

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Kandidaatintyö:

Pienet biopolttoainekattilat

Työn tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Professori Esa Vakkilainen

Lappeenranta 19.12.2013

Ralf Ahlqvist

## **TIIVISTELMÄ**

Tekijän nimi: Ralf Ahlqvist

Opinnäytteen nimi: Pienet biopolttoainekattilat

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2013

43 sivua, 12 kuvaa, 8 taulukkoa

Hakusanat: arinakattila, biopolttoaine, leijukerroskattila, uusiutuva energia

Tässä työssä selvitetään mitä kattilatyyppejä käytetään biopolttoainekattiloissa joiden lämpöteho on alle 30 MW. Näiden kattilatyyppeiden toimintaperiaate esitellään ja tutustaan suurimpien Suomessa toimivien kattilavalmistajien tuotteisiin ja referensseihin. Lisäksi työn alussa kerrotaan, että biopolttoaineiden käytön lisäämisen taustalla ovat EU:n asettamat tavoitteet hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, uusiutuvan energian osuuden lisäämisessä energiantuotannossa ja energiaomavaraisuuden parantamisessa. Tämän jälkeen esitellään sitä, kuinka tällä hetkellä energiantuotannossa keskitytään kivihiilen korvaamiseen erilaisilla biopolttoaineilla, joista tärkein on metsähake.

Pienitehoiset biopolttoainekattilat ovat rakenteeltaan joko arina- tai leijukerroskattiloita ja ne tuottavat joko ainoastaan lämpöä tai lämpöä ja sähköä yhteistuotantona. Näistä kattilatyypeistä arinakattilat ovat halvempia ja yksinkertaisempia, kun taas leijukerroskattiloiden päästöt ovat alhaisempia ja niissä voidaan polttaa matalamman lämpöarvon polttoaineita. Leijukerroskattiloita käytetäänkin kokoluokkaa isommissa laitoksissa. Valmistajien referenssien mukaan näiden kattilatyyppeiden kysyntä on ollut Suomessa kahden viime vuoden aikana melkein yhtä suurta.

Neljä suurinta Suomessa toimivaa valmistajaa, joilla on valikoimissaan pienitehoisia biopolttoainekattiloita, ovat OMP Energy (entinen Vapor), MW Power, KPA Unicon ja Renewa. Näistä valmistajista KPA Unicon tekee ainoastaan arinakattiloita, muut valmistavat sekä arina- että leijukerroskattiloita.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>Symboli- ja lyhenneluettelo</b>	<b>3</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2 Bioenergian käytön lisäämisen syyt</b>	<b>5</b>
2.1 Päästötavoitteet.....	5
2.2 Uusiutuvan energian tavoitteet.....	6
2.3 Energiaomavaraisuus.....	8
<b>3 Bioenergian lisääminen sähkön- ja lämmöntuotannossa</b>	<b>10</b>
3.1 Korvattavat ja korvaavat polttoaineet.....	11
3.2 Bioenergian osuuden kasvattaminen kattiloissa.....	11
<b>4 Arinakattilat</b>	<b>13</b>
4.1 Jaottelu.....	13
4.2 Toimintaperiaate.....	15
4.3 Käytetyt polttoaineet ja niiden ominaisuudet.....	17
4.4 Eri valmistajien kattilat .....	18
4.4.1 OMP Energy .....	18
4.4.2 MW Power .....	19
4.4.3 KPA Unicon.....	22
4.4.4 Renewa.....	24
4.5 Tyypillisiä viimeaikaisia kattilatoimituksia .....	25
<b>5 Leijukattilat</b>	<b>26</b>
5.1 Toimintaperiaate ja jaottelu .....	26
5.1.1 Leijukerroskattilat .....	28
5.2 Eri valmistajien kattilat .....	31
5.2.1 OMP Energy .....	31
5.2.2 MW Power .....	33
5.2.3 Renewa.....	34
5.3 Tyypillisiä viimeaikaisia kattilatoimituksia .....	36
<b>6 Yhteenveto</b>	<b>38</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>40</b>

## **SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

### **Alaindeksit**

e sähköteho

th lämpöteho

## 1 JOHDANTO

Biopolttoaineet ovat biomassasta valmistettuja polttoaineita. Niiden määritelmään kuuluu vaatimus siitä, että raaka-aineena käytettävää biomassaa syntyy enemmän kuin sitä käytetään. Toinen biopolttoaineiden keskeinen ominaisuus on hiilineutraalius, mikä aiheutuu siitä, että poltossa vapautuva hiilidioksidi sitoutuu takaisin uuteen biomassaan sen kasvuvaiheessa.

Vaikka biopolttoaineista puhutaan nykyään paljon ja niitä pidetään tulevaisuuden energianlähteinä, ne eivät ole uusi keksintö vaan niitä on käytetty jo tuhansia vuosia. Alun perin biopolttoaineita käytettiin lämmön ja valon aikaansaamiseksi ja ne olivat ainoa käytettävissä oleva polttoainevaihtoehto. Tähän toi muutoksen tekniikan kehitys teollistumisen aikana, mikä mahdollisti myös fossiilisten polttoaineiden käytön.

Suomen tämän hetkisestä energiantarpeesta biopolttoaineet kattavat noin viidenneksen, mutta niiden merkitys ja osuus energiantuotannossa tulevat jo lähitulevaisuudessa kasvamaan, sillä niillä on tärkeä osa ilmastonmuutoksen hillinnässä. Kansainvälisesti ja kansallisesti onkin asetettu monia eri tavoitteita biopolttoaineiden osuuksien lisäämiseksi energianlähteinä ja näitä tavoitteita tukemaan on laadittu monia erilaisia lakeja ja asetuksia.

Tämän työn tavoitteena on perehtyä erilaisiin biopolttoainetta käyttäviin kattiloihin ja antaa yleiskuva eri valmistajien tarjoamista kattilavaihtoehdoista sekä selvittää kuinka paljon ja minkä tyyppisiä kattiloita nämä valmistajat ovat toimittaneet viimeisen kahden vuoden aikana. Työn alussa tutustutaan lisäksi tarkemmin biopolttoaineiden käytön lisäämisen syihin ja esitellään keinoja tämän lisäyksen toteuttamiseen käytännössä.

Eritehoisia kattiloita ja niiden valmistajia on olemassa lukuisia ympäri maailman, mutta tässä työssä keskitytään suurimpien suomalaisten valmistajien kattiloihin, joiden lämpöteho on 1-30 MW.

## **2 BIONERGIAN KÄYTÖN LISÄÄMISEN SYYT**

Bioenergian käytön lisäämisen syyt on ilmaistu Suomen hallituksen vuonna 2011 tekemässä hallitusohjelmassa, jossa luvataan lisätä bioenergian käyttöä. Tällä lisäyksellä hallitus haluaa parantaa sähköntuotannon omavaraisuutta, vähentää öljyriippuvuutta ja saavuttaa EU:n asettamat päästötavoitteet. [VNK 2011, 41-42, 74].

### **2.1 Päästötavoitteet**

EU:n asettamissa päästötavoitteissa keskeisin päämäärä on rajata maapallon keskilämpötilan nousu alle kahteen asteeseen. EU:n tekemien laskelmien mukaan tämä edellyttää maailmanlaajuisten kasvihuonekaasupäästöjen puolittamista vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Teollisuusmaille tämä vaatimus tarkoittaa 60-80 prosentin päästövähennyksiä vuoden 2005 tasosta vuoteen 2050 mennessä. [TEM 2008, 13-14].

Edellä mainitun päämäärän saavuttamiseksi EU on asettanut yksipuolisen sitoumuksen vähentää kasvihuonepäästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. [European Commission]. Tämä päästöjen vähennystavoite on jaettu päästökauppaan kuuluvan ja sen ulkopuolisen sektorin kesken. Päästökauppaan kuuluvat mm. sähkön- ja kaukolämmöntuotanto sekä energiavaltainen teollisuus. Päästökaupan ulkopuoliseen sektoriin taas kuuluvat mm. talokohtainen lämmitys, liikenne ja maatalous. Näistä sektoreista päästökauppaan tavoite on EU-tason tavoite, eli jokaisen maan tulisi vähentää päästökauppaan kuuluvan sektorin päästöjä samalla prosenttiosuudella, kun taas päästökaupan ulkopuolisen sektorin vähennystavoite on jaettu eri maiden kesken. Päästökauppaan kuuluvan sektorin tavoitteeksi vuoteen 2020 mennessä on asetettu 21 prosentin päästövähennys vuoden 2005 tasoon verrattuna, kun taas päästökaupan ulkopuolisen sektorin vähennystavoite on koko EU:n alueella 10 prosenttia saman vuoden tasoon verrattuna. Suomen vähennystavoitteeksi päästökaupan ulkopuolisella sektorilla on asetettu 16 prosenttia. Nämä tavoitteet on koottu alla olevaan taulukkoon (taulukko 1). [TEM 2013b, 11-12].

**Taulukko 1.** EU:n energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020 [TEM 2013b, 11]

Tavoitteet vuodelle 2020	EU	Suomi
Kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite vuoden 1990 tasosta	-20 %	EU tason tavoite
Päästökauppasektorin vähennystavoite vuoden 2005 tasosta	- 21 %	EU tason tavoite
Päästökaupan ulkopuolisen sektorin vähennystavoite vuoden 2005 tasosta	-10 %	-16 %

Tavoitteiden saavuttamiseksi käytetään kummallakin sektorilla erilaisia kansallisia ja EU:n laajuisia ohjauskeinoja kuten veroja, veroluontoisia maksuja ja erilaisia tukia. Lisäksi päästökauppasektorilla on käytössä päästökauppajärjestelmä. [TEM 2008, 15, 53].

EU on myös luvannut nostaa kasvihuonepäästöjen vähennystavoitetta 30 prosenttiin, jos muut suuret kehittyneet ja kehittyvät maat sitoutuvat tekemään oman osansa päästöjen vähennyksessä. [European Commission].

## 2.2 Uusiutuvan energian tavoitteet

Uusiutuvien energianlähteiden tavoitteeksi koko EU:ssa on asetettu 20 prosentin osuus energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Tämä tavoite on jaettu jäsenvaltioiden yksittäisiksi tavoitteiksi ottamalla huomioon niiden erilaiset lähtökohdat ja valmiudet sekä erilaisten energianlähteiden käytön nykytaso. Suomen tavoitteeksi uusiutuville energianlähteille EU on asettanut 38 prosentin osuuden. [2009/29/EY, 17-18, 46]. Vuonna 2011 uusiutuvien osuus koko EU:n energiankulutuksesta oli 13,0 prosenttia, joten lisäystä tarvitaan vielä 7,0 prosenttiyksikköä. Suomessa tämä osuus

vuonna 2011 oli 31,8 prosenttia, jolloin lisäystarpeeksi saadaan 6,2 prosenttiyksikköä. [Eurostat].

Yksi tärkeimmistä keinoista EU:n laajuisen tavoitteen saavuttamiseksi on velvoite siitä, että jokaisen jäsenmaan liikenteessä uusiutuvien energianlähteiden osuus energiankulutuksesta tulee olla vähintään 10 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Tämä velvoite saavutetaan lisäämällä kestäväällä tavalla tuotettua biopolttoainetta bensiiniin ja dieseliin. [2009/29/EY, 17]. Muita suuren lisäyspotentialin omaavia uusiutuvan energian lähteitä EU:n tasolla ovat tuulivoima, kiinteä biomassa ja biokaasu [Euroopan yhteisöjen komissio 2007, 22-23].

Suomessa suurin uusiutuvan energian lisäyspotentiali tulee liikenteen ja lämmityksen biopolttoaineiden lisäksi metsähakkeesta ja tuulivoimasta. Metsähakkeen ensisijaisia käyttökohteita ovat teollisuuden kattilat, kaukolämpövoimalaitokset ja erilliset lämpökeskukset. Lisäksi pientä lisäämispotentiaalia on lämpöpumpuissa, puupelleteissä ja maatalouspohjaisessa bioenergiassa, kuten erilaisissa kasvimassoissa. Näistä puupellettejä ja maatalouspohjaista bioenergiaa voidaan käyttää myös voimalaitoskoon energiantuotannossa, kun taas lämpöpumppujen käyttö tapahtuu suurimmaksi osaksi kotitalouksissa. [TEM 2008, 37-41].

Alla olevaan taulukkoon (taulukko 2) on koottu energialähteittäin Suomessa tapahtuva uusiutuvan energian kokonaiskulutus perusskenaariossa, joka kuvaa jo päätettyjen poliittisten toimenpiteiden vaikutusta ja jolla voidaan arvioida mahdollisten lisätoimenpiteiden tarvetta tulevaisuudessa. Taulukkoon on päivitetty tilanne vuoden 2008 strategiasta, jonka tietoja on käytetty edellä. Muutokset tähän strategiaan ovat pieniä. [TEM 2013a, 13].



**Taulukko 2.** Energian kokonaiskulutus energialähteittäin perusskenaariossa [TEM 2013a, 39]

	2010 [TWh/a]	2020 [TWh/a]
Jäteliemet	38	39
Kuori ja jätepuu	18	18
Metsähake sähkön ja lämmön tuotannossa	14	25
Puun pienkäyttö	18	15
Pelletit	0,8	1,0
Vesivoima	13	14
Tuulivoima	0,3	6,0
<b>Energian kokonaiskulutus</b>	<b>407</b>	<b>433</b>

### 2.3 Energiaomavaraisuus

Valtioneuvoston vuonna 2008 tekemässä pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa korostetaan nyky-yhteiskunnan riippuvuutta energian saatavuudesta ja energiajärjestelmien luotettavasta toiminnasta sekä kerrotaan energian saannin turvaamisen olevan energiapolitiikan keskeisimpiä toimenpiteitä niin EU:ssa kuin Suomessakin. Strategiassa korostetaan Suomen riippuvuutta energian tuonnista, mainiten erityisesti öljyn, hiilen, maakaasun ja uraanin hankinta, joissa Suomi on täysin tuonnin varassa. [TEM 2008, 30].

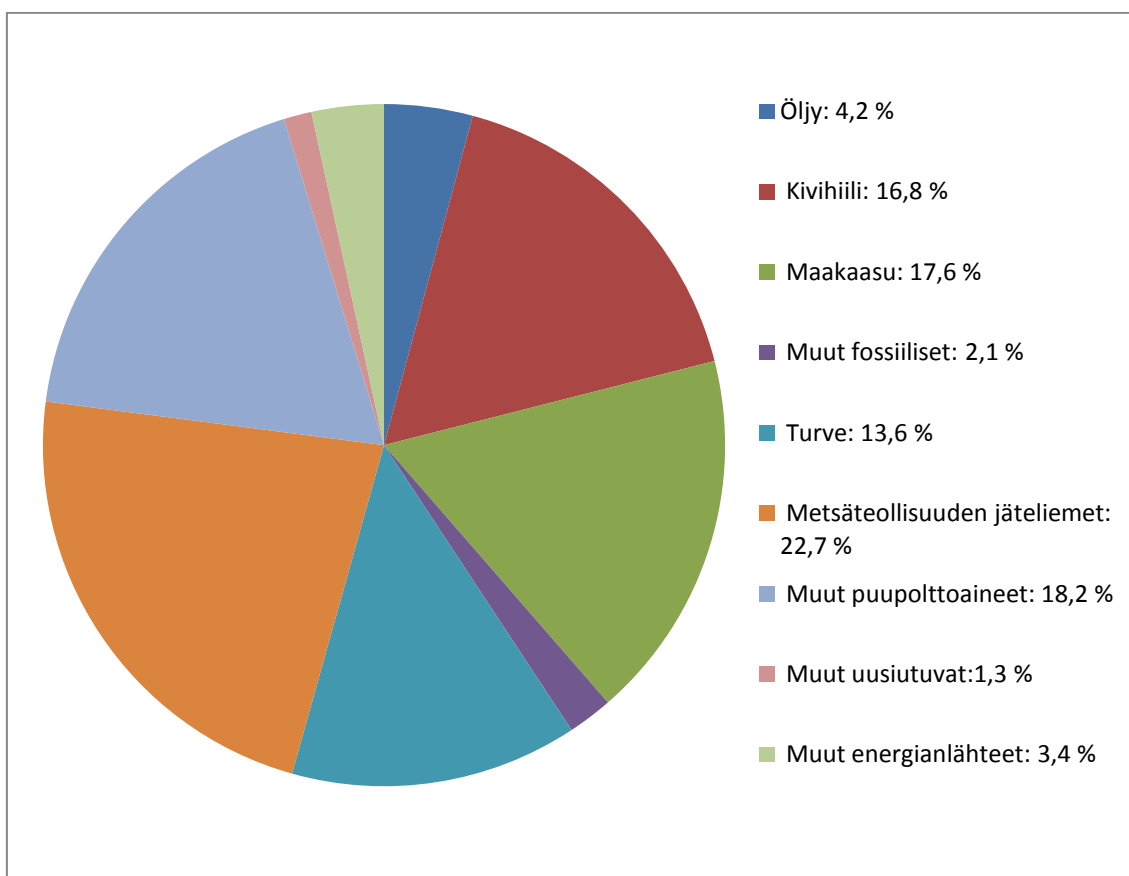
Sama tilanne toistuu myös koko EU:n alueella, jossa yhteensä 91 prosenttia primäärienergiankulutuksesta vuonna 2009 katettiin öljyllä, kaasulla, kivihiilellä ja uraanilla. Näitä energianlähteitä on kuitenkin saatavilla jonkin verran EU:n alueella,

minkä ansiosta tuonti kattoi vain 52 prosenttia koko EU:n energiankulutuksesta mainittuna vuonna. Tämän tuontiriippuvuuden vaihtelu maittain on kuitenkin suurta, esimerkiksi Tanska oli energian nettoviejä, kun taas Maltan energiankulutuksesta tuonti kattoi täydet 100 prosenttia. Suomessa tuonti kattoi vuonna 2009 noin 55 prosenttia primäärienergiankulutuksesta. [Market Observatory for energy 2011, 5-6, 8, 11]

Euroopan komissio haluaa vähentää tätä riippuvuutta tuontienergiasta uusiutuvan energian käytön lisäämisellä [2009/29/EY, 16]. Suomen pyrkimykset ovat samanlaisia kuin komission, minkä lisäksi Suomen ilmasto- ja energiastrategiassa korostetaan uusiutuvan energian merkitystä sähkön tuotannossa ja uuden hankintakapasiteetin rakentamisessa [TEM 2008, 30,49].

### 3 BIOENERGIAN LISÄÄMINEN SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANNOSSA

Vuonna 2011 Suomessa käytettiin sähkön- ja lämmöntuotannossa yhteensä 165 217 GWh:n edestä erilaisia polttoaineita. Tästä polttoaineentarpeesta suurin osa katettiin metsäteollisuuden jäteliemillä, muilla puupolttoaineilla, maakaasulla, kivihiilellä, turpeella ja öljyllä (kuva 1). Näistä polttoaineista maakaasu, kivihiili, turve ja öljy ovat fossiilisia polttoaineita, joiden polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt lämmittävät ilmakehää, minkä takia niiden käyttöä tulisi vähentää ja korvata uusiutuvilla polttoaineilla. [Tilastokeskus 2012, 11].



**Kuva 1.** Polttoaineet sähkön ja lämmön tuotannossa 2011 [Tilastokeskus 2012, 11]

### **3.1 Korvattavat ja korvaavat polttoaineet**

Kuvasta 1 nähdään, että edellisessä kappaleessa mainituista fossiilisista polttoaineista kivihiiltä, maakaasua ja turvetta käytetään paljon enemmän kuin öljyä, minkä takia niiden käytön vähentämisellä saavutetaan suurimmat päästövähennykset. Tällä hetkellä keskitytään kuitenkin suurimmaksi osaksi kivihiilen käytön vähentämiseen, sillä se tuottaa noin 70 prosenttia enemmän hiilidioksidipäästöjä kilowattituntia kohden kuin maakaasu [Motiva Oy 2010, 4]. Turve taas tuottaa hieman enemmän hiilidioksidipäästöjä kilowattituntia kohden kuin kivihiili, mutta sen käyttöä tullaan vähentämään muita fossiilisia polttoaineita hitaammin. Tämä johtuu siitä, että turpeelle on nykyisissä monipolttoainekattiloissa tekninen minitarve, jonka takia sille on määritelty tukipolttoaineen rooli seuraavaksi 10-20 vuodeksi. Lisäksi turve on myös kotimainen polttoaine, jonka takia sen käyttö luo paikallisia työpaikkoja ja sitä voidaan hyödyntää myös huoltovarmuuden turvaamisessa. [TEM 2013a, 100-102, 112-113].

Korvaavina polttoaineina käytetään erilaisia metsä- ja peltopohjaisia biomassoja sekä näistä valmistettuja jalostettuja biopolttoaineita, kuten synteettistä maakaasua. Erityisen suuri merkitys tulee olemaan metsähakkeella, jonka käytön lisääminen monipolttoainekattiloissa on kustannustehokkain tapa kasvattaa uusiutuvan energian osuutta sähkön ja lämmön tuotannossa. Tämän takia metsähakkeen käyttö aiotaan lähes kaksinkertaistaa vuoden 2011 tasosta vuoteen 2020 mennessä, jolloin sitä on tarkoitus käyttää 25 TWh.

### **3.2 Bioenergian osuuden kasvattaminen kattiloissa**

Sähkön- ja lämmöntuotannon kattiloissa bioenergian osuutta voidaan kasvattaa kahdella eri keinolla: nykyisten fossiilisia polttoaineita käyttävien kattiloiden tilalle voidaan rakentaa uusia kattiloita, jotka pystyvät kattamaan suurimman osan energiantarpeestaan uusiutuvilla polttoaineilla. Toinen vaihtoehto on lisätä uusiutuvien polttoaineiden osuutta nykyisissä fossiilisia polttoaineita käyttävissä kattiloissa. Näiden kahden eri vaihtoehdon kustannukset ja se kuinka suuri osa kattilan energiantarpeesta saadaan

katettua uusiutuvilla polttoaineilla, riippuvat monesta eri tekijästä kuten laitoksen sijainnista ja kattilan tyypistä.

Helpoin ja halvin tapa lisätä uusiutuvien polttoaineiden osuutta on fossiilisten polttoaineiden korvaaminen nykyisissä monipolttoainekattiloissa, kuten arina- ja leijukerroskattiloissa, joissa jopa kaikki fossiiliset polttoaineet voidaan korvata ilman merkittäviä lisäinvestointeja [TEM 2010, 25]. Huomattavasti kalliimpaa tulee taas olemaan kivihiilen korvaaminen nykyisissä pölypolttokattiloissa, sillä niissä voidaan käyttää korvaavia polttoaineita ainoastaan noin 5 prosenttia kivihiilen määrästä ilman isoja lisäinvestointeja tai pitkälle jalostettujen uusiutuvien polttoaineiden käyttöä. Käyttämällä pitkälle jalostettuja uusiutuvia polttoaineita kuten biohiiltä, bioöljyä tai biokaasua voidaan kivihiilen käyttö jopa puolittaa, mutta tämä vaatii suuria investointeja jalostusyksiköihin. [VTT 2011, 6-7].

Kaikkien kallein ja samalla tehokkain keino on kuitenkin uuden uusiutuvia polttoaineita käyttävän kattilan rakentaminen. Suuren uusiutuvan energian osuuden lisäksi uudella kattilalla saavutetaan monia muita hyötyjä kuten parempi hyötysuhde, alemmat käyttökustannukset ja vähäisempi huollontarve.

Näin ollen päätös siitä rakennetaanko uusi kattila vai lisätäänkö uusiutuvien osuutta nykyisessä kattilassa, ei olekaan suoraviivainen ja helppo, vaan siihen vaikuttavat monet eri tekijät, joista tärkeimpiä ovat nykyisen kattilan suunniteltu jäljellä oleva käyttöikä, kattilan vuotuinen käyttöaika ja päästömääräyksien kehitys.

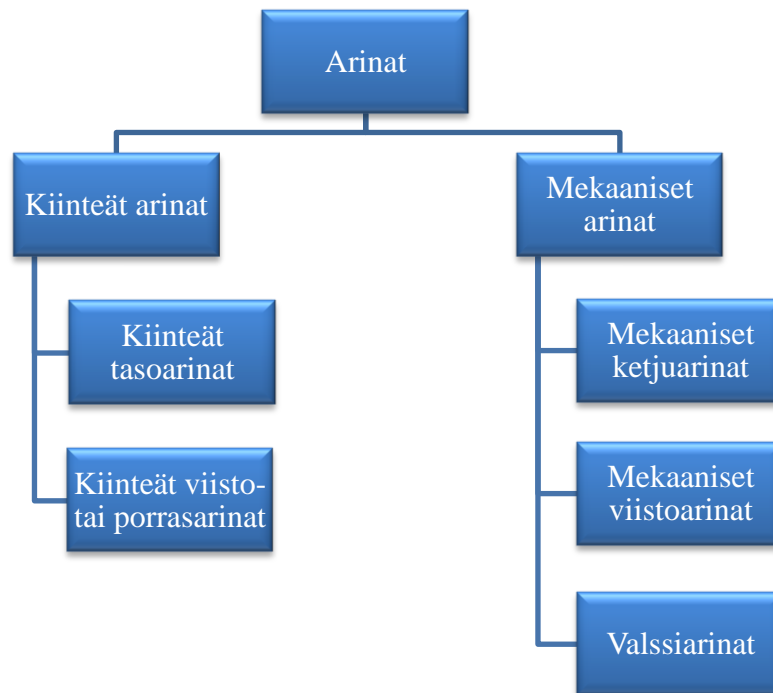
## 4 ARINAKATTILAT

Arinakattilat ovat kiinteän polttoaineen polttamiseen suunniteltuja kattiloita. Niitä on käytetty teollistumiskauden alusta asti ja ne ovatkin olleet pitkän aikaa yleisin kiinteiden polttoaineiden polttoon käytetty kattilatyyppejä pienissä ja keskisuurissa yksiköissä. Vasta 1980-luvulla alkoivat uudet polttotekniikat, kuten leijupoltto, syrjäyttää arinakattiloita keskisuuressa kokoluokassa. Suomessa arinakattilat ovatkin nykyään yleisin kiinteiden polttoaineiden polttamiseen käytetty kattilatyyppejä vain alle 5 MW<sub>th</sub> kokoluokassa. Keski- ja Etelä-Euroopassa arinakattilat ovat biomassan käytön takia yleisiä myös lauhdevoimalaitoksissa, joiden sähköteho on alle 20 MW. [Raiko et al 2002, 466].

Pienessä 15-400 kW omakoti- ja kiinteistökokoluokassa arinakattiloita onkin saatavissa runsaasti, mutta suuremmassa kokoluokassa tarjonta on pienempää, suurimpien teollisuuskattiloiden tehon ollessa ainoastaan 80 MW.

### 4.1 Jaottelu

Arinakattilat jaetaan erilaisiin luokkiin niiden polttolaitteen eli arinan tyypin ja liikkuvuuden perusteella. Pääjakona tässä luokittelussa käytetään arinoiden jakoa kiinteisiin ja mekaanisiin arinoihin. Näistä arinatyypeistä kiinteitä arinoita käytetään pääasiassa pienitehoisissa kattiloissa, kun taas isompien kattiloiden arinat ovat mekaanisia. Yhteensä arinat voidaan jakaa viiteen eri luokkaan (kuva 2). [Huhtinen 2000, 111-112, 147-151].



**Kuva 2.** Arinakattiloiden jaottelu arinan tyypin ja liikkuvuuden perusteella [Huhtinen 2000, 147-151]

Edellä olevan jaon lisäksi arinakattilat voidaan jakaa samalla lailla kuin höyrykattilat yleensä niiden vesihöyrypiirin rakenteen perusteella suurvesitila- ja vesiputkikattiloihin. Tämä jaottelu perustuu höyrystettävän veden sijaintiin kattilassa. Suurvesitilavuuskattilassa höyrystettävä vesi sijaitsee putkien ulkopuolella täyttäen suurimman osan kattilan tilavuudesta, samalla kun savukaasut liikkuvat kattilan putkissa. Vesiputkikattiloissa ratkaisu on päinvastainen; niissä höyrystettävä vesi kulkee putkissa, joiden ulkopuolella savukaasut virtaavat. Nämä kaksi luokkaa jaetaan höyrykattiloiden yleisessä jaossa vielä useampaan alaluokkaan, mutta arinakattiloissa kaikki vesiputkikattilat ovat luonnonkiertokattiloita, joissa vesi ja höyry liikkuvat niiden välisen tiheyseron takia. Suurvesitilavuuskattiloissa arinakattilat voidaan kuitenkin jakaa kahteen eri alaluokkaan: tulitorvi-tuliputkikattiloihin ja tuliputkikattiloihin. Nämä konstruktioerot eroavat toisistaan siten, että tulitorvi-tuliputkikattiloissa kattilan sisällä sijaitsevat ja vettä lämmittävät putkiston molemmat pääosat: sekä tulitorvi missä

palaminen tapahtuu, että tuliputki, jossa savukaasut kulkevat. Tuliputkikattiloissa taas vettä lämmitetään ainoastaan tuliputkessa kulkevilla savukaasuilla.

Näistä kattilatyypeistä vesiputkikattilat soveltuvat paremmin korkeille paineille, minkä takia niitä käytetään voimalaitoskattiloina sähkön tuotannossa, kun taas suurvesitilakattiloita käytetään matalapaineisen höyryn ja kuuman veden tuotantoon.

## 4.2 Toimintaperiaate

Arinakattilan toimintaperiaate on yksinkertainen: kattilan pohjalla sijaitsevan arinan päällä poltetaan kiinteää polttoainetta, mistä syntyneet savukaasut johdetaan kattilan lämmöntalteenotto-osiin, joissa vettä höyrystetään. Useimmissa arinoissa palamista tehostetaan myös luomalla toinen palamisvyöhyke arinan yläpuolelle.

Palaminen arinalla tapahtuu polttoainekerroksessa ja se noudattaa samoja pääsääntöjä kuin palaminen yleensä, minkä takia siitä voidaan erottaa palamisen kolme eri päävaihetta: kosteuden poistuminen, pyrolyysi ja haihtuvien palaminen sekä jäännöshiilen palaminen. Arinan suunnittelun kannalta näistä vaiheista kaikkien tärkein on kosteuden poistuminen, sillä biopolttoaineiden ja turpeen kosteus on suuri (30-60 %), minkä takia suurin osa arinan pinta-alasta täytyy varata polttoaineen kuivattamiseen. [Raiko et al 2002, 466-467, 474].

Suurin osa palamisen tarvitsemasta ilmasta syötetään arinan alta polttoainekerrokseen (primääri-ilma), minkä lisäksi arinan yläpuolella voidaan syöttää ilmaa yhdessä tai kahdessa vaiheessa (sekundääri- ja tertiääri-ilmat), jotta polttoainekerroksesta haihtuneet palamiskelpoiset kaasut pystyvät palamaan.

Palamisen onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää, että polttoaine syötetään arinan koko leveydelle tasaisena kerroksena, sillä polttoaineen sekoittuminen on etenkin arinan leveyssuunnassa erittäin heikkoa. Polttoaineen levittäytyessä arinalle epätasaisesti pääsee arinan alta syötetty primääri-ilma karkaamaan tulipesään polttoainekerroksen ohuista kohdista, mikä alentaa palamisen tehoa. [Raiko et al 2002, 471]. Polttoaineen

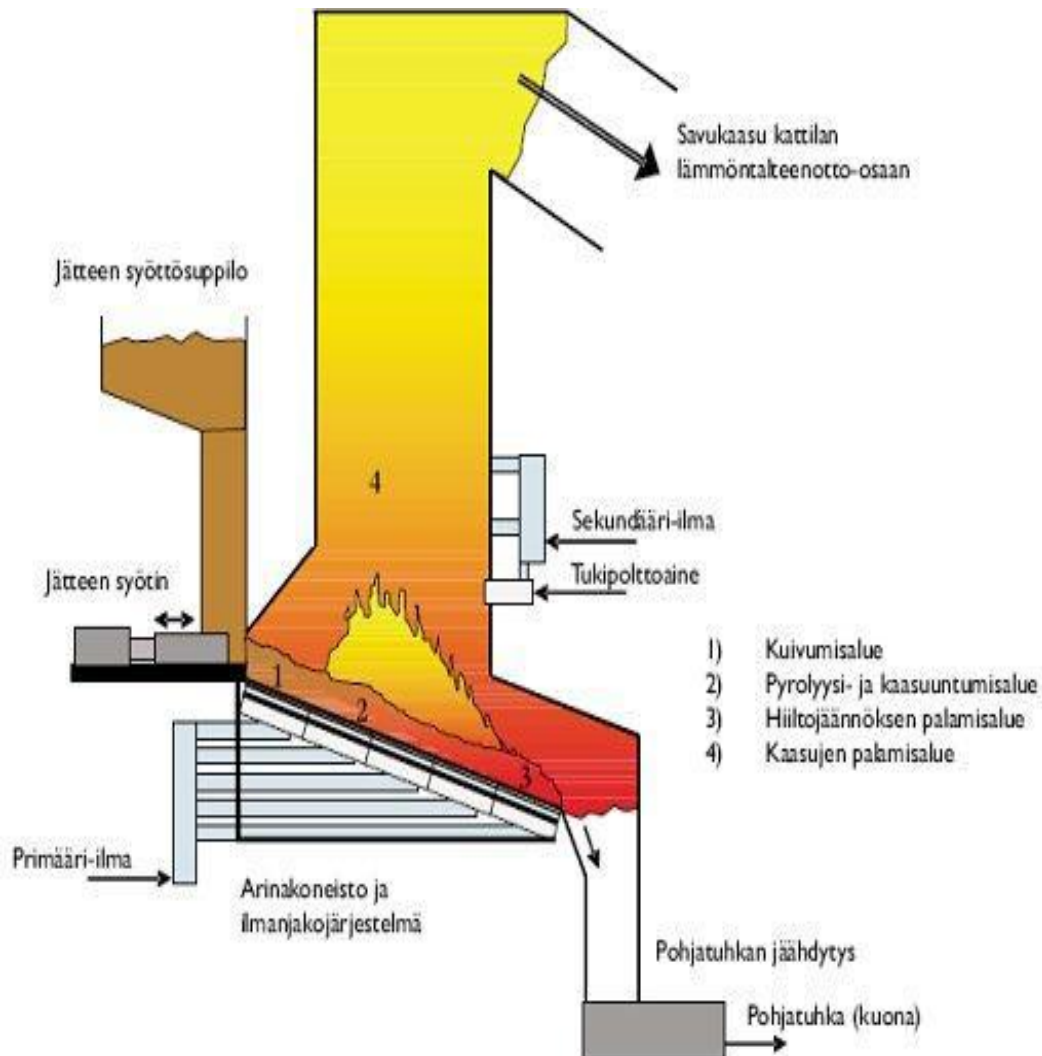


syöttöön arinalle onkin olemassa monta eri tapaa: pienitehoisiin kiinteisiin tasoarinoihin polttoaine syötetään käsin ns. panossyöttönä, kun taas kiinteissä viisto- tai porrasarinoissa, mekaanisissa ketjuarinoissa ja valssiarinoissa polttoaine syötetään jatkuvana virtana arinan päädyssä ns. päätysyöttönä. Tämä päätysyöttö voi tapahtua omatoimisesti painovoiman avulla tai koneellisesti käyttämällä esimerkiksi syöttöruuveja. Mekaanisen ketjuarinan polttoaine voidaan syöttää myös heittosyöttimellä, jolloin päästään suurempiin tehoihin kuin muilla syöttötavoilla. Alasyöttöisessä arinassa polttoaine syötetään arinan alapuolelta jatkuvana virtana ruuvikuljettimella. [Huhtinen 2000, 147-151].

Arinakattiloiden tuhkanpoistoon on olemassa kaksi erilaista päätapaa: pienemmissä yksiköissä polttoaineen sisältämä tuhka poistuu pääasiassa tippumalla arinan läpi, kun taas suuremmissa yksiköissä tuhka poistetaan arinan loppupäässä olevaan sammutuskaukaloon. Tuhkanpoistossa täytyy myös ottaa huomioon arinakattiloiden kohtuullisen suuri hehkutushäviö verrattuna muihin polttomenetelmiin. [Raiko et al 2002, 472, 475].

Arinoiden jäähtyäkseen on olemassa kolme erilaista ratkaisua. Pienet arinat kuten tasoarinat ovat joko jäähtymättömiä tai ilmajäähtyiteisiä, jolloin jäähtyttämiseen käytetään primääri-ilmaa. Mekaanisten viistoarinoitten kaltaisten suurempien arinoiden jäähtytys taas on useimmiten integroitu kattilan vesikiertoon eli ne ovat suurimmaksi osaksi vesijäähtyiteisiä.

Edellä kuvailut arinakattilan toimintaperiaatteet nähdään alla olevasta kuvasta (kuva 3), jossa esitellään jätteenpolttoon käytetyn arinan toimintaperiaatetta.



**Kuva 3.** Jätteenpoltossa käytetyn arinan toimintaperiaate [Vakkilainen Esa 2013b, luento 6]

### 4.3 Käytetyt polttoaineet ja niiden ominaisuudet

Arinakattiloissa voidaan polttaa useimpia kiinteitä polttoaineita, lukuun ottamatta teollisuuden jäteliemiä, joiden tuhkapitoisuus on niin suuri, että ilmaraoit voivat mennä tukkoon sulaneesta tuhkasta [Huhtinen 2000, 146-147]. Pääasiallisina polttoaineina arinakattiloissa käytetään erilaisia biopolttoaineita, hiiltä ja turvetta, joiden lisäksi niissä poltetaan joko pääpolttoaineiden kanssa tai erikseen erilaisia jätepolttaineita kuten puun kuorta ja yhdyskuntajätteitä [Raiko et al 2002, 468-471].

Arinakattiloissa käytetyillä polttoaineilla on paljon erilaisia ominaisuuksia kuten tiheys ja mekaaninen kestävyys, jotka kaikki vaikuttavat kattilan toimintaan, mutta arinan toiminnan ja mitoituksen kannalta voidaan nostaa esiin neljä ominaisuutta, joilla on eniten vaikutusta: polttoaineen kosteus, palakoko, haihtuvien määrä ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen.

Kuten jo aiemmin todettiin, polttoaineen kosteus vaikuttaa arinan pinta-alan mitoitukseen, minkä lisäksi se vaikuttaa polttoaineen lämpöarvon kautta myös palamislämpötilaan. Jotta tämä palamislämpötila pysyy riittävän korkeana, joudutaan polttoaineen kosteuden ollessa yli 60-62 % käyttämään parempilämpöarvoisia tukipolttoaineita. Palakoko taas vaikuttaa palamisen nopeuteen ja palamisilman tunkeutuvuuteen polttoainekerrokseen. Haihtuvien määrä polttoaineessa vaikuttaa tulipesän ja toisioilmajärjestelmän mitoitukseen sekä tuhkan määrään, joka taas vaikuttaa arinan pinta-alan mitoitukseen. Tuhkan sulaminen vaikuttaa edellä mainitun ilmarakojen tukkimisen lisäksi myös tulipesän muurauksien syöpyvyyteen.

#### **4.4 Eri valmistajien kattilat**

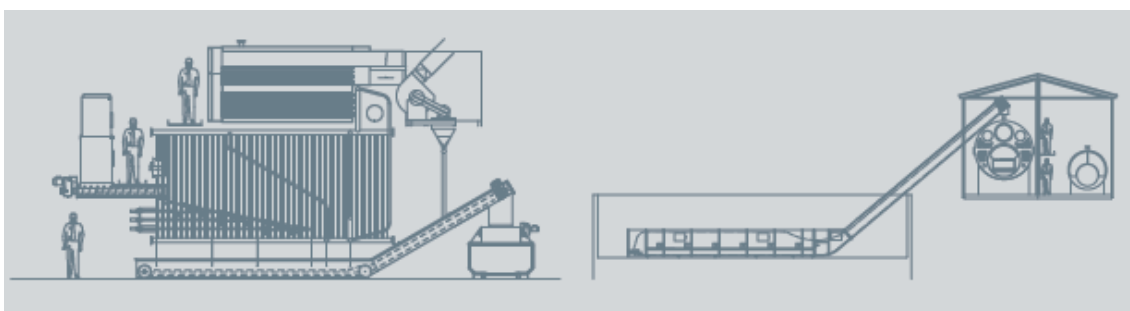
Pienitehoisia biopolttoaineita polttavia arinakattiloita valmistaa ja myy neljä suomalaista yritystä: OMP Energy (entinen Vapor), MW Power, KPA Unicon ja Renewa. Seuraavissa kappaleissa esitellään näiden valmistajien valikoimissa olevat arinakattilat.

##### **4.4.1 OMP Energy**

OMP Energy tarjoaa biopolttoaineita polttavaa pienitehoista arinakattilaa etsivälle HLR-kattilalaitossarjaansa, jota yhtiö myy kokonaistoimituksena avaimet käteen -periaatteella [Vapor (a)].

HLR-sarjan kattilalaitokset soveltuvat lämmöntuotantoon ja niitä on saatavissa teholuokassa 0,5-10 MW. Tehoalueella 0,5-3 MW kattiloiden rakenne perustuu painelaitteen palotilaan integroituun viistoarinaan, kun taas tehoalueella 3,5-10 MW

kattilat hyödyntävät vesiputkikonstruktiota, jossa vesiputkirakenteinen etupesä ja erillinen tuubikonvektio vastaavat lämmöntalteenotosta. Pienemmän tehoalueen kattiloiden hyötysuhde on normaalisti yli 90 % ja niiden painerunko voidaan mitoittaa paineluokkaan 6-16 bar. Näiden kattiloiden rakenne mahdollistaa myös höyryntuotannon. Alla olevassa kuvassa (kuva 4) esitellään HLR-kattilalaitoksen kattilan rakenneratkaisuja ja kokoa.



**Kuva 4.** Havainnekuva HLR-kattilalaitoksen kattilasta [Vapor (a), 6]

Polttoaineena HLR-sarjan kattilalaitoksissa voidaan käyttää haketta, puu- ja turvepellettejä, brikettejä, palaturvetta ja kuori-sahanpuruseosta. Näiden polttoaineiden kosteus voi vaihdella välillä 8-55 %. Palamisen tasaisuuden varmistamiseksi kattilalaitoksissa on kaksi ruuvikuljetinta syöttämässä polttoainetta arinalle, monivaiheinen palamisilman ohjaus arinalle ja mahdollisuus säätää arinan liikettä tehon mukaan.

HLR-sarjan kattilat voidaan nuohota pysäyttämättä laitosta, minkä ansiosta niiden käytettävyys on parhaimmillaan yli 95 %.

#### 4.4.2 MW Power

MW Powerin valikoimassa olevien arinakattiloiden toiminta perustuu BioGrate-polttotekniikkaan, jota käytetään yhtiön lämmön- ja höyryntuotantoon suunnitelluissa Bioheat-lämpölaitoksissa. Lisäksi BioGrate-arinakattiloita käytetään MW Powerin Biopower 5-voimalaitoksissa, jotka tuottavat joko ainoastaan sähköä tai sähköä ja

lämpöä yhteistuotantona. Molempia laitostyyppjä toimitetaan kokonais- tai prosessilaitetoimituksena. [MW Biopower Oy, 2-5; MW Power (b)].

Bioheat-lämpölaitoksia on saatavissa seitsemässä eri vakioteholuokassa, kun taas Biopower 5-voimalaitosten kattilateho on aina vakio 18 MW [62 bar(a), 480 °C]. Biopower 5-voimalaitoksia on kuitenkin saatavilla niiden sähkö- ja lämpötehon mukaan viidessä eri vakioteholuokassa. Molempien laitostyyppien teholuokat on koottu alla olevaan taulukkoon (taulukko 3). Taulukossa olevien Bioheat-laitosten kattilat ovat kuudessa pienimmässä teholuokassa tyypiltään tulitorvikattiloita ja suurimmassa 17 MW teholuokassa vesiputki-tulitorvikattiloita.

**Taulukko 3.** Bioheat-lämpölaitosten ja Biopower 5-voimalaitosten vakioteholuokat [MW

Biopower Oy, 5; MW Power (b), 6]

	Laitostyyppi	Sähköteho (MW <sub>e</sub> )	Lämpöteho (MW <sub>th</sub> )	Lisätiedot
Bioheat	Bioheat 4,0	-	4,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
	Bioheat 6,0	-	6,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
	Bioheat 8,0	-	8,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
	Bioheat 10,0	-	10,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
	Bioheat 12,0	-	12,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
	Bioheat 15,0	-	15,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
	Bioheat 17,0	-	17,0	HW/ST (kuuma vesi/höyry)
Biopower 5	Biopower 5 DH	3,8	13,5	90/50 °C DH vesi
	Biopower 5 HW	3,2	14,0	115/90 °C vesi
	Biopower 5 ST	2,6	21,0 t/h	4 bar(a)
	Biopower 5 CEX	4,3-5,5	max. 16 t/h	1,4 bar(a)
	Biopower 5 C	5,6	-	vain sähköä (jäähdytysvesi 33/43 °C)

Rakenteeltaan BioGrate-arinat ovat sähkötoimisia pyöriä kekoarinoita. Ne sisältävät 3-5 pyörivää ja 2-4 kiinteää arinakehää. Arinoiden primääri-ilman jakoa voidaan säädellä ja ne jäähdytetään kiertoilmalla. Polttoaine syötetään arinan keskelle yhdellä tai kahdella syöttöruuvilla. Tuhkanpoistoon BioGrate-arinakattiloissa käytetään märkää

pohjatuhkajärjestelmää, jossa tuhka putoaa arinan reunalta vedellä täytettyyn tuhkatilaan. Nämä toimintaperiaatteet on kuvattu alla olevassa kuvassa (kuva 5). [MW Power (b), 4-5; MW Power (a)].



**Kuva 5.** BioGrate-arinan toimintaperiaate [MW Power (a)]

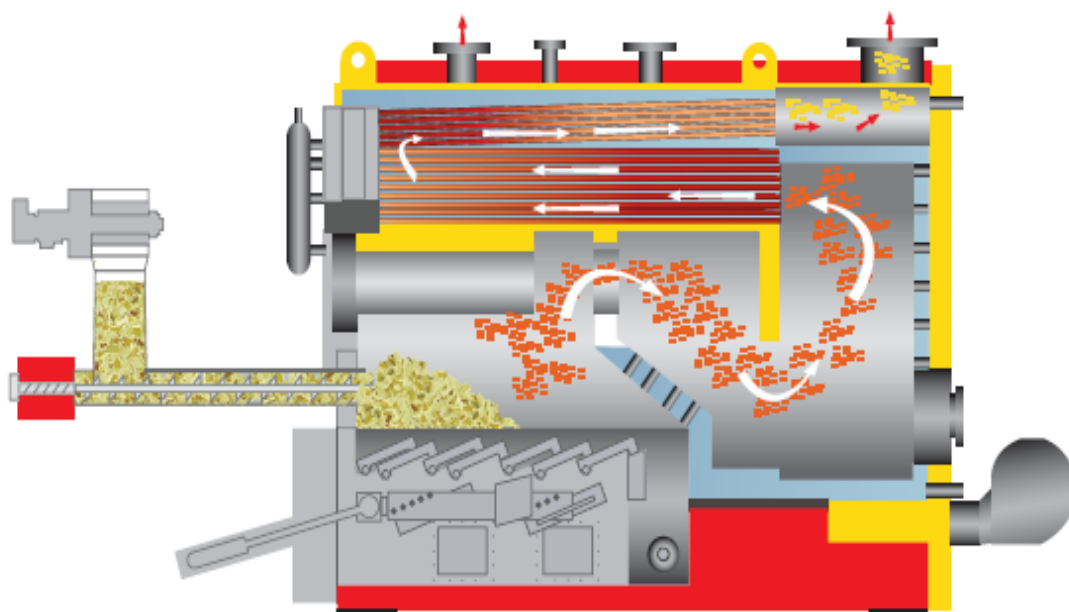
Polttoaineena BioGrate-arinakattiloissa voidaan polttaa erilaisia biomassoja kuten turvetta, metsätähdettä, puun kuorta ja haketta. Näiden polttoaineiden kosteus voi Bioheat-lämpölaitoksissa olla suurimmillaan 67 %, kun taas Biopower 5-voimalaitokset pystyvät polttamaan biomassoja, joiden kosteus on maksimissaan 60 %. [MW Biopower Oy, 3-4; MW Power (b), 4].

#### 4.4.3 KPA Unicon

KPA Uniconin valikoimassa olevat biopolttoainetta polttavat arinakattilat ovat vesi- tai höyrykattiloita, joita yritys käyttää Unicon Bio-laitoksissaan. Unicon Bio-laitoksien

käyttökohteita ovat mm. kaukolämpöverkot ja prosessiteollisuuden höyryntuotanto ja niitä toimitetaan asiakkaalle kokonaistoimituksena. [KPA Unicon Oy 2011].

Unicon Bio-laitoksia on saatavissa teholuokassa 1-20 MW tai 1-30 t/h. Toimitettavien laitosten tehot eivät ole vakioita, vaan jokainen laitos räätälöidään asiakkaan tarpeiden ja olosuhteiden mukaan. Laitoksissa käytettävät arinakattilat ovat rakenteeltaan kaksiosaisia tulitorvi-tuliputkikattiloita, joissa levyrakenteinen tulipesä on asennettu hydraulisesti liikkuvan arinan yläpuolelle. Arinoiden jäähditys tapahtuu vesikierron avulla ja tehokkaan palamisen varmistamiseksi ne sisältävät kolme palamisvyöhykettä primääri-ilmalle. Polttoaineen syöttö arinalle tapahtuu sulkusyöttimellä tai sulkupellillä ja ruuvipurkaimella. Kattiloiden rakenne on kuvattu alla olevassa kuvassa (kuva 6), minkä lisäksi Unicon Bio-laitosten teknisiä tietoja on lueteltu taulukossa 4.



**Kuva 6.** Unicon Bio-laitoksen kattilan rakenne [KPA Unicon Oy 2011]

**Taulukko 4.** Unicon Bio-laitoksen teknisiä tietoja [KPA Unicon Oy 2011]

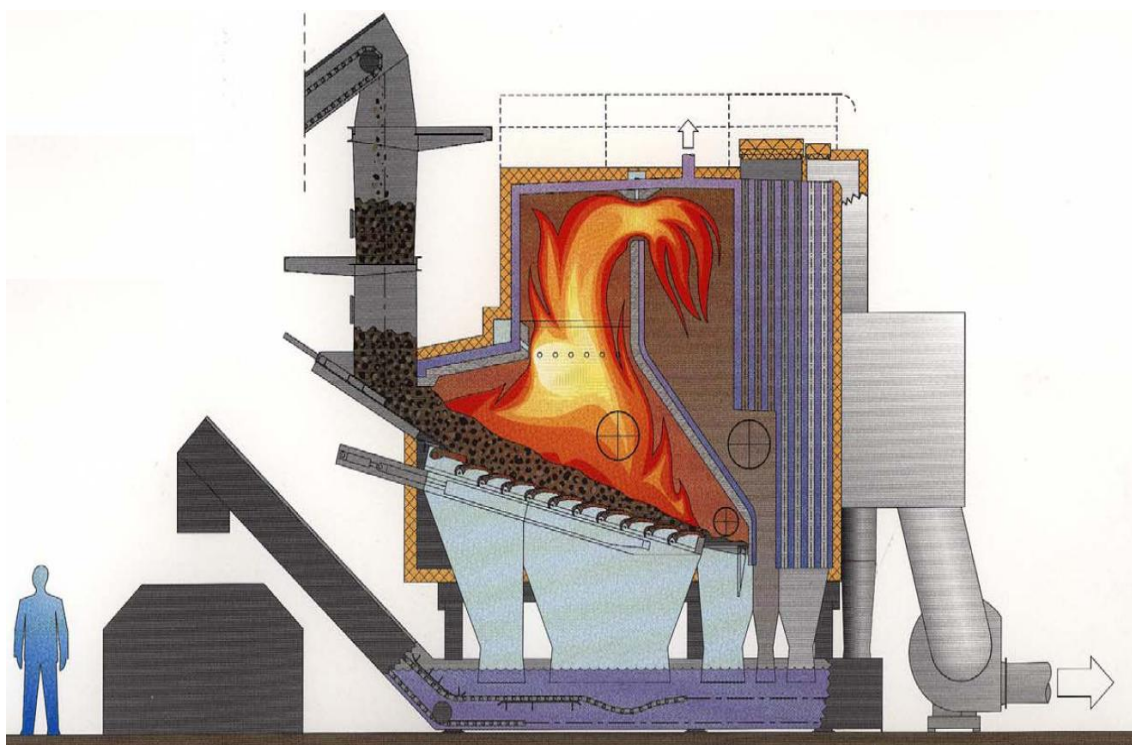
Max. paine	Max. lämpötila	Hyötysuhde	Savukaasujen loppulämpötila
16 bar	205 °C	85 %	<160 °C



Polttoaineena Unicon Bio-laitoksissa voidaan käyttää turvetta, puuhaketta, kuorta tai pellettejä sekä niiden sekoituksia. Näiden polttoaineiden kosteus voi vaihdella suuresti, sillä rajoittavana tekijänä oleva maksimikosteus voi olla pelleteillä 25 %, hakkeella, kuorella ja palaturpeella 55 % ja jyrsinturpeella 75 %.

#### 4.4.4 Renewa

Renewan valikoimissa olevat biopolttoainetta polttavat arinakattilat ovat teholtaan 2-12 MW<sub>th</sub>. Niiden polttoaineena voidaan käyttää haketta, kuorta ja palaturvetta. Alla olevassa kuvassa (kuva 7) esitellään Renewan valmistaman kuorta polttavan arinakattilan toimintaperiaate. [Renewa Oy (c)].



**Kuva 7.** Kuorta polttava Renewan arinakattilan toimintaperiaate [Vakkilainen 2013a]

Renewan toimittamien arinakattilaprojektien laajuus vaihtelee suuresti. Yhtiö tekee kaikkea pienistä korjaustöistä aina lämpökeskusten kokonaistoimituksiin.

Enempää tietoa ei ollut saatavissa, sillä Renewa on viime vuosien aikana poistanut yleisesti saatavilla olevista esitteistä kattiloidensa tarkempia teknisiä tietoja.

#### 4.5 Tyypillisiä viimeaikaisia kattilatoimituksia

Alla olevaan taulukkoon (taulukko 5) on koottu edellä esiteltyjen kattilavalmistajien vuosien 2011-2013 aikana toimittamien arinakattiloiden tietoja.

**Taulukko 5.** Tyypillisiä vuosina 2011-2013 toimitettuja arinakattiloita [Renewa Oy (a); MW Power (c); MW Power (d)]

Toimitusvuosi	Toimittaja	Asiakas	Sijainti [kaupunki, maa]	Teho [MW <sub>e</sub> / MW <sub>th</sub> ]	Kattilassa käytettävät polttoaineet
2013	Renewa	Adven	Levi, Suomi	-/2	hake, palaturve
2013	Renewa	Adven	Säkylä, Suomi	-/5	hake, palaturve
2013	MW Power	Savon Voima	Leppävirta, Suomi	-/8	hake, kuori
2013	MW Power	OOO Piter Peat	Suojärvi, Venäjä	-/12+6	turve, hake
2012	Renewa	Närpes Fjärrvärme	Närpiö, Suomi	-/4	hake, palaturve
2012	Renewa	Kurikan Kaukolämpö	Ilmajoki, Suomi	-/6	hake, palaturve
2012	MW Power	Heizkraftwerk Zwickau Süd & Co. KG	Zwickau, Saksa	5/10	metsähake
2012	MW Power	Kotkan Energia	Karhula, Suomi	-/18	hake, kuori
2011	Renewa	Kurikan Kaukolämpö	Kurikka, Suomi	-/6	hake, palaturve

OMP Energyn ja KPA Uniconin viimeisimmät arinakattilatoimitukset, joista on saatavilla tietoa, ovat tapahtuneet ennen vuotta 2011. Tämän takia näiden valmistajien kattiloita ei ole taulukossa ollenkaan.

## 5 LEJUKATTILAT

Leijukattilat ovat suuritehoisia sähköntuotantoon tarkoitettuja kattiloita, joiden käyttö kaupallisessa energiantuotannossa alkoi 1970-luvulla. Niiden kehitys- ja suunnittelutyössä Suomi on ollut jo pitkän aikaa yksi maailman johtavia maita. [Raiko et al 2002, 490].

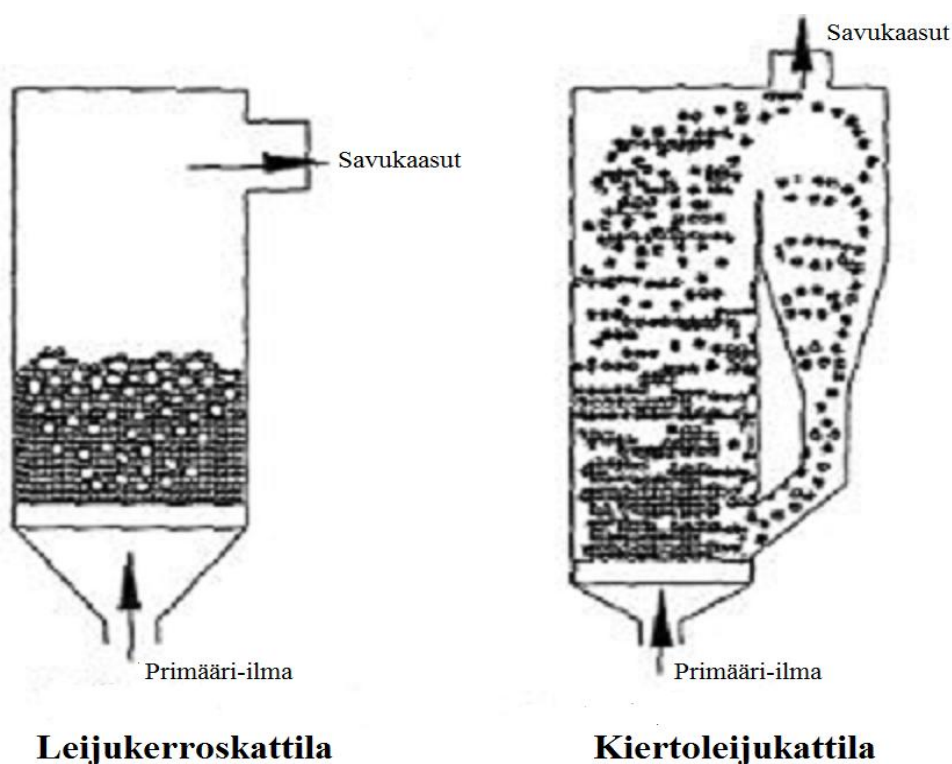
Nykyään leijukattilat ovat yleistyneet laajalti energiantuotannossa, koska niillä on muihin kattilatyyppeihin verrattuna monia etuja: ne soveltuvat erittäin hyvin huonolaatuisten polttoaineiden polttoon ilman erikoisjärjestelyjä, minkä takia niiden polttoainevalikoima on muita kattiloita laajempi. Lisäksi leijukattiloiden rikki-, typenoksidi- ( $\text{NO}_x$ ) ja palamattomien päästöt ovat vähäisiä, minkä ansiosta ne ovat ympäristöystävällisiä.

### 5.1 Toimintaperiaate ja jaottelu

Leijukattiloiden perustoimintaperiaate on aivan sama kuin kaikilla muilla kattilatyypeillä: niissä poltetaan polttoainetta ja tästä poltosta syntyvällä lämmöllä höyrystetään vettä. Muista kattilatyypeistä leijukattilat eroavat kuitenkin siten, että niissä käytetään kiinteää hienojakoista materiaalia (hiekkaa), jonka sekaan polttoaine syötetään ja jossa palaminen tapahtuu. Tätä kiinteää materiaalia, jota kutsutaan myös leijumateriaaliksi, leijutetaan kattilassa ja sen tarkoituksena on tehostaa palamista ja nostaa kattilan hyötysuhdetta toimimalla lämpövarastona ja kuivattamalla sekä lämmittämällä polttoainetta.

Kiinteän materiaalin leijuminen leijukattiloissa saadaan aikaan lisäämällä kattilan pohjalta syötettävän primääri-ilman nopeutta niin suureksi, että kiinteä hiukkaskerros irtaana kattilan pohjasta ja sen hiukkaset alkavat liikkua toistensa suhteen. Tätä primääri-ilman nopeutta, jolla hiukkaskerros alkaa leijua, kutsutaan minimileijutusnopeudeksi. Minimileijutusnopeuden suuruus riippuu kattilassa käytettävän leijutusmateriaalin koosta, suurempien partikkelien vaatiessa suuremman minimileijutusnopeuden. [Huhtinen 2000, 154-155].

Säätämällä primääri-ilmavirran minimileijutusnopeuden ylittävää nopeutta, voidaan leijumateriaalin liikkumista kattilassa kontrolloida. Tämän leijumateriaalin liikkumisen perusteella leijukattilat jaetaan kahteen luokkaan: leijukerroskattiloihin, joissa leijumateriaali pysyy kattilan pohjan yläpuolella olevassa leijutustilassa ja kierto-leijukattiloihin, joissa leijumateriaali kulkee leijutuskaasun mukana pois leijutustilasta, johon se täytyy palauttaa. Tämä leijumateriaalin liikkumisen ero nähdään alla olevasta kuvasta (kuva 8). [Raiko et al 2002, 490].



**Kuva 8.** Leijumateriaalin liikkuminen leijukerros- ja kierto-leijukattiloissa [Huhtinen 2000, 154]

Näistä kattilatyypeistä leijukerroskattiloita on saatavissa monessa eri teholuokassa, mutta kierto-leijukattiloita on pääasiassa saatavissa vain keski- tai suuritehoisina niiden monimutkaisemman rakenteen ja kalliimman hinnan takia. Koska kierto-leijukattiloita on saatavissa erittäin vähän tämän työn käsittelemässä teholuokassa, käsitellään tästä eteenpäin ainoastaan leijukerroskattiloita.

### 5.1.1 Leijukerroskattilat

Kuten edellä mainittiin, leijukerroskattiloiden toiminta perustuu leijumateriaalin pysymiseen leijutustilassa. Tämä saadaan aikaan käyttämällä primääri-ilman nopeutta, joka on leijumateriaalin minimileijutusnopeuden ja lentoonlähtönopeuden välissä. Leijumateriaalina käytettävän hiekan keskiraekoko on 1-3 mm, jolloin sopiva primääri-ilman nopeus on välillä 0,7-2 m/s. Tällä nopeusalueella kattilaan muodostuvan hiekkakerroksen (petin) korkeus on välillä 0,4-0,8 m. Tätä hiekkakerrosta nimitetään myös kuplivaksi leijukerrokseksi, sillä se kuplii kiehuvan veden tavoin. Kuplinnan aiheuttaa minimileijutusnopeuden ylittävä ilmamäärä, joka kulkee leijuivan kerroksen läpi ilmakuplina. [Huhtinen 2000, 154-155, 157-159].

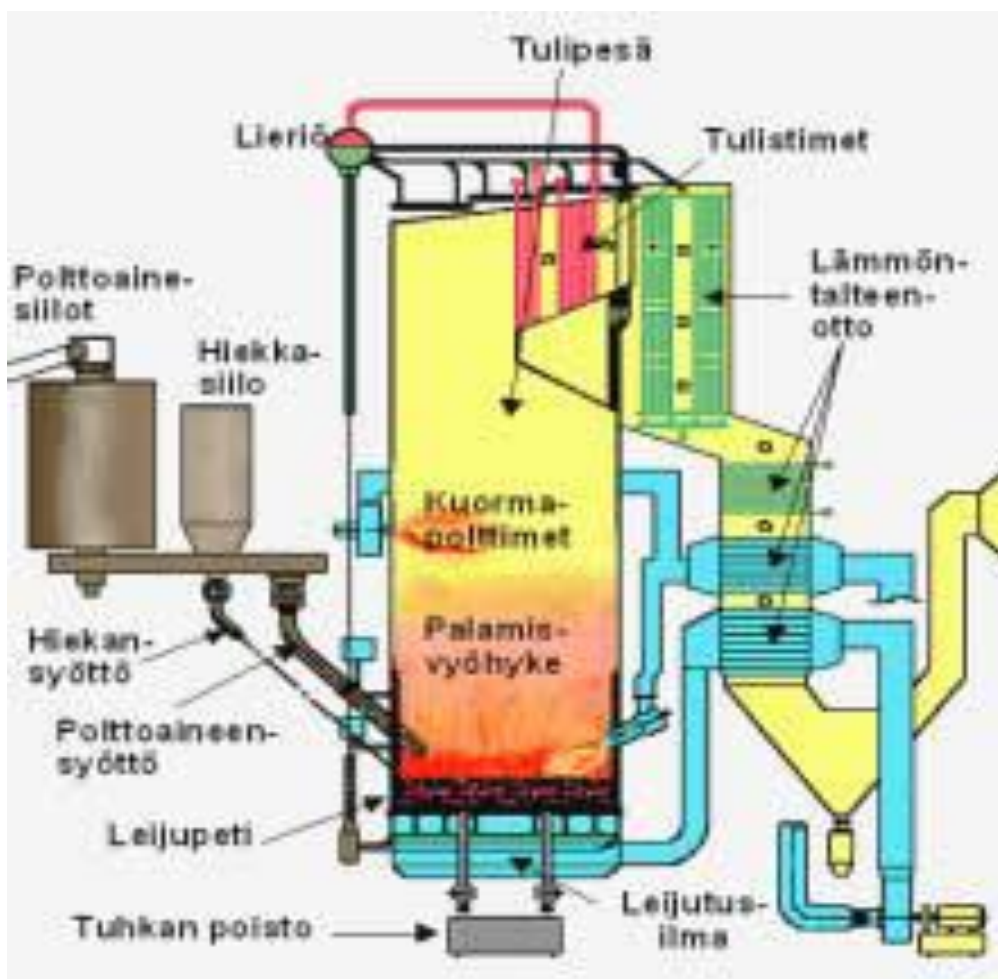
Primääri-ilman lisäksi kattilaan voidaan syöttää sekundääri-ilmaa petin yläpuolelle palamisen tehostamiseksi. Polttoaineen syötössä leijukerroskattiloissa turvaudutaan mekaanisiin syöttöjärjestelmiin, jolloin polttoaineen kokojakauma voi vaihdella laajemmalla alueella ja sen tarvitseman esikäsittelyn määrä vähenee. Mekaanisen syöttöjärjestelmän pääosiin kuuluvat polttoainesilo, kuljetin, sulkusyötin ja syöttöputki, josta polttoaine tippuu petille. Polttoaineen tasaisen jakautumisen varmistamiseksi järjestelmään sisältyy tavallisesti useita syöttöputkia.

Tuhkan poisto leijukerroskattilasta tapahtuu kahdella eri tavalla. Nämä tavat riippuvat poistettavan tuhkan hienojakoisuudesta. Karkeajakoinen tuhka poistetaan kattilasta päästämällä hiekkaa kattilan pohjalla sijaitsevan arinan aukosta. Tästä poistetusta hiekasta seulotaan erilleen karkeat kuonat, joihin karkeajakoinen tuhka sisältyy, minkä jälkeen puhdistettu hiekka palautetaan kattilaan. Hienojakoinen tuhka taas jauhautuu petissä, minkä jälkeen se poistuu savukaasujen mukana. Tuhkanpoiston onnistumiseksi on tärkeää, ettei polttoaineen tuhka pääse sulamaan tai edes pehmenemään, sillä pehmennyt ja sulanut tuhka aiheuttavat hiekan sintraantumista. Sintraantuneen hiekan poisto kattilasta on erittäin vaikeaa ja vaatii useimmiten kattilan alasajon. Tämän välttämiseksi petin lämpötilaa pidetäänkin noin 100 °C:ta tuhkan

pehmenemislämpötilaa matalampana, jolloin sen maksimilämpötila on välillä 900-1000 °C.

Käytettävien polttoaineiden valikoima on leijukerroskattiloissa pienempi kuin kierto-leijukattiloissa, mutta niissä pystytään silti polttamaan useita erilaisia matalissa lämpötiloissa syttyviä polttoaineita, jotka sisältävät runsaasti haihtuvia aineita ja joiden jäännöskoksin palamisaika on lyhyt. Tämänkaltaisia polttoaineita ovat esimerkiksi kosteat kotimaiset polttoaineet, kuten puupolttoaineet. Hiilen polttoon leijukerroskattilat eivät sovellu, sillä haihtuvien aineiden osuus on hiilessä liian pieni (20-30 %). Lisäksi hiilen palamisesta jäljelle jäävä koksi vaatisi leijukerroskattilan alhaisessa lämpötilassa useiden sekuntien palamisajan täydellisen palamistuloksen saavuttamiseksi. Tähän palamisaikaan ei leijukerroskattilassa päästä, mikä nostaisi palamattomien määrää.

Leijukerroskattilan toimintaperiaate ja pääkomponentit on kuvattu alla olevassa kuvassa (kuva 9). Lisäksi taulukossa 6 on lueteltu Kvaerner Pulpingin leijukerroskattiloiden tyypillisiä toiminta-arvoja.



**Kuva 9.** Leijukerroskattilan toimintaperiaate ja pääkomponentit [VTT 2003, 2]

**Taulukko 6.** Leijupetikattilan toiminta-arvoja [Huhtinen 2000, 159]

Tilavuusrasitus	0,1-0,5 MW/m <sup>3</sup>
Poikkipintarasitus	0,7-3 MW/m <sup>2</sup>
Petin painehäviö	6,0-12 kPa
Leijutusnopeus	0,7-2 m/s
Petin korkeus	0,4-0,8 m
Primääri-ilman lämpötila	20-400 °C
Sekundääri-ilman lämpötila	20-400 °C
Petin lämpötila	700-1000 °C
Kaasutilan lämpötila	700-1200 °C
Sekundääri-ilman osuus	30-70 %
Ilmakerroin	1,1-1,4
Petin tiheys	1000-1500 kg/m <sup>3</sup>

## **5.2 Eri valmistajien kattilat**

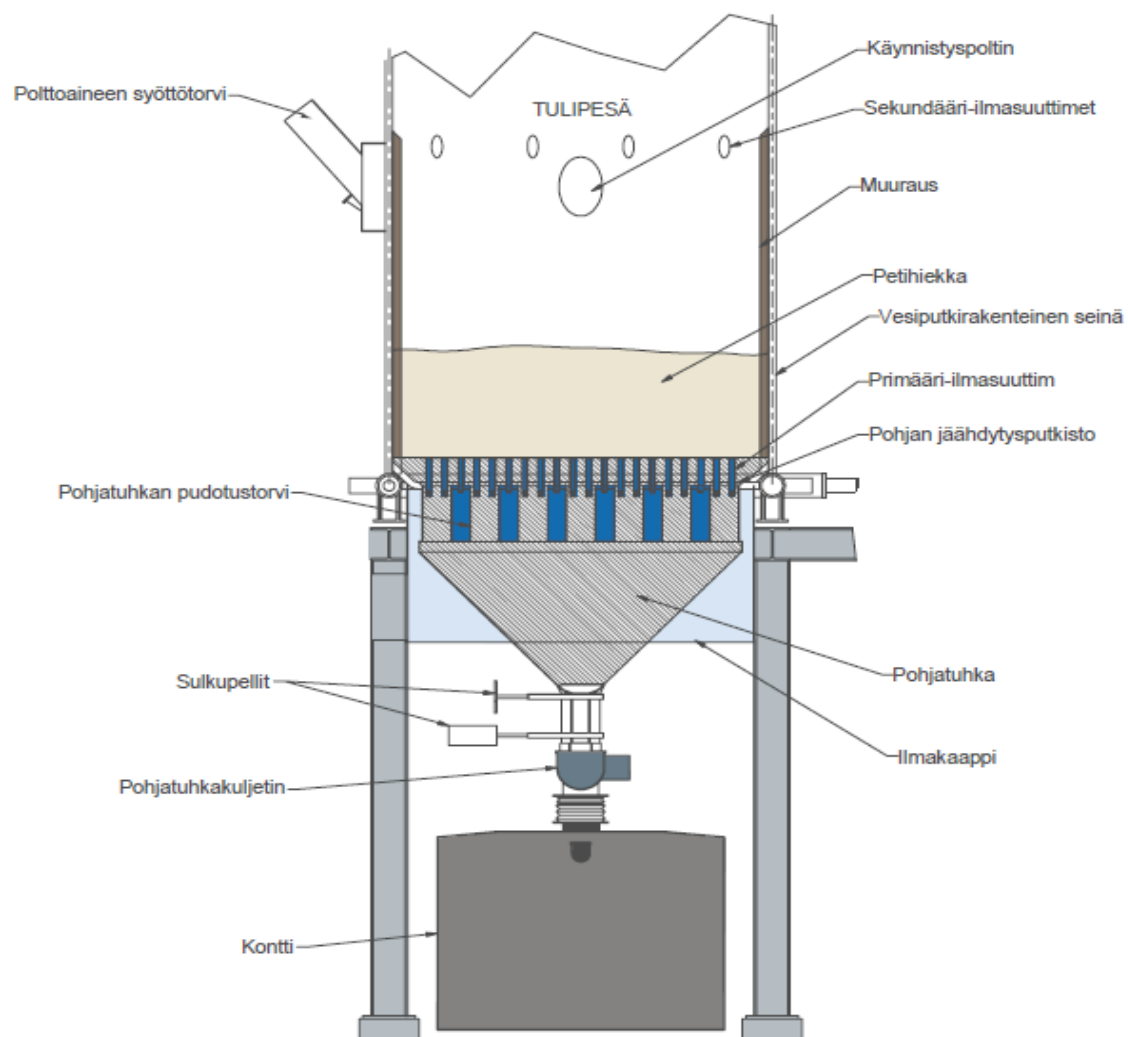
Pienitehoisia biopolttoaineita polttavia leijukerroskattiloita on kolmen suomalaisen kattilavalmistajan valikoimassa: OMP Energy Oy (entinen Vapor), MW Power ja Renewa. Seuraavissa kappaleissa esitellään näiden valmistajien leijukerroskattilat.

### **5.2.1 OMP Energy**

OMP Energyn valikoimassa olevien leijupetikattilalaitosten sarja on nimeltään Steamtec, jota yhtiö myy samalla lailla kaiken kattavina kokonaistoimituksina kuin arinakattilalaitosten HLR-sarjaansa. Uusien leijupetikattilalaitosten toimittamisen lisäksi OMP Energy Oy tekee myös muutostöitä vanhoihin leijupetikattiloihin. [Vapor (b)].

Steamtec-leijupetikattilalaitosten teho mitoitetaan asiakkaan tarpeiden ja olosuhteiden mukaan, minkä lisäksi tarjolla on valmiiksi mitoitettuna seitsemän eri tehoista kattilaa välillä 5-100 MW. Kaikkien teholuokkien kattilalaitokset voidaan suunnitella toimimaan sekä lämpö- että höyrykeskuksina minkä lisäksi yli 12 MW laitokset soveltuvat myös toimimaan CHP-voimalaitoksina. Rakenteeltaan (kuva 10) kattilat ovat luonnonkiertoisia vesiputkikattiloita, joissa vesijäähdytetty leijupetiarina on integroitu kattilan painerunkoon.





**Kuva 10.** Steamtec-leijupetikattilan rakenne [Vapor (b)]

Pääpolttoaineena Steamtec-kattilalaitoksissa käytetään erilaisia puupohjaisia polttoaineita (haketta, kuorta ja purua) ja jyrsin- sekä palaturvetta. Ilman tukipoltoa pääpolttoaineena käytettävien puupohjaisten polttoaineiden kosteus voi olla maksimissaan 65 %. Jyrsinurpeella vastaava maksimikosteus on 70 %. Rinnakkaispolttoaineena Steamtec-kattilalaitoksissa voidaan polttaa muita biomassoja, kuten ruokohelpiä ja olkea, erilaisia kierrätyspolttoaineita ja lietteitä sekä hiiltä.

Steamtec-leijupetikattilalaitosten käytettävyys on 95-97 %, hyötysuhteen ollessa tyypillisesti yli 90 %.

### 5.2.2 MW Power

MW Power käyttää leijukerroskattiloita pelkän sähkön tai sähkön ja lämmön yhteistuotantoon tarkoitetuissa Biopower 8-voimalaitoksissa sekä Multipower-laitoksissa, jotka tuottavat joko ainoastaan kaukolämpöä/prosessihöyryä tai sähköä ja lämpöä yhteistuotantona. Molempia laitostyyppejä toimitetaan sekä kokonaistoimituksena että prosessilaitetoimituksena. [MW Biopower Oy, 3-4, 6-7; MW Power (e)].

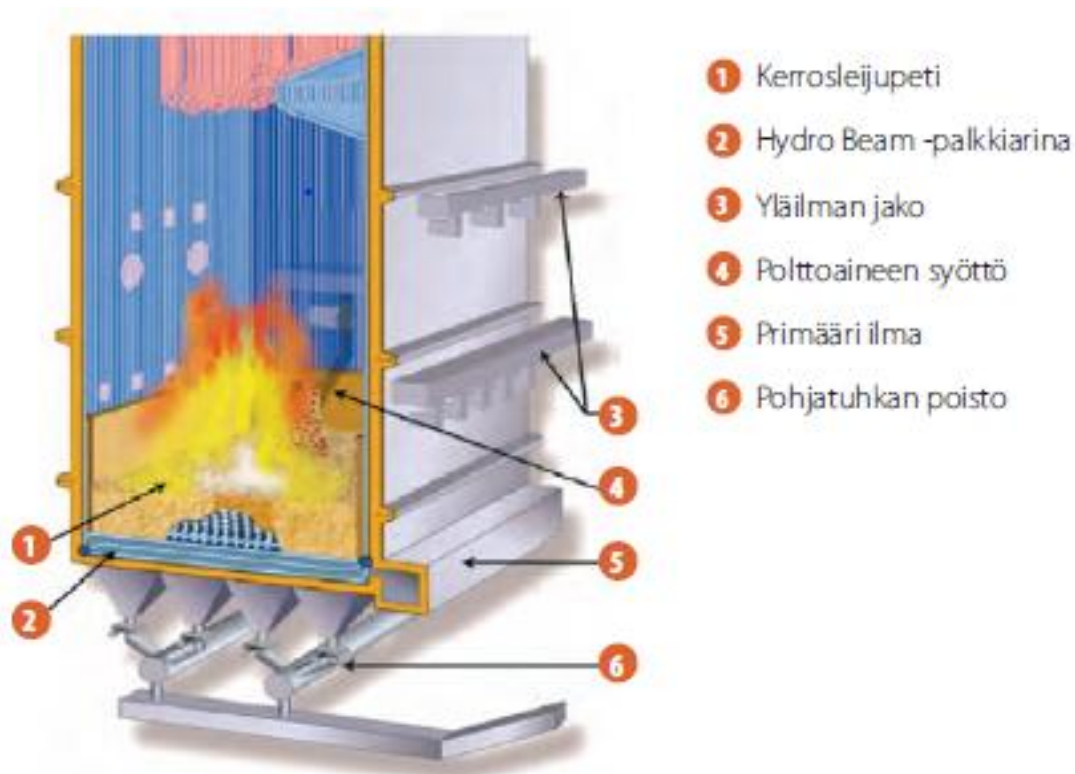
Biopower 8-voimalaitosten kattilateho on aina vakio 29 MW [90 bar(a), 480 °C], mutta sähkö- ja lämpötehon mukaan niitä on tarjolla kolmessa eri vakioteholuokassa (taulukko 7). Multipower-laitoksia on saatavilla tehovälillä 10-60 MW<sub>th</sub>, mutta toisin kuin Biopower 8-voimalaitokset, niiden sähkö- ja lämpötehot eivät ole vakioita, vaan jokainen laitos räätälöidään asiakkaan tarpeiden ja olosuhteiden mukaan. Pelkästään lämpöä tuottavat Multipower-laitokset jaetaan kahteen alaluokkaan: Multipower ST-höyrykattilalaitoksiin, jotka tuottavat ensisijaisesti teollisuuden prosessihöyryä sekä Multipower W-kuumavesikattilalaitoksiin, jotka tuottavat kaukolämpöä.

**Taulukko 7.** Biopower 8-voimalaitosten vakioteholuokat [MW Biopower Oy, 7]

Laitostyyppi	Sähköteho (MW <sub>e</sub> )	Lämpöteho (MW <sub>th</sub> )	Lisätiedot
Biopower 8 DH	8,0	20,5	90/50 °C DH vesi
Biopower 8 CEX	7,6-9,4	0-14	105/70 °C DH vesi
Biopower 8 C	~9,6	-	vain sähköä, jäähdytysvesi

Rakenteeltaan MW Powerin leijukerroskattilat ovat suurimmaksi osaksi samanlaisia kuin leijukerroskattilat yleensä (kuva 11), minkä takia ne toimivat aiemmin esiteltyjen leijukerroskattiloiden yleisten toimintaperiaatteiden mukaan. Suurin ero MW Powerin ja muiden valmistajien leijukerroskattiloiden rakenteessa tulee siitä, että MW Powerin

kattiloissa käytetään Metson patentoimaa Hydro Beam-arinaa. Hydro Beam-arina on täysin vesijäähdytetty palkkiarina, jonka pohjapinta-alasta 30 % on avointa tilaa.



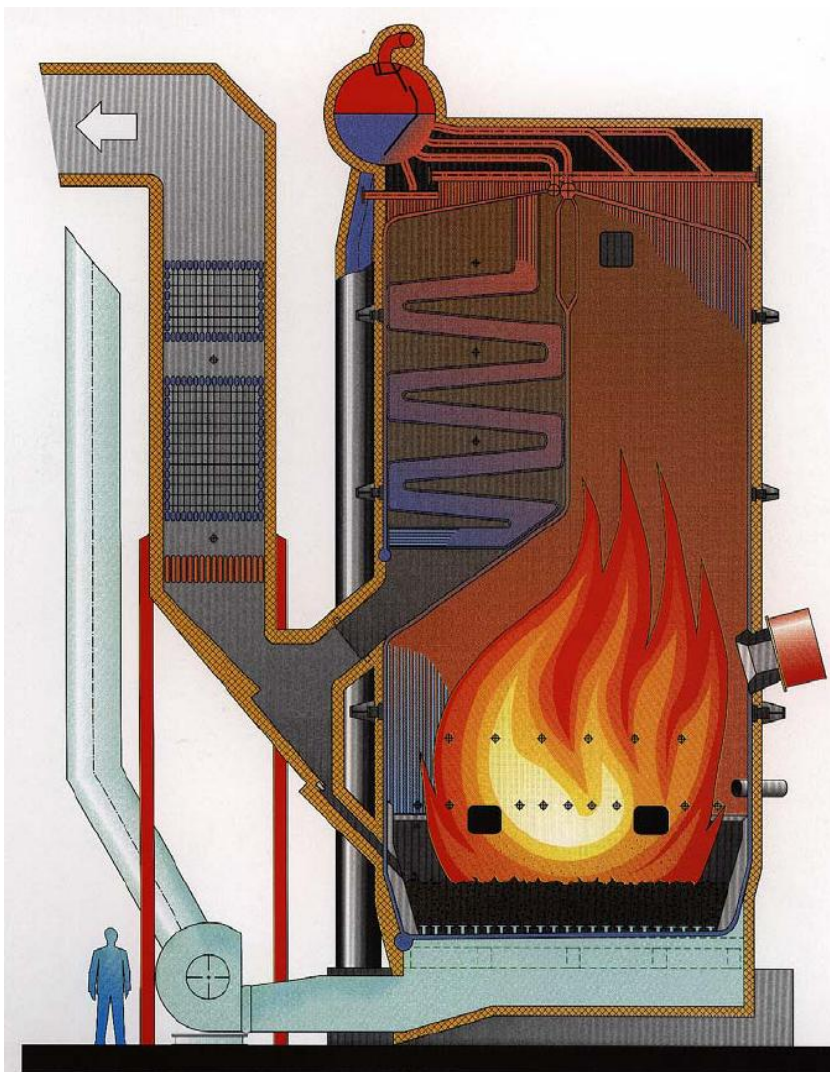
**Kuva 11.** MW Powerin leijukerroskattilan rakenne [MW Biopower Oy, 6]

Polttoaineena MW Powerin leijukerroskattiloissa voidaan käyttää samoja polttoaineita kuin yhtiön BioGrate-arinakattiloissa, eli erilaisia biomassoja kuten puuhaketta, kuorta, sahanpurua, metsätähdettä ja turvetta. Lisäksi Multipower-laitokset voivat käyttää seospolttoaineena kierrätyspolttoainetta ja lietettä.

### 5.2.3 Renewa

Renewan valikoimissa olevat leijukerroskattilat ovat teholtaan 2-50 MW<sub>th</sub>. Niiden polttoaineena voidaan käyttää erilaisia biopolttoaineita kuten haketta, kuorta, purua ja jyrsin- sekä palaturvetta. Lisäksi niissä voidaan polttaa mm. teollisuuden ylijäämäpolttoaineita. Käytettävien polttoaineiden kosteuden ja energiasisällön ei

tarvitse olla vakioita, vaan ne voivat vaihdella erien välillä. [Renewa Oy (d)].  
Kattiloiden toimintaperiaate on kuvattu alla olevassa kuvassa (kuva 12).



**Kuva 12.** Renewan leijukerroskattilan toimintaperiaate [Vakkilainen 2013a]

Asiakkaan tarpeiden mukaan Renewa toimittaa joko yksittäisen kattilan tai kokonaisen kattilaitoksen avaimet käteen -periaatteella.

Enempää tietoa ei ollut saatavissa, sillä Renewa on viime vuosien aikana poistanut yleisesti saatavilla olevista esitteistä kattiloidensa tarkempia teknisiä tietoja.

### 5.3 Tyypillisiä viimeaikaisia kattilatoimituksia

Alla olevaan taulukkoon (taulukko 8) on koottu edellä esiteltyjen kattilavalmistajien vuosien 2011-2013 aikana toimittamien leijukerroskattiloiden tietoja.

**Taulukko 8.** Tyypillisiä vuosina 2011-2013 toimitettuja leijukerroskattiloita [Renewa Oy (b); MW Power 2011; MW Power (d)]

Toimitus vuosi	Toimittaja	Asiakas	Sijainti [kaupunki, maa]	Teho [MW <sub>e</sub> / MW <sub>th</sub> ]	Höyryntuotanto [kg/s /bar/ °C]	Kattilassa käytettävät polttoaineet
2013	Renewa	Suur-Savon Sähkö	Savonlinna, Suomi	-/18	-	hake, kuori, jyrsinturve
2013	Renewa	Ekokem	Jepua, Suomi	-/8	-	hake, jäte
2013	Renewa	Loimaan Kaukolämpö	Loimaa, Suomi	-/9	-	hake, sahanpuru, jyrsinturve
2013	Renewa	EBM Thermique	Saint-Louis, Ranska	-/15,5	-	hake, kuori
2013	Renewa	Axis Industries	Riika, Latvia	-/20	-	hake, sahanpuru, olki
2013	MW Power	Porvoon Energia	Porvoo, Suomi	-/-	15,2/62/480	biopolttoaine
2013	MW Power	Oü Helme Energia	Helme, Viro	-/-	8,1/90/500	biopolttoaine
2012	Renewa	Dalkia Nord	Lens, Ranska	-/22	-	hake
2012	Renewa	Carbonex SARL	Gyé-sur-Seine, Ranska	-/15	-	hake
2012	Renewa	Lohjan Biolämpö	Lohja, Suomi	-/26	-	hake, jätepuu
2012	MW Power	SIA Granuul Invest	Launkalne, Latvia	-/-	8,1/90/500	biopolttoaine
2012	MW Power	Affärsverken Karlskrona	Karlskrona, Ruotsi	-/-	17,3/92/480	biopolttoaine
2011	Renewa	Varissuon Lämpö	Turku, Suomi	-/10	-	hake, jyrsinturveturve
2011	Renewa	Axis Technologies	Alytys, Liettua	-/20	-	jyrsinturve, hake, olki
2011	MW Power	HamCoGen	Ham, Belgia	8,9/6	-	metsähake

OMP Energyn viimeisimmät leijukerroskattilatoimitukset, joista on saatavilla tietoa, ovat tapahtuneet ennen vuotta 2011. Tämän takia taulukossa ei ole ollenkaan OMP Energyn kattiloita.

## 6 YHTEENVETO

Pienet biopolttoainekattilat ovat pienitehoisia sähkön- ja/tai lämmöntuotantoon teytyjä kattiloita, joiden energiantarpeesta suurin osa katetaan erilaisilla uusiutuvilla polttoaineilla.

Tyypiltään nämä kattilat ovat joko arina- tai leijukerroskattiloita. Näistä kattilatyypeistä arinakattilat ovat selvästi yksinkertaisimpia ja halvempia, minkä lisäksi niissä käytettävän polttoaineen palakoko voi erien välillä vaihdella suuresti, eikä sen haihtuvien osuuden tarvitse olla korkea. Leijukerroskattilat taas ovat vähäpäästöisempiä ja niiden hyötysuhde on parempi. Lisäksi leijukerroskattiloissa voidaan käyttää matalamman lämpöarvon polttoaineita kuin arinakattiloissa. Edellä mainittujen ominaisuuksien takia leijukerroskattilat ovatkin yleisesti teholtaan suurempia kuin arinakattilat.

Suurimman osan Suomeen tilattavista pienistä biopolttoainekattiloista toimittaa neljä eri toimitsijaa: OMP Energy (entinen Vapor), MW Power, KPA Unicon ja Renewa. Näistä neljästä valmistajasta kaikki toimivat Suomessa ja kaikilla paitsi KPA Uniconilla, joka tekee ainoastaan arinakattiloita, on valikoimissaan sekä arina- että leijukerroskattiloita.

Kun tarkastellaan edellä mainittujen neljän yhtiön kertomia referenssejä, nähdään että arina- ja leijukerroskattiloiden kysyntä on Suomessa ollut melkein yhtä suurta kahden viime vuoden aikana; yhtiöt ovat toimittaneet yhteensä seitsemän arinakattilaa ja kuusi leijukerroskattilaa. Ylivoimaisesti suurin osa näistä kattiloista on Renewan tekemiä, sillä yhtiö on toimittanut Suomeen vuosina 2011-2013 viisi arinakattilaa ja viisi leijukerroskattilaa, kun MW Power on toimittanut samana aikavälinä Suomeen vain kaksi arinakattilaa ja yhden leijukerroskattilan. Molemmat yritykset ovat lisäksi toimittaneet samana aikavälinä muutamia kattiloita ulkomaille. OMP Energyn ja KPA Uniconin referensseissä ei ole yhtään vuosina 2011-2013 toimitettua kattilaa.

Näissä kattiloissa käytettävistä uusiutuvista polttoaineista tärkeimpiä ovat erilaiset metsäpohjaiset biomassat kuten metsätähde, kuori, hake, sahanpuru ja erilaiset jalostetut

tuotteet kuten pelletit ja briketit. Peltopohjaisten biomassojen kuten ruokohelpin ja oljen käyttö on taas ollut erittäin vähäistä. Myös turpeella on suuri rooli näiden kattiloiden polttoainevalikoimassa, mutta sitä ei luokitella uusiutuvaksi polttoaineeksi.

Tulevaisuudessa pienien biopolttoainekattiloiden kysyntä ja osuus energiantuotannossa tulee lähes varmasti kasvamaan, sillä päästömääräykset kiristyvät entisestään ja energiantuotanto hajautuu lisää.



## LÄHDELUETTELO

2009/29/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 23.4.2013 uusiutuvista lähteistä peräisin olevien energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. EUVL L N:o 140, 5.6.2009.

Euroopan yhteisöjen komissio. 2007. Komission tiedonanto neuvostolle ja Euroopan parlamentille, Uusiutuvia energianlähteitä koskeva etenemissuunnitelma, Uusiutuvat energialähteet 2000-luvulla: kestävämmän tulevaisuuden rakentaminen [KOM(2006) 848 lopullinen], [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/prelex/detail\\_dossier\\_real.cfm?CL=fi&DosId=195254](http://ec.europa.eu/prelex/detail_dossier_real.cfm?CL=fi&DosId=195254).

European Commission. Päivitetty viimeksi 10.9.2012. The EU climate and energy package, [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm).

Eurostat. Share of renewable energy in gross final energy consumption, [viitattu 15.7.2013]. Saatavissa: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020\\_31&plugin=1](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_31&plugin=1).

Huhtinen Markku. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. Uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab. 379 s. ISBN 951-37-3360-2.

KPA Unicon Oy. 2011. Unicon Bio, [viitattu 22.7.2013]. Saatavissa: <http://www.kpaunicon.fi/tuotteet.asp?tuotesivu=esitteet>.

Market Observatory for energy. 2011. Key Figures, [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/energy/energy2020/efficiency/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/energy2020/efficiency/index_en.htm).

Motiva Oy. 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat, [viitattu 22.4.2013]. Saatavissa: <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CcwQFj>

AA&url=http%3A%2F%2Fwww.motiva.fi%2Ffiles%2F3193%2FPolttoaineiden\_lamp  
oarvot\_hytysuhteet\_ja\_hiilidioksidin\_ominaispaastokertoimet\_seka\_energianhinnat\_1  
9042010.pdf&ei=LRgjUt-  
pEoTEtAbe\_IDICg&usg=AFQjCNG4b9E5aAOKiRbBqkpQ2m\_dXs\_bDQ&bvm=bv.5  
1495398,d.Yms.

MW Biopower Oy. Biopower, Moduloidut biomassavoimalaitokset, [viitattu  
22.7.2013]. Saatavissa:

[http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-  
22575-54FC5?OpenDocument](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument).

MW Power. 2011. Multipower-referenssilista, [viitattu 28.8.2013]. Saatavissa:

[http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-  
22575-54FC5?OpenDocument](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument).

MW Power (a). BioGrate-polttotekniikka, [viitattu 22.7.2013]. Saatavissa:

[http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-  
22575-F2C82?OpenDocument&mid=FFCD8DB23A9DBD2CC22575A000499593](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-F2C82?OpenDocument&mid=FFCD8DB23A9DBD2CC22575A000499593).

MW Power (b). Bioheat-lämpölaitokset, [viitattu 22.7.2013]. Saatavissa:

[http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-  
22575-54FC5?OpenDocument](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument).

MW Power (c). Bioheat-referenssilista, [viitattu 28.8.2013]. Saatavissa:

[http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-  
22575-54FC5?OpenDocument](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument).

MW Power (d). Biopower-referenssilista, [viitattu 28.8.2013]. Saatavissa:

[http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-  
22575-54FC5?OpenDocument](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument).

MW Power (e). Multipower, Lämpö- ja voimalaitokset, [viitattu 29.7.2013]. Saatavissa: [http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower\\_pages\\_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_pages_fi.nsf/WebWID/WTB-090422-22575-54FC5?OpenDocument).

Raiko Risto et al (toim). 2002. Poltto ja palaminen. 2. Painos. Jyväskylä: International Flame Research Foundation (IFRF) – Suomen kansallinen osasto. 750 s. ISBN 951-666-604-3

Renewa Oy (a). Referenssit, arinakattilat, [viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.renewa.fi/fi/referenssit-2/arinakattilat.html>.

Renewa Oy (b). Referenssit, leijupetikattilat, [viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.renewa.fi/fi/referenssit-2/leijupetikattilat.html>.

Renewa Oy (c). Tuotteet ja palvelut, arinakattilat, [viitattu 22.7.2013]. Saatavissa: <http://www.renewa.fi/fi/tuotteet-ja-palvelut-2/tuotteet.html>.

Renewa Oy (d). Tuotteet ja palvelut, leijupetikattilat, [viitattu 29.7.2013]. Saatavissa: <http://www.renewa.fi/fi/tuotteet-ja-palvelut-2/tuotteet.html>.

TEM. 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia, valtioneuvoston selonteko eduskunnalle, [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/energia/energia-ja\\_ilmastostrategiat/vuoden\\_2008\\_strategia](http://www.tem.fi/energia/energia-ja_ilmastostrategiat/vuoden_2008_strategia).

TEM. 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020, [viitattu 22.4.2013]. Saatavissa: <http://www.tem.fi/?C=98033&s=2086&xmid=4474>.

TEM. 2013a. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia, taustaraportti, [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/energia/energia-ja\\_ilmastostrategiat/vuoden\\_2013\\_strategia](http://www.tem.fi/energia/energia-ja_ilmastostrategiat/vuoden_2013_strategia).

TEM. 2013b. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia, valtioneuvoston selonteko eduskunnalle, [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/energia/energia-ja\\_ilmastostrategiat/vuoden\\_2013\\_strategia](http://www.tem.fi/energia/energia-ja_ilmastostrategiat/vuoden_2013_strategia).

Tilastokeskus. 2012. Sähkön ja lämmön tuotanto 2011, [viitattu 22.4.2013]. Saatavissa: [https://www.tilastokeskus.fi/til/salatu/2011/salatu\\_2011\\_2012-10-16\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.tilastokeskus.fi/til/salatu/2011/salatu_2011_2012-10-16_tie_001_fi.html).

Vakkilainen Esa. 2013a. Kandidaatintyöpalaveri.

Vakkilainen Esa. 2013b. Poltto- ja kattilatekniikan perusteet- kurssin luentomateriaali. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

Vapor (a). HLR-bioratkaisu, [viitattu 22.7.2013]. Saatavissa: <http://www.vapor.fi/laitosratkaisut/biopolttoaineelle/lampolaitokset>.

Vapor (b). Steamtec, leijupetiratkaisu, [viitattu 15.7.2013]. Saatavissa: <http://www.vapor.fi/laitosratkaisut/biopolttoaineelle/voimalaitokset>.

VNK. 2011. Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma, [viitattu 8.4.2013]. Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/hallitus/hallitusohjelma/fi.jsp>.

VTT. 2003. Leijupolttoteknologia: vihreää energiaa, [viitattu 15.7.2013]. Saatavissa: [http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fkoti.mbnet.fi%2Fppom%2FPDF%2FRY.pdf&ei=uSYjUoiDFMyKswb6jYG4Dw&usg=AFQjCNGPx8a3bT\\_z2TRGumRoQ-A9ozR\\_WA&bvm=bv.51495398,d.Yms](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fkoti.mbnet.fi%2Fppom%2FPDF%2FRY.pdf&ei=uSYjUoiDFMyKswb6jYG4Dw&usg=AFQjCNGPx8a3bT_z2TRGumRoQ-A9ozR_WA&bvm=bv.51495398,d.Yms).

VTT. 2011. VTT tiedotteita 2595, Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa, [viitattu 22.4.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/energia/uusiutuvat\\_energialahteet/kivihiilen\\_korvaaminen](http://www.tem.fi/energia/uusiutuvat_energialahteet/kivihiilen_korvaaminen).