

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Pellettilämmityksen kannattavuus
Cost-effectiveness of pellet heating

Työn tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Työn ohjaaja: Professori Tapio Ranta

Lappeenranta 5.12.2012

Markku Sjöman

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Markku Sjöman

Opinnäytteen nimi: Pellettilämmityksen kannattavuus

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2012

38 sivua, 1 taulukko, 8 kuvaa, 1 liite

Hakusanat: pellettilämmitys, energiatehokkuus, lämmitystapavertailu

Key words: wood pellet heating, energy-efficiency, comparison of heating systems

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin pellettilämmityksen kannattavuutta uudisrakentamisen pientalokiinteistöissä vertailemalla sen energiatehokkuutta, hyötyjä ja haittoja, sekä taloudellista kannattavuutta verrattuna muihin uudisrakentamisessa yleisesti käytössä oleviin lämmitysmuotoihin. Työn tavoitteena on arvioida pellettilämmityksen kokonaiskustannuksia, mahdollisesti saavutettavaa säästöä suhteessa muihin lämmitysmuotoihin sekä polttoaineen hintaa ja saatavuutta. Pellettilämmitystä tarkastellaan vuoden 2012 Suomessa voimassa olevien rakennusmääräysten mukaisesti uudisrakennettavassa pientalosovelluksessa. Lämmitystapavertailusta esitetään vertailevia laskelmia ja taulukoita sekä herkkyysoanalyysi, joiden avulla arvioidaan vuosittaisia kustannuksia sekä saavutettavaa säästöä eri lämmitysjärjestelmien kesken tietyn pitoajanjakson aikana.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 PELLETTILÄMMITYS	4
2.1 Pellettien tuotanto ja raaka-aineet	5
2.2 Pellettipolttimet ja polttotekniikka	9
2.3 Pellettien varastointi	12
3 UUDISRAKENTAMISEN LÄMMITYSMUODOT	15
3.1 Kaukolämpö	15
3.2 Maalämpöpumppujärjestelmät	17
3.3 Varaava sähkölämmitys	18
4 INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUSVERTAILU	20
4.1 Lämmityslaitteiston investointikustannukset	21
4.2 Polttoaineen kustannukset ja saatavuus	22
4.3 Polttoaineiden hintaan vaikuttavat tekijät ja hintatason kehitys	25
4.4 Huoltotarve ja – kustannukset	27
4.5 Järjestelmien kokonaiskustannukset.....	29
4.5.1 Investointikustannusten vaihtelu	31
4.5.2 Polttoainehintojen markkinakehitys.....	32
4.5.3 Investointituki ja markkinahintojen kehittyminen yhdistettynä..	33
4.5.4 Puupellettimarkkinoiden kehitysnäkymät.....	35
5 YHTEENVETO	37
LÄHDELUETTELO	39

Liite 1. Lämmitystarveluvut Suomessa vuosilta 1971–2000
vertailupaikkakunnittain (Rakennustietosäätiö RTS 2007, 102)

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

A	pinta-ala	[m ²]
BD	irtotiheys	[i-m ³]
h	korkeus	[m]
I	investointi	[€]
K	kustannus	[€]
q_i	tehollinen lämpöarvo	[MJ/kg]
Q	lämmitysenergiankulutus	[kWh]
q_v	tilavuusvirta	[m ³ /h]
V	tilavuus	[m ³]

Kreikkalaiset aakkoset

η	hyötysuhde	[%]
ϕ	lämpöteho	[kW]

Alaindeksit

a	vuosi
huippu	huippuarvo
ka	keskiarvo

Lyhenteet

CHP	Combined Heat and Power. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto.
COP	Coefficient of Performance. Tehokerroin.

1 JOHDANTO

Suomen kokonaisenergiankulutuksesta kuluu vuosittain noin 25 % pientalojen lämmittämiseen. Vuonna 2010 kokonaisenergiankulutus kiinteistöjen lämmittämiseksi oli 366 835 TJ ja lukema on kasvanut vuosittain noin 5-10 %. (Energiatilasto 2011, 40.) Pientalokuluttajien lämmitystottumukset ja lämmitysjärjestelmät ovat siis merkittävä tekijä Suomen kokonaisenergiankulutuksessa sekä kasvihuonepäästöjen tuottamisessa. Suomi on sitoutunut Kioton ilmastopöytäkirjaan vuonna 2002, sekä Euroopan unionin ilmasto- ja energiapakettiin vuonna 2008. Sopimukset sisältävät tavoitteet kasvihuonepäästöjen ja valtakunnallisen hiilijalanjäljen pienentämisestä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä sekä uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämisen lisäämisestä 20 %:lla. Suomelle määritelty tavoite on uusiutuvan energian 38% osuus energian loppukulutuksesta, joka tarkoittaa 9,5 % lisäystä nykyiseen tasoon nähden. (Ympäristöministeriö 2011.) Pellettilämmityksen osuus pientalojen lämmityksessä on kasvanut tasaisesti vanhojen kiinteistöjen lämmitysmuotoa vaihdettaessa. Hitaampaa lämmitystavan suosion kasvu on ollut uudisrakentamisessa, jossa on usein päädytty joko kaukolämpöön tai maalämpöjärjestelmiin pellettilämmityksen sijaan. Suomessa pellettilämmitys oli käytössä vuonna 2011 jo noin 25 000 pientalossa ja 1 000 suuremmassa kiinteistössä sekä kaukolämmön aluelämpölaitoksissa. Viime vuosina maalämmön kasvanut suosio pientalojen lämmöntuotannossa asettaa haasteita pellettilämmityksen menestykselle ja edellytyksiä laajempien tukirakenteiden muodostamiselle. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan pellettilämmitysjärjestelmän sijoittamista uudisrakennettuun pientaloon ja pohditaan lämmitysjärjestelmien eroavaisuuksia sekä etuja toisiinsa nähden. Lämmitystapoja vertaillaan laskemalla eri lämmitystavoille sekä investointi- että käyttökustannusvertailu ja toisaalta pohtimalla lämmitysjärjestelmien käytännön haasteita ja ongelmia, joita esiintyy niiden teknisistä eroavaisuuksista johtuen. Kandidaatintyön tavoitteena on esitellä vertailtavien lämmitysmuotojen tekniikka ja kustannukset kattavasti ja esittää sen pohjalta subjektiivinen arvio taloudellisesti kannattavimmasta tavasta toteuttaa pientalon lämmitys. Lämmitystapavertailuun valitaan Suomessa yleisimmin uudisrakentamisessa käytetyt lämmitysjärjestelmät.

2 PELLETTILÄMMITYS

Pellettilämmitys perustuu saha- ja puuteollisuuden sivutuotteena saatavasta sahajauhosta, hiontapölystä ja ylijäämäpuusta sekä muusta puuperäisestä aineksesta valmistetun puupellettien käyttämiseen kiinteistön lämmitysjärjestelmän polttoaineena. Tekniikaltaan pellettilämmitys vastaa öljylämmitystä eli perinteistä lämmityskattilajärjestelmää, joka koostuu pääasiassa polttoainesäiliöstä, polttimesta, kattilasta sekä lämmönsiirtimestä ja vesivaraajasäiliöstä. Suomessa pellettilämmityksen käytölle on erinomaiset edellytykset kattavan metsäteollisuuden ja runsaiden metsävarojen ansiosta. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.)

Puupellettien etuna on niiden helppo käsiteltävyys, kotimaisuus ja ympäristöystävällisyys sekä korkea energiatiheys ja lämpöarvo. Metsäteollisuuden ja puunjalostusteollisuuden puhtaita sivutuotteita hyödyntävä puupellettipolttoaine nostaa myös samalla merkittävästi metsäteollisuuden sivutuotteiden jalostusastetta. Käyttösovellukset puupelleteille ovat laajat ja niitä hyödynnetään yleisesti sekä suuren kokoluokan lämmöntuotannossa että pienissä asuinkiinteistösovelluksissa. (Knuutila Kirsi 2003, 84.)

Pellettien tuotantomenetelmiä ja lämmitysjärjestelmän tekniikkaa on kehitetty Suomessa 1990-luvun lopulta alkaen. Ensimmäinen puupellettitehdas käynnistyi Suomessa vuonna 1998 (Knuutila Kirsi 2003, 85). Vuonna 2010 puubrikettejä ja pellettejä valmistettiin jo 25 eri tehtaassa ja uusia hankkeita tuotannon lisäämiseen on suunnitteilla jatkuvasti. Uusia tuotantotehtaita on perustettu tähän mennessä muutamia vuodessa ja vuonna 2011 niitä oli jo yhteensä 30. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.)

Suomessa pellettilämmitys pientalossovelluksissa on saavuttanut noin 5 % osuuden lämmitysratkaisuissa vuonna 2010, mutta kasvuvauhti on tämän jälkeen hidastunut eikä pellettilämmitys ole yleistynyt kuten ennustettiin. Järjestelmän yleistyminen ja kasvuvauhti uudisrakentamisessa on ollut huomattavasti nopeampaa esimerkiksi Ruotsissa ja Itävallassa, joissa pellettilämmityksen osuus on noin 7% ja 4 % koko rakennuskannan lämmitysmuodoista. (Rouvinen, Ihalainen & Matero 2010, 7.)

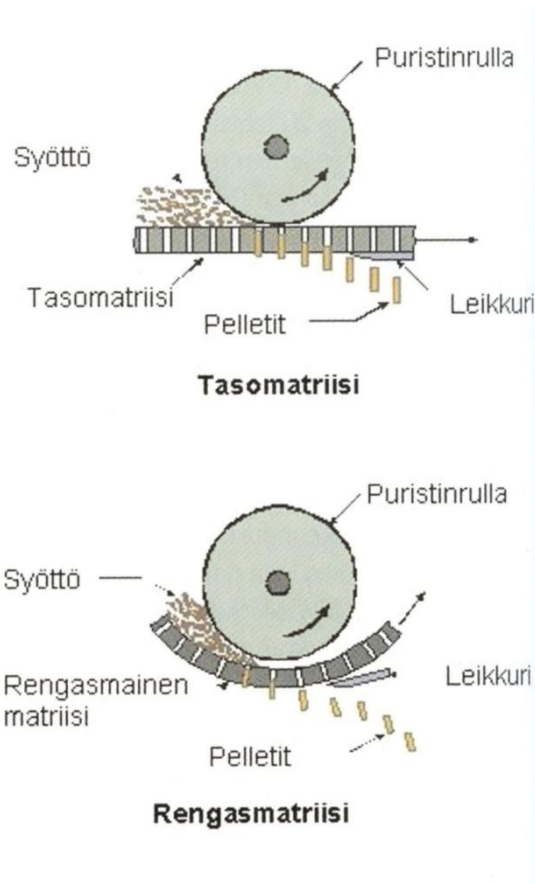
2.1 Pellettien tuotanto ja raaka-aineet

Pellettejä valmistetaan Suomessa pääasiassa metsäteollisuuden havupuuperäisistä sivutuotteista, mutta niitä on mahdollista valmistaa myös muusta puuaineksesta, kuten hakkeesta tai turpeesta. Yleisimmät käytettävät raaka-aineet ovat havupuiden kuiva kutterinlastu, sahanpuru ja hiontapöly (Knuutila Kirsi 2003, 84). Tuotanto perustuu kolmeen eri päävaiheeseen joiden aikana alkuperäisestä raaka-aineesta puristetaan käyttövalmiita pellettejä. Suomessa tuotetaan pellettejä vuosittain yli 300 000 tonnia josta yli 75 % viedään ulkomaille. (Metsäntutkimuslaitos 2012.) Vuoden 2012 aikana Suomessa lakkautetaan kolme Vapo Oy:n ylläpitämää pellettituotantolaitosta. Laitosten sulkemisen jälkeen pellettien tuotantokapasiteetti on budjetoitu noin 240 000 tonnin vuositasolle. (Vapo Oy 2012a.)

Perustuotantovaiheet puupellettien valmistuksessa ovat raaka-aineen käsittely, pelletointi ja varastointi. Tuotannossa voi olla lisäksi eri välivaiheita riippuen tuotantotavasta ja tuotantovolyymistä, sekä käytettävän raaka-aineen ominaisuuksista. Ensimmäinen tuotantovaiheen aikana raaka-aine käsitellään siten, että saavutetaan optimaalinen kosteus pellettien valmistuksen ja lopulta myös lämpöarvon eli polttoaineesta saatavan lämpöenergian kannalta. Tavoiteltava kosteusprosentti pellettien valmistuksessa on yleisesti noin 10–15 % (Knuutila Kirsi 2003, 85). Metsäteollisuuden sahanpuru voi usein saapua pellettitehtaalle jopa 50 % kosteusprosentin ylittävässä tilassa, jolloin se on kuivatettava perusteellisesti ennen tuotannon etenemistä. Polttoaineesta poistetaan ennen sen kuivaamista ja käsittelyä mahdollinen kivi-, metalli- tai muoviaiaines. Tärkeimmät puupolttoaineen ominaisuudet palamisprosessin kannalta ovat lämpöarvo ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen, jotka vaikuttavat suoraan pellettikattilan hyötysuhteeseen (Alakangas Eija 2000, 26). Polttoaineen kuivaaminen tapahtuu joko kokonaan tai osittain esikuivurissa ennen sen jauhamista ja puristamista. Raaka-aineen kuivauksen jälkeen se jauhetaan hienoksi ainekseksi vasaramyllyn avulla ja kun sen koostumus on tasakokoista ja koostumukseltaan oikeanlaista, voidaan pellettien valmistuksessa edetä puristamisvaiheeseen. Jauhamisesta ja puuaineksen käsittelystä syntyvä ylimääräinen puupöly kerätään talteen syklonin avulla ja kierrätetään uudelleen prosessissa (Knuutila Kirsi 2003, 85).

Pellettien ominainen, sylinterimäinen muoto toteutetaan pelletöintivaiheessa. Raaka-aine pakotetaan puristus-, eli niin sanottujen matriisilevyjen useiden halkaisijaltaan pienien reikien läpi ja leikataan sopivan kokoisiksi paloiksi pellettipuristimissa. Kuvassa 1 on esitetty puristusprosessin periaate. Pelletit ovat tyypillisesti halkaisijaltaan 8–12 mm ja korkeudeltaan 10–30 mm (Alakangas Eija 2000). Pellettejä valmistetaan myös neliömäisiksi, mutta tyypillisin puupelletin muoto on sylinterimäinen. Puuaineksen suurena etuna valmistuksessa on sen sisältämä tärkkelys ja ligniini, jonka ansiosta tuotannossa tarvitsee lisätä vain vähän muita sidosaineita jauhettuun raaka-aineeseen, jotta aines saadaan koostumukseltaan oikeanlaiseksi puristamista varten. Sidosaaineiden mahdollinen osuus raaka-aineen massasta on 1-2 %, joten sen lisääminen ei oleellisesti vaikuta lopullisen puupelletin palamisominaisuuksiin. (Knuuttila Kirsi 2003, 86.)

Raaka-ainemateriaali puristetaan rullamaisilla pyörivillä elementeillä, jotka pakottavat massan matriisilevyjen reikien läpi. Puristuksen aikana materiaalin lämpötila kasvaa kitkan ja puuseoksen aineominaisuuksien vaikutuksesta, joten viimeinen toimenpide pellettien puristuksen yhteydessä on niiden jäädyttäminen lopulliseen lämpötilaan. Pellettien lämpötilan alenemisen ansiosta niiden rakenteen lujuus vakiintuu, jolloin lopullinen pelletti ei hajoa takaisin hienorakenteiseksi raaka-aineeksi. Jäädyttämisen yhteydessä pelletit johdetaan vielä seulan läpi jossa kuljetusalustaa tärhistämällä pellettien pinnalta erotetaan ylimääräinen irtoava puru. Ylimääräinen aines voidaan hyödyntää valmistusprosessissa uudelleen kuten jauhamisvaiheen puupöly (Vapo Oy 2012a). Pellettimateriaalin seulonta takaa tasalaatuisemman polttoaineen, joka helpottaa sen kuljettamista ja aiheuttaa vähemmän tukoksia loppukäyttäjän pellettilaitteistossa (Knuuttila Kirsi 2003, 86).



Kuva 1. Puupellettien puristaminen taso- ja rengasmatriisimenetelmillä (Knuuttila Kirsi 2003, 86)

Valmiit pelletit varastoidaan yleensä joko tehtaan tiloihin tai aines säkitetään suoraan myyntiä varten sopivan kokosiin eriin. Valmiiden pellettien rakenne on esitetty kuvassa 2. Pellettien varastoinnissa voidaan hyödyntää myös välivarastointivaihetta, jonka avulla pellettien laatua voidaan tarkkailla tehokkaammin. Pellettien tuotannossa tarkkaillaan tuotteen laatua ja ominaisuuksia eri vaiheissa, kuten ennen ja jälkeen kuivuria sekä seulonnan jälkeen ennen varastointia. (Knuuttila Kirsi 2003, 87.) Välivarastoinnin avulla lopullisen tuotteen ominaisuuksia voidaan mitata tuotannon vaiheiden lisäksi, jolloin laaduntarkkailu on kattavampaa ja luotettavampaa.



Kuva 2. Valmiita, sylinterimäisiä puupellettejä (Pellettienergiayhdistys ry 2011).

Kuluttaja ostaa pellettipolttoaineen joko pien- tai suursäkeissä tai tilaa suuremman erän pellettejä rekkakuljetuksella suoraan kiinteistölleen. (Vapo Oy 2012a.) Pellettien toimitustapa riippuu lähinnä asiakkaan pellettivaraston koosta ja tyypistä. Pellettipolttoaineen toimittaminen taajama-alueille onnistuu esimerkiksi hakkeeseen verrattuna helpommin johtuen sen helposta käsiteltävyydestä ja pienestä tilantarpeesta (Knuutila Kirsi 2003, 100).

Valmiin puupelletin tehollinen, eli alempi lämpöarvo on noin 17,3 MJ/kg. Öljyyn verrattuna puupellettien energiatiheys on yli puolet pienempi eli kilo pellettejä vastaa lämmöntuotannossa vajaata puolta litraa kevyttä polttoöljyä. (Knuutila Kirsi 2003, 84.) Öljyn tehollinen lämpöarvo toimitustilassa on tyypillisesti luokkaa 41,2 MJ/kg (Alakangas Eija 2000, 136). Puupellettien tuhkapitoisuus toimitustilassa on vain noin 0,5 %, joten sen palaessa syntyy vain vähän kuorettomasta puusta muodostuvaa tuhkaa (Motiva Oy 2012b, 3).

Puupellettipolttoaineen tuotanto noudattaa Suomessa Euroopan Unionin asettamaa standardointia EN 14961-2 kun polttoaineen loppukäyttökohde ei ole teollisuuden sovelluksissa. Standardi asettaa vaatimukset polttoaineen ominaisuuksille ja tuotekuvauksessa mainittavalle informaatiolle. Vaadittuja tietoja polttoaineesta ovat

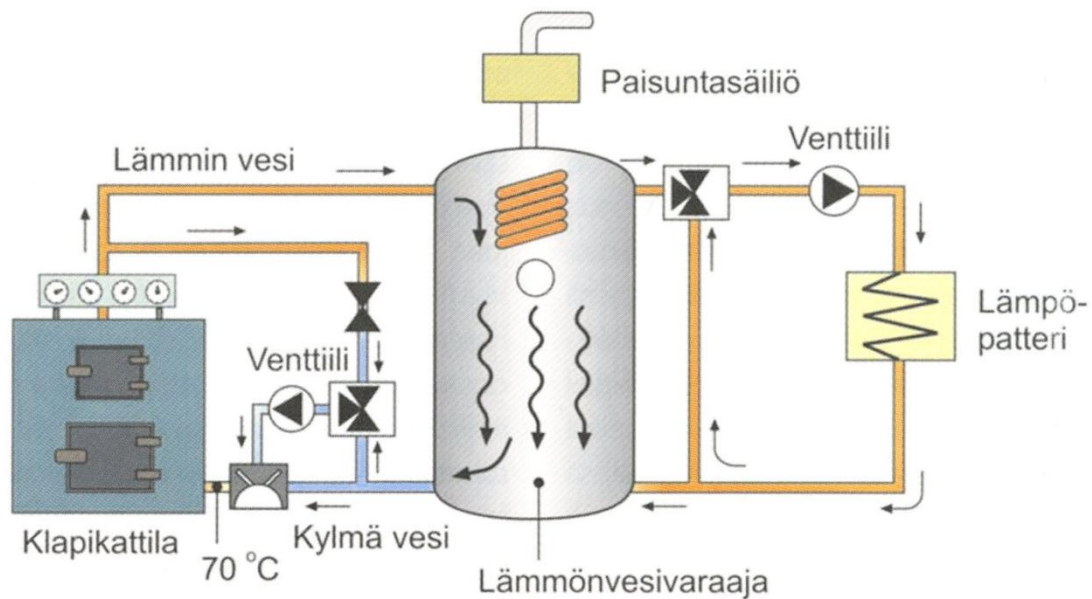
muun muassa puupelletin dimensiot, kosteuden ja tuhkan pitoisuus, tehollinen lämpöarvo, mekaaninen kestävyys sekä irtotiheys. Kemiallisesti käsitellystä puumateriaalista valmistetuille puupelleteille vaaditaan lisäksi mainittavan alkalimetallien ja kloorin, sekä muiden haitallisten yhdisteiden osuudet valmiissa polttoaineessa. (Oberberger & Thek 2010, 17).

2.2 Pellettipolttimet ja polttotekniikka

Ensimmäiset pellettipolttimet kehiteltiin 1980 – luvulla polttoaineen käytön yleistyessä etenkin Ruotsissa (Knuutila Kirsi 2003, 95). Pellettilämmitysjärjestelmän laitteisto pientalososovelluksissa vastaa suurelta osin öljylämmityslaitteistoa. Tekniikan samankaltaisuuden ansiosta on saneerattavissa, öljylämmitteisissä asuinkiinteistöissä yleistä siirtyä pellettilämmitykseen. Lämmitysjärjestelmän perustana on vesikiertoinen lämmityskattila, joka mitoitetaan kattamaan kiinteistön lämpimän käyttöveden ja vesikiertoisen lämmitysverkoston lämmitysteho. Lämminvesivaraajan avulla pellettikattilaa voidaan käyttää huippukulutuksen ajankohtina täydellä teholla ja hyvällä hyötysuhteella, mutta kulutuksen ollessa pientä esimerkiksi jäähdytyskaudella voidaan varaajan ansiosta poltinta ajaa vain esimerkiksi joka kolmas päivä. (Knuutila Kirsi 2003, 100.) Lämminvesivaraajaan sisällytetään yleensä myös sähkövastus, jonka avulla voidaan tuottaa lämmin käyttövesi jäähdytyskauden aikana käyttämättä lainkaan poltinta (Harju Pentti 2007, 68).

Pellettien palaessa niiden synnyttämät savukaasut lämmittävät kattilatilaa ja siinä olevaa lämmönsiirripintaa. Poltin on useimmiten kattilan ulkopuolella sen kyljessä, jolloin varsinainen polttoaineen palaminen liekillä tapahtuu pääosin polttimessa, eikä kattilan puolella. Tulipesässä lämpö siirtyy osittain säteilemällä suoraan liekistä palamistilan seinämiin ja savukaasun osalta konvektion sekä säteilylämmönsiirron avulla (Harju Pentti 2002, 60). Tuotetun lämpötehon avulla lämmitetään lämminvesivaraajan vesitilavuus. Kuvassa 3 on esitettyä tyypillinen puupolttoainetta käyttävän lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio. Pellettipoltin sytyttää polttoaineen ja ylläpitää liekkiä ja järjestelmän automatiikka ohjaa pellettien syöttöruuvia ja palamisilman puhallinta. Puupelletit siirretään polttoainesäiliöstä polttimelle käyttämällä syöttöruuvia, jonka pyörimisnopeutta voidaan ohjata. Syöttöruuvien pyöriessä pellettejä siirtyy palamistilaan tietyllä nopeudella joka riippuu lämmitystehontarpeesta.

Automaatiojärjestelmä mittaa jatkuvasti kattilan ja lämmönsiirtimen lämpötiloja ja säättää sen avulla polttimeen ja syöttöruuvien toimintaa järjestelmään asetettujen asetusarvojen ja lämpötilamittausten mukaisesti.



Kuva 3. Tyypillisen puulämmityskattilan kytkentäkaavio ja toimilaitteet (Knuuttila Kirsi 2003, 101).

Syöttötapoja pellettikattiloissa ovat ylä- ja alasyöttö, sekä vaakasyöttö ja päältä syöttö (Knuuttila Kirsi 2003, 95). Pientalokohteissa yleisin on ylä- ja alasyöttömuoto (Pellettienergiayhdistys ry 2011). Syöttöruuviratkaisujen ja eri poltintyyppien, sekä varastointimuotojen käyttö on yksilöllistä jokaisessa sovelluksessa ja riippuu muun muassa kiinteistön lämmönjakohuoneen asettamista koon vaatimuksista. Kattilan nuohoukseen ja huoltotoimenpiteisiin on oltava riittävästi tilaa ja lämmitysjärjestelmän savusolasta on voitava mitata tarkkailuun kuuluvat savukaasunäytteet. (Harju Pentti 2007, 77.)

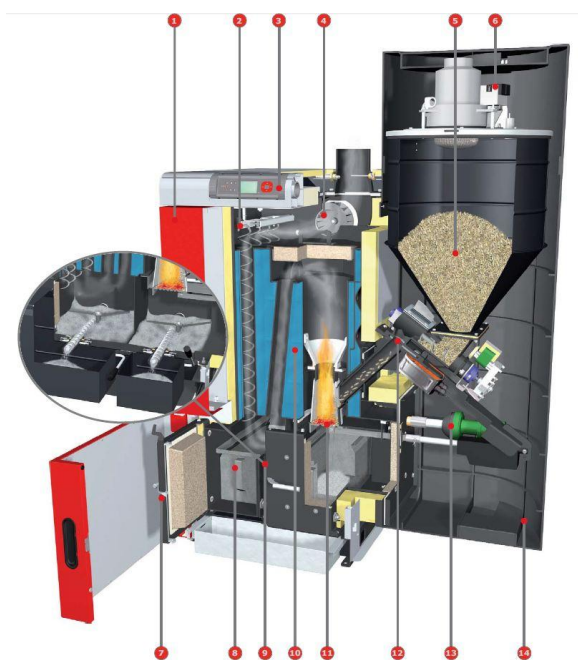
Pellettikattilan liekki palaa joko vaakasuorassa tai ylöspäin suunnattuna. Palamisliekin suuntaus riippuu sovelluksen polttoaineen syöttötavasta ja kattilan lämpöpintojen sijoittelusta. Kattilan jäähdytettäviin pintoihin osuessaan liekit aiheuttavat noen muodostumista ja savukaasujen nopeuden hidastumista, joka vaikuttaa suoraan polttoaineesta saatavaan lämmitystehtoon ja lämmönsiirto-ominaisuuksiin heikentävästi. Ilmiön vuoksi liekin optimaalinen asettelu on tärkeää. (Knuuttila Kirsi 2003, 95.)

Puupolttoaineet sisältävät paljon haihtuvia aineita ja ovat siitä syystä pitkällä liekillä ja korkeassa lämpötilassa palavia raaka-aineita. Palamisliekin koko aiheuttaa pellettikattiloiden suuren tilantarpeen. (Alakangas Eija 2000, 35).

Uusimmat pellettilämmitysjärjestelmät toimivat lähes täysin automatisoituina ja vaativat vain vähän käyttäjän toimenpiteitä. Esimerkiksi lämmityksen sammuttaminen kokonaan vähäisen lämmitystarpeen aikana ja sen uudestaan käynnistäminen toteutuu uusissa polttimissa ilman erillistä manuaalista ohjausta. Kattilan lämminvesivaraajan veden lämpötilan mittausten avulla poltin toimii täydellä teholla niin kauan kunnes tavoiteltava asetusarvo vedelle saavutetaan. Saavutettuaan lämmityksen asetusarvon poltin siirtyy pienelle ylläpitokäynnille ja tarvittaessa sulkee kokonaan polttoaineen syötön kattilaan. Tuhkan poisto pellettikattilan tulipesästä on myös automatisoitu uusimmissa kattilaratkaisuissa, mikä vähentää huoltotarvetta ja käyttäjän toimenpiteitä. (Knuutila Kirsi 2003, 96.) Öljykattilaan verrattuna pellettilämmityksen huoltotarve on hieman suurempaa johtuen puupolttoaineen palamattoman tuhkan kerääntymisestä kattilaan ja järjestelmän polttimen monimutkaisemmasta teknisestä rakenteesta. Tuhkaa kerääntyy pellettiä poltettaessa vuosittain noin 20-25 kg riippuen pientalokiinteistön koosta. Tuhkan poisto on toteutettu yleensä automaattisella tai puoli-automattisella säätöautomaatiikalla eli käyttäjältä vaaditut toimenpiteet ovat vähäisiä. Pellettijärjestelmä voidaan ohjelmoida poistamaan tuhka tietyin väliajoin lämmitys- ja jäähdytyskausien aikana tai tuhkan poisto suoritetaan käyttäjän toimesta manuaalisesti. Manuaalisena tuhkan poisto suoritetaan kuitenkin myös automaation avustamana ja käyttäjän tarvitsee käytännössä tarkkailla ainoastaan tuhkasäiliön tilan riittävyyttä ja tarvittaessa tyhjentää se. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.) Kuvassa 4 on esitettyä nykyaikainen, ylöspäin suunnatulla liekillä varustettu pellettikattila. Fröling -yrityksen valmistamassa kattilassa on täysin automatisoitu tuhkan poisto sekä muun muassa lambda - päästömittausanturit, joiden avulla palamisen etenemistä optimoidaan automaatiikan avulla.

Kuten öljylämmityskattilat ja maakaasua polttavat lämmityskattilat, myös pellettipolttimet on suojattu paloturvallisesti. Polttimessa on useita erilaisia hätäsulkumenetelmiä ja syöttöruuvien pysäytystoimintoja hätätilanteita ja esimerkiksi sähkökatkoksia varten. Sähkökatkoksen aikana poltin sammuu ja jäljellä oleva

pellettipolttoaine palaa loppuun itsestään. Sähkön palautuessa automatiikka joko jäädyttää palotilaa palamisilmapuhaltimella tai alkaa syöttää polttoainetta uudestaan. (Vapo Oy 2012a.) Lämmönjakuhuone on kattilatyyppistä lämmöntuotantomuotoa käytettäessä rajattu omaksi paloalueekseen (Harju Pentti 2007, 77).



Kuva 4. Nykyaikaisen Fröling -yrityksen valmistaman P4 -pellettikattilan sivukuva (Fröling GmbH 6, 2009).

2.3 Pellettien varastointi

Pellettien varastointi loppukuluttajien, eli tässä tapauksessa pientaloasiakkaiden tarpeisiin on mahdollista toteuttaa useilla eri tavoilla ja teknisillä ratkaisulla. Keskeisimmät ominaisuudet pellettisäiliöissä ovat riittävä tilavuus, paloturvallisuus ja mahdollisen irtopellettitoimittamisen mahdollistaminen. Varaston mitoittamisessa otetaan huomioon myös sopivan täyttövälän toteutuminen ja varaston huollettavuus. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.) Pellettisiilo voi sijaita joko kiinteistön sisällä, erillisessä rakennuksessa tai maan alla (Motiva Oy 2012b, 6).

Riippuen pellettien täyttövälisestä ovat pienkuluttajien varastointitavat yleensä viikkosäiliöitä, maasäiliöitä tai kuluttajan itse rakentamat säiliöitä. Viikkosiiloon mahtuu nimensä mukaisesti vain viikon lämmitystarpeisiin riittävä määrä pellettejä, joka aiheuttaa tiuhan täyttövälän ja vaatii kuluttajalta varastoinnin aktiivista tarkkailua.

Tämän tyyppinen varastointi on käytössä lähinnä kun pellettilämmitys on täydentävä lämmitysjärjestelmä kiinteistössä. Maasäiliö sijoitetaan pellettilämmitysasiakkaan tontille maan alle. Maasäiliöiden etuna on niiden suuri tilavuus ja helppokäyttöisyys, mutta maaperän kosteus asettaa tiettyjä vaatimuksia säiliöiden valmistustekniikoille ja siten nostaa niiden investointikustannuksia kaivaustöiden lisäksi. Kuluttaja voi rakentaa pellettisäiliön myös itse noudattamalla paloturvallisuuden ja käytettävyyden vaatimuksia sekä pölytiivyydelle, kosteudelle ja säiliön materiaaleille asetettuja rajoja. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.)

Säiliöautotäyttämistä varten pellettisäiliölle on asetettu tiettyjä vaatimuksia sen koosta ja sijoittelusta, sekä täyttöratkaisuista. Säiliöautotäyttöä varten pellettisäiliön täyttö- ja poistoilmayhteiden on oltava standardien mukaisia ja säiliön rakenteellisen lujuuden on kestävä pellettien täyttämispainetta, joka on yleensä luokkaa 0,7-1,0 bar (Vapo Oy 2011). Pellettilämmitysjärjestelmää käyttävän pientaloasiakkaan ostama pellettipolttoaine vaatii varastointitilaa huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi nestemäinen kevyt polttoöljy. Arvioidaan pientalosovelluksessa pellettien vaatimaa tilantarvetta kuukausitasolla käyttämällä esimerkkinä tyypillistä 150 m² huonepinta-alan uudisrakennettua pientaloa, joka sijaitsee Jyväskylässä.

Pellettien irtotiheys on asiakkaalle toimitettaessa 640–690 kg/i-m³ ja tehollinen lämpöarvo 4,6–4,9 kWh/kg (Alakangas Eija 2000, 76). Vapo Oy:n toimittamat pelletit noudattavat EN14961-2 mukaista laatukriteeriä eli niiden irtotiheyden on oltava aina yli 600 kg/i-m³ (Vapo Oy 2012b). Varastoinnin tilantarve voidaan arvioida tyypillisen pientaloasiakkaan vuotuisen energiankulutuksen avulla, kun tiedetään uudisrakennetun pientalon lämmitystehontarpeen olevan noin 100–120 kWh/m² (Motiva Oy 2012a, 6). Esimerkkiasiakkaan tapauksessa vuotuiseksi lämmitysenergiantarpeeksi Q_{vuosi} saadaan $150 \text{ m}^2 \times 120 \text{ kWh/m}^2 = 18\,000 \text{ kWh}$. Käytetään laskennassa pyöristettyä 20 000 kWh/a ja keskimääräistä 1650 kWh/kk arvoa sillä eri asiakkaiden lämmönkulutusprofiilit ovat kulutustottumuksista ja tavoitehuonelämpötiloista riippuen vaihtelevia. Lämmitys- ja jäähdytyskausilla pellettien tarve vaihtelee olennaisesti. Käyttämällä apuna Jyväskylän alueen lämmitystarvelukuja (Liite 1), voidaan arvioida lämmityskauden suurin lämmitystehontarve. Lämmitystarvelukutaulukon avulla todetaan suurimman

lämmitystehontarpeen olevan tammikuussa. Lämmitysenergian suhteellinen osuus tammikuussa voidaan laskea yhtälöllä (1).

$$\begin{aligned} Q_{\text{tammikuu}} &= \frac{S_{\text{tammikuu}}}{S_{\text{vuosi}}} * Q_{\text{vuosi}} \\ &= \frac{789}{4945} * 20\,000 \text{ kWh} = 3200 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (1),$$

missä	Q_{vuosi}	koko vuoden lämmitysenergia	[kWh]
	S_{tammikuu}	tammikuun lämmitystarveluku	
	S_{vuosi}	koko vuoden lämmitystarveluku	

Lämmitystarvelukujen perusteella suurin osuus vuotuisesta lämmitysenergiasta kuluu tammikuussa ja sen osuus on 16 % eli esimerkkitapaukseen suhteutettuna noin 3200 kWh/kk. Lasketaan vuotuinen ja tammikuun lämmitystarpeen kattavan pellettien määrä ja niiden vaatima tilantarve yhtälöillä (2) ja (3). Pellettikattiloiden hyötysuhde on luokkaa 80–90 % (Pellettienergiayhdistys ry 2011). Valitaan laskennassa kattilan hyötysuhteeksi 85 % ja huomioidaan sen vaikutus tilantarpeeseen.

$$\begin{aligned} \frac{\text{Tilantarve}}{\text{vuosi}} &= \frac{Q_{\text{vuosi}}}{BD_{\text{pelletti}} * q_{i,\text{pelletti}} * \eta_{\text{pelletti}}} \\ &= \frac{20\,000 \text{ kWh}}{690 \frac{\text{kg}}{\text{i-m}^3} * 4,9 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * 0,85} = 6,9 \text{ i-m}^3 \end{aligned} \quad (2),$$

missä	BD_{pelletti}	toimitettavan puupelletin irtotiheys	[kg/i-m ³]
	$q_{i,\text{pelletti}}$	puupelletin tehollinen lämpöarvo	[kWh/kg]

$$\begin{aligned} \frac{\text{Tilantarve}}{\text{tammikuu}} &= \frac{Q_{\text{tammikuu}}}{BD_{\text{pelletti}} * q_{i,\text{pelletti}} * \eta_{\text{pelletti}}} \\ &= \frac{3\,200 \text{ kWh}}{690 \frac{\text{kg}}{\text{i-m}^3} * 4,9 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * 0,85} = 1,1 \text{ i-m}^3 \end{aligned} \quad (3)$$

Lasketaan pellettien tilantarve irtotiheyden ja tehollisen lämpöarvon ylä- ja alarajoilla. Vuotuinen tilantarve on välillä 6,9–8,0 i-m³ ja lämmityskauden suuriman lämmitystehontarpeen aikainen tarve 1,1–1,3 i-m³. Pellettivarasto on hyödyllisintä mitoittaa siten, että polttoaineen täyttö- ja ostoväli on sopiva ja polttoainetta on aina riittävästi kiinteistön lämmitystarpeisiin. Laskennan tulosten perusteella sopiva säiliön koko olisi esimerkiksi kahdeksan kuutiota, jolloin täyttöväli olisi noin kerran vuodessa.

3 UUDISRAKENTAMISEN LÄMMITYSMUODOT

Pellettilämmitysjärjestelmän kannattavuutta uudisrakentamisen sovelluksissa tarkastellaan vertaamalla sen käyttö- ja investointikustannuksia sekä teknisiä eroavaisuuksia verrattuna muihin tällä hetkellä yleisimpiin lämmitysmuotoihin. Öljylämmitystä ei käytetä osana tarkempaa vertailua, sillä sen käyttö uudisrakentamisessa on nykyisellään vähäistä ja käytössä lähinnä vain haja-asutusalueilla, jossa kaukolämpö- tai maakaasuverkostoa ei ole saatavilla. Öljyn hintaa käytetään tässä työssä kuitenkin polttoaineiden hintavertailussa havainnollistamaan eri polttoaineiden markkinahintoja ja niiden välisiä eroja.

Lämmitystapojen vertailuun valittiin kolme yleisintä vaihtoehtoa pientalojen lämmitykseen ottaen huomioon uudisrakentamisen vallitsevat trendit, eri järjestelmien käytettävyys ja niiden teknisistä eroavaisuuksista johtuvat erot kokonaiskustannuksissa. Vertailtavat lämmitysjärjestelmät perustuvat yleisimmin käytössä olevaan suljettuun, vesikiertoiseen järjestelmään. Investointi- ja käyttökustannuksia vertaillaan omassa luvussaan ja varsinaiset tekniset eroavaisuudet ja lämmitystapojen peruserätykset käsitellään tässä luvussa.

3.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, joka on ollut käytössä jo vuodesta 1950 lähtien. Kaukolämmön markkinaosuus on 46 % ja kaukolämpötaloissa asuvia asukkaita on Suomessa 2,7 miljoonaa. Suurissa asuinkiinteistöissä ja liikerakennuksissa jotka ovat kaukolämpöverkon alueella, on lämmitysmuotona kaukolämpö jopa yli 90 % tapauksista. Omakoti- ja pientalojen tapauksessa kaukolämmön osuus on kuitenkin vain runsas 7 %. (Energiateollisuus ry 2012b.)

Kaukolämpö tuotetaan valtakunnallisissa lämpövoimalaitoksissa yleensä joko puupolttoaineilla, turpeella, maakaasulla tai öljyllä (Rakennustietosäätiö 2007, 8.). Lämpövoimalaitoksessa tuotettu lämpö, eli lämmitetty vesi siirretään kaukolämmön asiakkaille valtakunnallisia verkostoja pitkin. Suurten lämpövoimalaitosten lisäksi on käytössä alueellisia kaukolämpökeskuksia, joiden avulla tuotetaan suuren tehontarpeen ajan lämmitysteho talvikausina. Alueelliset kaukolämpökeskukset mitoitetaan kattamaan noin puolet vaadittavasta huipputehosta sen palvelemalla alueella (Knuuttila

Kirsi 2003, 103). Alueelliset kaukolämpökeskukset käyttävät yleensä lämmöntuotannossa maakaasua, kevytöljyä tai esimerkiksi haketta (Harju Pentti 2007, 158). Isoissa kaupungeissa ja teollisuuspaikkakunnilla kaukolämpö tuotetaan yleensä yhteistuotantovoimalaitoksilla (CHP), joissa tuotetaan samanaikaisesti sekä sähköä että lämpöä. Yhteistuotannon avulla polttoaineen energia voidaan hyödyntää 80–90 prosenttisesti. (Knuutila Kirsi 2003, 102.)

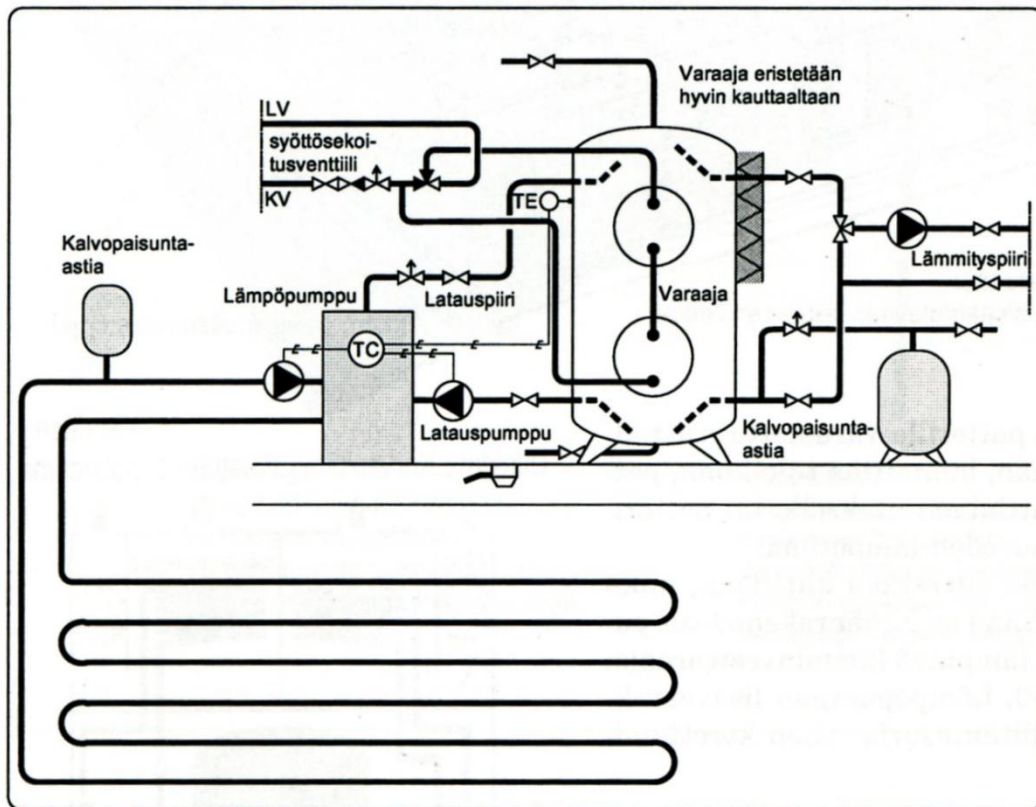
Pientalosovelluksessa kaukolämpöasiakkaalle saapuu voimalaitoksessa tuotettu noin 65–115 °C lämmin vesi, joka johdetaan lämmönjakohuoneeseen asennetun kaukolämpökeskuksen lämmönsiirtimille. Saapuvan veden lämpötila riippuu vuodenajasta ja vallitsevasta ulkolämpötilasta. (Energiateollisuus ry 2012a.) Lämmönsiirtimien kautta kaukolämpöenergia siirretään asuinrakennuksen lämmitysverkostojen ja käyttövesiverkoston tarpeisiin epäsuoralla kytkennällä eli lämpöteho siirretään lämmönsiirtimien kautta kiinteistöön. Jäähdytynyt kaukolämpövesi palaa takaisin tuotantolaitokselle, jossa se lämmitetään uudelleen (Rakennustietosäätiö 2007, 8).

Teknisesti kaukolämmitysjärjestelmä on toimintavarmuudeltaan erinomainen asiakkaan kaukolämpöpaketin osalta, mutta on täysin riippuvainen kaukolämpöverkoston toimivuudesta. Kaukolämmön jakelu on yleensä Suomessa erittäin luotettavaa ja kaukolämmön asiakas on vuodessa keskimäärin ainoastaan yhden tunnin ilman kaukolämpöä (Harju Pentti 2007, 156). Lämmönsiirtimet eivät käytännössä likaannu lainkaan ja kuluviimpia osia ovat lähinnä lämmitysjärjestelmän käyttölaitteet kuten venttiilit ja kiertovesipumput. Kaukolämpölaitteisto on ulkomitoiltaan muihin järjestelmiin verrattuna pieni, sillä käytettävien levylämmönsiirtimien tehokkuus on erittäin hyvä. Lämmitysjärjestelmää säädetään ja ohjataan yleensä rakennusautomaatiojärjestelmään asennetulla säätökeskuksella, jonka avulla asetetaan lukuarvot lämmitysverkostojen ja käyttövesiverkostojen tavoitelämpötiloille. Kaukolämpöasiakas käyttää saapuvasta kaukolämmöstä vain tarvitsemansa osuuden. Kiinteistön lämmitysjärjestelmästä mitataan sekä vesivirtaama että tulevan ja lähtevän kaukolämpöveden lämpötilaero, joiden avulla lasketaan kulutetun kaukolämmön määrä. (Knuutila Kirsi 2003, 104.)

3.2 Maalämpöpumppujärjestelmät

Maalämpöpumppujärjestelmien käyttö uudisrakentamisessa on kasvattanut osuuttaan huomattavasti lämpöpumpputekniikan kehittyessä ja tehokertoimien (COP) kasvaessa entistä kannattavammalle tasolle sekä öljyn ja sähkön hinnan noustessa. Vuonna 2010 lämpöpumppujärjestelmien käyttö pientalojen rakennuskannan lämmityksessä oli 3,8 % (Tilastokeskus 2012b, 83). Maalämpöpumppujen myynti nousi vuonna 2011 edelliseen vuoteen verrattuna 72 %. Nykyaikaiset pientalojen maalämpöpumppujärjestelmät saavuttavat jo vuositasolla 2,6–3,6 tehokertoimia, eli yhdellä kilowattitunnilla sähköä saadaan tuotettua noin 3 kWh lämpöenergiaa. (Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry 2012.)

Maalämpöjärjestelmien toiminta perustuu maaperän käyttämiseen lämmönlähteenä lämpöä siirtävän liuoksen ja lämpöpumppujärjestelmän avulla. Maaperässä lämmennyt neste ohjataan höyrystimelle, joka siirtää lämmön lämpöpumppujärjestelmän kiertonesteelle. Lauhduttimelta saatava lämpöteho siirretään niin sanottuun puskurisäiliöön eli lämminvesivaraajaan jonka kautta saadaan tuotettua lämmin käyttövesi ja rakennuksen lämmitysteho. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry 2012.) Kytkentäkaavio maalämpöpumppujärjestelmälle on esitetty kuvassa 5. Järjestelmän toteutustapoja on useita erilaisia kuten porakaivojen hyödyntäminen tai pinta-asennus maaperään. Lämpöputkiston upotussyvyys ja kiertonesteen valinta sekä järjestelmän muu mitoitus perustuvat tarvittavaan lämmitystehoon ja maaperän laatuun. (Seppänen Olli 2001, 385.) Maaperän keskilämpötila on vuoden aikana korkeampi kuin ulkoilman keskilämpötila, jonka ansiosta järjestelmä säilyttää hyötysuhteensa myös lämmityskauden alhaisilla ulkolämpötiloilla.



Kuva 5. Maalämpöjärjestelmän kytkentäkaavio ja toimilaitteet. (Harju Pentti 2002, 223.)

3.3 Varaava sähkölämmitys

Sähkölämmitys asuinrakennuksissa perustuu sähkövastusten hyödyntämiseen lämpimän käyttöveden ja kiinteistön huonetilojen lämmityksessä. Yleisesti sähkölämmityksessä on käytössä kaksi eri järjestelmää: suora sähkölämmitys ja varaava sähkölämmitys. Suora sähkölämmitys hyödyntää huonekohtaisia sähkölämpöpattereita ja tarvittava lämpö tuotetaan aina hetkellisten tarpeiden mukaan (Harju Pentti 2007, 205). Varaavan, vesikiertoisen sähkölämmityksen avulla lämpötehon tarve on tasaisempi ja vaihtelevuus pienempää kuin suoralla sähkölämmityksellä. Käyttöveden lämmitys toteutetaan yleensä samalla energiavaraajalla, jolloin myös käyttöveden tarpeen aiheuttamat lämmitystehon nopeat vaihtelut saadaan tasoitettua. (Seppänen Olli 2001, 368.) Vertailtavuuden vuoksi valitaan tarkasteluun varaava sähkölämmitys, joka hyödyntää lämminvesivaraajaa ja vesikiertoista lämmityspatteriverkostoa. Vesikiertoinen järjestelmä vastaa paremmin pellettilämmityksen teknistä toteutusta ja on siten teknisesti vertailukelpoisempi kuin suora sähkölämmitys. Järjestelmään kuuluu lämminvesipatterit ja niiden kiertovesiputket, kiertovesipumput sekä säätöautomaatiikka.

Sähkölämmitysjärjestelmän suuri etu on sen joustavuus ja muokattavuus, jonka ansiosta se sopii uudisrakennusten lisäksi myös saneerausrakentamisen sovelluksiin. (Harju Pentti 2007, 208.)

Sähkölämmitysjärjestelmän varaaja asettaa tiettyjä vaatimuksia muun muassa tilan tarpeelle suuren tilavuutensa vuoksi. Huonepinta-alaltaan 120 m² olevan asuinkiinteistön lämmitystehon kattamiseen tarvitaan noin 2000 l energiavaraaja ja noin 20 kW latausteho. Varaavan ja osittain varaavan sähkölämmitysjärjestelmän käyttö eroaa hieman muista varaavista lämmitysmuodoista sen vuorokauden aikaisen käyttöajan suhteen. Varaaja ladataan eli lämmitetään mitoitettuun asetusarvoonsa yleensä halvemman yösähkötariffin aikana ja lataus puretaan seuraavan vuorokauden aikana kiinteistön lämmityksen tarpeisiin. Kyseisellä menettelyllä saadaan sähköliittymän kokoa rajoitettua ja siten vuotuisia kustannuksia pienennettyä, mutta järjestely asettaa korkeat vaatimuksen varaajan eristykselle. (Harju Pentti 2007, 209.) Vesivaraajan teho ei riitä huippukulutusten aikana kuitenkaan kattamaan koko kiinteistön lämmitystehontarvetta sen osamitoituksesta johtuen, jolloin joudutaan käyttämään päiväsähköä ja energiavaraajan sähkövastuksia tai muuta lämmönlähdettä. (Seppänen Olli 2001, 362.)

4 INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUSVERTAILU

Lämmitysjärjestelmien kustannuksia voidaan vertailla keskenään niiden laitteiden investointikustannusten ja käytön aikaisten kustannusten avulla. Investointikustannuksiin sisältyy vertailulaskelmissa lämmitysjärjestelmän laitteisto ilman asennus ja käyttöönotokustannuksia. Käyttökustannuksia arvioidaan sekä polttoaineen kulutuksen perusteella että mahdollisen huoltotarpeen vuotuisten kustannusten avulla. Kaikkien lämmitysjärjestelmien tekninen käyttöikä on noin 15-20 vuotta ja niiden vanhenemisesta aiheutuvat mahdolliset laitteistojen päivittämis- tai vaihtotoimenpiteet jätetään huomioimatta. Vertailussa tarkastellaan käyttöönoton ja käytön aikaisten kustannusten kokonaisvaikutusta järjestelmien kannattavuuteen.

Lämmitysjärjestelmien kustannuksia vertaillaan Jyväskylässä sijaitsevan 150 m² – huonepinta-alaisen pientalon sovelluksessa. Vuotuinen lämmitysenergiantarve on laskettu kappaleessa 2.3 ja se on 20 000 kWh/a. Mitoituksessa käytettäväksi patteriverkoston meno- ja paluuveden lämpötiloiksi valitaan tyypilliset +70°C ja +40°C (Seppänen Olli 2001, 120). Kaikkiin lämmitysjärjestelmiin sisällytetään energiavaraaja, jonka kautta lämmitysjärjestelmän tuottama lämpö ohjataan sekä käyttöveden että patteriverkoston tarpeisiin. Lämminvesivaraajan on katettava kiinteistön lämmitystehontarve vuoden jokaisena päivänä eli pahimmillaan sen on katettava lämmityksen huipputeho 24 tunnin ajan yhtäjaksoisesti, sisältäen lämpimän käyttöveden tuotannon. (Ariterm Oy 2011.) Pien- ja omakotitalojen lämminvesivaraajat ovat yleensä luokkaa 2000–3000 l (Knuutila Kirsi 2003, 100). Maalämpö- ja osittain varaavaan sähkölämmitysjärjestelmään voidaan valita hieman pienempi varaaja johtuen pienemmästä lämmitystehontarpeesta. Tyypillinen energiavaraaja järjestelmissä on kokoluokkaa 1500 l (Ariterm Oy 2011). Pienempi varaaja on luonnollisesti halvempi investointikustannukseltaan kuin suurempi, joten pellettilämmitysjärjestelmään verrattuna saadaan maalämpö- ja sähkölämmitysjärjestelmien hankintakustannuksista energiavaraajan osalta pienemmät.

Uusiutuvia energianlähteitä hyödyntävien lämmitysjärjestelmien investointiin on mahdollista saada energia-avustusta, joka haetaan kunnalta jossa kiinteistö sijaitsee. Avustuksen suuruus riippuu laite- ja materiaalikustannuksista sekä niiden hyväksyttävistä suuruuksista avustusta haettaessa. Avustuksen kriteerit täyttävään

lämmitysjärjestelmän investointiin tai saneeraukseen on mahdollista saada laite- ja materiaalikustannuksista avustusta jopa 20 %. Avustus ei kata laitteistojen asennuksista johtuvia työkustannuksia. Energia-avustusta on kuitenkin mahdollista saada Suomessa vuonna 2012 ainoastaan saneerausrakentamisen yhteydessä. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 2012.)

4.1 Lämmityslaitteiston investointikustannukset

Pellettilämmitysjärjestelmä koostuu pellettikattilasta ja polttimesta sekä pellettisäiliöstä, jotka tilataan usein samalta toimittajalta niin sanottuna pakettiratkaisuna. Investointikustannukset riippuvat oleellisesti pellettikattilan huipputehosta, joka on valitussa pientalosovelluksessa 10 kW. Valmistajasta riippuen pellettilämmitysjärjestelmien kokonaiskustannukset, sisältäen kaikki tarvittavat laitteet ja pellettivaraston sekä lämmönjakolaitteiston, ovat luokkaa 10 000–20 000 € (Motiva Oy 2012a, 13). Pellettilämmitysjärjestelmän investointikustannuksiin ei sisälly lainkaan liittymismaksua tai muita perustamismaksuja, kuten esimerkiksi kaukolämmitykseen.

Kaukolämpöjärjestelmän investointikustannukset koostuvat laiteinvestoinnista ja kaukolämpöverkkoon liittymisestä aiheutuvista kustannuksista, kuten liittymismaksusta. Lämmitysjärjestelmän laitteet toimittaa useimmiten energiayhtiö. Kaukolämpölaitteiden etuna on niiden pieni koko, jonka ansiosta uudisrakennuksien lämmönjakohuoneen tilantarve on pienempi. Pienemmällä laitteistolla ja lämmönjakohuoneella voidaan saavuttaa kustannussäästöjä kiinteistön rakennuttamisvaiheessa ja hyödyntää rakennuksen rakennuspinta-ala tehokkaammin (Knuutila Kirsi 2003, 104). Pientalojen kaukolämpökeskusten investointikustannukset ovat luokkaa 10 000-15 000 €, sisältäen liittymismaksun (Motiva Oy 2012a, 13). Jyväskylän alueella kaukolämpöverkon liittymismaksu on vuonna 2012 noin 2700 € (Jyväskylän Energia Oy 2011a). Liittymismaksun osuus koko laiteinvestoinnista on siis merkittävä 18-27 %.

Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat vertailtavista järjestelmistä suurimmat, noin 15 000-20 000 €. Kustannusarvioon sisältyy lämpöpumpun lisäksi tarvittavan porakaivon asennustyön kustannus sekä kustannus lämminvesivaraajaan asennettavasta sähkökierukasta, jolla tuotetaan maalämpöpumpun osatehomitoituksen ulkopuolelle jäävä osuus huippukulutuksen aikana. (Motiva Oy 2012a, 13.)

Varaajalla varustetun sähkölämmitysjärjestelmän hankintakustannus on alhainen ja koostuu käytännössä ainoastaan lämminvesivaraajasta ja sähkövastuskierukasta. Hintataso vesikiertoisilla sähkölämmitysjärjestelmillä on noin 7500 -12 500 € (Motiva Oy 2012a, 13). Alhainen hankintahinta johtuu muun muassa järjestelmän teknisten ratkaisujen yleisyydestä ja yksinkertaisesta rakenteesta.

Lopullista eri lämmitysjärjestelmien välistä kustannusvertailua varten lasketaan myös kevytöljyä hyödyntävän lämmityskattilan kustannukset. Kevyt öljyä hyödyntävän kiinteistön lämmitysjärjestelmän investointikustannus on noin 10 000-15 000 € (Motiva Oy 2012a, 13).

Kustannusvertailussa investointikustannuksiksi valitaan kunkin järjestelmän arvioidun kustannuksen keskimääräinen lukuarvo. Valitut hankintakustannukset ovat siis pellettilämmitysjärjestelmällä 15 000€, kaukolämmöllä 12 500€, maalämpöjärjestelmällä 17 500€, varaavalla sähkölämmityksellä 10 000€ ja öljylämmityksellä 12 500€. Investointikustannukset riippuvat aina valmistajasta, toimittajasta ja järjestelmien tarkemmista teknisistä ratkaisuista, eivätkä sen vuoksi vastaa aina alustavia kustannusarvioita.

4.2 Polttoaineen kustannukset ja saatavuus

Puupellettilämmityskattilan hyötysuhde on valmistajasta riippuen noin 85 % (Pellettienergiayhdistys ry 2011) ja vuotuinen lämmitysenergiantarve on valitussa esimerkkikiinteistössä 20 000 kWh/a. Todellinen kulutettu lämmitysenergian määrä lasketaan yhtälöllä (7), jonka avulla voidaan arvioida pellettien polttamisesta aiheutuvat vuotuiset polttoainekustannukset.

$$Q_{a,pelletti} = \frac{Q_a}{\eta_{pelletti}} \quad (7),$$

$$= \frac{20\,000 \text{ kWh/a}}{0,85} = 23\,529,4 \text{ kWh/a}$$

missä	$Q_{a,pelletti}$	vuotuinen lämmitysenergian kulutus pellettilämmityksessä
	Q_a	vuotuinen lämmitysenergian tarve
	$\eta_{pelletti}$	pellettikattilan hyötysuhde

Pellettilämmityksen todellinen vuotuinen lämmitysenergian kulutus on siis 23 530 kWh/a. Tilastokeskuksen julkaisemien energiahintataulukkojen avulla voidaan laskea arvio vuotuisesta polttoaineen käytön kustannuksesta keskimääräisellä polttoaineen kuluttajahinnalla. Käytetään laskennassa Tilastokeskuksen julkaisemia vuoden 2011 polttoaineiden kuluttajahintoja sisältäen energiaveron, mahdollisen valmisteveron sekä arvonlisäveron. Puupellettipolttoaineen kuluttajahinta vuonna 2011 oli keskimäärin 5,35 snt/kWh (Tilastokeskus 2012a). Vuotuinen polttoainekustannus pellettiä käytettäessä lasketaan yhtälöllä (8).

$$K_{a,pelletti} = Q_{a,pelletti} * h_{pelletti} \quad (8),$$

$$= 23\,530 \text{ kWh/a} * 5,35 * 10^{-2} \text{ €/kWh} = 1258,9 \text{ €/a}$$

missä $K_{pa,pelletti}$ pellettilämmitysjärjestelmän vuotuinen polttoainekustannus

Polttoaineen toimittaminen asiakkaan tontille puhallusautoa käytettäessä ei yleensä aiheuta lisäkustannuksia polttoaineen hankintaan edellyttäen että valmistajan toimitusehtoja noudatetaan ja toimitusmatka pysyy tarpeeksi lyhyenä. Säkeittäin ostettuna puupellettierän hinta riippuu toimitustavasta ja ostettavan erän suuruudesta. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.) Puuperäisten polttoaineiden toimitusvarmuus Suomessa on erittäin hyvä. Puupellettien tuotannosta edelleen suurin osa myydään ulkomaisille markkinoille, joten kotimaiselle kysynnälle on varaa kasvaa. Kattavat energiapuureservit ja paikallinen osaaminen takaavat biopolttoaineiden, kuten pelletin saatavuuden myös tulevaisuudessa. (Knuutila Kirsi 2003, 19.)

Kaukolämmön hinta ei perustu suoraan tiettyyn polttoaineen hintaan, sillä primäärienergiantuotanto on keskitetty suuriin voimalaitoksiin eikä loppukuluttaja käytä suoraan tiettyä polttoainetta lämmön tuottamiseen. Keskitetystä lämmöntuotannosta johtuen lämmön toimitusvarmuus on erittäin korkealla tasolla. Polttoaineen hintana voidaan pitää vuotuista tehomaksua sekä kaukolämpötariffia, joka koostuu energiamaksusta ja perusmaksusta (Knuutila Kirsi 2003, 107). Tehomaksun suuruus riippuu suoraan asiakkaan liittymistehosta ja edelleen tilausvesivirran $q_{v,til}$ suuruudesta.

Vuonna 2011 kaukolämmön kuluttajahinta oli keskimäärin 7,18 snt/kWh (Tilastokeskus 2012b). Kaukolämpöjärjestelmän hyötysuhde on noin 95 %, joten vuotuinen

kaukolämpöenergiantarve $Q_{a, \text{kaukolämpö}}$ lasketaan soveltamalla yhtälöä (7). Vuotuiseksi kaukolämpöenergiantarpeeksi saadaan 21 050 kWh/a. Markkinahinnan avulla laskettuna yhtälöllä (8) vuotuisiksi kustannuksiksi $K_{a, \text{kaukolämpö}}$ saadaan 1510 €/a.

Maalämpöjärjestelmän polttoainekustannus on käytännössä kompressorin sähkötehortarpeesta johtuva sähkönkulutuksen kustannus. Sähkölämmitysjärjestelmään verrattuna on sähkötehon suuruus kuitenkin huomattavasti pienempi. Tarkastellaan maalämpöpumppujärjestelmää, jonka vuositason COP -arvo on 3,0. Järjestelmä kuluttaa siis vain yhden kilowattitunnin sähkötehoa tuottaakseen 3 kWh lämpöenergiaa. Tehokertoimen ja teoreettisen vuotuisen lämpötehortarpeen avulla lasketaan maalämmön kuluttama sähköenergia vuodessa yhtälön (7) mukaisesti eli laskennassa järjestelmän hyötysuhde on 300 %. Maalämpöjärjestelmän vuotuiseksi sähkönkulutukseksi saadaan 6667 kWh/a. Sähköenergian vuoden 2011 kuluttajahinta oli keskimäärin 11,97 snt/kWh (Tilastokeskus 2012a), joten vuotuisen sähkönkulutuksen avulla laskettuna kustannukseksi $K_{a, \text{maalämpö}}$ saadaan 798 €/a. Maalämmitysjärjestelmä mitoitetaan pientaloissa käytännössä aina osatehomitoituksella. Käytännössä tämä tarkoittaa että maalämmöllä voidaan laskennallisesti tuottaa 80 %, eli suurin osa kiinteistön tarvitsemasta lämpöenergiasta ja jäljelle jäävä osa tuotetaan sähkövastuksella tarvittaessa. Sähkövastuksen käyttö lisää hieman vuotuisia käyttökustannuksia, mutta sen vaikutus kannattavuusvertailussa on erittäin pieni. Lisäksi erittäin kylmien talvipäivien määrä Suomessa vaihtelee ja huipputehontarpeen aika vuodessa jää usein ainoastaan muutamaan tuntiin. (Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry 2012.)

Varaavan sähkölämmityksen hyötysuhde on hieman alhaisempi kuin suoran sähkölämmitysjärjestelmän eli käytännössä noin 95 % (Seppänen Olli 2001, 374). Vuotuinen sähköenergiankulutus lasketaan yhtälöstä (7) hyötysuhteen avulla ja tulokseksi saadaan 21 050 kWh/a. Vuoden 2011 keskimääräisellä sähkön kuluttajahinnalla laskettuna vuotuiset kustannukset olisivat 2519 €/a. Varaavaa sähkölämmitysjärjestelmää käytetään useimmiten päivä-yö – sähkötariffia hyödyntäen, lataamalla varaaja halvemman yötariffin aikana. Selvitetään saavutettava hyöty jos hyödynnetään päivä-yö – sähkötariffia yleissähkötariffin sijaan. Jyväskylän Energia Oy:n vuoden 2011 sähkön myynti- ja siirtohinnoiston (Jyväskylän Energia Oy 2012b) avulla lasketaan keskimääräiset vuotuiset kustannukset sähkölle. Perusmaksu,

energiamaksu ja energiavero huomioon ottaen saadaan vuotuiseksi käyttökustannukseksi 21 050 kWh/a sähkönkulutuksella yleistariffilla 2513 €/a ja päivä-yö – sähkötariffia hyödyntäen 2000 €/a. Tariffien välillä on siis huomattava 500€ vuotuinen käyttökustannusero. Sähkötariffien välisen eron ollessa näin suuri on selvää miksi päivä-yö -sähkötariffia hyödynnetään käytännössä aina varaavan sähkölämmityksen yhteydessä.

Kevytöljyä hyödyntävän järjestelmän polttoainekustannus voidaan selvittää öljylämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhteen avulla, joka on yleensä noin 90 % (Seppänen Olli 2001, 319) eli todellinen vuotuinen lämmitystehontarve on yhtälöllä (7) laskettuna 22 222 kWh/a. Kevyen polttoöljyn kuluttajahinta vuonna 2011 oli keskimäärin 10,67 snt/kWh, joten vuotuiseksi polttoainekustannukseksi $K_{a,öljy}$ saadaan 2370 €/a.

Laskennan lopputulosten perusteella voidaan todeta kaukolämmön, pellettilämmityksen ja maalämpöjärjestelmän olevan vuotuisten polttoainekustannusten osalta kannattavimmat vaihtoehdot tarkasteltavassa pientalossa.

4.3 Polttoaineiden hintaan vaikuttavat tekijät ja hintatason kehitys

Puupellettien markkinahintaan vaikuttavat muun muassa normaalit markkinatalouden kysynnän ja tarjonnan väliset suhteet sekä kotimaisen tuotannon suhde ulkomailta tuotuun pellettipolttoaineeseen. Polttoaineen hinta on pysynyt varsin tasaisena vuodesta 2008 lähtien, kuten voidaan todeta kuvasta 6. Samanaikaisesti esimerkiksi kaukolämmön hinta on noussut vuosittain. Tulevaisuuden pellettipolttoaineen hintatasoa voidaan pohtia etenkin kotimaisen tuotantovolyymien kautta. Vuonna 2012 pellettien tuotantovolyymi Suomessa tulee laskemaan lakkautettavien Vapo Oy:n pellettitehtaiden vuoksi. Kotimaisen tuotannon vähentyessä ulkomailta tuotavan polttoaineen osuus pellettien kulutuksessa kasvaa ja edelleen myös hintataso saattaa nousta korkeammaksi. (Pellettienergiayhdistys ry 2011.) Kotimaisen tuotantovolyymien lisäksi hintaan vaikuttavat myös lähivuosien kulutustottumusten muodostuminen, eli saavuttaako pellettilämmitys kiinteistöjen lämmitystavoissa suuremman osuuden ja aletaanko pellettipolttoainetta käyttää lämmöntuotantolaitoksissa kivihiilen rinnalla. Esimerkiksi

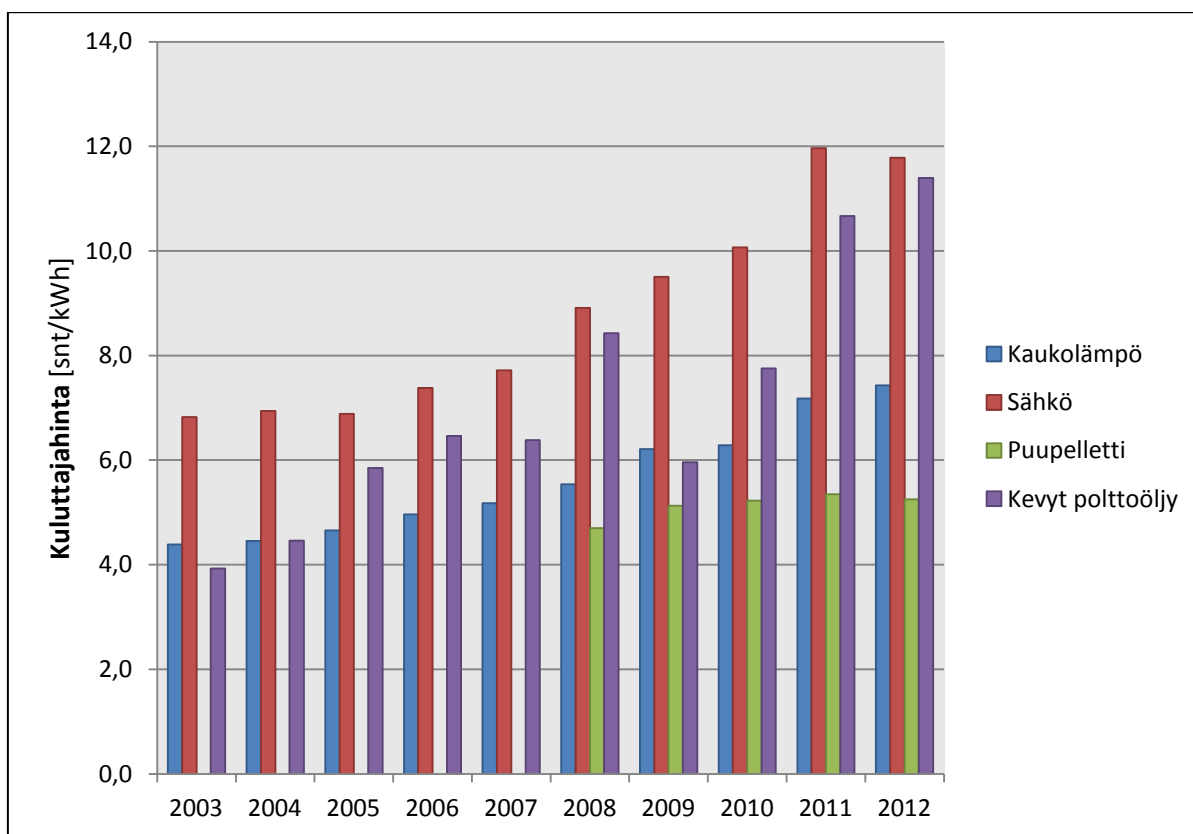
Ruotsissa on jo käytössä CHP -laitos Hässelbyssä, joka tuottaa kaukolämpöä Tukholman tarpeisiin pelleteillä (Oberberger & Thek 2010, 363.) Pellettien hintatasoa voidaan tarkastella tuottajien ja kuluttajien näkökulmista. Tuottajilla pellettien hinnan on aina katettava tuotantokustannukset sekä muut muuttuvat kustannukset ja toisaalta kuluttajan näkökulmasta pellettilämmitysjärjestelmän on säilytettävä alhainen kokonaiskustannustasonsa, jotta sen kilpailukyky muihin lämmitysjärjestelmiin nähden säilyy. (Rouvinen, Ihalainen & Matero 2010, 5-6.)

Kaukolämpötariffin hintataso määräytyy pitkälti maakaasun, kivihiilen ja polttoöljyn markkinahintojen mukaan, jotka ovat pääasiallisia käytettäviä polttoaineita kaukolämpövoimalaitoksissa. Myös turpeen ja puuperäisten polttoaineen hintatasot vaikuttavat kaukolämmön kuluttajahintoihin. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen hintakehitys on ollut nousussa, joten myös kaukolämmön hinta nousee likimain samassa suhteessa. (Energiateollisuus ry 2012a.)

Sähkön hinta kotitalousasiakkaalla määräytyy sähkön siirto hinnasta, myyntihinnasta sekä sähköverosta ja arvonlisäverosta. Arvonlisävero sähköenergiasta peritään sekä myynti-, että siirtomaksujen yhteydessä ja sähköveron osuus kokonaisuudessaan sähkönsiirto hinnasta. Tukkusähkön hintataso riippuu oleellisesti Pohjoismaisesta sähköntuotannosta ja siirtosähköverkon kapasiteetista, sekä sähköpörssin kysynnän ja tarjonnan välisestä suhteesta. Markkinahintaan vaikuttavat myös sähköntuottajien ja tuotannon muuttuvat kustannukset, päästöoikeuksien hinta sekä tuotantolaitosten ylös- ja alasajokustannukset. Pohjoismaisessa sähköpörssissä yksi suurimmista vaikuttavista tekijöistä tuotannon kannalta on vesivarantojen määrä. Erityisen hyvän vesivuoden aikana sähkönhinnat ovat alhaisemmat kuin normaalisti, jolloin tarjonta ylittää kysynnän ja hintataso on alhainen. Sähkön markkinahinta riippuu myös osittain sähköenergiantuotannossa käytettävien polttoaineiden hintakehityksestä eli noudattaa samoja periaatteita kuin kaukolämmön markkinahinnan kehitys. (Energiateollisuus 2012a.)

Polttoainekustannusten vaikutus lämmitysjärjestelmien kannattavuuteen on merkittävä, joten yleinen hintatason kehitys vaikuttaa suoraan laitteiston pitoajan aikaisiin kustannuksiin ja siten investointipäätöksiin. Esimerkiksi sähkön, kaukolämmön ja

kevyen polttoöljyn hinnat ovat selvästi jatkuvassa nousussa, joka on otettava huomioon investointihankkeita suunniteltaessa.



Kuva 6. Polttoaineiden kuluttajahinnat snt/kWh vuosina 2003–2012.

4.4 Huoltotarve ja –kustannukset

Lämmitysjärjestelmän huolto pientalokiinteistöissä toteutetaan usein käyttäjän toimesta, eikä siten aiheuta välittömiä lisäkustannuksia. Huoltotarve vaikuttaa kuitenkin laitehankinnan arviointiin ja pienen huoltotarpeen omaavat järjestelmät ovat kuluttajan kannalta aina mieluisempia kuin paljon työtä vaativat lämmitysratkaisut.

Pellettilämmitysjärjestelmä on vertailtavista kiinteistön lämmitystavoista työläin käyttäjän kannalta. Huoltotarvetta aiheuttaa lähinnä polttoaineen tilaaminen ja sen jatkuvasta riittävydestä huolehtiminen, sekä palamisen tuloksena syntyvän tuhkan poisto kattilan palamistilasta. Polttoaineen hankinta ja varastointi on kuluttajalle helppoa etenkin jos käytössä on varasto, joka voidaan täyttää suoraan puhallusautolla.

Kuluttajan on kuitenkin tarkkailtava pellettivaraston polttoainevarantoja jatkuvasti ja pidettävä kirjaa lämmitys- ja jäähdytyskausien aikaisesta polttoaineen kulutuksesta, jotta lisäpolttoaineen tilaus voidaan ajoittaa optimaalisesti. Puupelletin palaminen on huomattavasti perinteistä puuhalko- tai hakepolttoa täydellisempää, joka vähentää syntyvän tuhkan määrää ja siten tarvittavien huoltotoimenpiteiden määrää. Vanhemmissa pellettilämmitysjärjestelmissä tuhkan poisto on suoritettava pellettikattilalta ja puhdistus vaatii käyttäjän paikallaolon. Huoltoväli tuhkan poistossa on noin kerran kuukaudessa tai joka toinen kuukausi. Lämmityskauden suurimman lämpöenergiankulutuksen aikana huoltoväli on pienempi, jopa viikoittainen. (Knuutila Kirsi 2003, 113.) Tuhkan poisto on nopea suorittaa ja vie aikaa arviolta 15 minuuttia (Pellettienergiayhdistys ry 2011). Moderneissa ja integroiduissa pellettilämmityskattiloissa tuhkan poisto voi olla täysin automatisoitu jolloin huoltotoimenpiteisiin kuuluvat lähinnä vain laitesäätöjen tarkkailu, vuosihuollot ja muut määräaikaisten suurempien toimenpiteiden, kuten kattilan tulipintojen puhdistus. Tuhkan poiston ja kattilan lämmönsiirtopintojen puhdistuksen lisäksi myös poltin ja savunpoistohormi vaativat huoltotoimenpiteitä. Käyttäjän säännöllisiin tarkkailutoimenpiteisiin kuuluvat myös lämmönjakeluverkoston painetason tarkkailu, savukaasujen lämpötilan muutosten tarkkailu nuohoustarpeen toteamiseksi ja tuhkan laadun tarkkailu polttimen oikeanlaisen toiminnan varmistamiseksi. (Motiva 2012b, 13.)

Kaukolämpökeskuksen ja sähkölämmitysjärjestelmän huoltotarpeet ovat huomattavasti muita järjestelmiä pienemmät. Käytännössä huoltotoimenpiteitä tarvitaan ainoastaan laitevian sattuessa. Laitevalmistajilla on usein käytössä tietty takuuhuollon aikaväli laitehankinnan jälkeen, jonka aikana järjestelmien vikojen korjaus ei aiheuta kuluttajalle lisäkustannuksia. (Harju Pentti 2002, 170.)

Maalämpöpumppujärjestelmän toiminta on automatisoitu täysin eikä sen normaali vuotuinen käyttö vaadi käytännössä lainkaan huoltotoimenpiteitä käyttäjältä. Jos järjestelmää hyödynnetään tuottamaan kylmää jäähdytyskaudella esimerkiksi ilmastoinnin tarpeisiin, tulee keruunesteen kierto asettaa niin sanotulle kesäasennolle. Laitevian tilanteessa maalämpöjärjestelmän huolto voi olla kuitenkin kallista esimerkiksi kompressorin vioittuessa. Normaalit kuluttajan toimenpiteet järjestelmälle

ovat vuosittain lähinnä järjestelmän optimointiin liittyviä automatiikan asetusarvojen tarkempaa ohjelmointia ja keruunesteen määrän tarkkailua. (Motiva Oy 2012c, 10).

4.5 Järjestelmien kokonaiskustannukset

Pientalojen lämmitysjärjestelmien vuotuiset kokonaiskustannukset muodostuvat edellä lasketuista polttoainekustannuksista sekä mahdollisesta huoltotarpeesta. Investointikustannusten vaikutus järjestelmien vuotuisiin kustannuksiin voidaan arvioida jakamalla investoinnin suuruus keskimääräiselle laitteiston pitoajalle, jonka valitaan olevan tässä tapauksessa 20 vuotta. Pitoajalle jaetun investointikustannuksen ja muuttuvien kustannusten avulla saadaan keskimääräinen vuotuinen kustannus kullekin järjestelmälle valituilla lähtötiedoilla. Keskimääräisen vuotuisen kustannuksen laskenta on esitetty yhtälössä (9).

$$K_{\text{vuosi},i} = \frac{I_i}{n_{\text{pito}}} + K_{a,i} \quad (9),$$

missä	i	tarkasteltava lämmitysjärjestelmä
	I	investointikustannus [€]
	$K_{a,i}$	järjestelmän i vuotuinen polttoainekustannus
	$K_{\text{vuosi},i}$	järjestelmän i vuotuinen kokonaiskustannus
	n_{pito}	järjestelmän pitoaika 20 a

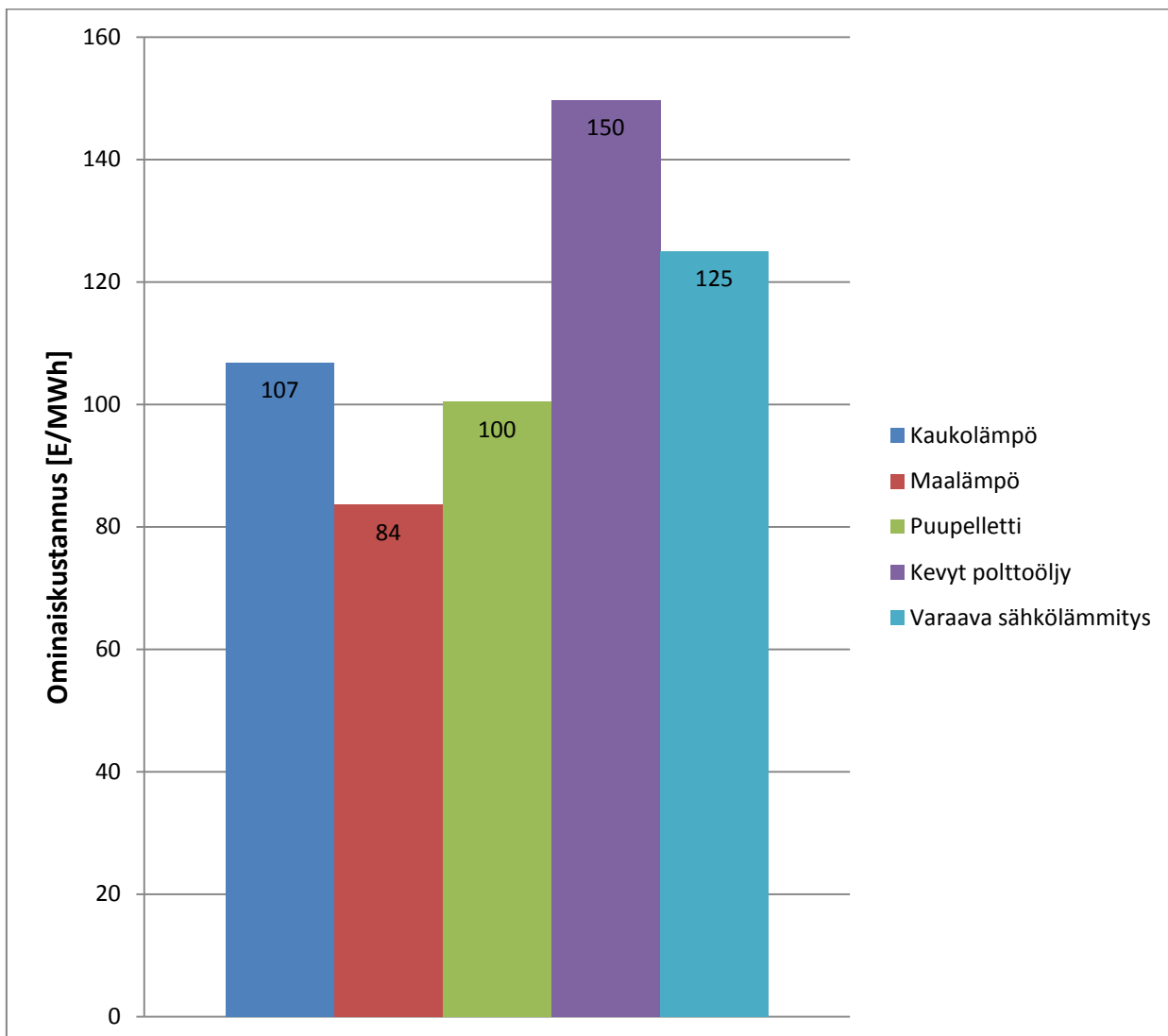
Keskimääräisen vuotuiset kustannukset voidaan esittää selvemmin ominaiskustannuksina jakamalla kustannukset vuotuisella lämpöenergiatarpeella, joka on tarkasteltavassa esimerkkikohteessa 20 MWh/vuosi. Lämmitysjärjestelmien ominaiskustannuksiksi saatiin pellettilämmitykselle 100 €/MWh ja kaukolämmitykselle 107 €/MWh, maalämpöjärjestelmälle 84 €/MWh, sähkölämmitysjärjestelmälle 125 €/MWh sekä öljylämmitykselle 150 €/MWh. Ominaiskustannukset ovat esitettynä graafisesti kuvassa 7. Valituilla lähtötiedoilla kevyttä polttoöljyä hyödyntävä lämmitysjärjestelmä on kokonaiskustannuksiltaan huomattavasti kallein ja maalämpöjärjestelmä kustannuksiltaan halvin.

Pellettilämmitysjärjestelmä sijoittuu kaukolämmön rinnalla kannattavuustarkastelun toiseksi halvimmaksi vaihtoehdoksi. Laskelmien perusteella siis joko maalämpö,

pellettilämmitys tai kaukolämpö olisivat tarkasteltavan uudisrakennuksen taloudellisesti kannattavimmat vaihtoehdot. Kustannuseroa maalämpöön verrattuna pelletti- ja kaukolämpöjärjestelmillä on 16-23 €/MWh eli 336-463 €/vuosi. Koska kannattavuustarkastelun lopputulos perustuu investointikustannusten arviointiin ja polttoainekustannusten määrään, tutkitaan lisäksi kuinka näiden arvojen mahdollinen vaihtelu vaikuttaa kustannusvertailun lopputuloksiin.

Varaava sähkölämmitysjärjestelmä on kaukolämpö-, pelletti- ja maalämpöjärjestelmiin verrattuna kallein vaihtoehto, vaikka sen investointikustannukset ovat huomattavasti muita pienemmät. Kallis ominaiskustannus järjestelmällä johtuu pääosin suuresta lämmitysenergiantarpeesta ja sähkön korkeasta markkinahinnasta. Sähkölämmitysjärjestelmät eivät kuitenkaan ole täysin kannattamattomia johtuen jatkuvasti tiukentuvista energiatehokkuusvaatimuksista ja matalaenergiatalojen osuuden lisääntymisestä. Pienemmän lämmitysenergiantarpeen tapauksissa suorasähkölämmityksen kilpailukyky paranee ja biomassapolttoaineita hyödyntäville täydentäville lämmitysratkaisuille muodostuu lisäkysyntää. Pellettilämmitys voi olla yksi mahdollisista vaihtoehdoista täydentävissä järjestelmissä eli pellettien käyttö voi uusien teknisten ratkaisujen kautta lisääntyä tulevaisuudessa. (Rouvinen, Ihalainen & Matero 2010, 33.)

Lämmitysjärjestelmien kannattavuutta voidaan tutkia myös hieman suurempien pientalojen tapauksissa. Rakennuspinta-alan vaikutusta kannattavuustarkasteluun voidaan tutkia valitsemalla 150 m² pientalon sijaan esimerkiksi 200 m² kokoinen kiinteistö. Suuremmassa kiinteistössä lämmitysenergiantarpeeksi muodostuu jo 30 000kWh. Käytännössä 50 m² suuremmassa kiinteistössä laiteinvestointien suuruudet eivät juurikaan muutu, mutta vuotuiset polttoainekustannukset nousevat. Laskemalla prosentuaalisesti kuinka paljon kunkin lämmitysjärjestelmän kokonaiskustannukset nousevat kiinteistön koon noustessa, todetaan maalämpöjärjestelmän säilyttävän edullisuutensa parhaiten. Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset nousevat alle 20% 150m² kokoiseen kiinteistöön verrattuna, kun kaukolämpö- ja pellettijärjestelmien kustannukset nousevat noin 26% ja 24 %. Skaalausetu suuremmassa kiinteistössä saavutetaan siis tehokkaimmin maalämpöjärjestelmällä, jos laitteiden huipputehot ja laitekoot pysyvät samana.



Kuva 7. Lämmitysjärjestelmien ominaiskustannukset eli keskimääräiset kokonaiskustannukset jaettuna vuotuisella energiankulutuksella €/MWh.

4.5.1 Investointikustannusten vaihtelu

Investointikustannuksiksi valittiin laskennassa kunkin järjestelmän ylärajahinta. Käytännössä eri järjestelmien hankintakustannukset voivat vaihdella hyvinkin paljon riippuen laitevalmistajasta ja -toimittajasta. Laskentaa voidaan tarkentaa muuttamalla hankintahintojen suuruuksia tarkempien hintatietojen avulla. Oletetaan hankintahintojen muuttuvan kaikilla lämmitysjärjestelmillä samassa suhteessa jolloin kannattavuuslaskenta palauttaa saman lämmitysjärjestelmien keskinäisen sijoittumisen kannattavuuslaskennassa, kun käytetään hankintahintojen minimi- tai maksimiarvoja. Puupellettijärjestelmän investointikustannuksen pitäisi olla noin 8500 €, jotta sen

sijoittuminen kannattavuustarkastelussa muuttuisi. Tämä hinta on kuitenkin ilman investointitukia käytännössä vaikea saavuttaa ja siten maalämpöjärjestelmän pitoajan aikaiset kokonaiskustannukset alittavat niukasti pellettijärjestelmän kustannukset. Maalämpöjärjestelmän ja puupellettijärjestelmän välinen ero kannattavuusvertailussa kuitenkin pienenee lähes olemattomaksi jos maalämpöjärjestelmän hankintakustannuksena pidetään keskimääräistä 17 500 €:a ja pellettijärjestelmä saataisiin halvimmalla arvioidulla hinnalla eli 10 000 €:lla. Kyseisillä hankintakustannuksilla järjestelmien välinen kustannusten ero pitoajalle jaettuna olisi ainoastaan 86 €/vuosi. Ero on niin pieni että hankintapäätöksentekoon vaikuttaa tässä tilanteessa enemmän esimerkiksi halukkuus porata tontille maalämpöjärjestelmän porakaivo tai järjestelmien vuotuinen huoltotarve huomattavasti enemmän kuin niiden taloudelliset kustannukset.

4.5.2 Polttoainehintojen markkinakehitys

Polttoaineiden markkinahintoja voidaan tutkia tarkemmin arvioimalla miten eri polttoaineiden hinnat tulevat muuttumaan lähivuosina. Pellettijärjestelmän kannattavuuden kannalta tutkitaan miten markkinahintojen tulisi käyttäytyä, jotta pellettilämmitysjärjestelmä olisi kannattavin vaihtoehto valitussa pientalosovelluksessa. Kappaleessa 4.3 lueteltiin polttoaineiden markkinahintoihin vaikuttavia tekijöitä ja kuvasta 6 voidaan tutkia hintojen kehittymistä vuoteen 2012 asti. Kuvaa tarkastelemalla voidaan todeta kaukolämmön, sähkön ja kevyen polttoöljyn kuluttajahintojen nousseen jatkuvasti ja vuoden 2009 jälkeen erityisen nopeasti. Tutkitaan seuraavaksi pellettilämmitysjärjestelmän kannattavuutta jos nykyinen hinnankehitystrendi muilla polttoaineilla jatkuu samana ja puupelletin hinta säilyy käytännössä samalla tasolla kuin se oli vuonna 2011. Tilastokeskuksen energian kuluttajahintojen perusteella todetaan kaukolämmön, sähkön ja kevyen polttoöljyn hinnan nousun olleen keskimäärin 6-10% vuosittain (Tilastokeskus 2012a). Järjestelmien kokonaiskustannukset jaettuna 20 vuoden pitoajalle polttoaineen markkinahintojen muuttuessa ovat esitettyinä taulukossa 1.

Taulukko 1. Lämmitysjärjestelmien ominaiskustannukset polttoaineiden markkinahintojen muuttuessa.

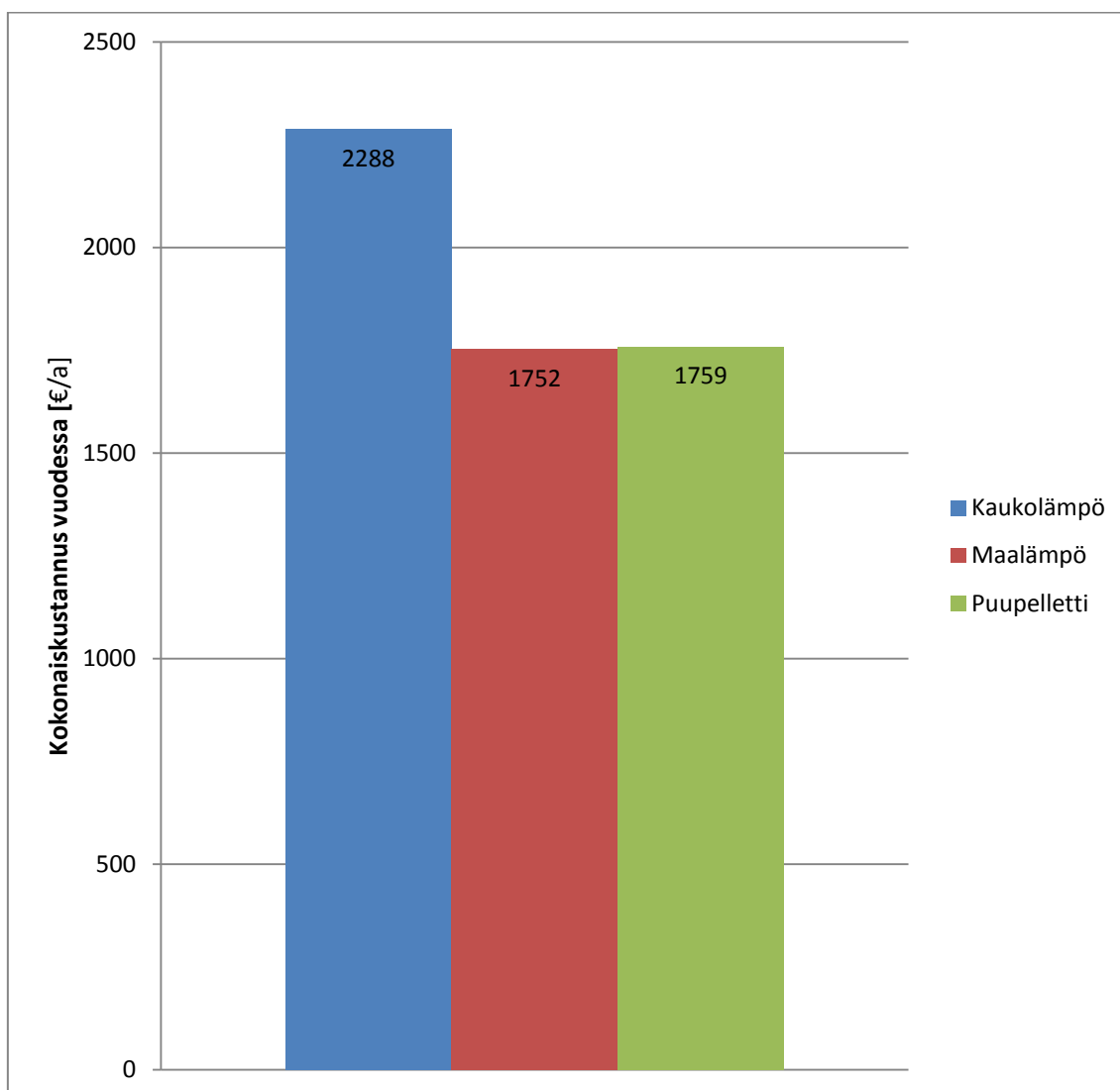
Lämmitysjärjestelmän kokonaiskustannus jaettuna 20 vuoden pitoajalle	Polttoaineella vuoden 2011 hintataso [€/a]	Polttoaineiden markkinahintojen muutos +10 % [€/a]
Puupelletti	2009	2135
Kaukolämpö	2136	2288
Maalämpö	1673	1752
Varaava sähkölämmitys	2500	2700
Kevyt polttoöljy	2995	3232

Taulukon 1 tietojen perusteella huomataan kaukolämpöjärjestelmän kokonaiskustannusten kasvavan jo yli 200 € vuodessa suuremmaksi kuin pellettijärjestelmän jos markkinahinnat muuttuvat 10 %:lla. Ero järjestelmien välillä olisi 404 €/vuosi tarkasteltaessa ainoastaan vuotuisia polttoainekustannuksia kyseisessä markkinatilanteessa. Tarkastelun perustella voidaan todeta että mitä enemmän kaukolämmön hinta nousee markkinoiden tilanteen kehittyessä sitä kannattavammaksi vaihtoehdoksi puupelletin käyttö muodostuu. Maalämpöjärjestelmän asema kannattavuustarkastelussa ei muutu polttoainehintojen kasvaessa, vaikka puupelletin markkinahinta säilyisi samana ja sähkön hinta nousisi 10 %. Puupellettijärjestelmän ominaiskustannukset olisivat alhaisemmat kuin maalämpöjärjestelmällä vain jos sähkön markkinahinta jatkaisi vuosittain kasvuaan usean prosenttiyksikön vauhdilla samalla kun puupelletin hinta säilyisi ennallaan. Kyseinen markkinakehitys on kuitenkin varsin epätodennäköinen johtuen esimerkiksi metsäteollisuuden taloudellisista vaikeuksista ja puupelletin kotimaisen tuotannon vähentymisestä 2010 -luvulla (Pellettienergiayhdistys ry 2012).

4.5.3 Investointituki ja markkinahintojen kehittyminen yhdistettynä

Investointikustannusten vaihtelua tarkasteltaessa todettiin että puupellettilämmitysjärjestelmän tulisi olla hankintakustannuksiltaan alle 10 000€, jotta

pellettijärjestelmä voisi kilpailla maalämpöjärjestelmän kanssa. Tarkastelua voidaan syventää yhdistämällä sähkön hinnan kallistuminen ja puupellettijärjestelmän alempi hankintakustannus tulevaisuuden markkinoiden kehitykseksi. Alkuperäisessä tarkastelussa maalämpöjärjestelmän hankintakustannus oli 17 500€ ja vuotuinen polttoainekustannus 798 €/a. Pellettijärjestelmän hankintakustannukseksi oli valittu 15 000€ ja polttoainekustannukset olivat 1259 €/a. Kannattavuustarkastelun tulos muuttuu jos pelletin investointikustannus olisi esimerkiksi 10 000 € ja sähkön markkinahinta nousisi 10 % sen nykyisestä tasosta. Pelletin ominaiskustannukseksi ja pitoajalle jaetuksi kokonaiskustannukseksi muodostuisi tällöin 88 €/MWh ja 1759 €/a ja vastaavasti maalämpöjärjestelmälle 84 €/MWh ja 1752 €/a. Tässä tapauksessa järjestelmät olisivat siis käytännössä saman hintaiset. Kuvassa 8 on esitetty kaukolämmön, pellettilämmityksen ja maalämpöjärjestelmien kannattavuusvertailu kyseisellä markkinoiden muutoksella. Pellettijärjestelmälle muodostuva alhaisempi hankintakustannus on yksi mahdollisista tulevaisuuden markkinavisioista. Esimerkiksi Itävallassa biomassaa hyödyntäville pientalojen lämmitysjärjestelmille voi saada investointitukea myös uudisrakentamisen tapauksessa, toisin kuin Suomessa. Investointituki on rakennettavan kiinteistön sijainnista riippuen 25-30 % investoinnista, joka vastaa 1000-5500€ tukimäärää. Polttoainehintojen yllä mainittua kehitystä tukee niinikään Itävallan tukijärjestelmä, jossa biopolttoaineiden arvonlisäverotus on vain 10 % ja muilla lämmöntuotannon polttoaineilla sekä fossiilisilla polttoaineilla se on 20 %. (Oberberger & Thek 2010, 341.)



Kuva 8. Kaukolämmön, maalämmön ja pellettilämmityksen kokonaiskustannukset vuodessa, kun sähkön ja kaukolämmön markkinahinnat nousevat 10 % vuoden 2011 tasosta ja pellettilämmitysjärjestelmälle saadaan 5000€ investointituki.

4.5.4 Puupellettimarkkinoiden kehitysnäkymät

Puupellettimarkkinat ovat maailmanlaajuisestikin edelleen kehittymässä ja perustuvat voimakkaasti metsäteollisuuden toimintaan sekä kysynnän ja tarjonnan lakeihin. Polttoaineen hinnat voivat muuttua äkillisesti kuten kävi 2006-2007 lämmityskaudella, jolloin erityisen lumiset sääolosuhteet rajoittivat puun hakkuuta ja siten metsäteollisuuden sahatoimintaa sekä siihen pohjautuvaa puupellettien tuotantoa. Kysynnän pysyessä lähes samana ja tarjonnan vähentyessä puupellettien markkinahinnat nousivat hetkellisesti. Puuperäisten polttoaineiden, puupelletti mukaan

lukien, hintatason vaihtelu seuraa sääolosuhteita ja voi olla suurimmillaan jopa 30%. (Obernberger & Thek 2010, 127-128.) Markkinahinnan suuri vaihtelu äkillisen sääolosuhteiden muuttumisen seurauksena on kuitenkin useimmiten hetkellistä eikä vaikuta olennaisesti kannattavuustarkasteluun vuositason tasolla. Puupelletin hintatason nouseminen vaikuttaa lisäksi lähinnä kaukolämmön ja pellettijärjestelmän väliseen kannattavuuteen jos investointitukijärjestelmää ei sovelleta uudisrakentamiseen.

5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin eri lämmitysjärjestelmien taloudellista kannattavuutta ja teknisiä eroavaisuuksia uudisrakennettavan pientalon sovelluksessa. Työssä esiteltiin vertailuun valitut eri lämmitysjärjestelmät pääpiirteittäin ja suoritettiin tarvittavat laskelmat, joiden perusteella voitaisiin tarvittaessa tehdä hankintapäätös asennettavasta lämmitysjärjestelmästä. Uudisrakennettavaan pientaloon voidaan valita useita eri lämmitysjärjestelmäratkaisuja, joiden kannattavuus riippuu kiinteiden ja muuttuvien kustannusten määrästä eli käytännössä niiden hankintakustannuksesta sekä polttoaine- ja huoltokustannuksista. Laskennassa käytetyt hankintakustannukset arvioitiin karkeasti ja niiden määrän vaihtelun vaikutusta lopputuloksiin tarkasteltiin alustavan laskelman jälkeen. Polttoaineiden markkinahintojen referenssitasona käytettiin vuoden 2011 markkinahintoja, joka oli tuorein täysi kalenterivuosi jolta hintatiedot olivat saatavilla.

Kannattavuusvertailun tulos osoitti maalämpöjärjestelmän olevan pitoajalle jaettuna kokonaiskustannuksena sekä ominaiskustannuksena halvin vaihtoehto tarkasteltavan pientalon tapauksessa. Tarkastelussa kaukolämpöjärjestelmä ja pellettijärjestelmä olivat ominaiskustannuksiltaan saman suuruiset, joten hankintapäätös järjestelmien välillä tapahtuisi kaukolämpöverkkoon liitettävyyden ja lämmitysjärjestelmien helppokäyttöisyyden sekä huoltotarpeen perusteella. Puupellettilämmitysjärjestelmän ja maalämpöjärjestelmän todettiin olevan kustannuksiltaan lähellä toisiaan tapauksessa, jossa biomassaa hyödyntävien lämmitysjärjestelmien tukirakenne ja -lainsäädäntö on sovellettavissa saneerausrakentamisen lisäksi myös uudisrakentamisen sovelluksiin. Ilman tukijärjestelmää pellettilämmitysjärjestelmän hankintakustannuksen tulisi halventua tuen määrää vastaavalla summalla, jotta saavutettaisiin sama lopputulos. Energiatehokkaan ja uusiutuvia lämmitysratkaisuja hyödyntävän uudisrakentamisen tukeminen on jo käytössä Euroopassa, mutta Suomessa tukijärjestelmä on vielä vuonna 2012 rajoittunut ainoastaan saneerausrakentamiseen. Pellettilämmitys on siis etenkin saneerausrakentamisessa varteenotettava vaihtoehto esimerkiksi öljylämmitykselle sen halvan polttoainekustannuksen, järjestelmän teknisen toteutuksen samankaltaisuuden ja investointituen vuoksi.

Pellettilämmitysjärjestelmän käytön lisääntyminen Suomessa uudisrakennettavissa sovelluksissa sekä sen taloudellinen kannattavuus riippuvat vahvasti uusiutuvia

energiamuotoja tukevien lainsäädännön ja tukijärjestelmän sekä rakennusmääräysten ja energiatehokkuusvaatimusten kehityksestä. Lämmitysjärjestelmänä pellettilämmityksen suurimpia etuja Suomessa ovat polttoaineen kotimaisuus ja kilpailukykyinen markkinahinta sekä monipuolisesti muokattavissa oleva tekninen toteutus (Motiva 2012a, 34).

LÄHDELUETTELO

Alakangas Eija, 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. 172 s. ISBN 951-38-5740-9. [Viitattu:18.9.2012]
Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

Ariterm Oy, 2011. Arimax puulämmitys. Saarijärvi. 11 s. [Ariterm:n www-sivuilla]
Päivitetty: Syyskuu 28, 2011. [Viitattu: 28.9.2012]
Saatavissa: <http://195.67.82.150/ariterm/Puulammitys%20low%20res.pdf>

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA), 2012. Energia-avustukset. [ARA:n www-sivuilla] Päivitetty: Huhtikuu 11, 2012. [Viitattu: 17.9.2012]
Saatavissa: <http://www.ara.fi/default.asp?node=1263&lan>

Energiateollisuus ry, 2012a. Energia ja ympäristö. [Energiateollisuuden www-sivuilla]
Päivitetty: [Viitattu: 11.10.2012] Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto>

Energiateollisuus ry, 2012b. Tilastot ja julkaisut. [Energiateollisuuden www-sivuilla]
Päivitetty: Tammikuu 19, 2012. [Viitattu: 5.9.2012]
Saatavissa: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut>

Fröling Heizkessel- und Behälterbau Ges.m.b.H, 2009. Pellet Boilers, P4 Pellet. [Fröling GmbH www-sivuilla] Päivitetty: Heinäkuu 1, 2009. [Viitattu: 05.12.2012]
Saatavissa:
http://www.froeling.com/images/stories/pdf/prospekte/en/p0190510_prospekt%20p4%20Opellet_en_mail.pdf

Harju Pentti, 2002. Lämmitystekniikan oppikirja. 2. painos. 259 s. ISBN 951-98799-2-7.

Jyväskylän Energia Oy, 2012a. Liittymishinnasto 1.12.2011 alkaen. [Jyväskylän Energia Oy:n www-sivuilla] Päivitetty: Joulukuu 1, 2011. [Viitattu: 30.9.2012]
Saatavissa: https://www.jenergia.fi/files/liittymishinnasto_1_12_2011.pdf

Jyväskylän Energia Oy, 2012b. Sähkön myynti- ja siirtohinasto 1.6.2011 alkaen. [Jyväskylän Energia Oy:n www-sivuilla] Päivitetty: Kesäkuu 1, 2011. [Viitattu: 3.10.2012] Saatavissa: https://www.jenergia.fi/files/sahkohinnasto_1_6_2011.pdf

Knuuttila Kirsi, 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknologiakeskus Oy ja BENET Bioenergiaverkosto. 115 s. ISBN 952-5165-20-5.

Metsäntutkimuslaitos. Metsätalastiedote 2/2012. [Metsäntutkimuslaitoksen www-sivuilla] Päivitetty: Maaliskuu 16, 2012. [Viitattu: 18.9.2012] Saatavissa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2012/puupelletit11.htm>

Motiva Oy, 2012a. Pientalon lämmitysjärjestelmät. 36 s. Päivitetty: Elokuu 16, 2012. [Viitattu: 11.9.2012] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6150/Pientalon_lammitysjarjestelmat2012.pdf

Motiva Oy, 2012b. Puupelletti lämmittää puhtaasti. 16 s. Päivitetty: Elokuu 1, 2012. [Viitattu: 2.10.2012] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6059/Puupelletti_lammittaa_puhtaasti_ja_uusiutuvasti.pdf

Motiva Oy, 2012c. Lämpöä omasta maasta. 16 s. Päivitetty: Elokuu 1, 2012. [Viitattu: 11.10.2012] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6058/Lampoa_omasta_maasta.pdf

Obernberger Ingwald & Thek Gerold, 2010. The pellet handbook; The Production and Thermal Utilisation of Pellets. Lontoo: Earthscan Ltd. 499 s. ISBN 978-1-84407-631-4.

Pellettienergiayhdistys ry, 2011. [Pellettienergiayhdistyksen www-sivuilla] Päivitetty: Elokuu 6, 2009. [Viitattu: 18.9.2012] Saatavissa: <http://pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pellettilaemmitys>

Rakennustietosäätiö RTS, 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Tampere: Rakennustieto Oy. 200 s. ISBN 978-951-682-858-2.

Rouvinen Seppo, Ihalainen Tanja & Matero Jukka, 2010. Pellettien tuotanto ja kotitalousmarkkinat Suomessa. Joensuu: Itä-Suomen yliopisto. 36 s. ISBN 978-951-40-2275-3. [Viitattu: 20.10.2012] Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp183.pdf>

Seppänen Olli, 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry. 444 s. ISBN 951-98811-0-7.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry, 2012. [Suomen Lämpöpumppuyhdistyksen www-sivuilla] Päivitetty: Helmikuu 13, 2012. [Viitattu: 13.9.2012] Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/lampopumpputyypit>

Tilastokeskus, 2012a. Energian hinnat. [Tilastokeskuksen www-sivuilla] Päivitetty: Kesäkuu 19, 2012. [Viitattu: 6.9.2012] Saatavissa: http://www.stat.fi/Data/DatabaseStatFineneehiehi_fi.asp

Tilastokeskus, 2012b. Energiatilasto, Vuosikirja 2011. Helsinki. 149 s. ISBN 978-952-244-288-8

Vapo Oy, 2011. Yleiset pellettien toimitusehdot. [Vapo Oy:n www-sivuilla] Päivitetty: Lokakuu 10, 2011. [Viitattu 2.10.2012] Saatavissa: http://www.vapo.fi/filebank/699-5430-yleiset_pellettien_toimitusehdot_01_10_2011.pdf

Vapo Oy, 2012a. [Vapo Oy:n www-sivuilla] Päivitetty: Elokuu 31, 2009. [Viitattu: 18.9.2012] Saatavissa: <http://www.vapo.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotitaloudet>

Vapo Oy, 2012b. Vapon puupelletti – ominaisuudet ja laatukriteerit. [Vapo Oy:n www-sivuilla] Päivitetty: Syyskuu 7, 2012. [Viitattu 26.9.2012] Saatavissa: http://www.vapo.fi/filebank/1268-Vapon_puupelletti_-_Ominaisuudet_ja_laaturkriteerit.pdf

Ympäristöministeriö, 2011. EU:n ilmasto- ja energiapaketti. [Ympäristöministeriön www-sivuilla] Päivitetty: Marraskuu 10, 2011. [Viitattu 9.10.2012] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi>

*Taulukko 1.**Normaalivuoden 1971...2000 lämmitystarveluku ja vastaavat kuukausikohtaiset lämmitystarveluvut vertailupaikkakunnittain.*

Vertailupaikkakunta	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	599	577	559	424	216	36	7	22	160	320	433	543	3 896
Helsinki Kaisaniemi	657	619	574	404	169	12	2	15	144	331	468	594	3 989
Turku	667	629	582	399	170	19	4	23	170	352	488	612	4 115
Helsinki-Vantaa	691	647	593	402	165	18	4	27	185	364	502	631	4 229
Pori	680	639	589	413	189	25	5	29	195	364	500	627	4 255
Tampere-Pirkkala	734	681	614	411	186	29	6	39	211	382	537	672	4 502
Lahti Laune	737	686	615	419	172	25	6	36	215	394	533	674	4 512
Vaasa	732	667	620	445	215	33	9	47	221	397	535	667	4 588
Lappeenranta	771	702	624	425	177	26	6	34	204	404	548	691	4 612
Kuopio	820	748	657	468	213	34	8	43	216	415	579	742	4 943
Jyväskylä	789	727	650	464	217	43	13	63	251	427	576	725	4 945
Joensuu	837	762	670	479	231	43	12	55	237	434	598	759	5 117
Oulu	829	749	674	484	263	49	11	62	243	442	606	758	5 170
Kajaani	867	783	695	502	260	59	21	82	266	460	630	795	5 420
Sodankylä	964	840	759	570	358	113	55	150	330	545	742	911	6 337
Ivalo	947	823	752	575	387	153	76	157	328	545	744	894	6 381