



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**PETTERI JOKIPERÄ**  
**SELVITYS ÖLJYLÄMMITYKSEN TALOUDELLISESTA**  
**KORVAAMISESTA**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Risto Raiko  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Luonnontieteiden tiedekunta-  
neuvoston kokouksessa  
3. kesäkuuta 2015

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

**JOKIPERÄ, PETTERI:** Selvitys öljylämmityksen taloudellisesta korvaamisesta

Diplomityö, 58 sivua

Elokuu 2016

Pääaine: Voimalaitos- ja polttotekniikka

Tarkastaja: professori Risto Raiko

Avainsanat: energiatalous, pelletti, hake, öljy, turve, maalämpöpumppu

Energiapolitiikassa on jo jonkin aikaa ollut vallitsevana ajatuksena, että kasvihuonekaasuja lisäävien fossiilisten polttoaineiden käyttöä tulisi vähentää. Myös suomalaisista suurin osa on vähentänyt tietoisesti omaa ilmastokuormitustaan. Energian kulutuksen vähentäminen esimerkiksi lämmityksessä eristeitä lisäämällä on hyvä keino, mutta tehokkaampaa on, jos voidaan luopua kokonaan fossiilisista polttoaineista ja korvata ne uusiutuvilla energialähteillä kuten puupelleteillä.

Työn tarkoitus on etsiä Loimaan Kiven lämmityksen kautta sekä ympäristöystävällisempi että edullisempi lämmitysratkaisu nykyisten öljykattiloiden ja öljykäyttöisten ilmalämmittimien tilalle. Ratkaisua haetaan pääasiassa puuhakkeesta, puupelletistä, palaturpeesta ja maalämpöpumpusta. Vaihtoehtoja tutkiessa pyritään selvittämään energian hankinnan kustannukset, mahdolliset laitekoonpanot eri energialähteillä, sekä kartoittaa eri lämmitysvaihtoehtojen ylläpidon ja huollon määrää.

Suurinta osaa työssä havaituista asioista voi soveltaa laajemminkin keskisuurissa lämmityskohteissa, vaikka tarkasteltava lämpötehon tarve on välillä 300 – 500 kW. Selvitys tarjoaa jopa enemmän apua uudiskohteen lämmitystä suunniteltaessa, koska lämmönjakeluverkon voi helpommin rakentaa tarpeen mukaan.

Lopullinen lämmityksen valinta saattaa ratketa ostajan tee-se-itse-asenteesta, kun kokonaiskustannukset ovat lähellä toisiaan eri lämmitysratkaisuilla. Lämmöntarpeen noustessa edullisista energialähteistä saatava taloudellinen hyöty vaikuttaa enemmän kokonaiskustannuksiin, kuin kasvavat investointi ja ylläpitokustannukset. Eli mitä suurempi lämmitysenergian kulutus on, niin sitä todennäköisemmin kannattaa valita edullisempi energianlähde.

## ABSTRACT

Tampere University of Technology

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology

**JOKIPERÄ, PETTERI:** Research of replacing oil heating economically

Master of Science Thesis, 58 pages

August 2016

Major: Power Plants and Combustion Technology

Examiner: Professor Risto Raiko

Keywords: Energy economy, pellet, woodchips, oil, peat, ground-source heat pump

The policy that reduces the use of fossil fuels which increases greenhouse gases has been valid for some time in energy politics. Also most of the Finnish people has been knowingly reduced their own climate load. Decreasing energy consumption by adding insulation is a good way, but it is even more efficient if we could entirely relinquish fossil fuels and replace them with renewable energy sources like wood pellets.

The meaning of the research is to search via Loimaan Kivi's heating more environmentally friendly and economical heating solution instead of current oil boilers and oil powered air heaters. The conclusion is sought primarily from wood chips, wood pellets, sod peat and ground-source heat pump. While researching different options, the costs of energy acquisitions, possible layout options with different energy sources and the need of service and maintenance are figured out.

Most of the notices in research can be applied even wider in middle-sized heating locations, in spite of the examination is based on power demand range from 300 to 500 kW. Investigation provides even more help when planing on heating in new location because heat distribution network can be built more easily based on the need. When

The final decision of heating may depend on purchaser's do it yourself -attitude, when total costs of heating are close to each other. The economical benefit from cheaper energy sources is greater than the increasing costs of investment and maintenance, when heating demand rises. Consequently, the greater the consumption of the heating energy is, so the more likely the cheaper energy source is better choice.

# SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
2	Lähtökohdat.....	2
	2.1 Lämmitys nykyään.....	3
	2.2 Uuden laitteiston vaatimukset.....	4
	2.2.1 Huipputeho.....	7
3	lämmitysvaihtoehtojen vertailu.....	8
	3.1 Öljy.....	8
	3.2 Puuhake.....	9
	3.3 Puupelletti.....	12
	3.4 Turve.....	14
	3.5 Sähkö (maalämpöpumppu).....	17
	3.6 Keskenään vertailu.....	18
	3.6.1 Päästövertailu.....	19
4	Laitevertailu.....	22
	4.1 Öljylämmityslaitteisto.....	22
	4.1.1 Öljypoltin.....	22
	4.1.2 Lämminilmakehitin.....	24
	4.2 Hakelämmityslaitteisto (palaturvelämmityslaitteisto).....	24
	4.2.1 Hakesiilo ja purkainlaitteisto.....	25
	4.2.2 Hakepoltin.....	27
	4.2.3 Kattilan lisälaitteet.....	28
	4.2.4 Savukaasupuhdistin ja -puhallin.....	28
	4.3 Pellettilämmityslaitteisto.....	29
	4.3.1 Pellettisiilo.....	30
	4.3.2 Pellettipoltin.....	32
	4.4 Maalämpöpumppu.....	34
	4.4.1 Maalämpö jäähdytysvedestä.....	35
5	Vaihtoehtojen vertailu.....	37
	5.1 Kevyt polttoöljy.....	38
	5.2 Puuhake.....	40
	5.3 Puupelletti.....	42
	5.4 Palaturve.....	44
	5.5 Maalämpöpumppu.....	46
6	Kustannusten vertailu.....	49
7	Yhteenvedo.....	54
	Lähteet.....	56

# 1 JOHDANTO

Öljyn hinnan ollessa korkealla, moni öljylämmittäjä varmasti pohtii, että joko nyt olisi aika vaihtaa lämmitysmuotoa. Taloudellisten päätösten lisäksi yhä useampi ajattelee ympäristöä valintoja tehdessään. Teknologian tutkimuskeskus VTT:n teettämän tutkimuksen mukaan suurin osa suomalaisista on vähentänyt tietoisesti omaa ilmastokuormitustaan [1].

Työn alkuperäinen tarkoitus oli löytää Loimaan Kivelle sekä ympäristöystävällisempi että taloudellisempi vaihtoehto nykyisille öljykattiloille ja öljykäyttöisille aerotermeille. Työn edetessä kuitenkin öljyn hinta on tullut reilusti alaspäin, joten Loimaan Kivellä lämmitykseen investointi on laitettu toistaiseksi tauolle.

Työssä käsitellyt asiat soveltuvat muuallekin ja ne voivat tulla myöhemmin Loimaallakin ajankohtaisiksi. Lämmitysvaihtoehtoja tarkastellaan noin 300 – 500 kW tehoalueella, mutta käytyjä asioita voi soveltaa laajemminkin. Vaihtoehtoisina lämmitysmuotoina punnitaan puuhaketta, puupellettiä, palaturvetta ja maalämpöpumppua.

## 2 LÄHTÖKOHDAT

Loimaan Kivi Oy esittelee itsensä etusivullaan seuraavanlaisesti: ”Loimaan Kivi Oy on suomalaisen kiviteollisuuden parhaita perinteitä jatkava yritys, jonka voima perustuu monipuoliseen osaamiseen, kattavaan tuotantoketjun hallintaan ja ennakkoluulottomaan tuotekehitykseen. Loimaan Kivi Oy on yksi Suomen tärkeimmistä graniitin jalostajista, jonka tuotevalikoimaan kuuluu hautakivet, rakennuskivet ja sisustuskivet.”[2]

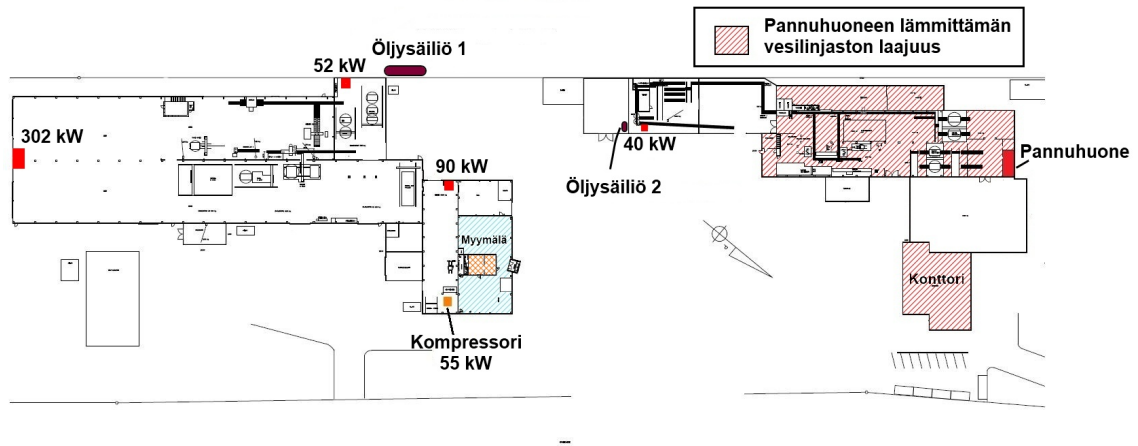


Kuva 2.1 Ilmakuva Loimaan Kivi Oy:n Loimaalla sijaitsevasta tuotantoalueesta.

Loimaan Kiven tuotantoalue on kuvassa 2.1 rajattu punaisella viivalla. Joen rannalla oleva pienempi rajausta osoittaa vedenpumppaamon paikan, josta vettä pumpataan jäähdyttämään ja voitelemaan kiven eri jalostusvaiheita. Työstettävä kivi saapuu pääsääntöisesti kuvan ylempään rakennuskokonaisuuteen eli sahaus ja rakennuskivituotantoon. Tämän jälkeen kivi jatkaa tarpeen mukaan kohti kuvan oikealla alhaalla sijaitsevaa kaiverrus ja hautakivituotantoa. Piha-alue toimii suurelta osin keskeneräisten kivituohteiden varastona.

## 2.1 Lämmitys nykyään

Rakennuskokonaisuuksien tämänhetkisen lämmityksen tarkastelu on luontevaa aloittaa kuvan 2.2 layoutista.



Kuva 2.2 Loimaan Kiven tuotantoalueen nykyinen lämmitys.

Kuvasta 2.2 voidaan nähdä kaksi selvästi erottuvaa rakennuskokonaisuutta. Vasemmalla olevassa kokonaisuudessa sijaitsevat tuotantolaitoksen alkupään toiminnot, kuten sahaus ja rakennuskivituotanto, sekä myymälä. Oikealla oleva kokonaisuus pitää sisällään puolestaan hautakivituotannon, sekä konttorin.

Kuvan 2.2 vasemman kokonaisuuden lämmitysjärjestelmään kuuluu öljypolttoiset aerotermit eli lämminilmakehittimet (mallit Polar E 260, Polar E 50 ja Mepun Eki 90), pois lukien myymälä, joka lämpiää ilmalämpöpumpuilla, esittelytuotteena toimivalla takalla, sekä myyjien toimistotilan sähköllä toimivalla lattialämmityksellä. Käytännössä Mepun Eki 90 aerotermitä laitetaan päälle vain kovimmilla pakkasilla, sillä samassa tilassa toimiva 55 kW kompressori lämmittää hukkalämmöllään riittävästi suurimman osan vuotta.

Oikea kokonaisuus sen sijaan lämpiää pääasiassa pannuhuoneessa sijaitsevien kahden öljykattilan (mallit H 21-6 N, vm. 1991 ja Högfors 21, vm. 1977) avulla, jotka lämmittävät vesilinjastoa, joka näkyy kuvan 2.2 oikealla reunalla kahtena punertavana alueena. Lisäksi yksi aerotermitä (malli Polar E 35) lämmittää kaivertamoaa.

Tuotantotilojen yhteenlaskettu neliömäärä on noin 8500 m<sup>2</sup> ja niiden lämpötila noin 10 °C. Käytännössä hautakivituotantotilojen lämpötila on yli 15 °C, työviihtyvyyden takaamiseksi tarkemmassa työssä, joka vaatii hienomotoriikkaa, sekä maalien kuivumisen edellyttämänä. Sen sijaan tuotannon alkupäässä, jossa sahataan kiviä, voidaan työskennellä hyvin vielä noin 5 °C:n lämmössä.

Sahaus ja rakennuskivituotannon lämmitysöljynkulutuksesta vastaavat kolme aerotermitä lämpötehoiltaan 302 kW, 90 kW ja 52 kW. Hautakivituotannon ja konttorin lämmitysöljynkulutus koostuu yhdestä aerotermitä teholtaan 40 kW sekä kahdesta

öljykattilasta tehoiltaan 170 kW ja 232,6 kW [200 Mcal/h]. Yhteensä polttoöljyllä toimivaa lämpötehoa tehdasalueelta löytyy siis 886,6 kW.

Yksi litra kevyttä polttoöljyä sisältää lämpöenergiaa 10,02 kWh, jolloin tavallista vuosikulutusta vastaava 80 000 litraa sisältäisi noin 801 600 kWh eli 801,6 MWh energiaa [3]. Nykyisten lämmityslaitteiden kokonaishyötysuhteeksi on valittu 0,8, jolloin lämpöenergian nettotarve olisi tavallisena vuotena noin 640 MWh. Tähän vuosikulukseen tullaan vertaamaan vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja läpi työn.

## 2.2 Uuden laitteiston vaatimukset

Lämmitysöljyn vuosikulutus vaihtelee vuosittain sään mukaisesti kuten tavallista ja Loimaan Kivellä tämä vaihteluväli on noin 50-90 m<sup>3</sup> per vuosi. Nykyisissä lämmitimissä ei ole minkäänlaisia öljynkulutusmittareita, eikä öljysäiliöitä yleensä tankata täyteen, vaan tankkaus suoritetaan tilattavan litramäärän mukaan. Tästä syystä öljynkulutusta edes öljysäiliöiden tankkauksien väliseltä ajalta ei voida laskea.

Lämmityskaudella 2010-2011 lämmitysöljyä tilattiin yhteensä noin 110 600 litraa josta sahaus ja rakennuskivituotannon osuus oli 74 200 litraa, ja hautakivituotannon ja konttorin osuus 36 400 litraa. Lämmityskauden 2010-2011 öljyntilausmäärät eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia, sillä kesällä ennen lämmityskautta 2011-2012 osa lämmityslaitteista uusittiin, sekä ulos vuotavan lämmön määrä väheni tiiviimmillä hallien ovilla. Lämmityskaudella 2011-2012 puolestaan lämmitysöljyä tilattiin yhteensä noin 92 400 litraa josta sahaus ja rakennuskivituotannon osuus oli 63 000 litraa, ja hautakivituotannon ja konttorin osuus 29 400 litraa. Nämä litramäärät on laskettu jälkikäteen Loimaan Kiven toimesta vertailemalla öljyntilauksen ostosummaa öljyn ostohetken hintaan. Työtä varten sama on tehty lämmityskausille 2012-2013, 2013-2014 ja 2014-2015 Öljy- ja biopolttoaineala ry:n tilastoimien hintojen avulla.

Keveyen polttoöljyn (rikitön) hinta on otettu Öljy- ja biopolttoaineala ry:n tilastosta, johon on merkitty kuukauden 15. päivän mukainen kesälaadun kuluttajahinta. Tämän jälkeen kuluttajahinnasta on vähennetty arvonlisäveron osuus hinnasta. Kuluttajahintojen vaihdellessa paikkakunnan ja huoltoaseman mukaan, on Öljy- ja biopolttoaineala ry:n tilastossa hinnat laskettu kuuden paikkakunnan kuluttajahintojen mukaan. Hintojen painotus on toteutettu öljytuotteiden myynnin markkinaosuuksilla ja kuntien vuosimyyntimäärillä. Erilaisia asiakasalennuksia ei ole hintoihin laskettu mukaan. Kevyellä polttoöljyllä kuluttajahinta tarkoittaa hintaa, jolla kevyt polttoöljy kuljetetaan asiakkaalle öljysäiliöön asti.



Taulukko 2.1 Kevyen polttoöljyn tilausmäärät laskettuna ostolaskuista. [4]

Lämmityskausi	Hautakivi + konttori [Litraa]	Sahaus [Litraa]	Yhteensä [Litraa]
2010-2011	36400	74200	110600
2011-2012	29400	63000	92400
2012-2013	25082	54284	79366
2013-2014	20665	23866	44531
2014-2015	21177	22528	43705

Taulukosta 2.1 nähdään kuinka suuresti lämmitysöljyn tilausmäärät ovat vaihdelleet lämmityskausien kesken. Aivan koko totuutta lämmitysöljyn kulutuksesta öljyn tilausmäärät eivät anna, koska öljysäiliöihin edelliseltä kaudelta jääneen öljyn määrät voivat vaihdella paljon. Varsinkin sahauspuolella, jossa öljy otetaan 30 000 litran öljysäiliö 1:stä, voi edelliseltä kaudelta jäänyt öljy vaikuttaa hyvinkin paljon tulevan kauden öljytilauksiin. Hautakivi + konttorin öljytilaus sen sijaan jakautuu kahteen pienempään öljysäiliöön: kaivertamon 40 kW aeroterminä syöttävään öljysäiliö 2:een ja pannuhuoneen öljykattiloita syöttävään 3 000 litran öljysäiliöön.

Ulkolämpötila on merkittävin lämmitysenergian muutokseen vaikuttava tekijä lämmityslaitteiston ja eristyksien pysyessä samana. Ulkolämpötilan muutoksien huomioon ottamiseksi lämmitystä tarkastellessa on yleiseksi työkaluksi kehitetty astepäiväluku, joka nykyään on nimetty lämmitystarveluvuksi. Lämmitystarveluvun on tarkoitus auttaa vertaamaan rakennuksien eri kuukausien tai vuosien kulutuksia, sekä eri kunnissa olevien rakennusten ominaiskulutuksia. Lämmitystarpeen arvioinnissa rakennukselle lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että sisä- ja ulkolämpötilojen erotus vaikuttaa lähes suoraan rakennuksen lämpöenergiankulutukseen.

Lämmitystarveluku lasketaan sisä- ja ulkolämpötilojen erotuksesta. Yleisesti käytetty lämmitystarveluku S17 tarkoittaa sitä, että sisälämpötilaksi määritetään +17 °C, josta vähennetään ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvo. Eli jos esimerkiksi huhtikuussa olisi joka päivä vuorokauden keskilämpötila +7 °C, niin huhtikuun lämmitystarveluvuksi tulisi tällöin 300 °Cvrk. Vertailuarvona, eli normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1981–2010 keskimääräistä lämmitystarvelukua.

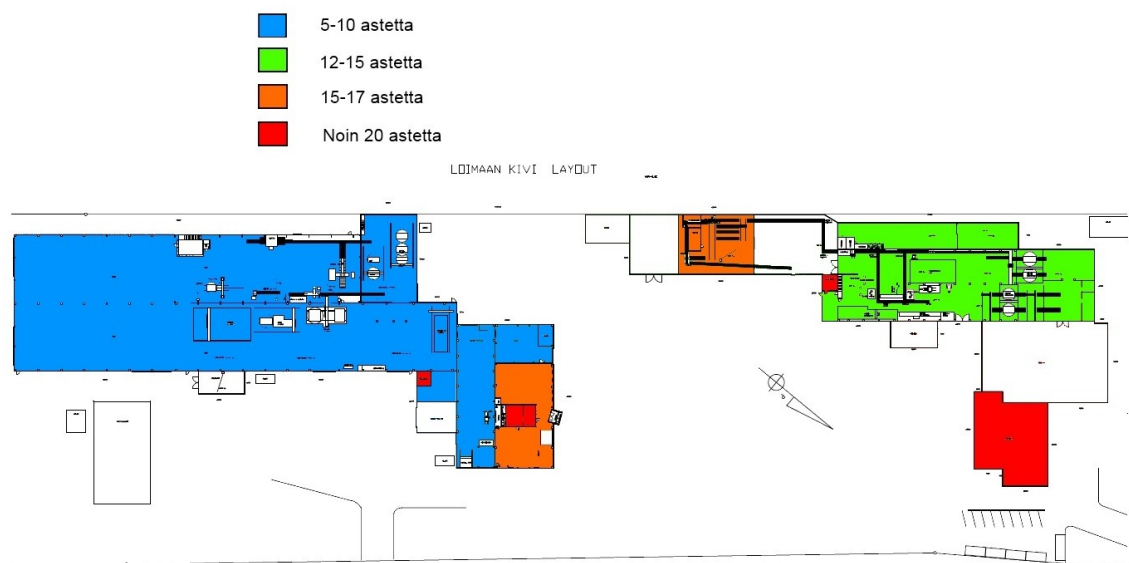
Poikkeuksena on, että lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on syksyllä yli +12 °C ja keväällä yli +10 °C runsaamman auringonpaisteen johdosta. Tämä siksi, että laskennassa oletetaan kiinteistöjen lopettavan lämmittäminen kyseisten rajojen ylittyttyä.

Taulukko 2.2 Loimaan lämmitystarvelukuja. [5]

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Koko lämmityskausi
2010/09-2011/05	152	391	592	857	707	795	576	321	132	4523
2011/09-2012/05	72	317	388	485	717	722	526	416	142	3787
2012/09-2013/05	163	376	429	766	691	538	738	425	68	4196
2013/09-2014/05	120	347	422	495	790	470	476	354	204	3679
2014/09-2015/01	150	353	448	565	608	488	482	365	172	3631
	<b>Lämmitystarveluvut vertailukaudella 1981-2010</b>									
	185	367	509	641	696	649	588	385	169	4189

Taulukkoon 2.2 on kerätty Loimaan lämmitystarvelukuja lämmityskausittain. Luvut on laskettu Tampereen lämmitystarveluvuista käyttämällä korjauskerrointa 1,04. Taulukosta on jätetty pois kesä-, heinä- ja elokuu, koska näinä kuukausina ei ole ollut juurikaan lämmitystarvetta, jolloin myös öljylämmittimet ovat todennäköisesti olleet poissa käytöstä.

Taulukoita 2.1 ja 2.2 vertaamalla voidaan todeta, että lämmitysöljyn tilausmäärissä ja lämmitystarveluvuissa ei ole kaikilta osin selvää yhteyttä. Vertaamalla esimerkiksi lämmityskausia 2011-2012 ja 2012-2013 huomataan, että vaikka lämmitystarvelukujen mukaan talvi 2012-2013 on ollut noin 400 °C<sub>vrk</sub> kylmempi, niin silti talvella 2011-2012 on tilattu laskujen mukaan noin 13 000 litraa enemmän lämmitysöljyä. Toisaalta taas kahden viimeisen lämmityskauden osalta lämmitystarveluvut osoittavat talvien olleen lähes yhtä lauhkeita, jota tukee myös lämmitysöljyn tilausmäärät, jotka ovat olleet melkein yhtä alhaiset.



Kuva 2.4 Tuotantotilojen lämpötilaprofiilit.

Kuva 2.4 esittää tuotantotilojen tavoitelämpötilat, joiden mukaisesti tiloja pyritään lämmittämään. Kuvan vasemmalla puolen oleva sahauspuoli on tuotantolaitoksen suurin lämmitysöljyn kuluttaja. Kuvan sinisen alueen tavoitelämpötila on noin 5-10 celsiusastetta ja se on pinta-alaltaan noin 4 810 m<sup>2</sup> sekä tilavuudeltaan noin 33 700 m<sup>3</sup>. Ylhäällä keskeltä hieman oikealle on kaivertamo oranssilla värillä. Kaivertamon tavoitelämpötila on 15-17 celsiusastetta ja se on pinta-alaltaan noin 320 m<sup>2</sup> sekä tilavuudeltaan noin 1 420 m<sup>3</sup>. Vihreän alueen tavoitelämpötila on noin 12-15 celsiusastetta ja se on pinta-alaltaan noin 1 650 m<sup>2</sup> sekä tilavuudeltaan noin 7 400 m<sup>3</sup>. Punaista aluetta eli toimistolämpötilassa olevaa aluetta on pinta-alaltaan noin 460 m<sup>2</sup> ja tilavuudeltaan noin 1 150 m<sup>3</sup>, kun myymälässä lattialämmityksellä lämpiävää aluetta ei lasketa mukaan.

### 2.2.1 Huipputeho

Yhteensä lämmitettävän alueen tilavuus on siis noin 44 000 m<sup>3</sup> ja lämpötilat eri alueissa vaihtelevat suuresti, joten suoraan niistä on vaikeaa tehdä tarkkaa päätöstä vaadittavasta huipputehosta. Myös nykyisten lämmityslaitteiden tehoista on vaikea päätellä todellista huipputehontarvetta, sillä on tiedossa, että ne ovat ylimitoitettu riittävän lämmöntuotannon aikaansaamiseksi. Myöskään nykyisissä lämmityslaitteissa ei ole tehon tai öljynkulutuksen mittareita, joten ei ole ollut mahdollista käydä lukemassa lämmityslaitteesta tietoja kovilla pakkasilla päivän/viikon ajalta.

Lisäksi eri tiloihin ”saapuvan” kylmän määrä vaihtelee, sillä sahaukseen saapuvat suurimmat kivilohkareet, jolloin suuresta ovesta lämpö ”karkaa” ja lisäksi suuri kivi kuluttaa lämpöenergiaa lämmitessään. Graniitin ominaislämpökapasiteetin ollessa 0,75 kJ/(K·kg) voidaan laskea, että lämmitettäessä tonni graniittia -15 °C:sta +5 °C:een vaatii 15 000 kJ:a eli noin 4,2 kWh:a lämpöenergiaa[6].

Yksi tapa laskea huipputeho öljylämmitteisessä kohteessa on jakaa vuotuinen öljymäärä luvulla 250. Tällöin tuloksena saadaan suuntaa antava huipputeho kilowatteina. Eli jos öljynkulutus on noin 80 000 litraa vuodessa, saadaan huipputehoksi tällöin 320 kW. Erinäisistä tehohäviöistä ja polttoaineen laatueroista johtuen tällä tavoin saatu huipputeho suositellaan ylimitoittamaan, jotta pystyttäisiin varmasti vastaamaan lämmöntarpeeseen. [7] Hieman mitoitusvaraa tuo myös suunniteltu vesikiertoinen lämmönjakolinjasto, joka varaa lämpöä läpi linjaston. Lyhyellä pakkasjaksolla tästä voi olla jonkin verran hyötyä verrattuna lämminilmakehittämiin lämmittämän ilman melko pieneen lämmönvarauskykyyn.

Kaiken kaikkiaan Loimaan Kivelle on vaikea mitoittaa huipputeho, joka on varmasti riittävä, mutta samalla turhaan ylimitoittamatta. Jättämällä kattilahuoneeseen edes toinen öljykattila varalle, voidaan uuden lämmönlähteen mitoittamisessa toimia varovaisemmin, jolloin 300 kW:n lämmityslaittekin olisi riittävä. Toiveena kuitenkin oli, että öljylämmitykseen ei tarvitsisi turvautua kylmien pakkasjaksojen aikana, joten vaihtoehtoisten polttolaitosten hintoja lähdettiin tiedustelemaan 500 kW:n laitoksista.

## 3 LÄMMITYSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Eri lämmitysvaihtoehtoilla on erilaisia ominaisuuksia, jotka tekevät niistä yleensä ainakin joltain ominaisuudelta muita paremman. Tarkasteltavia ominaisuuksia ovat muun muassa hinta, energiatiheys, varastoinnin vaatimukset ja päästöt. Myös kotimaisuutta voi pitää tärkeänä, sillä raakaöljyn hintakehitykseen ei suomalaisilla ole juurikaan mahdollisuutta vaikuttaa. Suoralle sähkölämmitykselle ja maalämpöpumpulle hyötysuhteeksi on valittu 100 prosenttia ja muille lämmitystavoille 80 prosentin vuosihyötysuhde.

### 3.1 Öljy

Öljy kuuluu fossiilisiin polttoaineisiin, eli se on muodostunut miljoonien vuosien aikana eloperäisestä aineksesta. Miljoonien vuosien kesto muodostumisessa tarkoittaa myös sitä, että se on käytännössä uusiutumaton. Tästä syystä öljyn poltosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt lasketaan aina kasvihuoneilmiötä lisäävinä päästöinä. Ilmastonmuutoksen hillitsemistä ajavista toimenpiteistä yksi suurimpia tavoitteita on korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä uusiutuvilla energiamuodoilla.

Polttoöljyt jaetaan ominaisuuksien mukaan raskaisiin ja kevyisiin polttoöljyihin. Raskaat polttoöljyt ovat kevyitä öljyjä edullisempia, mutta polttolaitteet ovat kalliimmat ja vaativat asiantuntevaa huoltoa ja käyttöä. Raskaat polttoöljyt on tarkoitettu pääasiassa kohteisiin, joissa kattilateho on vähintään 500 – 1000 kW. Kevyt polttoöljy on puolestaan helposti juoksevaa ja palavaa, joten polttamiseen tarvittavat polttolaitteet ovat yksinkertaiset ja halvat rakentaa. Tästä syystä kevyt polttoöljy soveltuu kohteisiin, joiden teho on alle 1000 kW, kuten Loimaan Kiven tapauksessa.

Öljy on hyvin energiapitoista nestettä, joka onkin yksi öljyn parhaista puolista. Kevyen polttoöljyn energiatiheys eli lämpöarvo on 10,02 kWh/l tai kuutiona ilmaistuna 10,02 MWh/m<sup>3</sup>. Lämpöarvo painon avulla ilmaistuna puolestaan on 11,806 MWh/t [8, s. 11].

Kevyen polttoöljyn korkea hinta on yksi suurimmista syistä miksi kotitaloudet ja teollisuuslaitokset siirtyvät vaihtoehtoisiin lämmitysratkaisuihin. Useasti uusi investointi maksaa itsensä takaisin jo muutamassa vuodessa polttoainekustannuksista tulevista säästöistä.



Kuva 3.1 Kevyen polttoöljyn, benssiini 95 ja dieselöljyn arvonlisäverollisten kuluttajahintojen kehitys viimeisen 14 vuoden aikana [9]

Kuvasta 3.1 voidaan nähdä, että kevyen polttoöljyn hinta on vaihdellut 2000-luvulla suuresti, mutta pääasiassa hinta on noussut. Kuitenkin myös ajoittain hinnoissa on jyrkkää laskua, kuten loppuvuodesta 2008. Viimeisimpänä vuoden 2014 elo-syyskuussa hinta on kääntynyt laskuun, eikä selviä merkkejä hinnan noususta vielä ole näkyvillä.

Vuoden 2016 toukokuussa kevyen polttoöljyn arvonlisäveroton hinta oli noin 61,5 snt/l eli noin 61,33 €/MWh. Tällä hinnalla ostettuna 80 000 litraa kevyttä polttoöljyä maksaisi noin 49 200 €. Jos nykyistä hintaa verrataan kahden vuoden takaiseen hintaan, (tähän aikaan suurin piirtein ensimmäistä kertaa kuulin Loimaan Kivi Oy:n harkitsevan uutta lämmitysjärjestelmää) jolloin kevyen polttoöljyn arvonlisäveroton hinta oli noin 84,0 snt/l, niin hinta on laskenut noin 26,8 % [4]. 80 000 litran vuosikulutuksella kevyen polttoöljyn hinnan aleneminen on laskenut polttoainekustannuksia vuositasolla noin 18 000 €.

## 3.2 Puuhake

Puuhake määritellään seuraavasti: ”tietynkokoisiksi palasiksi haketettu puubiomassa, joka on valmistettu mekaanisesti leikkaavilla terillä. Puuhakkeen palat ovat suorakaiteen muotoisia, sivujen tyypillinen pituus on 5 – 50 mm, ja paksuus on pieni verrattuna muihin mittoihin.” [10, s. 10] Puuhake luokitellaan, kuten muutkin puupolttoaineet, hiilidioksidineutraaliksi polttoaineeksi, eli sen poltosta ei katsota vapautuvan enempää hiilidioksidia kuin se metsässä maatumalla vapauttaisi. Jonkin verran hakkeen

kuljetuksesta ja tuotannosta kuitenkin syntyy hiilidioksidia, joten täysin puhtaasta energiasta ei puupolttoaineiden kohdallakaan ole kyse.



Kuva 3.2 Valmista koivuhaketta kasassa [11]

Puuhake voidaan jaotella tarkemmin, jos hake valmistetaan vain tietyistä puun osista, kuten kaatopinnan alapuolisesta osasta, jolloin haketta voidaan kutsua kantohakkeeksi. Hakkeen tärkeimpiä ominaisuuksia polttoaineen syötössä on palakoko ja sen tasaisuus, jottei syöttöruuvissa tai muussakaan hakkeen siirrossa tapahtuisi tukkeutumia. Pienille kattiloille ja syöttölaitteille hakekoko on tarkemmin rajattu kuin suurille kattiloille, joissa voidaan käyttää suurempaa hakekokoa. Lämpöominaisuuksista hakkeen tärkein kosteus on merkittävin tekijä. Mitä kosteampaa hake on, niin sitä enemmän energiaa kuluu kosteuden haihtumiseen ja sitä myötä lämpöarvo heikkenee.

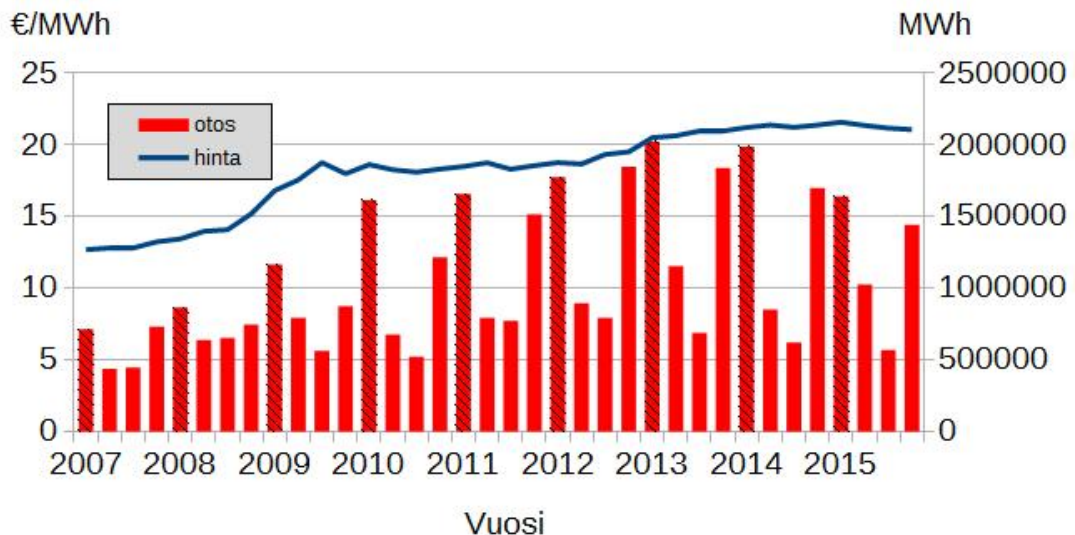
Taulukko 3.1 Hakkeen ominaisuuksia [10, s. 58-59]

Ominaisuus	Hakkuu- tähdehake	Kokopuu- hake	Ranka- hake	Paju- hake	Havupuun kuori	Koivun kuori
Kosteus [%]	50–60	45–55	40–55	51 – 53	50–65	45–55
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa kWh/kg [MJ/kg]	5,14 – 5,56 [18,5 – 20,0]	5,14 – 5,56 [18,5 – 20,0]	5,14 – 5,56 [18,5 – 20,0]	5,16 [18,6]	5,14 – 5,56 [18,5 – 20,0]	5,83 – 6,39 [21,0 – 23,0]
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kWh/kg [MJ/kg]	1,67 – 2,50 [6,0 – 9,0]	1,94 – 2,78 [7,0 – 10,0]	1,94 – 3,06 [7,0 – 11,0]	2,25 – 2,37 [8,1 – 8,5]	1,38 – 2,50 [5,0 – 9,0]	2,22 – 3,06 [8,0 – 11,0]
Irtotiheys [kg/i-m <sup>3</sup> ]	250–400	250–350	250–350	300 – 440	250–350	300–400
Energia tiheys [MWh/i-m <sup>3</sup> ]	0,7–0,9	0,7–0,9	0,7–0,9	0,3 – 0,4	0,50–0,70	0,60–0,90

Taulukkoon 3.1 on kerätty yleisimpien hakelajien ominaisuuksia. Taulukosta voi huomata, että hake on sitä kuivempaa, mitä syvemältä puusta hake on peräisin.

Kaikkein kostein hakelaji on runkopuun hakkuun yhteydessä metsään jäävästä puuaineesta koostuva hakkuutähdehake, mutta senkin kosteutta voidaan laskea kuivattamisella esimerkiksi risutukkikasoissa.

Jos verrataan kokopuuhakkeen tehollista lämpöarvoa saapumistilassa 1,94 – 2,78 kWh/kg, eli kosteudessa jossa se on yleensä hakettamisen jälkeen, kevyen polttoöljyn lämpöarvoon 11,806 kWh/kg, voidaan laskea, että öljy on noin viisi kertaa energiapitoisempaa polttoainetta painoon suhteutettuna. Säilytyksen ja kuljetuksen kannalta mielenkiintoisampaa on verrata energiatiheyttä tilavuuden suhteen. Kokopuuhakkeen energiatiheys irtokuutiona mitattuna on 0,7 – 0,9 MWh/i-m<sup>3</sup>, joka on kevyen polttoöljyn 10,02 MWh/m<sup>3</sup> energiatiheyteen verrattuna yli kymmenen kertaa heikompaa polttoainetta. Tämä tarkoittaa, että tilavuutena ilmaistuna Loimaan Kivellä kokopuuhaketta tarvittaisiin noin 890 – 1150 m<sup>3</sup> vuodessa.



Kuva 3.3 Metsähakkeen/-murskeen arvonlisäveroton hinta käyttöpaikalla, sekä otosmäärät [12]

Tilastokeskus on tilastoinut metsähakkeen/-murskeen hintaa vuodesta 2007 lähtien vuosineljänneksittäin ja nämä tiedot on koottu kuvaan 3.3. Kuljetusetäisyyden rajanvetona on pidetty 50 kilometriä, jota pidemmiltä matkoilta kuljetetun hakkeen hintoja ei ole otettu mukaan. Hinnat eivät ole valtakunnallisesti edustavia, vaan suuntaa antavia keskiarvoja, joten paikallisesti hinnat voivat erota keskiarvoista merkittävästi.

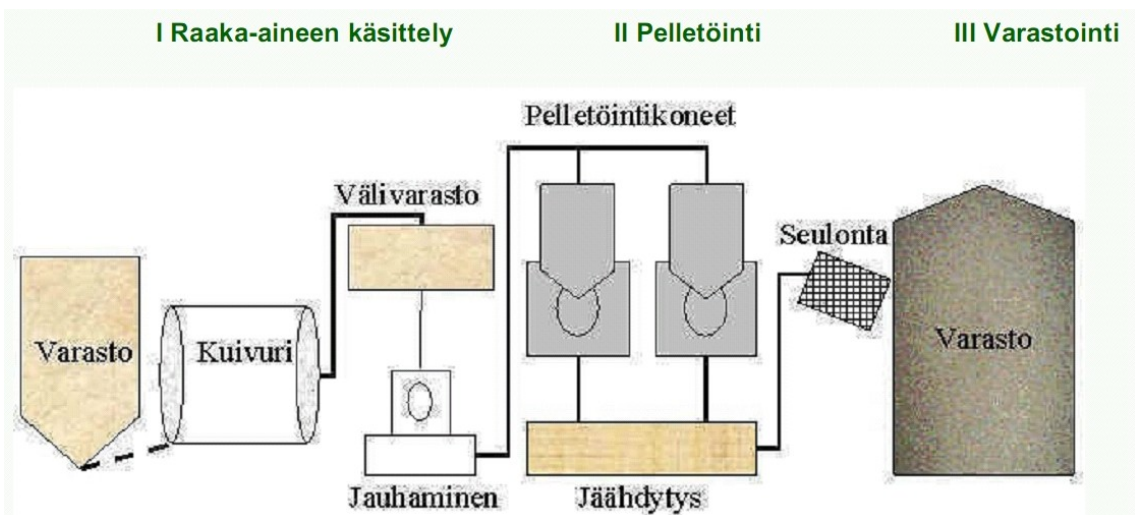
Kuvasta löytyy myös otosmäärät, joista voidaan havaita, että hakkeen myynti on vilkkainta kuvan raidallisilla palkeilla kuvaavilla vuoden ensimmäisillä neljänneksillä, jolloin myös kulutus on suurinta. Huomion arvoista hintakehityksessä on, että hintakäyrä ei juurikaan nouse talvella kysynnän lisääntyessä, eikä vastaavasti laske kesällä kysynnän heikentyessä. Koko tarkastelujakson ajan hakkeen hinnan nousu on

ollut erittäin maltillista lukuun ottamatta vuotta 2009, jolloin vuoden keskihinta nousi vuodesta 2008 24,5 %.

Viimeisin metsähakkeen/-murskeen hinta 21,03 €/MWh on vuoden 2015 viimeiseltä neljännekseltä. Jos Loimaan kiven tuotantolaitoksella kevyt polttoöljy korvattaisiin hakkeella, eli ostettaisiin haketta määrä, joka vastaisiin 80 000 litraa kevyttä polttoöljyä eli 801,6 MWh:a energiaa, niin hinnaksi saataisiin noin 16 900 € vuodessa. Verrattaessa joulukuun 2014 kevyen polttoöljyn hinnalla tehtyyn vuosikustannukseen 49 200 €, säästyisi hakkeella lämpöenergia tuotettuna polttoainekustannuksissa noin 32 300 € vuodessa.

### 3.3 Puupelletti

Suomessa on kautta aikojen lämmitetty asumukset puulla, joten puupelletit tuovat luontevaa jatkumoa modernina puulämmitysmuotona. Puupellettien tuotanto Suomessa on alkanut 1990-luvun lopulla ja vuonna 2013 pellettitehtaita oli Suomessa noin 27 [13]. Puupelletit koostuvat pääasiassa sahateollisuuden sivutuotteina saatavasta sahajauhosta, hiontapölystä ja ylijäämäpuusta sekä muusta puuperäisestä aineksestä. Käsitelty puuainees ei kelpaa pellettituotantoon. Myös puupelletit ovat suurimmaksi osaksi kotimaista ja puuperäisinä hiilidioksidivapaiksi luokiteltua polttoainetta.



Kuva 3.4 Pelletin valmistusprosessi [14]

Kuvassa 3.4 on esitetty yksinkertainen prosessikaavio pelletin tuotantovaiheista. Pellettituotantoon tulevan epäpuhtauksista puhdistetun raaka-aineen ensimmäinen jalostusvaihe on kuivaus, jossa raaka-aine kuivataan noin 10-15 prosentin kosteuteen. Kuivauksen jälkeen raaka-aine jauhetaan vasaramyllyllä tasalaatuisen kokoiseksi. Tämän jälkeen syntynyt jauho puristetaan reikämatriisin lävitse ja leikkuuterät katkaisevat pelletit haluttuun pituuteen. Puristuksessa syntyy kitkasta niin paljon

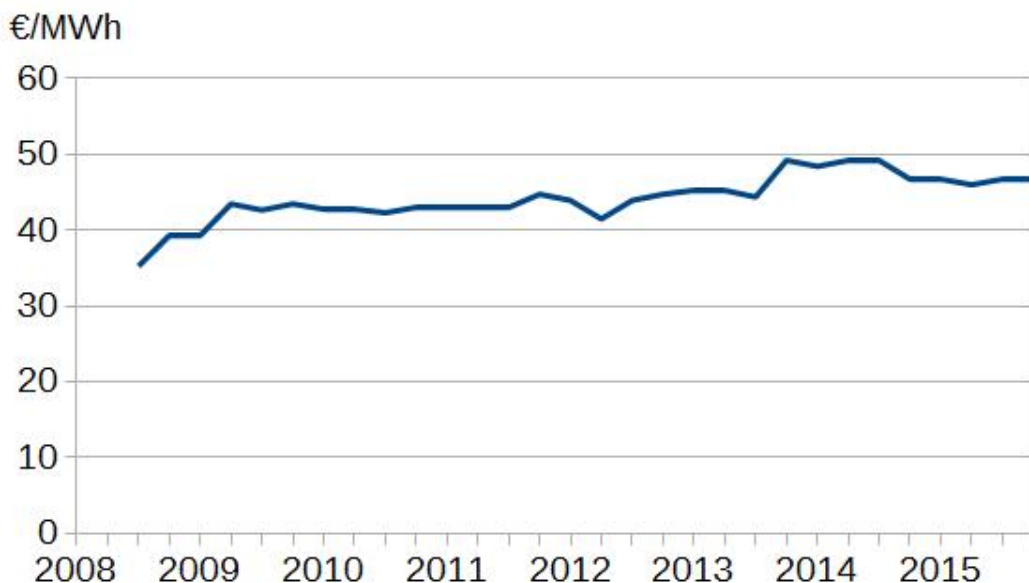


lämpöä, että puuaineessa oleva ligniini sulaa ja jäähtyessään muodostaa pelletin pintaan kiiltävän, pellettiä koossa pitävän kerroksen. Lopuksi valmiit pelletit vielä seulotaan, josta hienempi aines palautetaan pelletin valmistusprosessiin.

*Taulukko 3.2 Puupellettien ominaisuuksia [10, s. 58]*

Polttoaine	Kosteus [%]	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa kWh/kg [MJ/kg]	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kWh/kg [MJ/kg]	Irtotiheys [kg/i-m <sup>3</sup> ]	Energiatiheys [Mwh/i-m <sup>3</sup> ]
<b>Puupelletti</b>	6 – 9	5,24 – 5,42 [18,9 – 19,5]	4,70 – 5,05 [17,0 – 18,2]	600 – 650	2,8 – 3,3

Taulukkoon 3.2 on kerätty puupelletin tärkeimpiä ominaisuuksia. Puuhakkeeseen verrattuna puupellettien kosteusprosentti on merkittävästi alhaisempi, jonka myötä palamisominaisuudetkin ovat paremmat. Puupelletin ja puuhakkeen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa ovat samaa luokkaa, mutta kun tarkastellaan tehollista lämpöarvoa saapumistilassa, niin voidaan havaita, että puupelletillä tämä arvo on lähes kaksi kertaa suurempi, eli tonnilla puupellettiä saadaan kaksi kertaa enemmän lämpöenergiaa, kuin tonnilla puuhaketta. Myös puupelletin irtotiheys on puuhakkeeseen nähden suosiollinen, sillä kuutiolla saadaan noin kaksinverroin enemmän painossa mitattuna polttoainetta puupelleteillä kuin puuhakkeella. Edellä listatuista syistä johtuen puupelletin energiatiheys tilavuuden suhteen on noin nelinkertainen puuhakkeeseen verrattuna. Energiatiheydestä saadaan johdettua myös, että puupelletteihin vaihtamalla Loimaan Kivellä puupellettejä tarvittaisiin noin 243 – 286 m<sup>3</sup> vuodessa.



*Kuva 3.5 Puupelletin kuluttajahinta lämmöntuotannossa [15]*

Tilastokeskus on tilastoinut puupelletin kuluttajahintoja vuoden 2008 elokuusta lähtien. Tilastoitu puupelletti on I-luokkaista tarkoitettuna pientalokäyttöön. Hinta sisältää kuljetuksen tehtaalta kotiin, n. 100 km säteellä liikkeestä. Toimituserän koko on ollut 5 tonnia ja pelletin koko on ollut 6-8 mm. Kuvaan 3.5 on koottu neljännesvuosittain kerätyt hintatiedot, josta voidaan nähdä puupelletin hintakehitys. Hinnan muutokset ovat olleet pääosin maltillisia pois lukien ensimmäisenä 9 kuukautena tapahtunutta yli kahdeksan euron hinnan korotusta. Viimeisin saatava hintatieto on marraskuulta 2015, jolloin arvonlisäverollinen hinta on ollut 5,8 snt/kWh eli arvonlisäveroton hinta on ollut noin 46,77 €/MWh.

Loimaan kivellä poltetaan noin 80 000 litraa kevyttä polttoöljyä vuosittain joka siis vastaa 801,6 MWh:a energiaa. Puupelleteillä lämmitettäessä polttoainekustannukset vuosittain olisivat 46,77 €/MWh hinnalla noin 37 500 €. Tämä on noin 2,2-kertaa enemmän kuin puuhakkeen hankinnan vuosikustannukset olisivat. Nykyiseen öljylämmitykseen verrattuna vuosittainen säästö polttoainekustannuksissa olisi puupelleteillä noin 11 700 €.

### 3.4 Turve

Turve on eloperäistä ainesta, jota muodostuu kosteissa hapettomissa olosuhteissa kasvimateriaalin hajotessa epätäydellisesti. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC määrittelee turpeen fossiilisena polttoaineena, mutta Suomi on yrittänyt ajaa turpeen luokittelua biopolttoaineeksi, sillä turpeen muodostuminen kestää noin 10 000 vuotta, samalla kuin muiden fossiilisten polttoaineiden muodostuminen vie miljoonia vuosia. Suomessa turve on tällä hetkellä määritelty hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttaineeksi. Suomalaisesta luokituksista huolimatta turpeen päästöt lasketaan Suomessa samalla tavoin kuin fossiilistenkin polttoaineiden. Suomessa turpeen energiakäyttö on maailman mittapuussa erittäin laajaa, ja Suomen osuus maailman turpeen energiakäytöstä onkin lähes puolet.

Suomessa käytettävä turve on kotimaista, joten energiaturpeen käytöllä on myös työllistävä vaikutus. Samalla turpeen käyttö lisää Suomen energiaomavaraisuutta, sillä tuontipolttoaineiden hankinnan tarve pienenee.

Suomessa turpeen käyttäjä velvollinen suorittamaan käytetystä turpeesta valmisteveroa, joka 1.1.2015 laski 4,90 €/MWh:sta 3,40 €/MWh:iin, kun turvetta käytetään vain lämmöntuottamiseen. Poikkeuksena on lämmöntuottajat, joiden turpeen käyttö lämmöntuotannossa jää alle 5000 MWh, kuten Loimaan Kiven tapauksessa on kyse. Loimaan Kivi siis säästyisi turpeen valmisteveron maksamiselta.

Energiakäytössä turve on jaoteltu kahteen vallitsevaan luokkaan nostovaiheen käsittelystä riippuen: palaturpeeseen ja jyrshinturpeeseen. Palaturpeen turve jyrshitään ensiksi 30-50 senttimetrin syvyydeltä, jolloin turpeen kosteus on yli 80 prosenttia.

Jyrsintä suoritetaan nostokiekolla tai nostoruuvilla. Turpeen noston aikana nostokone puristaa turpeen suuttimen lävitse, jolloin turpeesta tulee suuttimen koosta riippuen 40-70 millimetrin paksuista pötköä, joka voidaan jättää sellaisenaan kentälle kuivumaan tai saman tien katkoa 50-200 millimetrin mittaisiksi paloiksi. Aurinkokuivauksen aikana palaturve pyritään saamaan noin 35 prosentin kosteuteen.

Jyrsinturpeen turve voidaan sen sijaan jyrsiä turvesuon pinnalta, sillä pintaturpeen kuivuus ei ole haitallista, koska jyrsinturvetta ei tarvitse saada pysymään muodossa. Aurinkokuivauksella jyrsinturpeen kosteudeksi pyritään saamaan noin 40 prosenttia. Kuivempana jyrsinturpeen syttymisvaara kasvaa merkittävästi.

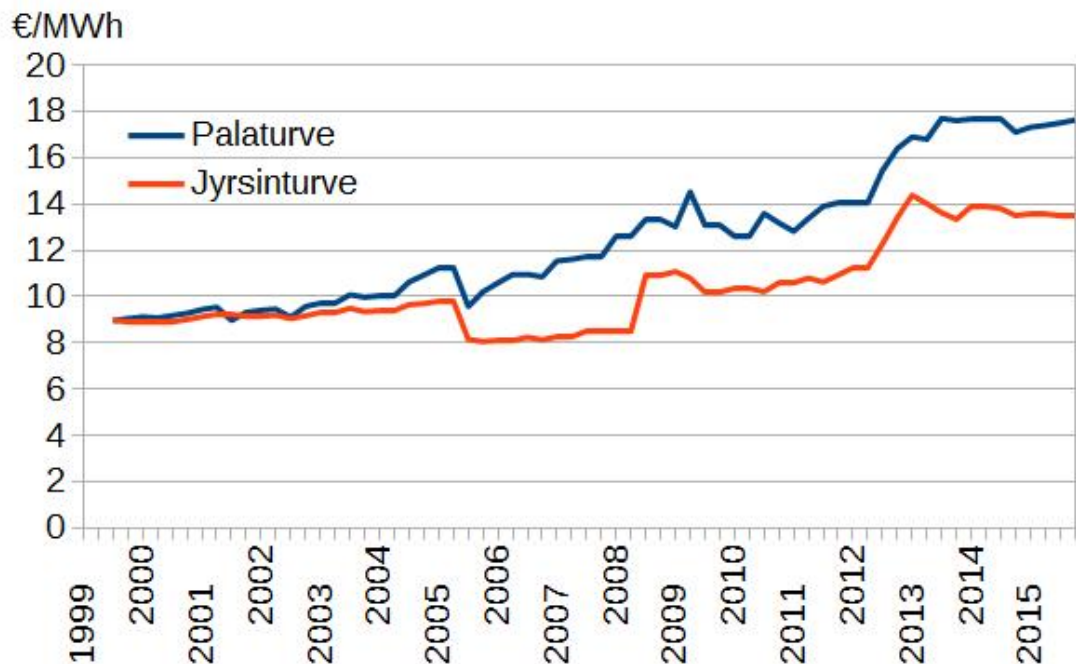
Jyrsinturpeesta voidaan valmistaa myös turvepellettejä. Turvepellettien valmistus tapahtuu samalla tavalla kuin puupellettienkin. Jyrsinturve kuivataan ensin ja tämän jälkeen jauhetaan vasaramyllyllä sopivaksi. Turvepelletin kiiltävä pinta syntyy ilman lisäaineita, kun turve puristetaan reikämatriisin läpi. Puristuksen jälkeen turvepelletti leikataan muotoonsa.

*Taulukko 3.3 Jyrsinturpeen, palaturpeen ja turvepelletin ominaisuuksia [10, s. 57],[16]*

Polttoaine	Kosteus [%]	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa kWh/kg [MJ/kg]	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kWh/kg [MJ/kg]	Irtotiheys [kg/i-m <sup>3</sup> ]	Energiatiheys [Mwh/i-m <sup>3</sup> ]
<b>Jyrsinturve</b>	46,5	5,78 [20,8]	2,78 [10,0]	330	0,91
<b>Palaturve</b>	39	5,90 [21,2]	3,33 [12,0]	380	1,30
<b>Turvepelletti</b>	≤ 20	-	4,4–5,0 [15,8-18]	≥ 700	2,95–3,6

Taulukkoon 3.3 on kerätty jyrsinturpeen, palaturpeen ja turvepelletin palamisen kannalta oleellisia ominaisuuksia. Lukuja vertailemalla selviää, että turvepelletin energiaominaisuudet on jokaiselta ominaisuudeltaan energiakäytön kannalta suotuisimmat. Turvepelletin energiatiheydestä saadaan johdettua myös, että vaihtamalla turvepellettiin Loimaan Kivellä turvepellettiä kuluisi noin 220 – 270 m<sup>3</sup> vuodessa.

Turvepelletti soveltuu turvetuotteista parhaiten Loimaan Kiven kaltaiselle melko pienelle lämmöntuotannolle, jossa on toiveena, että lämmitys aiheuttaisi mahdollisimman vähän huoltoa. Turvepelletti on hyvin käsittelyä kestävä, joten se pölyää vähiten, jolloin myös siivouksen tarve vähenee. Suurimman energiatiheyden vuoksi polttoainesilosta ei tarvitse tehdä niin suurta tai vaihtoehtoisesti sitä tarvitsee täyttää harvemmin.



Kuva 3.6 Turpeen arvonlisäverottoman ja valmisteverottoman hinnan kehittyminen vuosina 1999-2015 [12]

Kuvan 3.6 hinnat ovat eräiden Bioenergia ry:n jäsenyritysten laskennallisia keskihintoja toimitusmäärillä painotettuina. Todellisuudessa hinnat vaihtelevat kuljetusmatkan ja sopimuksen mukaisesti kuluttajakohtaisesti. Hinta käyttöpaikalla sisältää jyrsinturpeella 100 km ja palaturpeella 50 km kuljetusmatkan. Turpeiden lämpöarvojen on oletettu olleen jyrsinturpeella 0,9 Mwh/m<sup>3</sup> ja palaturpeella 1,4 MWh/m<sup>3</sup>.

Kuvassa 3.6 on tilastokeskuksen tilastoinnin pohjalta laadittu jyrsinturpeelle ja palaturpeelle arvonlisäverottomat ja valmisteverottomat hintakäyrät. Viimeisimmät hintatiedot ovat vuoden 2015 viimeiseltä neljännekseltä, jolloin palaturpeen hinta on ollut noin 17,63 €/MWh käyttöpaikalla. Tällä hinnalla Loimaan Kiven laitoksen polttoaineen vuosikustannuksiksi tulisi palaturpeella noin 14 100 €.

Turvepelleteille ei löydy tilastoitua hintaa, kuten muille turvetuotteille. Siksi turvepelletin hinta on otettu vertailun vuoksi suoraan jälleenmyyjältä saatavasta hinnasta. Vaikka turvepelleteille ei ole saatavilla hinnan historiatietoja, voidaan sen hintakäyrää arvioida jyrsinturpeen kautta, josta turvepelletit valmistetaan.

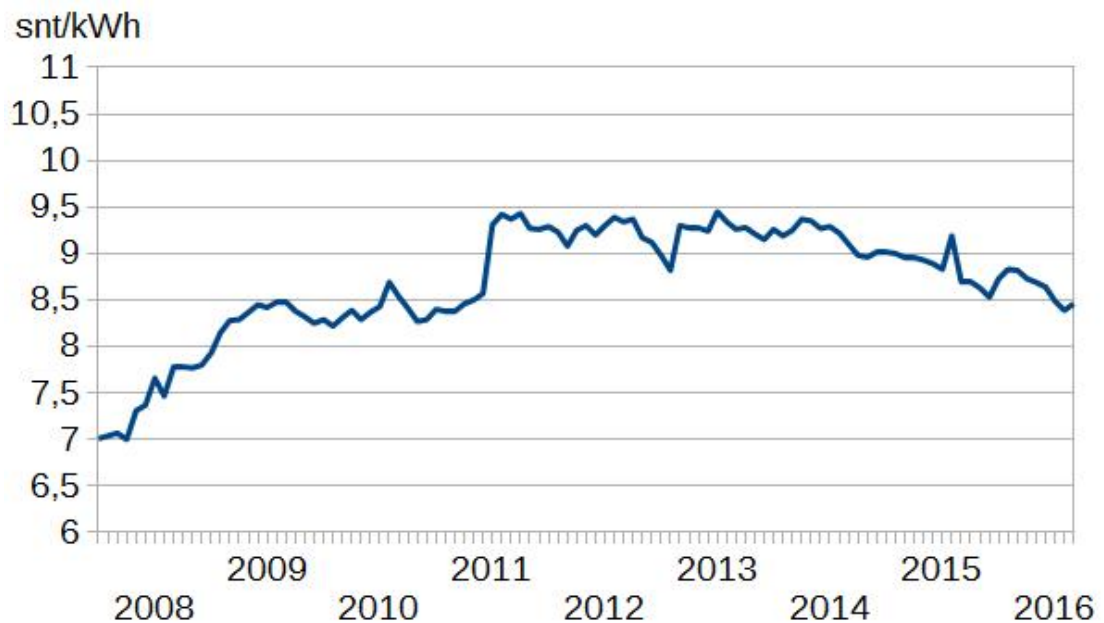
Jälleenmyyjältä saatava arvonlisäveroton hinta on 155,58 €/t, eli lämpöarvolla 4,7 kWh/kg saadaan energiayksikköä kohden hinnaksi noin 33,10 €/MWh [17]. Tällä hinnalla Loimaan Kiven laitoksen polttoaineen vuosikustannuksiksi tulisi turvepelletillä noin 26 500 €. Nykyiseen öljylämmitykseen verrattuna vuosittainen säästö polttoainekustannuksissa olisi turvepelleteillä noin 22 700 €.

### 3.5 Sähkö (maalämpöpumppu)

Sähköä pidetään arvokkaimpana energian muotona, sillä se on usein helposti muutettavissa toisiin energian muotoihin. Myös lämmityksessä suora sähkölämmitys on ollut suosittua alhaisten alkuinvestointien ja ylläpidon varmatoimisuuden, sekä helppouden johdosta. Nykyään on alettu ymmärtämään, että sähkön muuttaminen yksinkertaisen vastuksen avulla ei ole kovinkaan taloudellinen tapa käyttää sähköä lämmityksessä. Usein taloudellisempi ja ympäristöystävällisempi tapa on lämpöpumpun käyttäminen sähkön muuttamiseen lämpöenergiaksi.

Erilaisten lämpöpumppujen suosio on kasvanut viime vuosina voimakkaasti ja samoin on maalämpöpumppujen laita. Moneen jo toimivan lämmityksen (varsinkin suoran sähkölämmityksen) omaavaan omakotitaloon on hankittu ilmalämpöpumppu laskemaan sähkönkulutusta ja sitä myötä sähkölaskua. Uusissa omakotitaloissa on viime aikoina sen sijaan investoitu enenevässä määrin maalämpöpumppuihin muun muassa tämän lämmitysmuodon tunnetuksi tuleamisen johdosta.

Tilastokeskus on tilastoinut sähkön hintaa kuluttajatyypille T7 vuoden 2007 heinäkuusta lähtien. Kuluttajatyypille T7 pitää sisällään yritys- ja yhteisöasiakkaat joiden sähkön vuosikulutus on välillä 500 - 1 999 MWh. Tälle välille myös Loimaan Kiven sähkönkulutus sijoittuisi sekä suoralla sähkölämmityksellä että maalämpöpumpulla lämmitettäessä.



Kuva 3.7 Tilastokeskuksen sähkön hinta kuluttajatyypille T7 (Yritys- ja yhteisöasiakkaat 500 - 1 999 MWh/vuosi) [18]

Kuvaan 3.7 saadut hinnat ovat myyntimäärillä painotettuja keskihintoja sisältäen sekä siirto- ja myyntihinnan että kaikki ajankohtana voimassa olleet verot. Hintojen

perusteina ovat Tuottajahintaindeksien hintakyselyt sähköenergiasta sekä Energiaviraston tiedot siirtohinnoista. Tiedot on saatu sähköä sähkökuluttajille myyviltä yrityksiltä. Tehontarve on jätetty huomioimatta hinnoissa.

Kuvasta 3.7 voidaan nähdä, että sähkön hinta on ollut liki huipussaan vuoden 2011 tammikuussa (9,31 snt/kWh), kun vuoden vaihtuessa usean polttoaineen veroa nostettiin ja uusia veroja tuotiin voimaan, kuten esimerkiksi hiilidioksidivero. Tämän jälkeen viimeisen viiden vuoden aikana sähkön hinta on vaihdellut jonkin verran, siten että vuoden 2016 maaliskuuhun mennessä (8,46 snt/kWh) hinta oli laskenut noin 9,1 prosenttia. Kun katsotaan koko tilastohistoriaa vuoden 2007 heinäkuusta alkaen (7,01 snt/kWh), niin sähkön hinta on noussut yhteensä noin 20,7 prosenttia.

Loimaan Kivellä viimeisimmän hintatiedon avulla laskettuna vuosittaisen 640 MWh:n lämmitysenergian hinnaksi tulisi suoralla sähkölämmityksellä noin 54 100 €. Suora sähkölämmitys ei ole ollut vaihtoehtona, mutta se on laskettu tuomaan uutta näkökulmaa vuosikustannustietoihin. Nykyiseen öljylämmitykseen verrattuna vuosittainen lämpöenergian kustannus olisi suoralla sähkölämmityksellä noin 4900 € enemmän.

Lämmön tuottaminen sähköstä lämpöpumpun avulla suoraan sähkölämmitykseen verrattuna tuo aina säästöä vuosittaiseen sähköenergian hankintaan. Tässäkin tapauksessa alhaisempi vuosikustannus tarkoittaa korkeampaa alkuinvestointia. Sähköenergian vuosikustannuksen laskemisen lämpöpumpulle määrittävät tarvittava lämpöenergia ja lämpöpumpun lämpökerroin. Lämpökerroin kertoo kuinka monta kilowattituntia lämpöä lämpöpumppu kehittää, kun lämpöpumppuun syötetään yksi kilowattitunti sähköä.

Oletetaan tässä vaiheessa lämpökertoimeksi 3, joka voisi olla mahdollinen lämpökerroin Loimaan Kivellä, jonne ei ole taloudellisesti mahdollista enää rakentaa lämmönsiirtoverkostoa lattian sisään, jolloin olisi mahdollista käyttää matalampaa menoveden lämpötilaa, joka nostaisi lämpökerrointa. Lämpökertoimella 3 Loimaan Kivellä lämmityksen aiheuttamat sähköenergian kustannukset vuosittain olisivat noin kolmasosan suorasta sähkölämmityksestä, eli noin 18 000 €. Nykyiseen öljylämmitykseen verrattuna vuosittainen lämpöenergian kustannus olisi lämpökertoimen 3 maalämpöpumpulla noin 30 400 € alhaisemmat.

### 3.6 Keskenään vertailu

Lämmitysmuodoista löytyy jokaisesta ominaisuuksia, jotka puoltavat niiden käyttöä ylitse jonkun muun. Vastaavasti niistä löytyy myös huonoja puolia, jolloin joku toinen vaihtoehto näyttyy paremmalta.

Kevyt polttoöljy on energiatiheintä ja öljylämmityslaitteet vaativat vain vähän huoltoa, mutta polttoainekustannukset ovat korkeimmat. Puuhake on halpaa, mutta alhaisen energiatiheyden vuoksi se vaatii eniten polttoainetta. Puupelletti on öljyn jälkeen helpointa käsitellä, mutta se on samalla myös kalleinta. Palaturve on sen sijaan kaikkein halvinta, mutta myös aiheuttaa eniten pölyä, joka aiheuttaa ylimääräistä työtä. Turvepelletti on energiatiheintä biopolttoainetta, mutta sen saatavuus tulevaisuudessa on epävarmaa. Maalämpöpumpulla lämmittäminen olisi sekä edullista että vähän huoltoa kaipaavaa, mutta varsinkin näin jälkikäteen lämmönjakeluverkon rakentaminen kattavaksi olisi kalleinta.

*Taulukko 3.4 Eri lämmitystapojen keskenään vertailua.*

Lämmitysmuoto	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Hinta [€/MWh]	Vuosittaiset energian hankintakustannukset [€]	Hintaero Kevyt Polttoöljy 5/2016 [€]
Kevyt polttoöljy 5/2016	80	61,33	49200	0
Kevyt polttoöljy 5/2014	80	83,78	67200	18000
Kokopuuhake	890 – 1150	21,03	16900	-32300
Puupelletti	240 – 290	46,6	37400	-11700
Palaturve	615	18,4	14100	-35100
Turvepelletti	220 – 270	33,1	26500	-22700
Suora sähkö	–	86,4	54100	4900
Maalämpöpumppu	–	28,8	18000	-30400

Taulukkoon 3.4 on koottu eri lämmitystavoilla polttoaineiden tilantarve ja kunkin lämmitysenergian hankintakustannukset vuositasona, kun vaaditaan 640 MWh:n lämpöteho. Kevyt polttoöljy 5/2014 on otettu esimerkiksi siitä, kuinka paljon öljynhinnan vaihtelut muuttavat tässä kokoluokassa vuosikustannuksia.

Kun jätetään ylläpidon ja huollon palkkakustannukset, sekä laitteiston hankintakustannukset huomioimatta, ja tarkastellaan ainoastaan energian hankintakustannuksia, voidaan taulukosta 3.4 huomata, että kokopuuhake ja palaturve olisivat edullisimmat vaihtoehdot. Taulukosta 3.4 selviää myös se, että kokopuuhake ja palaturve vaativat mielellään suuremman varastotilan, kuin muut vaihtoehdot, koska niiden kulutus vuodessa on selvästi suurinta.

### 3.6.1 Päästövertailu

Suomessa, kuten valtaosassa teollisuusmaista, on sitouduttu vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä Kioton pöytäkirjassa kirjatun määrän verran. Vuosina 2008 –

2012 oli Kioton sopimuksen ensimmäinen velvoitekausi ja nyt on meneillään sopimuksen toinen vaihe, joka jatkuu vuosien 2013 – 2020 ajan. Suomi onnistui ensimmäisen velvoitekauden tavoitteessaan pitämään päästönsä vuoden 1990 tasolla pöytäkirjan vaatimusten mukaisesti. [19]

Yksi parhaista tavoista vähentää kasvihuonekaasuja on siirtyä fossiilisista polttoaineista vaihtoehtoihin lämmitysmuotoihin. Usein paras ratkaisu ympäristön kannalta olisi uusiutuviin energialähteisiin vaihtaminen, mutta aina se ei ole liiketaloudellisesti kannattavaa.

Yksinkertaisin tapa verrata polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä on tarkastella niiden oletuspäästökerrointa ( $\text{CO}_2\text{kg/MWh}$ ). Kaikille uusiutuville, kuten hake ja puupelletti, oletuspäästökerroin on nolla. Sen sijaan palaturpeella oletuspäästökerroin on 367,2  $\text{CO}_2\text{kg/MWh}$  ja kevyellä polttoöljyllä alhaisempi 261,0  $\text{CO}_2\text{kg/MWh}$  [10, s. 62]. Myös sähkölle on saatavissa erilaisia päästökertoimia riippuen minkälaista sähköä ostaa, mutta yleisesti tarkasteltaessa on hyvä käyttää Suomen keskimääräistä sähkönhankinnan hiilidioksidipäästökerrointa 209  $\text{CO}_2\text{kg/MWh}$ , joka lasketaan viiden vuoden liukuvana keskiarvona [20]. Lämpökertoimella 3 saadaan lämpöpumpulla tuotetulle lämmölle oletuspäästökerroin 69,7  $\text{CO}_2\text{kg/MWh}$ .

Polttoaineilla on muitakin saastuttavia ominaisuuksia kuin kasvihuoneilmiötä kiihdyttävät vaikutukset, joihin Kioton pöytäkirja on keskittynyt. Maaperän ja vesistöjen happamoituminen lisääntyy muun muassa energiateollisuudesta vapautuvien rikkidioksidi- ( $\text{SO}_2$ ) ja typpioksidi- ( $\text{NO}_x$ ) päästöjen vuoksi. Polttoaineista kivihiili, raskas polttoöljy ja turve tuottavat valtaosan energiantuotannon rikkidioksidipäästöistä. Polttoaineen palaessa suurin osa rikistä kulkeutuu savukaasujen mukana ulos ja vain pieni osa jää tuhkaan. Typpioksidipäästöihin vaikuttaa enemmän polttotekniikka kuin itse polttoaine. Suurimmat typpipäästöt aiheutuvat hiili-, turve- ja sekapolttokattiloilla. Suurin osa typpipäästöistä syntyy kuitenkin liikenteestä. [21]

Rikkipäästöjä voidaan vähentää esimerkiksi lisäämällä kalkkia polttoaineen sekaan tai lisäämällä savukaasujen puhdistusta, mutta tässä kokoluokassa tämä on taloudellisesti lähes mahdotonta, joten sitä ei lain puitteissa vaadita. Sen sijaan järkevämpää on valita hyvän polttotekniikan omaava poltin/kattilayhdistelmä ja valita polttoaine, jossa on luonnostaan vähän tai teknisin keinoin vähennetty rikkiä. Typpipäästöjen helpoin vähennyskeino on myöskin hyvän polttotekniikan omaavan laitteiston hankkiminen. Lisäksi suurissa voimalaitoksissa typpipäästöjä voidaan vähentää tähän tarkoitukseen soveltuvalla katalysaattorilla. [21]

Savukaasujen mukana kulkeutuu ympäristöön myös pienhiukkasia, joiden vaikutusten ymmärtäminen ihmisten terveyteen on viime aikoina lisääntynyt. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL onkin arvioinut, että puun pienpolttaminen aiheuttaa sairauksia, joiden johdosta Suomessa vuosittain noin 260 ihmistä menehtyy ennenaikaisesti. Vaikka puun pienpolto on Suomessa suurin pienhiukkasten lähde noin



40 prosentilla, niin tulevaisuudessa todennäköisesti myös suuremmat biopolttoaineita hyödyntävät energialaitokset joutuvat tarkemman tarkastelun kohteeksi. [22] Helpoin keino vähentää pienhiukkaspäästöjä on tehokkaan polttolaitteiston hankkiminen. Lisäksi suurissa energialaitoksissa on käytössä erilaisia suodattimia savukaasujen puhdistukseen pienhiukkasista.

Päästöjen kannalta mikään vaihtoehto ei ole joka suhteessa muita parempi, joten puhtaasti päästöihin keskittyessäkin pitäisi tehdä jonkinasteinen kompromissi. Hiilidioksidipäästöjen kannalta puupolttoaineiden käyttö on kannattava valinta, sillä ainakin jos kaadetun metsän tilalle istutetaan uutta puustoa, niin puupolttoaineita voidaan hyvällä syyllä kutsua hiilineutraaleiksi. Sähköntuotanto keskimäärin ei ole kovin paljoa puhtaampaa hiilidioksidipäästöjen osalta kuin kevyt polttoöljy, mutta maalämpöpumppua käyttäen ero on jo lähes nelinkertainen. Lisäksi sähköä tuottavilla kattilalaitoksilla polttotekniikka ja savukaasujen suodatus on yleensä paremmalla tasolla kuin pienillä lämmityslaitteistoilla, jolloin pienhiukkas-, typpi- ja rikki-päästöjen lisäksi myös muut edellä käsittelemättömät päästöt ovat pienemmät.

## 4 LAITEVERTAILU

Polttoaineet eroavat toisistaan monin eri tavoin, jolloin myös niitä polttavien laitteiden tulee soveltua kyseisten polttoaineiden polttamiseen. Tässä luvussa käydään läpi käsiteltävien lämmitysvaihtoehtojen laitetekniikkaa pintapuolisesti ja tuodaan esille erilaisia vaihtoehtoja laitekoonpanon valitsemiseksi.

### 4.1 Öljylämmityslaitteisto

Öljylämmitys on ollut jo pitkään yleistä, joten nykyiset öljylämmityslaitteet ovat usein pitkälle kehittyneitä. Tästä syystä öljylämmittimistä on tullut erittäin luotettavia ja huoltovapaita, mistä johtuen laitteita harvemmin tarvitsee huoltaa huolto-ohjelman ulkopuolella. Määräaikaishuoltojen väli määräytyy laitteiston koosta, hoidosta ja poltetusta öljymäärästä. Öljylämmityksen hyviin puoliin lukeutuu myös öljylämmittimien edullinen hinta, jonka vuoksi öljylämmityksen alkuinvestoinnit on muihin lämmitysmuotoihin nähden alhaisemmat. Kevyen polttoöljyn poltossa syntyy tuhkaa erittäin vähän ja se pieni määrä jota tuhkaa muodostuu, poistuu pääosin savukaasujen mukana, joten tuhkatilan tyhjentämisen tarve on vähäistä.

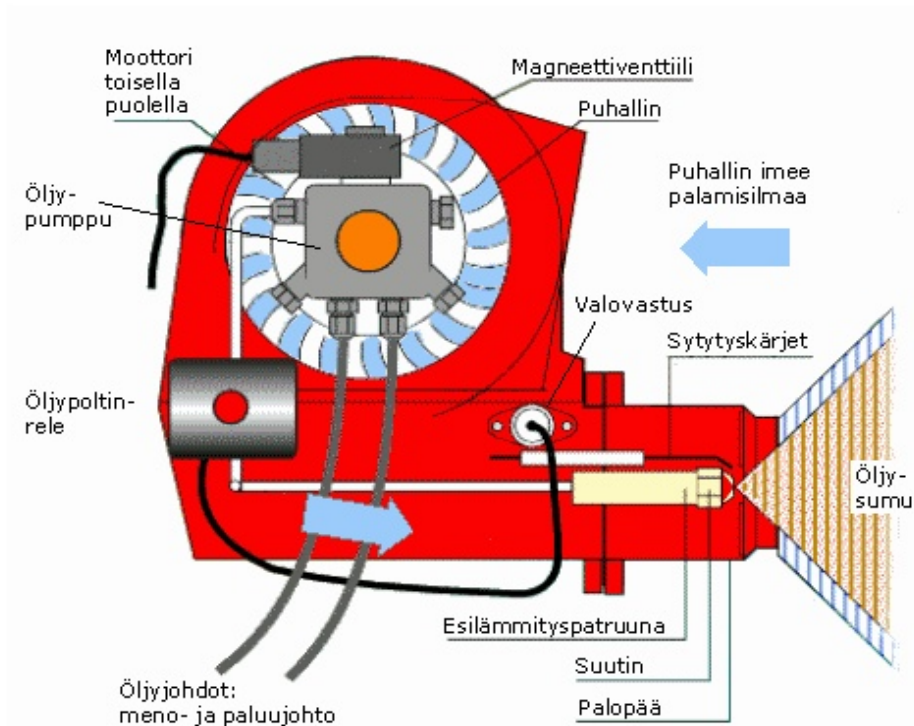
Öljykattila on yleensä öljylämmityksen keskeisin komponentti. Öljykattilan lisäksi lämmitysjärjestelmään tällöin kuuluu olennaisesti myös öljypoltin ja -säiliö, savuhormi, lämmitettävä vesikiertolinjasto sekä säätölaitteet.

Öljykattilassa öljynpoltosta tulipesässä vapautunut lämpöenergia siirretään kattilan nestetilassa olevaan väliaineeseen, joka on yleensä vesi. Öljykattilan nimellisteho valitaan tarvittavan tehontarpeen mukaisesti ja kattilan nimellisteho puolestaan vaikuttaa öljypoltin tehoon, sekä savuhormin pinta-alan mitoitukseen.

#### 4.1.1 Öljypoltin

Kevytöljypolttimet voidaan jaotella kolmeen osaan niiden säätötavan perusteella: yksitehopolttimiin, kaksi/kolmithepolttimiin, sekä moduloiviin polttimiin. Yksitehopoltin tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että poltin palaa joko täydellä teholla tai ei pala ollenkaan. Yksitehopoltin on tarkoitettu tavallisesti alle 100 kW:n tehon tarpeelle. Yli 100 kW:n teholle tarkoitetuissa kaksi/kolmithepolttimissa on sen sijaan kaksi tai kolme suutinta, jolloin tehoa voidaan säätää ajamalla öljyä vain osalle suuttimista. Kaksitehopolttimella saadaan hyötysuhde yksitehopoltinta paremmaksi, koska kattilan käyntijaksot saadaan pidemmiksi silloin, kun ei tarvita maksimitehoa. Moduloivan polttimen minimitehot ovat tavallisesti yli 1500 kW, mutta myös

pienempitehoisempiakin löytyy. Moduloiva eli portaaton säätö toteutetaan päästämällä suutinventtiilistä osa öljystä paluuputkeen, jolloin tulipesään virtaavan öljyn määrä pienenee ja samalla polttimen teho pienenee.



Kuva 4.1 Yleiskuva öljypoltimesta [23]

Kuvassa 4.1 on yleiskuva tyypillisestä öljypoltimesta. Öljypoltin pitää usein sisällään palamisilmapuhaltimen, ilmamäärän säätöpellin, öljypumpun, pumpun ja puhaltimen käyttömoottorin, öljyn esilämmittimen, suuttimen, sytytyslaitteet sekä palopään. Palamisilmapuhaltimen tarkoitus on tuoda palamisilmaa tulipesään tarvittava määrä. Ilmamäärän säätöpellillä pyritään saamaan savukaasuhäviöstä ja palamattoman polttoaineen häviöstä muodostuva kokonaishäviö mahdollisimman pieneksi. Öljypumpun avulla öljy ajetaan öljysäiliöltä sopivalla paineella suuttimelle, joka hajottaa öljyn hienojakoiseksi sumuksi tulipesään. Öljyn esilämmittintä tarvitaan lämmittämään öljy haluttuun lämpötilaan säilytyslämpötilasta huolimatta. Lämpötilanvaihtelut vaikuttavat öljyn viskositeettiin, joka puolestaan vaikuttaa läpivirtaavan öljyn määrään, jonka olisi hyvä olla vakio laadukkaan palamisen aikaansaamiseksi. Sytytyslaitteisto sytyttää suuttimesta virtaavan öljysumun palamaan riittävän voimakkaalla valokaarella. Palopään tehtävä on suunnata palamisilma mahdollisimman hyvin suuttimesta virtaavan öljysumun joukkoon, sekä lämmittää palamisilman ja öljyn muodostamaa seosta kohti syttymislämpötilaa.

#### 4.1.2 Lämminilmakehitin

Kohteissa joissa ei ole vesikiertoista lämmönjakoverkkoa ja sitä ei suunnitella rakennettavan, niin öljykäyttöinen lämmitys on usein hoidettu lämminilmakehittimien avulla. Ilmalämmittimien alkuinvestointikulut ovat alhaiset ja ne on nopea ottaa käyttöön. Nykyisten ilmalämmittimien hyötysuhde on korkea ja moni valmistaja lupaakin yli 90 prosentin hyötysuhteen lämmittimilleen. Hyvästä hyötysuhteestaan huolimatta kevyttä polttoöljyä polttavien ilmalämmittimien polttoainekustannukset ovat korkeat, sillä öljyn hinta on suuri muihin polttoaineisiin nähden.



Kuva 4.2 Tyypillisten öljykäyttöisten lämminilmakehittimien malleja, sekä toimintaperiaatekuva [24]

Öljyllä toimivat hallilämmittimet toimivat hyvin yksinkertaisella tavalla. Kuten kuvassa 4.2 on esitetty, niin ilmapuhallin imee lämmitettävän ilman sisään ja puhalttaa sen lämmönvaihtimien lävitse, jonka jälkeen se lämmitettynä työntyy ulos lämmittimen yläosasta. Mikäli lämmitettävä tila on suuri, niin suoran puhalluksen sijaan lämmin ilma voidaan ajaa esimerkiksi ilmastointikanavaan, joka jakaa lämmön tasaisemmin halutulle alueelle. Öljypoltin tehtävä on samanlainen kuin öljykattilassakin, eli annostella polttoöljy ja palamisilma oikeassa suhteessa halutun tehon aikaansaamiseksi, sekä sytyttää ja sammuttaa liekki tarpeen mukaan. Palamisen jälkeen savukaasut kulkevat lämmönvaihtimien kautta savupiipuun ja sitä myöten ulos.

#### 4.2 Hakelämmityslaitteisto (palaturvelämmityslaitteisto)

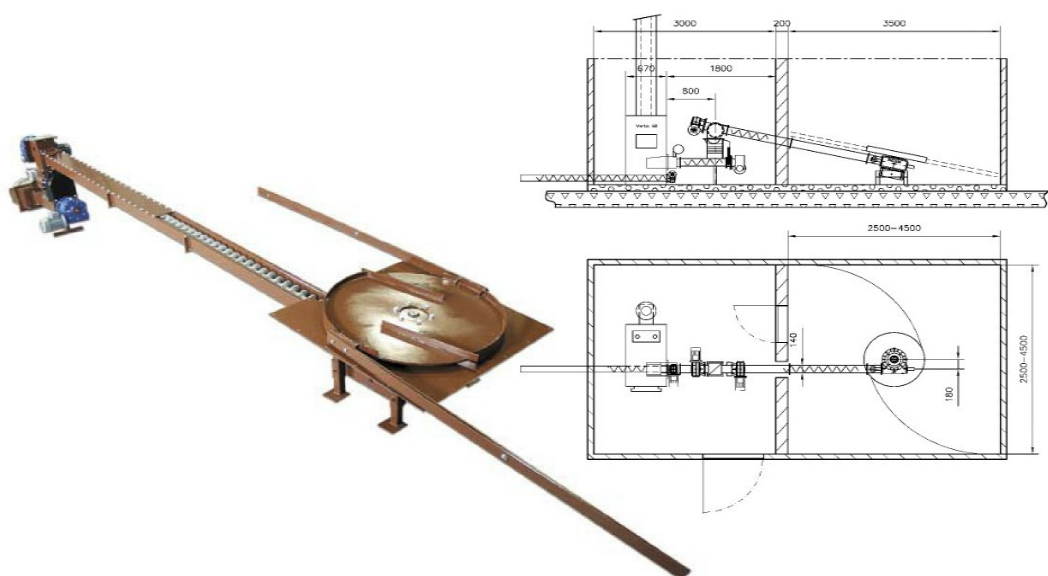
Suuressa osassa myytävistä hakelämmityslaitteista ilmoitetaan, että ne soveltuvat myös pellettien, erilaisten peltopolttoaineiden, sekä palaturpeen polttoon. Tässä kokoluokassa ei löytynekään ensisijaisesti palaturpeelle suunnattuja polttimia/kattiloita. Palaturvelämmityslaitteistoa ei siis käsitellä erikseen, koska hakelämmityslaitteiston läpi käyminen ajaa saman asian.

Aivan kuten vesikiertoisesta öljylämmityslaitteistosta, myös hakelämmityslaitteistosta löytyy lämmityskattila, poltin, polttoainesäiliö, savuhormi, lämmitettävä vesikiertolinjasto sekä säätölaitteet. Näistä merkittävästi lämmitysöljyllä lämpiävästä järjestelmästä eroavat poltin, polttoainesäiliö ja osin säätölaitteet. Joissain tapauksissa, kun on haluttu siirtyä öljyn poltosta kiinteän polttoaineen polttoon, on vanha öljykattila säilytetty, jolloin vain kattilan poltin ja polttoainesäiliö on vaihdettu.

#### 4.2.1 Hakesiilo ja purkainlaitteisto

Hakesiilon tarkoitus on varastoida ja pitää hake kuivana ennen polttoon menoa. Siilon on hyvä olla riittävän suuri, jotta sitä ei tarvitsisi täyttää kovin tiuhaan. Mikäli käytössä on pyöräkuormaaja tai jokin muu hakkeen siirtämiseen sopiva ajoneuvo, voi polttoainetta polttimelle syöttävä siilo olla tällöin pienempi. Tällöin vaaditaan kuitenkin jokin suurempi välisiilo, josta polttoon menevää haketta lisätään. Tämä ratkaisu lisää luonnollisesti ylläpidon työtä, mutta näin polttoainetta syöttävä siilo voidaan jättää pienemmäksi, jolloin myös investointikustannukset pienenevät siilon purkainlaitteiston vaatimusten supistumisen myötä. Myös hakesiilon paikka ja täyttöaukon koko on valittava siten, että hakekuorman pystyy purkamaan suoraan siilon, mikäli ei ole tarkoitus kuorman purkamisen jälkeen jatkaa hakkeen siirtoa omin välinein. Hakesiilon betonipohjaan kannattaa usein asentaa lämmitys, jolloin hake ei jäädy lattiaan ja samalla hake kuivuu hieman, joka nostaa hakkeen lämpöarvoa.

Hakesiilon tärkein laite on purkainlaitteisto, jonka tehtävänä on syöttää haketta siilosta polttimelle vievälle syöttöruuville. Tässä kokoluokassa tyypillisesti valitaan purkainlaitteistoksi joko jousipurkain tai tankopurkain.



Kuva 4.3 Veto Jousipurkain (sulkusyöttimellä) [25]

Kuvassa 4.3 on valokuva jousipurkaimesta, sekä asennuskuvia siilosta ylhäältä- ja sivultapäin. Jousipurkain toimii siten, että lautanen, jossa jouset ovat kiinni, pyörii kuvan 4.3 tapauksessa myötäpäivään, jolloin jouset siirtävät polttoainetta sulkusyöttimelle vievälle varastoruuville. Varaston koosta riippuen jousien ja varastoruuvien pituus valitaan tarpeen mukaisesti. Varaston täyttökorkeus määräytyy polttoaineen irtotiheyden mukaan. Irtotiheys on puolestaan lähes suoraan verrannollinen polttoaineen kosteuden mukaan, joten siilon voi täyttää sitä korkeammaksi, mitä kuivempaa polttoaine on.



Kuva 4.4 Periaatekuva TWINHEATin hydraulisesta tankkopurkainpohjasta. Perustuu lähteeseen [26]

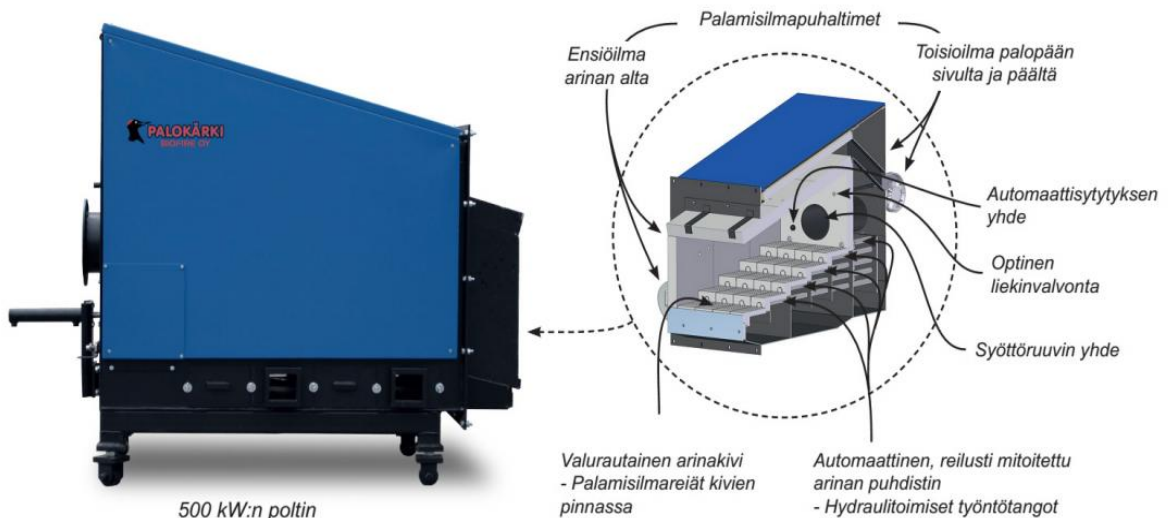
Kuvassa 4.4 on esitettyä tankkopurkainlaitteisto, jossa on asennettu kaksi tankkopurkainta rinnakkain, sekä selvitys kolien profiilista. Tankkopurkaimet liikkuvat edestakaisin kuten kuvassa 4.4 on osoitettu. Varastoruuvia kohden liikkeessaan kolat työntävät haketta kohti varastoruuvia. Poispäin varastoruuvista liikkeessaan kolien muoto saa aikaan sen, että hake ei kulje kolien mukana, vaan pysyy pääosin paikallaan samalla liukuen kolien ylitse ja siitä kolien eteen, jolloin kola vaihtaessaan liikkeen suuntaa työntää haketta jälleen eteenpäin.

Tankkopurkaimet voidaan kiinnittää siilon betonilattiaan irto-osina tai vaihtoehtoisesti siilon pohjalle voidaan asentaa pakettiratkaisuna kokonainen tankkopurkainpohja. Siilon pohjan pituudesta riippuen purkainkolatankojen pituus valitaan sopivaksi. Siilon pohjan leveys puolestaan määrittää kuinka monta tankkopurkainta valitaan rinnakkain asennettavaksi (yleensä 2-4). Tankkopurkaimilla varustetun siilon pohjan pinta-ala on tavallisesti alle 10 m<sup>2</sup>:stä 50 m<sup>2</sup>:iin, jolloin kuivaa haketta voidaan varastoida jopa 200 m<sup>3</sup>:iin asti.

## 4.2.2 Hakepoltin

Hakepolttimien tehtävät ovat pääosin samoja kuin öljypolttimien. Hakepolttimet tässä kokoluokassa ovat niin kutsuttuja stokeripolttimia, joihin kuuluva syöttöruuvi syöttää haketta palopäälle eli arinalle, jossa hakkeen palamisprosessi tapahtuu. Palamisilmapuhaltimet puhaltavat palamisilmaa, jolla pyritään mahdollisimman tehokkaaseen ja puhtaaseen palamiseen. Nykyään useimmissa teollisuuskokoluokan polttimissa on lisäksi valmiina tai lisättävissä liekinvalvoja sekä automaattinen sytytyslaitteisto.

Haketta polttavat stokeripolttimet ovat usein monipolttoainepolttimia, joilla voidaan hakkeen lisäksi monesti polttaa myös muita kiinteitä biopolttoaineita, kuten pellettejä, palaturvetta, purua, viljaa ja joillain suurilla laitteilla myös puubrikettejä. Polttoaineesta toiseen vaihdettaessa on polttimen säätöarvot kuitenkin muutettava polttoaineen mukaisiksi, puhtaan ja tehokkaan palamisen varmistamiseksi. Myös hakkeen laadun (eli lähinnä kosteuden) muuttuessa tulee poltin säätää uudelleen. Säädössä tulee ottaa huomioon myös polttoaineiden erisuuruiset energiasisällöt, sillä esimerkiksi hakkeesta puupelletteihin vaihdettaessa pitää palamisilman säädön lisäksi säätää syöttöruuvia hitaammaksi, jottei teho kasva liikaa tai vaihtoehtoisesti osa pelletistä ei ehdi palaamaan, jolloin palamatonta ainesta jää tuhkan sekaan.



Kuva 4.5 Biofire Oy:n 500 kW:n hakepoltin [27]

Hakepolttimet voidaan jakaa kahteen osaan arinan rakenteen mukaan: kiinteisiin ja liikkuvalla arinalla toimiviin polttimiin. Kiinteän arinan hyödyt tulevat yksinkertaisemmasta rakenteesta, jolloin liikkuvia osia on vähemmän kulumassa ja rikkoutumassa. Tästä syystä kiinteällä arinalla varustettuja polttimia pidetään pitkäikäisinä ja korjaushuoltoja pitäisi tulla vähemmän kuin liikkuvalla arinatekniikalla.

Liikkuvalla arinalla toimivat polttimet ovat usein kuvan 4.5 mukaisesti rakennettu porrasmaiseen muotoon, jolloin palava aines siirtyy alemmille portaille työntötkojen siirtämänä. Portaita alas kulkevan liikkeen myötä polttoaine sekoittuu paremmin ja samalla tuhkan pitäisi liikkua pois arinalta tehokkaammin, jolloin arinan puhdistamisen tarvitsema huoltoväli voidaan saada pidemmäksi.

#### 4.2.3 Kattilan lisälaitteet

Kuten aiemmin on todettu, niin kattilaksi voidaan valita vanha öljykattila, joten kattilalla ei ole välttämättä kovin suuria vaatimuksia, kun ensin varmistetaan, että kattilan teho riittää vastaamaan polttimen syöttämään tehoon. Parempi vaihtoehto on kuitenkin, että kattila valitaan omien käyttötarpeiden mukaan, jolloin siihen voidaan helpommin lisätä haluttuja ominaisuuksia automaation lisäämiseksi.

Automaattinuohouksen lisäämisellä kattilaan saadaan aikaan tasaisempi hyötysuhde, kun nuohous tapahtuu useammin kuin käsintehtynä, jolloin nuohousväli on useimmiten luokkaa 1-2 kertaa kuukaudessa. Samalla säästetään työaika kattilan parissa, eikä kattilaa tarvitse alasajaa erikseen nuohousta varten.

Kolme yleisintä keinoa tuhkan automaattiseen poistoon kattilasta ovat tuhkaimeuri, kuivatuhkaus- ja märkätuhkausmenetelmä. Tuhkaimeuri voidaan asentaa kiinteästi tai se voi olla mukaan otettava laite, jolloin esimerkiksi lämpöyrittäjä voi käyttää yhtä imuria useassa lämmityskohteessa. Tuhkaimeurilla voi pitää koko pannuhuoneen puhtana. Kuivatuhkausmenetelmässä tuhka poistetaan tuhkatilasta kuivana tuhkaruuvien avulla ulkona olevaan tuhkasäiliöön, jolloin tuhkasäiliön tyhjennys on usein helpoin hoitaa. Märkätuhkausmenetelmässä kattilan alla kulkeva märkäkolakuljetin kuljettaa tuhkaa sisätiloissa sijaitsevaan tuhkasäiliöön. Tällöin nuohous voidaan hoitaa nopeasti ja huolettomasti painepesurilla, jolloin nuohous on myös monesti tehokkaampaa, kuin erilaisilla harjaksilla nuohottaessa.

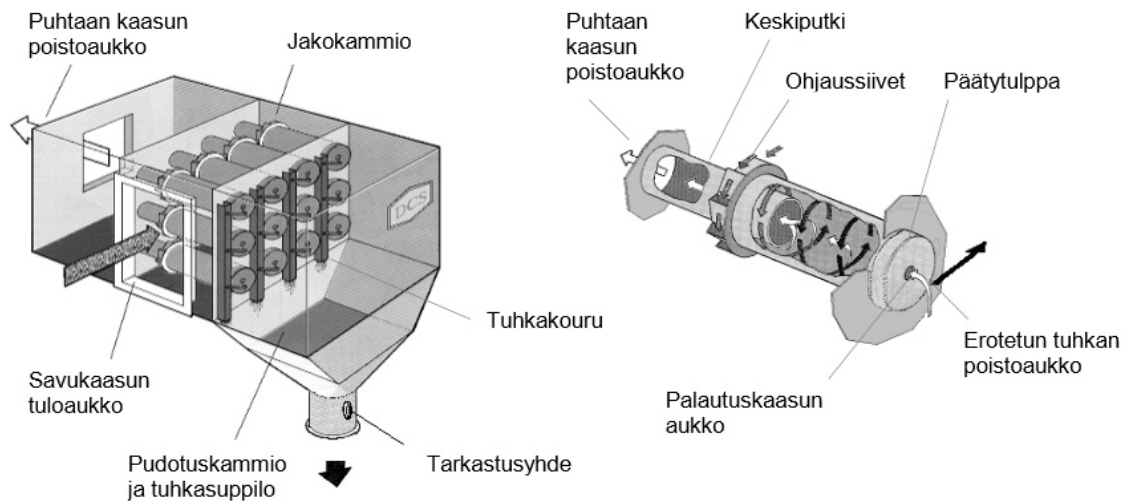
Toisinaan parhaissakin laitteissa voi sattua yllättäviä häiriöitä. Häiriötilanteissakin halutaan usein varmistaa lämmön saanti jollain varajärjestelmällä. Yksi yleinen tapa on hankkia öljykattila varusteineen hakekattilan rinnalle. Tässä tapauksessa öljykattila voi toimia myös huipputehon takaajana, jolloin hakelämmityslaitteistoa ei tarvitse ylimitoitaa. Toinen tapa varautua hakkeen toimituksen tai syöttölaitteiston häiriöön, on lisätä hakekattilaan öljypoltin. Tällöin säästytään erillisen öljykattilan hankkimiselta ja öljykattilaan tulevien savuhormin ja lämmönjakolinjaston liittämisen aiheuttamilta kustannuksilta. Myös useisiin uusiin kattiloihin on saatavilla sähkövastuksia, jotka voivat toimia pienellä lämmöntarpeella varalämpönä ja suurilla pakkasilla lisälämmönlähteenä.

#### 4.2.4 Savukaasupuhdistin ja -puhallin

Puun pienpolton osuus on nykyään noin 40 prosenttia kaikista pienhiukkaspäästöistä (PM<sub>2.5</sub> – aerodynaaminen halkaisija alle 2.5 mikrometriä). Samalla terveyden ja



hyvinvoinnin laitoksen vuonna 2010 julkaiseman terveystarkastuksen mukaan noin 250 suomalaista kuolee vuosittain ennenaikaisesti sairauksiin, joita aiheuttavat puun poltosta vakituisten pientaloasuntojen lämmityksessä syntyvät pienhiukkaset [22]. Suomessa on nykyään lakisääteiset päästörajoitukset vain yli 1 MW:n biovoimalaitoksilla, mutta kuten THL:n arvioinnista voidaan tulkita, myös tätä pienemmilläkin laitoksilla olisi tarpeellista käyttää savukaasujen puhdistusta pienhiukkasten aiheuttamien terveystarkastusten vähentämiseksi.



Kuva 4.6 Dust Control Systems Oy:n FINN - CLEANER Savukaasun puhdistin [28]

Kuitusuodatin olisi suodatusasteeltaan paras vaihtoehto pienhiukkasten suodattamiseen, mutta ei hintansa vuoksi sovellu näin pieneen kokoluokkaan. Syklonipuhdistin puolestaan on tässä kokoluokassa tavallisin tapa puhdistaa savukaasuja karkeimmista pienhiukkasista. Kuvassa 4.6 esitetään syklonipuhdistimen toiminnan pääperiaatteet. Aluksi savukaasut johdetaan kattilan jälkeen sykloneihin, jotka laittavat savukaasut pyörimään. Pyörimisliikkeen aiheuttama keskipakoisvoima kuljettaa hiukkaset syklonien aukoista kohti syklonin alla sijaitsevaa tuhkatilaa, josta tuhka helppo kerätä.

Savukaasupuhallin (käytetään myös nimitystä savukaasuimuri) varmistaa riittävän alipaineen kattilan tulipesässä, jolloin veto kattilasta piippuun syntyy. Savukaasupuhallin onkin yksi tärkeimmistä takapalaa ehkäisevistä laitteista, sillä sen avulla voidaan saada aikaan tasainen alipaine kattilaan kaikilla tehoilla. Oikeanlainen veto auttaa myös palamista, jolloin palaminen on tehokkaampaa.

### 4.3 Pellettilämmityslaitteisto

Pellettilämmityslaitteisto vastaa hakelämmityslaitteistoa suurelta osin. Myös vesikiertoisesta pellettilämmityslaitteistosta löytyy lämmityskattila, poltin,

polttoainesiilo, piippu, paisuntasäiliö, sekä kiertovesipumppu. Lämmityskattilana voidaan käyttää samaa kattilaa kuin hake- tai öljylaitteistoissa, mutta parempi ratkaisu on aina hankkia uusi kattila nimenomaan pelletin polttoa varten jos tiedetään varmasti, että tarkoitus on polttaa vain pellettiä.

#### 4.3.1 Pellettisiilo

Pellettitulaukset toimitetaan joko säkeissä tai irtotavarana säiliöautolla, josta ne siirretään paineilmalla suoraan asiakkaan siiloon. Suurille pelletin kuluttajille voidaan pelletit toimittaa myös kippaavalla tai perästä purkavalla kuorma-autolla suureen polttoainevarastoon. Pienimpiin lämmöntarpeisiin pelletit voidaan ostaa pienissä käsin kannettavista säkeissä tai 500-1000 kg:n suursäkeissä.

Siilon sijainnissa tulee ottaa huomioon, samoin kuin kaikilla polttoaineilla, että toimitustavan vaatimalle etäisyydelle on helppo päästä. Puhallusautolla suositellaan enintään kymmenen metrin etäisyyttä autolta siilolle. [29, s. 17] Lisäksi siilo olisi hyvä sijoittaa kattilan välittömään läheisyyteen, koska syöttö toimii sitä paremmin, mitä lyhyempi siirtoetäisyys on siilosta polttimelle. Pellettiä voidaan siirtää siilolta polttimelle myös paineilman avulla putkia pitkin, mutta on suositeltavaa pitää välimatka lyhyenä, jolloin siirtoruuvilla kuljetus onnistuu. Jos lyhyellä siirtoetäisyydellä tarvitaan siirtoputkeen mutkaa, voidaan mutka toteuttaa taipuisalla spiraaliruuvilla kuvan 4.8 tapaan. Kiinteä ja suora siirtoruuvi on kuitenkin varmatoimisempi vaihtoehto.

Pellettisiilon tilavuuden mitoittaminen aloitetaan tavallisesti kartoittamalla kuinka paljon pellettiä kuluu vuodessa. Tämän jälkeen päätetään kulutuksen ollessa riittävän suuri, halutaanko pellettiä tilata ainoastaan vetoautollinen vai kokonainen kuorma perävaunun kanssa. Siilo suositellaan mitoittamaan siten, että sinne mahtuu kerralla tuotavan pellettimäärän lisäksi viikon tai kahden käyttötarve. Rekkakuorma on suurimmillaan 60 m<sup>3</sup>, joten 500 kW laitoksen siilon minimikoko on noin 80 m<sup>3</sup>, kun halutaan tilata täysiä rekkalasteja. [29, s. 9] Täysien kuormien tilaaminen tulee vajaita kuormia edullisemmaksi, sillä on myös myyjän etu, että voidaan kuljettaa yhdellä kertaa koko lasti samaan paikkaan.



*Kuva 4.7 Pystymallinen pellettisiilo (tilavuus 74 m<sup>3</sup>) [30]*

Pellettisiilot asennetaan tavallisesti pystyasentoon, jolloin ne vievät vähiten tilaa, kuten kuvan 4.7 laitoksella on valittu. Tällöin pellettisiilo ei tarvitse hakkeen tapaan erillisiä purkainlaitteita, vaan pelletti laskeutuu siilon keskeltä siirtoruuville painovoiman avulla.



*Kuva 4.8 Vaakamallinen pellettisiilo [31, s. 15]*

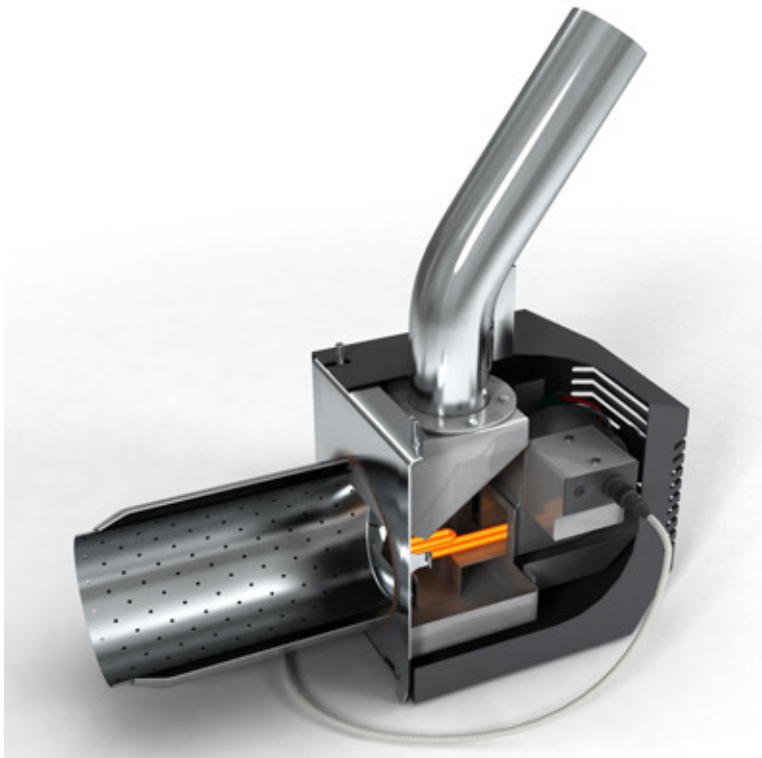
Vaakamallinen pellettisiilo voi olla paras ratkaisu esimerkiksi silloin, kun siilo halutaan sijoittaa sisälle, jolloin korkeus on rajoitettu, kuten kuvassa 4.8 on tehty. Vaakamallisessa siilossa pelletti laskeutuu siilon pohjassa kulkevalle varastoruuville

koko siilon pituudelta. Varastoruuvilta pelletti jatkaa matkaansa siirtoruuvilla kohti poltinta.

Pelleteille suunnitellut painovoimaa avuksi käyttävät siilot tulevat edullisemmiksi, kuin hakkeelle suunniteltu siilo mekaanisine purkainlaitteistoineen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö pellettiä voitaisi varastoida myös hakkeen varastointia varten suunniteltuun siiloon. Tämä on järkevää silloin, kun varasto purkainlaitteineen on jo olemassa tai jos on tarkoitus polttaa muutakin kuin pellettiä. Tällöin pitää kuitenkin ottaa huomioon, että pelletti on painavampaa kuin hake, joten siiloa ei pitäisi täyttää yhtä täyteen kuin hakkeella on totuttu, ettei purkainlaitteisto joutuisi liian suurien voimien rasittamaksi.

### 4.3.2 Pellettipoltin

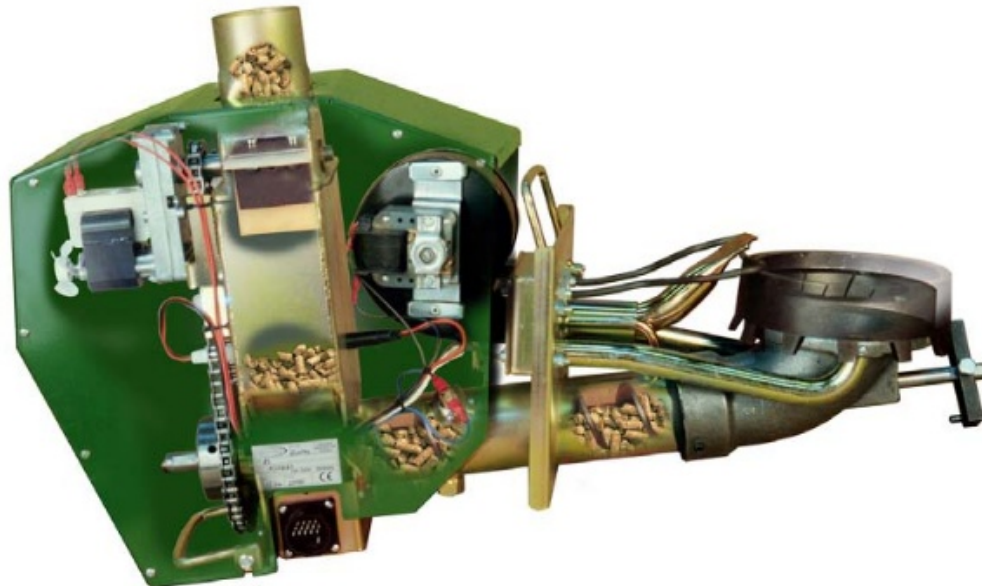
Siilojen ja purkaimien osalta on jo todettu, että hakkeelle suunnitellut laitteen kelpaavat myös pelleteille, niin samoin hakkeelle suunnitellut polttimet soveltuvat pelletin polttoon. Edelleen jos aikeena on polttaa ainoastaan pellettiä, niin on parasta hankkia ainoastaan pelletin polttoon suunniteltu poltin. Tällöin voidaan olla vakuuttuneita siitä, että valmistaja on suunnitellut pelletin siirron, polttimen automatiikan ja ilmansyötön, sekä palopään kestävyuden ja huollettavuuden juuri pellettien polttoa varten.



*Kuva 4.9 Pellettipoltin Effecta Supra 20-30kW [32]*

Pellettipolttimet voidaan jakaa syöttöperiaatteensa mukaisesti kolmeen eri ryhmään: päältä, sivulta ja alta pellettiä syöttäviin malleihin. Kuvan 4.9 päältäsyöttävä poltin on syöttötavaltaan yksi pellettipolttimien yksinkertaisimmista malleista. Tässä mallissa pelletin annostelu palopäälle on suoraan siirtoruuvien kuljettaman pellettimäärän verran, jolloin annostelu ei ole kovinkaan tarkkaa, jolloin myöskään palotapahtuma ei ole aina optimaalinen.

Suoran syöttötavan sijaan yläpuolelta syöttävissä polttimissa voi olla polttimen sisällä pienempi syöttöruuvi, jolloin pelletin syöttöä palopäälle on helpompi säädellä paremman palamisen aikaan saamiseksi. Kuten kuvan 4.9 polttimessa, niin nykyään on usein pienemmissä kotitalouskäyttöön tarkoitetuissakin polttimissa automaattisytytys, joka vähentää ylläpitotyön määrää ja parantaa polttimen hyötysuhdetta.



*Kuva 4.10 EcoTecin A3-mallin pellettipoltin [33]*

Kuvassa 4.10 on esiteltyä alasyöttöinen pellettipoltin. Altapäin pellettiä syöttävät polttimet ovat polttoaineen syöttötekniikan osalta yleensä kaikkein monimutkaisimpia, mutta tarkan annostelunsa ansiosta, sillä saadaan aikaan usein hyvin säädeltä palamistapahtuma. Palopäässä palaminen tapahtuu siis kokoajan pellettikeon päällä, jolloin palaminen on tehokasta ja puhdasta.

Kuten kuvasta 4.10 voidaan havaita, niin pelletti kulkeutuu kyseisessä mallissa ensin polttimen sisällä olevaan pieneen varastotilaan, josta se edelleen kulkeutuu syöttöruuvilla kohti palopäänä toimivaa kuppiä. Palamisilma tuodaan keon alle kupin rakosista ja sivusta pois päin polttimesta. Lisäksi palopäässä pyörivä rengas sekä poistaa tuhkaa, että sekoittaa hiillosta.



*Kuva 4.11 Sivulta syöttävä Aritermin Biojet-poltin edestä ja takaa [34]*

Suurilla kiinteän biopolttoaineen polttimilla on usein jonkinlainen porrastarinarakenne, kuten kuvan 4.11 polttimella on. Porrastarina takaa ilmansyötön suurelle määrälle polttoainetta paremmin kuin tasainen pinta. Kuvan 4.11 kuvan poltinta on saatavilla teholuokissa 60 – 1500 kW, jolloin liittämällä kaksi poltinta samaan kattilaan oikean puoleisen kuvan tapaan, saadaan aikaan 3 MW:n kattilateho.

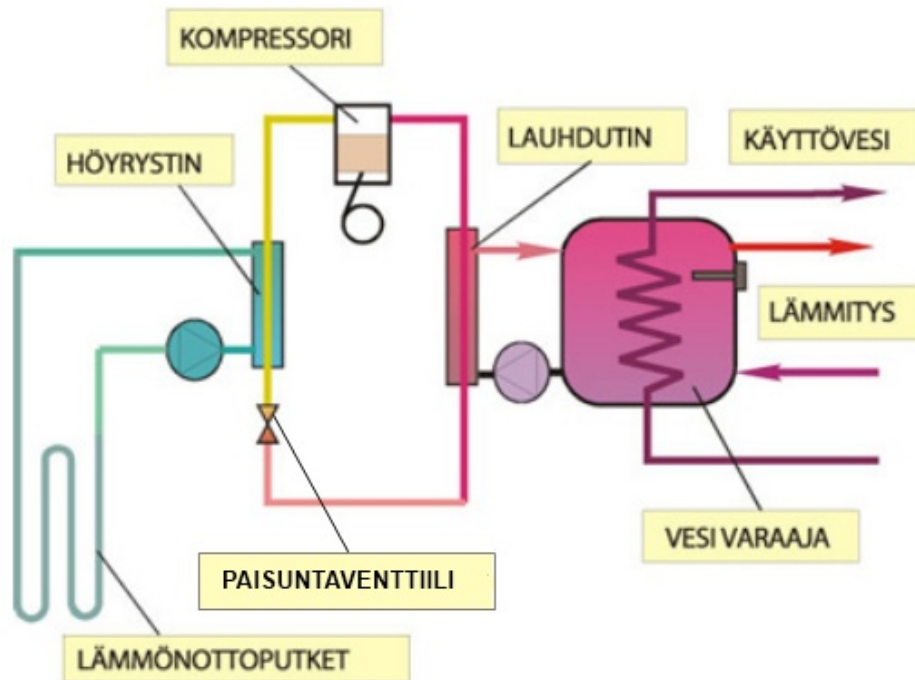
Suurille tehoille tarkoitetut polttimet ovat usein ainakin Suomen markkinoilla sivulta syöttäviä, syöttötekniikan yksinkertaisuuden vuoksi. Vaikka tällä tavoin syöttöä ei saada säädettyä yhtä tarkasti kuin alasyöttöisillä polttimilla, ei siitä ole harmia, sillä syöttömäärät ovat suurilla tehoilla niin suuria, ettei hetkellisellä epätasaisella syötöllä ole juurikaan väliä. Syötön tarkkuuden sijaan haluttua tehoa säädetään palamisilman syötöllä.

#### **4.4 Maalämpöpumppu**

Erilaisten lämpöpumppujen suosio on kasvanut viime vuosina voimakkaasti ja samoin on maalämpöpumppujen laita. Moneen jo toimivan lämmityksen (varsinkin suoran sähkölämmityksen) omaavaan omakotitaloon on hankittu ilmalämpöpumppu laskemaan lämmityskustannuksia. Uusissa omakotitaloissa on viime aikoina sen sijaan investoitu enenevässä määrin maalämpöpumppuihin muun muassa poraustekniikan kehittymisen ansiosta.

Omakotitalojen lämmitykseen riittää usein yksi yleensä noin 200 metriä syvä lämpökaivo. Porausken helpottumisen myötä on mahdollista ja tapauskohtaisesti kannattavaa porata useampi kaivo, jolloin lämmitysteho saadaan riittämään kerrostaloille ja teollisuushalleille. Suurimmat maalämpöpumput ovat teholtaan

nykyään yli 100 kW ja rinnakkain kytkemällä niistä voidaan saada yli 2 MW:n lämmitystehoja.



Kuva 4.12 Maalämpöpumpun toimintaperiaate. Perustuu lähteeseen [35]

Kuvassa 4.12 on esitettyä maalämpöpumpun toimintaperiaate. Yksinkertaistetusti lämpöpumppujen toiminta perustuu neljään vaiheeseen. Maalämpöpumpussa kiertävä kylmäaine kerää lämpöä lämpökaivosta tulevasta keruunesteestä höyrystimessä, jolloin kylmäaine kaasuuntuu. Lämpöpumpun työvaiheessa eli kompressorissa, kompressori puristaa kylmäainetta korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaine kuumenee lähes 100 °C:n lämpöiseksi. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa lämmitykseen, jolloin kylmäaine viilenee ja tiivistyy jälleen nesteeksi. Viimeisenä kylmäaine kulkee paisuntaventtiiliin, jolloin se jäähtyy alle -20 °C:n paineen laskiessa.

Merkittävin ero ilmalämpöpumpun ja maalämpöpumpun toiminnassa on, että ulkolämpötilan laskiessa -20 °C:n alapuolelle, eli lämpötilaan johon kylmäaine yleensä jäähtyy paisuntaventtiilissä, ilmalämpöpumppu ei enää voi hyödyntää ulkoilman lämpöä höyrystimessä. Sen sijaan maalämpöpumpuilla ulkolämpötila ei tuota rajoituksia, sillä lämpökaivossa lämpötila pysyy pakkasillakin yli 0 °C:n.

#### 4.4.1 Maalämpö jäähdytysvedestä

Loimaan Kivellä maalämpöpumpun käyttö lämpökaivojen avulla oli jo aiemmin hylätty lämpökaivojen korkeiden porauskustannusten takia. Sen sijaan he olivat koittaneet

selvittää erään insinööritoimiston avulla, että olisiko läheisestä Loimijoesta tehtaalle tulevasta jäähdytysvedestä mahdollista saada edullista energiaa. Kyseinen insinööritoimisto oli kuitenkin epäonnistunut löytämään tähän ongelmaan ratkaisua.

Tästä huolimatta lähetin tiedustelun muutamalle suurien teholuokkien maalämpöpumppujen valmistajille, että olisiko heillä mielenkiintoa ja valmiutta valjastamaan energiaa talvella 0 °C lämpöisestä tulovirrasta. Kahdella valmistajalla oli mielenkiintoa selvittämään tarkemmin, kuinka jäähdytysveden keruu toimii, sekä miten veden lämpötila ja likaisuus muuttuvat jäähdytysprosessissa. Toinen valmistaja joutui tässä vaiheessa toteamaan, ettei heiltä löydy ratkaisua hyödyntämään 0 °C lämpöistä vettä.

Sen sijaan toinen maalämpöpumppujen valmistaja oli sitä mieltä, että he voisivat saada joesta tulevasta vedestä taloudellisesti energiaa. Heidän projektimyyntipäällikön laskelmassa oli, että heidän lämpöpumpuilla olisi mahdollista päästä vuosilämpökertoimeen 3,4 (brutto), kun lämmönjakolinjaston menolämpötilaksi valittaisiin 55 °C ja lämmönjakolinjaston paluulämpötilaksi valittaisiin 45 °C. Tarjottu laitteisto olisi koostunut neljästä 60 kW:n lämpöpumpusta, joilla oltaisiin saavutettu noin 80 prosentin tehopeitto. Kovimmilla pakkasilla huipputehon aikana varalle olisi tarvinnut jättää toinen öljykattila takaamaan ettei lämmitysteho lopu kesken. Laskelmassa oli lisäksi kerrottu, että lämpökaivoa pitäisi porata 4203 metriä, mikäli jäähdytysvettä joesta ei olisi käytettävissä. Tavanomaisella poraushinnalla noin 30 €/m, tulisi pelkästään lämpökaivojen hinnaksi tällöin noin 126 000 €, eli erittäin suuresta säästöstä olisi kyse.

Nyt on siis selvinnyt, että selkeästi eri polttolaitoksia edullisemmin olisi saatavilla laitteisto, jolla myös vuosikustannukset olisivat alhaiset, eikä laitteistokaan vaatisi juuri ylläpitoa. Ongelma tässä järjestelyssä on sen sijaan lämmönjakolinjaston lämpötila, jossa lähtevän veden lämpötila on vain 55 °C:ta. Tämä asettaa lämmönjakolinjastolle paljon suuremmat vaatimukset, kuin tavallinen kattilalla tuotettu vesi, jonka lämpötila on usein noin 80 – 85 °C:ta.

Uudiskohteelle kuvatuunlainen lämpöpumppuratkaisu olisi varteenotettava vaihtoehto, kun lämmönjakeluverkon voisi rakentaa lattian sisään. Nykyiseen tehdasalueelle lämmönjakolinjaston riittävän kattavaksi rakentaminen saattaisi onnistua, mutta se tulisi maksamaan karkeasti arvioiden kymmeniä tuhansia euroja enemmän, kuin kattilalla tuotetulle vedelle vaadittava linjasto. Ainakin tältä erää Loimaan Kivellä tämä ratkaisu unohdetaan.



## 5 VAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Vaihtoehtojen taloudellisessa vertailussa kustannukset voidaan useimmiten jakaa kolmeen osaan: alkuinvestointiin, polttoaineen/sähkön hankintakustannuksiin, sekä ylläpidon ja huollon kustannuksiin. Alkuinvestoinnin suuruuden selvittäminen on usein tarkinta, kunhan ensin tiedetään tehon tarve. Tämän jälkeen voidaan lähettää tarjouspyyntöjä alan yrityksille, jotka rakentavat kokonaisen tarjouksen siilosta savupiippuun mahdollisine laiteoptioineen, tai halutessa vain osaa kokonaisuudesta, kuten pellettisiilon.

Myöhemmin lämmityksen kokonaiskustannuksia laskiessa tullaan käyttämään kaikille investoinneille viiden prosentin vuosikorkoa, sekä kymmenen vuoden kuoletusaikaa, jolloin annuiteettitekijäksi saadaan 0,1295. Lisäksi investointikustannuksista vähennetään tämänkaltaisista lämmitysöljyn korvaavasta investoinnista normaalisti saatava 15 prosentin ELY-keskuksen (elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) energiatuki. Käytetyt investointikustannukset perustuvat todellisiin tarjouksiin teholuokan 300 – 500 kW laitoksista. Anonymiteetin vuoksi työssä ei kuitenkaan tarkemmin kerrota, keneltä tarjoukset ovat ja mitä kaikkia laiteoptioita hinnat sisältävät. Vesikiertoisen lämmönjakolinjaston rakentaminen koko tehdasalueen kattavaksi olisi edessä uusilla lämmitysvaihtoehdoilla, mutta nämä rakennuskustannukset jätetään kustannusarvioissa huomioimatta.

Polttoaineen/sähkön hankintakustannuksia laskiessa on melko helppoa löytää tilastoista nykyinen hinta. Sen sijaan tulevaisuuden hinta on mahdotonta tietää, joten pyritään tekemään arvio hinnan muutoksista hintojen historiatietojen avulla. Kotimaisilla polttoaineilla ja sähköllä tällaisen arvion tekeminen vaikuttaisi hintatietojen tasaisuuden johdosta melko luotettavalta tavalta. Öljyllä puolestaan hintakehitys on ollut sen verran vaihtelevaa, että arvioissa on hyvä käyttää useita eri skenaarioita öljyn hinnan muutokselle.

Ylläpidon ja huollon kustannukset riippuvat paljon laitteiston automaatiosta ja käytettävästä polttoaineesta, mutta myös omistajan ylläpitokulttuurista. Joku omistaja voi esimerkiksi nuohota kattilan ja pestä kattilahuoneen kerran viikossa, sekä aktiivisesti tarkkailla laitteiston kuntoa. Toisaalla joku toinen saattaa nuohota kattilan vain joka toinen kuukausi ja siivota kattilahuoneen kerran vuodessa. Laitteiston huoltoon hän ryhtyy ainoastaan silloin, kun laitteisiin tulee toimintahäiriö. Näistä syistä ylläpidolle ja huollolle on eri lämmitysvaihtoehdoille vaikeaa tietää oikeita kustannuksia, joten kokonaiskustannuksia laskiessa ylläpidolle annettavat summat ovat

enintään suuntaa antavia. Myöhemmin lämmityksen kokonaiskustannuksia laskiessa tullaan käyttämään ylläpidolle ja huollolle kahden prosentin vuosittaista arvonkorotusta.

Suoralle sähkölämmitykselle ja maalämpöpumpulle hyötysuhteeksi on valittu 100 prosenttia ja muille lämmitystavoille 80 prosenttia. Nuohottuina ja oikein säädettyinä, sekä varsinkin tehoalueen yläpäässä toimiessa, polttokattiloiden hyötysuhteet ylittävät helposti valitun 80 prosenttia, mutta osatehoilla ja nuohoamattomana hyötysuhde voi jäädä alle 80 prosentin. Yksinkertaistuksen vuoksi kaikille polttolaitoksille on siis valittu, polttoaineesta riippumatta, 80 prosentin vuosihyötysuhde.

## 5.1 Kevyt polttoöljy

Johtoaatus tähän selvitystyöhön oli noin kaksi vuotta sitten, että nykyinen öljylämmitys on erittäin kallis ratkaisu ja että lähes kaikki muut ratkaisut olisivat taloudellisesti selvästi kannattavampia. Selvitettävänä oli ainoastaan se, että mikä näistä soveltuisi parhaiten Loimaan Kivelle.

Selvityksen aikana on tullut ilmi, että alussa arvioitu öljynkulutus (90 000 – 100 000 litraa) oli vääristynyt, koska arvio oli tehty kahden öljynkulutuksen huippuvuoden perusteella. Öljyn tilausmääriä laskiessa selvisi, että kaksi viimeistä lämmityskautta öljyn tilausmäärät ovat jääneet alle 50 000 litran, joka on saanut epäilemään, että onko työhön valittu normaalin lämmityskauden öljynkulutus (80 000 litraa) edelleen korkea. Tätä arviota kuitenkin tukee lämmitystarveluvut, jotka todistavat kahden viimeisen lämmityskauden olleen tavallista lämpimämpiä.

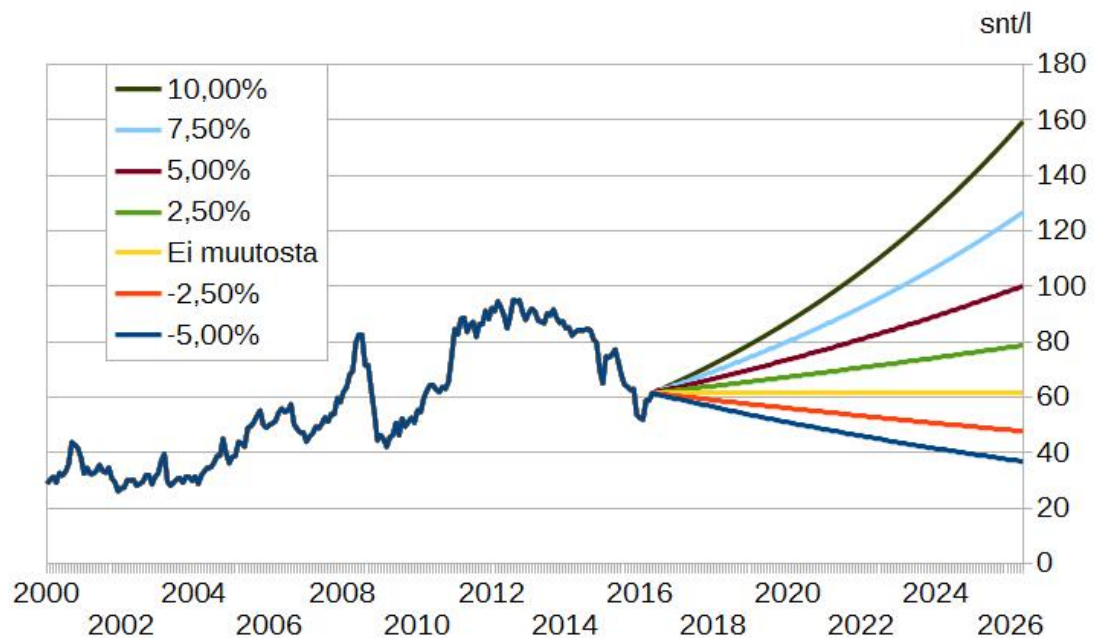
Toinen muuttunut seikka kahden vuoden takaa on ollut öljyn hinnan merkittävä laskeminen. Raakaöljyn hinta oli vuoden 2016 tammikuussa alimmillaan vuoden 2004 helmikuun jälkeen [36]. Tämän jälkeen raakaöljyn hinta on jonkun verran noussut, mutta on edelleen yli puolet vähemmän kuin kaksi vuotta sitten.

Jos valinta on pitäytyä entisessä, eli jatkaa öljylämmityksellä, niin alkuinvestoinnin arvoksi tulisi nolla euroa. Öljylämmityksessä ylläpito on tavallisesti helppoa, eikä siis vaadi paljoa työtä, mutta pienemmät öljysäiliöt saattavat vaatia kovilla pakkasilla jopa päivittäin tarkastuksia öljyntasosta, jotta öljyä osataan tilata lisää ennen loppumista. Häiriöitä öljylämmityslaitteissa sattuu yleensä harvoin, joten vikahuoltojen tarve on satunnaisista. Yleisesti voidaan arvioida, että öljylämmityksellä on polttolaitoksista pienimmät ylläpito/huolto kustannukset, koska öljy on ensinnäkin tasalaatuista ja toisekseen nestemäisen polttoaineen vuoksi koko polttoprosessi vaatii vain vähän liikkuvia osia. Loimaan kiveltä sain arvion, että heidän öljylämmityksen ylläpito- ja huoltokustannukset olisivat noin 1000 €/vuosi.

Öljy- ja biopolttoaineala ry:n kuluttajahintaseurannassa kevyen polttoöljyn nykyinen eli 2016 toukokuun hinta on veroineen 76,2 snt/l eli arvonlisäveroton hinta on noin 61,5 snt/l [4]. Öljyn hintaa tulevaisuudessa on mahdotonta ennustaa, eikä sen hintakäyrä tule

olemaan lähelläkään lineaarista, mutta erilaisia skenaarioita mallinnettaessa, on yksinkertainen lähestymistapa helpoin ja mielekkäin. Vaikka ennustus sattuisi osumaan lähelle kymmenen vuoden päästä olevaa oikeaa hintaa, niin ennustusjakson aikana hinta voi olla useita kymmeniä prosentteja väärin.

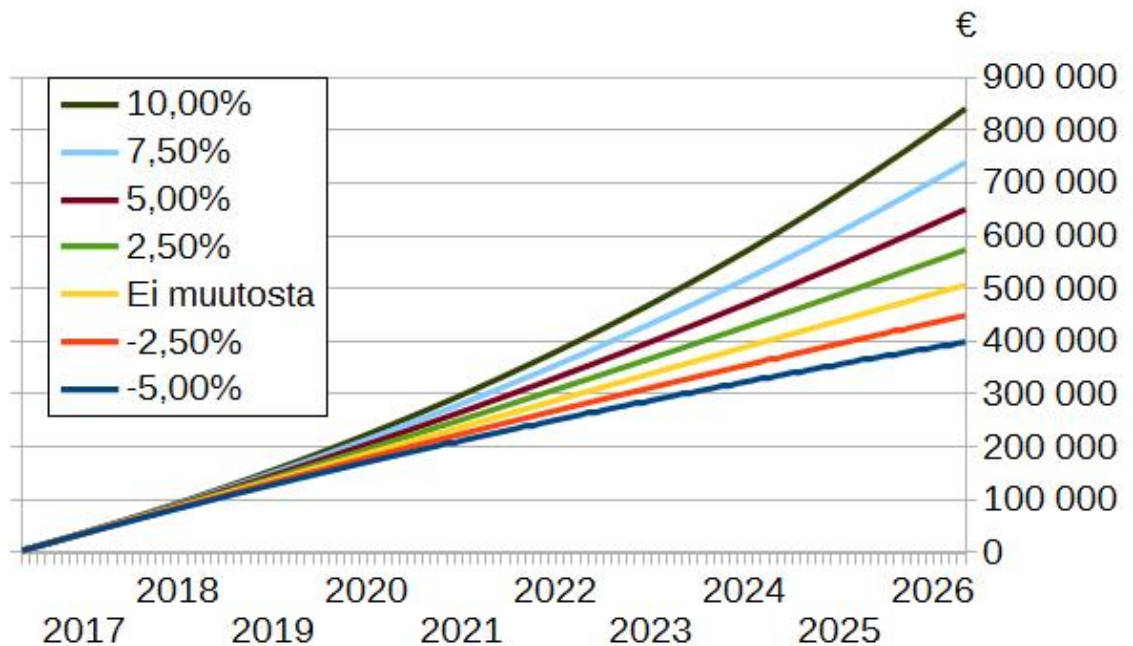
Normaalisti hinnoilla on ollut tapana nousta vuosittain lähes kaikissa tuoteryhmissä ja yli kymmenen vuoden aikajaksolla hintojen nousun pitäisi olla liki varmaa. Myös Suomen kuluttajahintaindeksi tukee tätä ajatusta, sillä vuonna 2015 tapahtunut kuluttajahintojen lasku 0,2 prosenttia vuosikeskiarvossa on ainut laatuaan vuodesta 1980 alkaen [37]. Raakaöljyllä tämä oletus ei pidä paikkaansa, sillä kymmenen vuotta sitten keväällä 2006 sen maailmanmarkkinahinta oli korkeampi kuin keväällä 2016 [9]. Tästä syystä kevyen polttoöljyn hinta tulevaisuudessa on todennäköisemmin korkeampi kuin nykyään, siksi skenaariot painottuvat enemmän hinnan nousun kannalle.



Kuva 5.1 Kevyen polttoöljyn hinnalle erilaisia skenaarioita vuoteen 2026 asti [4]

Kuvaan 5.1 on hahmoteltu kevyen polttoöljyn arvonlisäverottoman hinnan muutoksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen, jolloin kevyen polttoöljyn arvonlisäveroton hinta oli noin 61,5 snt/l. Kuvassa esitetyt prosenttimäärät kertovat kuinka paljon hinta muuttuu vuosittain, eli esimerkiksi alimmalla sinisellä viivalla seuraavan vuoden hinta on aina viisi prosenttia alhaisempi kuin edellisvuonna.

Kuvasta 5.1 nähdään kuinka paljon hinnan muutos voi vaikuttaa tulevaisuudessa kevyen polttoöljyn hintaan. Hinnat vaihtelevat 36,8 – 159,4 snt/l välillä. Näitä käyriä apuna käyttäen voidaan seuraavaksi hahmotella, kuinka paljon kymmenen vuoden tarkastelujaksolla lämmityksen kumulatiiviset kokonaiskustannukset voisivat olla.



*Kuva 5.2 Kumulatiiviset lämmityskustannukset kevyellä polttoöljyn erilaisilla hinnanmuutoksen skenaarioilla*

Kuvaan 5.2 on hahmoteltu kumulatiivisia lämmityskustannuksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kokonaiskustannuksiin on laskettu mukaan ylläpidon ja huollon, sekä kevyen polttoöljyn hankinnan kustannukset. Investointikustannukset on jätetty huomioimatta, koska tarkastellaan nykyisellä kokoonpanolla lämmittämistä. Kevyen polttoöljyn hankinta on yksinkertaistettu siten, että joka kuukausi ostetaan kuukausikohtaisella hinnalla 1/12 osa vuoden 80 000 litran osuudesta, eli noin 6666,66 litraa. Samoin ylläpidon ja huollon 1000 euron osuus on jaettu joka kuukaudelle tasaisesti, kahden prosentin vuosittainen arvonnkorotus kuitenkin huomioiden.

Kuvasta 5.2 voi havaita kuinka paljon kevyen polttoöljyn hinnanmuutoksilla on vaikutusta kumulatiivisiin lämmityskustannuksiin. Tarkastelluilla skenaarioilla kustannukset vaihtelevat välillä 399 000 – 841 000 euroa. Myöhempää vertailua varten arvioidaan, että parhaiten tulevaisuuden hintakehitystä noudattaisivat 2,5 %:n ja 5 %:n vuosittaiset hinnannousut, jolla kumulatiiviset kustannukset nousivat noin 570 000 – 650 000 euroon. Seuraavaksi selvitetään, miten muiden lämmitysvaihtoehtojen kumulatiiviset kustannukset eroavat kevyen polttoöljyn kustannuksista.

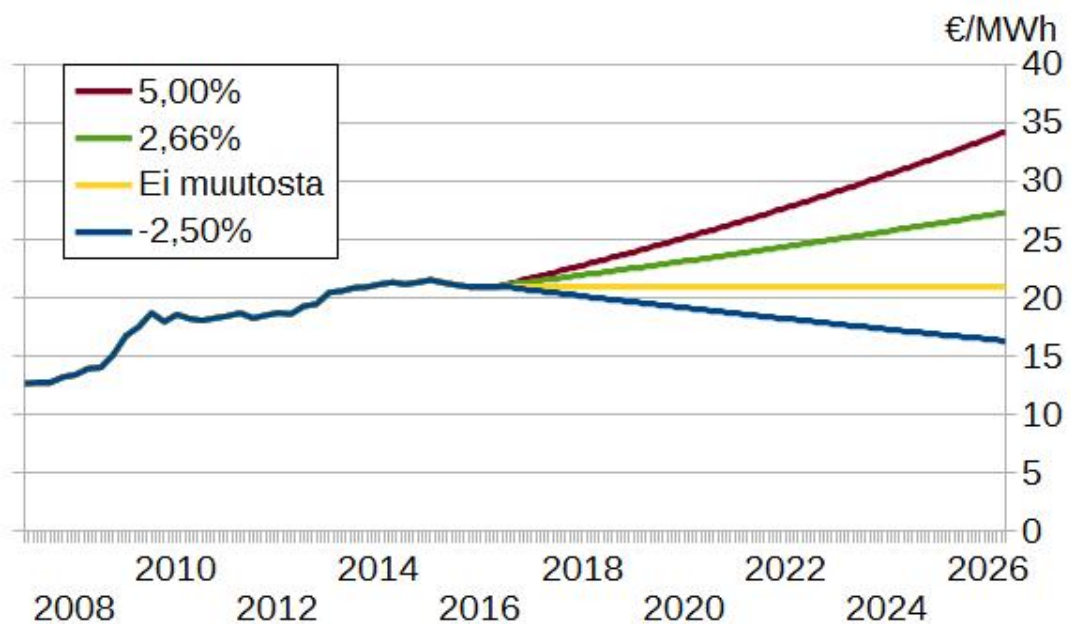
## 5.2 Puuhake

Toisin kuin kevyen polttoöljyn tarkastelussa ei tarvinnut laskea investointikuluja, niin puuhakkeelle täytyisi hankkia lämmityslaitteisto siilosta savupiippuun asti.

Hakelaitoksen alkuinvestoinniksi valitaan 130 000 euroa, josta kokonaiskustannuksia laskiessa vähennetään vielä ELY-keskuksen 15 prosentin energiatuki.

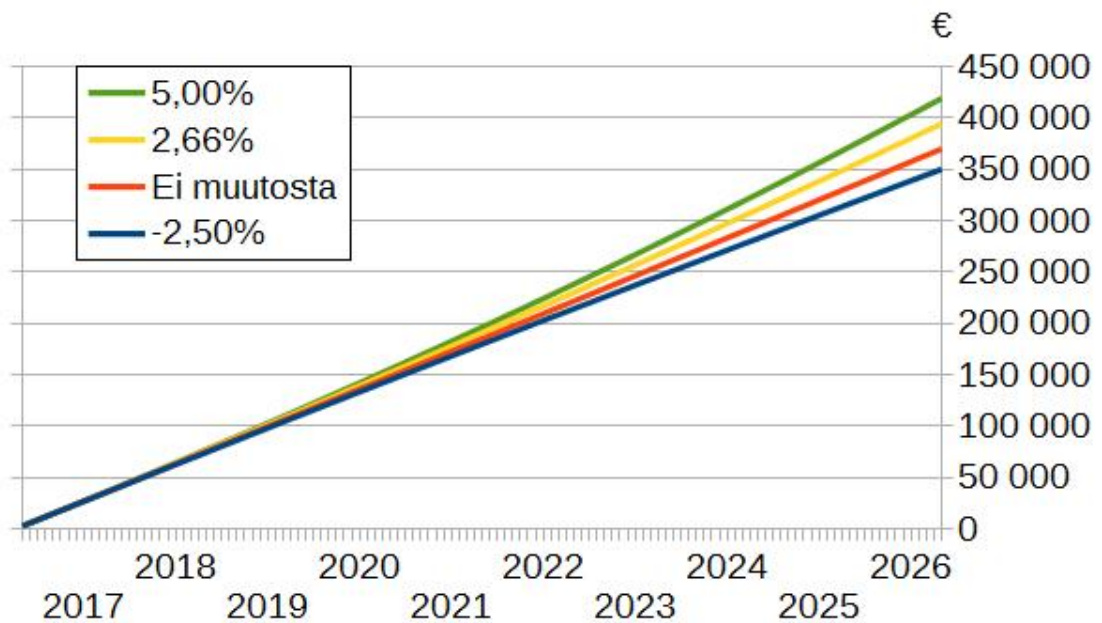
Myös ylläpito- ja huoltokustannukset ovat paljon korkeammat, johtuen kiinteän polttoaineen tuomista haasteista. Hakkeella ylläpidon tarvitsema aika vuodessa on riippuvainen paljon automaation tasosta, mutta myös käytettävän hakkeen laadusta. Näistä syistä tarkkaa arvoa on mahdotonta tietää, joten tähän tarkasteluun ylläpidon ja huollon vuosikustannukseksi on valittu 5000 euroa.

Metsähakkeen viimeisin hinta on vuoden 2015 viimeiseltä neljännekseltä 21,03 €/MWh. Metsähakkeen historiatiedoista saatu hintakäyrä kuvassa 3.3 osoittaa, että metsähakkeen tuleva hinta on todennäköisesti helpompi ennustaa kuin kevyellä polttoöljyllä. Yksi hyvä tapa ennustaa tulevia hintoja, kun hintakäyrä on tasainen, on valita nykyisen hinnan lisäksi toinen hinta käyrältä, jolloin voidaan laskea kuinka paljon hinta on muuttunut kyseisellä ajanjaksolla. Valitaan toiseksi pisteeksi vuoden 2009 viimeinen neljännes (17,96 €/MWh), jolloin ennuste seuraa 2010-luvun hinnankehitystä. Näillä hinnoilla saadaan tälle aikavälille vuosittaiseksi hinnankorotukseksi 2,66 prosenttia. [12]



Kuva 5.3 Metsähakkeen hinnalle erilaisia skenaarioita vuoteen 2026 asti [12]

Kuvassa 5.3 on kuvattu metsähakkeen arvonlisäverottoman hinnan muutoksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kuvasta nähdään kuinka paljon hinnanmuutos voi vaikuttaa tulevaisuudessa metsähakkeen hintaan. Hinnat vaihtelevat 16,3 – 34,3 €/MWh välillä. Käyriä apuna käyttäen voidaan seuraavaksi hahmotella, kuinka paljon kymmenen vuoden tarkastelujaksolla hakelämmityksen kumulatiiviset kokonaiskustannukset olisivat.



Kuva 5.4 Kumulatiiviset lämmityskustannukset metsähakkeen erilaisilla hinnanmuutoksen skenaarioilla

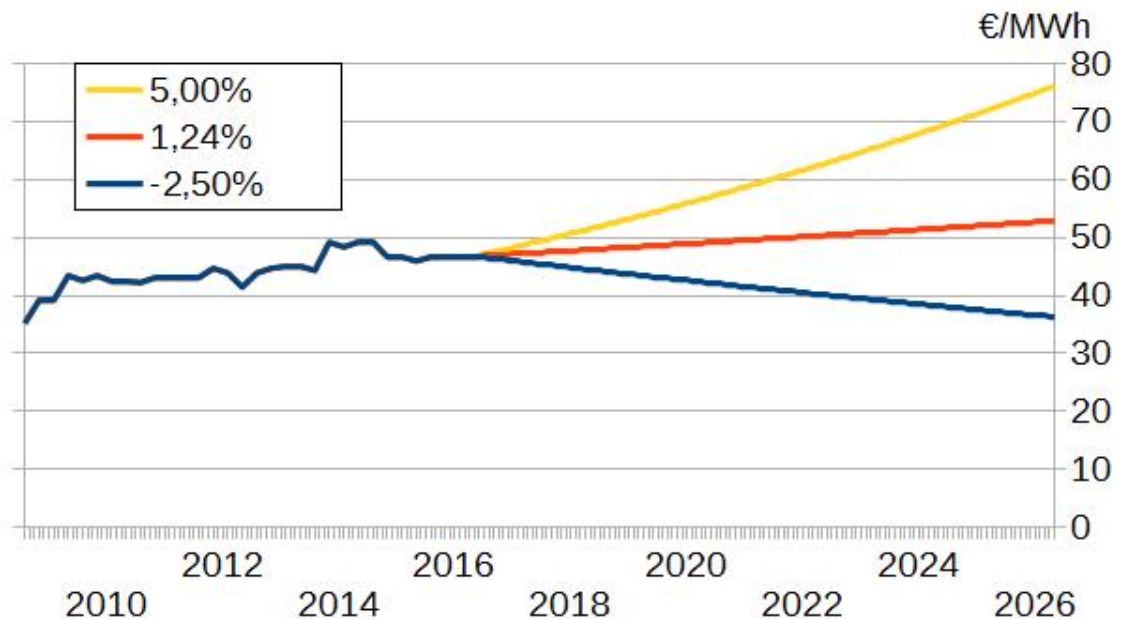
Kuvaan 5.4 on hahmoteltu kumulatiivisia lämmityskustannuksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kokonaiskustannuksiin on laskettu mukaan ylläpidon ja huollon, sekä metsähakkeen hankinnan kustannukset. Investointikustannukset on jaettu tasaisesti joka kuukaudelle. Myös metsähakkeen hankinta, sekä ylläpidon ja huollon kustannukset on yksinkertaistettu siten, että ne on jaettu tasan joka kuukaudelle.

Kuvasta 5.4 näkee kuinka vähän metsähakkeen hinnanmuutoksilla on vaikutusta kumulatiivisiin lämmityskustannuksiin. Tarkastelluilla skenaarioilla kustannukset vaihtelevat välillä 350 000 – 419 000 euroa. 2010-luvun hinnankehitystä noudattamalla, eli 2,66 prosentin vuotuisella hinnankorotuksella kumulatiiviseksi lämmityskustannuksiksi saadaan noin 394 000 euroa.

### 5.3 Puupelletti

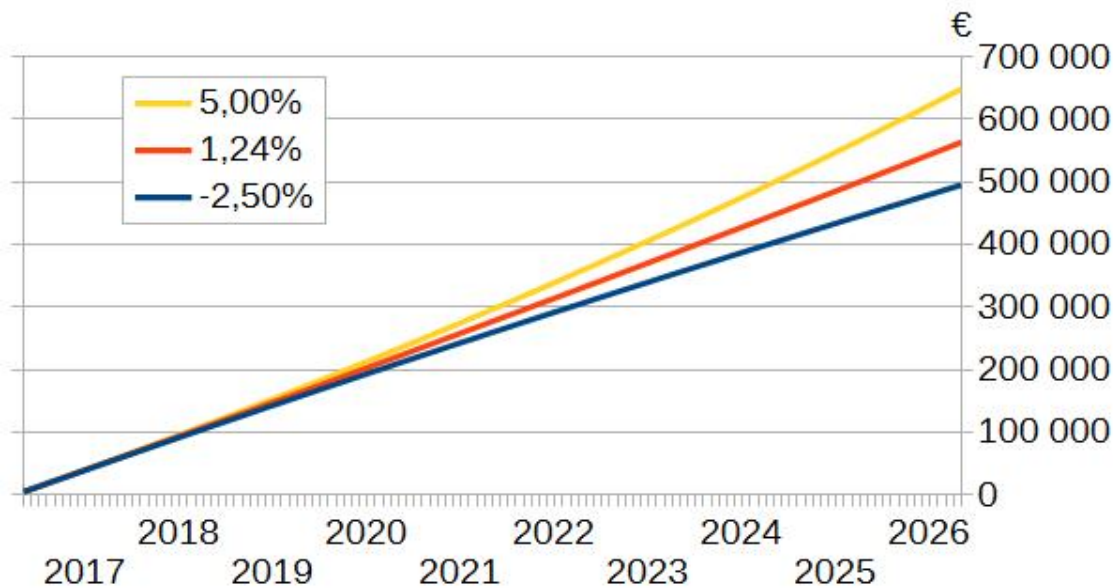
Puupelleteillä investointikustannukset ovat usein hieman vähemmän kuin hakkeella, sillä siilo ja purkainlaitteet on mahdollista saada edullisemmin, jos tarkoitus on polttaa ainoastaan pellettejä. Valitaan tarkasteluun investointikustannuksiksi 115 000 euroa. Myös ylläpidon ja huollon kustannukset ovat todennäköisesti pienemmät, sillä puupelletit on polttoaineena paljon tasalaatuisempaa, jolloin häiriöiden todennäköisyys vähenee. Tarkastelua varten ylläpidon ja huollon vuosikustannukseksi on valittu 3000 euroa

Lasketaan puupelletille todennäköinen hinnamuutos samalla tavalla kuin hakkeelle, eli seuraten 2010-luvun hinnankehitystä. Vuoden 2009 viimeinen arvonlisäveroton hinta puupelletille oli 43,44 €/MWh ja vuoden 2015 viimeinen hinta 46,77 €/MWh [15]. Näistä saadaan laskettua, että puupelletin hinta on noussut 2010-luvulla keskimäärin vain noin 1,24 prosenttia vuodessa.



Kuva 5.5 Puupelletin hinnalle erilaisia skenaarioita vuoteen 2026 asti [15]

Kuvassa 5.5 kuvataan puupelletin arvonlisäverottoman hinnan muutoksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kuvasta nähdään kuinka paljon hinnanmuutos voi vaikuttaa tulevaisuudessa puupelletin hintaan. Hinnat vaihtelevat 36,3 – 76,2 €/MWh välillä. Käyriä apuna käyttäen voidaan seuraavaksi kuvata, kuinka paljon kymmenen vuoden tarkastelujaksolla puupellettilämmityksen kumulatiiviset kokonaiskustannukset olisivat.



Kuva 5.6 Kumulatiiviset lämmityskustannukset puupelletin erilaisilla hinnanmuutoksen skenaarioilla

Kuvaan 5.6 on hahmoteltu kumulatiivisia lämmityskustannuksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kokonaiskustannuksiin on laskettu mukaan ylläpidon ja huollon, sekä puupelletin hankinnan kustannukset. Investointikustannukset on jaettu tasaisesti joka kuukaudelle. Myös puupelletin hankinta, sekä ylläpidon ja huollon kustannukset on yksinkertaistettu siten, että ne on jaettu tasan joka kuukaudelle.

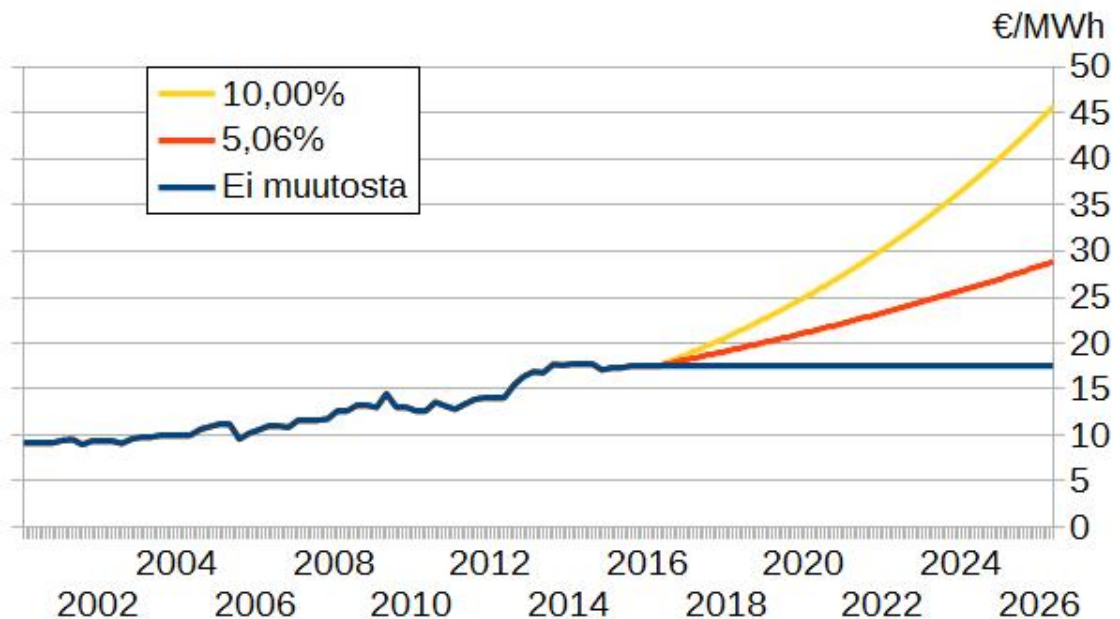
Kuvasta 5.6 näkee kuinka puupellettien hinnanmuutoksilla on vaikutusta kumulatiivisiin lämmityskustannuksiin. Tarkastelluilla skenaarioilla kustannukset vaihtelevat välillä 495 000 – 648 000 euroa. 2010-luvun hinnankehitystä noudattamalla, eli 1,24 prosentin jokavuotisella hinnannousulla saadaan kumulatiiviseksi lämmityskustannuksiksi noin 563 000 euroa.

## 5.4 Palaturve

Palaturpeella investointikustannukset ovat samat kuin hakkeella, koska erikseen palaturpeelle tarkoitettua laitteistoa ei ainakaan tästä kokoluokasta löytyne markkinoilta. Valitaan siis tarkasteluun investointikustannuksiksi 130 000 euroa, kuten hakkeella. Ylläpidon ja huollon kustannukset ovat todennäköisesti hieman suuremmat kuin hakkeella, sillä palaturpeen pöly aiheuttaa suuremman tulipaloriskin, jolloin siivoukseen tarve lisääntyy. Turve myös tuottaa enemmän tuhkaa, jolloin nuohouksen tarve lisääntyy. Tarkastelua varten ylläpidon ja huollon vuosikustannuksiksi palaturpeella valitaan 6000 euroa.

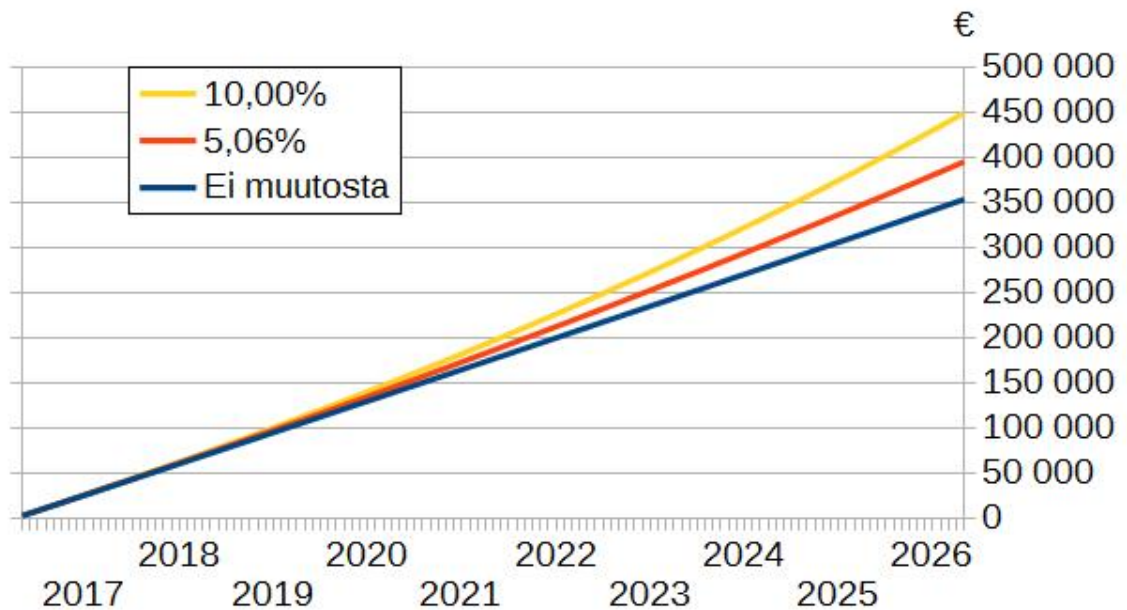


Lasketaan myös palaturpeelle hinnannousu samalla tavalla kuin hakkeelle seuraten 2010-luvun hinnankehitystä. Vuoden 2009 viimeinen arvonlisäveroton hinta palaturpeelle oli 13,11 €/MWh ja vuoden 2015 viimeinen hinta 17,63 €/MWh [12]. Näistä saadaan laskettua, että palaturpeen hinta on noussut 2010-luvulla keskimäärin noin 5,06 prosenttia vuodessa.



Kuva 5.7 Palaturpeen hinnalle erilaisia skenaarioita vuoteen 2026 asti [12]

Kuvassa 5.7 on kuvattu palaturpeen arvonlisäverottoman hinnan muutoksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kuvasta nähdään kuinka paljon hinnanmuutos voi vaikuttaa tulevaisuudessa palaturpeen hintaan. Hinnat vaihtelevat 17,7 – 45,7 €/MWh välillä. Kuvan tietoja apuna käyttäen voidaan seuraavaksi hahmotella, kuinka paljon kymmenen vuoden tarkastelujaksolla palaturvelämmityksen kumulatiiviset kokonaiskustannukset olisivat.



Kuva 5.8 Kumulatiiviset lämmityskustannukset palaturpeen erilaisilla hinnannuutoksen skenaarioilla

Kuvaan 5.8 on hahmoteltu kumulatiivisia lämmityskustannuksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kokonaiskustannuksiin on laskettu mukaan ylläpidon ja huollon, sekä palaturpeen hankinnan kustannukset. Investointikustannukset on jaettu tasaisesti joka kuukaudelle. Palaturpeenkin hankinta, sekä ylläpidon ja huollon kustannukset on yksinkertaistettu siten, että niiden kustannukset on jaettu tasan joka kuukaudelle.

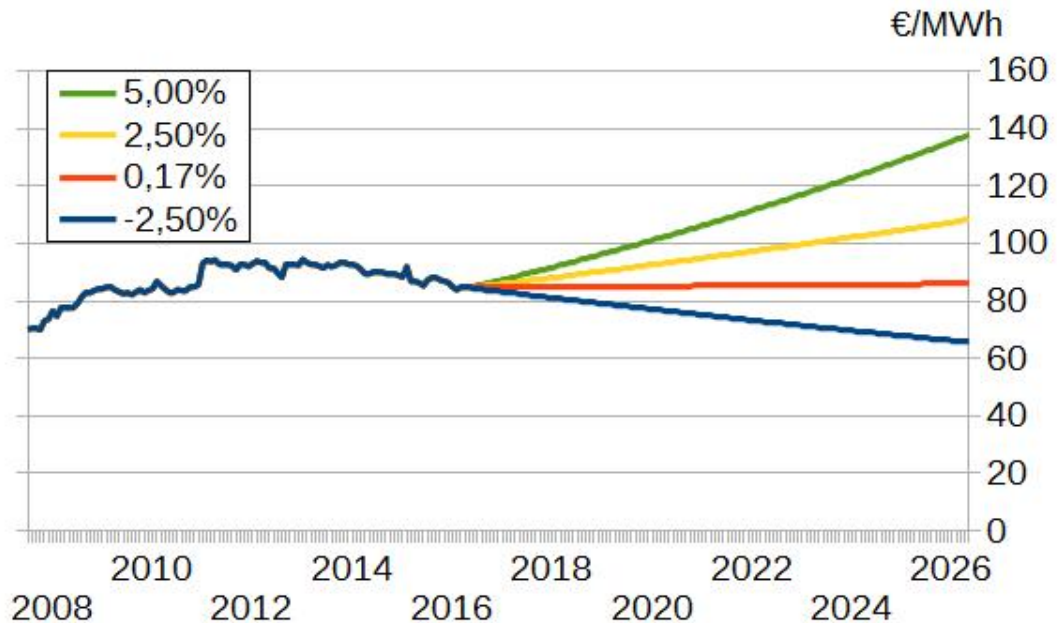
Kuvasta 5.8 selviää kuinka palaturpeen hinnannuutoksilla on vaikutusta kumulatiivisiin lämmityskustannuksiin. Tarkastelluilla skenaarioilla kustannukset vaihtelevat välillä 354 000 – 450 000 euroa. 2010-luvun hinnannehitystä noudattamalla, eli 5,06 prosentin jokavuotisella hinnannousulla saadaan kumulatiiviseksi lämmityskustannuksiksi noin 395 000 euroa.

## 5.5 Maalämpöpumppu

Loimaan Kivellä maalämpöpumpun lämmön keruunesteenä olisi toiminut Loimijoesta tuleva jäähdytysvesi, jolloin lämpökaivojen porausta ei olisi tarvinnut suorittaa. Yleistä vertailua varten tässä työssä kuitenkin lasketaan lämpökaivojen porauksesta aiheutuvat kustannukset investointikustannuksiin mukaan, joten investointikustannuksiksi maalämpöpumpulla valitaan 180 000 euroa.

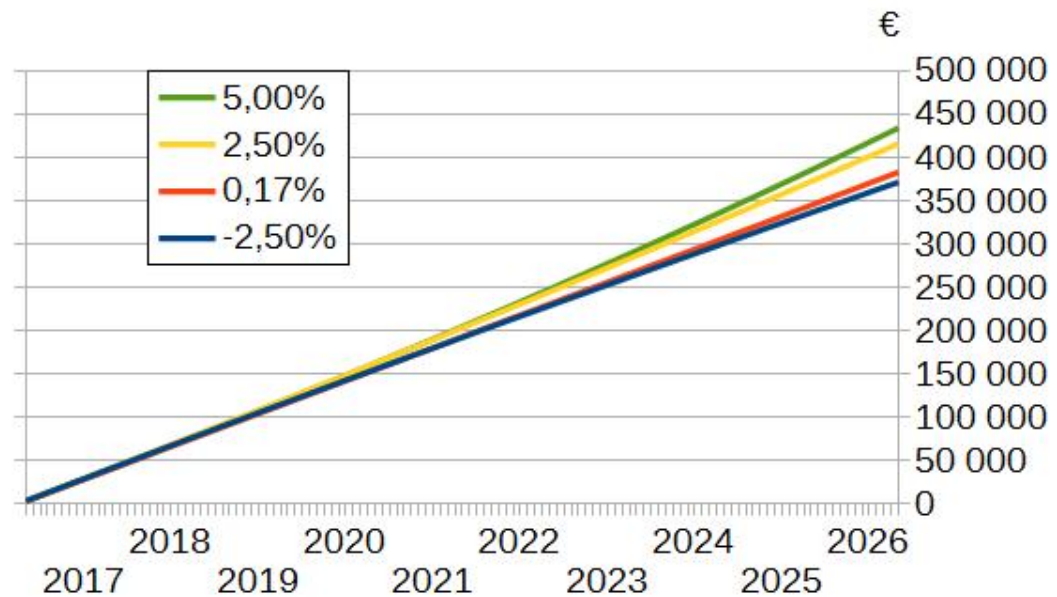
Ylläpito- ja huoltokustannukset ovat maalämpöpumpulla todennäköisesti alhaiset, joten tähän tarkasteluun ylläpidon ja huollon alkukustannukseksi vuodessa on valittu 1000 euroa.

Lasketaan myös sähkölle hinnannousu seuraten 2010-luvun hinnankehitystä. Vuoden 2009 viimeinen arvonlisäveroton hinta sähkölle T7 oli 83,7 €/MWh ja vuoden 2016 maaliskuun hinta oli 84,6 €/MWh [18]. Näistä saadaan laskettua, että sähkön T7 hinta on noussut 2010-luvulla keskimäärin vain noin 0,17 prosenttia vuodessa.



Kuva 5.9 Sähkön T7 hinnalle erilaisia skenaarioita vuoteen 2026 asti [18]

Kuvaan 5.9 on koottu sähkön T7 arvonlisäverottoman hinnan muutoksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kuvasta nähdään kuinka paljon hinnanmuutos voi vaikuttaa tulevaisuudessa sähkön hintaan. Hinnat vaihtelevat 65,7 – 137,8 €/MWh välillä. Kuvan tietoja apuna käyttäen seuraavaksi hahmotellaan, kuinka paljon kymmenen vuoden tarkastelujaksolla maalämpöpumppulämmityksen kumulatiiviset kokonaiskustannukset olisivat lämpökertoimella 3.



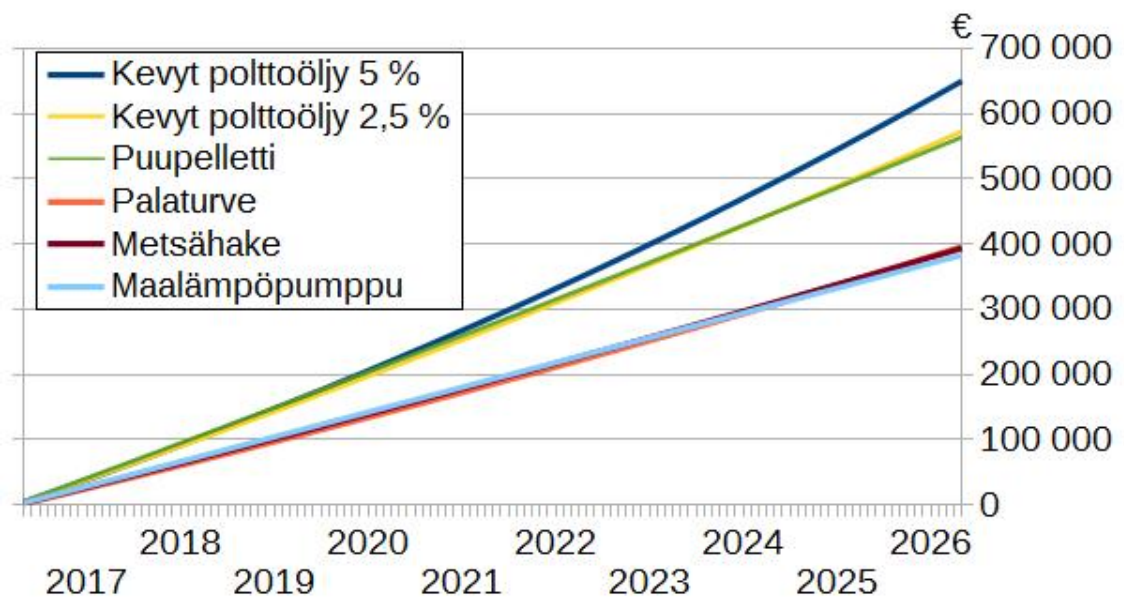
*Kuva 5.10 Kumulatiiviset lämmityskustannukset maalämpöpumpulla erilaisilla sähkön hinnanmuutoksen skenaarioilla*

Kuvaan 5.10 on kuvailtu maalämpöpumpun kumulatiivisia lämmityskustannuksia kymmenen vuotta eteenpäin vuoden 2016 toukokuusta alkaen. Kokonaiskustannuksiin on laskettu mukaan ylläpidon ja huollon, sekä sähkönhankinta kustannukset. Investointikustannukset on jaettu tasaisesti joka kuukaudelle. Sähkön hankinta, sekä maalämpöpumpun ylläpidon ja huollon kustannukset on yksinkertaistettu siten, että niiden kustannukset on jaettu tasan joka kuukaudelle.

Kuvasta 5.8 selviää kuinka sähkön T7 hinnanmuutoksilla on vaikutusta kumulatiivisiin lämmityskustannuksiin. Tarkastelluilla skenaarioilla kustannukset vaihtelevat välillä 371 000 – 434 000 euroa. 2010-luvun hinnankehitystä noudattamalla, eli 0,17 prosentin jokavuotisella hinnannousulla saadaan kumulatiiviseksi lämmityskustannuksiksi noin 383 000 euroa.

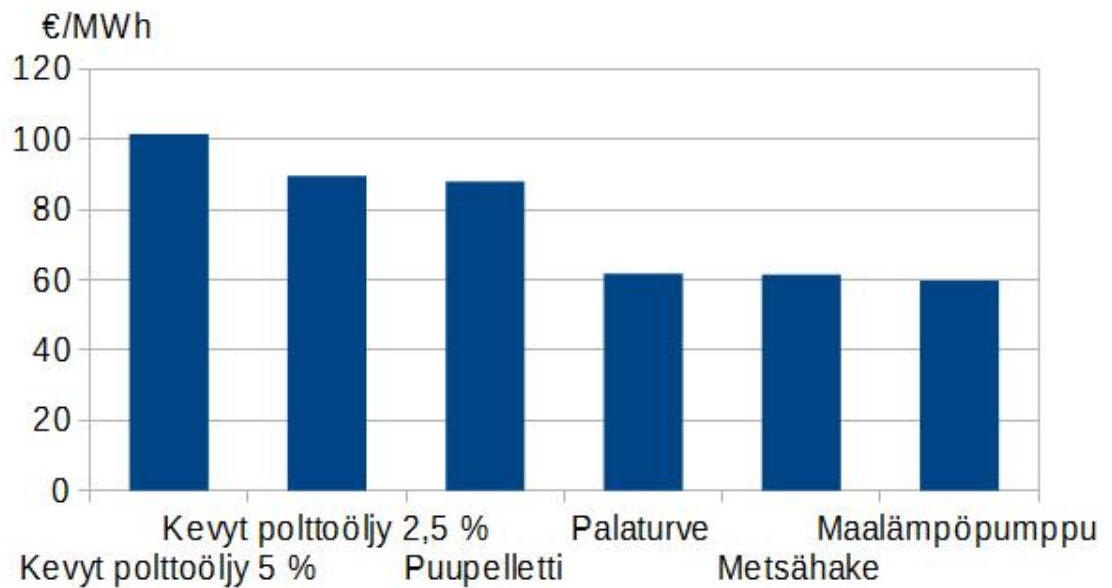
## 6 KUSTANNUSTEN VERTAILU

Eri lämmitysvaihtoehtojen kustannuksia vertailtaessa laajemmin, tulee ottaa huomioon työssä tehdyt oletukset. Yksinkertaistukset tekevät vertailuista helpommin ymmärrettäviä, mutta samalla virheiden määrä kasvaa. Aiemmin työssä on vertailtu sähkön ja eri polttoaineiden hinnanmuutoksen hahmotelmia, ja samalla nostettu esiin hinnan historiatietoihin perustuen todennäköinen skenaario, joilla eri lämmitystapojen kustannuksia verrataan. Nämä vuotuiset hinnankorotukset ovat kevyellä polttoöljyllä 5 %, hakkeella 2,66 %, puupelletillä 1,24 %, palaturpeella 5,06 % ja sähköllä 0,17 %. Lisäksi otetaan mukaan vertailuun skenaario, jossa kevyen polttoöljyn hinta nousisi vuodessa 2,5 %, koska öljyn hinnan kehitys on haastavinta ennustaa.



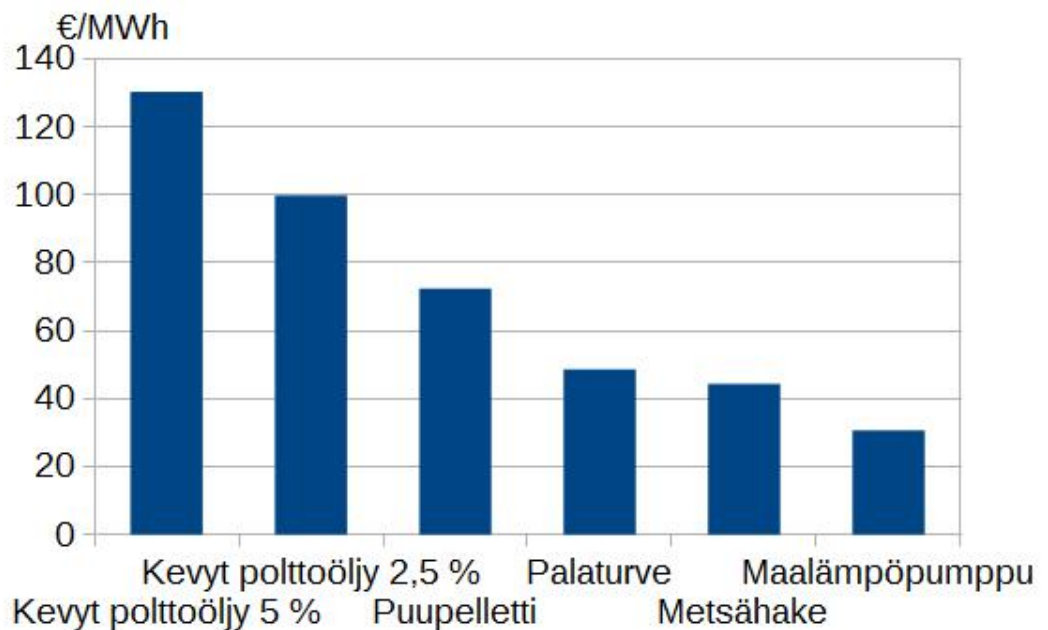
Kuva 6.1 Lämmitystapojen kokonaiskustannuksien kumulatiivista vertailua 10 vuoden ajanjaksolla

Kuvassa 6.1 on havainnointu kuinka valituin kriteerein eri lämmitystavat tulisivat kustantamaan 10 vuoden jaksossa. Maalämpöpumppu tulisi noin 11 000 euroa edullisemmaksi kuin toiseksi halvin metsähake. Palaturpeen kustannuskäyrä on lähes yhteneväinen metsähakkeen kanssa, joten sitä on kuvasta vaikea hahmottaa. Kevyt polttoöljy 5 %:n hinnannousulla näyttää olevan selvästi kallein vaihtoehto, samalla kun kevyt polttoöljy 2,5 %:n hinnannousulla on vain hieman puupellettiä kalliimpi.



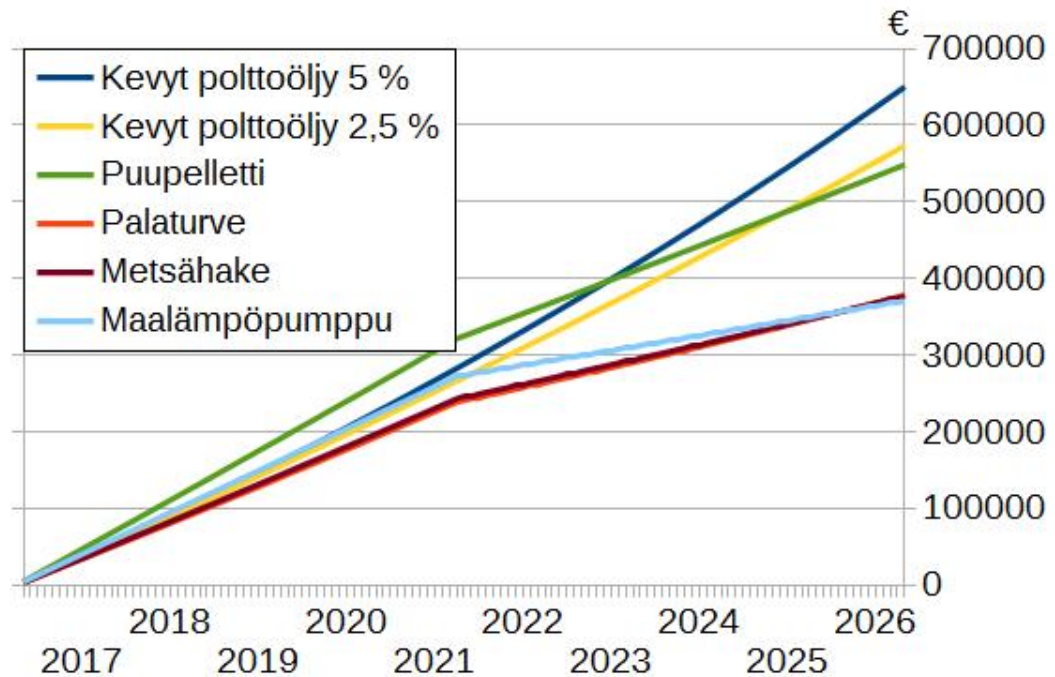
Kuva 6.2 Lämmitysenergian hinta keskimäärin ensimmäisen 10 vuoden aikana, kun kuoletusaika on 10 vuotta

Kuvassa 6.2 on lämmitysenergian keskimääräinen hinta MWh:a kohden ensimmäisen 10 vuoden aikana, kun investointi maksetaan kymmenessä vuodessa 5 prosentin korolla. Kuvan 6.2 hinnat on saatu jakamalla kuvan 6.1 tiedoista saatavat kumulatiiviset kustannukset 6400 MWh:lla.



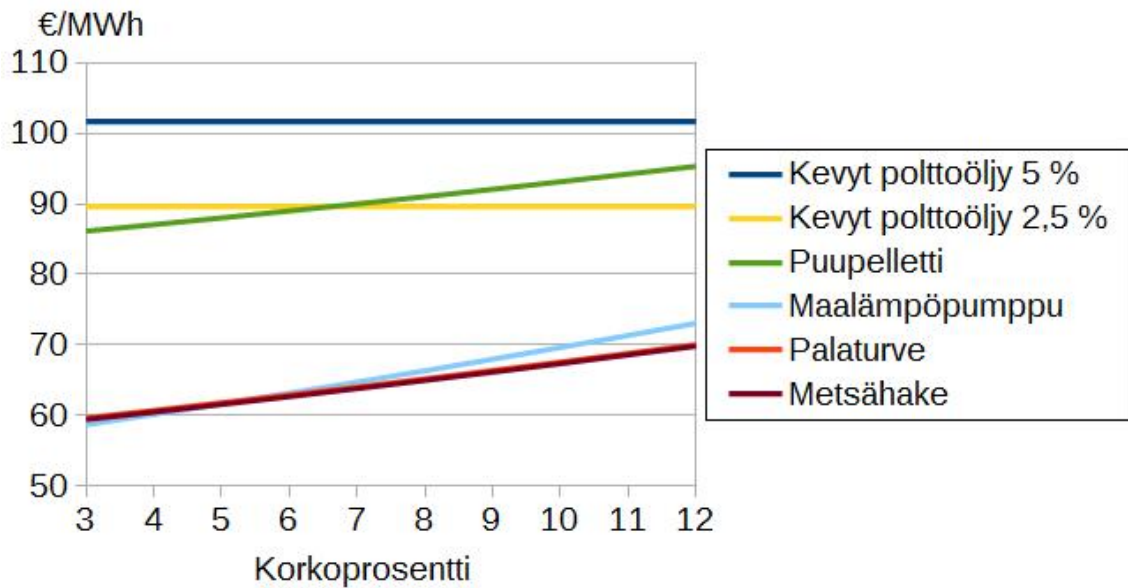
Kuva 6.3 Lämmitysenergioiden hinnat 11. vuotena investoinnista

Kuva 6.3 osoittaa millaiset ovat lämmitysenergioiden hinnat 11. vuotena investoinnista, kun investoinnit 10:n vuoden jälkeen kuoletettu. Maalämpöpumpulla on yli 90 €/MWh edullisempi lämmitteä 10 vuoden päästä, kuin kevyellä polttoöljyllä 5 %:n hinnanmuutoksella, kun investoinneista ei tarvitse enää maksaa.



Kuva 6.4 Kumulatiiviset kustannukset 10 vuoden aikana, kun investoinnin kuoletusaika on 5 vuotta

Kuvassa 6.4 on laskettu kumulatiiviset kustannukset 10 seuraavan vuoden ajalta, kun lainan korko on 5 % ja investoinnin kuoletusaika on 5 vuotta, jolloin annuiteettitekijäksi saadaan 0,2310. Kun kuvaa 6.4 vertaa kuvaan 6.1, voidaan havaita, että järjestys eri lämmitystapojen kumulatiivisissa kustannuksissa on pysynyt samana. Investoinnin nopeammasta maksusta johtuen korkoa tarvitsee maksaa vähemmän, jolloin muilla kuin kevyellä polttoöljyllä kumulatiiviset kustannukset laskevat hieman. Lisäksi kuva 6.4 osoittaa, että nopeasta investoinnin kuoletusajasta huolimatta, palaturpeen ja metsähakkeen kumulatiiviset kustannukset ovat jopa ensimmäisen viiden vuoden aikana alhaisemmat kuin kevyellä polttoöljyllä lämmitettäessä.



Kuva 6.5 Investoinnin korkoprosentin vaikutus lämmitysenergian hintaan

Kuvassa 6.5 on kuvattu kuinka investoinnille valittu korkoprosentti vaikuttaa lämmitysenergian hintaan eri lämmitysvaihtoehdoilla. Hinta kuvaa keskimääräistä lämmitysenergian hintaa 10 vuoden aikana, jolloin investointilainaa maksetaan takaisin. Tämän jälkeen lämmityshinnat ovat 11. vuonna kuvan 6.3 mukaiset. Kuvasta 6.5 nähdään kuinka maalämpöpumpun käyrä on jyrkin, johtuen suurimmasta alkuinvestoinnista. Maalämpöpumppu on myös ensimmäisen kymmenen vuoden aikana edullisin, kun korkoprosentti on alle 6. Puupelletillä lämmitysenergian hinta ylittää kevyen polttoöljyn 2,5 % hinnan noin 7 prosentin kohdalla, jolloin vain kymmentä vuotta tarkastellessa puupelletti ei olisi kannattava investointi yli 7 prosentin korolla.

Taulukko 6.1 Investointien takaisinmaksuaikoja

Lämmitysmuoto	Metsähake	Puupelletti	Palaturve	Maalämpöpumppu
Takaisinmaksuaika [vuotta]	3,42	8,35	3,15	5,03

Taulukkoon 6.1 on koottu investointien yksinkertaisia takaisinmaksuaikoja. Investointien suuruudet ovat samat kuin luvussa 5 annetut ja niistä on vähennetty 15 prosentin energiatuki, jonka jälkeen investoinnin loppuosuus on jaettu vuosittaisilla energian hankintakustannuksista saaduilla säästöillä. Vuosittaiset säästöt energian hankintakustannuksista on saatu suoraan taulukosta 3.4. Taulukosta 6.1 selviää, että takaisinmaksuajat ovat alle kymmenen vuotta lämmitysvaihtoehdoista riippumatta, vaikka kevyen polttoöljyn hintana on käytetty edullista 5/2016 saatua hintaa.

Valituilla arvoilla vertailua tehtäessä metsähake ja palaturve ovat lähes yhtä edullisia vaihtoehtoja. Maalämpöpumppu nousee kuitenkin edullisimmaksi lämmitysmuodoksi.



Kevyt polttoöljy on selkeästi kallein valituilla vuosittaisilla hinnankorotuksilla ja puupelletti jää selkeästi muiden väliin.

Edullisista vaihtoehdoista maalämpöpumppu pitäisi olla yksinkertaisin ja edullisin ylläpitää, joten maalämpöpumppu vaikuttaisi parhaalta vaihtoehdolta. Toisaalta jollain saattaa olla omaa metsää, jolloin hakkeen polttoainekustannukset laskisivat entisestään, josta seuraisi että hakelämmitys olisi luonnollisempi vaihtoehto. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä suuremmasta lämmöntarpeesta on kysymys, niin sitä edullisemmat polttoainekustannukset kannattaa valita.

Lämmityksen valinta on monelle tunnekysymys, jolloin taloudelliset näkökulmat jäävät vähemmälle huomiolle. Myös naapureiden kokemukset jostakin lämmitysmuodosta voivat vaikuttaa päätökseen, vaikka naapurin lämmitysjärjestelmä ei vastaisikaan nykylaitteiden automaatiotasoa.

## 7 YHTEENVETO

Työn tarkoitus oli selvittää taloudellinen ja vähän ylläpitoa vaativa lämmitysjärjestelmä Loimaan Kivi Oy:n tehdasalueelle nykyisen öljylämmityksen tilalle. Aluksi työssä tutustuttiin nykyiseen öljylämmitykseen, sekä lämmitettävien rakennuksien kokoon ja tavoiteltuihin lämpötiloihin. Tämän jälkeen selvitettiin kuinka suuri huipputeho uudella lämmityslaitteistolla olisi hyvä olla, tutkimalla lämmitysöljyn kulutusta eri lämmityskausilla ja vertaamalla näitä kulutuslukemia lämmitystarvelukuihin. Vertailusta tehtiin johtopäätös, että keskimääräisillä lämmityskauden lämpötiloilla kevyen polttoöljyn kulutus olisi noin 80 000 litraa. Kevyen polttoöljyn kulutuksesta johdettiin vielä lopuksi, että kattavan polttolaitoksen teho olisi hyvä olla 500 kW.

Seuraavaksi työssä keskityttiin eri lämmitysvaihtoehtojen energiatuotteiden vertailuun. Lämmitysvaihtoehtoja olivat nykyinen öljylämmitys, puuhake, puupelletti, palaturve ja maalämpöpumppu. Vertailussa käytiin lävitse energiatuotteiden hankinnan kustannuksia, sekä tilantarvetta. Energiatuotteita verrattiin toisiinsa myös yleisimpien päästöjen osalta, sekä todettiin, että päästöt laskevat hyvällä polttotekniikalla.

Laitevertailussa tutkittiin kuinka eri energialähteillä tuotettu lämpö vaikuttaa lämmityslaitteistoon ja tutustuttiin laitteiden tekniikkaan lähemmin. Laitteistoista löytyi paljon samaa ja hakkeelle suunnitellut kokonaisuudet sopivatkin myös useimpien muiden kiinteiden polttoaineiden polttamiseen. Samalla käytiin lävitse, että mitä eri automaatiota lisääviä lisälaitteita on saatavissa polttolaitoksiin. Maalämpöpumpusta tutkittiin tekniikan lisäksi Loimaan Kiven erikoisuus, jossa lämpö voitaisiin ottaa talteen jäähdytysvedestä, lämpökaivojen sijaan.

Vaihtoehtojen taloudellisessa vertailussa kustannukset jaettiin kolmeen osaan: alkuinvestointiin, polttoaineen/sähkön hankintakustannuksiin, sekä ylläpidon ja huollon kustannuksiin. Kustannukset yhdistämällä saatiin erilaisilla polttoaineen/sähkön hinnanmuutoksilla laskettua kumulatiiviset lämmityskustannukset eri lämmitystavoilla.

Viimeisenä eri energialähtein toteutettuja lämmityskustannuksia verrattiin toisiinsa todennäköisimpien polttoaineen/sähkön hinnanmuutoksilla. Vertailua tehtiin pääasiassa 10 vuoden ajalta, jona aikana investointilaina maksettaisiin takaisin. Lisäksi tutkittiin lainan korkoprosentin vaikutusta lämmitysenergian hintaan ja lopuksi vielä laskettiin yksinkertaiset investoinnin takaisinmaksuajat nykyisillä energian hinnoilla.

Lopuksi työssä oli vielä tarkoitus tarkastella Loimaan Kivellä käyttöön otettavaa lämmityslaitteistoa tarkemmin, mutta muuttuneiden olosuhteiden johdosta Loimaan Kivellä on päätetty jatkaa olemassa olevalla öljylämmityksellä. Mahdollisen tai jopa

todennäköisen öljynhinnan nousun yhteydessä Loimaallakin luultavasti palataan pohtimaan uudestaan parasta vaihtoehtoa.

# LÄHTEET

- [1] Teknologian tutkimuskeskus VTT [WWW]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa: [http://www.lowcarbonplatform.fi/docs/Kuluttajakysely\\_VTTLowCarbonFinland2050\\_platform\\_esitys.pdf](http://www.lowcarbonplatform.fi/docs/Kuluttajakysely_VTTLowCarbonFinland2050_platform_esitys.pdf)
- [2] Loimaan Kivi [WWW]. [viitattu 10.11.2014]. Saatavissa: <http://www.loimaankivi.fi/index.php>
- [3] Motiva [WWW]. [viitattu 26.11.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden\\_lampoarvot\\_hyotysuhteet\\_ja\\_hiili\\_dioksidin\\_ominaispaastokertoimet\\_seka\\_energiahinnat\\_19042010.pdf](http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiili_dioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energiahinnat_19042010.pdf)
- [4] Öljy- ja biopolttoaineala ry [WWW]. [viitattu 21.6.2016]. Saatavissa: <https://docs.google.com/spreadsheets/pub?key=0AtY24-4zRprtdEVxWlpnYUpqOGRHcWRYb3VZMi1ZQkE&single=true&gid=4&output=html>
- [5] Ilmatieteen laitos [WWW]. [viitattu 25.2.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
- [6] Wikipedia [WWW]. [viitattu 4.5.2015]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ominaisl%C3%A4mp%C3%B6kapasiteetti>
- [7] Bioenergianeuvoja.fi [WWW]. [viitattu 18.5.2015]. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biolampolaitos/energia-kulutus-ja-tehon-tarve/>
- [8] VTT [WWW]. [viitattu 12.12.2014]. Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>
- [9] Öljy- ja biopolttoaineala ry [WWW]. [viitattu 23.5.2016]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/12-oljytuotteiden-kuluttajahintojen-kehitys>
- [10] Puupolttoaineiden laatuohje [WWW]. [viitattu 8.6.2016]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/paivitetty\\_puupolttoaineidenlaatuohje2014\\_lisays\\_0.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/paivitetty_puupolttoaineidenlaatuohje2014_lisays_0.pdf)
- [11] Wikipedia [WWW]. [viitattu 29.4.2015]. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Puupolttoaine#/media/File:Woodchips\\_for\\_paper\\_production.jpg](http://fi.wikipedia.org/wiki/Puupolttoaine#/media/File:Woodchips_for_paper_production.jpg)

- [12] Suomen virallinen tilasto (SVT) [WWW]. [viitattu 27.5.2016]. Saatavissa: [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehi/020\\_ehi\\_tau\\_102\\_fi.px/?rxid=c3608972-dd21-428c-85f3-0c8397545d78](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/020_ehi_tau_102_fi.px/?rxid=c3608972-dd21-428c-85f3-0c8397545d78)
- [13] Bioenergia ry [WWW]. [viitattu 4.5.2015]. Saatavissa: <http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>
- [14] Bioenergia ry [WWW]. [viitattu 4.5.2015]. Saatavissa: [http://www.pellettienergia.fi/\\_ACC/\\_components/GetImage.asp?fileID=64afeed3a410cde924648becd4964c4f&title=perussivut/valmistusprosessi.jpg](http://www.pellettienergia.fi/_ACC/_components/GetImage.asp?fileID=64afeed3a410cde924648becd4964c4f&title=perussivut/valmistusprosessi.jpg)
- [15] Suomen virallinen tilasto (SVT) [WWW]. [viitattu 3.6.2016]. Saatavissa: [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehi/090\\_ehi\\_tau\\_109\\_fi.px/?rxid=c3608972-dd21-428c-85f3-0c8397545d78](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/090_ehi_tau_109_fi.px/?rxid=c3608972-dd21-428c-85f3-0c8397545d78)
- [16] Vapo Oy [WWW]. [viitattu 6.5.2015]. Saatavissa: [http://www.vapo.fi/filebank/2205-VAPO\\_tuoteseloste\\_TURVEPELLETTI\\_2015.pdf](http://www.vapo.fi/filebank/2205-VAPO_tuoteseloste_TURVEPELLETTI_2015.pdf)
- [17] Agrimarket [WWW]. [viitattu 7.6.2016]. Saatavissa: [http://www.agrimarket.fi/Maatalous\\_ja\\_metsa/polttoaineet/turvepelletti/turvepelletti-irto/](http://www.agrimarket.fi/Maatalous_ja_metsa/polttoaineet/turvepelletti/turvepelletti-irto/)
- [18] Suomen virallinen tilasto (SVT) [WWW]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa: [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehi/050\\_ehi\\_tau\\_105\\_fi.px/?rxid=76e495c9-83cf-4120-89cb-207435e46dab](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/050_ehi_tau_105_fi.px/?rxid=76e495c9-83cf-4120-89cb-207435e46dab)
- [19] Ympäristöministeriö [WWW]. [viitattu 13.6.2016]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-fi/ymparisto/ilmasto\\_ja\\_ilma/ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Kioto\\_n\\_poytakirja](http://www.ym.fi/fi-fi/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/ilmastonmuutoksen_hillitseminen/kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioto_n_poytakirja)
- [20] Motiva [WWW]. [viitattu 18.6.2016]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto\\_suomessa/co2-laskentaohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet)
- [21] Energiateollisuus [WWW]. [viitattu 15.6.2016]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/happamoituminen>
- [22] Terveiden ja hyvinvoinnin laitos [WWW]. [viitattu 18.6.2016]. Saatavissa: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/puunpoltto>
- [23] Wikispaces [WWW]. [viitattu 26.4.2015]. Saatavissa: [http://lvip10sag.wikispaces.com/file/view/Animaatio\\_Case\\_1\\_Poltin\\_toiminta.gif/196754850/Animaatio\\_Case\\_1\\_Poltin\\_toiminta.gif](http://lvip10sag.wikispaces.com/file/view/Animaatio_Case_1_Poltin_toiminta.gif/196754850/Animaatio_Case_1_Poltin_toiminta.gif)

- [24] Y-Agro Oy [WWW]. [viitattu 4.6.2015]. Saatavissa: [http://www.yrma.net/multimedia/Mepu\\_biolampokontit\\_-\\_esite.pdf](http://www.yrma.net/multimedia/Mepu_biolampokontit_-_esite.pdf)
- [25] Agrimarket [WWW]. [viitattu 18.6.2015]. Saatavissa: <http://www.digipaper.fi/agrimarket/60725/index.php?pgnumb=2>
- [26] Kardonar [WWW]. [viitattu 23.6.2015]. Saatavissa: <http://www.kardonar.com/twinheatfi.html>
- [27] Biofire [WWW]. [viitattu 26.8.2015]. Saatavissa: [http://www.biofire.fi/sites/biofire.fi/files/pictures/kesko-biofire\\_tuotelehti\\_01-2014\\_web\\_s.8.pdf](http://www.biofire.fi/sites/biofire.fi/files/pictures/kesko-biofire_tuotelehti_01-2014_web_s.8.pdf)
- [28] Dust Control Systems Oy [WWW]. [viitattu 24.9.2015]. Saatavissa: [http://www.dcs.fi/ext/cms3/attachments/fclea-07.05\\_fi.pdf](http://www.dcs.fi/ext/cms3/attachments/fclea-07.05_fi.pdf)
- [29] Motiva Oy [WWW]. [viitattu 2.11.2015]. Saatavissa: [http://www.energiatehokaskoti.fi/files/449/pellettilammitysopas\\_Perustietoa\\_pellettilammituksesta.pdf](http://www.energiatehokaskoti.fi/files/449/pellettilammitysopas_Perustietoa_pellettilammituksesta.pdf)
- [30] HINKUmappi [WWW]. [viitattu 11.8.2015]. Saatavissa: [https://www.wp5.ymparisto.fi/Output/hinku/3e5fa236-acef-4d18-a7a1-45a06675b405\\_Mannerj%C3%A4rven%20siilo.jpg](https://www.wp5.ymparisto.fi/Output/hinku/3e5fa236-acef-4d18-a7a1-45a06675b405_Mannerj%C3%A4rven%20siilo.jpg)
- [31] Ariterm [WWW]. [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: [http://195.67.82.150/ariterm/Pellettiesite\\_8.2009\\_web2.pdf](http://195.67.82.150/ariterm/Pellettiesite_8.2009_web2.pdf)
- [32] Reifenberg-shop [WWW]. [viitattu 18.3.2016]. Saatavissa: <http://www.reifenberg-shop.de/Effecta-Supra-Aero-Pelletheizungs-Brenner-30-kW-mit-selbstreinigenden-Brenner>
- [33] EcoTec [WWW]. [viitattu 24.3.2016]. Saatavissa: [http://www.kruse.st/pellets/ecotec/SEA3\\_INST.pdf](http://www.kruse.st/pellets/ecotec/SEA3_INST.pdf)
- [34] Ariterm [WWW]. [viitattu 11.4.2016]. Saatavissa: <http://www.ariterm.fi/lammitysratkaisut/jarjestelmakomponentit/biopolttimet/biojet/>
- [35] Lännen ilmatekniikka [WWW]. [viitattu 26.6.2016]. Saatavissa: <http://www.lannenilmatekniikka.fi/pdf/Lampopumpputyypit.pdf>
- [36] Öljy- ja biopolttoaineala ry [WWW]. [viitattu 20.6.2016]. Saatavissa: [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MnrDYPNhXOucVRe9tMF\\_x1WshYP46q1o5Oq2TnHnJiA/pub?single=true&gid=4&output=html](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MnrDYPNhXOucVRe9tMF_x1WshYP46q1o5Oq2TnHnJiA/pub?single=true&gid=4&output=html)
- [37] Suomen virallinen tilasto (SVT) [WWW]. [viitattu 20.6.2016]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khi/2016/05/khi\\_2016\\_05\\_2016-06-14\\_tau\\_004\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khi/2016/05/khi_2016_05_2016-06-14_tau_004_fi.html)