

Joona Mikkonen

Pienbiopoltton päästöjen hallinta Suomessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

16.10.2013

Tekijä(t) Otsikko	Joona Mikkonen Pienbiopoltton päästöjen hallinta Suomessa
Sivumäärä Aika	49 sivua + 1 liite 16.10.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja(t)	Laboratorioinsinööri Tomi Hämäläinen Myyntijohtaja Heikki Seppälä
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää kotimaisten pienten (nimellisteholtaan alle 1 MW) biolämpökattiloiden valmistajien kanta nykyisiin päästömääräyksiin. Työn kannalta keskeiset kysymykset koskivat mm. sitä, tulisiko nykyisin käytössä oleva SFS-EN 303-5-standardi asettaa lainvoimaiseksi, sekä sitä, tulisiko typen oksideille määrittää jokin päästöraja. Tavoitteet asetettiin yhdessä työntilaaajan, SGN Groupiin kuuluvan Agrienergian, kanssa. Selvitys toteutettiin valmistajille lähetettynä e-lomakekyselynä.</p> <p>Työssä perehdytään kirjallisuusselvityksen pohjalta myös energiantuotannon merkitykseen, biolämpökattiloissa käytettävään arinapolttotekniikkaan, erilaisiin kattilatyyppeihin sekä kattiloiden polttoprosessissa syntyviin päästöihin. Päästöistä etenkin häkä- ja hiukkaspäästöt ovat tarkastelun kohteena. Lisäksi tarkastellaan biokattiloissa käytettäviä polttoaineita, nykyisiä päästömääräyksiä ja päästöjenhallintatekniikoita.</p> <p>Työn tuloksena käsitys Keski-Euroopan maiden, kuten Saksan ja Itävallan, teknisestä etumatkasta bioenergian suhteen Suomeen verrattuna vahvistui. Tosin suurin osa kotimaisista kattilanvalmistajista olisi halukas tiukentamaan päästömääräyksiä, jolloin kotimaisten toimijoiden tulisi entistä enemmän panostaa tekniseen kehitykseen, joka johtaisi laadukkaampiin kattiloihin.</p>	
Avainsanat	Biokattila, hiukkaspäästöt, häkä, arinapoltto, puupohjaiset biopolttoaineet

Author(s) Title	Joona Mikkonen Controlling of Small-Scale Biocombustion Emissions in Finland
Number of Pages Date	49 pages + 1 appendix 16 October 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environment
Instructor(s)	Tomi Hämäläinen, Laboratory engineer Heikki Seppälä, Sales Director
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to discover the opinions of Finnish small scale bioenergy boiler heater manufacturers about the current emission limits. The manufacturers were interviewed and they were asked e.g. the following questions: should the current standard SFS-EN 303-5 to be set as law, and should there be some kind of limit for NO_x-emissions. The objectives were set together with the client Agrienergia, which is a part of SGN Group. The thesis was carried out in two separate parts, theory and interview.</p> <p>In addition, this Bachelor's thesis examines the significance of energy production, burning on grate, different kind of boilers and pollutants from biofuel combustion. Especially carbon monoxide and particulate matter pollutants are introduced. Furthermore, other topics discussed in this Bachelor's thesis are different biofuels used in boilers, current emission limits and different technical solutions to reduce pollutants.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, the assumption that countries like Germany and Austria are technically ahead of Finland in the use of bioenergy was strengthened. . Although most of the Finnish boiler manufacturers would like to tighten the pollutant limits, that would encourage the companies to invest more in technical development, and therefore in better boilers.</p>	
Keywords	Bioenergy heating boiler, Carbon monoxide, Particulate matter, Burning on grate, Wood-based biofuels

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Energiantuotannon merkitys	2
2.1	Yleistä energiantuotannosta	2
2.2	Polttoaineiden merkitys energiantuotannolle	3
2.3	Päästöjen merkitys	4
2.3.1	Ympäristövaikutukset	4
2.3.2	Päästöjen merkitys ihmiselle	5
3	Polttotekniikat	7
3.1	Arinapoltto	7
3.2	Pienpolttokattilat ja polttimet	16
3.2.1	Yläpalokattila	17
3.2.2	Alapalokattila	18
3.2.3	Käänteispalokattila	20
3.2.4	Stokeripoltin	20
3.2.5	Etupesäpoltin	21
3.2.6	Kaksoispesäkattilat	22
3.2.7	Kattiloiden turvajärjestelmät	22
4	Polttoaineet	23
4.1	Pelletti	23
4.2	Puupolttoaineet	24
4.3	Biohiili	26
5	Päästöt	28
5.1	Yleisesti	28
5.2	Hiukkaset	29
5.2.1	Hiukkasten ominaisuudet	29
5.2.2	Palamisessa syntyvät hiukkastyypit	31
5.2.3	Puun poltossa syntyvät hiukkaspäästöt	31
5.3	Häkä	32
5.4	Muut päästöt	33
5.4.1	Typen oksidit	33

5.4.2	Rikin oksidit	34
5.4.3	Hiilivedyt, dioksiinit ja furaanit	34
5.4.4	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	35
6	Päästömääräykset	36
6.1	Yleisesti päästömääräyksistä	36
6.2	Hiilimonoksidi	38
6.3	Hiukkaset	38
7	CO- ja hiukkaspäästöjen hallinta	39
7.1	Hiukkaset	39
7.2	Häkä	40
8	Kyselytutkimus	41
8.1	Tutkimusmenetelmä	41
8.2	Tulokset	41
8.2.1	Taustaosa	42
8.2.2	Tekninen osa	42
8.2.3	Vapaat kommentit	44
9	Yhteenveto	45
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelulomake	

Lyhenteet

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. Ilmastotieteen asiantuntijoista koottu elin, joka tutkii ihmisten aiheuttamaa ilmaston lämpenemistä.
NO _x	Typen oksidit. Yhteisnimitys typpioksidille ja typpidioksidille, jotka ovat palamisessa syntyviä saasteita.
VOC	Volatile Organic Compounds. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.
PM	Particulate Matter. Hiukkaspäästöt.
WHO	World Health Organization. Maailman terveysjärjestö. Yhdistyneiden kansakuntien elin, joka on keskittynyt ihmisten terveyteen.
LCA	Life Cycle Assessment. Elinkaariarviointi, jolla tarkoitetaan tuotteen tai palvelun aiheuttamaa ympäristövaikutusta koko sen elinkaaren aikana.
SO ₂	Rikkidioksidi. Palamisessa syntyvä kaasumuotoinen ilmansaaste.
SO ₃	Rikkitrioksidi. Palamisessa syntyvä kaasumuotoinen ilmansaaste.
NH ₃	Ammoniakki. Palamisessa syntyvä kaasumuotoinen ilmansaaste.
CO	Hiilimonoksidi eli häkä. Palamisessa syntyvä ihmiselle myrkyllinen kemiallinen yhdiste.
OGC	Organically bound carbon. Orgaanisesti sitoutunut hiili. Poltossa syntyvä päästö.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään pienbiopolttoa yleisesti ja kotimaisten pienten biolämpökattiloiden valmistajien suhtautumista nykyisiin EU-päästömääräyksiin. Pieniksi biolämpökattiloiksi katsotaan nimellistehoaltaan alle yhden megawatin olevat kattilat. Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, ovatko nykyiset päästömääräykset hyviä vai tulisiko niitä tiukentaa. Tavoitteena on myös selvittää, millä tasolla nykyiset kotimaiset kattilat ovat sekä millä keinoin kotimaiset valmistajat aikovat saada kattiloidensa päästöt tulevaisuudessa mahdollisesti tiukentuvalle tasolle.

Työn tilaaja on SGN Groupiin kuuluva Agrienergia, joka tarjoaa asiakkailleen bioenergiaan perustuvia kokonaisratkaisuja lämmitykseen. He myyvät itävaltalaisia Gilles- ja sveitsiläisiä Schmid- biolämpökattiloita. Molemmat maat ovat bioenergiälämmityksen edelläkävijöitä maailmanlaajuisesti. Insinööriyö antaa yritykselle vertailupohjan siihen millaisia kotimaiset kattilat ovat sen myymiin kattiloihin verrattuna.

Insinööriyön toteutustapana on käytetty kirjallisuustutkimusta sekä kyselyä. Kirjallisuustutkimuksessa käydään läpi pienbiopoltossa käytettyä arinapolttotekniikkaa, siinä käytettäviä polttoaineita sekä siitä aiheutuvia päästöjä ja niiden hallintaa. Kyselyosassa selvitetään kotimaisten pienten biolämpökattiloiden valmistajien mielipidettä erilaisiin biopolttoon liittyviin päästökysymyksiin. Kyselyosa toteutettiin e-lomakkeella.

Biolämpökattilalla tarkoitetaan lämpökattilaa, joka toimii puuperäisellä biopolttoaineella. Tässä työssä on keskitytty alle 1 MW lämpötehoa tuottaviin kattiloihin, joita käytetään lähinnä kotitalouksien sekä niiden käyttöveden lämmittämiseen. Kattiloissa poltetaan puuperäistä polttoainetta, josta vapautuneella lämpöenergialla lämmitetään kattilassa kiertävää väliainetta eli vettä.

2 Energiantuotannon merkitys

2.1 Yleistä energiantuotannosta

Energiantuotanto kattaa kaiken ihmisten toimintaan tarvitseman lämmön ja sähkön. Suomen pohjoisissa oloissa etenkin lämmön tuotannolla on hyvinkin merkittävä osuus verrattuna lämpimiin maihin. Polttoprosessia hyödyntäen tuotetaan noin 90 % maailman energiasta, joten sen tutkimus ja kehittäminen ovat erittäin tärkeitä asioita. Lisäksi biopolttoaineiden ja erilaisten jätteistä tehtyjen polttoaineiden osuutta pyritään jatkuvasti kasvattamaan fossiilisten polttoaineiden kustannuksella. Näin pyritään toimimaan ympäristön hyväksi. Esimerkiksi metsähakkeen käyttö on lämpö- ja voimalaitoksissa kasvanut vuosien 2000 ja 2011 välillä 794 kuutiosta 6847 kuution. [1]

Asumisen energiakulutuksesta kului vuonna 2011 peräti 84 prosenttia lämmitykseen. Kotitalouslaitteet kuluttivat vain 16 prosenttia asumisen energiankulutuksesta. Asumisen kokonaisenergiankulutus oli kyseisenä vuonna 61884 gigawattituntia. Merkittävin lämmönlähde oli kaukolämpö, jonka osuus oli noin 33 prosenttia. Toiseksi merkittävin lähde oli puu, jonka osuus oli noin 27 prosenttia. Sähkö oli kolmanneksi merkittävin lämmönlähde 23 prosentin osuudella. Asuinrakennusten lämmitysenergiasta 56 prosenttia kului pientalojen lämmitykseen, 29 prosenttia asuinkerrostalojen lämmitykseen, 10 prosenttia rivi- ja ketjutalojen lämmitykseen sekä noin 5 prosenttia vapaa-ajan asuinrakennusten lämmitykseen. Ketjutalolla tarkoitetaan autotallien ja muiden vastaavien säilytystilojen yhdistämien pientalojen ryhmää. Arvioiden mukaan 18 prosenttia lämmitysenergiasta kului käyttöveden lämmitykseen ja 5 prosenttia saunojen lämmitykseen. Erillisissä pientaloissa ja vapaa-ajan asunnoissa merkittävin lämmönlähde oli puu, kun taas asuinkerrostaloissa sekä rivi- ja ketjutaloissa suosituinta oli kaukolämpö. Vuosittain lämmitykseen kuluvan energian määrä on riippuvainen vallitsevasta ulkoilman lämpötilasta. Esimerkiksi kylmempään vuoteen 2010 verrattuna lämmitykseen tarvittava energia väheni noin 14 prosenttia vuonna 2011. [2; 3]

Suomessa on tällä hetkellä jo yli 26 000 pellettilämmitteistä pientaloa. Suurempia kohteita, kuten kerros- ja rivitaloja sekä teollisuuskiinteistöjä on reilu tuhat. Pellettilämmitteisten pientalojen määrä on noussut noin kolmella tuhannella verrattuna vuoteen 2010, ja määrä on kokoajan kasvamaan päin. Lisäksi metsähakkeen käyttö pientaloissa on kasvanut vuosien 2000 ja 2011 välillä 142 kuutiosta 671 kuution. [1; 4]

2.2 Polttoaineiden merkitys energiantuotannolle

Öljy ja kivihiili ovat fossiilisia polttoaineita, jotka loppuvat ennen pitkää. Erään ennustuksen mukaan öljyn riittävyys olisi vajaat 40 vuotta ja kivihiilen 125 vuotta [5]. Ne ovat myös haitallisempia ympäristön kannalta verrattuna puuhun. Öljyn ja kivihiilen käyttöä energiantuotannossa puoltaa niiden puuta huomattavasti korkeampi energiasisältö, jolloin saman energiamäärän tuottamiseen niitä tarvitaan huomattavasti vähemmän kuin puuta. Puun eduksi taasen katsotaan sen ympäristöystävällisyys. Puu lasketaan hiilidioksidineutraaliksi energianlähteeksi, vaikka sitä poltettaessa syntyykin jonkin verran hiilidioksidia. Tätä ei kuitenkaan lasketa ympäristölle haitalliseksi, koska sama määrä hiilidioksidia vapautuu ilmaan puun luonnollisen hajoamisen yhteydessä. Puu ei myöskään aiheuta ympäristölle haitallisia rikkipäästöjä. Puuta on myös huomattavasti enemmän ja helpommin saatavilla kuin maankuoresta porattavaa öljyä tai maaperästä louhittavaa kivihiiltä. Lisäksi Suomessa puuta kasvaa kokoajan enemmän kuin sitä ehditään käyttää. Tämän vuoksi Suomella on erinomaiset edellytykset lisätä jo nyt maailman mittakaavassa merkittävää bioenergianlähteiden käyttöä energian tuotannossa. Puun huonoksi puoleksi voidaan laskea sen poltossa syntyvien hiukkasten määrä, joka on erittäin merkittävä. [6; 7]

2.3 Päästöjen merkitys

2.3.1 Ympäristövaikutukset

Yleisesti kaikilla hiukkasilla on merkittävä vaikutus luontoon, ympäristöön ja ilmastoon. Lisäksi hiukkaset osallistuvat myös moniin ympäristöä kuormittaviin prosesseihin, kuten esimerkiksi happamoitumiseen ja otsonikatoon. Myös esimerkiksi raskasmetallien ja radioaktiivisten aineiden kaltaiset ympäristömyrkyt voivat leijaila hiukkasmuodossa hyvinkin kauas niiden alkulähteestä. Korkea hiukkaspitoisuus voi myös heikentää ilmanlaatua sekä näkyvyyttä. Lisäksi etenkin happamilla hiukkasilla on muistomerkkien ja rakennusten rapautumista edistävä vaikutus.

Aerosolihiukkasilla on maapallon ilmastoon pääasiallisesti kahdenlainen vaikutus, suora ja epäsuora. Hiukkaset absorboivat ja sirottavat auringon säteilyä. Tästä johtuen ne voivat joko olla ilmastoa viilentäviä tai lämmittäviä, riippuen niiden sijainnista sekä optisista ominaisuuksista. Tätä kutsutaan suoraksi ilmastovaikutukseksi. Lisäksi hiukkaset toimivat pilvipisaroiden tiivistymisytiminä, osallistuen näin pilvien muodostumiseen. Pilven hiukkaspitoisuus vaikuttaa sen elinikään ja koostumukseen, ja täten myös niiden heijastamaan säteilyyn. Tätä kutsutaan hiukkasten epäsuoraksi ilmastovaikutukseksi. Hiukkaslaskeuma taas voi mahdollisesti muuttaa jää- tai lumipeitteisen pinnan albedoa eli heijastussuhdetta, jolloin se edistää jäätiköiden sulamista. Tämän vaikutus on suuri paikalliseen ilmastoon ja veden kiertokulkuun.

Hiukkaspitoisuuden kasvun uskotaan viilentävän maapallon ilmastoa. Hiukkaspäästöjä alentamalla saatetaan jopa kiihdyttää ilmaston lämpenemistä kasvihuoneilmaston voimistuessa. Aerosolien kokonaisvaikutusten tuntemus ilmaston kannalta on kuitenkin tois-
taiseksi vielä vähäistä johtuen lukuisista eri palautemekanismeista. Palautemekanismeilla tarkoitetaan kasvillisuuden ja luonnon vuorovaikutusta ja niiden välisiä aine- ja energiavirtoja, joiden ymmärtäminen on olennaista tutkittaessa ilmaston lämpenemistä ja sen vaikutuksia. Hiukkaspäästöjen muuttumisen vaikutukset ilmastoon ovat nopeammin havaittavissa kasvihuonekaasuihin verrattuna, johtuen niiden lyhyemmästä viipymääjasta. Hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n tekemien tutkimusten mukaan aerosoleilla on ylivoimaisesti suurin negatiivinen säteilypakote, johon tosin myös liittyy suurin epävarmuusväli. Säteilypakotteella kuvataan tietystä tekijästä johtuvaa muutosta

maanpinnan ja alailmakehän välisessä nettosäteilyssä verrattuna referenssivuoteen 1750. [8; 9]

Hiilimonoksidi eli häkä on yksi epäsuorasti kasvihuoneilmiöön vaikuttavista kaasuista. Muita tällaisia kaasuja ovat esimerkiksi typen oksidit (NO_x) sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Nämä eivät yksinään ole kasvihuonekaasuja, vaan olosuhteiden ollessa suotuisat, reagoivat ne keskenään muodostaen muun muassa otsonia. Otsoni taas on alailmakehässä sekä vaarallinen ilmansaaste että myös kasvihuonekaasu, joka lämmittää ilmastoa. Lämpökattiloiden tuottamat häkäpitoisuudet ovat kuitenkin niin pieniä, ettei niistä ole ympäristölle merkittävää haittaa. Ympäristön kannalta merkittävin hiilimonoksidin lähde on liikenne. [10]

2.3.2 Päästöjen merkitys ihmiselle

Pitkä altistuminen hiukkasille voi aiheuttaa vakavia terveysongelmia etenkin henkilöille, joilla on jo ennalta todettuja sydän- ja keuhkosairauksia. Näitä ongelmia ovat muun muassa korkea sairastuvuus, vaikutukset keuhkoihin ja lyhyempi eliniänodote. Hiukkaskoko on tärkein tekijä terveysvaikutuksien kannalta. Karkeat hiukkaset, jotka ovat aerodynaamiselta halkaisijaltaan yli $10\ \mu\text{m}$, jäävät yleensä nenään ja kurkkuun kun taas aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle $10\ \mu\text{m}$ olevat PM_{10} -hiukkaset voivat asettua keuhkoihin tai kulkeutua jopa keuhkorakkuloihin asti. Useat eri viranomaiset ovat sopineet $10\ \mu\text{m}$ hengitettävien ja ei-hengitettävien hiukkasten rajaksi ilmanlaadun seurannassa. $\text{PM}_{2.5}$ ja PM_1 ovat myös käytössä ilmanlaatu normien indikaattoreina. [11]

Maailman terveysjärjestö WHO on julkaissut omat ilmanlaadun ohjeensa, jotka perustuvat terveysvaikutusten perusteella tehtyihin raja-arvoihin PM_{10} ja $\text{PM}_{2.5}$ luokissa pitkä- ja lyhytaikaiselle altistumiselle. Näiden ohjeiden avulla on tarkoitus tukea toimintoja, joilla saavutettaisiin ihmisten terveyttä suojeleva ilmanlaatu. WHO kannustaa maita ottamaan käyttöön yhä tiukempia standardeja sekä seuraamaan päästövähennysten ja hiukkaspitoisuuksien laskun kehitystä. Tämän prosessin tukemiseksi WHO:n ohjeet ja sen välitavoitteet kuvastavat pitoisuuksia joissa arvioidaan lisääntyneen kuolleisuuden johtuneen ilmassa olevien pienhiukkasten määrästä tämänhetkisten tieteellisten tulosten perusteella. Ohjeen lisäksi määriteltiin kolme välitavoitetta, koska niiden avulla maat voivat mitata edistymistään vähentääkseen tasaisesti väestön altistumista hiukkaspäästöille ajan kuluessa. WHO:n ohjeiden ansiosta sekä Euroopan komissio että

Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto ovat käyttäneet sitä määrittäessään omia hiukkasstandardejaan. [11]

Häkä on ihmiselle myrkyllinen kaasu, joka kulkeutuu elimistöön hengitysilman mukana. Keuhkoista se siirtyy tehokkaasti vereen. Veressä häkä sitoutuu 220 kertaa tehokkaammin punasolujen hemoglobiiniin kuin happi. Tällöin syntyy karboksihemoglobiinia. Koska häkä ei sido happea, syntyy elimistöön hapenputetta. Häkämyrkytyksen oireita alkaa ilmetä, kun karboksihemoglobiinipitoisuus veren hemoglobiinista on 20 %. Hengitysilman häkäpitoisuuden olleessa 0,01 % tai alle, ei myrkytysoireita esiinny. Häkäpitoisuuden kasvaessa kymmenkertaiseksi 0,1 %:iin ja altistuminen tälle tunnin ajaksi, nostaa se elimistön karboksihemoglobiinin pitoisuuden 50–80 %:iin, joka on hengenvaarallista. Häkämyrkytyksen oireita ovat huimaus, oksentelu, päänsärky, näköhäiriöt, korvien soiminen, levottomuus ja heikotus. Lisäksi hengitys kiihtyy sekä sydämen syke nousee. Iho ja limakalvot muuttuvat mahdollisesti normaalia punaisemmiksi. Vaikean myrkytyksen oireita ovat tajunnan menetys, kouristukset, hengitysvaikeudet sekä harva pulssi. Pääosa oireista johtuu hapen puutteesta, mutta hiilimonoksidi voi myös suoraan vaurioittaa kudoksia. Suomessa kuolee vuosittain noin sata ihmistä häkämyrkytykseen, joista noin 10 % johtuu lämmityslaitteiden tai uunien vioista tai virheellisestä käytöstä. [12]

3 Polttotekniikat

Alle yhden megawatin tehoisissa kattiloissa biomassan poltto tapahtuu lähes poikkeuksetta arinatekniikalla. Suuremmissa kokoluokissa (10 MW ja yli), käytetään myös kerros- ja kiertoleijupolttua. [13]

3.1 Arinapoltto

Arinapoltto on teollistumisen ajoista asti ollut käytetyin polttotekniikka kiinteille polttoaineille, johon biomassa lasketaan, pienissä ja keskisuurissa yksiköissä. Arinakattilat on mahdollista jakaa seuraaviin luokkiin käyttötarkoituksensa perusteella:

- omakotitalokattilat 15–40 kW
- kiinteistökattilat 40–400 kW
- alue- ja kaukolämmityskattilat 400–20000 kW
- teollisuuskattilat 1000–80000 kW
- biomassalauhdelaitokset 30000–70000 kW
- yhdyskuntajätelaitokset 10000–30000 kW. [14 s. 466.]

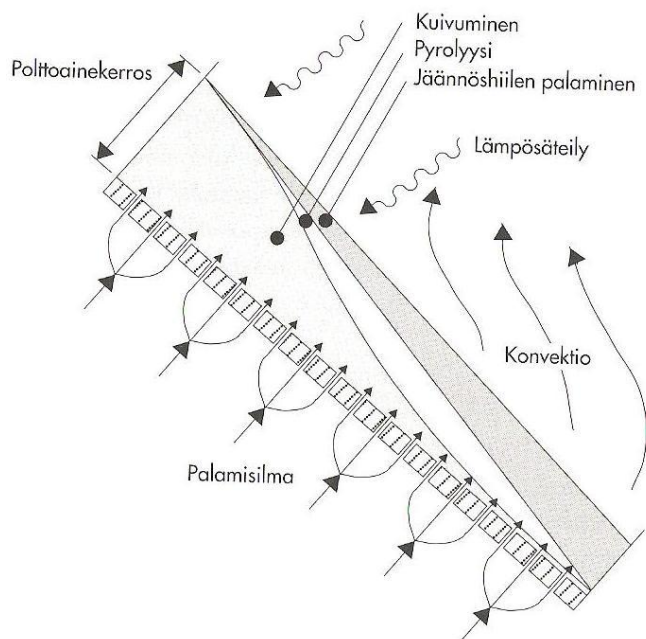
Arinalla palaminen

Poltettaessa kiinteää polttoainetta arinalla, sen palamisen päävaiheet ovat seuraavat:

- kosteuden poistuminen
- pyrolyysi ja haihtuvien palaminen
- jäännöshiilen palaminen.

Nämä kaikki vaiheet tapahtuvat pääosin peräkkäin yksittäisessä polttoainekappaleessa, mutta arinalla on myös eri palamisvaiheissa olevia polttoainekappaleita samanaikaisesti. Jos polttoainekappale on kooltaan suuri, voi pintakerroksen hiilen jo palaessa sisällä olla vielä tuoretta polttoainetta. [14, s. 466–467.]

Kuvassa 1 on esitetty kiinteän polttoaineen palamisen eri vaiheita arinapoltossa.

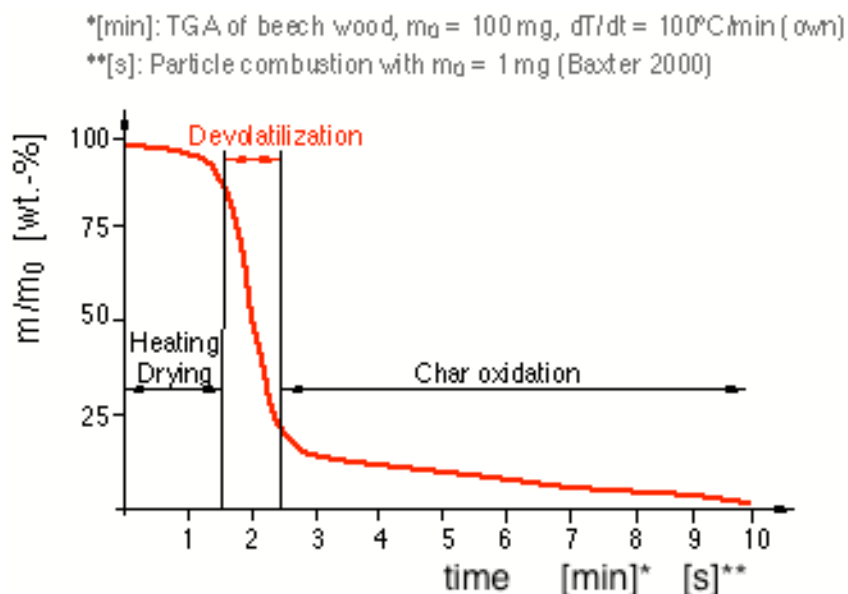


Kuva 1. Kiinteän polttoaineen palaminen arinalla [14, s. 467].

Kosteuden poistuminen

Kiinteiden polttoaineiden kosteuspitoisuuden vaihtelut ovat suuria samankin polttoainemikkeen kohdalla. Etenkin biopolttoaineissa kosteuspitoisuudet vaihtelevat pelletin noin 10 prosentista hakkeen jopa 60 prosenttiin. Kosteus on hyvinkin merkittävä tekijä arinaa mitoitettaessa. Arinapinnasta tai tulipesätilasta suurin osa varataan kosteuden kuivattamiseen. Palamistuloksen kannalta on myös hyvä, että kosteus poistuisi polttoaineesta mahdollisimman nopeasti, sillä polttoaineen kuivuminen laskee tulipesän keskimääräistä lämpötilaa. Kosteuden poistumista kiihdyttäviä tekijöitä ovat: palakoon pienentäminen, jolloin haihtumispinta kasvaa; kuivaamiseen käytettävän palamisilman esilämmitys sekä tulipesägeometrian oikea valinta. [14, s. 467.]

Kuvassa 2 on esitetty polttoaineen massan häviäminen ajan funktiona.



Kuva 2. Puun massan häviäminen ajan funktiona polttoprosessin aikana [11].

Pyrolyysivaihe

Pyrolyysivaiheessa syntyy inerttejä kaasuja, palamiskelpoisia kaasuja ja nestefaasissa olevia terva-aineita, jotka hapen määrän ollessa riittävä, palavat liekissä hyvin. Pyrolyysivaihe on aluksi endotermistä, mutta kehittyy lämpötilan noustessa eksotermiseksi reaktioksi. Kokonaisprosessin näkökulmasta pyrolyysivaiheen merkitystä kuvaa haihtuvien aineiden määrä polttoaineesta, eli pääasiassa pyrolyysivaiheen aikana kuiva-aineen lämpösisällöstä haihtuva osuus. Biopolttoaineilla haihtuvien aineiden määrä on luokkaa 70 %. Arinapoltossa hyvään palamistulokseen voidaan vaikuttaa lähinnä sekoittamalla tehokkaasti palamisilmaa ja valitsemalla oikeanlainen tulipesäkonstruktio. Ilman sekoittuminen palamisvyöhykkeessä on erittäin tärkeää palamisen lopputuloksen kannalta, koska arinapoltossa polttoaine palaa diffuussioliekillä. Biopolttoaineilla tämän merkitys korostuu entisestään, koska ne sisältävät paljon haihtuvia aineita. Tulipesäkonstruktioon sisältyy muun muassa kuumat säteilypinnat, ja oikealla konstruktiolla pyritään sekä luomaan riittävä lämpötilataso kaasujen syttymiselle ja palamisreaktiolle, että ylläpitämään tätä vaadittavaa tasoa. [14, s. 468.]

Jäännöshiilen palaminen

Jäännöshiilen palaminen seuraa pyrolyysivaihetta. Tässä vaiheessa polttoaineesta on enää jäljellä kiinteä hiili, joka lämpötilan ja hapen määrän ollessa riittäviä palaa pinnalta liekittömästi. Koska tämä vaihe palamisessa on yleensä hidas, vaatii se pyrolyysivaiheeseen verrattuna suhteessa enemmän arinapintaa. Polttoaineen palamiskokoa pienentämällä voidaan palamisaikaa nopeuttaa jonkin verran. Mutta jos reaktioita pyritään kiihdyttämään nostamalla lämpötilatasoa vaikkapa palamisilman esilämmityksellä, voi se johtaa tuhkan sulamiseen, joka ilmenee ongelmina käytettävyydessä. Poltettaessa polttoainetta arinalla, on sille ominaista, että suurin osa tuhkasta ei poistukkaan savukaasujen mukana, vaan niin kutsuttuna tulipesätuhkana. Tämän vuoksi palamishyötysuhteen kannalta on merkittävää, että jäännöshiilen palamisvaihe on mitoitettu oikein. [14, s. 468.]

Polttoaineiden ominaisuudet arinapoltossa

Merkittävimmät ominaisuudet, jotka polttoaineiden osalta vaikuttavat arinan mitoitukseen, ovat

- kosteus
- palakoko
- haihtuvien aineiden määrä
- tuhkan sulamiskäyttäytyminen [14, s. 468–469].

Kosteus

Polttoaineen kosteus on oleellinen tekijä polttoaineen tehollisen lämpöarvon kannalta ja tämän vuoksi se vaikuttaa polttoainevirtaan ja edelleen polttoaineen käsittelylaitteiden mitoitukseen. Tulipesän ja arinapinnan mitoituksessa on otettava huomioon se, että ainakin suurin osa polttoaineen sisältämästä kosteudesta on haihdutettava ennen varsinaisen palamisprosessin alkamista. Korkea kosteuspitoisuus vaikuttaa alentavasti polttoaineen teholliseen lämpöarvoon, joka taas laskee palamislämpötilaa sekä huonontaa palamistulosta. [14, s. 469.]

Palakoko

Mitä pienempi palakoko polttoaineella on, sitä nopeampaa ja tehokkaampaa palaminenkin on. Tämä johtuu siitä, että polttoaineen reaktiopinta on kääntäen verrannollinen palakokoon. Puuhalot ovat palakooltaan suurimpia arinalla poltettavia polttoainetta, kun taas biopolttoaineista hake ja pelletit ovat huomattavasti pienempiä. Arinapoltossa polttoaineen hienojakoisuuden alaraja määräytyy kahden eri seikan mukaan: palamisilman tunkeutuvuus polttoainekerrokseen, sekä palamattomana lentoon lähtevät pienet partikkelit. Polttoaine ei saa olla liian tasaista massaa, jotta palamisilma pystyy tunkeutumaan siihen tasaisesti, eikä myöskään liian pientä, jotta pienet partikkelit eivät lähde palamattomana leijaillemaan palotilassa. [14, s. 469.]

Haihtuvat komponentit

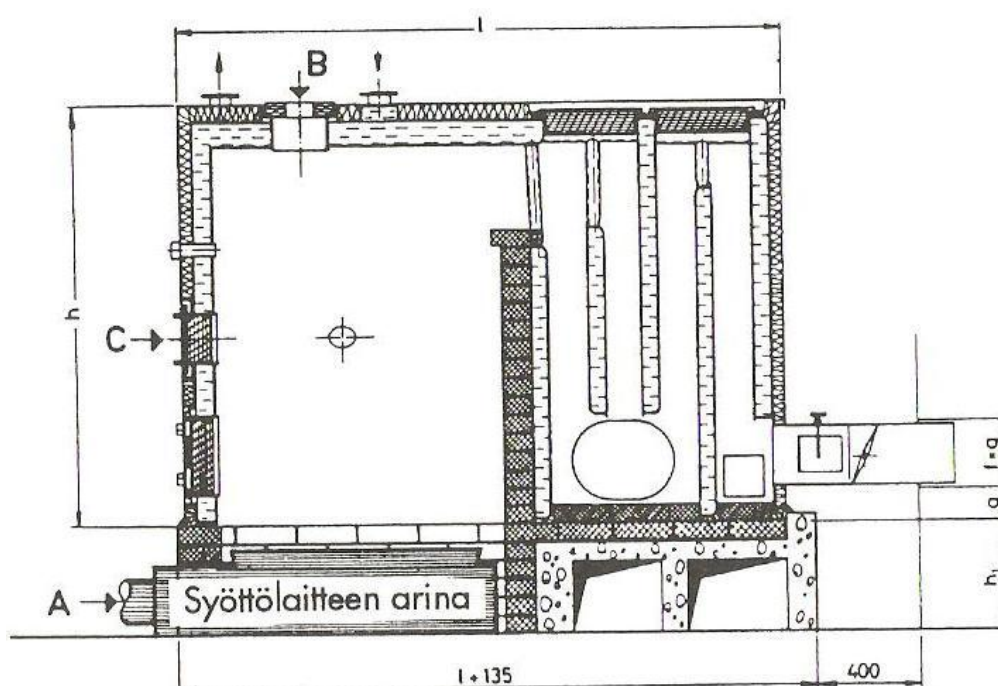
Haihtuvien komponenttien määrä, jotka polttoaine sisältää, vaikuttavat kattilassa lähinnä tulipesän sekä sekundääri-ilmajärjestelmän mitoitukseen. Jos haihtuvien komponenttien määrä on suuri, niin jäännöshiilen määrä on pienempi ja jos taas haihtuvia on vähän, syntyy jäännöshiiltä enemmän. Tämä vaikuttaa arinan ja etenkin sen eri vaiheiden mitoitukseen. [14, s. 470.]

Tuhkan sulaminen

Puun tuhkan sulamislämpötila on niinkin korkea kuin yli 1400 °C, mistä johtuen se ei aiheuta ongelmia arinapoltossa kovinkaan usein. Jos puun tuhka kuitenkin pääsee sulamaan, on sen tulipesämuurauksia syövyttävä vaikutus todella voimakas. [14, s. 471.]

Polttoaineen syöttö

Polttoaineen sekoittuvuus on arinalla melko huonoa, etenkin leveysuunnassa, vaikka kyseessä olisikin mekaaninen arina. Tämän vuoksi polttoaineen syöttöjärjestelmän ensiarvoinen tehtävä onkin polttoaineen syöttäminen tasaisena kerroksena koko arinan leveydelle. Tämä on erittäin tärkeää, sillä jos polttoaine ei levity tasaisesti, pääsee primääri-ilma karkaamaan hallitsemattomasti sieltä, mistä polttoainekerroksen ja arinan vastus on pieni. Suurissa arinoissa polttoaineen syöttö tapahtuu painovoiman toimesta koko arina leveydelle, jolloin levittäytyminen toimii ikään kuin automaattisesti. Kuvassa 3 esitetyssä alasyöttöarinassa taas on ruuvi, joka syöttää polttoaineen kaukaloon, joka sijaitsee keskellä arinaa. Kaukalosta polttoaine leviää arinan eri kohtiin. Polttoaineen syöttöjärjestelmät on rakennettava siten, että tulipesään ei pääse syöttöaukosta sekundääri-ilmaa, jota ei hallita. Myöskään polttoaineen käsittelyjärjestelmään ei saa päästä epävakaisissa tilanteissa tulipesästä niin kutsuttua takatulaa. [14, s. 471.]



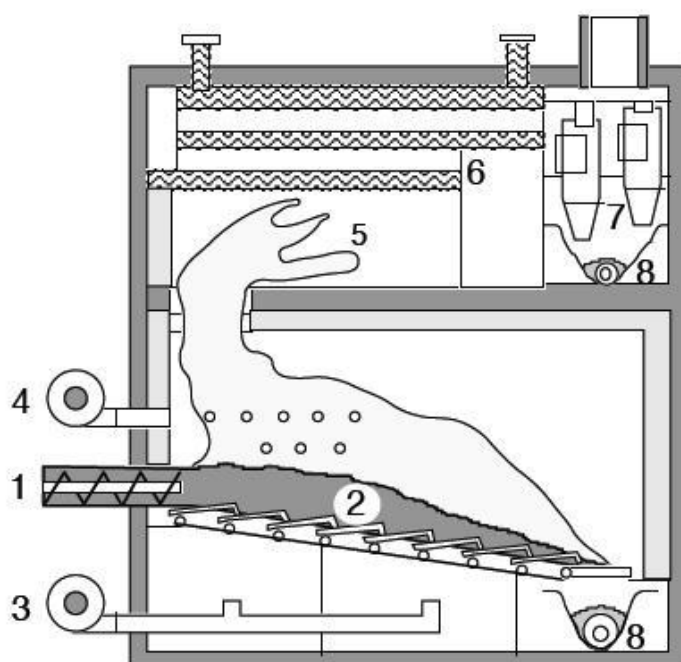
Kuva 3. Alasyöttöarina [14, s. 472].

Arina

Arinan rakenne on riippuvainen siinä käytettävästä polttoaineesta, sekä kattilan koosta. Ne voidaan pääosin jaotella seuraavasti:

- kiinteä tasoarina
- kiinteä viistoarina
- mekaaninen viistoarina
- ketjuarinat
- erikoisarinat.

Arina voi myös olla joidenkin näiden päätyyppien muodostama yhdistelmä. Lisäksi arinoita toisistaan erottava tekijä on niiden jäähdytystapa. Pieniä arinoita jäähdytetään yleensä primääri-ilmalla, kun taas suuret arinat ovat pääosin vesijäähdytteisiä joissa jäähdytys on yhdistetty kattilan vesikiertoon. Mekaanisella arinalla tarkoitetaan rakennetta, jossa osa arinarautoista on liikuteltavissa hydraulisesti edestakaisin. Tämä rakenne on esitelty kuvassa 4. Työnnön suuruus on noin 100 mm luokkaa riippuen arinasta. Tällä liikkeellä sekoitetaan polttoainetta ja hallitaan siirtymistä palamisen eri vaiheisiin. Näin mahdollistetaan myös huomattavasti loivempi arinakulma kuin kiinteällä viistoarinalla, jolla painovoima hoitaa polttoaineen siirtymisen eteenpäin. Kiinteän viistoarinan arinakulma on tyypillisesti 35–38°, vaihdellen polttoaineen mukaan. Itse arinarauta on yleensä valmistettu valuraudasta, ja sen lämmönkestävyyttä on saatettu kasvattaa kromiseostuksella. Ilmanvastusta mitoitettaessa arinalle on tärkeää, että vastus on suurempi kuin polttoainekerroksen vastus, jotta ilma saataisiin jakautumaan niin tasaisesti kuin mahdollista huolimatta polttoainekerroksen epätasaisuudesta. Tämän johdosta ilmapvirtaustien osuus on vain muutamia prosentteja kokonaispinnasta. Luonnonvetokattiloilla on tyydyttävä mitoituksessa väljempiin ratkaisuihin. [14, s. 472.]



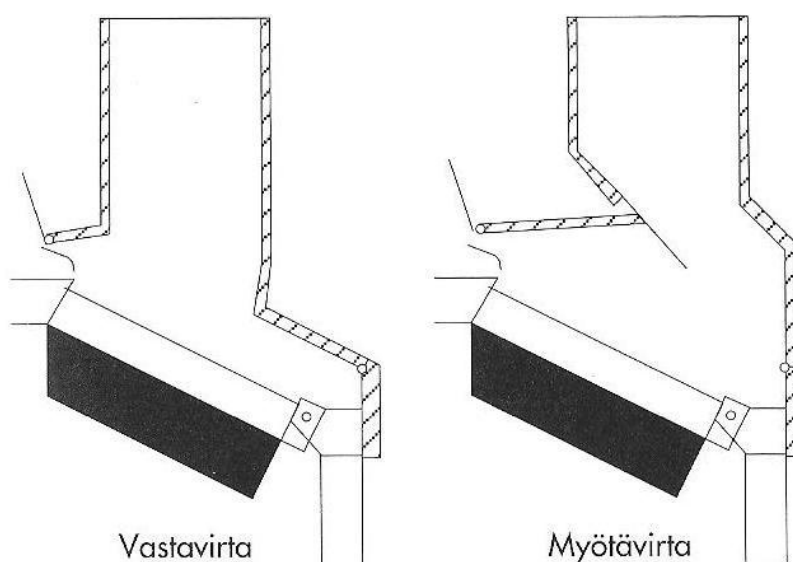
Kuva 4. Mekaaninen arina, jossa primääri-ilma syötetään kahdessa vaiheessa arinalle ja sekundääri-ilma palamiskaasuihin. Osat: 1 Ruuvisyötin, 2 mekaaninen arina, 3 primääri-ilma, 4 sekundääri-ilma, 5 jälkipolttokammio, 6 lämmönsiirrin, 7 sykloni, 8 tuhkanpoisto. [11]

Ilman syöttö

Yleensä palamisilma syötetään kahdessa eri vaiheessa, mutta joskus se tapahtuu myös kolmessa vaiheessa. Primääri-ilma syötetään kammioon arinan alapuolelta, kun taas sekundääri ja mahdollinen tertiääri-ilma käytetään polttoainekerroksesta haihtuvien palamiskelpoisten kaasujen polttamiseen. Jotta saataisiin mahdollisimman täydellinen palamistulos, tulisi primääri-ilmavirtaa pystyä säätämään erikseen kuivaus-, pyrolyysi- ja loppuunpalamisvaiheille. Primääri-ilmaa esilämmittämällä nopeutetaan palamisreaktiota ja pienennetään kattilan savukaasuhäviöitä. Ilman tehokas ja oikea-aikainen sekoittuminen palamiskaasuihin on sekundääri-ilmajärjestelmän toimivuuden näkökulmasta hyvinkin olennaista. Tämä mahdollistetaan mitoittamalla suuttimet oikein ja pitämällä ilman virtausnopeus riittävänä. [14, s. 474.]

Tulipesä

Polttoaineominaisuudet määrittävät tulipesän geometrian. Sille on kaksi vaihtoehtoista peruseriaatetta, vastavirta- ja myötävirtaperiaate. Ne on esitelty kuvassa 5. Vastavirtaperiaatetta käytetään polttoaineille, jotka ovat huonosti syttyviä joko korkean kosteuspitoisuuden, pienen haihtuvien komponenttien tai molempien johdosta. Kuumat savukaasut johdetaan arinan alkupäähän, jotta kuivuminen ja syttyminen nopeutuisivat. Korkean kosteuspitoisuuden vuoksi tämä vaihtoehto on yleisesti käytössä biopolttoaineita poltettaessa. Myötävirtaperiaate soveltuu polttoaineille, jotka syttyvät ja pyrolysoituvat nopeasti. Haihtuneet palamiskaasut ohjataan varsinaisen liekkialueen läpi, joten ne viipyvät palamiselle suotuisissa olosuhteisissa pidempään ja voidaan olettaa, että loppuunpalaminen tehostuu. Yleisperiaatteena valittaessa tulipesägeometriaa tulee olla myös mahdollisimman korkea ja tasainen lämpötilataso, sekä paikallisten kylmien kohtien välttäminen. Kosteita polttoaineita poltettaessa tulee tulipesän sisärakenteen olla jäähdyttämätön ainakin sellaisista kohdista, jotka edesauttavat kuivaus- ja pyrolyysivaiheissa lämpötilatason ylläpitoa. Jäähdyttämättömällä rakenteella tarkoitetaan joko muurattua tai massattua rakennetta. Tulipesän seinän tulisi olla polttoainekerroksen kohdalta jäähdytetty, jotta välttyttäisiin tyypilliseltä ilmiöltä, jossa arinan reunoilla oleva polttoaine palaa nopeasti pois. Tämä ilmiö edistää primääri-ilman kontrolloimatonta pakenemistä ohi polttoainekerroksen. [14, s. 474–475.]



Kuva 5. Vastavirta- ja myötävirtaperiaatteiset tulipesärakenteet [14, s. 475].

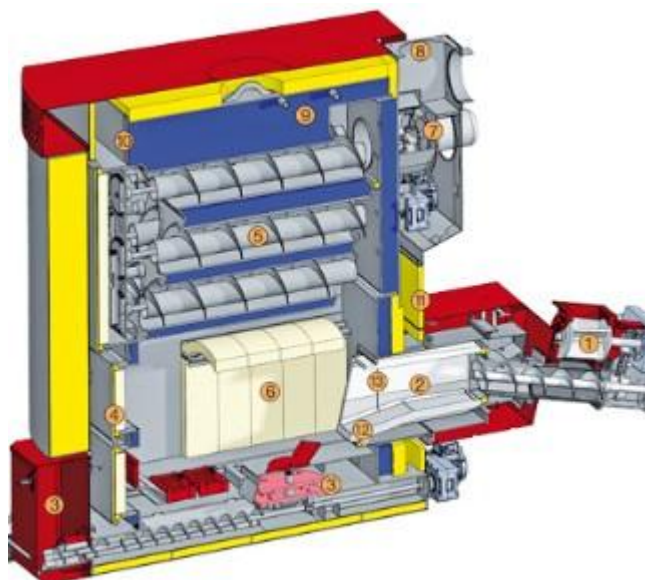
Tuhkanpoisto

Tuhka, jonka polttoaine sisältää, poistuu pääosin arinan läpi tai isommissa yksiköissä olevan jäännöshiilen loppuun palamiseen suunnitellun, yleensä mekaanisen tuhkarinnan loppuosasta sammutuskaukaloon. Arinan läpi tippuva tuhka pitää usein sisälleen paljon palamiskelpoista polttoainetta. Arinapoltossa myös tuhkan hehkutushäviö, jolla tarkoitetaan tuhkan sisältämän palamiskelpoisen polttoaineen osuutta, on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi leijukerrosoltossa. Tuhka- ja polttoainehiukkaset, jotka lähtevät savukaasun mukana lentoon, ovat riippuvaisia hiukkasten koosta sekä kaasun virtausnopeudesta polttoainekerroksen pinnassa. [14, s. 475.]

3.2 Pienpolttokattilat ja polttimet

Pienpolttokattiloiksi lasketaan omakoti- ja kiinteistökattilat, joiden tehoalueet vaihtelevat parista kymmenestä kilowatista muutamaan sataan kilowattiin. Näissä kattiloissa arina on usein kiinteä tasoarina, ja se on valmistettu joko valuraudasta tai keraamisesta materiaalista. Näille tyypillistä on polttoaineen manuaalinen syöttö, mutta suuremmissa kiinteistökattiloissa syöttö voi tapahtua myös automaattisesti sylinterillä tai syöttöruuvilla. Omakotitalokokoluokan kattilat jaetaan yleensä kahteen pääluokkaan, ylä- ja alapalokattiloihin. Lisäksi alle 35 kW:n tehoiset kattilat voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen mukaan perinteisiin kattiloihin, joissa poltin lämmittää kattilavettä ja kuuma käyttövesi saadaan kierukan kautta kattilavedestä, sekä uuden teknologian kattiloihin, joissa taas käyttövettä lämmitetään suoraan polttimella ja kattilavettä epäsuorasti. [14, s. 478.]

Kuvassa 6 on esitettyä pellettikattilan poikkileikkaus.



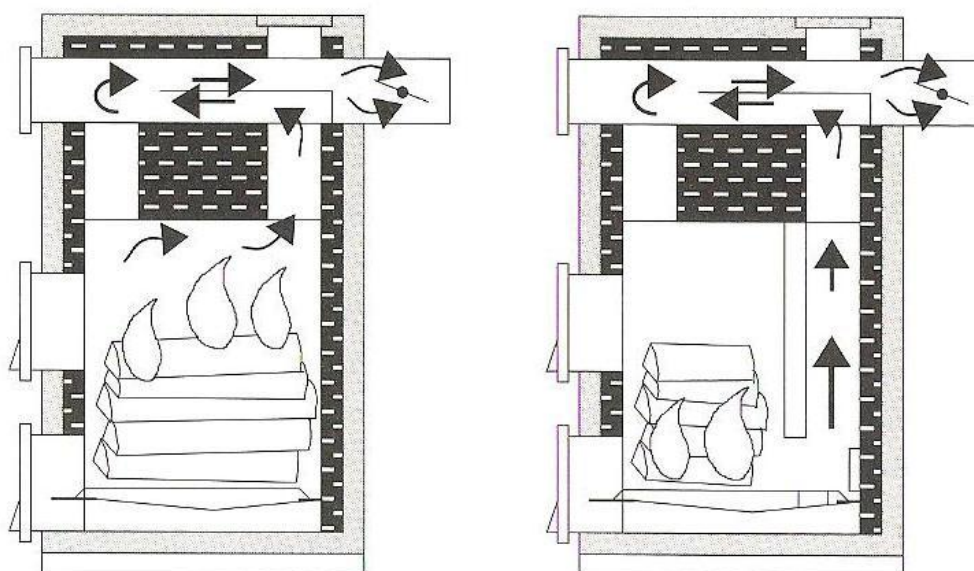
Kuva 6. Pellettikattilan poikkileikkaus. 1. Poltin 2. Tuhkanpoisto 3. Tulipesän luukku puunpolttoa varten 4. Lämmönsiirtimet 5. Savukaasuimuri 6. Lambda-anturi 7. Ylikiehumissuoja 8. Kattila 9. Kattilakierto pumpulla ja kolmitieventtiilillä 10. Primääri-ilma 11. Sekundääri-ilma. [15]

3.2.1 Yläpalokattila

Yläpaloperiaatteessa koko polttoainepanos syötetään useimmiten yhdellä kertaa arinan päälle tulipesään, jolloin tulipesän olosuhteet vaihtelevat kulloinkin käynnissä olevan palamisen vaiheen mukaan. Näin myös koko polttoainemäärä osallistuu samaan aikaan palamiseen. Polttoaineen kertaluontoisen lisäämisen vuoksi paloprosessi ei ole kokoajan jatkuvaa, joka aiheuttaa keskeisimmät ongelmat. Päällä oleva polttoaine pala ja alempana olevat kuivuvat ja kaasuttavat haihtuvia komponentteja. Syttymisvaiheessa palamislämpötila on matala ja palaminen on epätäydellistä. Pyrolyysivaiheessa liekin lämpötila on korkea ja savukaasuja syntyy paljon. Mahdollisimman puhtaan ja tehokkaan polton edellytyksenä on, että alhaalta kulkeutuvat kaasut menevät läpi liekistä syttyen ja palaen. Kaksoispesäkattilassa oleva yläpalokattila täytetään yleensä kattilan sivusta, jolloin polttoaine lisätään keon päälle. Kun luukku avataan, pääsee palotilaan ylimääräistä ilmaa, jolloin savukaasut viilenevät ja hyötysuhde heikentyy. Jotta palaminen olisi mahdollisimman puhdasta ja tehokasta, tulisi uusi polttoainepanos lisätä vasta edellisen hiiloksen päälle, koska hiiloksesta ei enää lähde kaasuntuvia aineita. Jos panos lisätään palavan polttoaineen päälle sillä seurauksella, että liekit tukehtuvat, alapuolelta saapuvat pyrolyysikaasut pääsevät läpi palamatta. Uusi poltto-

aine kuivuu nopeasti tulipesässä, ja alkaa pyrolysoitumaan. Kestää kuitenkin jonkin aikaa, ennen kuin lämpöä on tarpeeksi sen syttymiselle. Tulipesäolosuhteissa tapahtuvat muutokset näkyvät myös poltossa syntyvissä haitallisissa päästöissä. Näissä ponnasyöttöisissä yläpalokattiloissa palamattomien komponenttien päästöt ovat keskimääräistä suuremmat kuin muissa kattilatyypeissä energiayksikköä kohden laskettuna. Usein myös päästöjä lisää ilman ja palamiskaasujen huono sekoittuminen. Näissä kattiloissa ei myöskään ole yleensä tehonsäätöjärjestelmää palamiselle, minkä vuoksi energiavaraajan käyttöä edellytetään, jotta polttoaine-energiaa käytettäisiin taloudellisesti. [14, s. 478–479]

Kuvassa 7 esitellään sekä ylä- että alapalokattila.



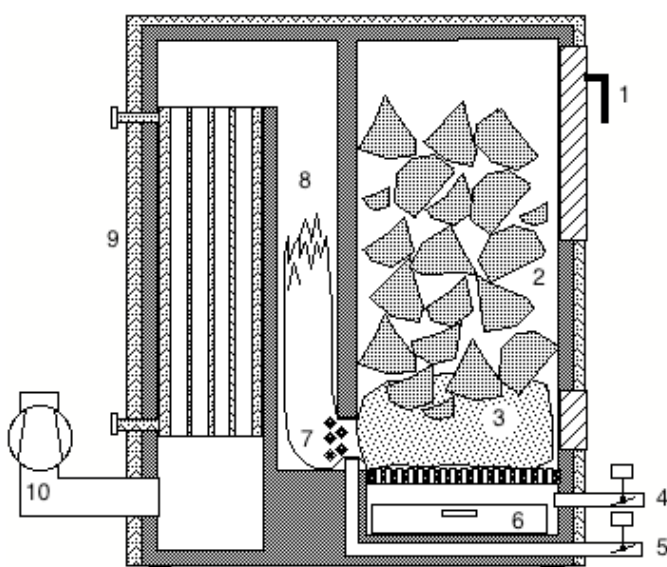
Kuva 7. Ylä- ja alapalokattilat [14, s. 479].

3.2.2 Alapalokattila

Alapalokattilassa palaminen tapahtuu taas kattilan alaosassa. Polttoaine on säiliössä, jonka pohjan muodostaa arina, kuten kuvasta 8 voi todeta. Alapalokattiloissa palaminen on enemmän yhtäjaksoinen prosessi verrattuna yläpalokattiloihin. Niihin voidaan lisätä polttoainetta vaikuttamatta merkittävästi varsinaisella palamisvyöhykkeellä vallitseviin olosuhteisiin. Alapalokattiloissa muodostuu voimakas hiillos polttoainekasan alapuolelle, joku loppuun palettuaan tipahtaa arinan läpi tuhkatilaan. Alapalokattiloissa on

tärkeää, että primääri-ilma syötetään palamistilaan polttoainekerroksen läpi, ja että sen osuus on yläpalokattiloihin verrattuna pienempi. Tästä seuraa, että sekundääri-ilman tulee sekoittua hyvin, jotta saataisiin mahdollisimman hyvä palamistulos. Hyvän sekoittumisen saavuttamiseksi tarvitaan joko koneellinen ilmansyöttö tai savukaasupuhaltimen ja savukaasuvirran turbulenssia lisäävien rakenteellisten ratkaisujen yhdistelmää.

Alapalokattiloiden etuina pidetään polttoaineen esilämmitystä sekä tehokasta polttoa. Vesivaippa ja palava polttoaine lämmittävät alhaalta kuivaa polttoainetta, mikä edesauttaa sen syttymistä. Varastossa olevasta polttoaineesta pyrolysoituvat kaasut kulkeutuvat palotilan läpi, jolloin ne palavat loppuun ja luovuttavat samalla lämpöenergiaa. Tämän tyyppiset kattilat ovatkin erityisen hyviä kiinteitä polttoaineita poltettaessa polton tehokkuuden näkökulmasta. Alapalokattiloissa mahdollisia ongelmia voi aiheuttaa polttoaine tai epäonnistunut palamisprosessi. Polttoaineen tulee olla tasalaatuista, jotta koko siilo täyttyisi. Polttoaineen ollessa karkeaa, täytyy vetoa kasvattaa täyttämävaiheessa, jotta tuli ja savu eivät pääse kattilahuoneeseen. Alapalokattilassa ilmavirtausta kuristamalla voidaan säätää polttotehoa, ja nämä soveltuvatkin suoraan lämmitykseen jopa ilman energiavaraajaa. Ilmavirtauksen säätö tosin lisää palamattomien aineiden päästöjä. Jos polttoprosessi taas on huonoa, voivat pyrolyysikaasut päästä lieskapesän ohi ilman, että ne palavat. Tällöin energiasisältöä ei hyödynnetä, lämpöpinnat likaantuvat ja päästöjen määrä kasvaa. [14, s. 479]



Kuva 8. Alapalokattila. Osat: 1. Polttoaineen syöttöluukku, 2. Polttoainepanos, 3. Palamisvyöhyke, 4. Primääri-ilma, 5. Sekundääri-ilma, 6. Tuhkankerääjä, 7. Sekoitusvyöhyke, 8. Jälkipolttokammio, 9. Lämmönsiirrin, 10. Savupiippu. [11]

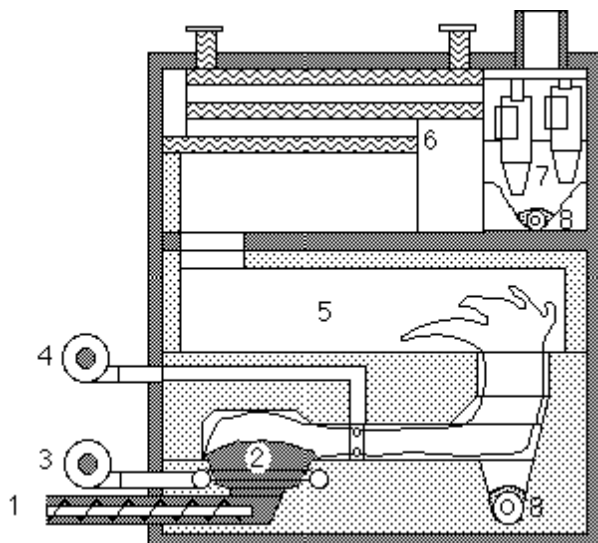
3.2.3 Käänteispalokattila

Käänteispalokattilan toimintaperiaate on alapalokattilan kaltainen, minkä vuoksi sitä pidetään paranneltuna versiona alapaloperiaatteesta. Käänteispalokattiloissa etenkin kaasujen jälkipoltto on kontrolloidumpaa. Näissä kattiloissa polttoaine sijaitsee arinan päällä olevassa varastosäiliössä, ja palamiskaasut johdetaan alakautta arinan läpi. Palaminen tapahtuu polttoainekasan alapäässä. Arinan alapuolella on tyhjä tila, jossa sekundääri-ilman avustuksella poltetaan pyrolyysikaasut. Arinan alla sijaitsee tuhkatila, jonne tuhka ja palamaton hiili putoavat. Tuhkatilan yläpuolella sijaitsevalla kaasujen poltolla varmistetaan hiilen loppuunpalaminen. Primääri-ilma ohjataan arinalla makavaan polttoaineeseen. Korkean lämpötilan vuoksi materiaalien tulee olla kuumuutta kestäviä, ja etenkin arinarakenne joutuu koetukselle. Jos esimerkiksi polttoaine syötetään huonosti, voi se siirtää palamisen arinan yläpuolelle, jolloin arinaan kohdistuu kovin lämpö. Käänteispalokattilan toiminta on parhaimmillaan savukaasupuhaltimen kanssa. Tämä kattilarakenne on Keski-Euroopassa hyvinkin yleinen, mutta Suomessa se ei ole vielä hirveästi yleistynyt kovan hintansa vuoksi. [16]

3.2.4 Stokeripoltin

Stokeripolttimella tarkoitetaan polttinlaitteistoa, joka muodostuu kolmesta erillisestä osasta: varastosäiliö, ruuviirrinn ja poltin. Tämä ruuvisyötteinen menetelmä on nimeltään stokeri. Sitä on alun perin käytetty muun muassa höyryvetureissa hiilen siirtämiseksi vaunusta pesään. Nykyään stokeripoltin on ruuvin, polttoainesäiliön ja polttinosan muodostama kokonaisuus. Se on laajasti käytössä eri teholuokissa. Polttinrakenne on riippuvainen polttoaineesta. Esimerkiksi pelletillä sen muodostaa alta syötettävä kuppi, kun taas hakkeella se on useimmiten pieni kiinteä arina. Stokeripoltin on usein mahdollista irrottaa kattilasta puhdistamisen ajaksi. Näissä polttimissa polttoaine palaa samoin kuin yläpalokattilassa, mutta syöttämällä polttoainetta tasaisesti, vältetään yläpalokattilan keskeisiltä ongelmakohtilta. Syötettäessä polttoaine alapuolelta, pysyy palamista- pahtuma yhtäjaksoisena. Yksi toimintaperiaate, jota pellettipolttimissa käytetään, on polttoaineen tiputtaminen polttokaukaloon. Palaminen on tehokasta johtuen pellettien kuivuudesta ja tasaisesta, pienissä erissä tapahtuvasta syötöstä. [17]

Alhaalta syöttävän stokeripolttimen rakenne on esitelty kuvassa 9.



Kuva 9. Alhaaltasyöttävä stokeripoltin. Osat: 1. Ruuvisyötin, 2. Stokeri- ja palamisvyöhyke 3. Primääri-ilma, 4. Sekundääri-ilma, 5. Jälkipolttokammio, 6. Lämmönsiirrin, 7. Sykloni 8. Tuhkanpoisto. [11]

3.2.5 Etupesäpoltin

Kaasutusperiaate, jota etupesässä käytetään, on ollut käytössä jo pitkään. Eräänä sen sovelluksena ovat muun muassa autojen häkäpöntöt. Keskuslämmityskattiloissa etupesäpoltin avulla pystyy vaihtamalla pelkän poltinrakenteen siirtymään öljypoltosta kiinteään biopolttoaineen polttoon. Asentamalla etupesäpoltin vanhan vesikattilan öljypoltinluokkuun koko kattilaan ei tarvitse vaihtaa. Tosin savupiippua tulee pidentää tai vaihtoehtoisesti asentaa savukaasuimuri, johtuen etupesän aiheuttamasta vetovastuksesta. Etupesän rakenne koostuu arinasta sekä tulikanavasta, joka johtaa kattilaan. Kiinteä polttoaine poltetaan arinalla käyttämällä vähän happea, eli toisin sanoen kaasutetaan. Palaminen on epätäydellistä ja palamisesta syntyvät kaasut johdetaan tulikanavaan. Tulikanavassa kaasun sekaan syötetään sekundääri-ilmaa, jonka johdosta kaasut syttyvät palamaan. Kattilan tulipesässä tapahtuu yleensä varsinainen palaminen. Muun muassa kosteudesta johtuen savukaasuja syntyy reilusti enemmän verrattaessa öljypolttoon. [18]

3.2.6 Kaksoispesäkattilat

Kaksoispesäkattilalla on alun perin tarkoitettu kattilaa, jolla poltetaan sekä öljyä että puupilkettä. Öljy on ollut pääpolttoaineena puun toimiessa varapolttoaineena, esimerkiksi kesällä. Tällaisissa kattiloissa mitoitus on tehty öljylle, jolloin puuta poltettaessa tehot jäävät huomattavasti pienemmiksi. Nykyään myynnissä on myös kaksoispesäkattiloita, joissa polttoaineena on pelletti ja puu. Kaksoispesäkattilassa on omat pesät molemmille polttoaineille. Savukaasujen poistosta johtuen vain toista pesää voi polttaa kerrallaan. [19]

3.2.7 Kattiloiden turvajärjestelmät

Lämmityskattiloiden turvajärjestelmiin lukeutuvat ylikuumenemissuoja sekä takatulen esto. Ylikuumenemissuoja voi olla esimerkiksi jäähdytyskierukka. Ylikuumenemissuojalla estetään kattilan lämpötilan nouseminen yli turvarajojen. Takatulenestojärjestelmä estää takatulen, eli kattilan tulipesästä polttoaineensyöttöjärjestelmän läpi polttoainevarastoon etenevän tulipalon. Automaattinen polttoaineensyöttöjärjestelmä on aina suojattava takatulelta. Estojärjestelmä voi koostua esimerkiksi sammutusjärjestelmällä tai polttoaineen syöttölaitteiston rakenteellisilla ratkaisuilla. Turvallisuuden kannalta on myös merkittävää, että kattila ja hormi ovat keskenään yhteensopivia. Kattilan ja hormin yhteensopimattomuus on suurin metallisten savuhormien tulipalojen aiheuttaja. Yleisin virhe on yhdistää liian tehokas kattilan liian tehottomaan hormiin. [20]

4 Polttoaineet

Biolämpökattiloissa polttoaineina käytetään suorapolttoisia bioenergiaraaka-aineita, kuten pellettejä, haketta ja polttopuuta. Lisäksi käytetään myös puusta pyrolyysiprosessilla valmistettua biohiiltä, jolloin polttoaineen lämpöarvo saadaan lähes perinteisen kivihiilen tasolle.

4.1 Pelletti

Pelletiksi kutsutaan tiiviiksi puristettua sahanpurua, kutterinlastua ynnä muita saha- ja puusepänteollisuuden sivutuotteista valmistettua polttoainetta. Se on lieriönmuotoista, ja halkaisijaltaan se on 5–9 mm ja pituudeltaan noin 10–40 mm. Pellettejä on esitelty kuvassa 10. Kaupallisesti myytävän pelletin kosteuspitoisuus on alle 10 % ja lämpöarvo yli 4,6 kWh/kg. Suomessa on tällä hetkellä vajaat 30 toiminnassa olevaa pellettitehdasta. Toisin kuin monessa muussa maassa, Suomessa pelletin tuotantoa ei tueta valtion puolesta. [21; 22; 23]

Pellettiä poltettaessa syntyy tuhkaa noin 0,3-0,5 % /poltettu massayksikkö, joka vastaa keskikokoisessa pientalossa noin 25:ttä kiloa vuodessa [24]. Tämän vuoksi pellettikattiloissa on aina erilliset tuhkan kerääjät. Syntynyt tuhka voidaan hyödyntää mm. käyttämällä sitä lannoitteena. Pelletin hyviä puolia ovat sen tiivis koostumus, jolloin se vie vähemmän tilaa kuin tavallinen polttopuu, sekä tavallista polttopuuta parempi lämpöarvo. Pelletistä syntyy myös vähemmän pienhiukkaspäästöjä polttopuuhun verrattuna [25]. Huonona puolena voidaan mainita se, että niiden valmistamiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin esimerkiksi hakkeen valmistamiseen. Kuitenkin, pelletin valmistamiseen käytetty energia on vain 1–5 % sen energiasisällöstä [26].



Kuva 10. Biopoltossa käytettyjä pellettejä [27].

4.2 Puupolttoaineet

Kalikka eli klapi on puunhalosta pienempiin osiin pilkottu puupala. Polttoainekäytössä ne ovat noin 20–25 cm pitkiä. Hakkeella taas tarkoitetaan pieneksi silputtua puuta, jonka palakoko on noin 0,5–3 cm. Kuvassa 11 on esiteltynä haketta. Metsähake on yleisnimitys sekä polttihakkeelle että -murskeelle. Sitä voidaan valmistaa kaikesta metsästä saatavasta puusta, kuten esimerkiksi oksista, neulasista, latvuksista, rungosta, juurakoista sekä kannoista. Metsähake jaetaan sen raaka-aineen perusteella vielä eri osiin:

- karsittu ranka
- karsimaton pienpuu eli kokopuu
- kuitupuu
- hakkuutähteet
- järeä runkopuu
- kannot ja juurakot.

Karsittu ranka, karsimaton pienpuu ja kuitupuu on vuodesta 2010 alkaen esitetty tilastoissa yhteisellä nimellä pienpuu. Toisin kuin pelletit, klapeja ja haketta ei puristeta tiiviiksi, vaan ne valmistetaan suoraan puusta [6]. Taulukko 1 esittää erilaisia ominaisuuksia eri puulajeille, joita Suomessa käytetään lämmitykseen. Taulukossa 2 on esiteltynä ominaisuuksia eri puupolttoainelajeille.

Puupolttoaineena käytetään myös teollisuuden sivutuote- ja jätetuuta, joka koostuu teollisuuden puutähdehakeesta, sahan- ja muista puruista sekä kuoresta. Lisäksi käytetään kierrätyspuuta, joka on määritelmältään polttoaineeksi tarkoitettua käytöstä poistettua puhdasta, käsittelemätöntä ja lisäaineetonta puuta. Tällaisia ovat esimerkiksi kuormalavat sekä puupakkaukset. Lisäksi on määritetty vielä muu kiinteä puupolttoaine, joka käsittää muun edellä mainitsemattoman ja erittelemättömän kiinteän puupolttoaineen. [28]

Taulukko 1. Suomessa lämmitykseen käytettävien puulajien lämpöarvoja [29].

Puulaji	Lämpömäärä kWh/kg	Lämpöarvo kWh/Irtohake m ³	Lämpöarvo kWh/Pino m ³
Mänty	4,15	810	1360
Kuusi	4,1	790	1320
Koivu	4,15	1010	1700
Leppä	4,05	730	1230
Haapa	4	790	1330



Kuva 11. Poltossa käytettävää haketta [30].

Taulukko 2. Energiatiheys ja tiivys erityyppisille puupolttoaineille [31].

Puupolttoainelaji	Energiatiheys, MWh/i-m ³	Tiivys, M3/i-m ³
Metsähake	0,8	0,4
Teollisuuden puutähdehake	0,8	0,4
Sahanpuru	0,6	0,3
Kutterinlastu	0,5	0,3
Kuori, havupuu	0,6	0,35
Kuori, lehtipuu	0,75	0,35
Kierrätyspuu	0,7	0,4

4.3 Biohiili

Biohiili on biomassasta valmistettu kiinteä polttoaine, joka usein pelletoidään (kuva 12). Se käsittää kaksi erilaista lopputuotetta, joista käytetään yhteistä nimitystä biohiili. Toinen on puuhiili, ja toinen on torrefioitu puu. Biohiili luokitellaan muiden puupohjaisten polttoaineiden tapaan hiilidioksidineutraaliksi. Sitä voidaan valmistaa lähes kaikista eloperäisistä aineista. Sen tärkein raaka-aine on puu, mutta siinä voidaan käyttää myös turvetta, olkea, luita sekä lantaa. Biohiilellä on jalostamattomaan biomassaan verrattuna monia hyviä puolia, kuten korkea energiapitoisuus, yhtenäiset ominaisuudet sekä alhainen kosteusprosentti. Sitä voidaan myös käyttää kivihiilellä toimivissa voimalaitoksissa, joissa esimerkiksi hakkeen poltto voi aiheuttaa ongelmia.

Biohiilen valmistus tapahtuu pyrolyysiprosessilla, jossa biomassaa lämmitetään hapettomissa olosuhteissa. Lämmittäminen rikkoo kemiallisia sidoksia, jotka tuottavat erilaisia kaasuja ja kiinteää ainetta. Kun hiiletysvaiheessa korkein lämpötila on yli 400 °C, syntyy lopputuloksena suurimmilta osin puhdasta hiiltä sisältävää puuhiiltä. Jos taas lämpötila jää 200:n ja 300 °C:n välille, kutsutaan prosessia torrefioinniksi ja lopputuotoksena syntyy torrefioitua puuta.

Hiiltämisessä syntyvistä kaasumaisista aineista osa voidaan tiivistää pyrolyysiöljyksi. Jäljelle jäävät tiivistämättömät kaasut koostuvat pääosin hiilimonoksidista, hiilidioksidista ja vedystä. Sekä pyrolyysiöljyä että tiivistämättömiä kaasuja voidaan käyttää polttoaineena. Tiivistämättömät kaasut hyödynnetään usein hiiltämisvaiheessa biomassan kuumentamiseen eikä niitä oteta talteen myöhempää käyttöä varten, toisin kuin pyrolyysiöljy. Pyrolyysiöljystä ennustetaan tulevan tärkeä polttoaine sekä mahdollisesti merkittävä biomassapohjaisten liikennepolttoaineiden lähde.

Biohiilen valmistuksessa tärkein prosessiolosuhde on lämpötila. Siitä ovat riippuvaisia useimmat biohiilen ominaisuudet, kuten lämpöarvo ja tuhkapitoisuus. Myös tuotos on riippuvainen prosessin lämpötilasta. Lievässä torrefioinnissa, jolloin lämpötila on 230 °C, tuotos voi olla yli 90 %. Jos lämpötila nostetaan 900 °C:seen, laskee tuotos 25 prosenttiin. Prosessilämpötilan ollessa korkea, paranee myös polttoaineen lämpöarvo. Puuhiilen lämpöarvo voi olla jopa parempi kuin tavallisella hiilellä, johtuen puuhiileen pienemmästä tuhkapitoisuudesta. Torrefioidun puun lämpöarvo taas on yleensä vain hieman alkuperäisen puun lämpöarvoa parempi. Torrefioidun puun energiatiheys on

kuitenkin käytännössä merkittävästi parempi esimerkiksi hakkeeseen verrattuna, koska hakkeen kosteusprosentti voi olla jopa 50 %, kun taas torrefioidulla puulla se on huomattavasti alhaisempi. Taulukossa 3 on vertailtu arinapoltossa käytettävien polttoainelajien ominaisuuksia. [32]



Kuva 12. Poltossa käytettävää pelletöityä biohiiltä [33].

Taulukko 3. Ominaisuuksia erilaisille arinapoltossa käytettäville polttoaineille [34].

Polttoainelaji	Kosteusprosentti	Irtotiheys kg/i-m ³	Tehollinen lämpöarvo MWh/t	Energiatiheys MWh/i-m ³
Metsätähdehake	30–60	250–400	1,7–3,6	0,8
Puupelletti	7–10	600–650	4,5–4,7	3
Torrefioitu biomassa	3	230	5,5	1,3
Torrefioitu pelletti	1–5	750–780	6	4,8
Kivihiili	5–10	900–1000	7	6,5

5 Päästöt

5.1 Yleisesti

Biomassaa poltettaessa syntyy suhteellisen paljon NO_x- sekä hiukkaspäästöjä verrattuna maakaasun tai kevyeen polttoöljyn polttoon. Tämän vuoksi biomassan poltto vaikuttaa hiukkasten ja typpidioksidin määrään sekä otsonikerrokseen ilmassa. Puun palamisen elinkaariarvioissa (LCA) on todettu, että nykyaikaisen automaattisesti toimivan puukattilan päästöistä 38,6 % tulee typen oksideista, 36,5 % hiukkasista, 2 % hiilidioksidista ja 22,9 % muista epäpuhtauksista, kuten esimerkiksi rikin oksideista, ammoniakista, metaanista, haihtuvista orgaanisista yhdisteistä, primäärienergiasta ja jäännöksistä. Vaikka hiilidioksidipäästöjä syntyykin jonkun verran, niitä ei varsinaisesti lasketa päästöiksi, koska sen vaikutus ilmaston kannalta on sama, jos puu lahoaisi itsekseen metsässä.

Puun, kevyen polttoöljyn ja maakaasun LCA-tutkimuksista on huomattu, että puun ympäristövaikutukset ovat korkeammat kasvihuoneilmion kannalta standardiarvion mukaan kuin maakaasun. Tämän vuoksi puuteollisuus kaipaa parannuksia. On myös huomioitava, että LCA-tutkimuksesta vedettävät johtopäätökset ovat vahvasti riippuvaisia siitä, miten kasvihuoneilmiö arvioidaan, koska sijoitukset vaihtelevat huomattavasti kolmen eri polttoaineen eri hiilidioksidiarvojen vuoksi. Toisaalta, heikosti palavassa käsitoimisissa puukattiloissa hiukkaspäästöt voivat olla kymmenkertaiset oletettuihin päästöarvoihin, jotka lisäävät ympäristövaikutuksia huomattavasti. Lisäksi jos palamattomien hiilivetyjen, mukaan lukien metaani, päästöt ovat liian korkeita, jopa kasvihuonekaasuefektivi voi olla suurempi kuin kevyellä polttoöljyllä tai maakaasulla metaanin suuresta vaikutuksesta johtuen. Näin ollen puun polton voidaan arvioida olevan ympäristöystävällistä, jos ilmaan pääsevät päästöt ovat pieniä. [11]

5.2 Hiukkaset

5.2.1 Hiukkasten ominaisuudet

Hiukkaset kuvaavat ilmassa olevien kiinteiden hiukkasten ja pisaroiden summaa. Hiukkaskoko on tärkeä parametri hiukkasten kuvaamisessa. Kokoluokkia on kolme erilaista:

- karkeat hiukkaset $> 2,5 \mu\text{m}$
- pienhiukkaset (0,1–1 μm tai 0,1–2,5 μm)
- ultrapienet hiukkaset $< 0,1 \mu\text{m}$. [11; 35]

PM₁₀ tarkoittaa hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on pienempi kuin 10 μm . Tähän sisältyy sekä karkeita että hienoja hiukkasia. Hiukkasten koko ja tiheys vaikuttavat niiden säilyvyysaikaan sekä kulkeutumismatkaan ilmassa. Karkeat hiukkaset pyrkivät laskeutumaan maahan tunneissa, kun taas hienot hiukkaset voivat leijaila ilmassa useita viikkoja. Raja-arvot hiukkaspäästöjen sekä ympäristön hiukkasmäärän standardeille on ilmoitettu massapitoisuuksina. Tämä ei ota huomioon pinta-alaltaan suuria hiukkasia, jotka voivat mahdollisesti toimia myrkyllisten aineiden kantajina. Massapitoisuuden lisäksi lisäparametrit ovat tarpeellisia partikkelien mahdollisten vaikutusten kannalta ympäristölle ja ihmisille. Erityisesti partikkelien koko, muoto, morfologia sekä kemiallinen koostumus ovat tärkeitä parametreja hiukkasia tarkasteltaessa. Tyypillisissä olosuhteissa noin 90 % hiukkasista koostuu pienhiukkasista ja ultrapienistä hiukkasista. Koska hiukkasten mittauksessa ilmoitetaan vain massapitoisuus, hiukkasille on pohdittu muitakin parametreja joita voitaisiin käyttää tulevaisuudessa raja-arvoina, kuten esimerkiksi hiukkasten määrä ja niiden myrkyllisyys.

Ilmassa olevat hiukkaset ovat yhdistelmä suoraan päästöinä tulevia primäärisiä aerosoleja sekä ilmakehässä muodostuvia sekundäärisiä aerosoleja. Hiukkaset ovat osittain peräisin luonnosta, kun taas ihmisen tuottamat päästöt johtavat ylimääräisiin hiukkasiin ilmassa. Karkeat partikkelit primääreissä aerosoleissa ovat peräisin pääosin mekaanisista prosesseista, kuten esimerkiksi rakennustoiminnoista, tiepölystä resuspensoitumisesta ja tuulesta, kun taas hienot partikkelit ovat pääosin peräisin palamisesta. Primäärien hiukkasten pääasiallisia lähteitä ovat dieselmoottorit sekä biomassan poltto.

Sekundääriset aerosolit muodostuvat ilmakehässä kaasumaisten esiasteiden muutoksesta, kuten esimerkiksi rikin oksidien (SO_2 , SO_3), typen oksidien (NO , NO_2), ammoniakin (NH_3) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC). Reaktiotuotteet ovat ammoniumsulfaatteja sekä ammoniumnitraatteja. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden hapettumistuotteita ovat aldehydit ja ketonit. Sekundääristen aerosolien suurimpia aiheuttajia ovat palamisprosessit (lämpövoimalaitokset, teollisuus, kotitalouksien lämmitys: SO_2 , SO_3 , ja NO_x), dieselmoottorit (NO_x ja SO_2), maatalous (NH_3), liuottimien käyttö, kemianteollisuus ja petrokemia (VOC). Niiden sekundääristen aerosolien lisäksi, jotka ovat peräisin typen ja rikin oksideista, sekundääriset orgaaniset aerosolit voivat myös merkittävästi lisätä ilman hiukkaspitoisuutta. Puun epätäydellinen palaminen on muiden lähteiden lisäksi potentiaalinen sekundääristen orgaanisten aerosolien lähde.

Ilmassa olevaan hiukkasmäärään voi vaikuttaa seuraavat sivureaktiot:

1. Korkean molekyyliipitoisuuden omaavat orgaaniset yhdisteet, kuten esimerkiksi tervan komponentit, voivat olla käytettävissä höyryfaasissa pinossa savukaasulämpötilassa, mutta ne voivat myöhemmin muodostaa nukleaation ja tiivistymisen kautta lisää hiukkasia ja pisaroita. Tämä johtaa joko hiukkasten määrän ja massan kasvuun tai jo pinossa tai ilmassa olemassa olevien hiukkasten massakonsentraation kasvuun adsorboimalla.
2. Pienen molekyyliipitoisuuden omaavat orgaaniset yhdisteet voivat muodostaa sekundäärisiä orgaanisia aerosoleja valokemiallisella hapettumisella ilmakehässä ja/tai ne voivat lisätä jo olemassa olevien hiukkasten massaa adsorboimalla. Hapen lisääntyneen massan vuoksi hiukkasen kokonaismassa kasvaa.
3. Hiukkasten määrää ilmassa voidaan vähentää haihduttamalla hiukkasia ja pisaroita sekä desorptiomalla puolihaihtuvista yhdisteistä, jotka ovat adsorboituneet hiukkasista johtuen ilmassa laimentumisesta. Tämä johtaa pienentyneeseen osapaineeseen ympäröivässä ilmassa olevissa hiukkasissa.

Näin ollen asuntojen puulämmityksestä syntyvien orgaanisten hiukkasten määrää voidaan aliarvioida, jos vain kuumien suodattimien havaitsemat pinossa olevat kiinteät partikkelit 160 °C :n lämpötilassa otetaan huomioon. Tutkimukset dieselin- ja puunpoltosta osoittavat hiukkaspitoisuuden selkeää kasvua laimentamalla niitä il-

massa alhaisilla laimennussuhteilla. Puu-uuneille huomattiin laimennustunnelissa kasvu 2,5:stä 9:ään, joissa laimennussuhteet aina kymmeneen asti ovat yleisesti käytössä. Myös dieselin pakokaasujen tutkimuksissa on huomattu merkittävää hiukkasten määrän kasvua ilmalla laimentamalla laimennussuhteella 20. [11]

Myöhemmän tiivistymisen ja adsorption avulla jäähdyttäminen on laimennuksen ensimmäinen vaihe ja se johtaa hiukkasen massan merkittävään kasvuun. Savukaasun edelleen laimennus, haihdutus sekä haihtuvien ja puolihaihtuvien yhdistelmien desorptio osapaineen vähentämisellä ympäröivässä kaasufaasissa muuttuu olennaiseksi. Tämä johtaa hiukkasen massan pienenemiseen. Näin ollen puolihaihtuvien orgaanien jakaminen on merkittävä tekijä puun poltossa tai dieselmoottorissa syntyneiden päästöjen konvertoitumisessa ilmaan. [11]

5.2.2 Palamisessa syntyvät hiukkastyypit

Hiukkaspäästöjen tutkimukset ovat osoittaneet, että hyvin suunnitelluilla ja oikein toimivilla kehittyneellä teknologialla edustavilla automaattisilla puunpolttolaitoksilla (yleensä kokoluokkaa > 200 kW) saavutetaan korkea palamislaatu, jonka johdosta palamatonta hiilivetyä ja nokea syntyy päästöinä vain vähän. Kuitenkin automaattisista puukattiloista syntyy suhteellisen korkean massapitoisuuden omaavia hiukkaspäästöjä raakakaasussa: tyypillisesti suuruusluokkaa 100 mg/m^3 kosteusprosentilla 13 luonnonhakkeelle sekä useita satoja mg/m^3 muille polttoaineille kuten kuorelle ja ei-puusta peräisin olevalle biomassalle. Kehittyneellä teknologialla olevasta ja oikein toimivasta puunpolttolaitoksesta peräisin olevat hiukkaset koostuvat pääasiassa epäorgaanisista aineista kuten esimerkiksi suoloista, kun taas huonoilla palo-ominaisuuksilla varustetusta puu-uunista syntyvät hiukkaspäästöt koostuvat lähinnä noesta ja orgaanisista aineista. [11]

5.2.3 Puun poltossa syntyvät hiukkaspäästöt

Biomassan poltossa syntyy hiukkaspäästöjä suhteellisen paljon. Valtaosa hiukkasista on kooltaan alle 10 mikrometriä, joista suuri osa on pienhiukkasia (alle $1 \mu\text{m}$). Puun palamisen elinkaariarvioissa on todettu, että nykyaikaisen automaattisesti toimivan puukattilan päästöistä 36,5 % tulee hiukkasista. Vain typen oksideista syntyy enemmän päästöjä (38,6 %).

Pienhiukkaset muodostuvat leijukerros poltossa pääasiassa kaliumin, kloorin, rikin, natriumin ja kalsiumin hienoista hiukkasista sekä kalsiumin, kloorin, rikin, piin, natriumin, alumiinin, raudan ja fosforin karkeista hiukkasista. Kiinteällä petillä poltettaessa hiukaspäästöjen lisääntyneet massapitoisuudet ovat yleensä yhteydessä hiukkasten kasvaneeseen keskimääräiseen halkaisijaan. Hiukkasten koostumuksen riippuvuuden koon voi huomata myös kiinteän petin olosuhteissa. Kaliumia, rikkiä, klooria ja sinkkiä löytyy pääasiassa ultrapieninä hiukkasina, kun taas kalsiumin määrä kasvaa partikkeliin kasvaessa. Jos saavutetaan lähestulkoon täydellinen palaminen tulipesän oikealla mallilla, syntyvät partikkelit koostuvat lähes täysin polttoaineen tuhkasta ja suoloista, pääkomponenttina esimerkiksi kaliumkloridi. Polttoaineen pääasialliset osat aerosolien muodostumisen kannalta ovat tyypillisesti kalium, kloori, rikki, kalsium, natrium, pii, fosfori, rauta ja alumiini. Päätoimenpiteitä, joilla voitaisiin turvallisesti ja tehokkaasti pelkistää aerosoleja tässä kategoriassa, ei vielä tiedetä. [11]

5.3 Häkä

Hiilimonoksidi eli häkä on eräs merkittävimmistä palamisessa syntyvistä päästöistä. Se on väritön, hajuton sekä mauton kaasu, joten sitä ei pysty aistimaan [12]. Häkää syntyy hiiliatomien epätäydellisen palamisen seurauksena, kun happea ei ole riittävästi. Tällöin myös lämpöä vapautuu vain noin neljännes verrattuna tilanteeseen, jossa hiili hapen kanssa reagoi muodostaen hiilidioksidia [36 s. 91]. Hiilen yhdisteiden palaminen tapahtuu kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa hiili hapettuu hiilimonoksidiksi (CO), joka myöhemmin hapettuu hiilidioksidiksi (CO₂). Suurin osa hiilestä vapautuvasta energiasta vapautuu tässä jälkimmäisessä vaiheessa. Tämän vuoksi polttokammiot on suunniteltu siten, että ne maksimoisivat hiilimonoksidin hapettumisen hiilidioksidiksi. Toisaalta epätäydelliseen palamiseen ja sitä kautta korkeampiin hiilimonoksidipäästöihin johtavia palamisolosuhteita on olemassa useita. Näitä ovat muun muassa: liian pieni ilmakerroin, joka tyypillisesti pyritään pitämään mahdollisimman pienenä typen oksidien muodostumisen vähentämiseksi sekä palamisen hyötysuhteen parantamiseksi, heikko ilman ja polttoaineen välinen kontakti, sekä palamisalueen alentunut lämpötila. Lämpötilan aleneminen johtuu todennäköisesti biomassan korkeasta kosteusprosentista. [37]

Häkäpäästöt ovat merkittävimpiä tulisijoissa kuin jatkuvapolttoisissa laitteissa. Tulisijoissa etenkin polton alku- ja loppuvaiheissa häkäpäästöt ovat korkeimmillaan. Jatkuvapolttoisissa laitteissa päästöt ovat taas korkeimmillaan silloin, kun poltin käy pivotliekillä ja lämpöä ei tarvita. [38]

Palamisen säätömahdollisuuksiin vaikuttavat tekijät ovat yleensä hyvä kattilasuunnittelu, polttoaineen valmistelu, oikeanlainen käyttö sekä hyvä sekoittuminen. Kattilasuunnittelulla pyritään varmistamaan että palamisessa käytetään tarpeeksi aikaa, oikeaa lämpötilaa sekä riittävää turbulenssia. Polttoaineen valmistelulla tarkoitetaan sen kuivattamista sekä oikeaa palakokoa. Oikeanlaisella käytöllä kattila sekä ilmansuodattimet säädetään toimimaan optimaalisesti muuttuvissa olosuhteissa. [37]

5.4 Muut päästöt

5.4.1 Typen oksidit

Polton yhteydessä muodostuu kolmenlaisia typpiyhdisteitä: typpimonoksidi NO, typpidioksidi NO₂ sekä dityppioksidi N₂O. Typpimonoksidista ja typpidioksidista käytetään yhteistä nimitystä NO_x. NO_x-päästöistä noin 95 % tai enemmän on peräisin NO:sta ja alle 5 % NO₂:sta. Typpimonoksidista kuitenkin merkittävä osa hapettuu ilmakehässä typpidioksidiksi, mistä johtuen NO- ja NO₂-päästöt ovat ympäristövaikutuksiltaan pitkälti samankaltaisia. NO_x-päästöjen tunnetuimpia haittavaikutuksia ovat mm. happaman laskeuman aiheuttaminen sekä osallistuminen fotokemiallisen saastesumun ja otsonin muodostukseen runsasliikenteisissä suurkaupungeissa. N₂O eli ilokaasu osallistuu CFC-yhdisteiden ohella ylemmän ilmakehän otsonituhon. Se on myös ns. kasvihuonekaasu jonka vaikutus ilmastonmuutokseen on merkittävä. Verrattuna moniin muihin päästökomponentteihin ilokaasu pysyy ilmakehässä hyvinkin pitkään, jopa 150 vuotta.

Typen oksideja muodostuu palamisessa kolmella eri tavalla. Terminen NO_x ja nopea NO_x muodostuvat ilmassa olevasta tyypestä korkeissa lämpötiloissa. Lisäksi nopean NO_x:n muodostumiseen tarvitaan myös hiilivetyjä. Lisäksi paljon tyypeä sisältävistä polttoaineista hapettuu NO_x-päästöjä. Nämä päästöt ovat biopoltossa merkittävimmät NO_x-päästöt, johtuen biopolttoaineiden korkeasta typpipitoisuudesta. Termistä ja nopeaa NO_x:ia ei sen sijaan synny merkittävästi johtuen suhteellisen alhaisista palamislämpötiloista.

Viimeisen viidentoista vuoden aikana on kehitetty vaiheistettuja palamistekniikoita typen oksidin vähentämiseksi. Tällaisia ovat polttoainevaiheistus ja ilmavaiheistus. Niillä on onnistuttu vähentämään biopoltosta aiheutuvia NO_x -päästöjä jopa 80 %. Päästöjä voidaan vähentää myös polttamalla biopolttoainetta yhdessä jonkun muun polttoaineen kanssa. [11; 14, s. 300–301.]

5.4.2 Rikin oksidit

Rikin oksideja ovat rikkidioksidi SO_2 sekä rikkiatrioksidi SO_3 . Niistä käytetään yhteistä nimitystä SO_x . Ne ovat haitallisia sekä ihmisille että ympäristölle. Kohonneet rikkioksidipitoisuudet aiheuttavat mm. hengityselinten sairauksia. Terveyshaittavaikutukset korostuvat suuren ilman hiukkaspitoisuuden omaavissa olosuhteissa. Rikin oksidien ja hiukkasten terveysvaikutuksia onkin usein mahdotonta erottaa toisistaan. Rikin oksidit aiheuttavat yhdessä typen oksidien kanssa niin kutsuttua haposadetta, joka on vahingollista elolliselle luonnolle. Rikin oksidit vaurioittavat myös materiaaleja mm. lisäämällä kipsimateriaalien rapautumista ja metallien korroosiota.

Rikin oksidit kulkeutuvat ilmavirtojen mukana muiden kaasumaisten ilmansaasteiden tapaan. Tällöin ne aiheuttavat haittaa hyvin laajalla alueella. Suurin osa poltossa vapautuvista rikin oksideista on rikkidioksidia. Rikkidioksidi hapettuu ilmakehässä rikkiatrioksidiksi, joten ympäristön kaukovaikutuksen kannalta ne ovat samanarvoisia.

Palamisessa vapautuvat rikkioksidipäästöt ovat peräisin polttoaineen rikistä. Koska puun rikkipitoisuus on hyvin alhainen, alle 0,05 %, eivät puun poltossa syntyvät rikkioksidipäästöt ole kovinkaan merkittäviä verrattuna esimerkiksi kivihiilestä aiheutuviin päästöihin. Biopolttoaineissa rikki esiintyy orgaanisessa muodossa kasvien ravintoaineissa. Biopolttoaineiden rikki on suurimmilta osin rikkidioksidia. Myös rikkioksidipäästöjä voidaan vähentää polttamalla biopolttoainetta yhdessä jonkun muun polttoaineen kanssa. [11; 14, s. 343–344.]

5.4.3 Hiilivedyt, dioksiinit ja furaanit

Suoraketjuiset hiilivedyt (C_xH_y) ovat eräs palamisolosuhteiden ja polttoaineen ominaisuuksien vaikutuksesta syntyvä päästökemiallinen komponentti. Niiden perustana on bentseenirengas (C_6H_6), ja niistä voi muodostua monirenkaisia aromaattisia yhdisteitä eli

polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH). Hiilivety-yhdisteet reagoivat muiden alkuaineiden kanssa, kuten kloori tai bromi. Tällöin voi muodostua klooribentseeniä ja -fenolia, tai bromifenolia. Klooribentseenit tai -fenolit saattavat kloorautua ja yhdistyä edelleen, jolloin lopulta muodostuu myrkyllisiä polykloorattuja dibentso(p)dioksiineja ja furaaneja (PCDD/F).

Osa PAH- ja PCDD/F-yhdisteistä on todettu karsinogeenisiksi ja osa tämän lisäksi mutageenisiksi. [14, s. 371–373.]

5.4.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ovat pääasiassa epätäydellisestä palamisesta johtuvia palamattomia ilmansaasteita. Ne koostuvat monenlaisista yksittäisistä aineista, mm. hiilivedyistä (alkaanit, alkeenit ja aromaattiset), halogeenihiilivedyistä (esim. trikloorietyleeni) ja hapettimista (alkoholit, aldehydit). Ne kaikki ovat orgaanisia yhdisteitä ja niin haihtuvia, että ne esiintyvät normaaliolosuhteissa ilmakehässä kaasuna. Useat haihtuvat orgaaniset yhdisteet aiheuttavat tai niiden epäillään aiheuttavan syöpää. Hiilivedyt osallistuvat myös toissijaisten ilmansaasteiden syntyyn kuten esimerkiksi alailmakehän otsoni, vähentää otsonia stratosfäärissä sekä välillisesti happamoittaa ilmakehää. Eteeni, yksi suurimmista VOC-komponenteista, on kasvihormoni, joka voi vakavasti vaurioittaa kasvien kasvua. [39]

6 Päästömääräykset

6.1 Yleisesti päästömääräyksistä

Suomessa ei tällä hetkellä ole asetettu lainvoimaisia päästörajoja alle 1 megawatin biolämpökattiloille. Kuitenkin Suomessa on voimassa viimeksi vuonna 2012 uudistettu standardi SFS EN 303-5, joka määrittää päästörajat kattiloille, joiden teho on alle 500 kW. Tämä standardi ei kuitenkaan ole lainvoimainen, joten sen määrittämiä rajoja voidaan pitää vain EU:n yhdessä sopimana ohjenuorana. Aiemmassa, vuonna 1999 päivitetystä standardista päästörajat olivat määritelty vain alle 300 kW tehoisille kattiloille, joten kehitystä sen suhteen voidaan sanoa tapahtuneen. Myös päästörajat ovat tästä vanhasta standardista tiukentuneet.

Huomattavaa standardissa on, että siinä ei ole määritetty typen oksideille minkäänlaisia päästörajaa, vaikka se on yksi merkittävimmistä päästöjen aiheuttajista puun poltossa [10]. Päästörajoja ei ole myöskään asetettu välille 500 kW – 1000 MW.

Kuvassa 13 on esitetty standardin SFS EN 303-5 esittämät päästörajat. Ne on jaoteltu polttoaineen syötön, käytettävän polttoaineen, kattilan nimellistehon sekä eri kattilaluokitusten mukaan. Kattilan tuottama päästömäärä määrittää sen luokituksen; mitä vähemmän päästöjä, sen korkeampi luokitus. Päästörajat on määritelty hiilimonoksidille (CO), orgaanisesti sitoutuneelle hiilelle (OGC) sekä kokonaispölylle (hiukkaset). [40]

Taulukko 4. Päästörajat hiilimonoksidille, organisesti sitoutuneelle hiilelle sekä hiukkasille [40].

SFS

EN 303-5:2012 (E)

Päästörajat

Polttoaineen syöttö	Polttoaine	Nimellis-teho kW	Päästörajat								
			CO			OGC			Hiukkasat		
			mg/m ³ at 10% O ₂ ^a								
			luokka 3	luokka 4	luokka 5	luokka 3	luokka 4	luokka 5	luokka 3 ^b	luokka 4	luokka 5
Manuaalinen	bio	≤ 50	5 000	1200	700	150	50	30	150	75	60
		> 50 ≤ 150	2 500			100			150		
		>150 ≤ 500	1 200			100			150		
	fossiilinen	≤ 50	5 000			150			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			100			125		
		>150 ≤ 500	1 200			100			125		
Automaattinen	bio	≤ 50	3 000	1000	500	100	30	20	150	60	40
		> 50 ≤ 150	2 500			80			150		
		>150 ≤ 500	1 200			80			150		
	fossiilinen	≤ 50	3 000			100			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			80			125		
		>150 ≤ 500	1 200			80			125		

Taulukossa olevat hiukkasten arvot perustuvat kokemuksiin gravimetrisen suodatinmenetelmän käytöstä. Käytetty testausmetodi tulee mainita testiraportissa. Mitattaessa pienhiukkaspäästöjä tämä eurooppalainen standardi ei sisällä lauhuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka saattavat muodostaa uusia hiukkasia, kun savukaasut sekoittuvat ilmaan. Tämän vuoksi arvot eivät ole suoraan verrattavissa laimennustunnelissa mitattuihin arvoihin. Niitä ei myöskään voi suoraan muuntaa ilmassa oleviin hiukkaspitoisuuksiin.

a) Tarkoitetaan kuivia poistuvia savukaasuja olosuhteissa 0 °C, 1013 mbar.

b) Luokan 3 kattiloiden, jotka käyttävät polttoaineenaan puutonta biomassaa kuten olkia, ruokoja ja jyviä tai muita kiinteitä polttoaineita, kuten turvetta ja polttoainelasteita, ei tarvitse täyttää hiukkasille asetettuja rajoja. Näiden todellinen arvo tulee olla merkittynä teknisissä asiakirjoissa, eikä se saa ylittää arvoa 200 mg/m³ O₂-pitoisuuden ollessa 10 %.

Itävallassa, joka on tekninen edelläkävijä biolämpökattiloiden valmistuksessa ja päästö määräyksissä, on määritelty omat tiukemmat määräykset lämpökattiloiden hyötysuhteelle sekä päästö määräyksille. Itävallassa päästöjen yksikkönä käytetään milligrammaa/megajoule (mg/MJ), kun taas muualla EU:ssa yksikkönä on milligrammaa/kuutiometri (mg/m³) O₂-pitoisuuden ollessa 10 %. Tämä johtuu erilaisista testausmenetelmistä. Sen vuoksi päästörajat eivät ole suoraan vertailukelpoiset keskenään. Itävallassa typen oksideille määritetty päästö raja puupohjaisille polttoaineille on 150 mg/MJ, joka vastaa suurin piirtein massapitoisuutta 230 mg/m³. Sen on kuitenkin määrä laskea arvoon 100 mg/MJ vuoden 2015 alusta lähtien kaikissa muissa kattiloissa paitsi huoneenlämmittimissä, joissa arvo pysyy 150:ssä. [40]

6.2 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidin päästörajat ovat viimeisimmän uudistuksen jälkeen biopolttoaineille seuraavanlaiset: Kattilaluokassa 3 tehon ollessa 50 kW tai alle, on raja manuaalisella polttoaineensyötöllä 5000 mg/m^3 ja automaattisyötöllä 3000 mg/m^3 . Tehon ollessa yli 50 kW – 150 kW, on raja molemmilla syötöillä 2500 mg/m^3 . Teholuokissa yli 150 kW – 500 kW raja on myös molemmille syötöille sama, 1200 mg/m^3 . Kattilaluokissa 4 ja 5 kattilan nimellisteholla ei ole päästörajoiden kannalta merkitystä, sillä ne ovat kaikille samat. Ainoastaan polttoaineen syöttötapa erottaa arvot toisistaan. Manuaalisyöttöisille kattiloille raja on kattilaluokassa 4 1200 mg/m^3 , kun taas automaattisyöttöisille kattiloille raja on 1000 mg/m^3 . Kattilaluokassa 5 taas raja on manuaalisyöttöisille kattiloille 700 mg/m^3 ja automaattisyöttöisille kattiloille 500 mg/m^3 . Kattilaluokassa 3 on huomattavaa, kuinka paljon päästörajat vaihtelevat eri teholuokkien välillä, kun taas muissa luokissa se pysyy samana tehosta riippumatta. Päästörajat ovat myös huomattavasti suuremmat, mitä pienitehoisimmista kattiloista on kyse. Tämä tosin johtuu siitä, että päästöjen hallinta menee sitä vaikeammaksi, mitä pienempitehoisimmista ja fyysisesti pienemmistä kattiloista on kyse. [40]

6.3 Hiukkaset

Hiukkasten kokonaispölylle on säädetty viimeisimmässä SFS EN 303-5-standardin päivityksessä seuraavanlaiset päästörajat nimellistehosta riippumatta: Kattilaluokassa 3 raja on sekä manuaali- että automaattisyöttöisille kattiloille 150 mg/m^3 . Kattilaluokassa 4 rajat ovat taas manuaalisyöttöisille kattiloille 75 mg/m^3 , kun taas automaattisille 60 mg/m^3 . Luokassa 5 manuaalisten raja on 60 mg/m^3 ja automaattisyöttöisten vastaavasti 40 mg/m^3 . [40]

7 CO- ja hiukkaspäästöjen hallinta

7.1 Hiukkaset

Uusimmissa hiukkasten vähentämistä tutkineissa tutkimuksissa selvisi, että puun poltossa hiukkaset muodostuvat lähinnä nukleaation, koagulaation ja kondensaation johdosta silloin, kun lämpötila laskee. Lisäksi nämä hiukkaset ovat lähes pelkästään suoloja ja koostuvat pääosin kaliumista. Kalium on suolana polttoaineissa, joilla on korkea sulamis- ja haihtumislämpötila. Jos korkeassa lämpötilassa on käytettävissä happea, suurin osa kaliumista voidaan hapettaa. Kaliumin oksideilla on huomattavasti matalammat haihtumislämpötilat kuin kaliumin suoloilla, ja ne haihtuvat myös lähes kokonaan mentäessä kaasufaasiin joka johtaa partikkelien muodostumiseen kaasufaasissa. [11]

Jos polttoaineetissä ei ole ollenkaan happea, kaliumin muutosta haihtuviin komponentteihin voidaan vähentää, koska suurin osa kaliumin suoloista voidaan muuntaa arinan tuhkakksi. Koska muilla tuhkan komponenteille polttoaineessa oletetaan olevan samanlainen tapa käyttäytyä, pidetään happipitoisuutta avainasemassa aerosolien muodostumisen kannalta kiinteän polttoaineen muutosvaiheessa. Tämän hypoteesin pohjalta tehtiin koelaitteisto alapalokattilan pohjalta, joka mahdollisti mahdollisimman pienen primääri-ilman käytön polttoaineetissä poltettaessa puuta arinalla. Tällaisissa käyttöolosuhteissa petin hehkun korkeus kasvaa merkittävästi, joten polttokammio täyttyy suunnitella sen mukaisesti. Lisäksi palaminen muuttuu epävakaaksi mentäessä alle tietyn primääri-ilmaylimäärän, joten tarvitaan tarkkaa palamisprosessin ohjausjärjestelmää. Laboratoriossa tehdyt tulokset osoittivat, että epäorgaanisten hiukkasten määrää on mahdollista saada 5 kertaa pienemmäksi. Tulokset ovat linjassa teorian kanssa, mutta myös muut tekijät saattavat vaikuttaa partikkelien muodostumiseen. [11]

Koska polttoaineen koostumus on tärkein tekijä aerosolien muodostumisen kannalta, tulee jatkossa kuitenkin kiinnittää huomiota toissijaisiin toimenpiteisiin päästöjen vähentämiseksi. Näiden toimenpiteiden joukossa kangassuodattimet ovat olleet lupauksia herättäviä niiden korkean suodatettavuuskykynsä vuoksi, kun taas sähkösuodattimet ovat toiminnaltaan vakaampia, mutta hankalampia toteuttaa käytännön sovellusten kannalta muun muassa niiden suuren koon takia. Puhdistimia kehitettäessä on myös

useita haasteita, sillä niiden pitäisi olla edullisia, helposti huollettavia tai vaihdettavia, rakenteellisesti yksinkertaisia sekä eritoten toimintavarmoja. [11; 38]

Palamisesta muodostuvia päästöjä voidaan myös vähentää automaattisilla palamisen-seurantajärjestelmillä, jotka optimoivat kattilan toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla, jolloin palaminen olisi mahdollisimman puhdasta. Polttotekniikoiden ja olosuhteiden kehittäminen onkin ensisijaisen tärkeää mahdollisimman täydellisen palamisen kannalta. [11]

7.2 Häkä

Häkäpäästöjä voidaan puun poltossa pienentää mahdollisimman täydellisellä palamisella sekä käyttämällä oikein säädettyjä ilmansuodattimia. Myös kaksivaiheisella poltolla saadaan pienennettyä häkäpäästöjä. Täydelliseen palamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa polttokammion rakenne, lämpötila tulipesässä, viipymäaika, oikea ilmakerroin, polttoaineen palakoko sekä polttoaineen kosteusprosentti [37]. Ilmakerrointa kasvattamalla saadaan häkäpäästöjä pienemmiksi, mutta toisaalta se myös lisää kattilan läpi virtaavaa ilmavirtaa joka ei osallistu palamisreaktioon. Näin ollen se myös kasvattaa kattilan savukaasuhäviöitä [36, s. 91]. Kaksivaiheisessa palamisessa primääri-ilma syötetään polttoainepetiin ja sekundääri-ilma tulipesään. Tämä mahdollistaa palamisilman ja polttoaineesta haihtuvien palavien kaasujen hyvän sekoittumisen. Jos sekoittuminen on tarpeeksi hyvää, voidaan käyttää pientä ilmakerrointa ($< 1,5$), joka mahdollistaa korkean lämpötilan sekä hyötysuhteen. Hyvällä sekoittumisella voidaan palamattomien epäpuhtauksien pitoisuus vähentää lähes olemattomiksi, esimerkiksi häkäpitoisuus saadaan pienemmäksi kuin 50 mg/m^3 O_2 -pitoisuudella 11 %. Käytännössä tämä vaatii kuitenkin tarkat palonhallintajärjestelmät joko häkä ja lambda- tai häkä ja lämpötilasensoreilla, jotta taataan optimaalinen ilmakerroin. [11]

8 Kyselytutkimus

Kyselytutkimuksen tarkoituksen oli selvittää, miten kotimaiset biokattilavalmistajat suhtautuvat nykyiseen SFS-EN 303-5-standardiin ja sen päästömääräyksiin, ja millä keinoin heidän kattiloistaan tulisi entistä vähäpäästöisempiä.

8.1 Tutkimusmenetelmä

Kysely suoritettiin ottamalla yhteyttä 15 kotimaiseen biokattiloiden valmistajaan ensin puhelimitse, ja tämän jälkeen heille lähetettiin sähköpostitse linkki e-lomakkeeseen. Lomake koostui kolmesta eri osiosta, taustasta, teknisestä osasta ja kommenttiosiesta. Taustaosassa kysyttiin yleistä tietoa vastaajan yrityksestä, teknisessä osassa kyseltiin kattiloiden päästöistä ja SFS-EN 303-5-standardista, ja kommenttiosioon sai vapaasti kommentoida oman mielipiteensä kyselystä ja nykyisistä määräyksistä. Taustaosassa kysymyksiä oli yhteensä viisi, joista kahteen vastaaminen oli vapaaehtoista. Teknisessä osassa kysymyksiä oli yhdeksän. Kyselylomakkeen alkuun oli lisäksi liitetty SFS-EN 303-5-standardin mukaiset päästömääräykset.

8.2 Tulokset

Kyselyyn pyydetyistä viidestätoista yrityksestä kuusi vastasi kyselyyn, jolloin vastausprosentiksi muodostui 40. Yrityksien koot ja valmistamat kattilat vaihtelivat pienimmistä suurimpiin. Osa niistä valmisti vain yhtä kattilaa. Kaikki yritykset eivät myöskään valmistaneet pelkästään lämmityskattiloita, vaan niillä on muutakin liiketoimintaa, esimerkiksi hitsaus- ja koneenrakennustoimintaa. Tuloksissa ei julkaista vastaajien tai yritysten nimiä.

8.2.1 Taustaosa

1. Mikä on yrityksenne liikevaihto?

Vastanneiden yritysten liikevaihto vaihteli 700 000 eurosta aina noin 15 miljoonaan euroon asti ja keskiarvo oli reilut 4 miljoonaa euroa.

4. Millä välillä kattiloidenne tehot ovat?

Tutkimukseen vastanneiden yritysten kattiloiden tehot vaihtelivat 60 kilowatista jopa 7 megawattiin. Viisi kuudesta yrityksestä valmisti myös yhtä megawattia tehokkaampia kattiloita.

5. Mitä polttoaineita kattilanne käyttävät?

Kaikkien yritysten kattiloilla voitiin polttoaineena käyttää puupellettejä sekä haketta, minkä lisäksi myös klapien ja muiden puupohjaisten polttoaineiden poltto oli lähes kaikissa mahdollista. Myös viljaa ja peltobiomassa oli erikseen mainittu kolmessa vastauksessa. Yhdessä vastattiin, että kattilassa voidaan käyttää kaikkia kiinteitä polttoaineita, ja eräässä luki, että ilman stokeri-syötintä sillä voidaan polttaa kaikkea, mikä palaa. Yhden yrityksen kattiloilla voitiin polttaa myös öljyä, mutta nämä eivät kuuluneet tutkimukseen.

8.2.2 Tekninen osa

Tekninen: 1. Tulisiko SFS-EN 303-5 asettaa lainvoimaiseksi?

Kysyttäessä standardin SFS-EN 303-5 asettamisesta lainvoimaiseksi jakautuivat mielipiteet kahtia. Kolme yritystä kannatti standardin lainvoimaiseksi asettamista, kun taas kahden yrityksen mielestä siihen ei ole tarvetta. Yhdessä vastauksessa sen asettamista lainvoimaiseksi puollettiin soveltuvin osin, kumminkaan sen enempää tarkentamatta vastausta.

Tekninen: 2. Jos kyllä, niin millaisella aikataululla tähän tulisi siirtyä?

Standardin SFS-EN 303-5:n lainvoimaiseksi asettamisen aikataulu hajautti paljon vastauksia. Yksi vastaaja toivoi lainvoimaisuuden asettamista mahdollisimman pian. Toisessa sitä ehdotettiin vuoden 2014 alusta lähtien, yhdessä vuodeksi 2015. Yksi vastaaja halusi standardille lainvoimaisuuden vasta vuodeksi 2025.

Tekninen: 3. Oletteko testauttaneet kattiloitanne jollain taholla?

Kysymykseen kattiloiden testaamisesta jollakin erillisellä taholla vastaukset olivat yhdenmukaiset, sillä jokainen vastannut yritys oli näin tehnyt. Yksi yritys mainitsi testanneensa kattiloita VTT:llä; muut eivät erikseen tahoa olleet maininneet.

Tekninen: 4. Onko kattiloillanne jokin ympäristösertifikaatti?

Kattiloiden ympäristösertifikaatista kysyttäessä vastaukset olivat myös yhtenäiset yritysten välillä, sillä yhdelläkään vastanneella yrityksellä ei ollut kattiloilleen minkäänlaisia ympäristösertifikaatteja. Eräs yritys tosin vastasi sillä olevan tuotannolleen ISO 14 001 -sertifikaatti, mutta ei erikseen kattiloille.

Tekninen: 5. Täyttävätkö kattilanne standardin SFS-EN 303-5 mukaiset päästörajat?

Vastanneista yrityksistä puolien eli kolmen kattilat täyttivät kaikilta osin standardin SFS-EN 303-5 mukaiset päästörajat, kun taas toisen puoliskon kattilat eivät näin tehneet.

Tekninen: 6. Täyttävätkö kattilanne joltain osin standardin SFS-EN 303-5 mukaiset päästörajat?

Loppujen kolmen yrityksen, joiden kattilat eivät täysin täyttäneet standardin SFS-EN 303-5 mukaisia päästömääräyksiä, täyttivät määräykset kuitenkin joltain osin.

Tekninen: 7. Millä teknisillä ratkaisuilla aiotte päästä standardin SFS-EN 303-5 mukaisiin päästörajoihin?

Kysyttäessä teknisistä ratkaisuista, joilla päästäisiin standardin SFS-EN 303-5 mukaisiin päästörajoihin, saatiin hieman toisistaan poikkeavia vastauksia. Kaksi yritystä vastasi kiinnittävänsä huomiota palamisen olosuhteisiin ja hallintaan, yksi vastasi multisyklonin ja suodattimen avulla. Eräs yritys vastasi panostavansa jatkuvaan tuotekehitykseen ja testaustoimintaan. Kaksi yritystä, joiden kattilat täyttivät jo päästömääräykset, eivät vastanneet tähän ollenkaan.

Tekninen: 8. Tulisiko myös teholuokille 500 kW - 1 MW asettaa päästörajat?

Vain yksi yritys oli päästörajoiden asettamista välille 500 kW – 1 MW vastaan. Kaikki muut viisi vastannutta olivat taas niiden asettamisen kannalla.

Tekninen: 9. Pitäisikö myös typen oksideille määrittää päästöraja alle 1 MW kattiloille?

Päästörajan asettamista myös typen oksideille kannatti suoraan kaksi vastannutta. Yksi kannatti sitä kaikille kuiville polttoaineille, ja yksi siinä tapauksessa, että siitä on ympäristön kannalta hyötyä. Yksi ei kannattanut ollenkaan ja yksi vastasi, että ei tässä kokoluokassa, mutta mahdollisesti myöhemmin.

8.2.3 Vapaat kommentit

Vapaisiin kommentteihin oli kommentoitu ongelman olevan valvonnan, vastaanottotarkastusten ja vastaanottomenetelmien puutteissa sekä heikossa kustannustehokkuudessa. Lisäksi lakisääteisyys ei uskottu poistavan ongelmia. Huolissaan oltiin myös siitä, että päästörajoiden kiristäminen nostaa laitteiden hintaa ainakin tuotekehityksen osalta, ja kysyttiin, ovatko markkinat valmiita maksamaan laitteista enemmän. Eräs yritys kertoi myös valmistavansa tuubikattiloita niiden paremman hyötysuhteen ja helpomman normienmukaisen rakentamisen vuoksi. He myös uskoivat niiden yleistyvän tulevaisuudessa.

9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tutkia kotimaisten alle 1 MW:n biolämpökattiloiden valmistajien suhtautumista nykyisiin EU-päästömääräyksiin. Lisäksi myös selvitettiin, millaisia nykyiset kotimaiset kattilat ovat ympäristön kannalta tekniseltä tasoltaan sekä miten valmistajat tulevaisuudessa vähentäisivät kattiloidensa päästöjä. Tavoitteena oli myös esitellä biopolttoon liittyvää teoriaa, kuten esimerkiksi tekniikkaa, polttoaineita ja nykyiset päästömääräykset.

Tutkimustuloksista on vaikea vetää tarkkoja johtopäätöksiä, koska tutkimukseen ei tullut riittävästi vastauksia. Kyselytutkimukseen tulleista vastauksista voi silti tehdä joitakin päätelmiä, kuten esimerkiksi sen, että kaikki eivät halua EU-päästömääräyksiä lainvoimaisiksi. Toisaalta positiivista oli huomata kaikkien vastanneiden testauttaneen kattilansa jollain taholla. Ympäristösertifikaattien puute taas vahvistaa sitä käsitystä, että Keski-Euroopassa ollaan näissä asioissa edelleen Suomea edellä. Kattiloiden päästöjen hallintaan ja niiden vähentämiseen vaikuttavat tekijät ovat linjassa teoriaosuudessa käsiteltyjen asioiden kanssa.

Tutkimuksesta voidaan myös päätellä, että kyseessä on vielä toistaiseksi Suomessa melko pienestä alasta. Bioenergian käyttö on kuitenkin Suomen kaltaisessa kylmässä maassa, jossa on paljon metsää, hyvinkin järkevää ympäristön näkökulmasta. Polttoaineen raaka-aine saadaan tuotettua kotimaassa, ja päästöt ovat pienemmät kuin fossiililla polttoaineilla. Tosin myös etenkin hiukkaspäästöjen vähentämiseen tulisi tulevaisuudessa kiinnittää huomiota.

Lähteet

- 1 Ylitalo, Esa. 2012. Metsätilastotiedote. Verkkodokumentti. Metsäntutkimuslaitos. <<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/mtt/2012/puupolttoaine2011.pdf>> Päivitetty 25.4.2012. Luettu 18.9.2013.
- 2 Asumisen energiankulutuksesta yli 80 prosenttia kului lämmitykseen vuosina 2008–2011. 2012. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <http://tilastokeskus.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_tie_001_fi.html> Päivitetty 16.11.2012. Luettu 18.9.2013.
- 3 Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2011, GWh. 2011. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <http://tilastokeskus.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_tau_002_fi.html> Päivitetty 16.11.2012. Luettu 18.9.2013.
- 4 Pellettienergia. 2013. Verkkodokumentti. Bioenergia Ry. <<http://www.pellettienergia.fi/Etusivu>> Päivitetty 9.9.2013 Luettu 29.1.2013.
- 5 Laatikainen, Tuula. 2008. Öljy loppuu vuonna 2050. Verkkodokumentti. Tekniikka & Talous. <<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article198962.ece>> Päivitetty 19.12.2008. Luettu 4.11.2013.
- 6 Puun määrä metsissä kasvaa. 2013. Verkkodokumentti. Suomen Metsäyhdistys. <<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/allbyid/BE3C5576C911F822C2256F3100418AFD>> Päivitetty 2.1.2013. Luettu 18.9.2013.
- 7 Bioenergia. 2013. Verkkodokumentti. Tekes. <http://www.bioteknologia.info/etusivu/ymparisto/Biomassa/fi_FI/Bioenergia/> Luettu 18.9.2013.
- 8 Kasvillisuuden ja ilmakehän vuorovaikutukset. 2008. Verkkodokumentti. Helsingin Yliopisto. <<http://www.hiukkastieto.fi/node/138>> Luettu 4.11.2013.
- 9 Hiukkasten vaikutus ympäristöön. 2008. Verkkodokumentti. Helsingin Yliopisto. <<http://www.hiukkastieto.fi/node/24>> Luettu 21.8.2013.
- 10 Häkä. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöhallinto. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1353>> Luettu 15.8.2013.
- 11 Nussbaumer, Thomas. 2008. Biomass combustion in Europe: Overview on technologies and regulations. Verkkodokumentti. Nyserda. <<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nyserda.ny.gov%2FPublications%2FResearch-and-Develop->>

ment%2F~%2Fmedia%2FFiles%2FPublications%2FResearch%2FBiomass%2520Solar%2520Wind%2F08-03_Biomass-Combustion-in-Euro-pe.ashx&ei=WgpDUsSZM7Sv4QTbnoDoAg&usg=AFQjCNEMqXIHBIhbqD_kvK1oM9mYuLYQ> Päivitetty 2.1.2013. Luettu 5.2.2013.

- 12 Mustajoki, Pertti. 2012. Häkämyrkytys. Verkkodokumentti. Duodecim. <http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00759> Päivitetty 22.10.2012. Luettu 21.8.2013.
- 13 Polttotekniikka kiinteille polttoaineille. 2012. Verkkodokumentti. Bioenergian verkkopalvelu. <http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/> Päivitetty 28.6.2012. Luettu 26.2.2013.
- 14 Raiko, Risto; Saastamoinen, Jaakko; Hupa, Mikko & Kurki-Suonio, Ilmari. 2002. Poltto ja Palaminen. Jyväskylä: Gummerus.
- 15 Pellettikattilan rakenne. 2012. Verkkodokumentti. Agrienergia. <http://www.gilles.fi/pellettilammitys/pellettilammitys_rakenne> Luettu 29.1.2013.
- 16 Käänteispalokattila. 2012. Verkkodokumentti. Bioenergian verkkopalvelu. <http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/keskuslammituskattilat/kaantaispalokattila/> Päivitetty 28.6.2012. Luettu 26.2.2013.
- 17 Stokeripoltin. 2012. Verkkodokumentti. Bioenergian verkkopalvelu. <http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/keskuslammituskattilat/stokeripoltin/> Päivitetty 28.6.2012. Luettu 26.2.2013.
- 18 Etupesäpoltin. 2012. Verkkodokumentti. Bioenergian verkkopalvelu. <http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/keskuslammituskattilat/etupesapoltin/> Päivitetty 28.6.2012. Luettu 26.2.2013.
- 19 Kaksoispesäkattila. 2012. Verkkodokumentti. Bioenergian verkkopalvelu. <http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/keskuslammituskattilat/kaksoispesakattila/> Päivitetty 28.6.2012. Luettu 26.2.2013.
- 20 Kiinteistö- ja pientalokattilat. 2013. Verkkodokumentti. Tukes. <<http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Selkokieliset-kuluttajasivut/Koti-ja-kodintekniikka/Kiinteisto-ja-pientalokattilat/>> Päivitetty 1.2.2013 Luettu 23.9.2013.

- 21 Vapon puupelletti – ominaisuudet ja laatukriteerit. 2012. Verkkodokumentti. Vapo Oy. <http://www.vapo.fi/filebank/1268-Vapon_puupelletti_-_Ominaisuudet_ja_laaturkriteerit.pdf> Päivitetty 24.5.2012. Luettu 29.1.2013.
- 22 Verso HOTTI-Lämmityspelletti. 2009. Verkkodokumentti. Versowood Group. <http://www.versowood.fi/easydata/customers/versowood/files/tuotekortit/HOTTI_lammityspelletti.pdf> Päivitetty 16.6.2009. Luettu 29.1.2013.
- 23 Pelletin tuotanto. 2009. Verkkodokumentti. Bioenergia Ry. <<http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>> Luettu 29.1.2013.
- 24 Pellettituhka. 2009. Verkkodokumentti. Bioenergia Ry. <http://www.pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=84&Itemid=102> Päivitetty 18.8.2009. Luettu 29.1.2013.
- 25 Pellets for small scale domestic heating systems. 2007. Verkkodokumentti. Ae-biom. <http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/file/Publications/Pellets_small_scale_heat.pdf> Päivitetty 3.5.2007. Luettu 5.2.2013.
- 26 Tuohiniitty, Hannes. 2010. Pelletti on modernia puulämmitystä. Verkkodokumentti. Pellettienergiayhdistys Ry. <<http://www.ilmankos.fi/uploads/ilmankos27-10-2010.pdf>> Päivitetty 28.10.2010. Luettu 9.9.2013.
- 27 Jussila, Noora. 2010. Maailman suurin pellettitehdas nousee Venäjälle. Verkkodokumentti. Vihreä Lanka. <<http://www.vihrealanka.fi/uutiset/maailman-suurin-pellettitehdas-nousee-ven%C3%A4j%C3%A4lle>> Päivitetty 1.4.2010 Luettu 23.9.2013.
- 28 Ylitalo, Esa. 2007. Puun energiakäyttö 2006. Verkkodokumentti. Metsäntutkimuslaitos. <<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/mtt/2007/puupolttoaine2006.pdf>> Päivitetty 7.5.2008. Luettu 2.4.2013.
- 29 Puu. 2006. Verkkodokumentti. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus. <<http://www.puulakeus.net/111.html>> Luettu 5.2.2013.
- 30 Tuoteluettelo. 2011. Verkkodokumentti. Imexwood. <http://www.imexwood.fi/tuotteet/images/tuote_hake.jpg> Luettu 23.9.2013.
- 31 Puun energiakäyttö. 2003. Verkkodokumentti. Metsäntutkimuslaitos. <<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/laatu/puupolttoaine.htm>> Päivitetty 17.4.2013. Luettu 2.4.2013.
- 32 Mitä Biohiili on?. 2013. Verkkodokumentti. BalBic. <http://www.balbic.eu/fi/mita_biohiili_on/fi_FI/mita_biohiili_on/> Luettu 25.9.2013.

- 33 Biohiili korvaamaan lähivuosina kivihiiltä. 2012. Verkkodokumentti. The Voice of Energy. <<http://www.voiceofenergy.teknologiaforum.com/?p=112>> Päivitetty 19.12.2012 Luettu 25.9.2013.
- 34 Happonen, Kiira. 2012. Selvitys biohiilen elinkaaresta. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. <http://energia.fi/sites/default/files/images/lu_happonen_biohiielinkaari_happonen_12012012.pdf> Päivitetty 12.1.2012 Luettu 8.10.2013.
- 35 Hiukkasten koko ja muoto. 2008. Verkkodokumentti. Helsingin Yliopisto. <<http://www.hiukkastieto.fi/node/22>> Luettu 21.8.2013.
- 36 Huhtinen, Markku; Kettunen, Arto; Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita.
- 37 Beauchemin, Paul A. & Tampier, Martin. 2008. Emissions from Wood-Fired Combustion Equipment. Verkkodokumentti. Envirochem Services Inc. <http://www.env.gov.bc.ca/epd/industrial/pulp_paper_lumber/pdf/emissions_report_08.pdf> Päivitetty 11.7.2008. Luettu 3.6.2013.
- 38 Puun pienpolton päästö- ja toksisuuskanta. 2011. Verkkodokumentti. Itä-Suomen Yliopisto. <http://wanda.uef.fi/pupo/info.html#_Toc295396726> Päivitetty 17.6.2011. Luettu 2.4.2013.
- 39 Facts on Pollutants: Volatile Organic Compounds (VOCs). 2011. Verkkodokumentti. United Nations Environment Programme. <<http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit/pollutants/vocs.html>> Päivitetty 17.3.2011. Luettu 4.11.2013.
- 40 SFS-EN 303-5. Lämmityskattilat. 2012. Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW - Terminology, requirements, testing and marking. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Kyselylomake

Tässä liitteessä on kuvakaappaus työssä käytetystä kyselylomakkeesta. Ensimmäisessä kuvassa on standardin SFS-EN 303-5 mukaiset päästörajat ja toisessa itse kysymykset.



Alle 1 MW biolämpökattiloiden päästöt

Tässä haastattelussa kysytään mielipidettänne kotimaassa valmistettujen alle 1 MW tehoisten biolämpökattiloiden päästömääräyksistä.
Ennen kyselyyn vastaamista on syytä perehtyä standardin EN 303-5 mukaisiin päästömääräyksiin, jotka ovat ohessa. Viimeinen kysymys koskee typen oksideja, joille ei ole tällä hetkellä asetettu päästörajaa muualla kuin Itävallassa. Siellä päästörajat ilmoitetaan milligrammoina syötettyä energiayksikköä kohden. Tämä ei ole suoraan vertailukelpoinen standardissa EN 303-5 esitettyjen pitoisuusyksiköiden kanssa. Typen oksideille raja on Itävallassa tällä hetkellä polttoaineille 150 mg/MJ, joka vastaa suurin piirtein massapitoisuutta 230 mg/M³. Vuoden 2015 alusta sen rajaksi tulee 100 mg/MJ.

SFS

EN 303-5:2012 (E)

Päästörajat

Polttoaineen syöttö	Polttoaine	Nimellis-teho kW	Päästörajat								
			CO			OGC			Hiukkaset		
			mg/m ³ at 10% O ₂ ^a								
			luokka 3	luokka 4	luokka 5	luokka 3	luokka 4	luokka 5	luokka 3 ^b	luokka 4	luokka 5
Manuaalinen	bio	≤ 50	5 000	1200	700	150	50	30	150	75	60
		> 50 ≤ 150	2 500			100			150		
		>150 ≤ 500	1 200			100			150		
	fossiilinen	≤ 50	5 000			150			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			100			125		
		>150 ≤ 500	1 200			100			125		
Automaattinen	bio	≤ 50	3 000	1000	500	100	30	20	150	60	40
		> 50 ≤ 150	2 500			80			150		
		>150 ≤ 500	1 200			80			150		
	fossiilinen	≤ 50	3 000			100			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			80			125		
		>150 ≤ 500	1 200			80			125		

Taulukossa olevat hiukkasten arvot perustuvat kokemuksiin gravimetrisen suodatinmenetelmän käytöstä. Käytetty testausmetodi tulee mainita testiraportissa. Mitattaessa pienhiukkaspäästöjä tämä eurooppalainen standardi ei sisällä lauhtuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka saattavat muodostaa uusia hiukkasia, kun savukaasut sekoittuvat ilmaan. Tämän vuoksi arvot eivät ole suoraan verrattavissa laimennustunnelissa mitattuihin arvoihin. Niitä ei myöskään voi suoraan muuntaa ilmassa oleviin hiukkaspitoisuuksiin.

a) Tarkoitetaan kuivia poistuvia savukaasuja olosuhteissa 0 °C, 1013 mbar.

b) Luokan 3 kattiloiden, jotka käyttävät polttoaineenaan puutonta biomassaa kuten olkai, ruokoja ja jyviä tai muita kiinteitä polttoaineita, kuten turvetta ja polttoainelasteita, ei tarvitse täyttää hiukkasille asetettuja rajoja. Näiden todellinen arvo tulee olla merkittynä teknisissä asiakirjoissa, eikä se saa ylittää arvoa 200 mg/m³ O₂-pitoisuuden ollessa 10%.

Tausta

Taustakysymykset	Vastaus
Mikä on yrityksenne liikevaihto?	<input type="text"/>
Vastaajan yritys (vapaaehtoinen)	<input type="text"/>
Vastaajan nimi (vapaaehtoinen)	<input type="text"/>
Millä välillä kattiloidenne tehot ovat?	<input type="text"/>
Mitä polttoaineita kattilanne käyttävät?	<input type="text"/>

Tekninen

Tekniset kysymykset	Vastaus
1. Tulisiko SFS-EN 303-5 asettaa lainvoimaiseksi?	<input type="text"/>
2. Jos kyllä, niin millaisella aikataululla tähän tulisi siirtyä?	<input type="text"/>
3. Oletteko testaattaneet kattiloitanne jollain taholla?	<input type="text"/>
4. Onko kattiloillane jokin ympäristösertifikaatti?	<input type="text"/>
5. Täyttävätkö kattilanne standardin SFS-EN 303-5 mukaiset päästörajat?	<input type="text"/>
6. Täyttävätkö kattilanne joltain osin standardin SFS-EN 303-5 mukaiset päästörajat?	<input type="text"/>
7. Millä teknisillä ratkaisuilla aiotte päästä standardin SFS-EN 303-5 mukaisiin päästörajoihin?	<input type="text"/>
8. Tulisiko myös teholuokille 500 kW - 1 MW asettaa päästörajat?	<input type="text"/>
9. Pitäisikö myös typen oksidille määrittää päästöraja alle 1 MW kattiloille?	<input type="text"/>

Kommentit

Tähän kenttään voitte vapaasti kommentoida kyselyä

Tietojen lähetykset

Kiitos vastauksista!