

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Pienen kokoluokan biomassakattilat

Small-scale biomass boilers

Työn tarkastaja: Dosentti, TkT Juha Kaikko

Työn ohjaaja: Dosentti, TkT Juha Kaikko

Lappeenranta 16.04.2016

Iiro Piri

TIIVISTELMÄ

Iiro Piri

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Dosentti, TkT Juha Kaikko

Kandidaatintyö 2016

30 sivua ja 13 kuvaa

Hakusanat: biomassakattila, arinakattila, päästöt.

Biopolttoaineiden käytöllä energiantuotannossa on suuri potentiaali hillitä ilmastonmuutosta. Tässä työssä käsiteltävien kattiloiden pääasiallinen polttoaine on hake. Kun tarkastellaan Suomen metsien kestävien hakkuiden tämänhetkistä määrää, huomataan hakkeen käytön lisäämisessä olevan kasvunvaraa.

Kiinteää biomassaa polttavia arinakattiloita käytetään kuuman veden tai matalapaineisen höyryn tuottoon. Pienen kokoluokan biomassakattiloita voidaan käyttää pienissä aluelämpökeskuksissa tai suurten kiinteistöjen lämmönlähteenä. Matalapaineisen höyryn tuottoon tarkoitetuilla kattiloilla tuotetaan lähinnä prosessihöyryä teollisuuden tarpeisiin. Käsiteltävän kokoluokan kattilat ovat tyypillisesti varustettuina mekaanisella viistoarinalla ja lämmönsiirtopinnat ovat tulitorvi-tuliputki tyypisiä. Pienen kokoluokan erillisiä kattiloita päästörajat eivät koske, kuitenkin savukaasujen hiukkaspäästöjä vähennetään tyypillisesti multisykloneilla.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan pienen kokoluokan arinakattiloiden teknisiä toteutustapoja ja esitellään kolmen eurooppalaisen kattilavalmistajan kaupalliset tuotteet. Työssä tarkastellaan myös arinapoltossa syntyviä haitallisia ilmastopäästöjä.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Sisällysluettelo	3
Symboli- ja lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	5
2 Biopolttoaineiden käyttö Suomessa	7
2.1 Polttohake	9
2.2 Kuori	10
2.3 Pelletti	10
2.4 Turve	11
3 Arinakattilat	12
3.1 Polttoaineen ja ilman syöttö	12
3.2 Tulipesän geometria	13
3.3 Arinarakenteet	14
3.4 Lämmönsiirtopinnat	15
3.5 Palaminen arinalla	16
3.6 Kattiloiden paloturvallisuus	17
3.7 Arinapolton päästöt	18
4 Kaupallisesti saatavilla olevia kattiloita	20
4.1 Osby Parca HVTS-G	20
4.2 KPA Unicon Biograte	22
4.3 Schmid AG UTSW 3200	24
5 Johtopäätökset	26
6 Yhteenvedo	27
Lähteet	28

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Yhdisteet

C_xH_y	hiilivety
CO	hiilimonoksidi
N_2O	ilokaasu
NO_x	typen oksidi
SO_2	rikkidioksidi

1 JOHDANTO

Euroopan unioni velvoittaa Suomea nostamaan uusiutuvan energian osuuden loppukäytöstä 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä (2009/28/EY). Vuonna 2009 metsähakkeen käyttö energiantuotannossa oli noin 10 TWh, minkä käyttö on tarkoitus nostaa 25 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, 10). Metsäenergian kilpailukykyä parannetaan energiatuen, uusiutuvista energianlähteistä tuotetun sähkön syöttötariffin sekä polttoaineiden energiaverotuksen avulla.

Biopolttoaineet ovat eloperäisiä aineksia, kuten puu, turve, sokeri- ja tärkkelyspitoiset kasvit, ruoho, oljet ja metsäteollisuuden jäteliemet. Biopolttoaineet luokitellaan ensimmäisen ja toisen sukupolven polttoaineisiin. Ensimmäisen sukupolven polttoaineet ovat elintarviketuotantoon soveltuvia raaka-aineita ja toisen sukupolven polttoaineet ovat elintarviketuotantoon kelpaamattomia.

Biomassasta valmistettuja polttoaineita on käytetty tuhansia vuosia. Biomassaa hyödyntävien energiantuotantolaitosten suosio väheni teollisen vallankumouksen aikana, jolloin fossiiliset polttoaineet yleistyivät. Biopolttoaineille on tyypillistä hiilineutraalisuus, jossa poltosta vapautuva hiilidioksidi sitoutuu takaisin biomassaan sen kasvuvaiheessa. Nykyään biopolttoaineiden käyttö on noussut vahvasti julkisuuteen sen hiilineutraaliuden takia ja biomassan käyttö onkin tärkeä ratkaisu ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Suomessa on erittäin paljon potentiaalia lisätä metsäbiomassan käyttöä energiantuotannossa, sillä metsät ovat jakautuneet maantieteellisesti lähes joka puolelle Suomea, jolloin polttoainetoimitusten logistiikkaketjut ovat lyhyitä. Suomen metsien puuston kokonaistilavuus kasvaa jatkuvasti, hakkuut ovat olleet viime vuosina noin 70 % kestävästä hakkuumahdollisuuksista (Metsäntutkimuslaitos 2014, 36). Tämä tarkoittaa sitä, että metsäbiomassan käytössä energiantuotannossa on kasvunvaraa.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on perehtyä 500 kW-5 MW kokoluokan kiinteää biopolttoainetta polttaviin arinakattiloihin. Aluksi esitellään arinakattiloissa käytettävien kiinteiden biopolttoaineiden ominaisuuksia sekä niiden käyttöä Suomessa. Työssä esitellään tällä hetkellä olevia arinapolton toteutustapoja ja kolmen eri kattilavalmistajan tuotteet. Työssä tarkastellaan myös kattilavalmistajien laitteilleen ilmoittamia toiminta-arvoja ja lisäksi kuvataan kattilalaitosten kokoonpanot.

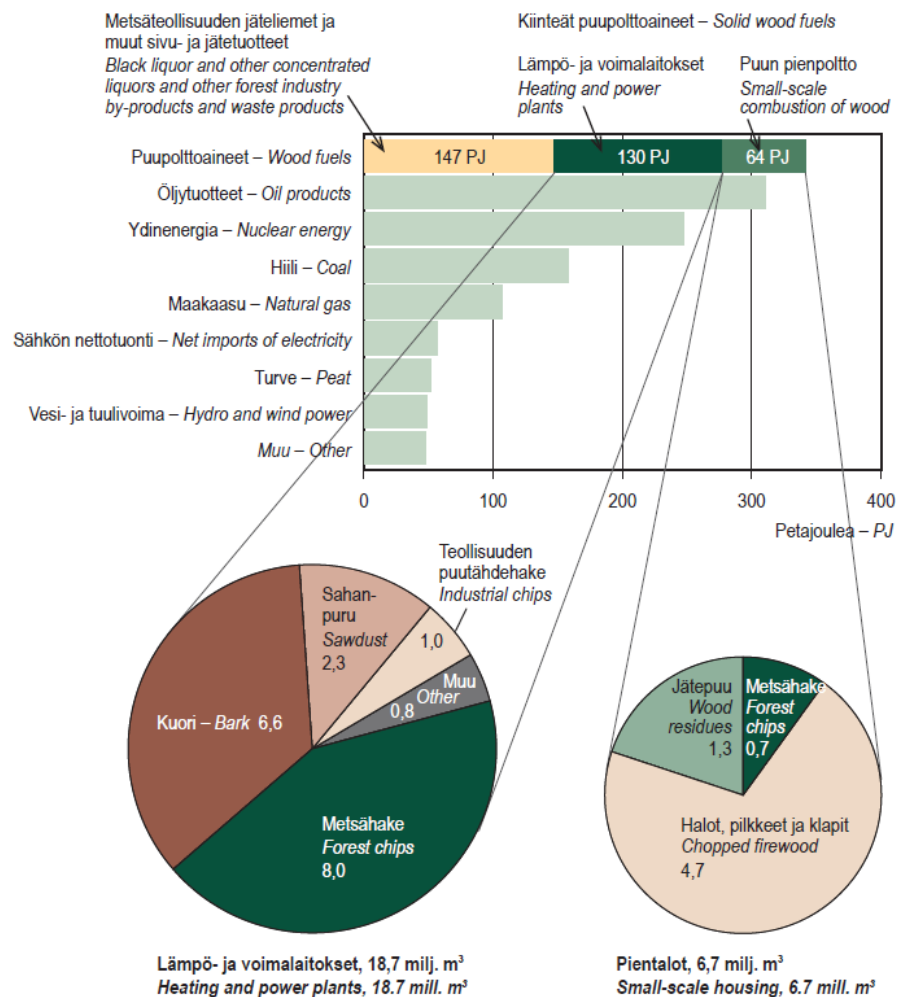
Yritykselle, yhteisölle tai kunnalle voidaan myöntää valtion energiatukea ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- ja selvityshankkeisiin. Hankkeiden tulee: 1) edistää uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä; 2) edistää energiansäästöä tai energiantuotannon tai käytön tehostamista; 3) vähentää energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja. Energiatukea myöntää työ- ja elinkeinoministeriö hankekohtaisen harkinnan perusteella ja tukihakemus toimitetaan hankkeen toiminta-alueen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen. (Valtioneuvoston asetus 1063/2012; Työ- ja elinkeinoministeriö 2016, a)

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltavat pienen kokoluokan biomassakattilat täyttävät edellä mainitut tuen myöntämisehdot, koska energiatukea myönnetään vain alle 10 MW:n lämpökeskuksille. Energiatukea ei kuitenkaan myönnetä hankkeille, joissa siirrytään kaukolämmöstä erilliseen lämmöntuotantoon. Myöntämisehtona on myös 50 % uusiutuvan energian osuus polttoainekäytössä. Investointihankkeessa myönnettävän tuen osuus voi enintään olla 30 % hyväksyttävistä kustannuksista ja tukea voidaan korottaa kymmenen prosenttiyksikköä siltä osin kuin hanke sisältää uutta teknologiaa (Valtioneuvoston asetus 1063/2012). (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016, b)

Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 MW energiantuotantoyksiköiden ympäristösuojeluvaatimuksista tuli voimaan vuonna 2013. Tätä asetusta kutsutaan PIPO-asetukseksi, joka koskee 5-50 MW erillisiä energiantuotantoyksiköitä, joissa voidaan polttaa kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta. PIPO-asetus koskee tässä kandidaatintyössä käsiteltävää laitospöytäluokkaa, kun 1-5 MW:n samalla laitosalueella sijaitsevien laitospöytäluokkien yhteenlaskettu teho ylittää 5 MW. Uusille laitoksille tätä asetusta sovelletaan heti sen tultua voimaan 1.11.2013 ja olemassa oleville laitoksille vaatimukset tulevat voimaan viimeistään 1.1.2018. Asetus sisältää vaatimuksia koskien päästöraja-arvoja, savupiippujen korkeuksia, polttoaineen varastointia ja jätevesien käsittelyä. (Valtioneuvoston asetus 750/2013)

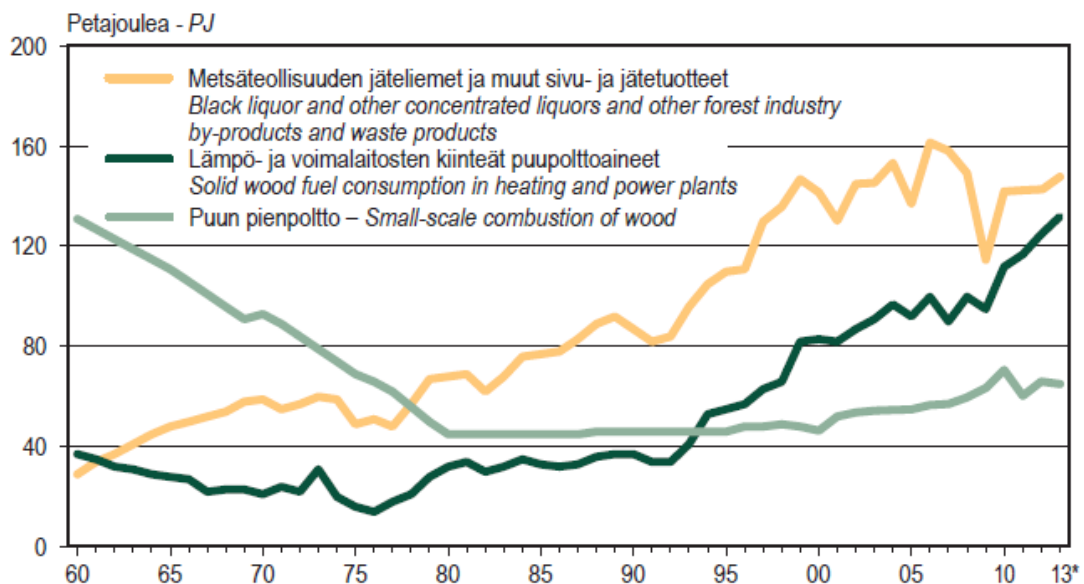
2 BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA

Vuonna 2013 energian kokonaiskulutus Suomessa oli 1369 PJ, josta uusiutuvan energian osuus oli 32 %. Puupolttoaineilla katettiin kokonaiskulutuksesta 25 % ja uusiutuvista energianlähteistä 79 %. Tässä Suomen virallisessa tilastossa puupolttoaineilla tarkoitetaan metsäteollisuuden jäteliemiä ja muita sivutuotteita, lämpö- ja voimalaitosten kiinteitä polttoaineita sekä puun pienpolttoa. Turpeen osuus kokonaiskulutuksessa oli 4 %. Liikenteessä käytettävät biopolttoaineet sisällytetään öljytuotteisiin. Suomen energian kokonaiskulutus energialähteittäin vuonna 2013 esitetään kuvassa 1. (Metsäntutkimuslaitos 2014, 267-270)



Kuva 1. Energiankulutus Suomessa energialähteittäin 2013 (Metsäntutkimuslaitos 2014, 273).

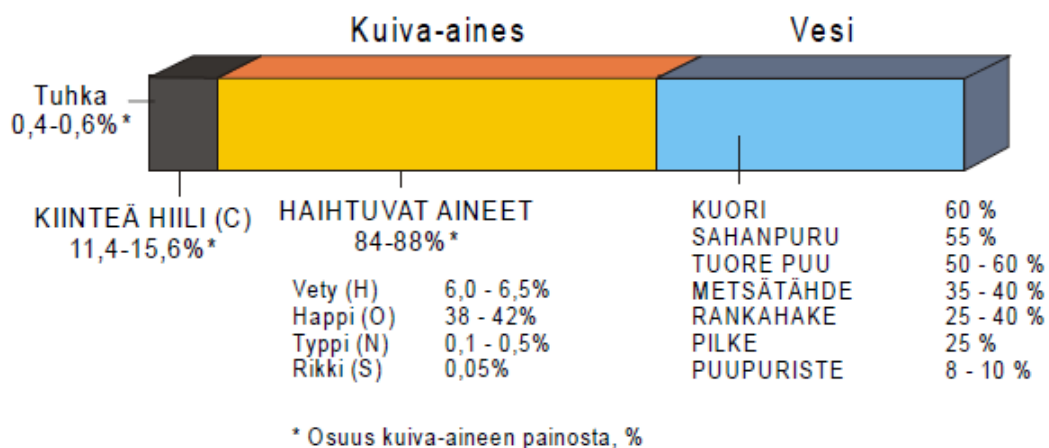
Metsäntutkimuslaitos vastaa lämpö- ja voimalaitosten käyttämistä kiinteiden puupolttoaineiden tilastollisesta tiedonkeruusta. Polttopuun pienpolttoa tilastoi Metsäntutkimuslaitos otantatutkimuksilla 5-10 vuoden välein ja viimeisin tilastointi on tehty lämmityskaudella 2007/2008. Puupelletin kulutuksen tilastointi on suoritettu vuodesta 2006 alkaen Metsäntutkimuslaitoksella ja vuosina 2000-2005 tilastointi on perustunut VTT:n laatimiin selvityksiin. Tilastokeskus taas vastaa metsäteollisuuden jäteliemien ja sen muiden sivu- ja jätetuotteiden sekä turpeen energiankulutuksen tietojen keruusta. Kuvassa 2 esitetään puupolttoaineiden kulutukset Suomessa vuosina 1960-2013. (Metsäntutkimuslaitos 2014, 269-271)



Kuva 2. Puupolttoaineiden kulutus Suomessa vuosina 1960-2013 (Metsäntutkimuslaitos 2014, 274).

Metsäteollisuuden jäteliemien ja muiden sivu- ja jätetuotteiden käytön muutokseen on vaikuttanut puunjalostusteollisuuden tuotannon määrä. Lämpö- ja voimalaitosten polttoaineiden käytön lisääntyminen on seurausta siitä, että Suomessa uusiutuvan energian käyttöä on lisätty ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Puun pienpoltto on vähentynyt mm. kaupungistumisen takia, jolloin esimerkiksi kaukolämpöasiakkaiden määrä on kasvanut, eikä rakennuksien lämmitykseen käytetä enää niin paljon takkoja ja kamiinoita.

Puun kuiva-aineen massasta noin 99 % koostuu hiilestä, vedystä ja hapesta. Eri puulajien alkuainepitoisuudet eroavat vain vähän toisistaan. Muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna puun tuhkapitoisuus on pieni eli tavallisesti alle 0,5 %. Puu sisältää paljon haihtuvia aineita, jolloin se vaatii poltettaessa suuren palotilan. Puupolttoaineiden tehollinen lämpöarvo riippuu merkittävimmin sen käyttötilan kosteudesta. Kuvassa 3 esitetään puun tyypillinen koostumus. (Alakangas 2000, 35-45)



Kuva 3. Puun tyypillinen koostumus (Alakangas 2000, 35).

2.1 Polttohake

Energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2013 katettiin noin 4 % lämpö- ja voimalaitosten käyttämällä metsähakkeella eli 57 PJ, joka oli kiinteiden biopolttoaineiden kategoriassa toiseksi suurin määrä puun pienpolton jälkeen (Metsäntutkimuslaitos 2014, 227). Kuvan 2 mukaan metsähake on mukana pienellä osuudella myös puun pienpoltossa. Polttohake valmistetaan hakkurilla kokopuusta, rangoista, metsätähteestä tai muusta puuaineksesta. Hakepalojen tyypillinen pituus on 5-50 mm ja niillä on pieni paksuus verrattuna muihin mittoihin.

2.2 Kuori

Energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2013 katettiin noin 3 % lämpö- ja voimalaitosten käyttämällä kuorella eli 42 PJ, jolloin se oli neljänneksi suurin määrä kiinteiden biopolttoaineiden kategoriassa (Metsäntutkimuslaitos 2014, 227). Kuorelle on ominaista korkea kosteus- ja tuhkapitoisuus, joka esimerkiksi kuusella on 2,8 % kuiva-aineesta. Polttoaineena kuori on heterogeenista ja voi täten aiheuttaa ongelmia käsittely- ja syöttölaitteissa. Edellä mainittujen ominaisuuksien takia kuoren poltossa onkin usein kyse kuorijätteen hävittämisessä, eikä sen käytöstä optimaalisena polttoaineena. (Alakangas 2000, 66)

2.3 Pelletti

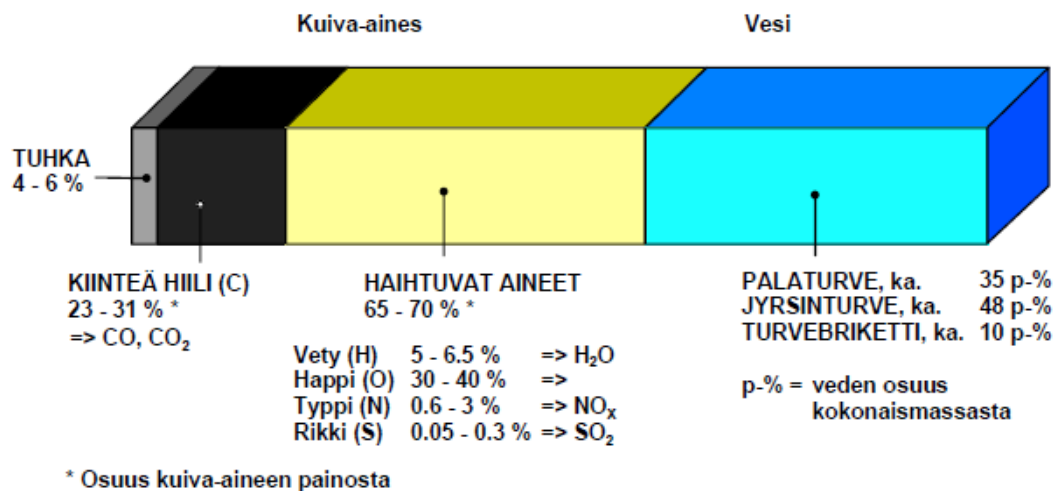
Suomessa puupelletin tuotanto on aloitettu 1990-luvun lopulla ja vuonna 2013 toiminnassa olevia pellettitehtaita on noin 27 kappaletta (Bioenergia ry). Vuonna 2013 pelletin tuotanto Suomessa oli noin 270 000 tonnia, josta ulkomaan viennin osuus oli 78 000 tonnia. Pelletin tuonti Suomeen oli 60 000 tonnia. Kotimainen pelletin kulutus vuonna 2013 oli koti- ja maatalouskäytössä 58 000 tonnia. Voimalaitoksissa ja suurkiinteistöissä, joissa kattilateho on yli 25 kW, pelletin kulutus oli 165 000 tonnia. (Metsäntutkimuslaitos 2014, 284)

Nykyisin puupelletin raaka-aineena käytetään mekaanisen puunjalostusteollisuuden havupuiden sivutuotteita, kuten kutterilastua, sahanpurua ja hiontapölyä. Raaka-aineiden kosteus saa enintään olla 10-15 % ja tarvittaessa raaka-aineet kuivatetaan. Jauhettu pelletin raaka-aine puristetaan matriisin reikien läpi, jossa lämpötilan nousun takia luonnolliset sidosaineet muodostavat pelletin pintaan koossa pitävän kerroksen. (Bioenergia ry)

Pelletin valmistajat määrittelevät itse laatukriteerinsä ja standardien noudattaminen on vapaaehtoista. Vapo määrittelee 1-laatuisen puupellettinsä halkaisijaksi $8 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ja pituudeksi 3,15 mm-40 mm. Maksimikosteus on 10 % ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa vähintään 16,5 MJ/kg. (Vapo Oy 2013)

2.4 Turve

Kiinteiden biopolttoaineiden kategoriassa Suomen kokonaisenergian kulutuksesta vuonna 2013 katettiin turpeella 52 PJ eli noin 4 %, jolloin se oli kolmanneksi eniten käytetty kiinteä biopolttoaine (Metsäntutkimuslaitos 2014, 227). Suomessa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi, koska sen polton ilmastovaikutukset ovat verrannollisia fossiilisiin polttoaineisiin. Turve on muodostunut kuolleesta biomassasta maatumalla kosteissa olosuhteissa ja hapen puutteessa. Turpeen hiilipitoisuus on suurempi kuin puun, joten se palaa hitaammin. Turpeelle tyypillinen koostumus esitetään kuvassa 4. (Alakangas 2000, 88)



Kuva 4. Turpeen tyypillinen koostumus (Alakangas 2000, 88).

3 ARINAKATTILAT

Pienimmät pienten kiinteistöjen lämmitykseen käytettävät biomassakattilat on tyypillisesti varustettu stokeripolttimella eli laitteistolla, joka koostuu varastosäiliöstä, ruuvisiirtimestä ja poltinosasta. Kiinteät arinat ovat yleensä käytössä 1 MW kokoluokkaan asti ja sitä tehokkaammat on tyypillisesti varustettu mekaanisella liikkuvalla arinalla. Yli 5 MW kattilat ovat tyypillisesti leijukerroskattiloita. (Oravainen 2003, 96-98)

Biomassakattiloiden käytön ei katsota lisäävän ilmamehän hiilipitoisuutta, koska poltossa vapautuvan hiilidioksidin katsotaan sitoutuvan takaisin kasvaviin metsäbiomassoihin. Tämän kokoluokan kattiloiden pääasialliseksi polttoaineeksi voidaan lukea metsähake. Hakkeen hiilineutraaliutta tulee kuitenkin tarkastella sen koko valmistusprosessin ajalta. Metsäbiomassan korjuutyössä ja haketuksessa käytetään tyypillisesti fossiilisia polttoaineita, sekä hakkeen kuljetus käyttöpaikalleen tuottaa hiilidioksidipäästöjä. Hakkuutähteen tuotannon ja polton kasvihuonekaasupäästön polttoaineen energiasisältöä kohden katsotaan keskimäärin olevan $2 \text{ kgCO}_2 \text{ eqv/GJ}_{\text{pa}}$. (Vihanninjoki 2015, 40-41)

3.1 Polttoaineen ja ilman syöttö

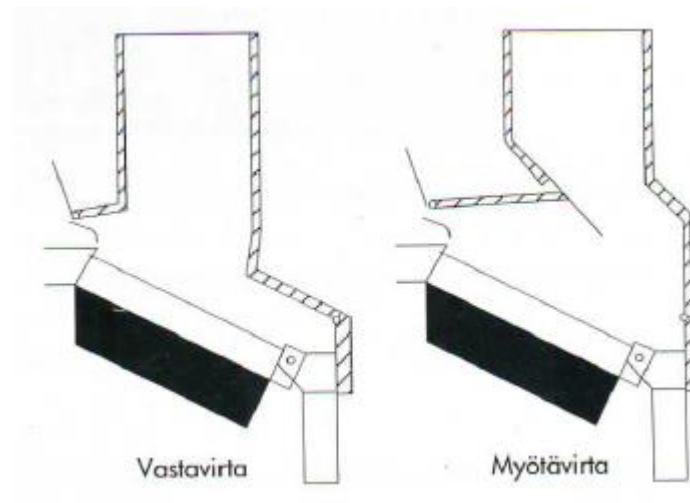
Arinakattiloissa poltetaan erilaisia biomassoja, hiiltä ja jätteitä. Kuitenkaan lietteet eivät sovellu poltettavaksi, koska niiden korkeat tuhkapitoisuudet aiheuttavat arinarakenteen tukkeutumista. Polttoaineen syötössä on tärkeää saada polttoaine leviämään koko arinalle. Jos polttoaine leviää epätasaisesti arinalle, se aiheuttaa primääri-ilman karkaamista ohuemman polttoainekerroksen läpi. Primääri-ilma syötetään tulipesään arinarakenteen läpi ja sekundääri-ilma syötetään tulipesän kaasutilaan, jossa mahdollistetaan haihtuvien aineiden loppuun palaminen. (Huhtinen et al. 146-147; Maskuniitty 1995, 398-400)

Tyypillisesti 500 kW-5 MW:n kattilalaitosten kokoluokassa polttoaineen vastaanottoasema toimii samalla varastona. Polttoainevarasto voidaan varustaa avautuvalla katolla, mikä voidaan täyttää etukuormaajalla tai rinneratkaisuissa suoraan kuorma-autosta. Varaston koko määräytyy pisimmän täyttövälän perusteella, eli esimerkiksi täytetäänkö varasto päivittäin vai onko viikonloppuisin tauko. Tyypillisesti varastosta polttoaine puretaan tanko- tai kola-pohjapurkaimella kattilaan vievälle kola- tai ruuvikuljettimelle. Tankopohjapurkainten hinta

ja tehontarve ovat suurempia kuin kolapohjapurkaimilla. Tankopurkainvaraston perustuksien täytyy olla mitoitettu vahvemiksi kuin kolapurkaimella varustetun, koska tankopurkain aiheuttaa suurempia rasisusvoimia perustuksiinsa. Tankopurkain koostuu tyypillisesti erillisistä yksiköistä, joten yhden yksikön vaurioituminen ja sen huolto ei estä muiden toimimista. Kolapurkaimissa on pitkä ketju, jonka huolto voi olla haasteellista ahtaiden tilojen takia. Polttoainevarasto voidaan myös varustaa automatisoidulla kahmarinosturilla, jolla polttoaine siirretään varastosta syöttösiiloon. (Flyktman et al. 2012, 11-13)

3.2 Tulipesän geometria

Pääperiaatteita tulipesän geometrioille ovat vastavirta- ja myötävirtaperiaatteet. Geometrian toteutus tehdään käytettävän polttoaineen perusteella. Vaikuttavia tekijöitä ovat kosteus ja haihtuvien aineiden määrä. Tulipesäkonstruktioiden pääperiaatteet esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Arinakattilan tulipesäkonstruktioiden pääperiaatteet (Maskuniitty 1995, 402).

Vastavirtaperiaatteessa savukaasut johdetaan arinan osaan, johon uutta polttoainetta syötetään. Tämä menetelmä sopii kosteille polttoaineille, jotka tarvitsevat paljon lämpöä syttyäkseen. Myötävirtaperiaatteessa haihtuvat aineet johdetaan liekkivyöhykkeen läpi ja täten tehostetaan täydellistä palamista. Tämä periaate soveltuu kuivemmille polttoaineille, jotka tarvitsevat vähemmän lämpöä syttyäkseen. Geometrian valinnoilla pyritään aikaansaamaan mahdollisimman tasainen lämpötilajakauma tulipesässä, koska polttoaineen halutaan palavan tasaisesti arinalla. (Maskuniitty 1995, 401-402)

3.3 Arinarakenteet

Arinalla tarkoitetaan tulipesän pohjalle sijoitettua polttolaitetta, jonka pinnalla polttoaine poltetaan. Arinat voidaan jakaa kiinteisiin ja mekaanisiin arinoihin ja ne voivat olla tasossa, viistossa tai porrastettuja. Pienitehoisten kattiloiden arinoita jäähdytetään primääri-ilmalla ja suuritehoisissa jäähdytys on osa kattilan vesikiertoa. Tyypillisesti arina on valmistettu valuraudasta, johon on voitu lisätä kromia lämmönkestävyyden parantamiseksi. (Maskuniitty 1995, 399-400)

Kiinteät viistoarinat on tyypillisesti sijoitettuna 35-38°:n kulmaan (Maskuniitty 1995, 399). Polttoaine liikkuu arinalla painovoiman vaikutuksesta ja kallistuskulma määräytyy käytettävän polttoaineen ominaisuuksien mukaan. Yleisesti viistoarinan jälkeen on ns. jalka-arina, jossa polttoaineen loppuunpalaminen varmistetaan. Viistoarinat voivat olla myös porrastettuja. Kiinteitä tasoarinoita käytetään lähinnä pienissä kattiloissa, joissa ei ole koneellista polttoaineen syöttöä. (Huhtinen et al. 2000, 147)

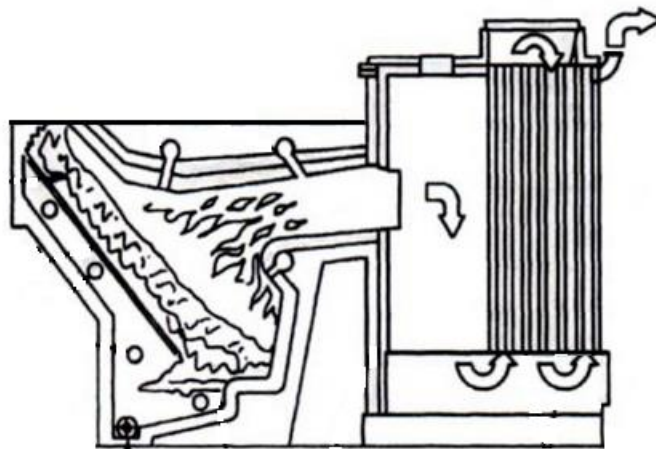
Mekaanisissa viistoarinoissa polttoaineen liikkumista tehostetaan arinarautojen liikkeellä tai tärinällä, joten ne eivät ole niin kaltevia kuin kiinteät viistoarinat. Mekaaniset ketjuarinat ovat tasoarinoita, joissa polttoainetta liikutetaan ketjun mukana. Ketjua eli arinapintaa liikutetaan ketjupyörällä. Tämä arinatyyppi soveltuu parhaiten kivihiilen polttoon. (Huhtinen et al. 2000, 149-151)

Alasyöttöarinoissa polttoaine syötetään ruuvikuljettimella arinan alapuolelta sen keskelle. Arinapinta on tyypillisesti kartion muotoinen ja polttoaine palaa siinä kekomaisessa muodossa. Polttoainekerros kuivuu ja kaasuuntuu keon sisällä ja syttyy saavuttaessaan keon pinnan. Mekaanisissa alasyöttöarinoissa erästä sovellusta kutsutaan pyöriväksi kekoarinaksi, jossa arina on jaettu pyöriviin vyöhykkeisiin. Tätä arinamallia on sovellettu erittäin märän puupolttoaineen polttamiseen. (Huhtinen et al. 2000, 148; Nurmiainen 2010, 19)

3.4 Lämmönsiirtopinnat

Kattiloiden vesipiirien rakenteet voidaan jakaa suurvesi- ja vesiputkikattiloihin. Suurvesikattiloita eli tulitorvi-tuliputkikattiloita käytetään tyypillisesti kuuman veden tai matalapaineisen höyryn tuottoon, jonka maksimilämpötila on noin 450 °C ja paine 35 bar. Biomassaa polttavissa kattiloissa käytetään tulitorvi-tuliputki ratkaisua lämmönsiirtopintana tyypillisesti 1 kW-25 MW kokoluokassa. Vesiputkikattiloilla tuotetaan tyypillisesti korkeapaineista höyryä, jonka maksimiarvot ovat 580 °C ja 150 bar. Kattiloiden teholuokka on 2-2000 MW. (Quaak et.al 1999, 20-21)

Kuvassa 6 esitetään kolmivetoisen tulitorvi-tuliputki arinakattilan periaate, jossa tuliputket ovat pystyasennossa. Kolmivetoisuudella tarkoitetaan sitä, että savukaasut kiertävät tuliputkinipussa kolmeen suuntaan. Savukaasun kulku lämmönsiirtopinnoilla esitetään kuvassa nuolilla.

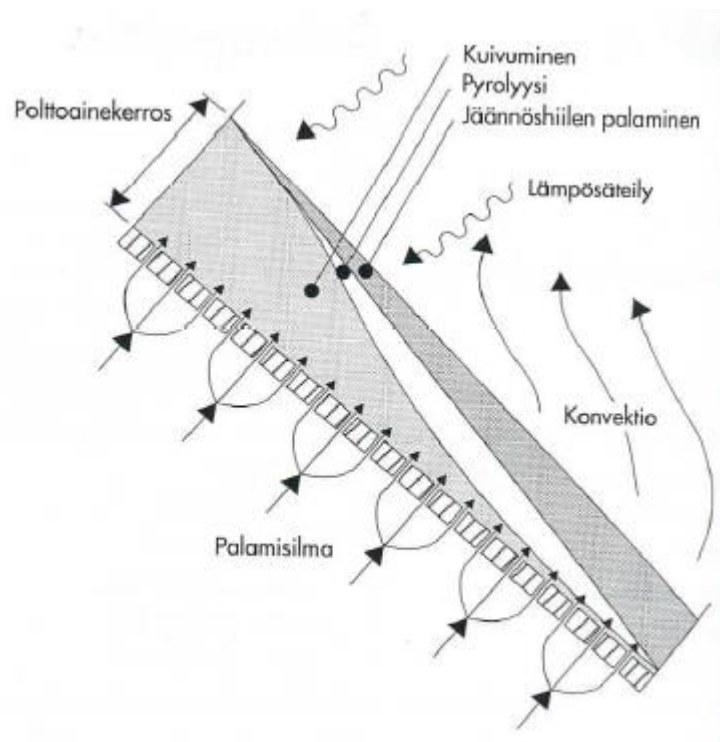


Kuva 6. Kolmivetoisen tulitorvi-tuliputkikattilan savukaasuvirrat. Muokattu lähteestä (Quaak et.al 1999, 21).

Tulitorvi-tuliputkikattilassa polttoaine palaa tulipesässä sekä tulitorvessa ja savukaasut kulkevat lämmönsiirtopintana toimivien tuliputkien läpi. Tuliputket voidaan sijoittaa joko pystyasentoon tai vaakatasoon. Tuliputkia ympäröi vesi ja suurvesikattilan etu vesiputkikattilaan verrattuna on, ettei siinä tarvita niin hyvää syöttövedenlaatua. Suurvesikattilan lämmönsiirtimen vesitilavuus on suurempi kuin vesiputkikattilassa, joten sillä on yksinkertaisempi tuottaa kuumaa vettä tai höyryä tasaisilla lämpötilan ja paineen arvoilla. (Quaak et.al 1999, 20-21)

3.5 Palaminen arinalla

Kiinteillä polttoaineilla palaminen arinalla tapahtuu samojen päävaiheiden mukaisesti kuin muillakin polttomenetelmillä. Päävaiheet ovat kosteuden poistuminen, pyrolyysi ja jään-
nöshiilen palaminen. Kaikkia päävaiheita esiintyy arinalla yhtäaikaisesti. Palaminen arinalla esitetään kuvassa 7.



Kuva 7. Kiinteän polttoaineen palaminen arinalla (Maskuniitty 1995, 394).

Biopolttoaineiden suuren kosteuden takia suurin osa arinapinnasta on varattava polttoaineen kuivaamiseen. Edullisen palamistuloksen kannalta kosteuden poistumisen tulee olla nopeaa, sillä veden höyrystyminen laskee tulipesän keskimääräistä lämpötilaa. Kosteuden poistumista voidaan tehostaa pienentämällä polttoaineen palakokoa, esilämmittämällä palamisilmaa sekä oikeilla tulipesän geometrian valinnoilla. (Maskuniitty 1995, 394)

Pyrolyysivaiheessa polttoaineesta vapautuu inerttejä kaasuja, palavia kaasuja sekä nestemäisiä terva-aineita. Biopolttoaineilla haihtuvien aineiden määrä on 70 %:n luokkaa, joten suurin osa kuiva-aineen tehollisesta lämpöarvosta vapautuu pyrolyysivaiheessa. Alussa pyro-

lyysi on endoterminen reaktio, mutta lämpötilan noustessa se muuttuu eksotermiseksi, jolloin lämpöä vapautuu. Haihtuvat aineet palavat tulipesässä diffuusioliekillä ja haihtuvien aineiden määrän ollessa suuri tarvitaan kaasuille riittävä viipymäaika. Hyvä palamistulos saadaan oikeilla tulipesänkonstruktioilla, joissa kuumilla säteilypinnoilla saadaan aikaiseksi syttymiselle riittävä lämpötila. Palamisilman riittävä sekoittumien on myös edullista täydellisen palamistuloksen saavuttamiseksi. (Maskuniitty 1995, 395)

Viimeinen vaihe on jäännöshiilen palamien, jossa jäljellä oleva kiinteä hiili palaa ilman liekkiä. Tämä palamisvaihe on hitaampi kuin pyrolyysi ja tarvitsee suhteessa enemmän arinapintaa. Arinapoltossa suurin osa tuhkasta poistetaan tulipesätuhkana, joten jäännöshiilen palamisvyöhykkeen oikea mitoitus on ensiarvoisen tärkeää. Muuten tuhkan mukana pääsee poistumaan palamatonta kiinteää hiiltä. Jäännöshiilen palamista voidaan tehostaa pienentämällä polttoaineen palakokoa ja lämpötilaa nostamalla. (Maskuniitty 1995, 395)

Lämpötilan nostossa on kuitenkin huomioitava tuhkan sulamiskäyttäytyminen. Puun tuhkan sulamislämpötila on yli 1400 °C ja turpeen 1050-1150 °C. Käytännössä puulla ei esiinny ongelmia arinapoltossa, mutta turpeella se on mahdollista. Sulanut tuhka voi aiheuttaa ongelmia primääri-ilman ilman syötössä arinapinnan läpi ja sula lentotuhka aiheuttaa lämmönsiirtopintojen likaantumista. (Maskuniitty 1995, 398)

3.6 Kattiloiden paloturvallisuus

Kiinteän polttoaineen kattiloissa tulipalot alkavat tyypillisesti kytemällä ja suurin turvallisuusriski on takapalon vaara polttoaineen syöttöjärjestelmässä. Suurin riski takapalon kehittymiselle on häiriötilanteissa, kuten sähkökatkojen aikana tai laiterikon tapahtuessa. Kattilan savukaasupuhaltimen toiminnan varmistaminen kaikissa käyttötilanteissa on tärkeää, koska tulipesän alipaineen ylläpitäminen vähentää takapalon riskiä merkittävästi. Kytemällä alkavien tulipalojen havaitsemiseen käytetään häikäilmaisimia ja lämmönilmaisinkaapeleita. Kattilalaitokset tulee varustaa automatisoidulla sammutinjärjestelmällä ja sen toimintakunto on tarkistettava säännöllisesti. (Flyktman et al. 2012, 23-26)

3.7 Arinapolton päästöt

Energiateollisuus ry ja ympäristöministeriö ovat tilanneet suosituksen VTT:n erikoistutkijoilta. Raporttiin on koottu kotimaisia kiinteitä polttoaineita käyttävien kattilalaitosten teknisiä ratkaisuja ja toiminnallisia vaatimuksia. Suositus käsittää 0,5-30 MW kokoluokan ja siinä tarkastellaan ensisijaisesti 500 kW-5 MW:n erillisiä kattiloita. Alle 5 MW kokoluokalle ei ole säädetty päästörajoituksia, joten suositusten ja tavoitearvojen noudattaminen on toimijoiden puolesta omaehtoista. Tämä raportti julkaistiin vuonna 2012 ja sen tarkoituksena oli korvata vuonna 1987 julkaistut Lämpölaitosyhdistys ry:n suositukset. Parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) vertailuasiakirja myös koskee tällä hetkellä vain yli 5 MW:n polttolaitoksia (Jalovaara et al. 2003, 11). (Flyktman et al. 2012, 1-2)

Häkäpäästöä (CO) on olennaista tarkastella alle 5 MW kokoluokassa, koska sitä voidaan käyttää kattilan säätöparametrina. Korkeat savukaasujen häkäpitoisuudet ilmaisevat epätäydellistä palamista, joka vaikuttaa kattilan käytettävyyteen. Toisaalta häkäpäästöjen kasvessa hiilivetyjen (C_xH_y) ja ilokaasun (N_2O) päästöt kasvavat voimakkaasti, joten toissijaisesti häkäpäästöä voidaan tarkastella myös päästösuureena. Alle 5 MW kokoluokassa häkäpäästöjen hetkelliset pitoisuudet ovat 20-10 000 mg/m_n^3 , jossa suurimmat pitoisuudet esiintyvät polttoaineen syöttöhäiriöiden aikana. Tyypillisesti uusissa yli 500 kW kattiloissa on lambda-anturi, jolla mitataan savukaasujen happipitoisuutta. Tällä säätöparametrilla kattilan automaatiolla optimoidaan toisioilman määrää. (Flyktman et al. 2012, 5-6, 28)

Typen oksidien (NO_x) päästöjä alle 30 MW kokoluokassa voidaan vähentää palamisilman vaiheistuksella ja savukaasujen takaisinkierätyksellä (Flyktman et al. 2012, 28). Arinapoltoissa termisen NO_x :n muodostus on merkityksetöntä, koska tulipesälämpötila on tyypillisesti alle 1430 °C. Typen oksidit muodostuvat siis polttoaineen sisältämästä tpeestä, koska tämä reaktio on vähemmän lämpötilariippuvainen. VTT:n tutkimuksessa keskimääräiset typen oksidipäästöt arinapoltoissa puupolttoaineilla 1,8-2,45 MW kattiloissa vaihtelivat välillä 28-180 mg/m_n^3 . Samassa tutkimuksessa arinapoltoissa palaturpeelle keskimääräiseksi päästökseksi 2,7-5,6 MW kokoluokassa saatiin 222-328 mg/m_n^3 , joten voidaan todeta turpeen NO_x päästöjen olevan lähes kaksinkertaiset puupolttoaineisiin verrattuna. Sopiva tavoitetaso 500 kW-5 MW kokoluokassa arinapolton typenoksidien enimmäispäästöille on puupolttoaineilla 375 mg/m_n^3 ja turpeella 500 mg/m_n^3 (Flyktman et al. 2012, 29). (Vesterinen et al. 1985, 68-69)

Arinapoltossa suurin osa tuhkasta poistetaan tulipesän pohjalta, joten 500 kW-5 MW kokoluokassa biomassan poltossa hiukkaspuhdistimeksi riittää sykloni. Sopivaksi enimmäispäästötavoitteeksi tälle kokoluokalle sopii 200 mg/m_n^3 . VTT:n tutkimuksessa arinapoltolla 500 kW-5 MW kokoluokassa hiukkaspäästöt olivat suurimmalla osalla laitoksista alle 500 mg/m_n^3 . Puupolttoaineilla suurimmat päästöt olivat sahanpurulla $470\text{-}618 \text{ mg/m}_n^3$ 1,8-1,9 MW arinakattiloissa. Palaturpeella 2,7-5,6 MW arinakattiloissa päästöt olivat $69\text{-}378 \text{ mg/m}_n^3$. Jyrsinturpeen poltossa havaittiin selvä tarve hiukkaserotuksen lisäämiselle, koska päästö oli $576\text{-}1629 \text{ mg/m}_n^3$ 3,5-6,7 MW kokoluokassa. Tässä tutkimuksessa olevissa laitoksissa savukaasujen hiukkaserottimina käytettiin multisykloneita. (Flyktman et al. 2012, 29; Vesterinen et al. 1985 64-65)

Rikkidioksidipäästö (SO_2) on peräisin polttoaineen sisältämästä rikistä. Puupolttoaineiden rikkipitoisuus on erittäin pieni ja puuntuhkan mineraaliaines sitoo suurimman osan vapautuneesta rikistä. Tyypillisesti turve sisältää edellä mainitusti rikkiä alle 0,3 %. Runsasrikkinen turve suositellaan käytettävän polttoaineena kattiloissa, joissa on pesuri tai seospolttopuun kanssa. Rikkidioksidin enimmäispäästön tavoitetasoksi suositellaan 500 kW-5 MW kokoluokassa puupolttoaineille 200 mg/m_n^3 ja turpeelle 500 mg/m_n^3 . (Flyktman et al. 2012, 28-29)

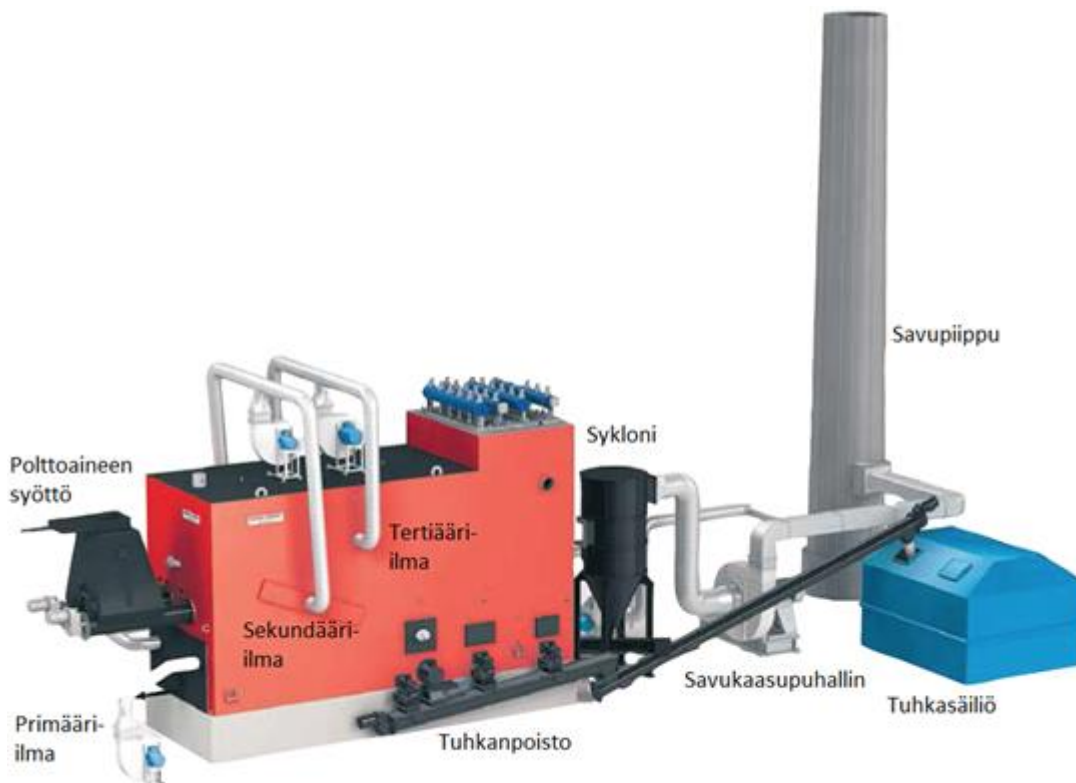
Sekundäärisiksi päästöiksi voidaan luokitella arinapoltossa syntyvä pohjatuhka ja syklonissa erotettu lentotuhka. Toiminnan harjoittajan on pidettävä kirjaa syntyvistä tuhka-jätteistä, jos niitä syntyy yli 100 tonnia vuodessa. Yli 100 tonnin vuotuinen tuhkanmuodostus vastaa noin 2 MW turvetta polttavan tai 5 MW puuta polttavan kattilan määrää. Jätelainsäädäntö linjaa, että tuhka tulisi ensisijaisesti hyödyntää esimerkiksi lannoitteena tai maanrakennuskäytössä. (Flyktman et al. 2012, 30-32)

4 KAUPALLISESTI SAATAVILLA OLEVIA KATTILOITA

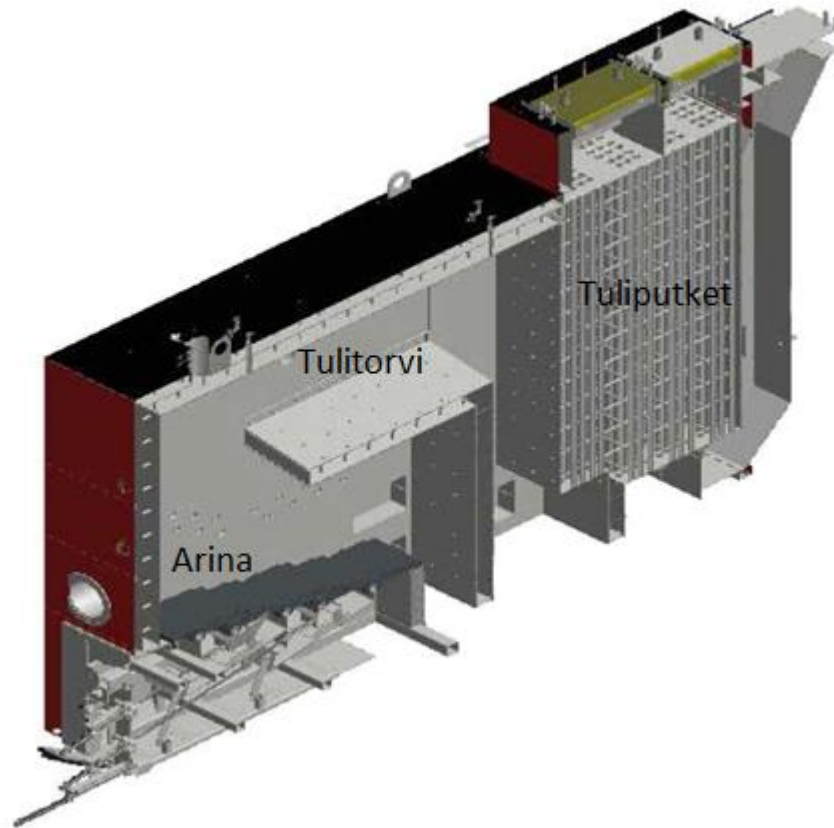
Tässä luvussa esitellään kolme eurooppalaisvalmisteista arinakattilaa. Käsiteltävät kattilavalmistajat ovat Enertech AB / Osby Parca, KPA Unicon Oy ja Schmid AG. Kattiloista esitetyt tekniset tiedot ovat koottu valmistajien teknisistä esitteistä ja internet sivuilta. Laitteistoja havainnollistetaan läpileikkaus kuvien ja prosessikaavioiden avulla.

4.1 Osby Parca HVTS-G

Enertech AB / Osby Parca Division valmistaa Ruotsissa kiinteän polttoaineen biomassakattiloita 100 kW-8 MW kokoluokassa. Yritys valmistaa HVTS-G kattiloita 1-8 MW tehoisina ja ne ovat varustettuina mekaanisella porrasarinalla. Polttoaineena kattilassa voidaan käyttää haketta, jonka kosteuspitoisuus on enintään 55 %. Valmistaja ilmoittaa kattilan vesipiirin suunnitteluarvoiksi 100-165 °C ja 6 bar. Kyseisen HVTS-G kattilalaitoksen kokoonpano apulaitteineen esitetään kuvassa 8 ja läpileikkaus tulipesästä kuvassa 9. (Osby Parca 2013; osbyparca.com)



Kuva 8. Osby Parca HVTS-G kattilalaitos. Muokattu lähteestä (Osby Parca 2013).



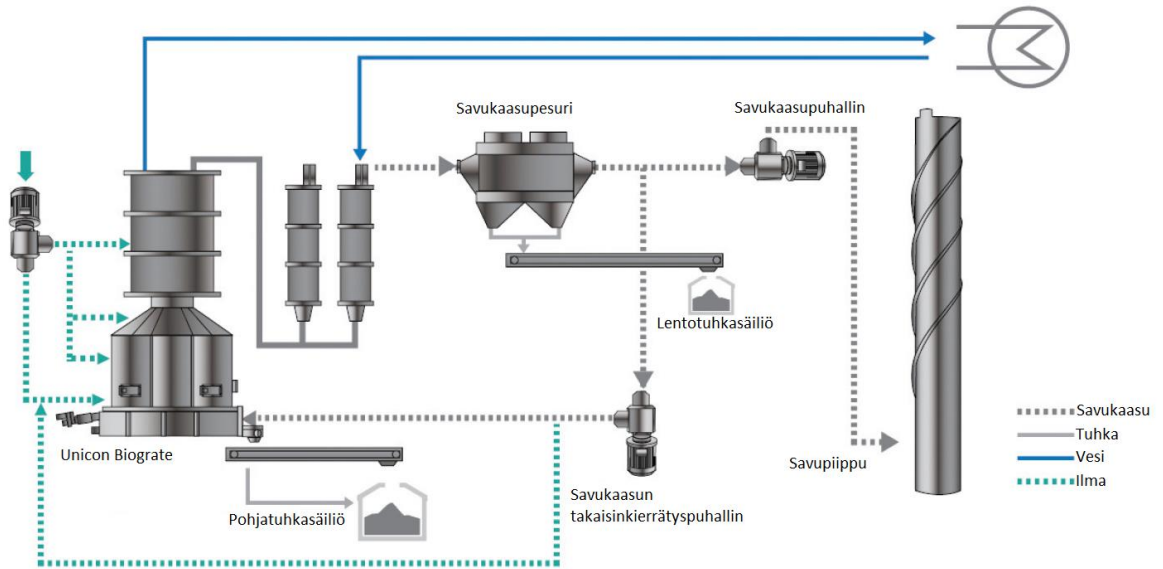
Kuva 9. Osby Parca HVTS-G:n tulipesän läpileikkauskuva. Muokattu lähteestä (Osby Parca 2013). Polttoaine syötetään arinalle kattilan etuosasta ja primääri-ilma syötetään arinassa olevien reikien läpi. Arinan jälkeen palanut polttoaine putoaa tuhkatilaan, josta se siirretään tuhkasäiliöön. Kattilassa on sekundääri- ja tertiääri-ilmalle erilliset palamisilmapuhaltimet. Kattilan lämmönsiirtopinta on tulitorvi tuliputki tyyppinen. Palotilan jälkeen savukaasut kiertävät tuliputkien läpi, mitkä esitetään kuvassa 9. Savukaasukanavien automaattinen nuohous on toteutettu paineilmalla. Kattilalaitos sisältää savukaasupuhaltimen ja savukaasujen hiukaspäästöjä vähennetään syklonilla. (Osby Parca 2013)

4.2 KPA Unicon Biograte

Kotimaisen KPA Unicon Oy:n Biograte -kattilassa on pyörivä kartiomainen alasyöttöarina, jonka reunoilta tuhka poistetaan. Kattilan läpileikkaus esitetään kuvassa 10 ja valmistajan esittämä laitoksen prosessikaavio kuvassa 11. KPA Unicon tarjoaa kyseisiä vesikattiloita 3-25 MW ja höyrykattiloita 5-37 t/h kokoluokassa. Kattila sopii kosteille polttoaineille perinteisiä malleja paremmin, ja polttoaineeksi soveltuvat kuori, sahanpuru, hake, metsätähde ja turve. Yrityksellä on mahdollisuus toimittaa 3-6 MWth laitokset tehtaalla esivalmistettuina moduuleina. Kuumen veden tuottamiseen tarkoitettun kattilan vesipiirin maksimipaine on 16 bar ja lämpötila 180 °C. Höyrykattilan maksimipaine on 50 bar ja lämpötila 450 °C. (kpau-nicon.fi; KPA Unicon Oy 2015)



Kuva 10. Unicon Biograte -kattilan tulipesän läpileikkaus (KPA Unicon Oy 2015).



Kuva 11. Unicon Biograte kattilalaitoksen prosessikaavio. Muokattu lähteestä (KPA Unicon Oy 2015).

Kattilan läpileikkäuskuvasta nähdään, että polttoaine syötetään stokerilla arinan keskelle. Polttoaine kuivuu keskellä ja syttyy siirtyessään sivummalle. Pyöreä tulipesärakenne mahdollistaa tasaisen lämpötilajakauman, eikä kylmiä nurkkia synny. Rakenteen pohjalla on vedellä täytetty tuhkatila, josta tuhka poistetaan märkinä. Arinarakennetta jäähdytetään savukaasun takaisinkierätyksellä. Prosessikaaviossa esitetään kattilalaitoksen ilma-, vesi-, tuhka- ja savukaasuvirrat. (KPA Unicon Oy 2015)

4.3 Schmid AG UTSW 3200

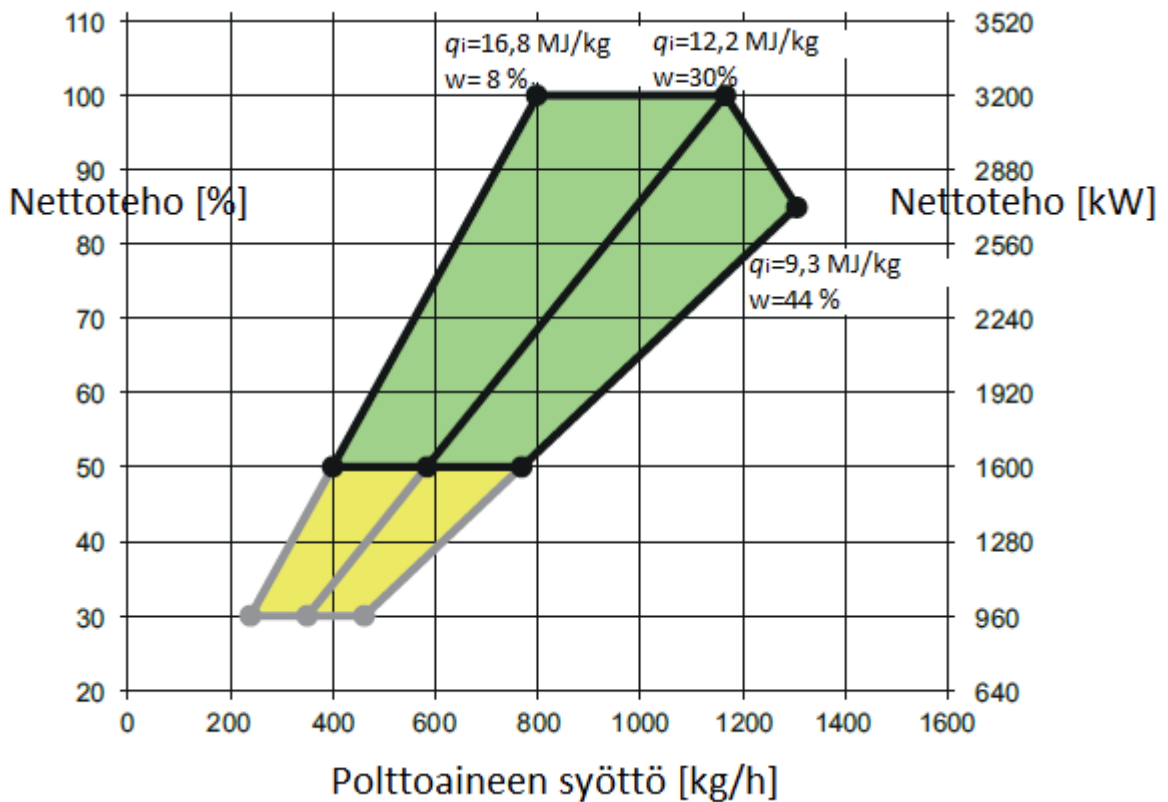
Schmid AG on sveitsiläinen yritys, joka valmistaa kiinteää biomassaa polttavia teollisuuskattiloita. Arinaratkaisuna on tarjolla alta syöttäviä kekoarinoita, ilmajähdytteisiä liikkuvia tasoarinoita ja vesijähdytteisiä liikkuvia porrassarinoita. Kattiloiden lämmönsiirtopinnat ovat tulitorvi-tuliputki tyyppisiä ja niissä on integroitu multisykloni savukaasujen puhdistukseen. Yritys tarjoaa teollisuuskattiloita kuuman veden tai höyryn tuottoon. Tarjolla on myös kattiloita, joissa kiertoaineena käytetään termoöljyä. (Schmid AG)

Yrityksen valmistama UTSW-kattila on varustettu vesijähdytteisellä porrassarinalla ja sitä on saatavilla 300-4200 kW kokoluokissa. Kattila on suunniteltu polttamaan kuivia biomassoja, joiden maksimikosteus on 40 %. Kattilalla voidaan tuottaa vain kuumaa vettä. Kuvassa 12 esitetään kattilan läpileikkauskuva, jossa komponentit ovat numeroituna. Kuvassa 13 esitetään UTSW 3200 -kattilan tehon kuvaaja polttoaineen syötön funktiona. (Schmid AG)



Kuva 12. UTSW 3200 -kattilan läpileikkaus. Muokattu lähteestä (Schmid AG).

Läpileikkauskuvan numeroidut komponentit ovat 1) polttoaineen syöttöruuvi; 2) vesijähdytteisillä seinillä varustettu palotila; 3) vesijähdytteinen mekaaninen porrasarina; 4) tuhka-alue; 5) arinanalus tuhkanpoisto; 6) automaattinen arinan tuhkanpoisto; 7) arinan huoltoluukku; 8) palotilan holvi; 9) palotilan valumassavuoraus; 10) toisiopalotila; 11) kolmivaiheinen lämmönsiirrin; 12) lämmönvaihtimen etuovi automaattisella paineilmanuohouksella; 13) multisykloni ja 14) palotilan käyttö- ja tarkastusluukku. (Schmid AG)



Kuva 13. UTSW 3200 kattilan tehon kuvaaja, jossa q_i on tehollinen lämpöarvo ja w kosteus. Muokattu lähteestä (Schmid AG).

Kuvaajassa esitetyn kattilan nimellisteho on 3200 kW. Y-akselilla on kattilan nettoteho (kW) ja x-akselilla polttoaineen syöttö (kg/h). Kuvaajassa esitetään kolmella eri lämpöarvoisella ja kosteuspitoisella polttoaineella saavutettava nettotehontuotto polttoaineen syötön funktiona. Kuvaajassa vihreällä alueella tarkoitetaan jatkuvaan tehontuottoon soveltuvaa käyttöä ja keltainen alue eli alle 50 %:n osakuorma-ajo soveltuu vain ajoittaiseen käyttöön. (Schmid AG)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomessa hajautetuksi energiantuotannoksi määritellään esimerkiksi nimellisteholtaan alle 10 MW:n uusiutuviin energiamuotoihin tai pien-CHP:n perustuvat tuotannot. Hajautetulle energiantuotannolle on ominaista pienemmät laitosyksiköt kuin keskitetyssä tuotannossa ja energian tuotantoyksiköt ovat lähempänä kuluttajia. Hyötysuhde on yleensä huonompi hajautetussa energiantuotannossa kuin keskitetyssä, mutta hajautettu tuotanto mahdollistaa lyhemmät energian siirtomatkat. Keskitetyssä energiantuotannossa laitoksen investointi- ja käyttökustannukset ovat edullisemmat suhteutettuna tuotettavaan energiamäärään kuin hajautetussa tuotannossa. Keskitetyssä tuotannossa on myös taloudellisesti mahdollista saavuttaa tehokkaampi päästöjen hallinta. Arvioidaan, että tulevaisuudessa hajautetun energian tuotannon määrä tulee kasvamaan, mutta keskitetty tuotanto tulee säilymään järjestelmän ns. selkärankana. Hajautetun energiantuotannon lisääntyminen tulee riippumaan merkittävästi kannustinjärjestelmien, teknologioiden ja hintojen kehityksestä. (Nurmiainen 2010, 33-34)

Tässä kandidaatintyössä käsiteltävässä biomassakattiloiden kokoluokassa eri kattilavalmistajien arinakattiloiden teknisissä toteutustavoissa on paljon yhtäläisyyksiä. Polttoaineensyöttölaitteina käytetään stokeriruuveja ja arinat ovat mekaanisia. Primääri-ilma syötetään arinapinnan läpi ja kattiloissa on sekundääri-ilman syötöt. Pääasiallisena polttoaineena käytetään haketta, jonka maksimikosteudeksi Schmid AG ilmoittaa 40 % ja Osby Parca 55 %. Kattiloiden lämmönsiirtopinnat ovat tulitorvi-tuliputki -tyyppisiä ja kaikkia kattiloita on saattavilla kuumen veden tuottoon. Osa kattilavalmistajista tarjoaa myös kattilaratkaisuja matalapaineisen höyryn tuottoon, esimerkiksi KPA Unicon. Lämmönsiirtopintojen nuohoukseen Schmid AG ja Osby Parca käyttävät automaattisia paineilmanuhoimia ja kaikilla kolmella valmistajalla savukaasujen hiukkaspäästöjä puhdistetaan sykloneilla. Tässä työssä esitettyjen kattiloiden tiedot on otettu valmistajien esitteistä ja valmistajat ilmoittavat voidensa mukauttaa kattiloitaan asiakkaidensa tarpeisiin. Kattilohin on siis saatavilla muitakin apulaitteita ja lisävarusteita, kuin tässä kandidaatin työssä esitetty.

6 YHTEENVETO

Polttoaine syötetään tyypillisesti arinalle stokeriruvilla ja primääri-ilma arinapinnan reikien läpi. Tyypillinen arinarakenne käsiteltävässä biomassakattiloiden kokoluokassa on mekaaninen viistoarina, joka voi olla porrastettu. Muita mahdollisia arinarakenteita ovat kiinteä viisto- tai porrassarina, mekaaninen tasoarina tai alasyöttöarina. Tulipesän geometrialle on olemassa päätyyppeinä vastavirta ja myötävirta periaatteet, joiden soveltaminen kattilassa riippuu polttoaineen ominaisuuksista. Merkittävin tulipesän rakennetta määrittävä polttoaineen ominaisuus on sen kosteuspiitoisuus, eli polttoaineen kuivattamiseen tarvittava lämmön määrä.

Polttoaineen palaminen arinalla tapahtuu kolmen päävaiheen kautta: Kuivuminen, pyrolyysi ja jäännöshiilen palaminen. Kaikki päävaiheet esiintyvät arinapinnalla yhtäaikaaisesti ja arinapinnasta tyypillisesti varataan suurin osa kuivumiselle biopolttoaineen suuren kosteuspiitoisuuden takia. Merkittävin paloturvallisuusriski kiinteän biopolttoaineen kattiloissa on kytämällä alkava takapalo polttoaineen syöttölaitteistossa, tämä riski minimoidaan varmistamalla savukaasupuhaltimella tuotettu riittävä alipaine tulipesässä.

Yleisesti käytetty lämmönsiirtopinnan tyyppi tässä kokoluokassa on tulitorvi-tuliputki -lämmönsiirrin. Kattilat ovat pääasiassa suunniteltu kuuman veden tuottamiseen, mutta saatavilla on myös kattiloita matalapaineisen höyryn tuottoon. Lämmönsiirtopinnan tuliputkien nuohoukseen käytetään tyypillisesti automaattisia paineilmanuohoimia. Arinakattilassa syntyvästä tuhkasta suurin osa poistetaan tulipesätuhkana ja savukaasujen hiukkaspäästöjen vähentämiseen käytetään tyypillisesti multisykloneita.

Tässä kandidaatintyössä esiteltiin kolmen eurooppalaisen arinakattilavalmistajan tuotteet, joita on saatavilla 500 kW-5 MW kokoluokissa. Ruotsalaisessa Osby Parca HVTS-G -kattilassa on mekaaninen porrassarina ja se on suunniteltu kuuman veden tuottoon. KPA Uniconin Biograte -kattilassa on pyörivä kartiomainen alasyöttöarina ja tätä kattilaa on saatavilla kuuman veden tai höyryn tuottoon. Sveitsiläisen Schmid AG:n UTSW 3200 -kattilassa on vesijäähdytteinen porrassarina ja sillä voidaan tuottaa vain kuumaa vettä.

LÄHTEET

Alakangas Eija 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. ISSN 1455-0865. [PDF-dokumentti]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>

Bioenergia ry. [www-sivu]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.pellettienergia.fi/default.asp?sivuID=28915>

2009/28/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0028>

Flyktman Martti, Impola Risto & Linna Veli 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Energiateollisuus ry & Ympäristöministeriö. [PDF-dokumentti]. [viitattu: 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B200B1E69-09BB-4654-8DBC-F67274431193%7D/30742>

Huhtinen Markku, Kettunen Arto, Nurminen Pasi & Pakkanen Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka, 5. uusittu painos. ISBN 951-37-3360-2.

Jalovaara Jukka, Aho Juha & Hietämäki Eljas 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristö 649. Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-1488-6. [PDF-dokumentti]. [viitattu 13.3.2016]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40560/SY_649.pdf?sequence=

kpaunicon.fi. [www-sivu]. [viitattu: 17.3.2016]. Saatavissa: http://www.kpaunicon.fi/fi/unicon_biograte

KPA Unicon Oy 2015. Biomass solutions, Unicon boiler plants for clean energy production. [PDF-dokumentti] [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.kpaunicon.com/Tiedostot/mediabank/brochures/KPA%20Unicon%20-%20Biomass%20solutions%20ENG%20HR.pdf>

Maskuniitty Hannu 1995. Teoksessa: Poltto ja palaminen, sivut 393-416. International Flame Research Foundation (IFRF) Suomen kansallinen osasto. ISBN 951-666-448-2

Metsäntutkimuslaitos 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Suomen virallinen tilasto, Maa-, metsä- ja kalatalous 2014. ISSN 1796-0479. [verkkajulkaisu]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/index.html>

Nurmiainen Markus 2010. Biopolttoaineiden lisäämismahdollisuudet kaukolämmön tuotannossa pienen kokoluokan tuotantolaitoksissa Lahden seudulla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Oravainen Heikki 2003. Teoksessa: Puuenergia. Jyväskylän Teknologikeskus Oy, BENET Bioenergiaverkosto. ISBN 952-5165-20-5.

Osby Parca 2013. Osby Parca HVTS-G Biomass boiler for moist fuels, 1-8 MW. [PDF-dokumentti]. [viitattu: 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.osbyparca.com/wp-content/uploads/Osby-Parca-HVTS-G-English-LOW.pdf>

Osbyparca.com. [WWW-sivu] [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.osbyparca.com/products/solid-fuel-boilers/>

Quaak Peter, Knoef Harrie & Stassen Hubert 1999. Energy from Biomass A Review of Combustion and Gasification Technologies. World bank technical paper no. 422 Energy Series. The international bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK 1818 H Street, N.W. Washington, D.C. 20433, U.S.A. ISSN 0253-7494

Schmid AG. Full of energy – large systems from 160 kW. [PDF dokumentti]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: http://www.schmid-energy.ch/files/attachments/ENGL_Brosch_Grossanlagen_ab160KW_635907201105905087.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2010. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 66/2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. ISSN 1797-3562. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 17.3.2016] Saatavissa: http://www.tem.fi/files/28437/TEM_66_2010_verkkajulkaisu.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2016. [www-sivut]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: a: tem.fi/energia/energiatuki/hakeminen_ja_maksatus b: tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara

Valtioneuvoston asetus 1063/2012. Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista. [www-sivu]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20121063>

Valtioneuvoston asetus 750/2013. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. [www-sivu]. [viitattu: 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>

Vapo Oy 2013. Vapon puupelletti – ominaisuudet ja laatukriteerit. [PDF-dokumentti]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: http://www.vapo.fi/filebank/1465-Puupelletti_ominaisuudet_ja_laatukriteerit.pdf

Vesterinen Raili, Paakkinen Kari, Pyykkönen Markku & Virkki Jorma 1985. Kotimaisia polttoaineita käyttävien aluelämpölaitosten päästöt. VTT tutkimuksia 371. ISBN 951-38-2430-6

Vihanninjoki Vesa 2015. Hajautettu energiantuotanto Suomessa, Nykytila ja tulevaisuus sekä vaikutukset ilmanlaatuun. Suomen ympäristökeskus SYKE. [PDF-dokumentti]. [viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.syke.fi/download/noname/%7BDD119785-B537-45DE-AEF0-8360DCAB1BDF%7D/111845>