



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JOUNI KUKKO

Tukilämmitysjärjestelmien valintaan vaikuttavat tekijät omakotitalon ra- kennuttajan näkökulmasta

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2022

Tekijä Kukko, Jouni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä lokakuu 2022
	Sivumäärä 32	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi Tukilämmitysjärjestelmien valintaan vaikuttavat tekijät omakotitalon rakennuttajan näkökulmasta		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma		
Tiivistelmä <p>Tässä työssä tutkittiin eräitä tukilämmitysjärjestelmiä sekä niiden hyötyjä ja haittoja omakotitalon päälämmitysjärjestelmän rinnalla käytettäessä. LVIS-suunnittelua ja urakointia tekevä Spigot Oy tilasi työn tavoitteenaan saada vastauksia tukilämmitysjärjestelmiä harkitsevien asiakkaiden kysymyksiin.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin ilmalämpöpumppua, vesitakkaa ja aurinkokeräimiä tukilämmitysjärjestelminä. Vertailun omakotitaloissa olivat lämmitysjärjestelminä kaukolämpö, maalämpö ja poistoilmalämpö. Kohteiden lämmöntarpeet saatiin energiatodistuksista.</p> <p>Vertailua tehtiin etsimällä tietoa eri kirjallisuus- ja internetlähteistä. Tarkastelun alle otettiin etenkin investointi- ja käyttökustannukset, mutta myös mukavuus- ja ympäristötekijät. Kustannukset laskettiin annuiteettimenetelmällä 20 vuoden laskenta-ajalla.</p> <p>Kaikista tukilämmitysjärjestelmistä löydettiin sekä hyviä että huonoja puolia. Mikään tukilämmitysjärjestelmä ei kuitenkaan noussut selkeästi muita paremmaksi – päinvastoin: laskennan perusteella esimerkkikohteiden lämmitysjärjestelmien rinnalle ei olisi ollut taloudellisesti kannattavaa ottaa tukilämmitysjärjestelmää. Tukilämmitysjärjestelmillä havaittiin olevan kuitenkin muita etuja, jotka voisivat kallistaa valinnan niiden puoleen, esimerkiksi ilmalämpöpumpun kesäaikainen viilennystoiminto, vesitakan tunnelmatekijät ja välittömän lämmön tunne sekä aurinkokeräinten helppokäyttöisyys ja ekologisuus.</p>		
Avainsanat aurinkokeräimet, kaukolämmitys, lämmitysjärjestelmät, lämpöpumput, omakotitalot, tulisijat		

Author Kukko, Jouni	Type of Publication Bachelor's thesis	Date October 2022
	Number of pages 32	Language of publication: finnish
Title of publication Factors affecting the choice of auxiliary heating systems from the perspective of the builder of a single-family house		
Degree programme Construction technology and community engineering		
Abstract This research study was focused on some auxiliary heating systems and their advantages and disadvantages when used together with the main heating system of a single-family house. Spigot Oy, which does HVAC and electricity design and construction, ordered this investigation targeted for getting answers to customer questions considering auxiliary heating systems. In this thesis, the air heat pump, water circulating fireplace and solar collectors were investigated as auxiliary heating systems. In compared single-family houses, the heating systems were district heating, geothermal heating and exhaust air heating. The heat demands of the objects were got from energy certificates. The comparison was made by searching for information from different literature and internet sources. In this thesis, there was considered especially investment and operating costs, but also comfort and environmental factors. The costs were calculated by using annuity method with a calculation period of 20 years. All auxiliary heating systems were found to have both pros and cons. However, none of the auxiliary heating systems was clearly better than the others. Based on the calculation, it would not have been economically profitable to have an auxiliary heating system alongside the heating systems of the example houses. However, auxiliary heating systems had other advantages, which can help to choose them: the air heat pump's summertime cooling function, the feeling factors and feeling of immediate heat of the water fireplace and the ease of use and environmental friendliness of solar collectors are all good features instead of profitability.		
Keywords district heating, fireplaces, heat pumps, heating systems, single-family houses, solar collectors		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 PÄÄLÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	7
2.1 Kaukolämpö	7
2.2 Maalämpö.....	8
2.3 Poistoilmalämpö.....	8
3 TUKILÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA NIIDEN VALINTAAN VAIKUTTAVAT SEIKAT	10
3.1 Ilmalämpöpumppu	10
3.1.1 Investointi- ja käyttökustannukset	11
3.1.2 Energiantuotto.....	12
3.1.3 Mukavuustekijät	12
3.1.4 Ympäristötekijät	13
3.2 Aurinkokeräimet	13
3.2.1 Investointi- ja käyttökustannukset	15
3.2.2 Energiantuotto.....	16
3.2.3 Mukavuustekijät	16
3.2.4 Ympäristötekijät	17
3.3 Vesitakka.....	17
3.3.1 Investointi- ja käyttökustannukset	19
3.3.2 Energiantuotto.....	19
3.3.3 Mukavuustekijät	19
3.3.4 Ympäristötekijät	20
4 ELINKAARIKUSTANNUSTEN LASKENTA.....	21
4.1 Laskentamenetelmät.....	21
4.2 Laskennan lähtötiedot	22
4.3 Laskennassa tarvittavat lähtötiedot on esitetty taulukossa 1.....	22
5 KOHTEIDEN ESITTELY JA KOKONAISUUKSIEN VERTAILU	25
5.1 Kohde 1 – kaukolämpö	25
5.2 Kohde 2 – maalämpö	27
5.3 Kohde 3 – poistoilmalämpö	30
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Omakotitalon rakentajan tulee ratkaista tärkeä kysymys ennen rakennusprojektia: minkä lämmitysjärjestelmän valitsen talooni? Valitsenko investointikustannuksiltaan halvimman ja asennusteknisesti helpoimman vaihtoehdon, vai teenkö laskelmia pidemmälle aikavälille ja valitsen sen mukaan edullisimman vaihtoehdon? Ohjaavatko valintaani jotkin ideologiset syyt vai ajattelenko asiaa käyttömukavuuden kannalta? Ekologisuusajattelu on kasvamassa, mutta edelleen valtaosa valinnoista tehdään kustannusten perusteella (Kivioja, 2020b, s. 2).

Tässä opinnäytetyössä perehdytään eräisiin lämmitysjärjestelmiin olemassa olevien, uusien omakotitalojen kautta. Opinnäytetyön tilannut, LVIS-suunnittelua ja -urakointia tekevä Spigot Oy halusi selvittää, mitä lisäarvoa eräät tulilämmitysmuodot mahdollisesti toisivat päälämmitysjärjestelmien rinnalla. Kohteiksi valikoitui kolme Spigot Oy:n toteuttamaa kohdetta, joiden lämmitysjärjestelmät poikkesivat toisistaan. Järjestelmät olivat kuitenkin tavanomaisia: kaukolämpö, maalämpö ja poistoilmalämpö. Kaikissa kohteissa oli lämmönjakotapana vesikiertoinen lattialämmitys. Vertailussa käytettiin rakennusten energiatodistusten mukaisia lämmöntarpeita.

Niin ikään tukilämmitysjärjestelmiksi haluttiin valita tavanomaisia ratkaisuja – mikäli asiakas kysyy myyjältä tai suunnittelijalta esimerkiksi aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuudesta, saa tätä opinnäytetyötä hyödyntämällä suuntaa antavia argumentteja vastauksen tueksi. Niinpä vertailuun valikoituivat tukilämmitysjärjestelmistä ilmalämpöpumppu, vesitakka ja aurinkokeräimet.

Usein lämmitysjärjestelmiä verrataan keskenään vain kustannusten osalta. Spigot Oy halusi kuitenkin, että vertailua tehdään myös muista näkökulmista: haluttiin saada selville järjestelmien hyvät ja huonot puolet niin käyttömukavuuden, ekologisuuden kuin käyttöiänkin kannalta. Tässä opinnäytetyössä onkin perehdytty niin investointi- ja käyttökustannuksiin, ympäristötekijöihin kuin mukavuustekijöihin energiantuottoa

unohtamatta. Lisäksi on laskettu kustannukset elinkaarimallin mukaan annuiteettimenetelmällä, jossa oletetaan investoinnin tapahtuvan lainarahalla.

2 PÄÄLÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

2.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö tuotetaan kaukolämpökeskuksissa tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa, joista lämpö siirretään asiakkaille kuuman veden avulla maan alle sijoitetuissa putkistoissa. Kaukolämpöverkko on kaksitoiminen: kuuman menoveden lisäksi maan alla kulkee asiakkaalta palaava, jo jäähtynyt paluuvesi. Asiakkaan lämmitysverkoston lämpö siirtyy lämmönjakokeskuksen kautta. Lämmönjakokeskukset ovat kaukolämpötoimittajan toimittavia pitkäikäisiä ja toimintavarmoja kokonaisuuksia, ja ne lämmittävät käyttöveden ja lämmitysveden lämmönsiirtimien avulla asiakkaan tarpeen mukaan. (Kaukolämpö.fi, n.d.)



Kuva 1. Miten kaukolämpö toimii? (Kaukolämpö.fi, n.d.)

Kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee vuodenaikojen mukaan 65 celsiusasteesta aina 115 celsiusasteeseen. Kaukolämpövesi on värjättyä, hapetonta vettä, sillä mahdolliset vuodot halutaan havaita ja putkiston korroosiota välttää. (Kivioja, 2020a, s. 4.) Kaukolämmön tuotannon etuja ovat muun muassa sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyödyntäminen – kaukolämmitys käyttää hyödyksi sähköntuotannossa syntyvää hukkalämpöenergiaa. Myös teollisuusprosessien jätelämpöä käytetään kaukolämmöntuotannossa. Yksittäisistä polttoaineista tärkeimmät ovat enenevässä määrin puuperäiset polttoaineet ja muut uusiutuvat polttoaineet. Myös maakaasu, kivihiili ja turve ovat edelleen tärkeitä polttoaineita kaukolämmön tuotannossa. (Kaukolämpö.fi, n.d.)

2.2 Maalämpö

Maalämmössä käytetään hyväksi maaperään sitoutunutta aurinkoenergiaa. Maaperä, kallio ja vesistö varastoivat auringonpaisteen, lämpimän ilman ja sateiden tuottamaa lämpöenergiaa erinomaisesti. Rakennusten lämmittämiseksi maalämmöllä riittää, että noin 3 % vuoden aikana maaperään varastoituneesta lämpöenergiasta saadaan hyödynnettyä. (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.b.)

Yleisimmin maalämpöä saadaan talteen kallioon poratun lämpökaivon avulla. Suurilla tonteilla voidaan käyttää metrin syvyyteen asennettua vaakaputkistoa – myös vesistöjen pohjaan voidaan asentaa keruuputkisto. Putkistossa kiertää jäätymätön neste, joka kerää lämpöä pohjavedestä, maan pintakerroksesta tai vesistöstä. Lämmennyt neste höyrystyy, jolloin sen painetta nostetaan kompressorilla – tällöin myös nesteen lämpötila nousee. Lämpöpumpun lauhduttimessa kylmäainehöyry luovuttaa lämpöä lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen, jolloin se muuttuu taas nesteeksi ja palaa uudelleen kiertoonsa. (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.b.)

Koska maalämpöpumpun kompressorin tarvitsee sähköä toimiakseen, ei maalämmöllä voida kattaa koko maalämpöpumpun tuottamaa lämpömäärää. Normaalisti noin kolmannes lämpöpumpun tuottamasta lämmöstä on ostoenergiaa. Maalämpöpumppu myös usein mitoitetaan osatehoiseksi, sillä täysitehoiseksi mitoitettu lämpöpumppu olisi suurimman osan vuodesta vajaakäytöllä. Koska kovimpia pakkaspäiviä on vuodessa suhteessa todella vähän, on järkevämpää antaa sähkövastusten tuottaa tarvittava lisälämpö kaikkein kylmimpinä päivinä. Lisäksi osateholle mitoitettu maalämpöpumppu on järkevämpi investointi: se maksaa itsensä hieman nopeammin takaisin ja sen kompressorin kestävä pidempään. (Kukka, 2020c, s. 14–15; Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.b.)

2.3 Poistoilmalämpö

Asuinrakennusten sisälämpötila on lähes vakio – yleensä noin 21 celsiusastetta – koko vuoden ajan. Poistoilmalämpöpumppu ottaa rakennuksesta poistettavasta ilmasta lämpöenergiaa talteen ja siirtää sen lämpimään käyttöveteen ja/tai vesikiertoiseen

lämmitysjärjestelmään. (Kukka, 2020c, s. 11; Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.c.) Myös tuloilma esilämmitetään poistoilmalämpöpumpun avulla. Sisäilman vakiolämpötilan vuoksi poistoilmalämpöpumppu käy aina noin 2–3 kW vakioteholla. Poistoilmalämpöpumpun toiminnan kannalta rakennuksen sisäilmaa tulee vaihtaa riittävästi, noin puolet talon ilmatilavuudesta tunnin aikana. Osa pumpuista sisältää myös viilennystoiminnon, joka voi olla kesähelteillä viihtyvyystekijöiden kannalta tärkeä ominaisuus. (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.c.)

Poistoilmalämpöpumppu vaatii aina rinnalleen tukilämmitysjärjestelmän. Kovilla pakkasilla poistoilmasta ei saada tarpeeksi lämpöenergiaa talteen. Tarvittava lisälämpö tuotetaan yleensä lämpöpumpun sähkövastuksilla. Myös varaavan takan käyttö on suotavaa pakkaskeleillä. Suoraan sähkölämmitykseen verrattuna poistoilmalämpöpumpulla saavutetaan noin 40 prosentin säästö ostettavasta energiasta. (Kukka, 2020c, s. 11; Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.c.)

Parhaimmillaan poistoilmalämpöpumppu on pienehköissä, energiatehokkaissa omakotitaloissa (Kukka, 2020c, s. 11). Se on helppokäyttöinen järjestelmä, joka vaatii yleensä vain suodattimien puhdistuksen tai vaihdon muutaman kerran vuodessa (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.c.). Investointi pientaloissa on selvästi maalämpöpumppua ja ilma-vesilämpöpumppua alhaisempi, noin 5000–1000 euroa (Kukka, 2020c, s. 11; Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.c.).

3 TUKILÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA NIIDEN VALINTAAN VAIKUTTAVAT SEIKAT

3.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu koostuu yhdestä tai useammasta sisäyksiköstä sekä ulkoyksiköstä (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.a). Sisäyksikkö levittää lämpöä tavallisesti noin 30–100 m² alueelle. Se sijoitetaan yleensä yleisiin tiloihin, kuten eteiseen tai aulaan, tavallisesti seinään lähelle sisäkattoa. Ulkoyksikkö sijoitetaan vähintään 80 cm maanpinnan yläpuolelle rakennuksen ulkoseinään. (Energiatehokas koti, 2020b.)

Ulkoyksikkö kerää ulkoilmasta lämpöä höyrystimen avulla, jolloin ulkoyksikön läpi virtaava ilma jäähtyy noin 5 celsiusastetta. Lämpö siirtyy höyrystimessä kiertävään kylmäaineeseen, joka muuttuu ulkoilman lämmön vaikutuksesta höyryksi. Höyry puristetaan kompressorilla kovempaan paineeseen, jolloin myös sen lämpötila kasvaa. Lämmennyt, paineistettu kylmäainehöyry siirtyy sisäyksikköön, jossa lauhtutin jäähdyttää höyryn jälleen nesteeksi. Lauhtuessaan kylmäaine luovuttaa lämpönsä sisäyksikön käyttöön, jolloin se puhalletaan rakennuksen sisäilmaan. Lauhtunut kylmäaine palautuu takaisin höyrystimelle paisuntaventtiilin kautta uudelleen höyrystettäväksi. (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.a.) Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää myös rakennuksen jäähdyttämiseen, jolloin toimintaperiaate muuttuu päinvastaiseksi.

Ilmalämpöpumppu on parhaimmillaan nollakeleillä tai pienillä pakkasilla. Kun pakkasen ulkona kiristyy, laskee myös ilmalämpöpumpun hyötysuhde selvästi. (Perälä, 2013, s. 49–50.) Kovilla pakkasilla lämpöpumppu voidaan sulkea kokonaan, sillä silloin se ei tuota ilmaista lämpöä lainkaan (Perälä, 2013, s. 55). Toisaalta uusimmat ja laadukkaimmat ilmalämpöpumput tuottavat lämpöpumppuvalmistajien mukaan lämpöä jopa -30 asteen pakkaslukemilla (Toshiba, n.d.b). Kuitenkin esimerkiksi 20 asteen pakkasella ilmalämpöpumppujen antoteho putoaa puoleen lämpökertoimien perusteena olevaan +7 asteeseen verrattuna (Energiatehokas koti, 2020b).

3.1.1 Investointi- ja käyttökustannukset

Ilmalämpöpumpun hinta asennuksineen on remonttien kilpailuttamiseen keskittyvän Urakkamaailman tietojen mukaan keskimäärin 1700 euroa, josta asennuksen osuus on noin kolmannes (Urakkamaailma, n.d.). Laadukkaimmat ilmalämpöpumput voivat nostaa kokonaiskustannuksen jopa 2500 euroon (Energiatehokas koti, 2020b).

Ilmalämpöpumppu käyttää toimiakseen sähköä. Mikäli ilmalämpöpumpulla korvataan suoraa sähköä, lämmityskustannukset pienenevät lämpöpumpun vuosilämpökertoimen (SCOP) mukaisesti. Motivan (n.d.b) selvitysten mukaan todellisia SCOP-lukemia ilmalämpöpumpuille ovat 2–2,5. Ilmalämpöpumppu tuottaa siis yli kaksinkertaisen määrän lämpöenergiaa vuodessa verrattuna kuluttamaansa energiaan. (Kukka, 2020c.) Oulun sähkömyynti oy:n energianeuvoja Jarmo Meriläisen mukaan ilmalämpöpumpujen keskimääräinen kulutus Suomessa oli vuonna 2010 noin 4000 kilowattituntia vuodessa (YLE, 2012). Mikäli sähkön hinta olisi esimerkiksi 0,20 €/kWh (tilanne kesäkuussa 2022), ilmalämpöpumpun käyttö maksaisi 800 euroa vuodessa (Motiva, n.d.a). Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää myös viilentämiseen. Helteisenä päivänä riittää, että sisätilaa jäähdytetään vain muutaman asteen ulkoilmaa viileämmäksi (Toshiba, n.d.a). Viilentämisen lisäksi ilmalämpöpumppu kuivattaa sisäilmaa, millä on merkittävä vaikutus tukaluuden tunteeseen. Vattenfallin selvityksen mukaan 30 celsiusasteen helteessä kymmenen asteen viilennys 20 päivän aikana kuluttaa sähköä vain noin 50 kWh.¹ Viilennyksen hinnaksi tulisi täten 10 euroa. Ilmalämpöpumppuja myyvän Toshiba:n mukaan ilmalämpöpumpun sähkönkulutus on kesällä noin 100–400 kWh, mikä tekee hinnaksi sähkön maksaessa 0,20 €/kWh 20–80 euroa (Toshiba, n.d.c).

Ilmalämpöpumput kestävät noin 15–20 vuotta (Pihlajaniemi, 2019; Talotekniikkainfo, n.d.). Käyttöikää voidaan pidentää säännöllisellä huollolla ja kuluvien osien vaihdolla. Siinä vaiheessa, kun korjausten kustannukset kasvavat, kannattaa ilmalämpöpumppu vaihtaa suosiolla uuteen. (Talotekniikkainfo, n.d.)

¹ Jäähdyttäessä tehoa tarvitaan 0,15 kWh yhden lämpötila-asteen eroa kohti. Sähköä kuluu 10 °C viilentämiseen 0,208 kW. $0,208 \text{ kW} * 20 \text{ vrk} * 12 \text{ h/vrk} = 49,92 \text{ kWh}$. (Lindroos, 2016.)

3.1.2 Energiantuotto

Ilmalämpöpumpulla pystytään tuottamaan keskimäärin noin puolet suomalaisen talon lämmitysenergian tarpeesta nettona (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.a). Ilmalämpöpumput toimivat keskimäärin 2–2,5:n vuotuisella lämpökertoimella (Kukka, 2020c, s. 4). Sähkö- ja öljylämmitteisessä talossa vuotuinen energiansäästö vaihtelee 3000–8000 kWh välillä (Toshiba, n.d.c). Tyypillinen säästö sähkölämmitteisessä talossa vuosittain on 3000–5000 kWh (Pihlajaniemi, 2019). Kun otetaan mukaan myös muut lämmitysjärjestelmät, keskimääräinen vuosisäästö on 2300–3000 kWh (YLE, 2012). Kaukolämpökohteissa säästöt ovat sähkölämmitystä maltillisempia (Toshiba, n.d.c).

3.1.3 Mukavuustekijät

Ilmalämpöpumppuja hankitaan usein pelkästään viihtyvyystekijöiden vuoksi. Laitteet ovat kaksitoimisia, eli ne voidaan lämmityksen lisäksi kesällä valjastaa sisätilojen viilennykseen. Ilmalämpöpumpun viilennystoiminto saadaan aikaan nappia painamalla, ja viilentävä vaikutus tuntuu lähes välittömästi (Toshiba, n.d.a). Viilennystoiminto kannattaa asettaa vain pari astetta ulkoilmaa matalammaksi, sillä vaikka ulkona olisi kovakin helle, ilmalämpöpumpun ilmaa kuivattava vaikutus tekee sisäilmasta heti viileämmän ja raikkaamman tuntuisen (Toshiba, n.d.b). Kun ilmalämpöpumppu hoitaa sisäilman viilennyksen, ikkunoita ei tarvitse avata, jolloin esimerkiksi allergikot säästyvät ulkoilman siitepölyiltä (Suomen lämpöpumppuyhdistys, n.d.a). Viilennyksen lisäksi ilmalämpöpumput myös puhdistavat ilmaa. Sisäilma kiertää ilmalämpöpumpun suodattimen läpi, jolloin ilman epäpuhtauksia jää suodattimeen. (Energiatehokas koti, 2020b.)

Ilmalämpöpumpun huoltotoimenpiteiksi riittää suodattimien imurointi 1–2 kertaa kaudessa. Muutaman vuoden välein kannattaa teettää pesu ammattilaisella, mikäli sisäyksikkö tai pumppu on päässyt likaantumaan pahoin. Pesulla voi olla merkittävä vaikutus ilmalämpöpumpun hyötysuhteen kannalta. (Pihlajaniemi, 2019.) Mikäli säännöllinen puhdistus laiminlyödään, voi olla seurauksena sisäilmanlaadun heikkeneminen – tutkimuksissa ilmalämpöpumpuista on löydetty home- ja bakteerikasvustoja (Urakkamaailma, n.d.). Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö tuottaa jonkin verran ääntä ja

mahdollisesti vedon tunnetta, joten sen asennuspaikan valinnassa tulee käyttää harkintaa (Isosaari, 2012, s. 88; Pihlajaniemi, 2019).

3.1.4 Ympäristötekijät

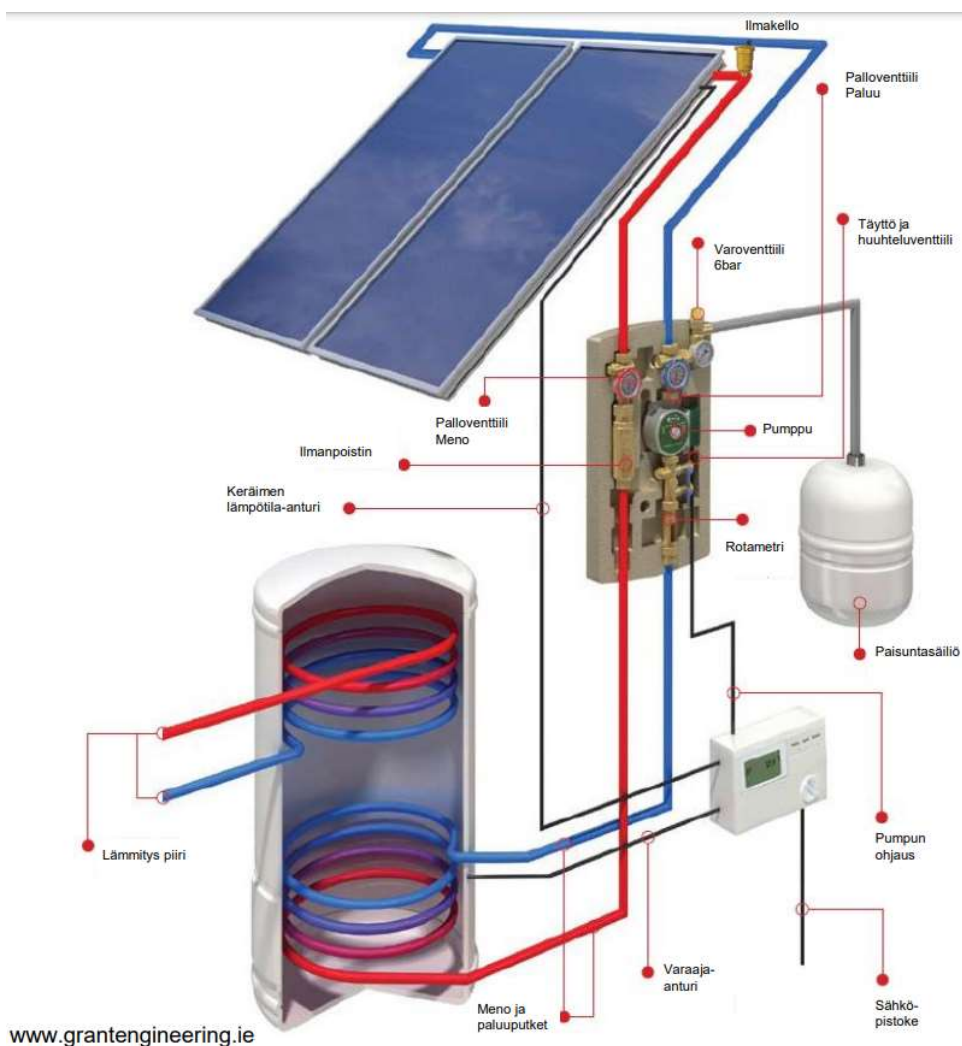
Lämpöpumppujen käyttö on ilmaston kannalta kaikkein tehokkain keino rakennusten lämmitykseen. Perinteisestä kotitalouksien lämmöntuotannosta voidaan korvata jopa kaksi kolmasosaa uusiutuvalla energialla, kun käytetään lämpöpumppuja. (Rannisto, 2019.) Ilmalämpöpumppu on helppo keino lisätä uusiutuvan energian käyttöä etenkin niissä omakotitaloissa, joissa ei ole vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää.

Lämpöpumput käyttävät kylmäaineina niin sanottuja f-kaasuja eli fluorattuja hiiliveityjä, jotka ovat ilmakehään vapautuessaan otsonikerrosta ohentavia ja siten ilmastoa lämmittäviä aineita. Pahimmat f-kaasut on jo kielletty, mutta EU:n komission uuden ehdotuksen (5.4.2022) myötä ilmalämpöpumppujen myynti kiellettäisiin tammikuusta 2025 alkaen, jos kylmäainekaasun GWP-arvo on 750 tai enemmän. Uusissa ilmalämpöpumpuissa käytetään nykyään yleisimmin R32-kylmäainetta, jonka GWP (lämmityspotentiaali) on 675. Komission ehdotus herättää hämmennystä, sillä jo nykyään voimassa olevat asetukset vähentävät f-kaasujen aiheuttamia päästöjä 88 % vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi päästöt ovat todella pieniä verrattuna päästövähennyksiin, joita lämpöpumpuilla voidaan saada aikaan korvattaessa fossiilisia polttoaineita. (Huttula, 2022.)

3.2 Aurinkokeräimet

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti omakotitaloissa tukijärjestelmänä pääasiassa kahdella eri tavalla. Energiaa voidaan varastoida aurinkopaneeleilla sähköksi, joka menee suoraan käyttöön, varastoidaan akkuihin tai myydään sähköverkkoon. Toinen vaihtoehto on käyttää aurinkokeräimiä, jolloin auringon lämpösäteily absorboituu keruuputkistoissa virtaavaan nesteeseen tai ilmaan. Lämmennyt fluidi – yleensä glykolineste – siirtää lämmön lämmitys- tai lämminvesivaraajaan.

Aurinkolämpöä käytetään useimmiten öljy-, puu-, pelletti- tai sähkölämmityksen rinnalla (Isosaari, 2012, s. 108). Parhaiten se soveltuu sellaisen lämmitysjärjestelmän rinnalle, joka käyttää vesikiertoista lämmönjakotapaa. Mikäli lämmönjakotapana on jokin muu, aurinkolämpöä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmittämiseen. (Energiatehokas koti, 2020a.) Lähes 90 prosenttia aurinkokeräimistä on etenkin harjakattoasennuksiin hyvin soveltuvia tasokeräimiä. Kalliimpi vaihtoehto on käyttää tyhjiöputkikeräimiä, jotka ovat jonkin verran tasokeräimiä tehokkaampia. (Isosaari, 2012, s. 108–109.) Paras tuotto aurinkokeräimistä saadaan kesällä. Suurin hyöty saadaan, kun keräimet on sijoitettu mahdollisimman aurinkoiselle paikalle, esimerkiksi rakennuksen katolle. (Motiva, 2016.) 35–45 asteen kallistuskulma antaa vuositasolla parhaimman tuoton, kun keräimet on suunnattu etelään. Keväällä, maaliskuu-toukokuussa aurinkolämpöä saadaan talteen kolme neljäsosaa kesäkuukausiin verrattuna. (Isosaari, 2012, s. 110.)



Kuva 2. Aurinkolämpöjärjestelmä. (Kukka, 2020a, s. 6).

Vettä voidaan myös lämmittää aurinkopaneelien tuottamalla sähköllä vastusten avulla. Lämminvesivaraajaan asennetaan sähkövastukset, jotka lämmittävät aurinkopaneelien keräämällä sähköenergialla käyttövedettä. Tietokirjailija ja energia-asiantuntija Janne Käpylehdon (2016, s. 43) mukaan aurinkolämmön käyttäminen on kuitenkin ”huomatavasti kustannustehokkaampi tapa” lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Edellä mainittua tapaa voidaan kuitenkin käyttää, jos vesivaraajaan ei ole mahdollista liittää lämpökeräimien vaatimaa lämpökierukkaa tai jos aurinkoenergian hyödyntämistä halutaan kokeilla pienellä investoinnilla (Käpylehto, 2016, s. 85). Kuluneen vuoden (2022) aikana kohonneiden energiakustannusten myötä aurinkosähkön käyttö on kuitenkin tullut aiempaa kannattavammaksi.

3.2.1 Investointi- ja käyttökustannukset

Tavallisimmat aurinkokeräimet ovat pinta-alaltaan 1–2 m² (Varaaja.com, n.d.). Pientaloon soveltuva järjestelmä, joka kattaa valtaosan lämpimästä käyttövedestä sekä osan lämmityksestä, voi olla noin 8–12 neliömetrin kokoinen (Auvinen, 2015; Varaaja.com, n.d.). Finsolarin selvityksen mukaan vuosina 2014–2015 tyypillisten aurinkolämpöjärjestelmien keskimääräiset hankintahinnat asennuksineen olivat pienille järjestelmille (4–20 keräinneliötä) 500–1000 euroa keräinneliötä kohti (Auvinen, 2016). Esimerkiksi 9 neliömetrin järjestelmä kustantaa noin 7000–9000 euroa sisältäen keräimet, pumppuryhmän, paisunta-astian, kattoasennussarjan, kytkentäsarjan, lämmönsiirtonesteen, hybridivaraajan aurinkokierukalla sekä asennuksen (Kukka, 2020a, s. 22). Etenkin jos kiinteistön käyttövesi lämpiää öljyllä tai sähköllä, on aurinkolämpö erityisen kannattava investointi. Lisäksi sen takaisinmaksuaika on ollut ennen kuluneen vuoden (2022) energian hintojen nousua selvästi lyhempi kuin aurinkosähkössä. (Käpylehto, 2016, s. 50–51.)

Aurinkokeräimissä lämmönkeruunestettä kierrättävä pumppu käy noin 80 watin teholla, eli pumpun käyttö vastaa yhden tehokkaan hehkulampun käyttöä. Aurinkokeräimet eivät yleensä vaadi kuin vähäisiä huoltotoimenpiteitä, joten investointikustannusten jälkeen aurinkolämmön käyttö on lähes ilmaista. Lisäksi keräimet ovat

pitkäikäisiä – ne kestävät normaalisti vuosikymmeniä, jopa 30 vuotta. (Kukka, 2020b, s. 4; Motiva, 2016.)

Aurinkolämpöjärjestelmä täytyy muutaman vuoden välein tarkastaa sekä mahdollisesti vaihtaa ohjausyksikkö, paisunta-astia ja lämmönsiirtonesteet. Järjestelmän ylläpitokustannuksiksi on arvioitu 5–10 prosenttia alkuinvestoinnista 30 vuoden aikana. (Auvinen, 2016.)

3.2.2 Energiantuotto

Aurinkokeräimet tuottavat yleensä noin 250–400 kWh energiaa vuodessa per keräineliometri (Kukka, 2020a, s. 4). Tyhjiöputkikeräimillä voidaan päästä jopa 500 kilowattituntiin vuodessa (Energiakauppa, n.d.). Mikäli keräinalaa on esimerkiksi 10 m², tasokeräimillä tuotetun energian rahallinen arvo vuodessa on useita satoja euroja (Varraja.com, n.d.). Pientalon energiankulutuksesta voidaan saavuttaa aurinkokeräimillä noin 15–30 prosentin ja käyttöveden lämmityksestä noin 50 prosentin säästö (Isosaari, 2012, s. 109).

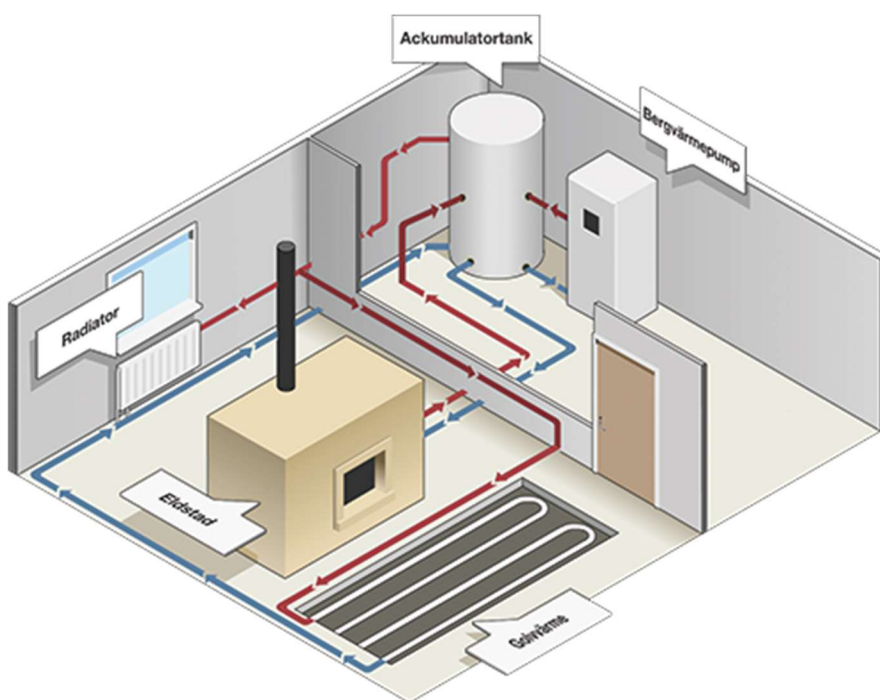
3.2.3 Mukavuustekijät

Aurinkokeräimet ovat helppohoitoisia ja toimintavarmoja. Ne eivät vaadi yleensä juuri lainkaan huoltoa. Lumet voi keväällä harjata keräinten päältä, jos haluaa, mutta vaikutus lämmön tuottoon on vähäinen – auringon alkaessa lämmittää lumet sulavat mustalta pinnalta muutenkin nopeasti tai irtoavat levyinä. Noin kymmenen vuotta asennuksen jälkeen kannattaa tarkistaa keräimissä kiertävän glykolinesteen pakkasenkesto- ja lämmönsiirto-ominaisuudet. (Ekolämmöx, n.d.a.) On arvioitu, että 30 vuoden käyttöajan puitteissa täytyy ohjausyksikkö ja paisunta-astia vaihtaa kerran ja nesteet kaksi kertaa (Auvinen, 2016).

3.2.4 Ympäristötekijät

Aurinkolämpöjärjestelmän käyttäminen on lähes päästötöntä. Se lisää energiaomavaraisuutta ja siten vähentää muiden lämmitysmuotojen aiheuttamia päästöjä (Käpylehto, 2016, s. 51). Aurinkokeräinten- ja paneelien valmistuksessa käytetään kuitenkin luonnonvaroja, joiden riittävyys tulee suhtautua kriittisesti. Esimerkiksi aurinkopaneeleissa käytetään muun muassa hopeaa, alumiinia, indiumia, telluuria ja galliumia. EU:n Wee-direktiivillä (2014) halutaan vastata resurssien vähyden aiheuttamaan haasteeseen kontrolloimalla sähkö- ja elektroniikkaromun keräystä, käsittelyä ja kierrätystä. Aurinkolämpöjärjestelmän tulee olla toiminnassa vain 1–3,5 vuotta, ennen kuin se on maksanut takaisin järjestelmän valmistukseen ja ylläpitoon käytetyn energian. Pohjois-Euroopan aurinkolämpöjärjestelmät tuottavat elinkaarensa aikana kuluttamansa energian keskimäärin viisinkertaisesti takaisin. (Müller, 2015.)

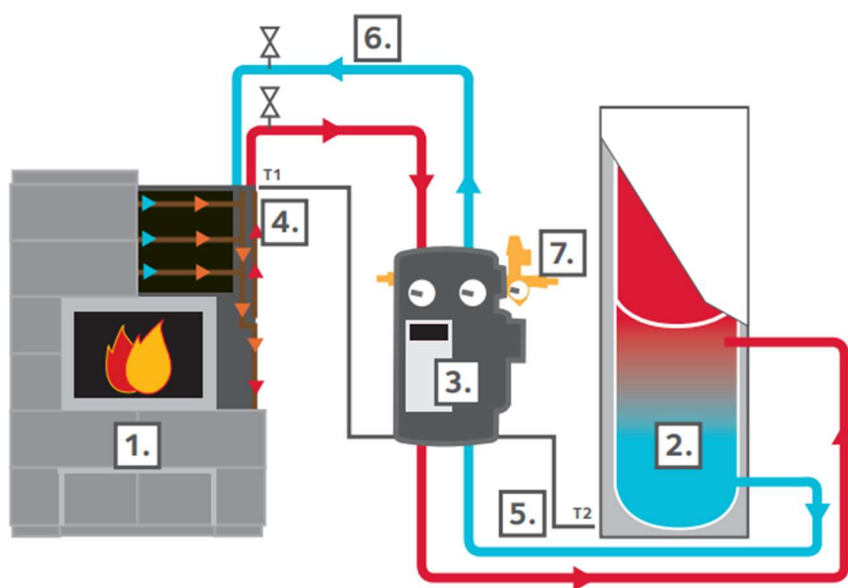
3.3 Vesitakka



Kuva 3. Havainnekuva vesikiertoisen takan toiminnasta. (Ekomurning, n.d.)

Vesikiertoinen takka on lämmitysjärjestelmä, jossa yhdistyvät perinteinen tulisija ja pannuhuone. Vesitakan toimintaperiaatteena on tulipesää ympäröivän lämmönsiirtimen kyky siirtää puun poltosta syntyvä lämpöenergia energiavaraajaan. (Jaako,

2014, s. 92–93). Lämpö varautuu takan sisärungon kautta ulko- ja sisäkuoren välissä sijaitsevan siirtimen välityksellä kiertoveteen (Isosaari, 2012, s. 71). Takka luovuttaa lämpöä perinteiseen tapaan myös säteilemällä ja johtumalla – takan rakenteisiin varastoituu noin 20–30 % lämmöstä – mutta suurin osa lämmöstä siirtyy vesivaraajaan. Siirrettyä lämpöä voidaan hyödyntää vesikiertoisessa lämmityksessä ja käyttöveden lämmityksessä. Mallista riippuen vesitakan hyötysuhde on 80–90 %. Suurimmissa järjestelmissä teho voi olla hetkellisesti jopa 55 kW. Eri malleista riippuen vesitakka vaatii toimiakseen 500–1000 litraisien varaajan. Lämmityskaudella riittää, kun takkaa lämmitetään 1–2 kertaa vuorokaudessa. Mikäli vesitakkaa käytetään tukilämmitysjärjestelmänä, voidaan takkaa käyttää harvemmin – suurin hyöty saadaan, kun lämmön tarve on suurin. Esimerkiksi kovilla pakkasilla monet lämpöpumppujärjestelmät käyttävät pääasiassa sähkövastuksia lämmitykseen. (Ekolämmöx, n.d.b; Ekomurning, n.d.; Jaako, 2014, s. 92–93.)



Green W10-järjestelmän toimintaperiaate:

1. Tulikivi W10 -vesilämmitysjärjestelmä, 2. Hybridivaraaja (sisältää käyttöveden tuoton sekä lämmityspiirin), 3. Pumppuryhmä, 4. Tulisija-anturi, 5. Varaaja-anturi, 6. Ilmaus, 7. Varolaitteet pumppuryhmässä ja paisuntasäiliö tarvittaessa

Kuva 4. Erään takkavalmistajan havainnekaavio vesikiertoisen takan toiminnasta. (Tulikivi, n.d.)

3.3.1 Investointi- ja käyttökustannukset

Vesitakat itsessään ovat hieman varaavia takkoja edullisempia, mutta niiden vaatimat putkitukset, varolaitteet, pumpput ja automatiikat nostavat hankintakustannuksia huomattavasti. Hinnat asennettuina vaihtelevat paljon takan ominaisuuksien mukaan, mutta tässä opinnäytetyössä vesitakan hankintahinnaksi on arvioitu 7000 euroa.

Kaikki takat tarvitsevat säännöllisen nuohouksen, mutta muita huoltokustannuksia vesitakasta ei yleensä tule. Vuosittainen nuohous kustantaa 50–60 euroa. Mikäli polttopuuta on saatavilla omasta takaa, ovat vesitakan käyttökustannukset 20 vuoden seurantajaksolla olemattomia. Ostopuun hinnat vaihtelevat, mutta koivuklapiakin saa parhaimmillaan viidelläkymmenellä eurolla/pinokuutiometri. Vesitakkojen tekniseksi käyttöikäksi voidaan arvioida vähintään 20 vuotta.

3.3.2 Energiantuotto

Vesitakkojen lämpötehot vaihtelevat paljon. Esimerkiksi päälämmitysjärjestelmänä yleensä käytettävä Ekotakka voi tuottaa hetkellisesti jopa 55 kW lämpötehon (Ekomurning, n.d.). Tukilämmitysjärjestelmänä käytettäessä vesitakalla arvioidaan pystytävän kattamaan 35 % lämmityksen kokonaisenergiatarpeesta. Mikäli takkaa lämmitetään jatkuvasti, päästään suurempiin lukemiin. Kun vesitakkaa käytetään tukilämmitysjärjestelmänä varaavan takan tavoin, polttopuuta arvioidaan kuluvan lämmityskaudella noin 20 kg/vrk. (Tikkala, 2013, s. 20.) Tulikiven Green W10 -vesitakka tuottaa lämpöä veteen keskimäärin 1,5 kW 12 tunnin aikana (Tulikivi, n.d., s. 5). Lämmitysenergian tuotto sisäilmaan yhdellä 20 kg käyttömäärällä on Tulikiven suunnitteluohjeen mukaan 75 kWh (Tulikivi, n.d., s. 6). Samalla puumäärällä erään nyrkkisäännön mukaan veteen siirtyy 20 kilowattia lämmitystehoa, joka nostaa 500 litraisien vesivaraajan veden lämpötilaa 40 celsiusasteella (Isosaari, 2012, s. 72).

3.3.3 Mukavuustekijät

Nykyaikaisissa matalaenergiataloissa on tärkeää, että takka ei lämpene liikaa ja siten nosta huonelämpötilaa liian korkeaksi. Vesikiertoiset takat ovat takkavalmistajien

vastaus liialliseen säteilylämpöön, sillä suurin osa tuotetusta lämpöenergiasta siirretään vesivaraajaan. Vesitakan voikin verhota esimerkiksi tavallisella kipsilevyllä, sillä sen pintalämpötila ei nouse korkeaksi. (Isosaari, 2012, s. 70–71.)

Tulisijan käyttö vaatii aina käyttäjältään työtä. Moni kuitenkin pitää polttopuiden tekemisestä ja katsoo sen olevan oivallista hyötyliikuntaa. Vesitakan käytössä tavalliseen takkaan verrattuna tulee huolehtia esimerkiksi sähkökatkon aikana, että pumppu ei ole käytössä. Mikäli tulisijaa käytetään silti, täytyy varmistaa varoventtiilin ja paisunta-astian toimivuus. Sähkökatkoksen jälkeen järjestelmän paine on tarkistettava ja järjestelmä on tarvittaessa ilmastettava ja täytettävä. (Tulikivi, n.d.) Koska vesitakan tulipesän pinta ei lämpene kovinkaan kuumaksi, noki ja koivuterva tiivistyvät helposti sen pintaan. Säännöllistä nuohousta ei siis saa laiminlyödä. Noen välttämiseksi olisi järkevää polttaa sekapuuta tai haapaa. (Ekolämmöx, 2017.) Asumisviihtyvyyttä voivat vähentää puunpolton aiheuttaman päästöt, kuten pienhiukkaset, häkä, hiilivedyt ja musta hiili sekä syöpää aiheuttavat pah-yhdisteet, kuten bentsopyreeni. On tärkeää polttaa vain kuivaa polttopuuta päästöjen minimoimiseksi. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, n.d.)

3.3.4 Ympäristötekijät

Tulisijojen käyttö aiheuttaa aina päästöjä ympäristöön. Puun pienpoltosta aiheutuu 40 % Suomen kaikista pienhiukkaspäästöistä (Terveystieteiden tutkimuskeskus, 2022). Päästöt voidaan minimoida polttamalla kuivaa puuta päältä sytyttämällä, jolloin palokaasut palavat tehokkaasti. Mikäli poltetaan jätteitä tai märkää puuta, syntyy haitallisia päästöjä moninkertaisesti. Palamisprosessissa syntyvän hiilidioksidin lisäksi musta hiili on ilmastonmuutosta kiihdyttävä saaste, sillä se nopeuttaa jäätiköiden sulamista. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, n.d.) Puun polton ympäristövaikutuksista ollaan montaa mieltä. EU:n näkökanta on, että puun poltosta vapautuva hiilidioksidi sitoutuu uudestaan puun kasvaessa uudestaan. Kasvamisprosessi on tosin hidas, joten sitoutumiseen menee aikaa. (Hukkanen, 2016.) Toisaalta metsään lahoava puu aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, mikä taas puoltaa metsien harventamista ja puun hyötykäyttöä teollisuudessa tai polttopuuna.

4 ELINKAARIKUSTANNUSTEN LASKENTA

4.1 Laskentamenetelmät

Lämmitysjärjestelmien valinnassa otetaan huomioon nykyään entistä enemmän ekologisuustekijät ja kestävä kehitys – silti valtaosa valinnoista tehdään kustannusten perusteella (Kivioja, 2020b, s. 2). Yleensä suora sähkölämmitys on investointikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto lämmitysjärjestelmäksi, mutta pidemmällä aikavälillä se ei pysty kilpailemaan toisia lämmitysjärjestelmiä vastaan (Kivioja, 2020b, s. 3). Kun halutaan määrittää pienin kokonaiskustannus, täytyy selvittää investointikustannusten lisäksi myös järjestelmän tekninen käyttöikä ja käyttökustannukset (Kivioja, 2020b, s. 5). Laskenta sisältää aina epävarmuustekijöitä: tekninen käyttöikä ei välttämättä tarkoita, että laitteisto kestää juuri sen ajan käyttökelpoisena, kunnossapitokustannukset saattavat vaihdella tapauskohtaisesti paljonkin ja energian hinnan kehitystä on mahdoton ennustaa tarkasti (Kivioja, 2020b, s. 7–9). Lisäksi hankinnat tehdään usein lainarahalla, jolloin lainan korko tulee ottaa laskentaan mukaan (Kivioja, 2020b, s. 10). Mikäli laskenta-ajan (tässä tapauksessa 20 vuotta) jälkeen laitteisto on vielä toimintakelpoinen, sille voidaan ajatella jäännösarvo, jonka määrittäminen tarkasti on hankalaa (Kivioja, 2020b, s. 11).

Lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannuksia voidaan laskea monella eri tavalla, esimerkiksi suoran takaisinmaksuajan menetelmällä, annuiteettimenetelmällä ja nykyarvomenetelmällä. Tässä opinnäytetyössä kustannuslaskennassa on käytetty annuiteettimenetelmää, joka soveltuu tapauksiin, joissa lainan takaisinmaksuaika ja laitteistojen tekninen käyttöikä ovat samansuuruisia, tai korkotaso on matala. (Kivioja, 2020b, s. 12.)

Käytettäessä annuiteettimenetelmää investointi jaetaan vuotuisiin tasaeriin, jotka sisältävät lainan lyhennyksen lisäksi koron. Tasaerän lisäksi maksettavaksi tulevat käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä energian hinta. (Kivioja, 2020b, s. 14.) Mikäli laina-ajaksi määritetään esimerkiksi 15 tai 20 vuotta, annuiteettimenetelmä soveltuu laskentaan hyvin (Kivioja, 2020b, s. 15).

Annuiteettimenetelmässä lasketaan vuotuinen tasaerä kaavalla 1.

$$Tasaerä = \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} * A, \quad (\text{kaava 1})$$

missä

A = lainasumma

i = korkokanta desimaalimuodossa

n = korkojaksojen lukumäärä

(Kivioja, 2020b, s. 16.)

4.2 Laskennan lähtötiedot

4.3 Laskennassa tarvittavat lähtötiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laskennan lähtötiedot.

Lämmitysjärjestelmä	KL	ML	PILP	VT	ILP	AK
Investointikustannus [€]	11500	19000	13000	7000	2000	4500
Polttoaineen hinta [€/yks]	80	0,2	0,2	55	0,2	0
Hyötysuhde	95 %	300 %	300 %	80 %	250 %	70 %
Osuus kokonaislämmöntarpeesta	100 %	90 %	80 %	30 %		
Osuus tilojen ja iv:n lämmöntarpeesta					40 %	
Osuus käyttöveden lämmöntarpeesta						50 %
Kunnossapito- / käyttökustannus [€/a]	370	200	200	50	100	15
KL=kaukolämpö						
ML=maalämpö						
PILP=poistoilmalämpöpumppu						
VT=vesitakka						
ILP=ilmalämpöpumppu						
AK=aurinkokeräimet						

Kaukolämmön investointikustannukset ovat noin 7000 euroa. Lisäksi lattialämmityksen investointi pientaloon maksaa noin 4500 euroa. (Motiva, n.d.a.) Kaukolämmön keskihintana Espoossa sijaitsevassa omakotitalossa on käytetty 80 €/MWh (Energiateollisuus, n.d.). Kaukolämmön kunnossapitokustannuksiin on laskettu kaukolämmön tehomaksu, joka kohteessa on Fortumin hintatietojen mukaan noin 370 euroa vuodessa

(Fortum, n.d.)². Hyötysuhteena on käytetty 95 % (Motiva, n.d.a). Kaukolämpöjärjestelmä pystyy kattamaan tarvittaessa kaiken asunnon lämmöntarpeesta.

Maalämpöjärjestelmä tulee investointikustannuksiltaan selvästi kalleimmaksi vaihtoehdoksi. Investointikustannukset vaihtelevat esimerkiksi maaperän mukaan, mutta tässä opinnäytetyössä on käytetty hinta-arviona 14500 € (Kukka, 2020c, s. 25). Investointikustannuksiin on lisätty kaukolämmön tavoin myös lattialämmityksen hankinta- ja asennuskulut (4500 €). Tässä opinnäytetyössä sähkön hintana on käytetty Motivan vertailulaskurin antamaa keskihintaa 0,2 € (tilanne kesäkuussa 2022). Maa- ja poistoilmalämpöpumpun hyötysuhteet ovat Motivan laskurin mukaan lattialämmityskohteessa noin 3. (Motiva, n.d.a.) Maalämpö mitoitetaan usein osatehoiseksi, jolloin sen osuus kokonaislämmöntarpeesta liikkuu noin 90 prosentissa (Kukka, 2020c, s. 14). Vesitakan kanssa käytettynä maalämpöjärjestelmä on mitoitettu laskennassa täysitehoiseksi siten, että vesitakka haukkaa 30 prosenttia kokonaislämmöntarpeesta, ja maalämpöjärjestelmä tuottaa lopun lämpöenergiaa. Maa- ja poistoilmalämpöpumpun kunnossapitokustannuksiksi on arvioitu 200 euroa vuodessa 20 vuoden ajan. Hinta pitää sisällään kompressorin vaihdon (tekninen käyttöikä 15 vuotta) ja muita vähäisiä huoltotoimenpiteitä. Hinta-arvio on saatu lämpöpumppuasentajaa ja -urakoitsijaa haastatteleamalla.

Poistoilmalämpöpumpun investointikustannukset koostuvat maalämmön ja kaukolämmön kanssa lämmöntuotannon ja lämmönjaon kustannuksista. Poistoilmalämpöpumpun investointikustannuksena laskennassa käytetään 9000 euroa. Investointikustannuksiin on lisätty myös lattialämmityksen hankinta- ja asennuskulut (4500 €). Uudessa pientaloissa poistoilmalämpöpumpun arvioidaan pystyvän tuottamaan 80 prosenttia kokonaislämmöntarpeesta. (Motiva, n.d.a.)

Ilmalämpöpumpun hankintakustannuksena on käytetty 2000 euroa (Energiatehokas koti, 2020b; Urakkamaailma, n.d.). Polttoaineena ilmalämpöpumppu käyttää sähköenergiaa (0,2 €/kWh). Ilmalämpöpumpun hyötysuhteena laskennassa on käytetty 250 prosenttia (Kukka, 2020c, s. 4). Ilmalämpöpumpulla ei pystytä lämmittämään

² Tehomaksun laskennassa tarvittavan kaukolämmön sopimustehon suuruus (8 kW) on arvioitu Vantaan Energian hintalaskurin avulla (Vantaan Energia, n.d.).

käyttövettä, joten sen lämmitysosuus on arvioitu vain tilojen ja iv:n lämmöntarpeesta (40 %) (Energiatehokas koti, 2020c). Ilmalämpöpumpun teknisenä käyttöikänsä pidetään 15–20 vuotta (Pihlajaniemi, 2019, Talotekniikkainfo, n.d.). Näin ollen 20 vuoden laskenta-ajalla ilmalämpöpumppu täytyy todennäköisesti uusida kerran. 20 vuodelle jaettuna ilmalämpöpumpun uusintakustannukset tekevät 100 euroa vuodessa.

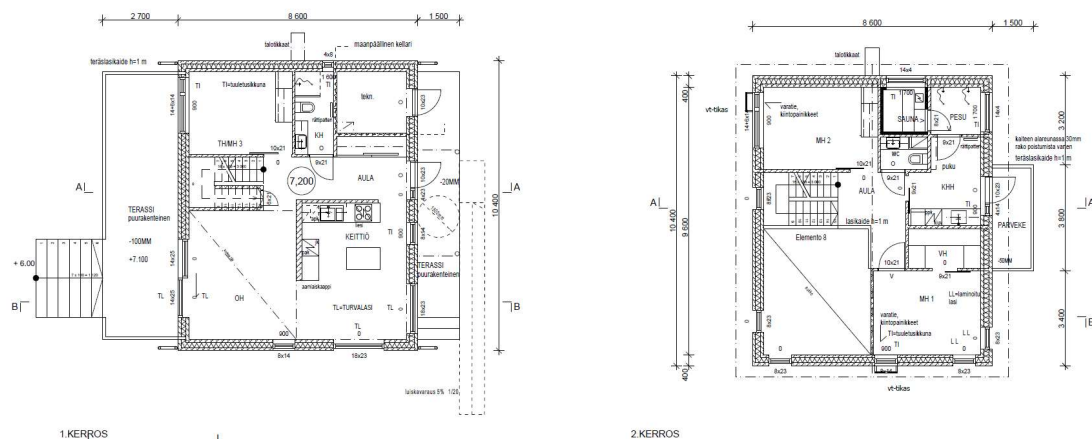
Vesitakan investointikustannuksiksi on arvioitu tässä opinnäytetyössä 7000 euroa. Polttoaineen hintana yksikköä (pino-m³) kohti on käytetty 55 euroa. Hyötysuhde on arvioitu 80 prosenttiin (Ekolämmöx, n.d.b). Laskennassa on oletettu, että vesitakkaa käytetään tukilämmitysjärjestelmänä varaavan takan tavoin – tällöin sen osuutena kokonaislämmöntarpeesta voidaan pitää 30 prosenttia (Tikkala, 2013, s. 20). Vesitakan kunnossapitokustannuksiksi on määritelty vuosittaisen nuohouksen hinta (50 €). Yksi pinokuutiometri kuivaa koivupilkettä tuottaa noin 1,7 MWh energiaa (Bioenergianeuvoja, n.d.).

Aurinkokeräinjärjestelmä mitoitetaan yleisesti kattamaan noin puolet lämpimän käyttöveden energiantarpeesta. Lisäksi tavallisessa pientalossa sitä käytetään usein myös märkätilojen lattialämmitykseen. (Motiva, 2020.) Tässä opinnäytetyössä aurinkolämpöjärjestelmä on mitoitettu vain käyttöveden lämmittämiseen. Järjestelmän investointikustannukseksi on arvioitu 4500 euroa. (Kukka, 2020b, s. 10.) Aurinkokeräimet käyttävät ilmaisenergiaa, joten polttoaineelle ei tule hintaa lainkaan. Järjestelmän hyötysuhteena käytetään 70 prosenttia (Motiva, 2022). Lisäksi järjestelmän huoltokustannukset jaettuna 20 vuoden laskenta-ajalle ovat arvioitu noin 15 euron suuruisiksi vuodessa (Auvinen, 2016).

5 KOHTEIDEN ESITTELY JA KOKONAISUUKSIEN VERTAILU

5.1 Kohde 1 – kaukolämpö

Esimerkkikohteena 1 on Espoossa sijaitseva vuonna 2020 rakennettu kaksikerroksinen omakotitalo, jonka lämmönlähteenä on kaukolämpö. Lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen lattialämmitys. Talon alakerrassa sijaitsevat keittiön, eteisaulan ja kylpyhuoneen lisäksi tekninen tila, makuuhuone ja olohuone, joka on korkea (5,5 m) tilaa. Yläkertaan sijoittuvat kahden makuuhuoneen lisäksi aula, kodinhoitohuone, WC, pesuhuone ja sauna. Rakennuksen seinämateriaalina on käytetty valulämpöharkkoa, jonka paksuus on 400 mm. Rakennus on toteutettu tuulettuvalla alapohjaratkaisulla, jossa lämmöneristettä ympäröivät ontelolaatta ja valettu teräsbetoni-laatta. Yläpohja on tuulettuva puurunkoinen kokonaisuus peltikatteella.



Kuva 5. Kohteen 1 pohjakuva.

Taulukko 2. Kohteen 1 tekniset tiedot.

Lämmitetty nettoala	133 m ²
Huonekorkeus 1. kerros	2700 mm
Huonekorkeus 2. kerros	2500 mm
Huonekorkeus avoin tila	5500 mm
Ilmatilavuus	389 m ³
Kokonaislämmöntarve	13,5 MWh/a
Tilojen lämmöntarve	9,0 MWh/a
Ilmanvaihdon lämmöntarve	0,3 MWh/a
Käyttöveden lämmöntarve	4,2 MWh/a

Taulukko 3. Kohteen 1 lämmitysjärjestelmien kannattavuuslaskenta.

Päälämmitysjärjestelmä	KL	KL	VT	KL	ILP	KL	AK
Tukilämmitysjärjestelmä			VT		ILP		AK
Investointikustannus [€]	11500	11500	7000	11500	2000	11500	4500
Polttoaineen hinta [€/yks] ¹	80	80	55	80	0,2	80	0
Hyötysuhde	95 %	95 %	80 %	95 %	250 %	95 %	70 %
Osuus kokonaislämmöntarpeesta ²	100 %	100 %	30 %	100 %		100 %	
Osuus tilojen ja iv:n lämmöntarpeesta					40 %		0 %
Osuus käyttöveden lämmöntarpeesta					0 %		50 %
Lämmöntuotto [MWh/a] ³	13,5	9,5	4,1	9,8	3,7	11,4	2,1
Energiatiheys [MWh/yks] ¹	1	1	1,7	1	0,001	1	0,001
Energian tarve [MWh/a]	14,3	10,0	5,1	10,3	1,5	12,0	3,0
Energian hinta [€/MWh]	80	80	32,4	80	200	80	0
Energian hinta [€/a]	1140	798	164	826	299	963	0
Kunnossapito- / käyttökustannus [€/a]	370	370	50	370	100	370	15
Investointikustannus [€/a]	703	703	428	703	122	703	275
Kokonaiskustannus [€/a]	2214	1872	642	1899	521	2037	290
Järjestelmän kokonaiskustannus [€/a]	2214	2514		2420		2327	
¹ Yksikkönä kaukolämmössä MWh, vesitakassa pino-m ³ , muutoin kWh.							
² Tällä rivillä kerrotaan, kuinka suuren osuuden kokonaislämmöntarpeesta ko. lämmitysmuoto voi kattaa.							
³ Tukijärjestelmän lämmöntuotto on laskettu ensin. Kaukolämpö tuottaa loput lämmöntarpeesta.							
KL=kaukolämpö							
VT=vesitakka							
ILP=ilmalämpöpumppu							
AK=aurinkokeräimet							

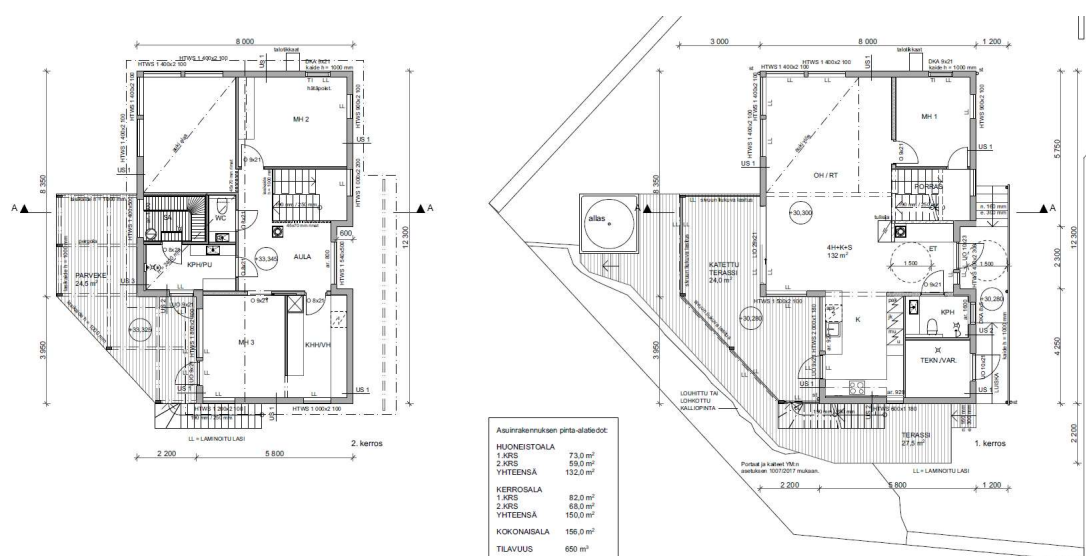
Laskenta on suoritettu 20 vuoden laskenta-ajalle siten, että vuotuinen korko on 2 %. Vuotuisia kokonaiskustannuksia tarkastellessa huomaa, että kaukolämpö ei tarvitse rinnalleen vertailussa käytettyjä tukilämmitysmuotoja, mikäli asiaa katsoo vain taloudellisesta näkökulmasta. Ero esimerkiksi ilmalämpöpumppuun on selvä – vain ilmalämpöpumpun kesäaikainen viilennystoiminto antaa hyvän perustelun sen hankintaan. Toisaalta laskennassa ilmalämpöpumppu on uusittu kertaalleen, joten sille tulee ajatella jonkinlainen jäännösarvo. Aurinkokeräimien tekninen käyttöikä on laskenta-ai- kaa pidempi, jopa 30 vuotta. Mikäli laskenta suoritettaisiin 30 vuoden ajalla, aurinko- keräimien hankinta tulisi suhteessa pelkkään kaukolämpöön kannattavammaksi. Las- kennassa on huomioitava lukuisten muuttujien määrä – mikäli sähkön hinta olisi esi- merkiksi 30 snt/kWh, parantuisi aurinkokeräimien kannattavuus suhteessa

ilmalämpöpumppuun – vastaavasti, jos sähkön hinta palautuisi edellisten vuosien tasolle (n. 12 snt/kWh), tulisi ilmalämpöpumpun hankinta järkeväksi vaihtoehdoksi. Myös kaukolämmön hinta saattaa vaihdella merkittävästikin. Mitä korkeammalle kaukolämmön hinta nousee, sitä paremmaksi vaihtoehdoksi tukilämmitysmuotojen hankinta tulee.

Vesitakan hankinta näyttäisi kustannusten puolesta olevan kaikkein kannattamattominta. Mikäli kuitenkin takkaa haluaa käyttää viihtyvyystekijöiden myötä ja jos polttopuita saa ilmaiseksi, on myös vesitakan hankinta vartenotettava vaihtoehto kaukolämmön rinnalle - ilmaisilla polttopuilla laskettuna kokonaiskustannukset asettuisivat kannattavuuslaskennassa aurinkokeräimien ja ilmalämpöpumpun väliin.

5.2 Kohde 2 – maalämpö

Kohde 2 on maalämmöllä varustettu kaksikerroksinen omakotitalo, joka sijaitsee Helsingissä. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys. Talo on rakennettu vuonna 2021. Talon alakerrassa on korkeaa tilaa oleva olohuone, keittiö ja ruokailutila, makuuhuone, eteinen, kylpyhuone ja tekninen tila. Yläkertaan sijoittuvat kahden makuuhuoneen lisäksi aula, WC, kylpyhuone ja sauna. Kohteessa on varaava takka, joka on kuitenkin jätetty tässä vertailussa huomioimatta.



Kuva 6. Kohteen 2 pohjakuva.

Rakennus on lamellihirsiseinäinen siten, että osa ulkoseinistä on jätetty kokonaan ilman erillistä eristekerrosta. Yläpohjana on peltikatteinen harjakatto, joka on varustettu villaeristein. Alapohjana on maanvarainen teräsbetonilaatta asiaankuuluvien eristyksin.

Taulukko 4. Kohteen 2 tekniset tiedot.

Lämmitetty nettoala	144 m ²
Huonekorkeus 1. kerros	2600 mm
Huonekorkeus 2. kerros	2400 mm
Huonekorkeus avoin tila	5500 mm
Kokonaislämmöntarve	18,3 MWh/a
Tilojen lämmöntarve	13,7 MWh/a
Ilmanvaihdon lämmöntarve	0,4 MWh/a
Käyttöveden lämmöntarve	4,2 MWh/a

Taulukko 5. Kohteen 2 lämmitysjärjestelmien kannattavuuslaskenta.

Päälämmitysjärjestelmä	ML		ML		ML		ML			
Tukilämmitysjärjestelmä				VT		ILP			AK	
Sähkövastukset pääjärjestelmässä	SV				SV				SV	
Investointikustannus [€]	19000	0	19000	7000	19000	2000	0	19000	4500	0
Polttoaineen hinta [€/yks] ¹	0,2	0,2	0,2	55	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,2
Hyötysuhde	300 %	99 %	300 %	80 %	300 %	250 %	99 %	300 %	70 %	99 %
Osuus kokonaislämmöntarpeesta ²	90 %		100 %		30 %		90 %		90 %	
Osuus tilojen ja iv:n lämmöntarpeesta						40 %			0 %	
Osuus käyttöveden lämmöntarpeesta						0 %			50 %	
Lämmöntarve pääjärjestelmälle [MWh/a] ³			12,8		12,6			16,2		
Lämmöntuotto [MWh/a] ³	16,4	1,8	12,8	5,5	11,4	5,6	1,3	14,5	2,1	1,6
Energiatiheys [MWh/yks] ¹	0,001	0,001	0,001	1,7	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,001
Energian tarve [MWh/a]	5,5	1,8	4,3	6,8	3,8	2,2	1,3	4,8	3,0	1,6
Energian hinta [€/MWh]	200	200	200	32,4	200	200	200	200	0	200
Energian hinta [€/a]	1096	369	852	222	758	450	255	970	0	326
Kunnossapito- / käyttökustannus [€/a]	200	0	200	50	200	100	0	200	15	0
Investointikustannus [€/a]	1162	0	1162	428	1162	122	0	1162	275	0
Kokonaiskustannus [€/a]	2458	369	2214	700	2120	672	255	2332	290	326
Järjestelmän kokonaiskustannus [€/a]	2826		2914		3048		2948			

¹Yksikkönä vesitakassa pino-m³, muutoin kWh.

²Tällä rivillä kerrotaan, kuinka suuren osuuden lämmöntarpeesta ko. lämmitysmuoto voi kattaa.

Vesitakan rinnalla maalämpö kannattaa mitoittaa täysitehoiseksi.

³Tukijärjestelmän lämmöntuotto on laskettu ensin. Pääjärjestelmän lämmöntuotto on laskettu jäljelle jäävästä osuudesta. Sähkövastukset kattavat loput lämmöntarpeesta.

ML=maalämpö

SV=sähkövastukset

VT=vesitakka

ILP=ilmalämpöpumppu

AK=aurinkokeräimet

Laskenta on suoritettu 20 vuoden laskenta-ajalle siten, että vuotuinen korko on 2 %. Tuloksista huomataan, että erot vuotuisissa kustannuksissa eri järjestelmien välillä ovat pieniä. Vesitakka näyttäisi laskentatulosten perusteella olevan hyvin varteenotettava vaihtoehto maalämmön rinnalla. Toki puunpolto on aina työlästä, mutta monet pitävät takkatulen luomasta tunnelmasta. Mikäli polttopuita saa esimerkiksi omasta metsästä ilmaiseksi, tulee vesitakan käytöstä vielä selkeästi kannattavampaa. Vesitakan kannattavuus riippuu kovasti sähkön hinnasta – mikäli sähkön hinta laskisi takaisin viime vuosien tasolle (12 snt/kWh), ei vesitakan hankinta tulisi kannattavaksi edes ilmaisten polttopuiden tapauksessa.

Laskentatulosten perusteella vaikuttaa siltä, että ilmalämpöpumpun ja aurinkokeräimien vuotuiset kustannukset 20 vuoden laskenta-ajalla ovat täsmälleen samoja. Aurinkolämpöjärjestelmän etuna ilmalämpöpumppuun verrattuna on kuitenkin pidempi tekninen käyttöikä – toisaalta laskennassa on otettu huomioon ilmalämpöpumpun uusiminen kertaalleen. Ilmalämpöpumpun hankintaa voisi perustella esimerkiksi kesäaikaisen viilennystoimintonsa kautta – kustannusten perusteella sitä ei kannata hankkia maalämmön rinnalle.

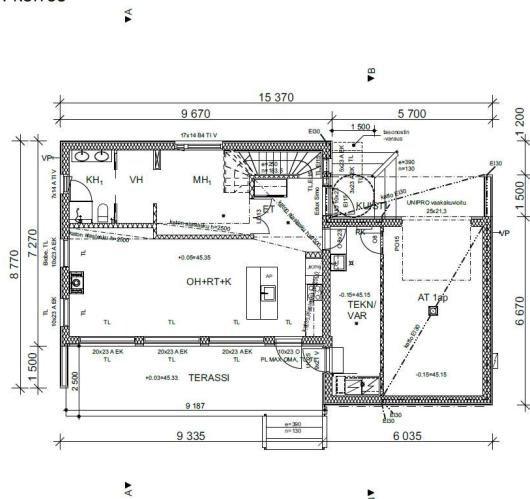
Aurinkolämpöjärjestelmää ei kuitenkaan saa tässä laskentatapauksessa maalämmön rinnalle kannattavaksi – sähkön hinnan tulisi kohota lähes 40 senttiin kilowattitunnilta, jotta aurinkokeräimet tulisi kannattavaksi hankkia 20 vuoden laskenta-ajan puitteissa. Toisaalta Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n DESY-hankkeen tulosten perusteella maalämpöpumpun ostosähkön tarvetta kannattaa pienentää aurinkoenergialla – sähkönä tai erityisesti lämpönä (Ekofokus, 2015).

Tukilämmitysjärjestelmien käytössä maalämmön rinnalla tulee ottaa huomioon myös maalämpöpumpun tekninen käyttöikä. Mikäli maalämmön rinnalle otetaan tukilämmitysjärjestelmä esimerkiksi aurinkokeräinten muodossa, maalämpöpumpun käynnissäoloaika ja käynnistysmäärät vähenevät, mikä pidentää järjestelmän käyttöikää (Auvinen, 2016). Aurinkokeräinten tuottama mahdollinen yllilämpö voidaan myös hyödyntää kytkemällä aurinkolämpöjärjestelmä maalämpöjärjestelmään, jolloin maalämmön hyötysuhde ja teho paranevat. Maalämpöpiirin keruupiiriä voidaan myös käyttää aurinkolämmön lämpövarastona. (Motiva, 2017.)

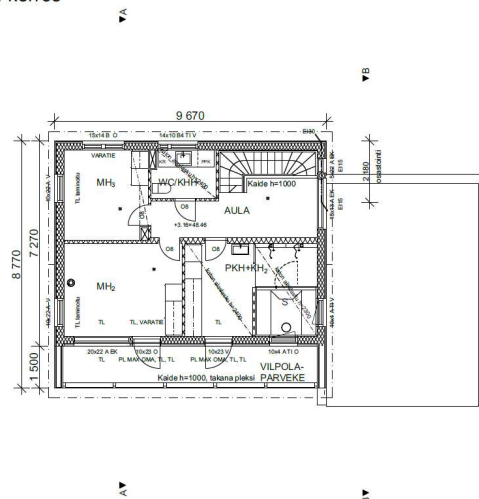
5.3 Kohde 3 – poistoilmalämpö

Kolmas kohde on Keravalla sijaitseva kaksikerroksinen omakotitalo, jonka yhteydessä on lämmin autotalli ja varasto. Vuonna 2020 valmistuneen talon alakerrassa ovat eteinen, tupakeittiö, makuuhuone ja kylpyhuone. Yläkertaan sijoittuvat kahden makuuhuoneen lisäksi aula, WC, kodinhoitohuone, kylpyhuone ja sauna. Rakennus on varustettu tiilikatteella. Yläpohjana on perinteinen ristikkorunkoinen tuuletettu ja eristetty tila. Alapohjana on maanvarainen teräsbetonilaatta. Elementtirakenteiset ulkoseinät ovat puurunkoisia ja sisältävät mineraalivillaa noin 250 mm. Talon lämmityksestä ja ilmanvaihdosta vastaa poistoilmalämpöpumppu. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on varaava takka, joka on kuitenkin jätetty tässä vertailussa huomioimatta.

1. kerros



2. kerros



Kuva 7. Kohteen 3 pohjakuva.

Taulukko 6. Kohteen 3 tekniset tiedot.

Lämmitetty nettoala	130 m ²
Huonekorkeus 1. kerros	2730 mm
Huonekorkeus 2. kerros	2530 mm
Huonekorkeus avoin tila	5500 mm
Ilmatilavuus	344 m ³
Kokonaislämmöntarve	17,4 MWh/a
Tilojen lämmöntarve	6,9 MWh/a
Ilmanvaihdon lämmöntarve	6,3 MWh/a
Käyttöveden lämmöntarve	4,2 MWh/a

Taulukko 7. Kohteen 3 lämmitysjärjestelmien kannattavuuslaskenta.

Päälämmitysjärjestelmä	PILP		PILP		PILP		PILP		PILP		AK
Tukilämmitysjärjestelmä				VT			ILP				
Sähkövastukset pääjärjestelmässä	SV		SV		SV		SV		SV		SV
Investointikustannus [€]	13000	0	13000	7000	0	13000	2000	0	13000	4500	0
Polttoaineen hinta [€/yksi] ¹	0,2	0,2	0,2	55	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,2
Hyötysuhde	300 %	99 %	300 %	80 %	99 %	300 %	250 %	99 %	300 %	70 %	99 %
Osuus kokonaislämmöntarpeesta ²	80 %		80 %	30 %	80 %		80 %		80 %		
Osuus tilojen ja iv:n lämmöntarpeesta							40 %			0 %	
Osuus käyttöveden lämmöntarpeesta							0 %			50 %	
Lämmöntarve pääjärjestelmälle [MWh/a] ³			12,2			12,1			15,3		
Lämmöntuotto [MWh/a] ³	13,9	3,5	9,7	5,2	2,4	9,7	5,3	2,4	12,2	2,1	3,1
Energiatiheys [MWh/yksi] ¹	0,001	0,001	0,001	1,7	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Energian tarve [MWh/a]	4,6	3,5	3,2	6,5	2,5	3,2	2,1	2,4	4,1	3,0	3,1
Energian hinta [€/MWh]	200	200	200	32	200	200	200	200	200	0	200
Energian hinta [€/a]	928	703	650	211	492	646	422	490	816	0	618
Kunnossapito- / käyttökustannus [€/a]	200	0	200	50	0	200	100	0	200	15	0
Investointikustannus [€/a]	795	0	795	428	0	795	122	0	795	275	0
Kokonaiskustannus [€/a]	1923	703	1645	689	492	1641	645	490	1811	290	618
Järjestelmän kokonaiskustannus [€/a]	2626		2826		2776		2720				
¹ Yksikkönä vesitakassa pino-m ³ , muutoin kWh.											
² Tällä rivillä kerrotaan, kuinka suuren osuuden kokonaislämmöntarpeesta ko. lämmitysmuoto voi kattaa.											
³ Tukijärjestelmän lämmöntuotto on laskettu ensin. Pääjärjestelmän lämmöntuotto on laskettu jäljelle jäävästä osuudesta. Sähkövastukset kattavat loput lämmöntarpeesta.											
PILP=poistoilmalämpöpumppu											
SV=sähkövastukset											
VT=vesitakka											
ILP=ilmalämpöpumppu											
AK=aurinkokeräimet											

Laskenta on suoritettu 20 vuoden laskenta-ajalle siten, että vuotuinen korko on 2 %. Tulosten perusteella näyttää siltä, että poistoilmalämpöpumppu ei kaipaakaan rinnalleen tukilämmitysjärjestelmää taloudellisista syistä. Vesitakan käyttö voisi tulla järkeväksi, mikäli polttopuut saadaan ilmaiseksi tai mikäli laskenta tehdään todella pienellä korkotasolla. Mikäli sähkön hinta palautuu viime vuosien tasolle (12 snt/kWh), paranee pelkän poistoilmalämpöpumpun kannattavuus entisestään verrattuna hybridijärjestelmiin. Laskennassa on käytetty PILP:in hyötysuhteena 80 %, mitä voidaan pitää korkeana lukuna. Mikäli lukua pienennettäisiin esimerkiksi 10 prosenttiyksikköä, vesitakan hankinta tulisi kaikkein järkevämmäksi tukivaihtoehdoksi poistoilmalämpöpumpun rinnalle. Laskenta-ajan kasvattaminen 30 vuoteen nostaisi taas aurinkokeräinjärjestelmän kannattavuutta. Kuten aiemmissa laskelmissa, ilmalämpöpumpun hankintaan voidaan perustella lähinnä mukavuustekijöiden perusteella.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kolmen tukilämmitysjärjestelmän hyviä ja huonoja puolia sekä niiden yhteiskäyttöä päälämmitysjärjestelmien rinnalla. Työssä tutkittiin kolmea olemassa olevaa uutta omakotitaloa, joissa oli eri lämmitysjärjestelmät. Kohteet olivat nykyisten energiatehokkuusvaatimusten mukaisia ja varustettu lämmitysjärjestelmillä, jotka ovat energiankustannuksiltaan edullisimmasta päästä. Ehkä juuri siitä syystä vertailussa käytettäviä tukilämmitysjärjestelmiä ei puhtaasti laskennallisista syistä voi suositella päälämmitysjärjestelmän rinnalle käytettäväksi. Mikäli päälämmitysjärjestelmänä olisi esimerkiksi öljy- tai sähkölämmitys, olisi tilanne toinen.

Kustannusten sijaan monet muut seikat puoltavat tukilämmitysjärjestelmien käyttöä: mukavuustekijät saattavat kallistaa valinnan esimerkiksi ilmalämpöpumpun käyttöön (kesäaikainen viilennys) tai vesitakan käyttöön (takkatulen lämpö ja tunnelma). Helpokäyttöisyys ja olemattomat käyttökustannukset ovat aurinkolämpöjärjestelmän etuja päästöttömyydestä puhumattakaan. Ympäristötekijät ovat myös ilmalämpöpumppujen etu.

Kaukolämpöjärjestelmä voi kiehtoa helpon käytettävyyden ja suhteellisen alhaisen investointikustannuksen perusteella. Kaukolämmön hintaa ei kuitenkaan voi kilpailuttaa, joten hintojen nousun varalta voi olla hyvä varustautua tukilämmitysjärjestelmällä. Maalämpöjärjestelmä on kallis investointi, mutta käyttökustannuksiltaan se on erinomainen valinta. Mikäli rinnalla käytetään lisäksi tukilämmitysjärjestelmää, kompressorin käynnistysmäärät vähenevät, ja siten järjestelmän käyttöikä pitenee.

Kustannuslaskelmia, mukavuustekijöitä ja ympäristötekijöitä vertailemalla voidaan todeta, että tässä opinnäytetyössä vertailun kohteena olleet lämmitysjärjestelmät ovat kaikki hyviä vaihtoehtoja omakotitalon rakennuttajalle. Lopullinen valinta tulee tehdä rakennuskohde huomioiden ja käyttäjän mieltymykset huomioon ottaen.

LÄHTEET

- Auvinen, K. (6.4.2015). Aurinkolämpöjärjestelmän kannattava mitoitus. Finsolar. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/aurinkolampojarjestelman-kannattava-mitoitus/>
- Auvinen, K. (26.9.2016). Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Finsolar. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>
- Bioenergieneuvoja. (n.d.). Polttopuu: Muuntokertoimet. Haettu 13.9.2022 osoitteesta <https://www.bioenergieneuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/puu/>
- Ekofokus. (17.6.2015). Aurinkolämpö maalämpöpumpun rinnalla on kannattava ja ekologinen hybridiratkaisu. <https://www.ekofokus.com/2015/06/aurinkolampo-maalampopumpun-rinnalla-on.html>
- Ekolämmöx. (Tammikuu 2017). Asiakastarinat: Vesikiertotakka pienensi sähkölaskua kolmanneksella. <https://ekolammox.fi/asiakastarinat/vesikiertotakka-pienensi-sahkolaskua-kolmanneksella/>
- Ekolämmöx. (n.d.a). Aurinkokeräimet. Haettu 24.5.2022 osoitteesta <https://ekolammox.fi/tuoteryhmat/aurinkokeraimet/>
- Ekolämmöx. (n.d.b). Vesikiertotakka. Haettu 16.5.2022 osoitteesta <https://ekolammox.fi/tuoteryhmat/vesitakka-vesikiertotakka/>
- Ekomurning. (n.d.). Ekotakka. Haettu 18.5.2022 osoitteesta http://www.euomurning.se/?page_id=411
- Energiakauppa. (n.d.). Aurinkokeräin: Teho ja tuotto. Haettu 24.5.2022 osoitteesta <https://www.energiakauppa.com/Verkko-aurinkosaehkoe/Yleistae-aurinkolaemoestae/Teho-ja-tuotto-1>
- Energiateollisuus. (12.9.2022). Kaukolämmön hintatilasto. https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view
- Energiatehokas koti. (21.7.2020a). Aurinkolämpö. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/aurinkoenergia/aurinkolampo
- Energiatehokas koti. (17.3.2020b). Ilmalämpöpumppu tukilämmityslahteenä. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo-ja-maalampopumput/ilmalampopumppu_tukilammityslahtena
- Energiatehokas koti. (17.3.2020c). Tukilämmitysjärjestelmät. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/tukilammitysjarjestelmat

Fortum. (n.d.). Kaukolämmön hinnat omakotitaloille. Haettu 12.9.2022 osoitteesta <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/lammitys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-omakotitaloille>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. (n.d.). Puunpoltto heikentää ilmanlaatua. Haettu 25.5.2022 osoitteesta <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/puunpoltto-heikentaa-ilmanlaatua/>

Hukkanen, V. (27.4.2016). Talousprofessori: ”Puun polttaminen ilmastoystävällisenä on lähellä itsepetosta”. YLE. <https://yle.fi/uutiset/3-8840718>

Huttula, J. (11.4.2022). Ilmalämpöpumputkin menisivät kieltoon: EU:n komissio ehdottaa f-kaasujen lähes täyskieltoa. Rakennusmaailma. <https://rakennusmaailma.fi/ilmalampopumputkin-menisivat-kieltoon-eun-komissio-ehdottaa-f-kaasujen-lahes-tayskieltoa/>

Isosaari, K. (toim.). (2012). Mistä energia taloon? Omakotiasujan energia- ja ympäristöopas. Otavamedia Oy.

Jaako, P. (2014). Paikalleen muuratut tulisijat. Nordbooks.

Kaukolämpö.fi. (n.d.). Miten kaukolämpö toimii. Haettu 16.5.2022 osoitteesta <https://kaukolampo.fi/miten-kaukolampo-toimii/>

Kivioja, T. (2020a). Lämmöntuottojärjestelmät: Kaukolämpö [PowerPoint-diat]. SAMK Moodle. <http://moodle.samk.fi>

Kivioja, T. (2020b). Lämmöntuottojärjestelmät: Lämmitystapojen kannattavuuden vertailu [PowerPoint-diat]. SAMK Moodle. <http://moodle.samk.fi>

Kukka, M. (2020a). Lämmöntuottojärjestelmät: Aurinkolämpö – tekniikka ja järjestelmät [PowerPoint-diat]. SAMK Moodle. <http://moodle.samk.fi>

Kukka, M. (2020b). Lämmöntuottojärjestelmät: Aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelun ja mitoituksen peruseriaatteet [PowerPoint-diat]. SAMK Moodle. <http://moodle.samk.fi>

Kukka, M. (2020c). Lämmöntuottojärjestelmät: Lämpöpumput [PowerPoint-diat]. SAMK Moodle. <http://moodle.samk.fi>

Käpylehto, J. (2016). Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Into Kustannus Oy.

Lindroos, M. (21.6.2016). Onko ilmalämpöpumpulla jäähdyttäminen kallista ja sähköntuhlausta? Vattenfall. <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/alykkaasti-kotona/ilmalampopumpulla-jaahdyttaminen/>

Motiva. (Joulukuu 2016). Auringosta sähköä ja lämpöä. https://www.motiva.fi/files/13518/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf

Motiva. (10.8.2017). Aurinkolämmön kytkeminen maalämpöpumppuun. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin/maalampopumppu

Motiva. (5.8.2020). Aurinkolämpöjärjestelmät – kytkentä muihin lämmitysjärjestelmiin. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin

Motiva. (25.3.2022). Aurinkokeräinten hyötysuhteet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet

Motiva. (n.d.a). Lämmitystapojen vertailulaskuri. Haettu 24.9.2022 osoitteesta <https://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>

Motiva. (n.d.b). Lämpöä ilmassa. Haettu 25.9.2022 osoitteesta <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

Müller, J. (Elokuu 2015). Aurinkoenergia: Ympäristövaikutukset. Finsolar. <https://finsolar.net/aurinkoenergia/ymparistovaikutukset/>

Pihlajaniemi, M. (5.8.2019). Kaikki irti ilmalämpöpumpusta. Omakoti. <https://omakotilehdet.fi/kaikki-irti-ilmalampopumpusta/>

Perälä, R. (2013). Lämpöpumput. Alfamer/Karisto Oy

Rannisto, T. (13.6.2019). Lämpöpumppu on kysytty ympäristöteko. Ilmastonmuutosinfo. <https://www.ilmastonmuutosinfo.fi/cleantech/lampopumppu-on-nyt-kysytty-ymparistoteko/>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. (n.d.a). Ilmalämpöpumppu. Haettu 23.5.2022 osoitteesta <https://www.sulpu.fi/lampopumput/ilmalampopumput/>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. (n.d.b). Maalämpöpumppu. Haettu 27.5.2022 osoitteesta <https://www.sulpu.fi/lampopumput/maalampopumput/>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. (n.d.c). Poistoilmalämpöpumppu. Haettu 16.5.2022 osoitteesta <https://www.sulpu.fi/lampopumput/poistoilmalampopumput/>

Talotekniikkainfo. (n.d.). Lämmitys ilmalämpöpumpulla. Haettu 24.5.2022 osoitteesta <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/lammitys-ilmalampopumpulla>

Terveystieteiden tutkimuskeskus. (21.9.2022). Puunpoltto. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/puunpoltto>

Tikkala, O. (Tammikuu 2013). Lämmitysmuotojen vertailu pientaloissa [AMK-opin-
näytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu]. Theseus. [https://www.theseus.fi/bit-
stream/handle/10024/54161/Ossi%20Tikkala.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bit-stream/handle/10024/54161/Ossi%20Tikkala.pdf?sequence=1)

Toshiba. (n.d.a). Ilmalämpöpumppu viilennykseen. Haettu 24.5.2022 osoitteesta
<https://www.toshibasuomi.fi/tuotteen-valinta/ilmalampopumppu-viilennykseen/>

Toshiba. (n.d.b). Ilmalämpöpumpun käyttö. Haettu 24.5.2022 osoitteesta
<https://www.toshibasuomi.fi/tuotteen-valinta/ilmalampopumpun-kaytto/>

Toshiba. (n.d.c). Ilmalämpöpumpun sähkönkulutus. Haettu 24.5.2022 osoitteesta
[https://www.toshibasuomi.fi/ilmalampopumpun-sahkonkulutus-kuinka-paljon-lam-
mittaminen-ja-viilentaminen-maksaa/](https://www.toshibasuomi.fi/ilmalampopumpun-sahkonkulutus-kuinka-paljon-lam-
mittaminen-ja-viilentaminen-maksaa/)

Tulikivi. (n.d.). Tulikivi Green W10 -suunnitteluohje. Haettu 16.5.2022 osoitteesta
[https://www.tulikivi.fi/mallisto/mallisto09/asennusohjeet/ES1165_suunnitte-
luohje_green_W10_FIN.pdf](https://www.tulikivi.fi/mallisto/mallisto09/asennusohjeet/ES1165_suunnitte-
luohje_green_W10_FIN.pdf)

Urakkamaailma. (n.d.). Ilmalämpöpumpun asennuksen hinta. Haettu 25.5.2022 osoit-
teesta <https://www.urakkamaailma.fi/remonttien-hinnat/ilmalampopumput>

Vantaan Energia. (n.d.). Kaukolämpölaskuri. Haettu 12.9.2022 osoitteesta [https://no-
masi.com/vantaan-energia/hintalaskuri/](https://no-
masi.com/vantaan-energia/hintalaskuri/)

Varaaja.com. (n.d.). Aurinkokeräimet. Haettu 24.5.2022 osoitteesta [https://www.va-
raaja.com/index.php/aurinkokeraeimet](https://www.va-
raaja.com/index.php/aurinkokeraeimet)

YLE. (10.4.2012). Ilmalämpöpumpun käyttövirhe voi tulla kalliiksi. Haettu 16.9.2022
osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-5609033>