best solution for all building sizes.

The thesis also examines various heat recovery systems and calculates their cost impacts on building heating.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 LVI-TEKNISET RATKAISUT	8
2.1 Lämmönlähteet.....	8
2.1.1 Maalämpö.....	8
2.1.2 Kaukolämpö	10
2.1.3 Poistoilmalämpöpumppu	11
2.1.4 Suora sähkö	13
2.1.5 Kattilajärjestelmät	14
2.1.6 Hybridijärjestelmät.....	16
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät.....	16
2.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto	16
2.2.2 Koneellinen poisto	17
2.2.3 Koneellinen tulo- ja poisto	18
2.3 Lämmönjakojärjestelmät	21
2.3.1 Vesikiertoinen lattialämmitys	21
2.3.2 Patterilämmitys.....	21
2.4 Muut lvi-tekniset ratkaisut.....	22
2.4.1 Ilmanlämpöpumppu	22
2.4.2 Aurinkokeräimet.....	23
2.4.3 Lämpimän käyttöveden kierto.....	24
3 KUSTANNUSVAIKUTUKSET.....	25
3.1 Maalämpö	25
3.2 Kaukolämpö	25
3.3 Poistoilmalämpöpumppu	26
3.4 Suora sähkö	26
3.5 Pellettilämmitys	27
3.6 Öljykattilat.....	27

3.7	Vastavirtalevy­lämmönsiirrin.....	28
3.8	Pyöriväkenno­inen LTO.....	28
3.9	Ilman­lämpöpö­pumput.....	29
3.10	Aurinkokeräimet	30
4	POHDINTA	31
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käydä läpi erilaisia lvi-tekniisiä energiansäästöratkaisuja lämmönlähteiden sekä kustannusarvioiden muodossa. Lämmitysenergian hintojen noustessa ihmisiä on alkanut kiinnostaa entistä enemmän se, mikä olisi energiatehokkain lämmitysmuoto esimerkiksi omaan rakennukseen.

Lämmönlähteiden hinnat muodostuvat esimerkiksi energiakustannuksista sekä investointikustannuksista. Tässä työssä tarkastellaan lämmönlähteiden erilaisia kustannuksia niiden elinkaaren aikana sekä pohditaan, mikä olisi järkevin vaihtoehto esimerkiksi 120 m²:n pientaloon. Koska rakennuksia on erikokoisia sekä niiden lämmitysenergian tarve vaihtelee rakennuksen mukaan, on tärkeää ottaa huomioon erilaiset investointi- ja energiakustannukset.

2 LVI-TEKNISET RATKAISUT

Lvi-tekniisillä ratkaisulla pyritään löytämään energiatehokkaita ratkaisuja rakennuksen energiankulutuksen vähentämiseksi. Erilaisia energiankulutukseen liittyviä elementtejä ovat lämmitysratkaisut, käyttövesiratkaisut sekä ilmanvaihtoon liittyvät ratkaisut.

2.1 Lämmönlähteet

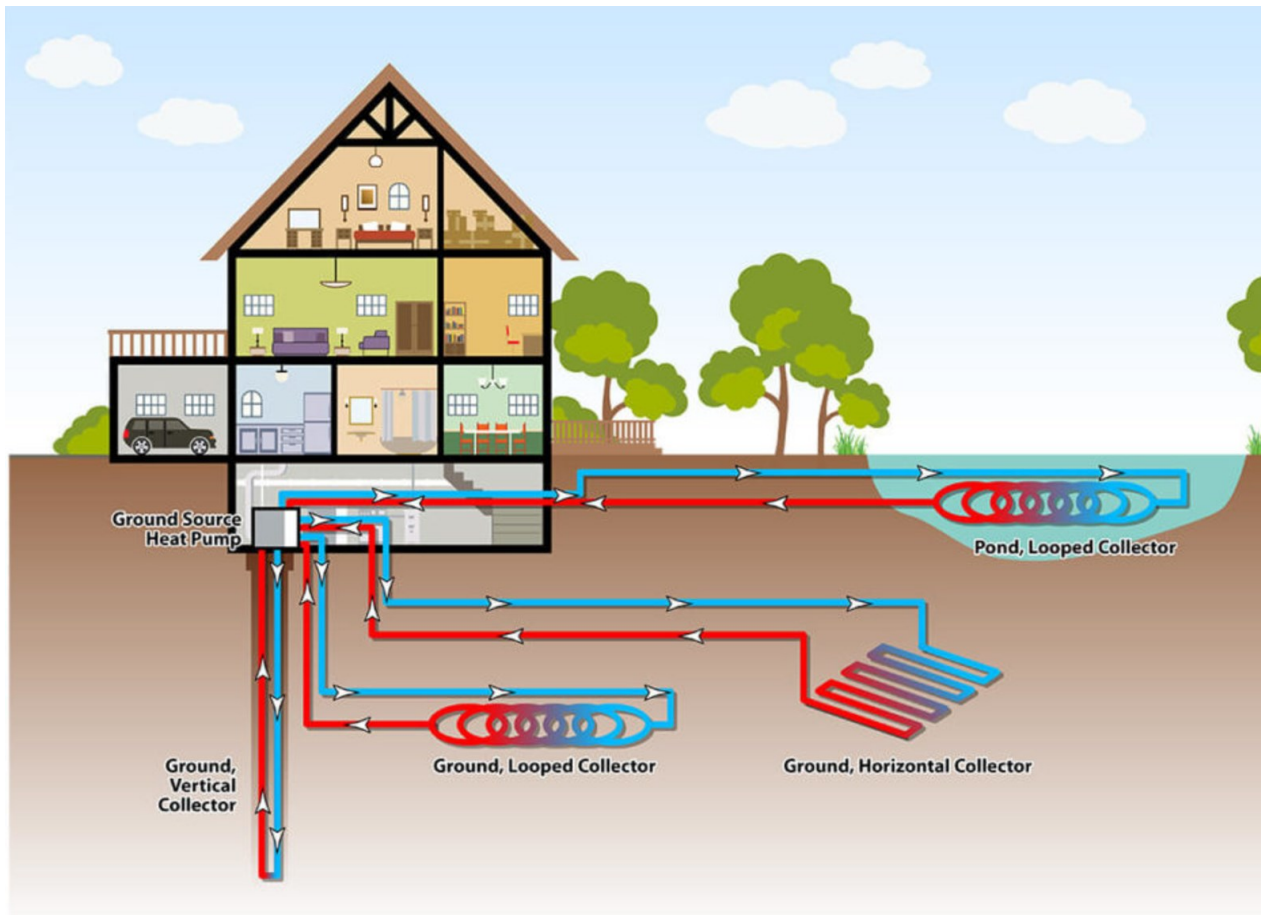
Lämmönlähteillä tarkoitetaan esimerkiksi laitteita tai järjestelmiä, joilla tuodaan lämmitysenergiaa rakennuksen käyttökohteisiin. Erilaisia lämmönlähteitä ovat esimerkiksi maalämpö, kaukolämpö, poistoilmalämpöpumppu, kattilajärjestelmät ja hybridilämmitys. (1.)

Tulevaisuuden kannalta olisi hyvä valita mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittava lämmitysjärjestelmä. Sopiva lämmitystapa määräytyy esimerkiksi talon koon ja rakennuspaikan mukaan. Vähän lämmitysenergiaa vaativa talo on kestävä kehityksen kannalta paras vaihtoehto. (2, s. 3.)

2.1.1 Maalämpö

Maalämpö on hyvä ratkaisu, kun tavoitteena on lämmittää rakennusta energiatehokkaasti. Suurin osa nykyisistä maalämpöratkaisuista suoritetaan lämpökaivoilla. Lämpökaivo pystytään asentamaan myös ahtaille tonteille, mutta lämmönkeruuvaihtoehtona se on yleensä kallein. (3.)

Vaakaputkistoratkaisua käytetään noin 30 prosentissa kohteista. Vaakaputkiratkaisu hyödyntää auringon säteilemää lämpöenergiaa, joka on varastoitunut maaperään. Lämmönkeruupiiri pystytään asentamaan kuvan 1 mukaisesti myös veteen, mutta tämäntyyppinen ratkaisu on erittäin harvinainen, ja vain noin 5 prosenttia piireistä on toteutettu tällaisella ratkaisulla. (3.)



KUVA 1. Maalämmön toimintaperiaate (4)

Maalämpö sopii sekä saneerauskohteisiin että uudisrakennuksiin. Rakennuksen aiempi lämmitysjärjestelmä voidaan vaihtaa suoraan maalämpöpumppuun. Maalämpöputkiston asennus vaatii kohdekunnan teknisen toimen myöntämän toimenpideluvan. (5.)

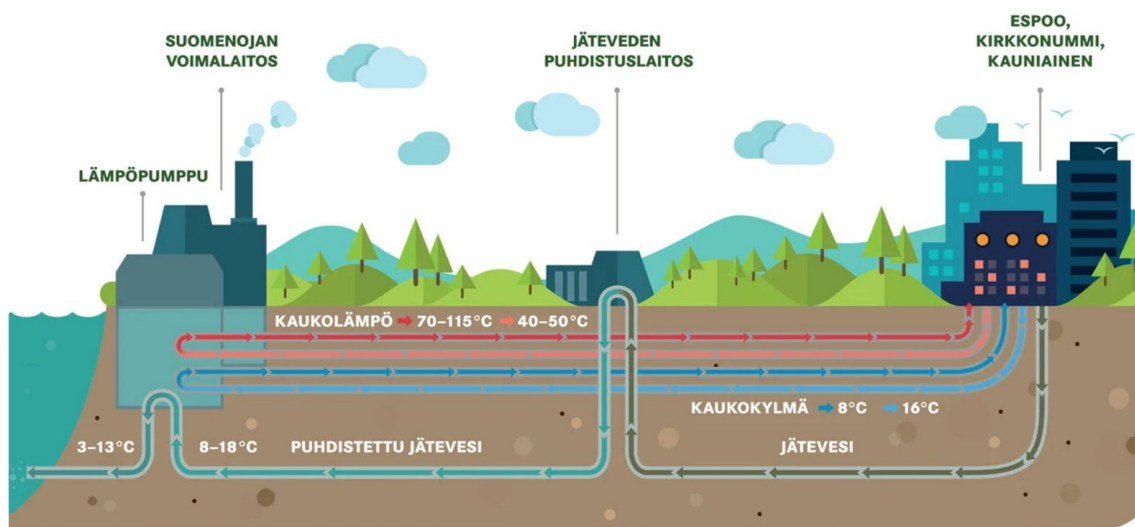
Tontin koko ja maaperän laatu vaikuttavat siihen, voidaanko esimerkiksi maalämpöpumpun vaatimaa vaakaputkistoratkaisua asentaa (6, s. 4). Kosteaa savinen maaperä on lämmöntuotannon kannalta parempi vaihtoehto kuin hiekkaan asennettu järjestelmä. Roudan liikuttamat kivet voivat kivisessä maaperässä vaurioittaa putkistoa. Vaakaputkistoratkaisua asennetaan noin metrin syvyyteen routarajan alapuolelle. Vesistöistä saadaan yhtä paljon lämmitysenergiaa kuin hyvästä porakaivosta. (6, s. 17.)

Porakaivo on hyvä vaihtoehto, kun peruskallio on riittävän lähellä maan pintaa. Porakaivon toteutuksessa on varmistettava, että pintavedet eivät pääse pohjaveiteen. Porakaivon syvyys on yleensä 100–200 metriä. Porakaivoja voidaan tarvittaessa tehdä useampiakin, mutta tällöin niiden on oltava 15–20 metrin etäisyydellä toisistaan. (6, s. 17.)

2.1.2 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Kaukolämpöä pystytään tuottamaan erilaisissa yhteistuotantolaitoksissa sekä erillisissä lämpölaitoksissa. Yhteistuotantolaitos tarkoittaa sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, kun turbiineista otetaan talteen sähköntuotannon yhteydessä syntyvä hukkalämpö. Yhteistuotantolaitokset ovat hyötysuhteeltaan erinomainen vaihtoehto. (7.)

Kaukolämmön hiilijalanjälki riippuu siitä, minkä prosessin kautta sitä tuotetaan. Puhdistetun jäteveden sisältämää energiaa voidaan kuvan 2 mukaisesti hyödyntää kaukolämmön tuotannossa. Erilaisia kaukolämmön polttoaineita ovat esimerkiksi kivihiili, maakaasu, puu ja turve. Kun etsitään vähähiilistä vaihtoehtoa, kannattaa kaukolämmön polttoaineena hyödyntää esimerkiksi biokaasua, pellettiä tai haketta. (7.)



KUVA 2. Kaukolämmön toimintaperiaate (8)

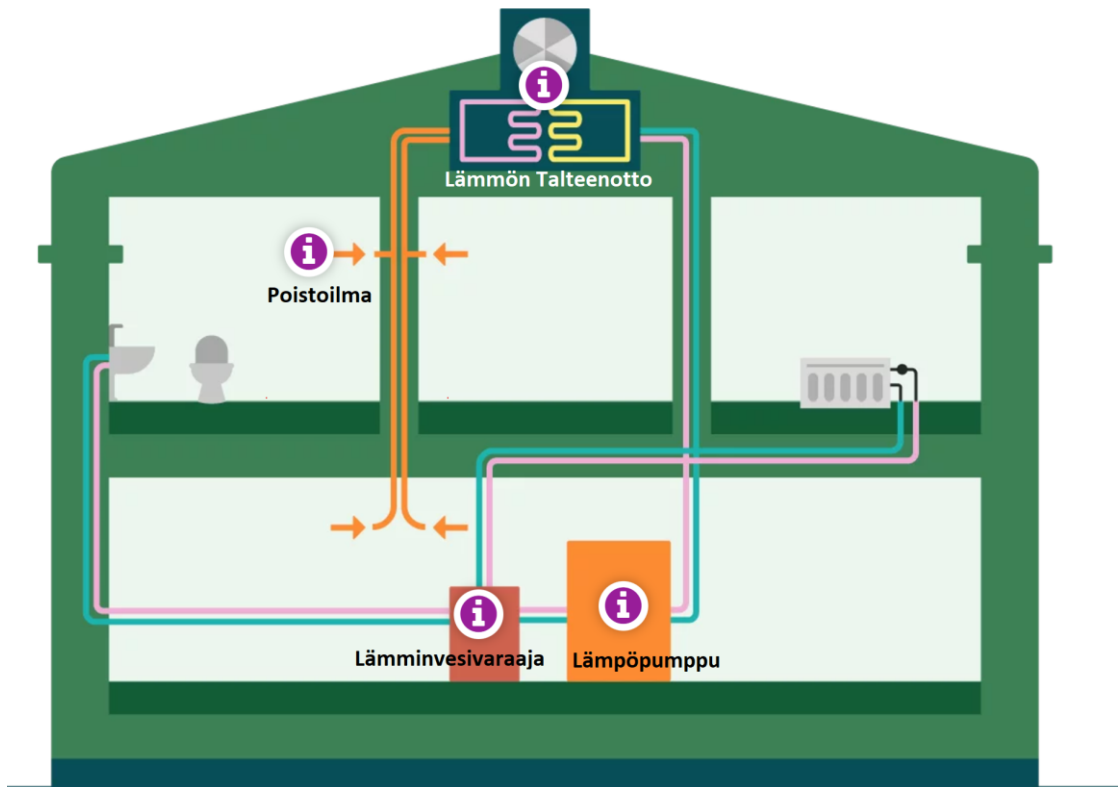
Energiatehokkuuden parantamiseksi sekä ympäristövaikutusten minimoimiseksi on kaukolämmön tuotannossa otettu käyttöön erilaisia tuotantomenetelmiä. Energiatehokkaan rakentamisen myötä on todennäköistä, että rakennusten lämmitys-tarve tulee tulevaisuudessa pienenemään. Tämä tarkoittaa myös sitä, että erityisesti kesällä rakennuksen jäähdytystarve tulee kasvamaan. (9.)

Useilla paikkakunnilla on alettu käyttämään lämpöpumppuja hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Hukkalämpöä on hyödynnettävissä esimerkiksi kiinteistöjen jäähdytyksen lauhdelämmöstä, kaukojäähdytyksestä tai jätevesistä. Tämä lisää energiategokkuutta sekä on ympäristön kannalta täten ystävällinen vaihtoehto. (9.)

Jos taas tavoitteena on rakennuksen jäähdyttäminen, on siihen olemassa kaukojäähdytysvaihtoehto. Kaukojäähdytyksen toiminta on samantapainen kuin kaukolämmössä, mutta siinä lämpöenergia kulkee täysin vastakkaiseen suuntaan. Kaukokylmä tuotetaan keskitetyssä kaukojäähdytyslaitoksessa, josta se siirretään asiakkaalle kaukokylmäputkessa sijaitsevan kylmän veden avulla. Rakennuksen ylimääräinen lämpöenergia sitoutuu kylmään veteen, ja se lähetetään paluuputken kautta kaukojäähdytyslaitokselle. (9.)

2.1.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpulla tarkoitetaan laitetta, joka kerää lämmitysenergiaa rakennuksen poistettavasta ilmasta kanaviston kautta. Poistoilmasta saatu lämpöenergia voidaan kuvan 3 mukaisesti siirtää lämpöpumpun kautta esimerkiksi vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään tai tuloilmaan. Poistoilmalämpöpumppua kannattaa käyttää tiloissa, joissa lämmitysenergiatarve ei ole kovin suuri, sillä lämmönlähteenä oleva sisäilman lämpötila ei oleellisesti muutu vuoden aikana. (10.)



KUVA 3. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate (11)

Poistoilmalämpöpumppu on hyvä ratkaisu kohteissa, jossa sisätilavuus on suuri verrattuna lämmitystehon tarpeeseen. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu siksi erinomaisesti passiivi- tai matalaenergiataloon. Passiivi- ja matalaenergiatalo ovat energiatehokkuudeltaan hyviä ja täten eivät vaadi lämmittämiseen niin paljon energiaa kuin esimerkiksi vanhemmat rakennukset. (12.)

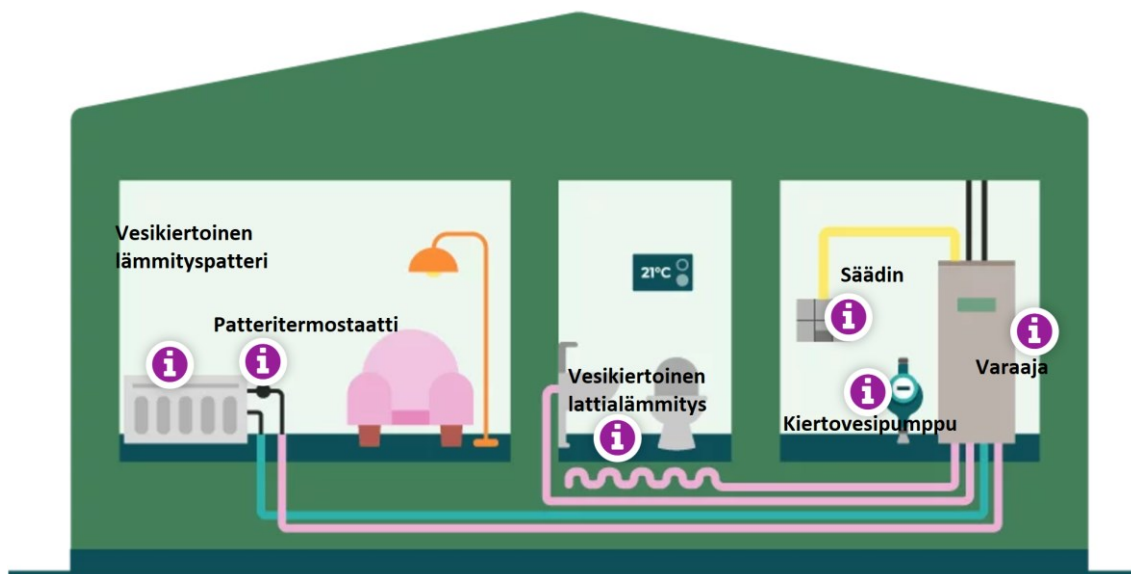
Poistoilman energiatehokkuus ei kuitenkaan riitä koko rakennuksen energiantarpeelle. Useimmiten tilojen tai käyttöveden tarvitsemalle lisälämmölle käytetään lämpöpumpun vesivaraajan sähkövastusta. Myös muilla lämmitysmenetelmillä, kuten ilmalämpöpumpulla, voidaan tuottaa tilojen lisälämpöä. (12.)

Joissakin mallivaihtoehdoissa poistoilmalämpöpumput voivat tuottaa käyttöveden ja tuloilman lämmityksen kompressorin avulla, jolloin lämmitysverkon lämpö saadaan pelkästään sähkövastuksista. Pakkasjaksoissa kannattaa hyödyntää myös muita energianlähteitä poistoilmalämpöpumpun rinnalla, jottei ostettavan sähköenergian määrä karkaa korkeaksi. (12.)

Poistoilmalämpöpumpun lämmönlähteenä on 21–25-asteinen sisäilma, joka tarkoittaa sitä, että poistoilmalämpöpumpun lämmöntuotto on suhteellisen vakaa vuoden ympäri. Erilaisten lämpökuormien ja kesäisen ilmaston yhteisvaikutuksesta poistoilman lämpötila on yleensä korkeampi kesällä verrattuna talveen. (12.)

2.1.4 Suora sähkö

Sähkölämmityksellä tarkoitetaan prosessia, jossa sähköenergia muutetaan lämmityslaitteen avulla kuvan 4 mukaisesti lämmitysenergiaksi. Sähkölämmitys on mahdollista toteuttaa huonekohtaisena tai vesikiertoisena. Lähtökohtaisesti suoran sähkölämmityksen energianhinta on korkeampi kuin useimmissa muissa lämmönlähteissä. Tämän vuoksi sähkölämmitystä kannattaa käyttää rakennuksissa, joissa on vähäinen lämmitysenergiatarve. (13, s. 22.)



KUVA 4. Vesikiertoisen sähkölämmityksen toimintaperiaate (14.)

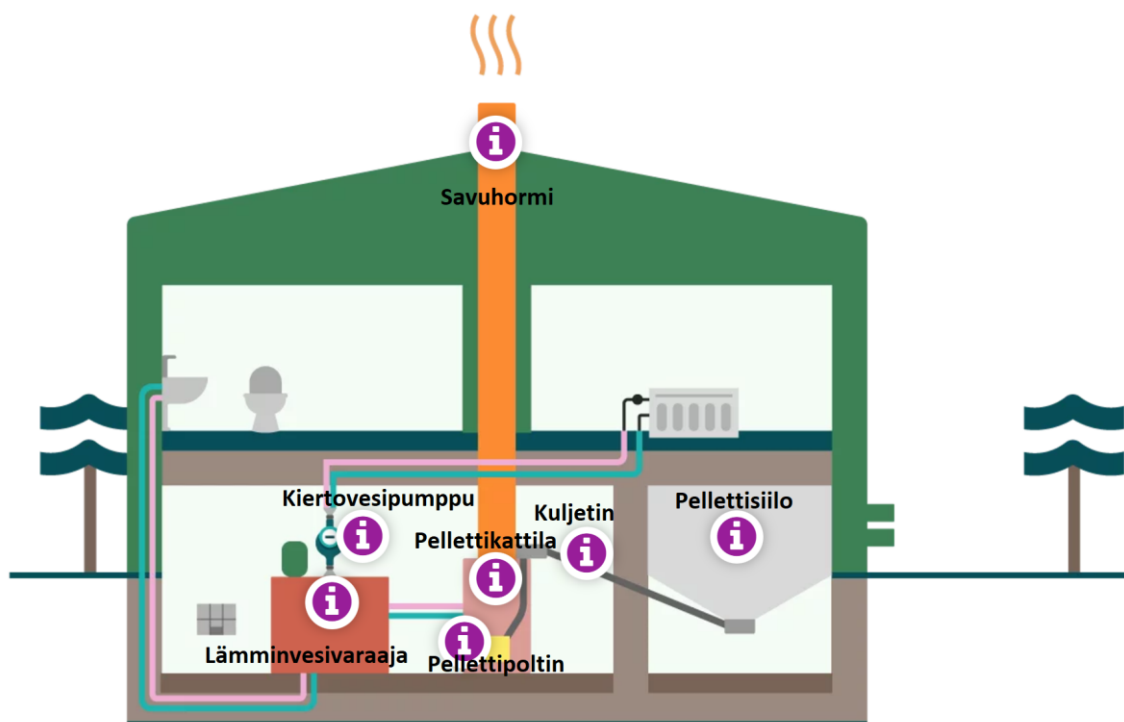
Sähkölämmityksen energiantarvetta voidaan vähentää uusiutuvaa energiaa hyödyntävällä tukilämmityksellä esimerkiksi ilmanlämpöpumpulla. Tällaista järjestelmää kutsutaan hybridilämmitykseksi, kun kaksi eri lämmitysmuotoa on kytketty rinnakkain. (15.)

2.1.5 Kattilajärjestelmät

Kattilajärjestelmät voivat hyödyntää energianlähteenään erilaisia polttoaineita, joita ovat esimerkiksi pelletti, puu ja öljy. Puukattiloissa käytetään polttoaineena pilkkeitä, halkoja tai haketta. (16.) Öljykattiloissa käytetään nimensä mukaisesti öljyä. Kattiloiden käyttöikä on noin 25 vuotta. Kun kattilajärjestelmien käyttöikä on päättymässä, laskee niiden hyötysuhde ja kattilajärjestelmän päivittäminen tulee ajankohtaiseksi. (17.)

Pellettilämmitys

Puupelletit ovat pieniä ja tiiviiksi puristettuja sylinterinmuotoisia tappeja, joita käytetään pellettikattilan polttoaineena (kuva 5). Pellettien raaka-aineet koostuvat pääosin sahajauhoista, kutterinpurusta tai esimerkiksi sahateollisuuden sivutuotteena syntyneestä hiontapölystä. Puupelletin etuihin kuuluu sen ympäristöystävällisyys sekä toiminnan helppous. Pellettilämmitys on myös hyötysuhteeltaan hyvä vaihtoehto, sillä yksi kuutio pellettejä vastaa energiamäärältään noin 300–330 litraa kevyttä polttoöljyä. Kun pellettikattila nuohotaan sekä puhdistetaan tasan väliajoin, on pellettien palaminen tällöin tasaista ja aiheuttaa vähemmän hiukkaspäästöjä. (18.)



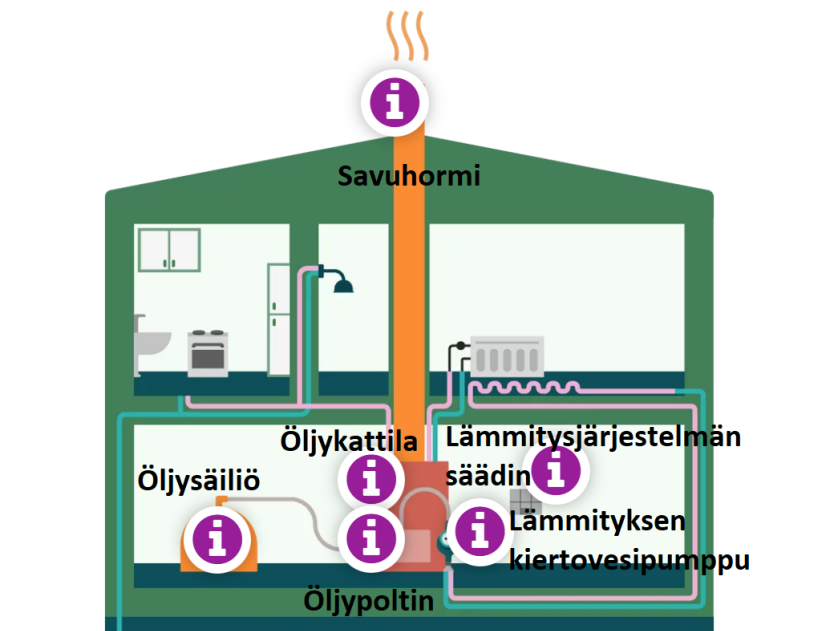
KUVA 5. Pellettilämmityksen toimintaperiaate (19)

Hake, pilke- ja halkokattilat

Puukattiloilla tarkoitetaan järjestelmää, jossa polttoaineena käytetään esimerkiksi haketta, pilkkeitä tai halkoja. Puukattilan lämmityksen etuihin kuuluvat polttoaineen edullinen hinta sekä polttoaineen uusiutuvuus. Jotta palaminen olisi mahdollisimman tasaista, tulee kiinnittää huomiota polttoaineen kuivuuteen. Yhdellä pesällisellä polttoainetta on mahdollista lämmitellä noin vuorokausi. Parhaimmilla puukattiloilla on mahdollista saavuttaa yli 80 %:n nimellisteho. (20.)

Öljykattilat

Öljykattilajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa polttoaineena käytetään nimensä mukaisesti öljyä (kuva 6). Öljylämmityksen rinnalla on mahdollista käyttää myös aurinkolämmitystä, kaksoispesäkattilaa tai ilma-vesilämpöpumppua. Tällaisia rinnakkain käytettäviä järjestelmiä kutsutaan myös nimellä hybridijärjestelmä. Öljykattilan hyötyihin kuuluvat asennuksen helppous sekä energiatehokkuus. Haittapuolina voidaan pitää polttoaineen korkeaa hintaa ja ympäristöystävällisyyttä. (21.)



KUVA 6. Öljylämmityksen toimintaperiaate (22)

2.1.6 Hybridijärjestelmät

Hybridilämmityksessä lämmitysmuodot joko vuorottelevat tai täydentävät toisiaan esimerkiksi vuorokauden- ja vuodenajan tai ulkolämpötilan mukaan. Yhteensopi-
via lämmitysmuotoja ovat esimerkiksi suoran sähkölämmityksen ja poistoilma-
lämpöpumpun kytkeminen rinnan tai maalämmön ja ilmanlämpöpumpun rinnak-
kainen lämmitys. (23.)

Etuna hybridilämmityksessä on joustavuus. Tavoitteena on mahdollisimman suu-
relta osin korvata ostetun energian määrä omavaraisella uusiutuvalla energialla,
mikä voi esimerkiksi tarjota houkuttelevan vaihtoehdon öljylämmitykselle. Ylei-
simpiä hybridilämmityskokonaisuuksia ovat ilmavesi-lämpöpumppu sekä rinnak-
kainen vesikiertoinen takka tai kiuas. (24.)

Kun rakennus on alle 200-neliöinen, on hybridijärjestelmä hyvä valinta. Tätä
isommissa kohteissa esimerkiksi maalämpö voisi olla järkevämpi vaihtoehto. Alle
200-neliöiselle rakennukselle hyvä hybridijärjestelmä olisi esimerkiksi talvipakka-
silla maalämpöpumpun rinnalla toimiva vesikiertotakka. Kun maalämpöpumpun
sähkönkulutus on pakkasilla korkeimmillaan, toisi vesikiertotakka tällöin tasapai-
nottavaa lämpöenergiaa. (24.)

2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät

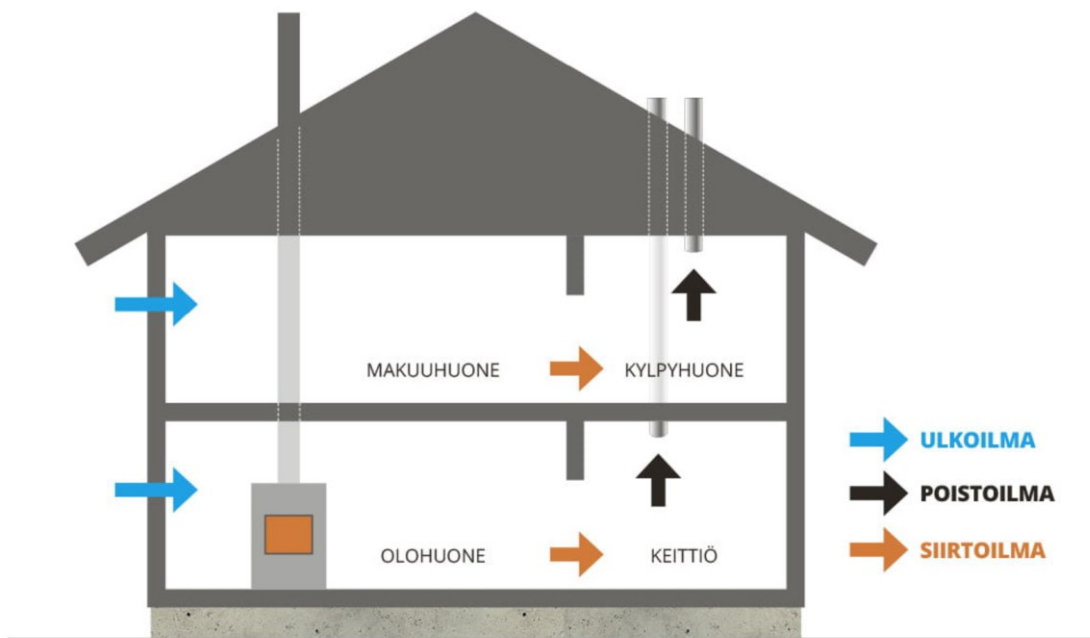
Ilmanvaihtojärjestelmillä tarkoitetaan järjestelmää, jonka tarkoituksena on pois-
taa tunkkaista sisäilmaa ja tuoda tilalle puhdasta tuloilmaa. Tuloilmakanaviston
päätelaitteet sijoitetaan yleensä rakennuksen oleskelutiloihin. Tällaisia tiloja ovat
esimerkiksi makuuhuoneet ja olohuoneet. Poistoilman päätelaitteet sijoitetaan
taas likaisiin tiloihin, joissa syntyy epäpuhtauksia. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi
keittiöt, vessat, pesu- ja kylpyhuoneet sekä vaatehuoneet. (25.)

2.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa kylmää ilmaa
kevyempi lämmin ilma nousee ylöspäin ja aiheuttaa täten ylöspäin suuntautuvan

virtauksen. Ulko- ja sisäilman lämpötilaerosta aiheutuu paine-ero, jonka myötä painovoimainen ilmanvaihto toimii parhaiten talvella, kun lämpötilaero on mahdollisimman suuri. (26.)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei ole lämmöntalteenottoa, jolloin poistoilman sisältämää lämpöenergiaa ei kyetä hyödyntämään (kuva 7). Painovoimaisen ilmanvaihdon hyödyt ovat energiansäästöä sekä järjestelmän äänettömyydessä, koska järjestelmään ei kuulu erillisiä tuulettimia. Huonoina puolina järjestelmässä on sen riippuvuus sääolosuhteista sekä niiden aiheuttamista lämpötila- ja paine-eroista. Sisäilman laatu voi olla myös heikohkoa, koska järjestelmässä ei ole erillisiä suodattimia. (26.)

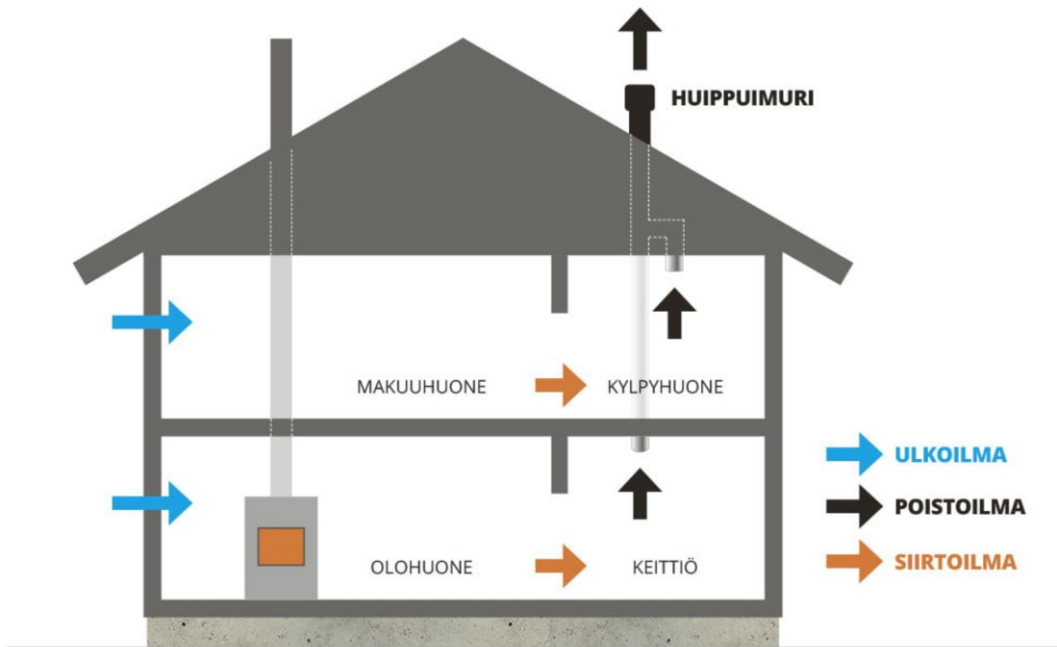


KUVA 7. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (27)

2.2.2 Koneellinen poisto

Koneellinen poistoilmanvaihto tarkoittaa järjestelmää, jossa puhaltimet poistavat ilmaa rakennuksen tiloista, joissa syntyy epäpuhtauksia. Korvaava tuloilma rakennukseen tulee joko seinässä olevien korvausilmaventtiilien tai ikkunan tiivisteisiin jätettyjen korvausilmarakojen kautta (kuva 8). Koneellisen poistoilmajärjestelmän hyöty verrattuna painovoimaiseen ilmanvaihtoon on esimerkiksi se, ettei

järjestelmä ole yhtä altis ympäröiville olosuhteille. Koneellinen poisto myös poistaa tehokkaasti epäpuhtauksia tiloista, jolloin sisäilman laatu on parempaa verrattuna painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Huonoina puolina järjestelmässä on lämmöntalteenoton puuttuminen sekä tuloilman suodattimien puuttuminen. (28.)



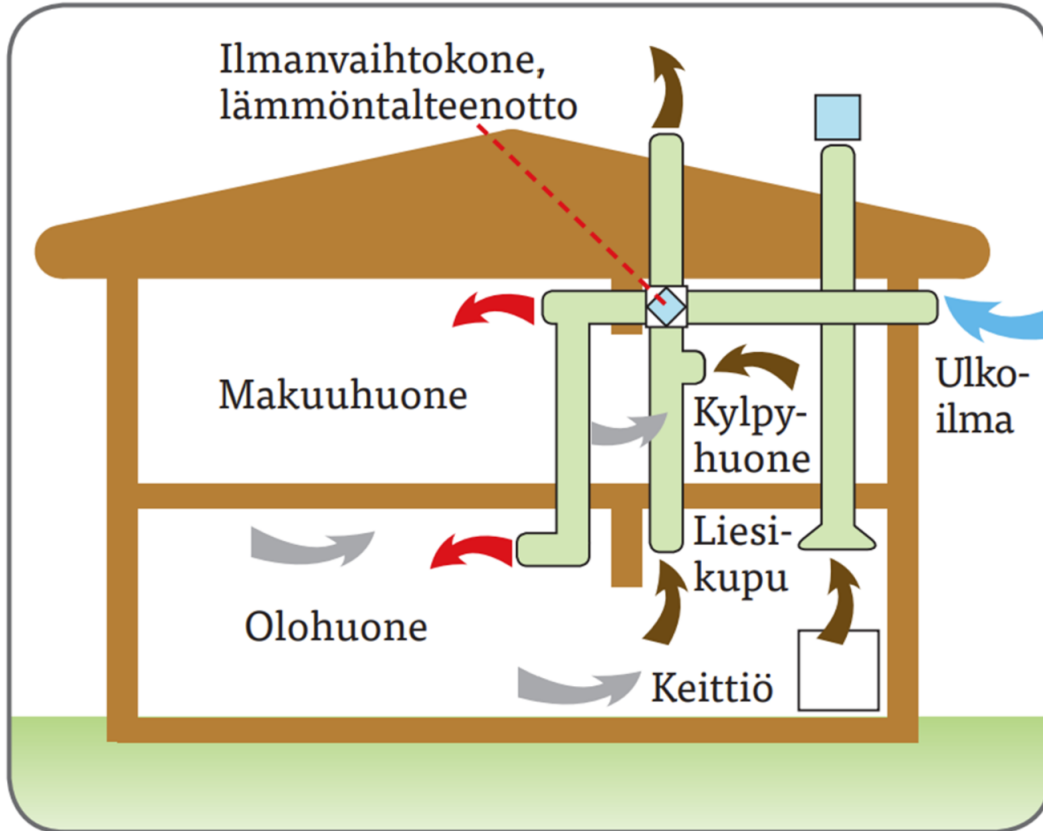
KUVA 8. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (29.)

2.2.3 Koneellinen tulo- ja poisto

Koneellinen tulo- ja poistonilmanvaihto on toteutettu ilmanvaihtokoneella, joka sisältää puhaltimet tulo- ja poistoilmalle (kuva 9). Koneellinen järjestelmä sisältää myös lämmöntalteenottokennon, jonka avulla poistoilman lämpöenergia on hyödynnettävissä. Ilmanvaihtokoneeseen sisältyy myös tuloilmasuodattimet, jolloin ulkoilman epäpuhtaudet eivät pääse sisäilmaan. Järjestelmän etuina ovat esimerkiksi ilmanlaatu ja energiansäästö. Haittapuolina voidaan pitää järjestelmän huollontarvetta, kuten suodattimien vaihtoa tai ilmanvaihtokanavien nuohousta. (30.)



Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto



KUVA 9. Koneellisen tulo- ja poistoilman toimintaperiaate (31)

Levylämmönsiirtimet

Ristivirtainen levylämmönsiirrin koostuu neliömäisistä levyistä, joista muodostuu pieniä kanavia. Lämmin poistoilma ja kylmä ulkoilma kulkevat ristikkäin levyjen välissä, jolloin lämpöenergiaa siirtyy levyjen läpi. Ristivirtaisen levylämmönsiirtimen maksimihyötysuhde on noin 60–65 prosenttia. (32, s. 181.)

Vastavirtalevylämmönsiirtimessä on muutettu ristivirtaisen levylämmönsiirtimen geometriaa siten, että ilmavirrat kulkeutuvat enemmän toisiaan vastakkaisiin suuntiin. Markkinoilla olevista laitteista levylämmönsiirtimen hyötysuhde on parhaimmillaan yli 80 prosenttia. (32, s. 183.)

Pyöriväkennoinen LTO

Pyörivä lämmönsiirrin koostuu kiekkomaisesta roottorista ja käyttölaitteistosta. Roottorin kotelo on jaettu kahteen erilliseen puolikkaaseen osaan, joista toiseen johdetaan tuloilmaa ja toiseen poistoilmaa. Pyöriessään roottori siirtää lämpöenergian poistoilmasta tuloilmaan. Roottorissa on yleensä joko ohut alumiinilevy tai keraamisesta materiaalista rakennettu kennorakenne, jossa on kolmionmuotoisia virtauskanavia. Ilman virtaus on täysin laminaarista, sillä virtauskanavat ovat hydrauliselta halkaisijaltaan niin pieniä. (32, s. 178.)

Pyörivät siirtimet voidaan jakaa kahteen eri pääluokkaan, joita ovat kosteutta siirtämättömät siirtimet ja kosteutta siirtävät eli hygroskooppiset siirtimet. Kosteutta siirtämätön roottori siirtää pääosin vain pelkkää tuntuvaa lämpöä, mutta tietyissä kosteusolosuhteissa on mahdollista saada myös jonkin asteinen kosteuden siirto. Hygroskooppinen roottori kykenee kaikissa olosuhteissa siirtämään tuntuvaa lämpöä sekä latenttia lämpöä. (32, s. 178.)

Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä lämmön siirtäminen poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu väliaineena toimivan kiertävän nesteen avulla. Poistoilmapatterin kautta kulkeva väliaine lämpenee, josta se johdetaan tuloilmapatteriin, jossa väliaine lämmittää tuloilman. Lämmönsiirtoväliaineena ei käytetä vettä vaan pumpun kierrättämää veden ja jäätymisestoaineen seosta. Poistoilman lämmönsiirtimessä tapahtuu kosteuden tiivistymistä, joten se varustetaan kondenssialtaalla, josta lattiakaivoon on johdettu vesilukon kautta kulkeva poistoputki. (32, s. 184.)

Lämmöntalteenotto lämpöpumpputekniikalla

Lämmöntalteenoton lämpöpumpputekniikalla tarkoitetaan järjestelmää, jossa yhdistyy lämmöntalteenoton sekä lämpöpumpun edut. Tässä järjestelmässä lämpöenergiaa otetaan talteen poistoilmasta ja sitä siirretään rakennuksen lämmitykseen. Säädettävyys on tärkeä osa lämmöntalteenottoa, joten parhaat tähän soveltuvat pumput ovat inverter-ohjattavat lämpöpumput. (33.)

Inverter-ohjattavissa lämpöpumpuissa teho on säädettävissä portaattomasti. Poistoilman lämpöenergia vaihtelee jatkuvasti, jolloin pelkät on/off-toiminnolla toimivat pumput eivät ole energiatehokas vaihtoehto. On/off-toiminnon pumput toimivat nimensä mukaisesti ainoastaan 0 %:n tai 100 %:n teholla. (33.)

2.3 Lämmönjakojärjestelmät

Lämmönjakojärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla lämpöä pystytään siirtämään haluttuun kohteeseen, esimerkiksi lämpimään käyttöveteen tai huoneilmaan. Lämmönjakoverkoston lämmönsiirtoaineena käytetään verkostossa kiertävää ilmaa tai vettä. Lämmönjakojärjestelmään kuuluvia erilaisia osia ovat esimerkiksi kanavisto, siirtoputkistot tai huoneilojen lämmityslaitteet. Erilaisia lämmönjakojärjestelmiä ovat esimerkiksi sähköpatterit, patteriverkosto, lattialämmityspotkisto sekä ilmakeinavat ja kaapelit. (34.)

2.3.1 Vesikiertoinen lattialämmitys

Vesikiertoisella lattialämmityksellä tarkoitetaan järjestelmää, jossa lattian alla kiertävässä putkistossa kiertää lämmin vesi, joka taas luovuttaa lämpöenergiaa lattiaan ja sitä kautta huoneilmaan. Uudisrakennuksissa vesikiertoinen lattialämmitys on yleisin lämmitysmuoto. (35.) Lattialämmitys kannattaa valita erityisesti rakennuksen kosteisiin tiloihin (36, s. 10).

2.3.2 Patterilämmitys

Patterilämmityksen hyötysuhde on hyvä ja se reagoi nopeasti lämmitystarpeen muutokseen. Sähköpattereita on kahta eri päätyyppiä. Suljetussa lämmittimessä huoneeseen siirtynyt lämpö on pääasiassa lämmittimen ulkopinnasta vapautunut lämpösäteilyä. Yhdistelmälämmitin on yleensä pienikokoisempi ja se lämmittää myös sen läpi virtaavaa ilmavirtaa. Normaalisti sähköpatterin pintalämpötila on korkeimmillaan 70 °C ja normaalikäytössä 60 °C. Lämmitystä säädetään patterin omalla termostaatilla. (36, s. 22.)

Nykyaikaista patterilämmitystä asennettaessa putkitus toteutetaan pääsääntöisesti alajakoisena, eli putkisto on mahdollisimman näkymättömissä. Tavanomaisimpana järjestelmänä käytetään nykytilanteessa kaksiputkijärjestelmää, jossa meno- ja paluuvesi kulkeutuvat omaa erillistä putkistoaan pitkin. (37.)

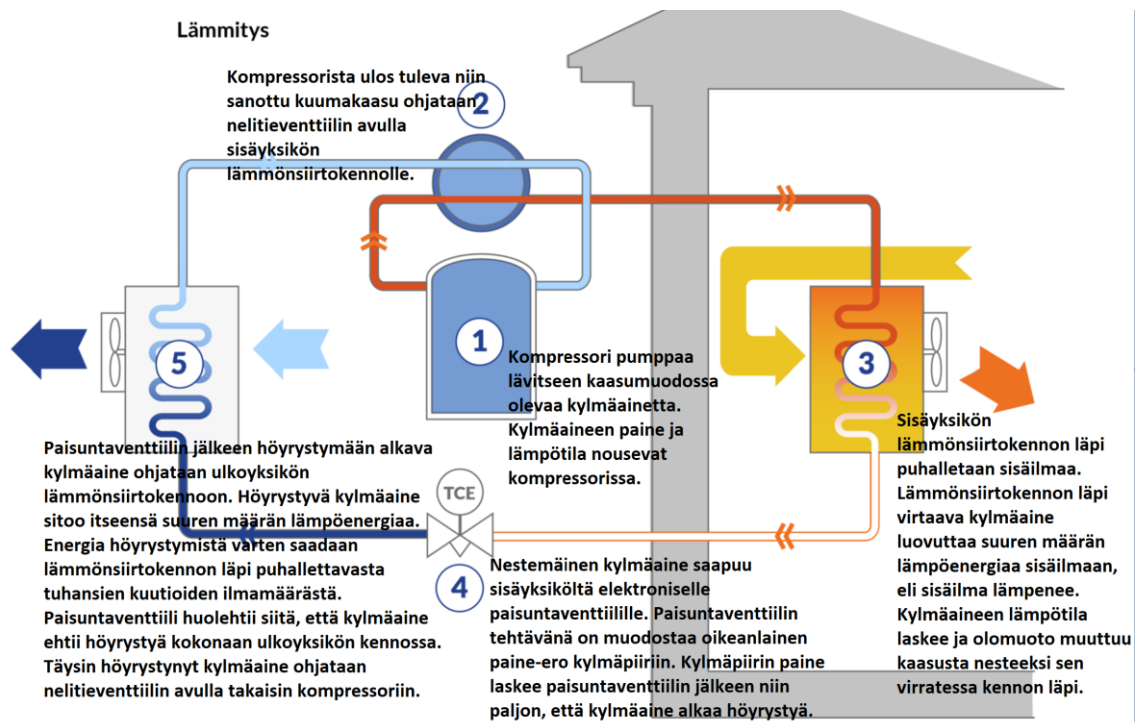
Järjestelmän radiaattoreiden lämpötilaa säädetään sen mukaan, mikä on lämmitysenergian tarve. Lämmitystä hienosäädetään patterin yhteyteen sijoitettavilla termostaattiventtiileillä. (38, s. 9.)

2.4 Muut lvi-tekniset ratkaisut

Muita LVI-teknisiä ratkaisuja ovat esimerkiksi eristysratkaisut. Paras tapa eristysvaatimusten ja eristeiden tilantarpeen selvittämiseen on ottaa eristysuunnittelu mahdollisimman varhaisessa vaiheessa muun suunnittelun rinnalle. Eristysuunnitteluun kuuluu olennaisesti eristettävän kohteen pintakäsittely sekä eristeiden päällystys. Putkistojen huonokuntoiset eristeet aiheuttavat lämpösilloja, jotka kasvattavat lämpöhäviöitä. Suuri osa hukkalämmöstä voidaan välttää eristämällä ne osat, joista eristys puuttuu ja korjaamalla kohdat, joista eristys on mennyt rikki. (39, s. 4.)

2.4.1 Ilmanlämpöpumppu

Ilmanlämpöpumpun tehtävä on siirtää lämpöenergiaa ulkoilmasta ja luovuttaa se suoraan sisäilmaan. Ilmanlämpöpumpun tuottaman lämmön määrä riippuu ulkolämpötilasta. Mitä matalampi on ulkolämpötila, sen heikompi on pumpun tuottama lämpöenergia. Tilojen lämmitysenergiasta voidaan kattaa noin 30 % ilmanlämpöpumpun tuottamalla lämmitysenergialla. Ilmanlämpöpumpun tuottamasta lämmöstä saadaan suurin hyöty, kun se sijoitetaan avonaiseen tilaan. Osateholla ilmalämpöpumpun lämpökerroin on parempi, jolloin kannattaa valita hieman tehokkaampi laite, sillä se säästää sähköä alitehoiseen verrattuna. Kuvassa 10 on esitetty ilmanlämpöpumpun lämmitystoiminnon toimintaperiaate. (40, s. 33.)



KUVA 10. Ilmanlämpöpumpun lämmityksen toimintaperiaate (41)

2.4.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimeen osuvan aurinkosäteilyn määrästä pystytään hyödyntämään vain osa. Olosuhteista ja tekniikasta riippuen hyötysuhde voi olla yli 70 prosenttia. Järjestelmän kokonaishyötysuhde on kuitenkin pienempi lämpötilaolosuhteista ja lämpöenergian varastointikapasiteetista johtuen. (42)

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko aktiivisesti tai passiivisesti. Lämmön varastointi on tärkeä osa aurinkolämmön hyödyntämistä. Aurinkokeräimillä aktiivisesti kerätty lämpöenergia varastoidaan yleensä käyttövesivaraajaan sekä hybridijärjestelmien isompaan vesivaraajaan. Lämpöenergiaa on myös mahdollista varastoida lämpökaivoihin, rakennuksen alle tai käyttää kaukolämmön tuotannossa. (43.)

2.4.3 Lämpimän käyttöveden kierto

Lämpimän käyttöveden kiertojohdolla tarkoitetaan johtoa, jonka tarkoituksena on estää lämpimän käyttöveden lämpötilan putoaminen. Kiertojohdolla huolehditaan siitä, ettei lämpimän veden odotusaika veny liian pitkäksi, jolloin vettä ei tarvitse laskea niin kauan, että hanasta haluttu veden lämpötila saavutetaan. Tämä vähentää käytetyn veden määrää, kun veden odotusaika lyhenee. (44.)

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt sisältyvät käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaan energianmäärään. Kiertojohtoon lämpöhäviöt voivat nostaa veden lämmityskustannuksia tuntuvasti, esimerkiksi vanhoissa rakennuksissa varsinaisen lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva energianmäärä voi olla samansuuruinen kiertojohtoon lämpöhäviöiden kanssa. (45.)

3 KUSTANNUSVAIKUTUKSET

Eri lämmönlähteillä on erilaisia asennus- ja käyttökustannuksia. Jotkin järjestelmät ovat kalliimpia asentaa, mutta pitkässä juoksussa energiatehokkuutensa kautta tulevat täten edullisemmaksi vaihtoehdoksi.

Tässä osiossa tutkitaan eri lämmönlähteiden kustannusvaikutuksia uudisrakennus esimerkkikohteelle. Esimerkkikohteena toimii 4 henkilön sähkölämmitetty 120 m²:n pientalo. Kohteen vuotuinen lämmitysenergiantarve on 9600 kWh sekä veden lämmityksen energiantarve 3600 kWh (46). Esimerkkikohteen sähkön kokonaishinta on 13,486 snt/kWh (47).

3.1 Maalämpö

Maalämmön asennus uudiskohteeseen on kohteen mukaan yleensä noin 15000–20000 € (48, s. 13). Maalämpö tuottaa yhtä kulutettua sähkökilowattituntia kohden kolme kilowattituntia. Maalämpöä pystytään hyödyntämään rakennuksen lämmitykseen sekä käyttövedeen (48, s. 17). Kun lämmityksen sekä käyttöveden yhteenlaskettu energiantarve on 13200 kWh, olisi tällöin maalämmön lämmityskustannus 593 euroa vuodessa, kun koko rakennuksen lämmitys katettaisiin pelkällä maalämmöllä.

Jos järjestelmän investointiajaksi arvioi 30 vuotta ja järjestelmän hinnaksi 15000 euroa, olisi tällöin vuosittainen investointikustannus 500 euroa. Tällöin maalämmön investoinnin sekä lämmityksen yhteishinta olisi 1093 euroa vuodessa.

3.2 Kaukolämpö

Kaukolämmön kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi laitteiden hinta, asennuskustannukset, liittymismaksu ja energian hinta. Kaukolämmön normaali investointikustannus on 10000–15000 euroa. (48, s. 13) Tämän työn esimerkkikohteen investointihinnaksi arvioidaan 11000 euroa.

Kaukolämmön perusmaksu määräytyy käyttötehon mukaan. Tavanomaisen pientalon perusmaksu on 565 euroa vuodessa, energiamaksu keskimäärin 74 euroa megawattitunnilta. Kun esimerkkikohteen vuosittainen lämmitysenergiankulutus on 13200 kWh, tulisi tällöin kaukolämmön energianhinnaksi 1541 euroa vuodessa. (49.)

Jos järjestelmän investointiajaksi arvioi 30 vuotta, olisi tällöin keskimääräinen investointikustannus vuodessa 367 euroa. Kun lasketaan investointi ja energian hinta yhteen, saadaan kaukolämmön hinnaksi 1908 euroa vuodessa.

3.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpun investointikustannukset ovat tyypillisesti 7500–12500 euroa (50, s. 13). Esimerkkikohteen investointikustannuksiksi arvioidaan 10000 euroa.

Kun investointiajaksi lasketaan 30 vuotta, olisi poistoilmalämpöpumpun vuosittainen investointikustannus keskimäärin 333 euroa.

Lämmityskaudella ilmanvaihdon lämmitystarve on 8865 kWh, josta poistoilmalämpöpumpulla kyetään ottamaan talteen 4938 kWh. Tällöin pumpun hyötysuhde on 56 prosenttia. Kompressorin sähkön kulutus on 1543 kWh. Kun lämpimän käyttöveden lämmitys katettiin kokonaan poistoilman lämmitysenergialla, jäi suoralle sähkölle lämmitettäväksi 6718 kWh. Poistoilmalämpöpumpun vuosittaiseksi lämmitysenergian hinnaksi muodostuu 906 euroa. Tällöin poistoilmalämpöpumpun vuosittainen yhteiskustannus on 1239 euroa.

3.4 Suora sähkö

Lämmitysenergian tarve esimerkkikohteelle on vesi mukaan luettuna 13200 kWh (51). Suoralla sähkölämmityksellä lämmityksen kustannukset olisivat vuodessa sivulla 28 mainituilla pörssisähkön ja siirtomaksun hinnoilla 1780 euroa. Sähkön kokonaishinta verot mukaan luettuna on 13,486 snt/kWh.

Vesikiertoisen sähkölämmityksen investointikustannus on 7500–12500 euroa (52, s. 13). Kun tarkastellaan esimerkiksi 8000 euron investointikustannusta 30 vuoden investointijaksolta, saadaan tulokseksi 267 euroa vuodessa. Tällöin suoran sähkön vuosittainen kustannus olisi 2047 euroa.

3.5 Pellettilämmitys

Pelletti maksaa omakotitaloissa kotiin kuljetettuna noin 9,4 senttiä kilowattitunnilta (53). Tämä toisi säästöä suoraan sähkölämmitykseen verrattuna noin 4,26 senttiä kilowattitunnilta. Pellettikattilajärjestelmän investointikustannukset ovat 10000–20000 euroa. (54, s. 13.)

Esimerkkikohteen lämmitysenergiatarve vesi mukaan luettuna 13200 kWh. Tällöin pelletin hinta on vuoden aikana 1241 euroa, kun koko lämmitysenergiatarve katettaisiin pelkällä pelletillä. Pellettijärjestelmän investointikustannuksiksi kohteelle arvioidaan 12000 euroa. Pellettikattilan elinkaari on parhaimmissa tapauksissa 30 vuotta, tällöin pellettikattilajärjestelmä kustantaisi vuoteen yhteensä 1641 euroa.

3.6 Öljykattilat

Omakotitalon öljynkulutus on vuositasolla noin 2500–3000 litraa polttoöljyä. (54, s. 25.) Öljylämmitysjärjestelmän investointihinta on tyypillisesti 10000–15000 euroa, esimerkkikohteen investoinnin hinnaksi voisi arvioida 10000 euroa. (54, s. 25.) Lämmitysöljyn tyypillinen hintataso maaliskuussa 2024 oli 1,5 euroa litraa kohden. (55.)

Kun öljyn vuosittaisen kulutuksen kertoo litrahinnan määrällä, saadaan vuoden polttoainekustannuksiksi 3750 euroa vuodessa. Jos kattilan elinkaari on 25 vuotta, saadaan investointikustannuksiksi keskimäärin vuodessa 400 euroa, tällöin järjestelmän yhteiskustannukset vuodessa ovat 4150 euroa.

3.7 Ristivirta LTO

Vallox 110 MV LA12:n ilmanvaihtokoneessa on ristivirtainen lämmöntalteenotto-kenno ja koneen hinta on 3682 euroa (56). Esimerkkirakennuksen vähimmäisulkoilmavirta normaalikäytön aikana on 48 l/s sekä käyntiaika 24/7 (57). Ilman sisäänpuhalluslämpötilaksi on valittu 18-asteinen ilmavirta. Ilmanvaihtokoneen SFP nimellisilmavirralla on 0,96 KW(m³/s), kun kanaviston painehäviö on 50 Pa sekä lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde on 77 prosenttia. (58.)

Korvausilman lämmittämiseen tarvittava energian määrä kohteessa on 8865 kWh/a, kun ilma lämmitetään 21-asteeseen. Lämmöntalteenotto kykenee ottamaan tästä talteen 6826 kWh/a, kun koneen poistoilman vuosihyötysuhde on 77 %. Korvausilman lämmitykseen vaadittu energia lämmöntalteenottokennon jälkeen on 2039 kWh/a. Tuloilma lämmitetään jälkilämmityspatterilla 18 asteeseen, jolloin jälkilämmityspatterin energiankulutus on 725 kWh/a. Tällöin muulle lämmitysjärjestelmälle jää korvausilman lämmittämiseen 1314 kWh/a. Koneen tasavirtapuhaltimien energiankulutus on vuodessa 404 kWh/a ja jälkilämmityspatterin 725 kWh/a, jolloin koneen käyttämä energian määrä on 1129 kWh/a. Tällöin koneen käyttämän energian hinnaksi muodostuu vuodessa 152 euroa, ja kun jäljelle jäävä korvausilma lämmitetään esimerkiksi sähkölämmityksellä, kustantaa se 177 euroa.

3.8 Pyöriväkennoinen LTO

Enervent Salla eWind E on ilmanvaihtokone, jossa on pyörivä lämmöntalteenotto-kenno. Ilmanvaihtokoneen hinta on 4359 euroa. Kone on tarkoitettu alle 140 m²:n kokosiin rakennuksiin. (59.) Koneen lämmöntalteenottokennon poistoilman hyötysuhde on 84,3 %, kun ilmavirta on 48 l/s ja käyntiaika 24/7. Koneen SFP nimellisilmavirralla on 0,96 KW(m³/s) kanaviston painehäviön ollessa 50 Pa ja sisäänpuhalluslämpötilaksi on valittu 18-asteinen ilmavirta. (60.)

Korvausilman lämmittämiseen tarvittava energian määrä kohteessa on 8865 kWh/a, kun ilma lämmitetään 21 asteeseen. Lämmöntalteenotto kykenee hyödyntämään tästä 7474 kWh/a, kun koneen poistoilman vuosihyötysuhde on 84,3

%. Tällöin korvausilman lämmitykseen vaadittu energia lämmöntalteenottokenon jälkeen on 1392 kWh/a. Tuloilma lämmitetään jälkilämmityspatterilla 18 asteeseen, jolloin jälkilämmityspatterin energiankulutus on 234 kWh/a. Tällöin muulle lämmitysjärjestelmälle jää korvausilman lämmittämiseen 1158 kWh/a. Koneen tasavirtapuhaltimien energiankulutus on vuodessa 404 kWh/a ja lämmönsiirtimen moottori 44 kWh/a sekä jälkilämmityspatterin 234 kWh/a. Tällöin koneen käyttämä energianmäärä on 681 kWh/a. Koneen käyttämän energian hinnaksi muodostuu vuodessa 92 euroa, ja kun jäljelle jäävä korvausilma lämmitetään esimerkiksi sähkölämmityksellä, kustantaa se 156 euroa.

3.9 Ilmanlämpöpumput

Mitsubishi Electric MSZ-LN 25:n lämpöpumpun energiatehokkuusarvo 5,2 kertoo siitä, että pumppu tuottaa yhtä kilowattia kohden 5,2 kilowattia lämmitysenergiaa (61, s 11).

Ilmanlämpöpumpun kustannus asennettuna on noin 1500–2500 euroa. Mitsubishi Electric MSZ-LN 25:n pumpun kustannuksiksi voisi arvioida 2500 euroa. Jos pumpun elinkaareksi arvioidaan 20 vuotta, olisi täten keskimääräinen investointikustannus vuodessa 125 euroa. (62.)

Ilmanlämpöpumpun tekninen käyttöikä voi olla yli 15 vuotta, kun laite on asennettu ja huollettu oikein. (63.)

Ilmanlämpöpumpulla kyetään tuottamaan 30–60 % huonetilojen lämmitysenergiasta (64). Kun esimerkiksi 5940 kWh lämmitysenergiasta katetaan ilmanlämpöpumpulla, kustantaa se 154 euroa. Jäljelle jäävä 7260 kWh lämmitetään sähkölämmityksellä, jonka kustannukseksi muodostuu 979 euroa. Tällöin ilmanlämpöpumpun vuosittaiseksi energiakustannukseksi muodostuu 1133 euroa. Kun investointiaikaa tarkastelee 20 vuoden ajanjaksolla, on ilmanlämpöpumpun keskimääräinen vuosittainen yhteiskustannus 1258 euroa vuodessa.

3.10 Aurinkokeräimet

Suomessa aurinkoenergian hyödyntäminen painottuu helmikuun alusta marraskuun alkuun saakka. Jos aurinkokeräimet on kytketty lämmitysjärjestelmään, on niillä mahdollista tuottaa 25–35 % lämmitystarpeesta. (65, s. 29.)

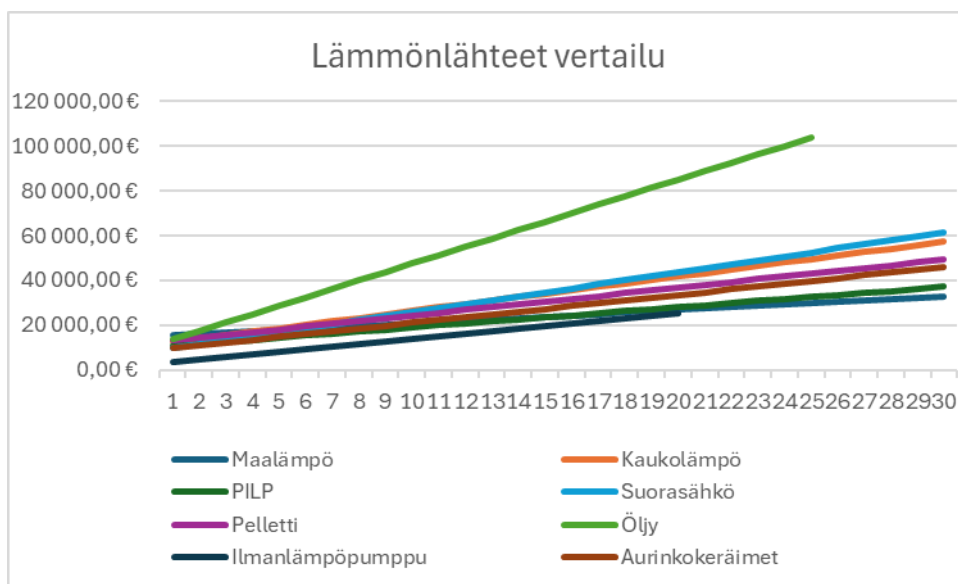
Aurinkolämmityspaketti Jäspi Ecowatti SOLAR PAK kustantaa 6639 euroa. Järjestelmä on tarkoitettu erityisesti lämpimän käyttöveden lämmitykseen kesäaikaan. Järjestelmään on mahdollista asentaa 3 lämmönlähdettä rinnakkain, esimerkiksi lämpöpumppu, aurinko ja veteen varaava tulisija 5 kW:iin saakka. Järjestelmän maksimiteho on 13 kW. (66.)

Jos arvioidaan aurinkokeräinten elinkaareksi 30 vuotta ja investointikustannuksiksi asennus mukaan luettuna 8639 euroa, olisi investointikustannus keskimäärin vuodessa 288 euroa. Aurinkokeräinten hyötysuhde on 30 % ja jäljelle jäävä lämmitysenergia katetaan sähkölämmityksellä. Tällöin energianhinnaksi muodostuu vuositasolla 1246 euroa ja yhteiskustannus olisi 1534 euroa vuodessa.

4 POHDINTA

Työssä käytiin läpi lvi-tekniisiä energiansäästöratkaisuja lämmönlähteiden ja niiden kustannusarvioiden muodossa. Työn tarkoituksena oli tutustua erilaisiin lvi-tekniisiin järjestelmiin sekä arvioida niiden kustannustehokkuutta rakennuksen lämmittämisessä.

Erilaisten lämmönlähteiden (kuva 11) tuottama lämpöteho on rajallinen. Siksi on tärkeää ottaa huomioon lämmönlähteen lämmityskyky, sillä se mikä olisi paras järjestelmä pienempään rakennukseen, ei välttämättä ole paras ratkaisu suureen kohteeseen. Myös rakennuksen muu energiatehokkuus, esimerkiksi lämmitystehon tarve, vaikuttaa lämmönlähteiden valintaan.

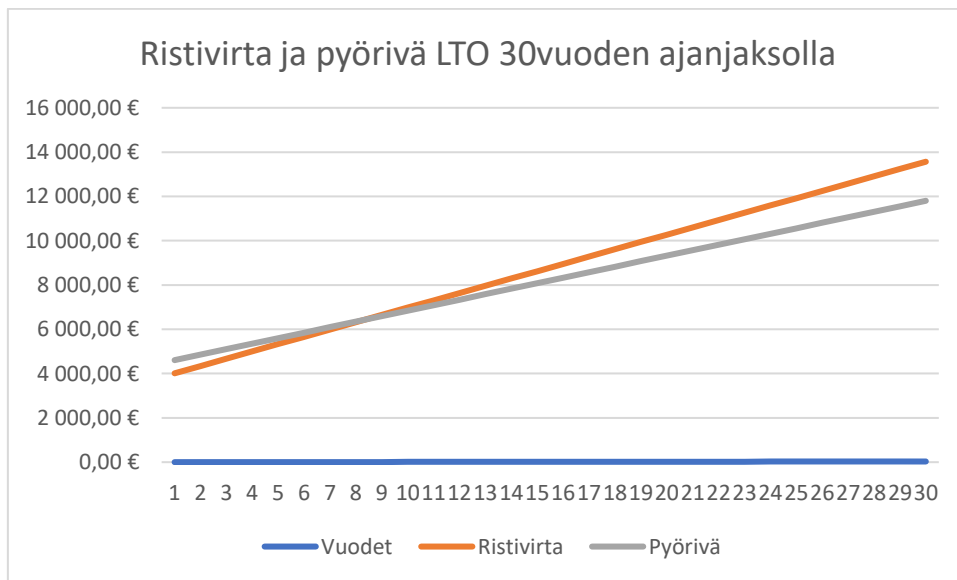


KUVA 11 Lämmönlähteiden hintavertailu 30 vuoden ajanjaksolla

Kuvaajassa on vertailtu eri lämmönlähteiden hintatasoja. Lämmönlähteiden investointiaika on otettu huomioon kuvaajassa, esimerkiksi öljykattilan arvioitu investointiaika on 25 vuotta ja ilmanlämpöpumpun 20 vuotta. Kuten kuvaajasta voi tulkitä, ilmanlämpöpumppu on edullisin vaihtoehto ensimmäisen 20 vuoden ajanjaksolla, kunnes investointiaika päättyy. Toiseksi edullisin lämmönlähde on maalämpö, jonka kustannuksiksi 30 vuoden aikana kertyisi 32 802 euroa.

Kolmanneksi edullisin lämmönlähde on poistoilmalämpöpumppu (PILP), joka kustantaa 37 181 euroa 30 vuoden ajanjaksolla. Neljänneksi edullisin lämmitysmuoto on aurinkokeräimillä toteutettu lämmitys, jossa 30 % energiantarpeesta otetaan aurinkokeräimistä ja loput katetaan sähkölämmityksellä. Pelletti olisi viidenneksi edullisin vaihtoehto 30 vuoden ajanjaksolla, ja sen hinta olisi 49 224 euroa. Kaukolämpö on kuudenneksi edullisin lämmitysmuoto 57 231 euron kustannuksilla. Sähkölämmitys on toiseksi kallein lämmitysmuoto 61 405 euron kustannuksilla 30 vuodessa. Kallein lämmitysmuoto on öljylämmitys, joka kustansi jo 25 vuoden ajanjaksolla 103 750 euroa.

Kuvaajassa (kuva 12) on vertailtu ristivirta-LTO:n ja pyörivän LTO:n energiakustannuksia. Ristivirta-LTO:hon on halvempi investoida, mutta pidemmällä aikavälillä pyörivä LTO tulee edullisemmaksi vaihtoehdoksi paremman energiatehokkuutensa ansiosta. Ristivirta-koneen investointihinta on 677 euroa edullisempi kuin pyörivän kennon, mutta pyörivä LTO on 8 vuoden käytön jälkeen ristivirtaa edullisempi vaihtoehto. Kun asiaa tarkastelee 30 vuoden ajanjaksolla, ristivirta-koneen kustannukset ovat 13 565 euroa ja pyörivän LTO:n kustannukset 11 801 euroa.



KUVA 12 LTO-kennojen hintavertailu 30 vuoden ajanjaksolla

LÄHTEET

1. Tilastokeskus s.a. Lämmitysaine/Lämmönlähde. Luettavissa: https://stat.fi/meta/kas/lam_aine_lam_la.html. Luettu: 10.3.2025.
2. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
3. Motiva 7/2024. Uusiutuva energia. Maalämpöpumppu. Luettavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu. Luettu: 11.11.2024.
4. Arator 1/2020. Valokuva. Maalämmön toimintaperiaate. Luettavissa: <https://arator.fi/lisatietoa-ja-kysymyksiä-maalammosta/>. Luettu: 8.12.2024.
5. Motiva 10/2024. Energiatehokas pientalo. Maalämpöpumppu. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/maalampopumppu. Luettu: 11.11.2024.
6. Motiva Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
7. Motiva 1/2025 Energiatehokas pientalo. Kaukolämpö. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo. Luettu: 20.1.2025.
8. Fortum s.a. Valokuva. Kaukolämmön toimintaperiaate. Luettavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/lammitys/kaukokylma>. Luettu 8.12.2024.
9. Motiva 1/2025. Energiatehokas pientalo. Kaukolämpö. Kaukolämmön tuotanto uudistuu. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_tuotanto_uudistuu. Luettu: 20.1.2025.
10. Motiva 7/2024. Energiatehokas pientalo. Poistoilmalämpöpumppu. Luettavissa:

- https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu. Luettu: 11.11.2024.
11. Ilmastoinfo s.a. a. Valokuva. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate. Luettavissa: <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/uusiutuva-lampoa-pientaloon/lessons/poistoilmalampopumppu/topics/pilp-jarjestelma/>. Luettu: 8.12.2024.
 12. Motiva 7/2024. Uusiutuva energia. Poistoilmalämpöpumppu (PILP). Luettavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu. Luettu: 13.11.2024.
 13. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
 14. Ilmastoinfo s.a. b. Valokuva. Vesikiertoisen sähkölämmityksen toimintaperiaate. Luettavissa: <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/uusiutuva-lampoa-pientaloon/lessons/pientalojen-perinteiset-lammitysmuodot/topics/vesikiertoinen-sahkolammitys/>. Luettu: 8.12.2024.
 15. Motiva 10/2024 Energiatehokas pientalo. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo. Luettu: 10.3.2025.
 16. Motiva 1/2025. Omakotitalon Puulämmitys. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/puu- ja_pellettilammitys. Luettu: 10.3.2025.
 17. Motiva 1/2025 Öljylämmitys. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/oljylammitys. Luettu: 10.3.2025.
 18. Motiva 1/2025 Energiatehokas pientalo. Pellettilämmitys. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/puu- ja_pellettilammitys. Luettu: 10.3.2025.
 19. Ilmastoinfo s.a. c. Valokuva. Pellettilämmityksen toimintaperiaate. Luettavissa: <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/uusiutuva-lampoa-pientaloon/lessons/pientalojen-perinteiset-lammitysmuodot/topics/pellettilammitys/>. Luettu: 8.12.2024.

20. Motiva 1/2025 Energiatehokas pientalo. Hake-, pilke-, ja halkokattilat. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/hake-pilke-ja_halkokattilat. Luettu: 20.1.2025.
21. Motiva 1/2025. Energiatehokas pientalo. Öljylämmitys. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/oljylammitys. Luettu: 20.1.2025.
22. Ilmastoinfo s.a. d. Valokuva. Öljylämmityksen toimintaperiaate. Luettavissa: <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/uusiutuva-lampoa-pientaloon/lessons/pientalojen-perinteiset-lammitysmuodot/topics/oljylammitys/>. Luettu: 8.12.2024.
23. Motiva 1/2024. Uusiutuva energia. Aurinkolämmön kytkeminen kaukolämmön rinnalle. Luettavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin/kaukolampo. Luettu: 11.11.2024.
24. Motiva 3/2025. Hybridilämmityksessä yhdistetään kahta tai useampaa lämmitysmuotoa. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/oljy-tai_maakaasulammituksen_vaihtajalle. Luettu: 10.3.2025.
25. Motiva 10/2024. Energiatehokas pientalo. Ilmanvaihto. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys/ilmanvaihto. Luettu: 12.11.2024.
26. Motiva 10/2024. Energiatehokas taloyhtiö. Ilmanvaihdon eri toteutustavat. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_eri_toteutustavat. Luettu: 12.11.2024.
27. Ilmakas 11/2022. Valokuva. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate. Luettavissa: <https://ilmakas.fi/vanhan-talon-ilmanvaihdon-parantaminen/>. Luettu: 8.12.2024.
28. Motiva 10/2024. Energiatehokas taloyhtiö. Ilmanvaihdon eri toteutustavat. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_eri_toteutustavat. Luettu: 12.11.2024.
29. Ilmakas 11/2022. Valokuva. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate. Luettavissa: <https://ilmakas.fi/vanhan-talon-ilmanvaihdon-parantaminen/>. Luettu: 8.12.2024.

30. Motiva 10/2024. Energiatehokas taloyhtiö. Ilmanvaihdon eri toteutustavat. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_eri_toteutustavat. Luettu: 12.11.2024.
31. Hengitysliitto s.a. Valokuva. Koneellisen tulo- ja poistoilman toimintaperiaate. Luettavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/koneellinen-tulo-ja-poistoilmanvaihto-2/>. Luettu: 8.12.2024.
32. Sandberg, E. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka Osa 1. Talotekniikka Julkaisut Oy
33. Talotekniikkainfo s.a. a. Poistoilman lämmöntalteenotto lämpöpumppujärjestelmällä. Luettavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/poistoilman-lammontalteenotto-lampopumppujarjestelmalla>. Luettu: 13.11.2024.
34. Motiva 7/2024 Energiatehokas pientalo. Lämmönjakojärjestelmät. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/nain_lammitysjarjestelma_toimii. Luettu: 13.11.2024.
35. Motiva 10/2024 Vesikiertoinen lämmitys – ylläpito ja säätö. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_arki/kodin_saatolaitteet/vesikiertoinen_lammitys_-_yllapito_ja_saato. Luettu: 13.11.2024.
36. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
37. Motiva 1/2025 Energiatehokas pientalo. Vesikeskuslämmitys. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/vesikeskuslammitys. Luettu: 20.1.2025.
38. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.

39. Motiva s.a. Talotekniikka. Eristys. Luettavissa: [https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden tekninen eristys energiatehokkuus.pdf](https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden_tekninen_eristys_energiatehokkuus.pdf). Luettu: 11.3.2025.
40. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
41. Scanoffice s.a. Valokuva. Ilmanlämpöpumpun lämmityksen toimintaperiaate. Luettavissa: <https://scanoffice.fi/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>. Luettu: 8.12.2024.
42. Motiva. 1/2024 Aurinkojärjestelmät. Aurinkokeräimet. Luettavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet. Luettu: 12.3.2025.
43. Motiva 2/2025 Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. Luettavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen. Luettu: 12.3.2025.
44. Talotekniikkainfo s.a. Vesi ja viemärlaitteistot. Luettavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/8-lampiman-kayttoveden-kiertojohto>. Luettu: 10.12.2024.
45. Motiva 10/2024. Lämmin käyttövesi. Luettavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normit/laskukaavat_lammin_kayttovesi. Luettu: 10.12.2024.
46. Vattenfall s.a. Sähkölämmitetty omakoti- tai rivitalokoti, tavallinen varustelu (120 m², neljä henkilöä). Luettavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>. Luettu: 18.11.2024.
47. Tilastokeskus 12/2024. Sähkön hinta. Luettavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/stat-fin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/. Luettu: 14.3.2025.
48. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011 Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
49. Oulun energia 3/2024. Kaukolämmön hinta kuukaudessa pientaloissa sekä kustannukset alkuinvestoinnista elinkaaren loppuun. Luettavissa:

- <https://www.oulunenergia.fi/lampo-ja-energia/kaukolampo/hinnastot/kaukolammon-energia--ja-perusmaksut/>. Luettu: 11.3.2025.
50. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 14.3.2025.
51. Vattenfall s.a. Sähkölämmitetty omakoti- tai rivitalokoti, tavallinen varustelutaso (120 m², neljä henkilöä). Luettavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>. Luettu: 18.11.2024.
52. Motiva Pientalon lämmitysjärjestelmä 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
53. Tilastokeskus 11/2024. Pellettienergia. Pelletti Hinta/kWh. Luettavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/stat-fin_ehi_pxt_12qv.px/. Luettu: 14.3.2025.
54. Motiva Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 10.3.2025.
55. Motiva 11/2024. Esimerkkejä lämmitysmuotojen käyttökustannuksista ja öljylämmityksen vaihtamisen taloudellisuudesta. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/oljy- tai_maakaasulammituksen_vaihtajalle/esimerkkeja_kustannuksista. Luettu: 19.11.2024.
56. Vallox 110 ristivirta LTO s.a. Koneen Hinta. Luettavissa: https://lvinetti.fi/kauppa/lvi-tarvikkeet/ilmanvaihto/ilmanvaihtokoneet/ilmanvaihtokone-vallox-110-mv-la12/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA7Y28BhAnEiwAA-dOJUOhAy_HWmJi-f0jdNOxzLeVODWd0qaMd-potl6QAvQ1iC3ugio8gBRoCNY0QAvD_BwE. Luettu: 12.11.2025.
57. Finvac 11/2019. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. Ulkoilmavirta. Luettavissa:

- [https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_asuinrakennusten ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf). Luettu: 12.11.2025.
58. Vallox s.a. Valintaohjelma. Koneen Hyötysuhde. Luettavissa: <https://vallox.magicad.cloud/projects/db12294d-47ee-4c13-8144-67e686ddc9ce/f4b9029a-a8a3-48d4-a22c-1ec7d378b8e1>. Luettu: 12.11.2025.
59. Netrauta.fi s.a. Ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla Enervent Salla eWind E, oikea. Pyörivä LTO. Koneen Hinta. Luettavissa: <https://www.netrauta.fi/ilmanvaihtokone-lammontalteenotolla-enervent-salla-ewind-e-eri-katsiyyksia?katsiyyys=oikea>. Luettu: 20.11.2024.
60. Enervent s.a. Mitoitusohjelma. Koneen Hyötysuhde. Luettavissa: https://www.enervent.fi/optimizer/?model_id=27&side_id=2&heating_id=3&cooling_id=1&control_id=12&model_fan_id=56&oc=0&se=0&saf=48&eaf=48&sp=50&ep=50&sf=2&ef=1&ro-tor_type=1&dcou=100&dcit=2&dds=2&hcid=269&ccid=0&dci=0&oatw=-32&oahw=90&eatw=21&eahw=30&wtl=-10&wtls=1&stgw=17&fhi=35&fho=25&fha=1&fhg=30&fhs=0&dot=7&oats=25&oahs=59&eats=23&eahs=40&cr=1&slc=1&project=&handler=&this_id=id_eaf&has_inputs=1&action=evu_optimizer_calculate. Luettu: 14.1.2025.
61. Scanoffice 2/2025. Ilmanlämpöpumput. Luettavissa: https://scanoffice.fi/wp-content/uploads/2022/05/Esite_LN-2.pdf. Luettu: 16.3.2025.
62. Motiva s.a. Ilmanlämpöpumppu asennushinta. Luettavissa: https://www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua_energiansaastoa_ilmalampopumpulla.pdf. Luettu: 16.3.2025.
63. Motiva 5/2023. ILP. Käyttöikä. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/usein_kysytyt_kysymykset_kodin_energia-asi-oista/lampopumput_uk. Luettu: 16.3.2025.
64. Motiva 3/2025 Ilmanlämpöpumppu, ILP. 3/2025 Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/ilmalampopumppu_ilp. Luettu: 14.3.2025.

65. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät 2011. Motiva Oy. Luettavissa: <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Luettu: 15.3.2025.

66. Taloon.fi s.a. Aurinkolämmityspaketti Jäspi Ecowatti SOLAR PAK Hinta. Luettavissa: https://www.taloon.com/aurinkolammityspaketti-jaspi-ecowatti-solar-pak?shopping=1&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PLA%20-%20C%20-%20All%20Other%20Categories%20-%20Medium%20Prio&utm_id=2009889584&qad_source=1&qclid=CjwKCAiArva5BhBiEiwA-oTnXUekq-FalkB2GjMXQCs3L1IGulq5l-EFk1_twDyNKFGzy4iBWel6ZBoCjaoQAvD_BwE. Luettu: 20.11.2024.