

Kauran kuoren poltto biolämpölaitoksessa

Polttoaineen vaikutus prosessiin

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Ympäristötekniikka

2021

Roosa Ronnila

Tiivistelmä

Tekijä(t) Ronnila, Roosa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 32	Valmistumisaika Syksy 2021
Työn nimi Kauran kuoren poltto biolämpölaitoksessa Polttoaineen vaikutus prosessiin		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Eetu Loikkanen, käyttö- ja kunnossapitopäällikkö Lahti Energia Oy Pekka Vahtera, projekti-insinööri Lahti Energia Oy		
Tiivistelmä <p>Työn toimeksiantajana toimii Lahti Energia Oy ja tarkoituksena on perehtyä kauran kuoreen polttoaineena. Polttoaine on kemiallisesti käsitelty, ja sitä ei ole aikaisemmin poltettu. Tarkoituksena on oleellisten pohjatietojen ja haastattelujen kautta saada käsitys kauran kuoren ongelmista polttoprosessissa, etenkin sen kosteuden vaikutuksesta prosessiin.</p> <p>Opinnäytetyön teoriassa perehdyttiin lainsäädäntöön, biopolttoaineisiin ja niiden polttotekniikoihin ja tarkasteltiin aikaisempia kauran kuoren poltosta tehtyjä tutkimuksia. Työssä perehdyttiin Lahti Energian biolämpölaitoksen teknisiin tietoihin ja kauran kuoreen polttoaineena. Työn lopussa koottiin yhteen polttoaineen ongelmakohdat ja pyrittiin selvittämään ratkaisut ongelmiin.</p> <p>Tulokseksi saatiin erilaisia ratkaisuehdotuksia laitoksen haasteisiin. Lisäksi pohdittiin tulevaisuuden näkökulmasta mitä asioita täytyy vielä tutkia enemmän ja todettiin, ettei näin alkuvaiheessa kaikkia ongelmakohtia voi vielä tietää tai ratkaista.</p>		
Asiasanat kauran kuori, polttoprosessi, biolämpölaitos		

Abstract

Author(s) Ronnila, Roosa	Type of Publication Thesis, UAS	Published Fall 2021
	Number of Pages 32	
Title of Publication Oat hull's burning in biomass heating plant fuel's impact on process		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Eetu Loikkanen, operation and maintenance director, Lahti Energia Oy Pekka Vahtera, project engineer, Lahti Energia Oy		
Abstract <p>This thesis was commissioned by Lahti Energia Oy. The purpose was to investigate oat hull as a fuel. This fuel is a new experiment, and it is processed chemically. The purpose is to get a perception about oat hull's problems in burning process, especially oat hull's dampness' impact on process.</p> <p>The theoretical part of this thesis focused on Lahti Energia's biomass plant, biofuels, burning techniques, legislation, and previous studies about oat hull's burning. At the end of the thesis, Lahti Energia's oat hull- fuel's problems were aggregated and solved.</p> <p>As a result of this thesis different solutions were investigated and noticed that in this beginning all the solutions cannot be found and there will be more to investigate in the future.</p>		
Keywords oat hull, burning process, biomass plant		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Työn tausta ja rakenne.....	2
2.1	Lahti Energia Oy ja Fazer Oy	2
2.2	Fazerin ksylitolitehdas ja Lahti Energian biolaitos	2
3	Kauran kuori polttoaineena	4
3.1	RED2-direktiivi	4
3.2	Peltokasvit.....	4
3.3	Polttoaineanalyysi.....	6
3.4	Biopolttoaineiden polttotekniikka	7
3.5	Tuhkan sulamiskäyttäytyminen	8
3.6	Aikaisemmat tutkimukset.....	9
4	Lainsäädäntö.....	12
4.1	IE-direktiivi.....	12
4.2	Painelaitedirektiivi	12
4.3	Standardi EN 12953 ja CE-merkintä	13
4.4	ATEX.....	13
5	Lahti Energian biolämpölaitos.....	14
5.1	Lämpölaitos.....	14
5.2	Lämpökattila.....	14
5.3	Kaukolämpö	16
5.4	Polttoaine ja sen syöttö.....	18
5.5	Kattila ja etupesä	20
5.6	Tuhkan poistojärjestelmä.....	22
6	Työn tulokset.....	24
6.1	Haasteet polttoprosessissa.....	24
6.2	Ratkaisuvaihtoehdot	25
7	Tulosten pohdintaa.....	27
8	Yhteenveto	28
	Lähteet.....	30

Liitteet

Liite 1. Polttoaineanalyysi

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Lahti Energian omistamaan uuteen biolämpölaitokseen, joka käyttää polttoaineenaan Fazerin ksylitolitehtaalta tulevaa kauran kuorta. Tavoitteena on tutkia kauran kuorta polttoaineena ja sen käyttäytymistä prosessissa. Koska kauran kuoren kosteus on yksi merkittävimmistä polttoaineen palamiseen liittyvistä tekijöistä, perehdytään siihen tässä opinnäytetyössä. Uusi laitos ja kauran kuori polttoaineena tuottavat mahdollisia haasteita, ja niitä pyritään ratkaisemaan.

Fazerin ja Lahti Energian yhteistyö juontaa juurensa jo vuodesta 1995, sillä Lahti Energia on toiminut siitä asti Fazerin energiapalvelukumppanina. Tehtaiden energia on aiemmin tuotettu kaukolämmöllä ja maakaasulla, ja kaasua käytetään jatkossa ainoastaan vara- ja huippukapasiteettina. (Lahti Energia 2019.) Vuonna 2019 Fazer aloitti uuden ksylitolitehtaan rakentamisen Lahdessa sijaitsevan kauramyllyn viereen. Tehtaan rakentaminen vaati yritykseltä 50 miljoonan euron investoinnin. Tehtaassa käytetään kauramylllyltä tulevia sivuvirtoja ja niistä valmistetaan ksylitolia patentoitua teknologiaa käyttäen. (FazerGroup 2019,5.) Fazerin ksylitolitehtaan tuotannon sivujakeesta syntyy viljapohjaista biomassaa, jota käytetään polttoaineena biolämpölaitoksessa. Biolämpölaitos tuottaa teollisuushöyryä ja kaukolämpöä Fazerin tuotantolaitoksille ja pystyy myös jäähdyttämään tehdasalueen kiinteistöjä tuotetulla höyryllä absorptioteknologiaa käyttäen. Biolämpölaitos tuottaa kaiken kaikkiaan energiaa Fazerin myllyn, leipomon, hapankorpputehtaan sekä ksylitolitehtaan tarpeisiin. (Lahti Energia 2019.) Fazer harjoittaa kiertotaloutta hyödyntäessään kauran raaka-aineena alusta loppuun. Fazer ostaa Lahti Energian palvelun energiapalvelusopimuksella ja laitos jää Lahti Energian omaksi ja valvottavaksi. Yhteistyötä tehdään myös Suomen Teollisuuden Energiapalvelut STEP Oy:n kanssa. (Lahti Energia 2019.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kauran kuorta polttoaineena ja sen vaikutusta polttoprosessiin. Opinnäytetyössä käydään läpi pääpiirteittäin olennaisia osia prosessista, kuten polttoaineensyöttöä ja laitoksen teknisiä tietoja. Lisäksi opinnäytetyössä kerätään dataa eri lähteistä ja tutkitaan aikaisempia kauran kuoren poltosta tehtyjä tutkimuksia. Tutkimusmenetelminä toimii olemassa olevan ja uuden datan analysointi, laitoksen tuntevien työntekijöiden haastattelut ja näiden perusteella tehdyt johtopäätökset, sekä tutkimustulokset. Opinnäytetyössä paneudutaan kerrottuihin laitoksen ongelmakohtiin ja selvitetään ratkaisuja haasteisiin.

2 Työn tausta ja rakenne

2.1 Lahti Energia Oy ja Fazer Oy

Kaupungin omistuksessa oleva Lahtelaisten oma energiayhtiö Lahti Energia Oy tuottaa sähköä ja kaukolämpöä käyttäen paikallisia kierrätys- ja biopolttoaineita ja luo taloyhtiöille ja yrityksille energiaratkaisuja. Kaukolämpö tuotetaan kahden voimalaitoksen avulla sekä pitkin jakeluverkkoa sijaitsevien pienvoimaloiden avulla. Tuulivoimaa, ydinvoimaa ja vesi-voimaa yritys saa osuusvoimayhtiöistä. Lahti Energia on avaintekijä, kun puhutaan Lahden paikallisesta kiertotaloudesta. Kaukolämmöstä 95 % on tuotettu kierrätyspolttoaineilla tai uusiutuvilla polttoaineilla. Sähkö on päästötöntä lähes 90 prosenttisesti. Lahti valittiin vuoden 2021 Euroopan ympäristöpääkaupungiksi muun muassa Lahti Energian tekemien ilmastotekojen takia. Lahti Energialla on tytäryhtiö ”Lahti Energia Sähköverkko Oy”, joka huolehtii sähkönjakelusta. (Lahti Energia.)

130-vuotias Fazer on vuonna 1891 perustettu ruokaelämyksiin keskittyvä yritys, joka toimii kahdeksassa maassa. Viime vuoden vuosikatsauksessa kerrotaan ksylitolitehtaan tuotannon käynnistyvän vuoden 2021 aikana ja kauramylyjen kapasiteetti pyritään kaksinkertaistamaan Lahdessa ja Ruotsissa Lidköpingissä käynnistyneen investointiohjelman avulla (Fazergroup 2020,80). Fazerilla on Lahdessa kaksi leipomoa, Vuohelan herkku ja Lahden leipomo (Fazergroup).

2.2 Fazerin ksylitolitehdas ja Lahti Energian biolaitos

Prosessi alkaa Fazerin Myllyltä, josta kauran kuoret kuljetetaan Fazerin Ksylitolitehtaalle. Kauran kuori hydrolysoidaan kuoreissa olevan hemiselluloosan pilkkomiseksi. Hydrolyysin jälkeen lisätään jonkin verran lipeää ja jäljelle jäänyt hydrolysoimaton kauran kuori erotetaan liuoksesta. Jäljelle jäänyt kuori sisältää selluloosaa ja ligniiniä ja ne muodostavat polttoaineen voimalaitokselle. Tähän prosessoituun kuoreen lisätään myös pölyä, joka on peräisin pölynpoistoprosessista ja on koostumukseltaan pölymäistä jauhoa. Pöly ja edellä mainittu prosessoitu kuori sekoitetaan niin sanotussa ”mixerissä” ja kuljetetaan sen jälkeen Lahti Energian polttoainesiiloon tai -konttiin. Ksylitolitehdas toimii 24/7 5-vuorojärjestelmällä ja polttoainetta syntyy siten jatkuvasti. (Ravanko 2021.)

Lahti Energian biolämpölaitoksessa (kuva 1) toimii 8 megawatin biokattila ja lisänä saman tehoinen vara- ja huipputehokapasiteetti, joka toimii maakaasulla. Kaukolämpö toimii varalämmönlähteenä muun muassa laitoksen huoltojaksojen aikana. Fazerin tuotantolaitosten kulutus tällä hetkellä on pienempi kuin lämpölaitoksen energiantuotantokapasiteetti, joten

ylijäävästä sivujakeesta tuotetaan kaukolämpöä Lahti Energian kaukolämpöverkkoon. (Lahti Energia 2019.)



Kuva 1. Lahti Energian biolämpölaitos ksytilitehtaan vieressä (Fazermills)

3 Kauran kuori polttoaineena

Kun kauran jyviä jauhaa myllyssä, siitä syntyy jauhon lisäksi kauran kuorta, jolle on keksittävä käyttötarkoitus. Aikaisemmin niitä on käytetty eläinten rehuna ja poltettu energiaksi. (Wikipedia 2021.) Itse kauran polttamisessa on mietitty sen eettisyyttä, sillä kauraa käytetään kuitenkin ensisijaisesti ravintona (Yle 2014).

Bioenergialla tarkoitetaan uusiutuvaa energiaa, joka on puhdasta ja ympäristöystävällistä. Sitä saadaan erilaisista biomassoista, kuten peltokasveista ja puusta. Bioenergian ei katsota lisäävän hiilidioksidipäästöjä, sillä hiili, joka vapautuu biomassojen poltossa, sitoutuu pitkällä aikavälillä takaisin kasvavaan biomassaan. Biomassoista tehdyt polttoaineet vähentävät kasvihuonepäästöjä ja näin ollen hidastavat ilmastonmuutosta. Kotimaisten biomassojen käyttö edistää omavaraisuutta ja huoltovarmuutta energiantuotannossa ja luo myös töitä erityisesti maaseutualueille. (Motiva 2020.) Valtaosa bioenergiasta on puuperäistä, mutta peltobiomassojen ja yhdyskuntajätteen energiakäyttö on lisääntymässä Suomessa. Ohraa ja ruokohelpiä on käytetty voimalaitoksissa polttoaineina. (Ilmasto-opas.)

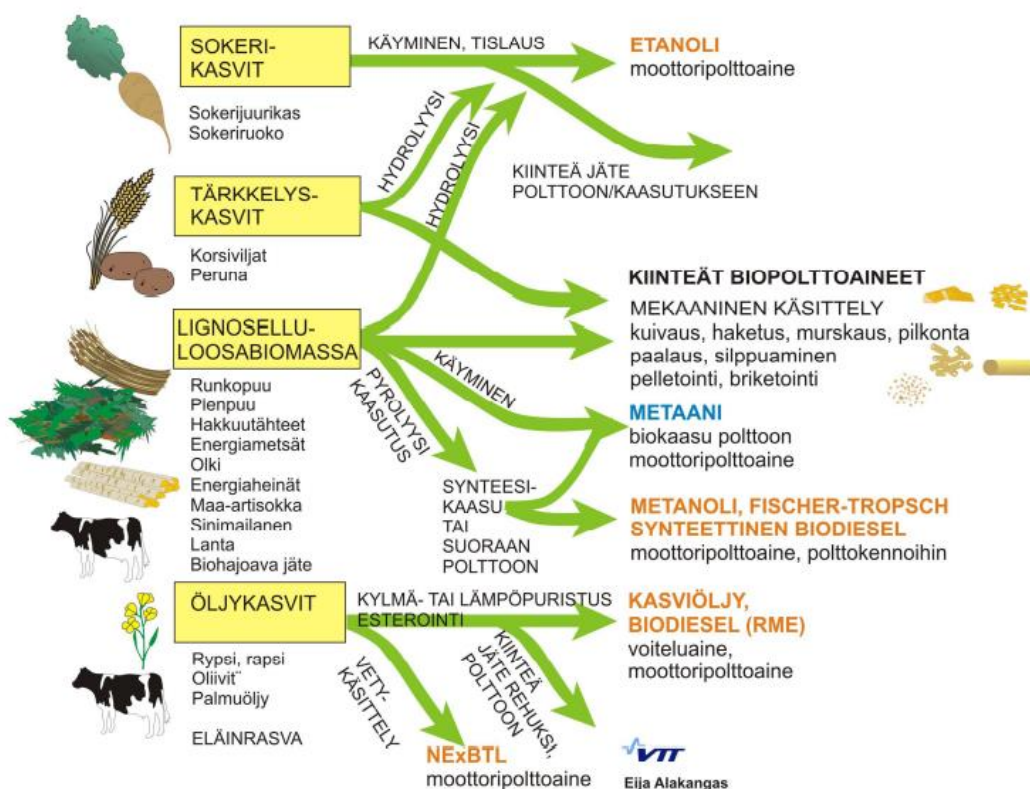
3.1 RED2-direktiivi

RED2-direktiivin mukaan kaikkien bionesteiden, biopolttoaineiden ja biomassapolttoaineilla tuotetun lämmön, jäädytyksen ja sähkön, jotka ovat mukana kansallisissa tavoitteissa tai saavat taloudellista tukea, täytyy olla tuotettu kestävästi. Kansallisesti on myös säädetty kestävyysden osoittamisen olevan edellytys esimerkiksi biopolttoaineen jakeluvuorotteeseen laskemiselle, valtiotuen ehtojen täyttymiselle, alhaisemmalle verotukselle, sekä vuonna 2022 alkavalle biomassapolttoaineiden nolla-päästökertoimelle. Suomessa toimitaan kestävyyslain (393/2013) mukaisesti, kun tarkastellaan biopolttoaineiden, biomassapolttoaineiden ja bionesteiden kestävyttä. (Energiavirasto.)

3.2 Peltokasvit

Peltokasvit voivat toimia monipuolisina raaka-aineina energiantuotannossa. Polttoaineita voidaan tehdä esimerkiksi auringonkukan siemenistä ja nykyään kehittyneen teknologian avulla myös korsimaisista peltobiomassoista voidaan tehdä nestemäistä polttoainetta. Heinä, jyvät ja olki sopivat vuorostaan kiinteässä muodossa poltettavaksi. Olkien ja jyvien palamisominaisuudet eroavat toisistaan, ja siksi ne käytetään erikseen. Olkia käytetään maatilojen lisäksi lämpökeskuksissa ja pientaloissa.

Kuvassa 2 on esitelty eri biomassaperäisiä raaka-aineita ja niiden jalostusvaihtoehtoja. Sokerikasveista saadaan tislaamalla polttoainetta, tärkkelyskasveista hydrolyysin avulla polttoainetta tai kiinteää biopolttoainetta. Lignoselluloosabiomassasta saadaan eri menetelmien avulla monia eri jalostusvaihtoehtoja ja öljykasveista saadaan muun muassa biodieseliä. (Sankari 1994 & 1995, vttresearch 2016,131.)



Kuva 2. Energian tuottamiseen soveltuvat biomassaperäiset raaka-aineet, niiden jalostusmenetelmävaihtoehdot ja energian käyttömuodot (Vttresearch 2016)

Viljojen, kuten kauran ja ohran, kemialliseen koostumukseen vaikuttaa kasvin viljelyolosuhteet, kuten maaperä ja lannoitus sekä kasvin ikä ja kasvilaji. Biomassan koostumukseen voi vaikuttaa myös sadonkorjuun ajankohta. Typpi-, hiili- ja vetypitoisuudet pysyvät melko muuttumattomina. Viljan jyvien lämpöarvo vastaa lähes samaa kuin polttopuun tai oljen lämpöarvo kuiva-ainekiloa kohti. Olkien ja jyvien palamisominaisuudet eroavat toisistaan, ja siksi ne käytetään erikseen. (Sankari 1994, Huusela-Veistola et al. 1991, Tuunanen 1994, vttresearch 2016,134.)

3.3 Polttoaineanalyysi

Polttoarvo, eli lämpöarvo, kertoo lämpöenergian määrän, joka syntyy täydellisessä palamisessa. Lämpöenergian määrä ilmoitetaan aineen massayksikköä kohden ja nestemäisillä ja kiinteillä polttoaineilla se ilmoitetaan megajouleina polttoainekiloa kohden, MJ/kg. Kalometrisessä lämpöarvossa palamistuotteena syntyvä kosteus ja vedyn sisältämä vesi oletetaan olevan palamisen jälkeen nestettä. Tehollisessa lämpöarvossa kuiva-aineessa veden ja kosteuden oletetaan olevan vesihöyryä. Tehollinen lämpöarvo lasketaan kuiva-aineen määritellyn kosteuden ja tehollisen lämpöarvon avulla ja se ilmaisee polttoaineen lämpöarvon käyttökosteana. Erilaisilla polttoaineilla on niille ominaiset saapumistilan ja kuiva-aineen lämpöarvot. Kuiva-aineen teholliseen lämpöarvoon vaikuttaa polttoaineen kemiallinen koostumus. Saapumistilan teholliseen lämpöarvoon vaikuttaa myös polttoaineen kosteus. Tuhkan määrä kannattaa kosteuden lisäksi ottaa huomioon, kun lasketaan biopolttoaineiden lämpöarvoja. (Wikipedia 2018.)

Taulukossa 1. on vertailtu eri polttoaineiden ominaisuuksia. Rehukaura on kostein polttoaine ja kauralese kuivin. Tuhkaa syntyy eniten viljajaebriketistä ja vähiten rehukaurasta. Kauraleseellä on pienin kalometrinen lämpöarvo ja camelina puriste briketillä suurin. Kauraleseellä on pienin tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa sekä saapumistilassa, kun taas camelina puriste briketillä suurin.

Polttoaine	Kosteus, p-%	Tuhka, p-% k.a.	Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg k.a.	Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg	
				Kuiva-aineessa	Saapumistilassa
Kauran kuorijauho	9,0	4,7	18,89	17,56	15,77
Kauralese	8,3	4,9	18,26	16,93	15,33
Camelina puriste, briketti	9,1	5,7	22,68	21,35	19,20
Camelina puriste, levy	10,0	5,7	22,41	21,08	18,73
Rehukaura	12,2	3,4	19,24	17,91	15,42
Viljajaebriketti	8,9	7,4	18,91	17,59	15,80

Taulukko 1. Kauran, kauraleseen ja eräiden öljykasvien tähteiden ominaisuuksia (Luonnonvarakeskus 2008, julkaisematon, vttresearch 2016,136)

Taulukkoa tarkastellessa lähimpänä Lahti Energian polttoainetta on kauran kuorijauho. Tarkastellaan kauran kuorijauhon ominaisuuksia ja vertaillaan niitä Lahti Energian kauran kuori- polttoaineeseen. Taulukon 2 kauran kuoren arvot ovat laitokselta saadusta polttoaineanalyysistä, joka löytyy opinnäytetyön liitteestä 1. Taulukkoa 2 tarkastellessa voidaan huomata, että laitoksen polttoaineella on merkittävästi suurempi kosteusprosentti ja tuhkaprosentti verrattuna kuorijauhoon. Kalometrisessä lämpöarvossa ja tehollisessa lämpö-

arvossa kuiva-aineessa ei ole suuria eroja, mutta tehollisessa lämpöarvossa saapumistilassa laitoksen kauran kuorella on yli puolet pienempi arvo kuin kauran kuorijauholla. Tehollisessa lämpöarvossa saapumistilassa on huomioitu kosteus, joka selittää näiden kahden polttoaineen suuren eron: laitoksen kauran kuori on paljon kosteampaa kuin kuorijauho.

Polttoaine	kosteus, p-%	Tuhka, p- %	Kalometrinen lämpöarvo, MJ/kg	Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg kuiva-aineessa	Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg saapumistilassa
Laitoksen polttoaine, kauran kuori	52,4	8,1	18,61	17,33	6,97
kauran kuorijauho	9,0	4,7	18,89	17,56	15,77

Taulukko 2. kauran kuorijauhon ja laitoksen kauran kuoren ominaisuuksien vertailua

3.4 Biopolttoaineiden polttotekniikka

Polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia saadaan lämmöksi, kun polttolaitteet saavat polttoaineen palamaan. Kattilassa oleva ilmaylimäärä pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi palamisilman ja palavan aineen tehokkaalla keskinäisellä reagoinnilla. Ilmaylimäärän säätelyn vuoksi on kehitetty erityyppisiä polttotekniikoita erilaisille polttoaineille. Voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa biopolttoainetta poltettaessa yleisiä ratkaisuja ovat arina- sekä leijukerros poltto. (Huhtinen ym. 2013, 35–36.)

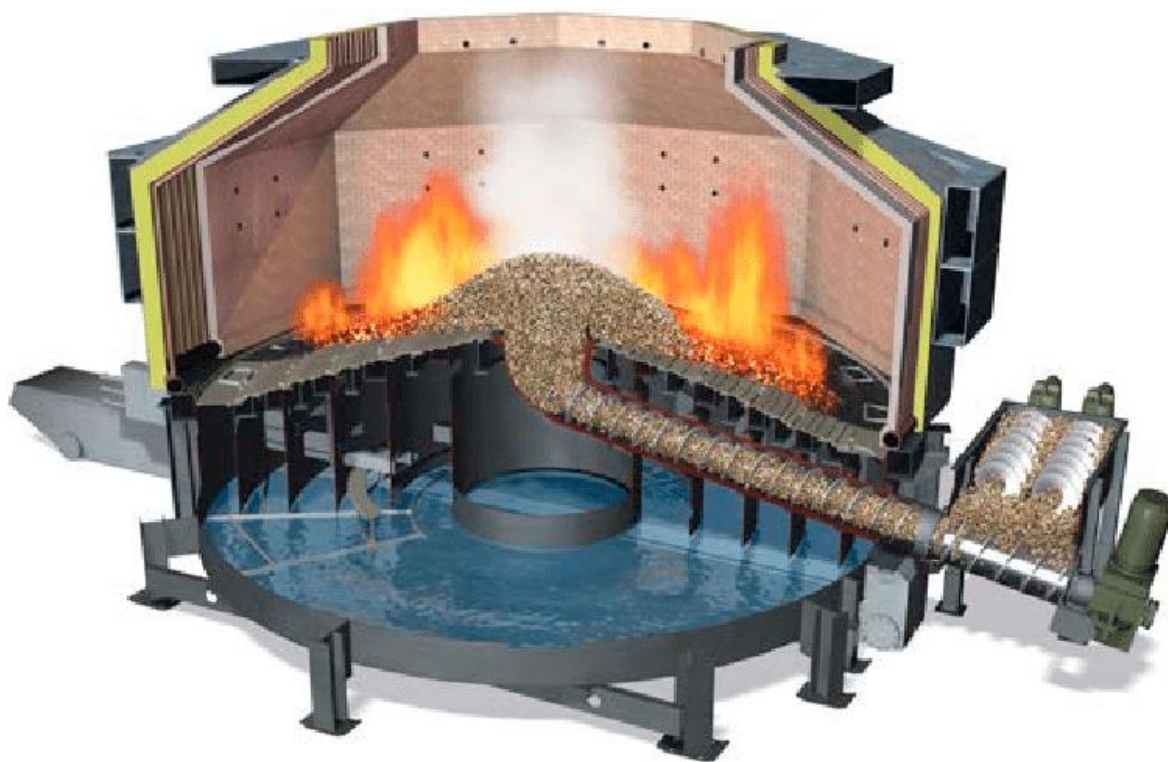
Arinapoltoissa polttoaine voidaan aluksi tarvittaessa murskata haluttuun muotoon. Sen jälkeen polttoaine levitetään kiinteälle tai liukuvalla arinalle, jossa tapahtuu palamisprosessi. Arina jaetaan vyöhykkeisiin ja jokaisessa vyöhykkeessä tapahtuu eri palamisen vaiheet. Ensin polttoaine kuivuu ja lämpenee, sitten se kaasuuntuu ja kiinteä polttoaine alkaa palamaan. (Huhtinen ym. 2013, 35–36.)

Kiinteä arina voi olla esimerkiksi viisto-, taso- tai porrasarina ja se sopii hyvin pienitehoisiin kattiloihin. Isommissa kattiloissa arina on yleensä liikkuva eli mekaaninen, ja polttoaineen syöttö sekä tuhkanpoisto on automatisoitu. (Huhtinen ym. 2013, 35–36.)

Arinapolton ongelmia on palamisen hallitsemattomuus, polttoaineen epätasainen jakautuminen ja palaminen arinalla sekä kattilan kuonaantuminen. Epätasainen palaminen aiheuttaa päästöjä ja kattilan kuonaantumisen voi seurata hankaluuksia. Edellä mainitut ongelmat ovat tavallisia varsinkin kiinteällä arinalla. (Huhtinen ym. 2013, 35–36.)

Aiemmin mainittujen lisäksi on alun perin MW Powerin kehittämä pyörivään arinaan perustuva BioGrate-arinapoltteknikka (kuvassa 3), missä arina jakautuu kehiin, joista joka toinen pyörii ja joka toinen on paikallaan. Pyörivät kehät pyörivät niin, että jos ensimmäinen pyörii myötäpäivään, niin seuraava pyörii vastapäivään. (Huhtinen ym. 2013, 35–36.)

Syöttöruuvun avulla polttoaine syötetään arinan keskelle sen alta, ja tekniikan ansiosta polttoaine jakautuu tasaisesti arinalle. Arinan ympärillä sijaitsee tulipesä, joka on jäähdyttämätön ja muurattu, jotta kosteatkin polttoaineet saavuttavat riittävän palamislämpötilan. Kun polttoaine on kuivaa, kylmiä savukaasuja kierrättämällä saadaan palamislämpötila pidettyä aisoissa. Näin polttoainetta, jonka laatu ja kosteus vaihtelee, voidaan polttaa ympäristöystävällisesti niin, ettei häkää (CO) tai typpioksideja (NO_x) muodostu paljon. (Huhtinen ym. 2013, 35–36.)



Kuva 3. BioGrate polttotekniikka (Researchgate 2015)

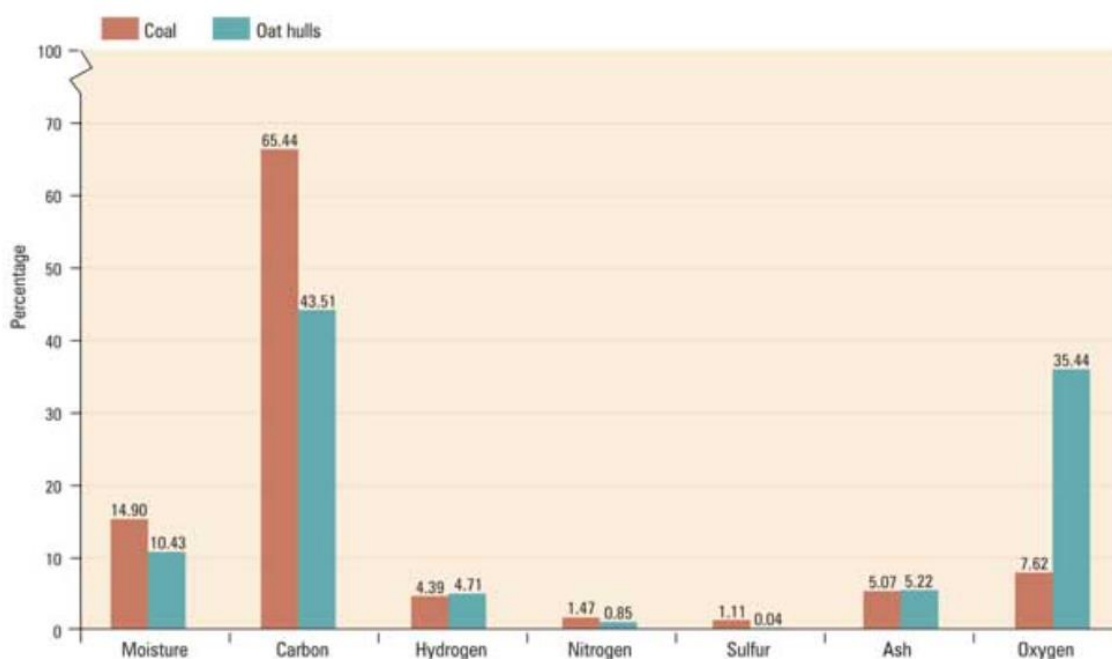
3.5 Tuhkan sulamiskäyttäytyminen

Tuhkan sulamiskäyttäytyminen vaihtelee polttoaineittain ja riippuu tuhkan koostumuksesta. Tuhkan sulaminen polton aikana aiheuttaa monia haittoja, kuten lämpöpintojen kuo-

naantumista ja likaantumista. Tuhkan sulamiskäyttäytyminen kiinteiden biopolttoaineiden kohdalla on määritelty standardin CEN/TS15370-1:2006 mukaisesti. Biopolttoaineiden tuhkauslämpötila, 550 astetta, on turpeen omaan verrattuna alhaisempi (815 astetta), joka johtuu karbonaattien hajoamisesta hiilidioksidiksi, kun lämpötila on korkea. (Vttresearch 2016,38.)

3.6 Aikaisemmat tutkimukset

Vuonna 2004 Iowan yliopisto teki tutkimuksen, jossa kokeiltiin polttaa kiertoleijukattilalla kauran kuorta kivihiilen kanssa. Kauran kuoren ja hiilen palamisominaisuuksia vertailtiin ja kuviossa 1 nähdään kauran kuoren ja hiilen lopullinen polttoaineanalyysi. Kuviota 1 tarkastellessa voidaan todeta, että kaurankuoren lämpöpitoisuus oli pienempi kuin kivihiilen, ja sillä on myös huomattavasti suurempi happiprosentti hiileen verrattuna. Hiileen verrattuna kaura on rikin suhteen lähes päästötön. Tutkimuksessa todettiin, ettei kauran kuoren ja hiilen yhteispoltto ollut toimiva ratkaisu.



Kuvio 1. Tutkimuksen polttoaineanalyysi kauran kuoren ja hiilen päästöistä. (Power 2006)

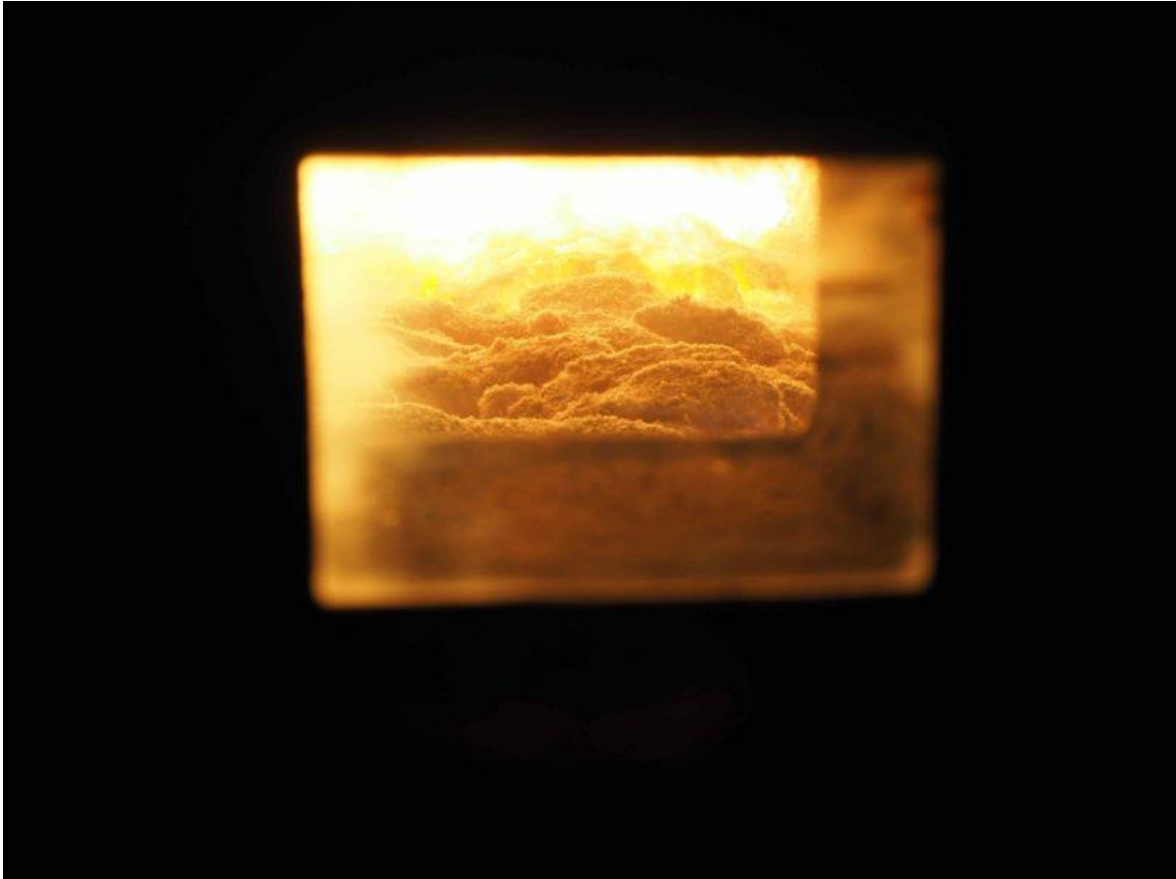
Tutkimuksen huolenaiheena oli kattilan kuluminen ja eroosio sekä tuhkan korkea piidioksidipitoisuus. Tutkimuksessa todettiin, että tietyt kohdat kattilasta olivat kuluneet nopeammin muihin verrattuna, mutta putkisto kuitenkin pystyy pitämään tyydyttävän paksuuden säännöllisten tarkastusten ja hitsausten avulla. (Power 2006.)

Kokeilun loppuvaiheilla havaittiin kuitenkin vesiseinissä merkittävää kulumista, minkä tarkkaa syytä ei tiedetä. Asia ratkaistiin vaihtamalla vesiseinät metallisiin ruiskutettuihin paneeleihin. (Power 2006.)

Vuonna 2003 kaiken muun paitsi kivihiilen polttamiseen tarvittiin dataa polttoainepäästöistä. Kauran kuoren poltosta ei ollut kyseistä dataa, joten täytyi tehdä koepoltto erilaisilla variaatioilla. Poltossa käytettiin ensin 100 % hiiltä, sitten 50/50 hiiltä ja kauraa ja kolmanneksi 80/20 suhteella kauraa ja hiiltä. Tutkimus osoitti päästöjen vähentyvän, kun kauran osuus polttoaineesta kasvoi. Hiilen ja kauran kuoren yhteispoltossa tarvittiin vähemmän kalkkia, sillä rikkipitoisuus oli laskenut. 50/50 poltto osoitti NOx-päästöjen vähenemisen. Häkäpitoisuus laski kauraa poltettaessa. (Power 2006.)

Kauran kuorta testattiin polttaa myös stoker-kattilalla vuonna 2006, mutta testi jouduttiin kolmen tunnin kohdalla keskeyttämään, kun liekki syttyi syöttölaiteen ympärillä olevaan etuseinään. Testi katsottiin ongelmasta huolimatta onnistuneeksi, sillä se vastasi kahteen tutkimuskysymykseen: palavatko kuoret välittömästi vai onko olemassa hallitsemattoman palamisen mahdollisuus, sekä pystyykö sähköstaattinen saostin ottamaan poltosta syntyneen lentotuhkan talteen. Havaittiin kuorten palavan välittömästi, ja saostimen käsittelevän syntyneen lentotuhkan onnistuneesti. (Power 2006.)

Vuodesta 2010 lähtien Fridelyssä, Minnesotassa General Millssillä on haluttu panostaa kestävään kehitykseen ja täten siellä toimii biomassakattila, joka polttaa kauran kuorta. Kauran kuori katsotaan jätteeksi, kun se erotetaan kauran osasta, josta valmistetaan jauhoja Cheeriosiin ja muihin tuotteisiin. (Hunt 2017.)



Kuva 4. Kauran kuoret palavat biomassakattilassa

Tehdas ei ole enää riippuvainen maakaasusta, sillä kauran kuori lämmittää tehtaan 90 prosenttisesti. Kauran kuoret kuljetettiin ennen satojen rekkojen avulla kaatopaikoille. Poltetusta Kauran kuoresta syntyvä tuhka on kaatopaikan sijaan viety lannoitteeksi pelloille Minneapolis/St. Paulin alueelle. (Hunt 2017.)

4 Lainsäädäntö

Energiatuotantoketjun vaiheissa syntyy ympäristövaikutuksia, joita pyritään vähentämään aktiivisesti. Muun muassa happamoituminen, ilmastonmuutos, jätteiden syntyminen sekä vesistöihin kohdistuvat vaikutukset voivat olla energiatuotantoon liittyviä ympäristövaikutuksia. Energiatuotantoketjun vaiheet ovat polttoaineiden hankinta, jalostus, varastointi, kuljetus, varsinainen energian tuotantoprosessi sekä jätteiden käsittely. (Energiateollisuus.)

Monet lait ja asetukset ohjaavat energiateollisuutta, kuten ympäristönsuojelulaki, päästökauppalaki, maankäyttö- ja rakennuslaki, laki ympäristövaikutusten arvioinnista (YVA) sekä vesilaki. Ympäristönsuojelulla pyritään edistämään luonnonvarojen kestävyttä, torjumaan ilmastonmuutosta sekä ehkäisemään ympäristön pilaantumista. Laki määrittelee myös parhaan käyttökelpoisen tekniikan soveltamisen ja ympäristöluvan. Kasvihuonepäästöjä pyritään vähentämään taloudellisesti ja kustannustehokkaasti päästökauppalain avulla. Laki panee täytäntöön EU:n sisäisen päästökaupan, mikä on EY:n päästökauppa-direktiivin mukainen. Suuret hankkeet vaativat ympäristövaikutusten arvioinnin. Vesilaki ohjaa vesirakentamista ja vesien käyttöä, kun taas jätelaki puolestaan jätehuoltoa ja jätteiden hyötykäyttöä. (Energiateollisuus.)

4.1 IE-direktiivi

Vuoden 2021 lopulla Komissio antaa ehdotuksen IE-direktiivin (Industrial Emissions) päivittämisestä. Direktiivi on annettu vuonna 2010 ja se toimii ympäristönsuojelun puitelakina. Direktiivissä on määritetty ympäristöluvituksen periaatteet, BAT-päätelmien (Best available technology) merkitykset sekä lupavelvollisuudet. Direktiiviä on täytäntöön pantu ympäristönsuojelulain lisäksi lukuisilla valtioneuvoston asetuksilla, kuten sellaisilla, jotka koskevat suuria polttolaitoksia ja jätteenpolttoa. BAT-poikkeusten edellytykset, jotka ovat teollisuudelle tärkeitä, voivat kiristyä. Polttolaitosten ja jätteenpolttolaitosten päästösääntelyn yksityiskohtiin voi todennäköisesti tulla muutoksia. (Energiateollisuus.)

4.2 Painelaitedirektiivi

Painelaitedirektiivi (2014/68/EU) koskee painelaitteiden valmistusta, vaatimustenmukaisuuden arviointi sekä suunnittelua. Painelaitedirektiivi kattaa laitteiden luokittelukuvat, tekniset vaatimukset sekä esittää olennaiset turvallisuusvaatimukset. (Tukes 2016.)

4.3 Standardi EN 12953 ja CE-merkintä

Standardi EN 12953 koskee tulitorvikattiloiden turvallisuutta ja turvallisuuteen liittyviä varusteita, jotka varmistavat kattilan toimivan sallituissa rajoissa, esimerkiksi paineessa ja lämpötilassa (SFS).

CE-merkintä tarkoittaa, että tuote on käynyt läpi tarvittavat tarkistukset ja tuote on EU:n antamien direktiivien mukainen (Wikipedia 2020).

4.4 ATEX

ATEX on entinen Ex-määräys, joka tarkoittaa lainsäädäntöä ja standardisointia laitteille, jota käytetään räjähdysvaarallisissa tiloissa. ATEX perustuu EU-direktiiviin (94/9EY) EU:n alueilla. Luokitusta joudutaan hakemaan pääosin elektroniikka- ja sähkölaitteille. Räjähdysherkät tilat luokitellaan vaarallisuuden mukaan ja ATEX-hyväksyntä voidaan antaa tiettyyn tilaan. Pyrkimys on, ettei missään tilanteessa kipinä sytyttäisi tulenarkoja kaasuja palamaan ja siksi tuotteet suojataan. ATEX-luokitus on löydettävä tiloista, jotka on luokiteltu vaarallisiksi, kuten tulenarkojen tuotteiden varastoissa ja valmistuspaikoissa. (Wikipedia 2019.)



Kuva 5. räjähdysvaarallisen tilan merkintä (Säätö.)

ATEX-direktiivi (2014/34/EU) koskee jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamista ja koskee laitteita ja suojajärjestelmiä, jotka on tarkoitettu käytettäväksi räjähdysvaarallisiin tiloihin. Direktiivin tarkoitus on suojella ihmisiä, jotka työskentelevät räjähdysvaarallisissa tiloissa, yhtenäistää räjähdysvaarallisten tilojen, koneiden ja laitteiden turvallisuusvaatimukset EU:n jäsenvaltioille sekä taata vapaa kauppa Ex-laitteille. (Säätö.)

5 Lahti Energian biolämpölaitos

Suomi on päättänyt kivihiilen polton lopettamisesta vuoteen 2030 mennessä, mikä on saanut kunnat ja energiayhtiöt korjaamaan ja muuttamaan vanhoja laitoksia, sekä investoimaan biolämpölaitoksiin. Uusia lämpölaitoksia rakennetaan Suomessa parikymmentä vuodessa. (Yle.) Lahti Energia korvasi 1970-luvulla rakennetun kivihiililaitoksen vuonna 2020 valmistuneella biolaitoksella (Lahti Energia).

5.1 Lämpölaitos

Lämpölaitoksella tarkoitetaan teollisen mittakaavan laitosta, joka on tarkoitettu lämmitykseen. Käyttökohteina voi toimia esimerkiksi kooltaan pienet kaukolämmöllä lämmitettävät kohteet, joiden teho liikkuu yleensä muutamasta megawatista pariin kymmeneen. Suurissa kaukolämpöverkoissa käytetään erilaisia huippu- ja varalämpölaitoksia. Kaukolämpöverkkojen lämpö tuotetaan yleensä lämpövoimalaitoksissa. Laitoksissa, jotka tuottavat kaukolämpöä toimii yleensä lämminvesikattila, joka lämmittää veden ja sen jälkeen sitä kierrätetään lämmönvaihtimissa, jolloin haluttu kohde lämpenee. (Wikipedia 2020.)

On olemassa myös höyrykattiloita, joita käytetään teollisuuden kohteissa. Vesi höyrystetään höyrykattilan avulla ja vesihöyry siirretään joko lämmönvaihtimeen tai lämmityskohteeseen. Höyrylämmityksen sanotaan olevan tehokkaampi ratkaisu kuin vesilämmityksen, sillä tiivistyvän höyryn höyrystyslämpö on $2260\text{kJ/kg}(100^\circ\text{C})$, mikä on huomattavasti suurempi kuin veden luovuttama lämpö, $41,86\text{kJ/kg}$. (Wikipedia 2020.)

5.2 Lämpökattila

Lämpökattilalla lämmitetään esimerkiksi vettä energialla, joka on vapautunut polttoaineen palamisesta. Lämpimän käyttöveden lämmitykseen, erilaisiin teollisuusprosesseihin sekä rakennusten lämmitykseen tarvitaan lämmintä vettä. Lämpökattila voi kuulua keskuslämmitysjärjestelmään. Kattiloiden lämpötehot liikkuvat muutamasta kilowatista kymmeneen megawatteihin. Yleensä lämmöntuotannon yhteyteen rakennetaan sähköntuotantolaitteisto, jos paikallisen lämmön tarve on suuri. Silloin käytössä on höyrykattila ja höyryturbiini. Höyrystä saatava lauhdelämpö käytetään lämmitykseen ja muu osa energiasta yritetään saada sähköksi. Kattilat voidaan jaotella kokonsa mukaan joko kiinteistökattiloiksi tai kaukolämpökattiloiksi. (Wikipedia 2018.)

Kattilan tulipesällä tarkoitetaan polttoaineen polttamiseen käytettävää aluetta. Kattilan hyötysuhteeseen vaikuttavat tulipesän muoto ja pinta-ala, jota on käytetty lämmön siirtoon. Mitä suurempi hyötysuhde on, sitä enemmän teknisiä ongelmia tulee. Kattilan tyyppil-

linen hyötysuhde, eli hyödyksi saatava lämpövirta suhteessa kattilaan syötettyyn polttoaineen sisältämään energiaan on 90 %. Savukaasujen mukana tuleva häviötä syntyy eniten ja siitä suurin osa on vesihöyryssä oleva latenttilämpö. Tämän vuoksi on kehitetty savukaasupesureita, joilla saadaan nostettua hyötysuhdetta ja talteen otettua savukaasujen energiaa. Jos polttoaineen lämpöarvona on käytetty alempaa lämpöarvoa, hyötysuhde voi nousta yli 100 %:n. (Wikipedia 2018.)

Tulipesän jatketta kutsutaan konvektio-osaksi, ja sen tarkoitus on lisätä lämmön talteenottoon tarkoitettua pinta-alaa. Yleensä konvektio-osan takana on vettä, johon kerätään lämpöä. Sitä nopeammin lämpö siirtyy, mitä suurempi lämpötilaero on konvektiopinnan ja savukaasun välillä. (Wikipedia 2018.)

Konvektio-osan keskellä kulkee kuumimmat kaasut ja niitä varten on turbulenssilevyt lämmön talteenottopinnoilla. Levyt aiheuttavat pyörteilyä, jolloin savukaasut hidastuvat. Tämä hidastaa paloa ja heikentää vetoa. Konvektio-osat eivät saa olla liian ahtaat, sillä jos palo hidastuu se heikentää palamisen hyötysuhdetta. (Wikipedia 2018.)

Yleensä kattilassa on vaaka- tai pystytoimiset konvektio-osat, mutta on olemassa myös näiden kahden yhdistelmiä. Corten-teräs toimii usein konvektiopintojen materiaalina, sillä se on kestävä. (Wikipedia 2018.) Corten-teräs, eli säänkestävä teräs on kromilla, nikkelillä, fosforilla ja kuparilla seostettu teräslaatu, jonka pinnalle muodostuu ulkoilmassa oksidikerros kosteuden ja hapen vaikutuksesta. Oksidikerros estää korroosion pääsemisen syvemmälle. (Wikipedia 2018.)

Kondenssia syntyy, kun konvektion savukaasuja jäähdyttävä vaikutus kasvaa tarpeeksi suureksi. Kondenssivedellä on ruostuttava vaikutus, mutta kondenssin syntyminen ei pelkästään ole huono asia. Kondenssiveden lämmönkeräily on menetelmä, jolla saadaan polton hyötysuhde nousemaan yli 100 %:n, jos lämpöarvona on käytetty alempaa lämpöarvoa. Kattilasta tulee palokaasuja, jotka ohjataan yleensä savupiippuun. Savupiipun pituus vaikuttaa vetoon, mitä pidempi piippu, sitä suurempi veto. (Wikipedia 2018.)

Kun kattilassa ei polteta jatkuvasti, polttojen välille pääsee ilmavirtaus, joka jäähdyttää kattilaa. Tämä ei ole hyvä asia ja ehkäisykeinona toimii ilmatiiviit kattilan luukut ja suljettu polttimen ilmanotto. Konvektio-osan perässä voi olla vetopelti, jonka voi tarvittaessa sulkea, ja joissakin kattiloissa luukun avautuminen ja sulkeutuminen tapahtuu automaattisesti. (Wikipedia 2018.)

Kattiloista käytetään tiettyjä lyhenteitä sen mukaan, mitä ainetta niissä poltetaan. Lyhenneet ovat:

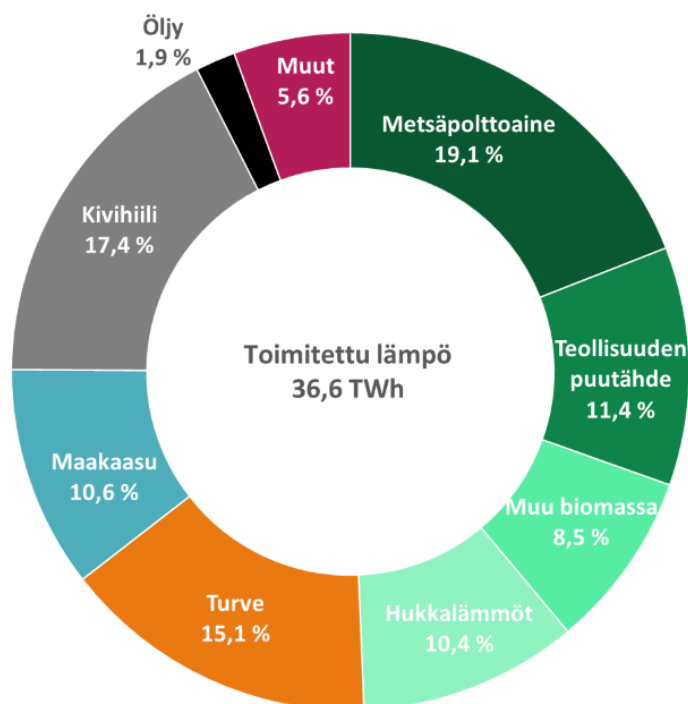
- POK = kevyt polttoöljy
- POR = raskas polttoöljy
- MAKA = maakaasu
- KPA = kiinteän polttoaineen kattila

(Wikipedia 2018.)

5.3 Kaukolämpö

Suomen taajamien ja kaupunkien yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Mitä tiheämmin rakennettu alue ja suuret rakennukset, sitä taloudellisempaa kaukolämmitys on. Lämpöä ja sähköä tuottavat lämpökeskukset ja voimalaitokset tuottavat kaukolämpöä. Kaukolämpöverkossa kiertää vesi, minkä avulla lämpö siirtyy asiakkaalle. Lämmönsiirtimien välityksellä lämmin kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä käyttöveden valmistukseen ja asiakkaiden lämmitysverkkoon. Talojen lämmitysverkossa ei kierrä kaukolämpövedettä, vaan lämpöä käytetään käyttöveden ja huoneiden lämmittämiseen sekä ilmanvaihtoon taloissa. Tuotantolaitokselle palaa jäähtynyt kaukolämpövesi paluujohtoa pitkin ja se lämmitetään uudelleen. (Energiamailma.)

Kaukolämmössä voidaan käyttää polttoaineina maakaasua, biomassaa, turvetta, öljyä, kivihiiltä sekä uusiutuvia energianlähteitä, kuten biokaasua. Öljyä käytetään nykyään vain varapolttoaineena ja kovilla pakkasilla ja kivihiiltä ei käytetä enää vuoden 2029 jälkeen. (Energiamailma.) Suomen laki kieltää kivihiilen käytön sähkön ja lämmön tuotannossa vuoteen 2029 mennessä (Yle 2018). Turpeen käyttö vähenee koko ajan merkittävästi. Suomessa kaukolämpö tehdään suurimmaksi osaksi lämmitysvoimalaitoksilla, hukkalämmöistä ja ylijäämälämmöistä teollisuudessa. Polttoaineesta säästyy kolmasosa, kun lämpö ja sähkö tuotetaan samassa tuotantolaitoksessa. (Energiamailma.)



Kuva 6. Kaukolämmön tuotannon energialähteet 2019 (Energiamailma.)

On olemassa myös jäähdytysratkaisu, kaukojäähdytys, joka soveltuu kaikenlaisille kiinteistöille. Jäähdytysenergiaa voidaan toimittaa ilmastointiin tai teollisuuden prosessien valmistus- ja säilytystiloihin. Jäähdytysenergiaa tuotetaan ympäristöystävällisesti ja kustannustehokkaasti kun energia tuotetaan rakennuskohtaisen energiatuotannon sijaan keskitetysti. Jäähdytyksen toimintaperiaatetta voidaan verrata kaukolämmitykseen, mutta poikkeuksena on, että ylimääräinen lämpö siirretään energiayritysten kaukojäähdytysverteen asiakkaalta. (Energiamailma.)

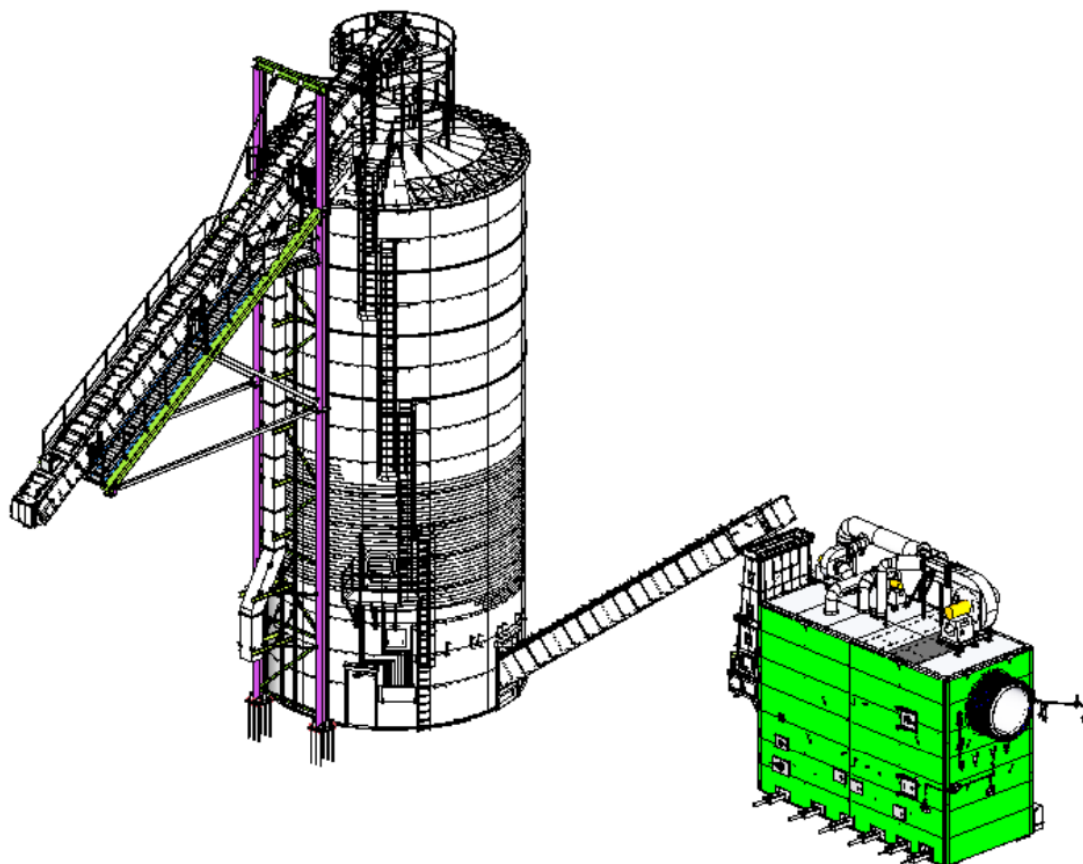
Jäähdytystarve kiinteistöissä riippuu auringon lisäksi sisäisistä lämmönlähteistä, kuten koneista ja sähkölaitteista. Rakennuksessa voi olla tarvetta sekä lämmitykseen, että jäähdytykseen samaan aikaan. (Energiamailma.)

Kaukojäähdytysenergia voidaan tuottaa erilaisilla tavoilla, kuten absorptiojäähdytyskoneilla, kompressoritekniikalla, lämpöpumpuilla ja vapaajäähdytyksenä. Voimalaitoksen kesäisin tuotettava lämpö, jota ei voida myydä kaukolämmöksi, tai teollisuuden hukkalämpö toimivat absorptiotekniikassa käyttöenergiana. Tuotantotapoja voidaan yhdistellä olosuhteiden mukaan niin, että tarvittava energia tuotetaan mahdollisimman edullisesti. Toiminnan kannattavuus paranee pienissäkin järjestelmissä, kun kaukojäähdytysenergiaa varastoidaan. (Energiamailma.)

Kaukojäähdytys on ympäristöystävällisempää, luotettavampaa ja hinnaltaan kilpailukykyisempää, kun verrataan rakennuskohtaiseen jäähdytykseen. Kun käytetään kaukojäähdytystä taloissa, ei tarvitse miettiä jäähdytyskoneista syntyvää meluhaittaa tai koneiden huoltoa. Myöskään erillisiä lauhdutussyksiköitä ei tarvita. (Energiamailma.)

5.4 Polttoaine ja sen syöttö

Biopolttoaineen syöttöjärjestelmä on tarkoitettu Fazerin ksylitolitehtaalta tulevan polttoaineseoksen lyhytaikaiselle varastoinnille. Polttoaine ei saa sisältää myrkyllisiä tai haitallisia aineita kuten PVC:tä, muovia tai klooria eikä muita niin sanottuja vieraita aineita, kuten rautametalleja. (Enerstena 2020.) Kauran kuori on käsitelty rikkihapolla Fazerin päässä. Viljat sisältävät muutenkin jonkun verran rikkiä. Rikkiä neutralisoidaan kalkilla, jota syötetään polttoaineen sekaan ja savukaasusuodattimiin. (Välimaa 2021.)



Kuva 7. Biopolttoaineen syöttöjärjestelmä, mallikuva (Enerstena 2020)

Polttoaineen syöttöjärjestelmässä toimii ketjukolakuuljetin, joka on suunniteltu vastaanottamaan Fazerin elevaattorilta tuleva polttoaine. Kuljetin toimii ulko-olosuhteissa ja siihen

on asennettu saattolämmitys, ettei polttoaine jäädy. Polttoaine on hapanta, pH. arvoltaan noin 3, joten kuljettimen osat on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Kuljetin vie polttoaineen polttoainesiiloon, joka on kooltaan 1000 m³. Jos siiloon ei voi varastoida polttoainetta, on ennen siiloa olemassa ohituskontti, minne polttoaine ohjataan. Kuljetin on määritetty ATEX-alueeksi ja sinne on rakennettu räjähdysluukut ja hätäjarrukaapeli. Polttoainesiiilon sisäpuoli on määritetty ATEX-alueeksi. Siilossa käytetään tärytekniikkaa ja polttoaine putoaa siiloon sen katolta. Siilosta polttoaine putoaa repijäyksikköön, joka koostuu viidestä ruuvista, joissa on repijäterät. Terien on tarkoitus silputa polttoainetta pienemmäksi ennen kuin se jatkaa matkaa polttoaineen syöttökuljettimelle. Polttoainekuljetin on ketjukolakuuljetin, jossa toimii saattolämmitys ja siinä on käytetty haponkestäviä materiaaleja. Kuljetin vie polttoaineen kattilan etupesään. Kuljetin on määritetty ATEX-alueeksi ja sisältää räjähdysluukut. (Enerstena 2020.)

Alapuolella kuvassa 8 on näytetty polttoainetyypit, joista vasemmanpuoleinen on myllypölyä ja oikeanpuoleinen prosessoitua kaurankuorta. Homogeeninen seos valmistetaan tehtaalla ennen kuin polttoaine menee käsittelyjärjestelmään, ja seos sisältää 90 % prosessoitua kaurankuorta ja 10 % pölyä.

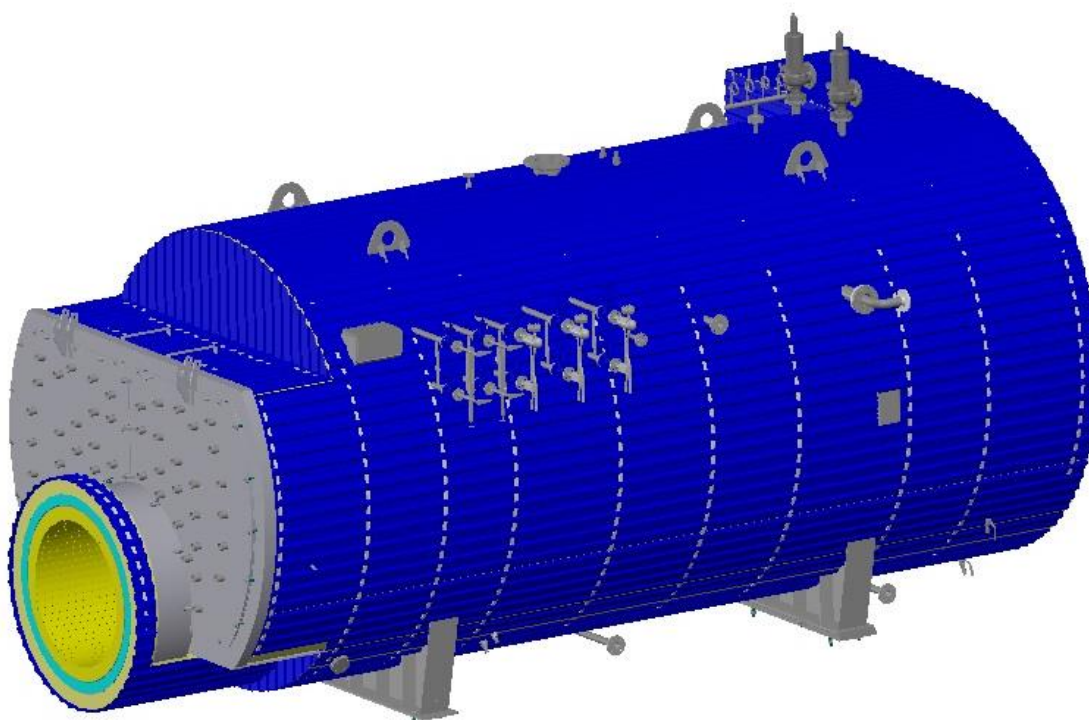


Kuva 8. Polttoainejakeet pöly ja prosessoitu kaurankuori (Enerstena 2020)

Polttoaine on jaoteltu A ja B-polttoaineeseen. Polttoaine A sisältää 100 % jalostettua kaurankuorta ja B sisältää kauran kuorijämiä noin 10 %. Alkupäässä Fazerilla kuivan polttoaineen tehollinen lämpöarvo on 17,51 MJ/kg ja tullessa laitokselle se on 8.76 MJ/kg. Kosteuspitoisuus vaihtelee 25–55 % välillä. (Enerstena 2020.)

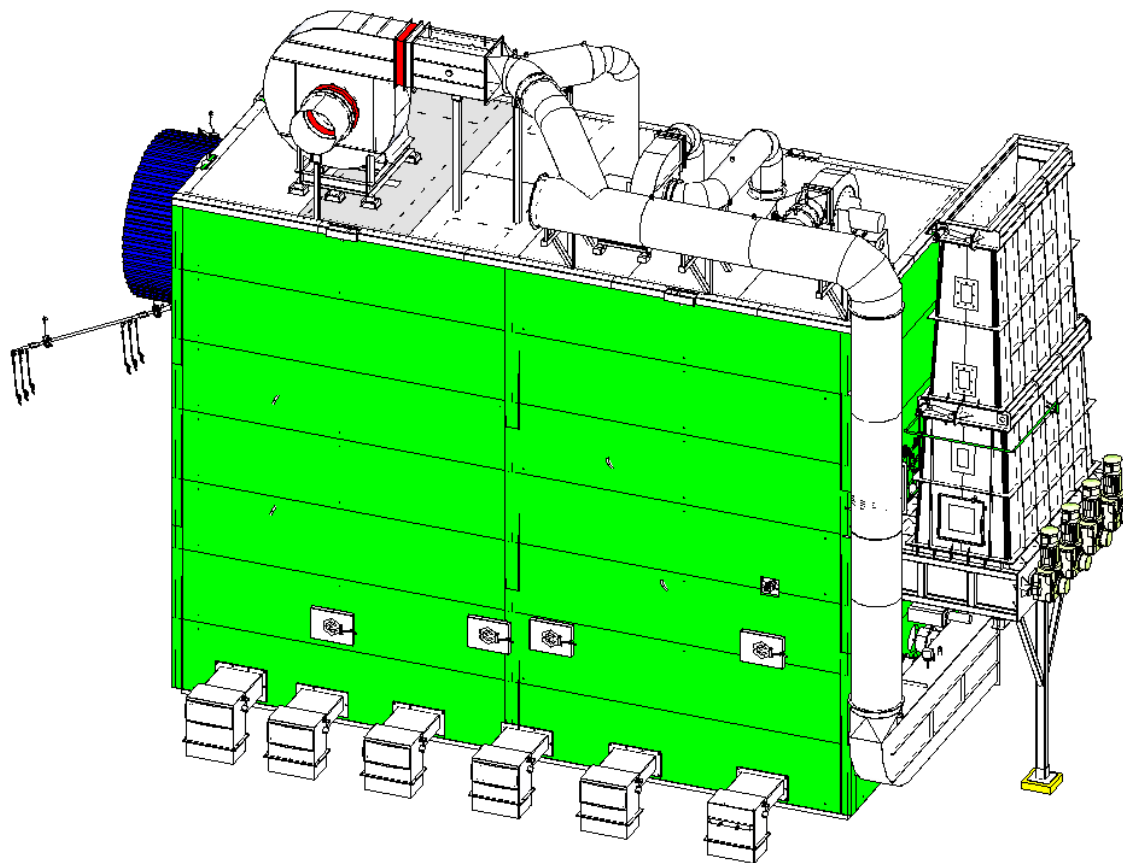
5.5 Kattila ja etupesä

Lahti Energian biomassakattila on teholtaan 8 MW ja lisäksi varana on 8 MW kaasukattila. Pääkattila on valmistettu noudattaen painelaitedirektiiviä (2014/68/EU) ja EN 12953 standardia. Kattilassa on CE-merkintä ja se on toimitettu tarvittavilla apulaitteilla. Kattilassa käytetyt materiaalit, hitsaukset ja laippaliitokset sekä lujuuslaskenta on tehty EN 12953 standardin mukaisesti. (Enerstena 2020.)



Kuva 9. Kiinteän polttoaineen höyrykattila, mallikuva (Enerstena 2020)

Kattilan etupesä on suunniteltu polttamaan erittäin kosteaa tai kosteaa polttoainetta. Kattilan etupesää käytetään kauran kuoren ja pölyseoksen polttamiseen, joka on kemiallisesti käsitelty. Tämän polttoaineen tuhkalla on matala sulamislämpötila, mikä on todettu ongelmalliseksi. Tästä syystä polttoaineseokseen on sekoitettava kalsiumhydroksidia polttoainekuljettimessa, mikä nostaa tuhkan sulamislämpötilaa ja vähentää polttoprosessin etupäässä SO_x-ryhmien esiintymistä. Kattilassa on liikkuva, kalteva arina, joka sekoittaa polttoainekerroksia ja parantaa palamista. Arina missä polttoaine liikkuu, toimii kaasutusperiaatteella. Arinoiden liikkeen varmistaa hydraulisylinteri.



Kuva 10. Biokattilan etupesä, mallikuva (Enerstena 2020)

Etupesä ja polttoaineen syöttölaite toimivat automaattisena polttoaineen polttojärjestelmänä, joka on suunniteltu polttamaan polttoainetta mahdollisimman tehokkaasti. Polttoaineen sisältämä lämpöenergia pyritään muuttamaan savukaasun lämpöenergiaksi. Palaminen on jaettu vaiheisiin, sillä palamisprosessi on asteittainen. Ensimmäisessä vaiheessa polttoaine tulee etupesään ja lämpenee arinan yläosassa ympäristön lämpötilasta veden haihtumiseen. Tämän jälkeen seuraa voimakas kuivausvaihe, jolloin polttoaine vapauttaa vesihöyryä, ja sen lämpötila ei enää nouse, vaan pysyy vakiona. Kolmannessa vaiheessa suurin osa polttoaineen vedestä on poistunut ja sen lämpötila alkaa nousta niin, että haihtuvat aineet alkavat vapautua ja palavaa kaasua alkaa muodostua. Neljännessä vaiheessa kiinteät jäännökset eli koksit palavat voimakkaasti arinan päässä. (Enerstena 2020.)

Polttoaine syötetään kattilan etupesään ja se levittyy tasaisesti arinalle. Primääri-ilmaan sekoitetaan kiertokaasua ja sitä syötetään myös etupesään. Kiertokaasun syöttäminen tekee kuonasta hyvänlaatuisen, ja välttää suuria ainemuodostumia etupesän ja arinan seinällä. Kiertokaasulla voidaan säädellä etupesän lämpötilaa. (Enerstena 2020.)

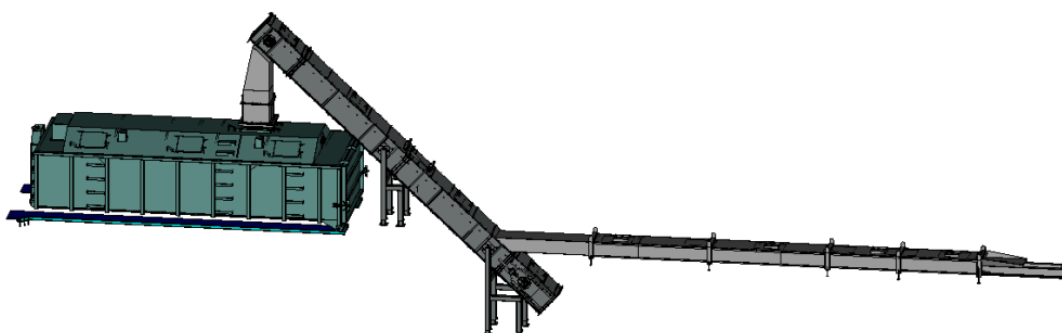
5.6 Tuhkan poistojärjestelmä

Arinan alla on tuhkakuljetin. Arinan läpi putoaa tuhkaa, joka kerätään ja kuljetetaan etupesästä tuhkakuljettimelle, mikä toimii hydraulisesti. Arinan takaosassa on myös tuhkakuljetin, missä palamattomat kontaminaatiot, kuten kivet ja metallit, poistetaan ilmatiiviin, painovoimaisen venttiilin avulla. Suurin tuhkamäärä lähtee arinasta tältä kuljettimelta. (Enerstena 2020.)

Tuhkanpoistojärjestelmä on automatisoitu ja kaksiosainen: etupesän pohjatuhkan poisto, sekä lentotuhkan poisto letkusuodattimesta. Hydraulinen kolakuljetin kuljettaa etupesän pohjalla olevan tuhkan ketjutuhkakuljettimeen. Kuljetin toimii hydraulisesti ja liikkuu jaksottain eteen- ja taaksepäin. (Enerstena 2020.)

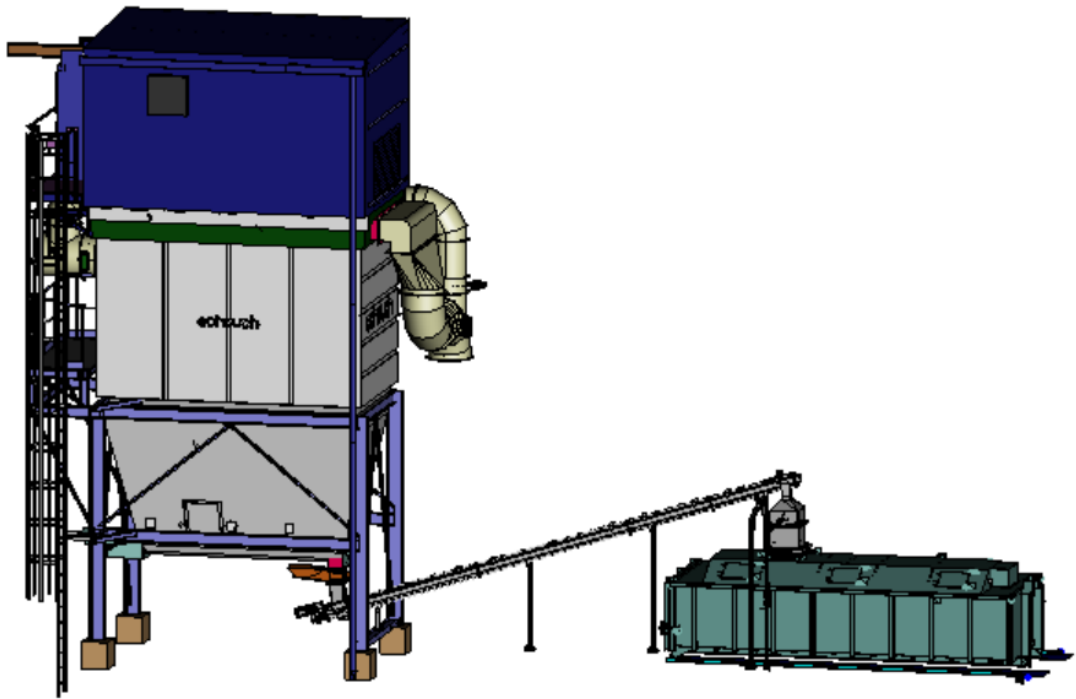
Ketjukolakuljetin kuljettaa tuhkan kolakuljettimelta tuhkakonttiin. Kolakuljetin on hydraulinen. Tuhkakontteja on kolme: ylitekontti, petituhkakontti ja lentotuhkakontti. Konteissa on tasausruuvi, joka auttaa tuhkaa jakautumaan tasaisesti kontissa. Kontin ollessa täynnä, pitää se tyhjentää osoitettuun paikkaan. Järjestelmä ei toimi ilman tuhkakonttia kuin alle 2 tuntia ja jos konttia ei ole asetettu paikalleen, ketjukolakuljetin ei käynnisty.

Pohjatuhkan poistojärjestelmä:



Kuva 11. Pohjatuhkan poistojärjestelmän mallikuva (Enerstena 2020)

Lentotuhkajärjestelmään kuuluu letkusuodatin, tuhkaruuvi ja lentotuhkakontti. Letkusuodatin vähentää savukaasujen kiinteiden hiukkasten pitoisuuksia. Letkusuodattimen suppilon alaosaan kertyy absorboimisaineen kiinteitä hiukkasia. Ruuvikuljetin kerää suppilon pohjalta kaikki tuhkat ja siirtää ne sulkusyöttimelle. Suodatinsuppiloa voi käyttää absorboimisaineen ja lentotuhkan lyhytaikaiseen varastointiin tuhkakontin vaihdon aikana. (Enerstena 2020.)



Kuva 12. Lentotuhkan poistojärjestelmä, mallikuva (Enerstena 2020)

Laitoksella on painelaitejärjestelmä, jota käytetään nuohoukseen, venttiilien säätöön sekä mittalaitteiden pölyn puhaltamiseen.

Kattilalaitos on kytkettyä dieselgeneraattoriin ja sähköverkkoon. Generaattori käynnistyy, jos kattilalaitosjärjestelmä ei jostain syystä aja sähköverkosta peräisin olevaa sähköä.

Generaattoria ei ole suunniteltu kokonaiseksi voimanlähteeksi kattilaprosessijärjestelmässä, vaan sitä käytetään turvalliseen ja hallittuun alasajoon. (Enerstena 2020.)

6 Työn tulokset

6.1 Haasteet polttoprosessissa

Aikaisemmin on jo tunnistettu kauranpolton ongelmia, kuten siitä tuleva suuri tuhkamäärä ja tuhkan sintraatumisen eli laavaantumisen. Kaurasta syntyvällä tuhalla on myös alhainen sulamispiste. (Yle 2014.) Lisätutkimuksien tarve on havaittu vuonna 2005. Esimerkiksi viljan poltosta syntyvien savukaasujen syövyttävyyteen ja päästöihin ei ole perehdytty. Viljassa on kymmenkertainen määrä rikkiä ja klooria puuhun verrattuna. (Kaleva 2005.)

Alla olevassa taulukossa on listattu kauran kuoren polttoprosessiin liittyviä haasteita ja niiden syitä. Kosteus on parametri, joka vaikuttaa eniten polttoaineen lämpöarvoon. Korkea polttoaineen kosteuspitoisuus voi aiheuttaa savukaasumäärän suurenemisen ja palamislämpötilan alenemisen. Kattilan teho voi alentua suuren savukaasumäärän takia, kun lämmönsiirto on muuttunut. (Strömberg 2006, 27.)

HAASTEET	SYYT
Savukaasumäärän suureneminen	Polttoaineen kosteuspitoisuus
Palamislämpötilan aleneminen	Polttoaineen kosteuspitoisuus
Kattilan tehon alentuminen	Savukaasumäärän lisääntyminen
Kattilan kulumisen, korroosio	Polttoaineessa oleva rikki
Pintojen esim. kuljettimien syöpyminen	Polttoaineen alhainen pH
Polttoainesiilon tukkiintuminen	Polttoaineen kosteus, tärytekniikan toimivuus
Kattilan säätöjen/parametrien optimointi	Polttoaineen kosteuden vaihtelu
Polttoaineen tuhkan ”sintraantumisen”	Tuhkan alhainen sulamispiste
Polttoaineen liiallinen kosteus	Kuivauspuristimien toiminta
NOx- päästöjen syntyminen	poltoissa syntyvät savukaasut
Kattilan muurausten kulumisen	liialliset kattilan ylös- ja alasajot
Hallitsematon palaminen, takapaloriski	voi johtua monista syistä

Taulukko 3. Laitoksen haasteet ja haasteiden syyt

Polttoaine on kemiallisesti käsiteltyä ja se sisältää rikkihappoa. Rikki on syövyttävää, ja voi aiheuttaa kattilan korroosiota. Samasta syystä johtuen polttoaineella on alhainen pH, joka kuluttaa esimerkiksi laitoksen kuljettimien pintoja. Laitoksen polttoainesiilo ei ole toi-

minut odotusten mukaisesti, sillä kaurankuori saattaa jäädä kōnteiksi ja tukkeeksi siiloon. Tämä voi johtua polttoaineen liiallisesta kosteudesta, tai polttoainemikseristä. (Välimaa 2021.) Polttoainesiilo voi mennä tukkoon, jos sinne pääsee liian kosteaa polttoainetta tai jos Fazerin puolella olevat kuivauspuristimet eivät jostain syystä toimi. Kuivauspuristimet vaikuttavat suuresti polttoaineen kosteuteen. Jos puristimen momentti ei toimi, polttoaine jää märäksi ja jatkaa matkaa kohti Lahti Energian ohituskonttia. Polttoainesiilossa on täryjä, jotka pitää ohjelmoida kolmella eri variaatiolla. Jos niitä ei ohjelmoisi toimimaan tietysti järjestyksessä, täryt pakkaisivat polttoainetta enemmän kasaan. Jos polttoaineen kosteus vaihtelee paljon, laitoksen operointisäädöt eivät pysy perässä ja ne täytyy säätää uudelleen. (Kuusrainen 2021.) Kauran poltosta tulee suuri määrä tuhkaa, jolla on alhainen sulamispiste. Tämä aiheuttaa tuhkan laavaantumisen.

Jokaista uutta laitosta käyttöönottaessa voi ilmentyä erilaisia haasteita. Kattilan ylösajaminen, eli kylmän kattilan lämmittäminen tulille, rasittaa ja kuluttaa kattilaa. Teräksen lämpölaajeneminen on suurempi kuin muuratun kiven, joten liiallinen kattilan lämmittäminen kylmästä kuumaksi tekee vahinkoa muurauksille. (Välimaa 2021.)

6.2 Ratkaisuvaihtoehdot

Polttoaineen liialliseen kosteuteen voidaan vaikuttaa sekoittamalla siihen lisää prosessipölyä, jolloin saadaan kostetutta alemmaksi. Fazerin on mahdollista tuoda lisää pölyä putkea pitkin Fazerin myllyltä erikseen (Ravanko 2021). Todettiin, että pölyä lisäämällä polttoaineen kosteus laski 50 prosentista 39 prosenttiin, eli kokonaiskosteus tippui noin 10 prosenttiyksikköä. Pölyn lisääminen muutti polttoaineen kosteuden lisäksi sen väriä. (Kuusrainen 2021.)

Polttoaineen alhainen pH on huomioitu laitoksen rakenteissa valitsemalla haponkestävää terästä. NO_x-päästöjä hallitaan lisäämällä prosessiin ureaa. Tuhkan sulamispisteeseen ja rikkiin vaikutetaan lisäämällä prosessiin kalkkia. Sitä lisätään savukaasusuodattimiin ja polttoaineen sekaan. Laitos on varautunut hallitsemattomaan palamiseen kaksiosaisella sammutusjärjestelmällä, joka on lämpötilaohjattu. Palamislämpötila saadaan pidettyä aisoissa kierrättämällä kylmiä savukaasuja kattilassa. Takapaloriski on tässä laitoksessa epätodennäköinen, sillä syöttösiilossa sijaitsee kaksinkertainen palopelti, joista toinen on aina kiinni. Pellit toimivat hydraulisyylintereillä ja tämä järjestelmä on tarkoitettu estämään takapalon leviäminen etupesästä kuljettimeen ja polttoaineen varastosiiloon. (Enerstena 2020.) Polttoaineen kosteuden raja-arvot tulisi laittaa pienemmäksi, niin kosteus ei vaihtelisi niin suuresti ja vaikuttaisi kattilan operointisäätöihin.

Typen oksidien (NO_x) pitoisuuksiin vaikutetaan järjestelmällä, joka toimittaa arvioidun määrän selektiivistä reagenssia kattilaan tai etupesään pitääkseen tavoitellun NO_x-pitoisuusrajan. Polttoaineessa olevat palamattomat kontaminaatiot, ja arinan tuhka poistetaan venttiilin avulla etupesästä tuhkakuljettimelle. (Enerstena 2020.)

Jotta kattilan muuraukset eivät kuluisi ylös- ja alasajoissa, täytyy kattila lämmittää rauhallisesti tiettyyn lämpötilaan ja tarkkailla ettei se nouse liian nopeasti korkeammaksi. Siksi kattilaa ajetaan ylös esimerkiksi puuklapeilla ja prosessi on hidas. Tämän lisäksi kattilan kulumista ennaltaehkäistään määräaikaishuolloilla. Kattilan määräaikaistarkastukset tehdään 2 vuoden välein, missä tarkastetaan ylä- ja alaraja ja ajetaan kattila ylipaineeseen sekä katsotaan, että varoventtiilit toimivat. Kattilan sisäpuolitarkastukset tehdään 4 vuoden välein, missä mitataan putkien paksuus mahdollisen kulumisen takia. (Välimaa 2021.)

7 Tulosten pohdintaa

Polttoaineen kosteus aiheuttaa laitokselle monenlaisia haasteita. Raja-arvot on tietysti annettu ja jos polttoaine ei osu siihen väliin, se ohjataan ohituskonttiin. Kosteutta saadaan alemmaksi, kun lisätään prosessipölyä polttoaineen sekaan. Sallitut raja-arvot perustuvat prossin toimivuuden varmistamiseen. Toisaalta kosteuden runsas vaihtelu näiden rajojen sisälläkin aiheuttaa lisää työtä prosessin operointia ja säätöjä ajatellen. Polttoaine ei myöskään saa olla liian kuivaa. Hyvän kosteuden saavuttamiseksi täytyy varmistaa laitteiden toimivuus. Fazerilla olevat kuivauspuristimet ja niiden optimaalinen toiminta ovat tärkeässä asemassa polttoaineen kosteutta ajatellessa. Laitoksen rakenteessa on huomioitu polttoaineen happamuus valmistusmateriaaleissa. Polttoainesilo täytyy ohjelmoida tärytekniikalla toimimaan niin, että se hajottaa polttoainetta pienempiin jakeisiin eikä pakkaa sitä könteiksi. Polttoaineen kosteuden vaihtelu on yksi suurimmista haasteista laitoksella. Kattilalle on asetettu tietyt parametrit toimivuuteen polttoaineen mukaan, ja jos kosteus vaihtelee, parametrejäkin pitää säädellä uusiksi. Suurimman ongelman ratkaisemiseksi polttoaineen kosteus ei saisi vaihdella niin paljon. Tämä on Fazerin pään haaste, johon Lahti Energia ei voi suoranaisesti vaikuttaa. Onko esimerkiksi mahdollista saada tulevaisuudessa tasalaatuista polttoainetta, vai tuleeko kosteus ja koostumus aina vaihtelevaan raja-arvoissa. Polttoainesiloon mentäessä ja ylipäätään laitoksella, jossa käsitellään rikkihapolla käsiteltyä polttoainetta, on syytä muistaa oikeanlaiset suojarusteet ja yleinen siisteys, työturvallisuus sekä henkilökunnan perehdytys. Polttoainesiilossa voi esiintyä viljahometta, joten säiliötyöluvan omaavalla työntekijällä on oltava maski siiloon sisään mennessä. Kun ksylitolitehdas alkaa pyörimään pysähtymättä niin, että polttoainetta saadaan Lahti Energian laitokselle tarpeeksi jatkuvalla syötöllä, saadaan lisää tietoa polttoaineen vaikutuksista. Ei voida vielä tietää kuluuko tarkastuksista ja huolloista huolimatta kattilan muuraukset tai kattilan putkisto ennustettua enemmän tai nopeammin.

8 Yhteenveto

Kaupungin omistuksessa oleva Lahtelaisten oma energiayhtiö Lahti Energia Oy ja 130-vuotias Fazer Oy ovat tehneet energiasopimuksen kautta yhteistyötä jo vuodesta 1995. Yhteistyö jatkuu, sillä vuonna 2019 Fazer Oy teki 50 miljoonan investoinnin ja aloitti rakentamaan ksylitolitehdasta Lahteen. Tehdas käyttää raaka-aineenaan Fazerin myllyltä tulevaa kauraa, josta jäljelle jää kemiallisesti käsiteltyä kauran kuorta. Tämä kauran kuori menee polttoaineeksi Lahti Energian biolämpölaitokseen, joka tuottaa teollisuushöyryä ja kaukolämpöä Fazerin tuotantolaitoksille. Koko kaura käytetään alusta loppuun hyödyksi ja täten harjoitetaan kiertotaloutta parhaimmillaan. Kauran kuori polttoaineena on kuitenkin todettu haastavaksi, eikä aikaisempia tutkimuksiakaan löydy paljon. Lisäksi tämä polttoaine on uudenlainen kokeilu, sillä se on kemiallisesti käsitelty ja sisältää rikkihappoa.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kauran kuorta polttoaineena ja sen vaikutusta polttoprosessiin. Prosessi alkaa Fazerin Myllyltä, josta kauran kuoret kuljetetaan Fazerin Ksylitolitehtaalle. Kauran kuori hydrolysoidaan kuoreissa olevan hemiselluloosan pilkkomiseksi. Hydrolyysin jälkeen lisätään jonkin verran lipeää ja jäljelle jäänyt hydrolysoimaton kauran kuori erotetaan liuksesta. Jäljelle jäänyt kuori sisältää selluloosaa ja ligniiniä ja ne muodostavat polttoaineen voimalaitokselle. Tähän prosessoituun kuoreen lisätään myös pölyä, joka on peräisin pölynpoistoprosessista ja on koostumukseltaan pölymäistä jauhoa. Pöly ja edellä mainittu prosessoitu kuori sekoitetaan niin sanotussa ”mixerissä” ja kuljetetaan sen jälkeen Lahti Energian polttoainesiiloon tai -konttiin.

Kauran kuorta polttavassa Lahti Energian biolämpölaitoksessa, joka sijaitsee Ksylitolitehtaan vieressä, toimii 8 megawatin biokattila ja lisänä saman tehoinen vara- ja huipputehokapasiteetti, joka toimii maakaasulla. Kaukolämpö toimii varalämmönlähteenä muun muassa laitoksen huoltojaksojen aikana. Polttoaine saapuu Fazerilta kuljettimia pitkin Lahti Energian polttoainesiiloon tai ohituskonttiin. Siilosta polttoaine jatkaa matkaa tulipesään, missä itse palaminen tapahtuu. Laitoksella on tuhkanpoistojärjestelmä, joka ottaa pohja- ja lentotuhkat talteen.

Laitoksella on havaittu polttoaineesta johtuvia haasteita. Polttoaine on käsitelty rikkihapolla, joten se on pH-arvoltaan hapanta. Lisäksi tuhkalla on alhainen sulamispiste, joka aiheuttaa tuhkan sintraantumista. Rikkihappoon ja tuhkan alhaiseen sulamispisteeseen vaikutetaan lisäämällä kalkkia polttoaineeseen ja savukaasusuodattimiin. Laitoksella käytetään haponkestäviä materiaaleja polttoaineen alhaisen pH-arvon vuoksi. Polttoaineen kosteus on vaikuttanut polttoainesiihon toimivuuteen ja kattilan operointisäätöihin. Kosteutta saadaan alemmaksi lisäämällä prosessipölyä polttoaineen sekaan. Prosessissa syntyy typen oksideja, NO_x-päästöjä, joihin vaikutetaan lisäämällä prosessiin ureaa. Jos polttoai-

ne on liian kosteaa, se ohjataan ohituskonttiin. Määräaikaistarkastuksilla ja huolloilla varmistetaan, ettei kattila ja sen putkisto ole kulunut liikaa. Tämä prosessi on vasta alkamaisillaan, eikä kaikkia haasteita voida vielä tunnistaa tai ratkaista. Ei vielä tiedetä, saadaanko esimerkiksi polttoaineen kosteuden vaihtelu hallintaan tai prosessi toimimaan suunnitelmien mukaisesti. Useamman vuoden käytön jälkeen olisi syytä tarkastella ongelmakohdat uudelleen ja syventyä enemmän rikkihappoon ja sen vaikutuksiin.

Lähteet

Alakangas, E ym. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia.

VTTresearch. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Energiamailma. Kaukolämpö ja -jäähdytys. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

<https://energiamailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>

Energiateollisuus. Energiatuotannon ympäristövaikutukset. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/energiantuotannon_ymparistovaikutukset

Energiateollisuus. Teollisuuspäästödirektiivi. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

<https://energia.fi/energiapolitiikka/ymparistolainsaadanto/teollisuuspaastodirektiivi>

Energiavirasto. Kestävyys ja liikennepolttoaineiden päästöjen vähentäminen. Viitattu

26.11.2021. Saatavissa [https://energiavirasto.fi/biomassojen-ja-biopolttoaineiden-](https://energiavirasto.fi/biomassojen-ja-biopolttoaineiden-kestavyys)

[kestavyys](https://energiavirasto.fi/biomassojen-ja-biopolttoaineiden-kestavyys)

Enerstena. 2020. kattilalaitoksen kuvaus ja käyttöohjeet. Lahti Energia Oy:n sisäiset materiaalit

Eskonen H. 2018. Helsingillä on mahdoton tehtävä: Pitäisi korvata miljoona tonnia kivihiiltä vaihtoehtoilla, joita ei ole edes olemassa. Yle. Viitattu 1.12.2021. Saatavissa

<https://yle.fi/uutiset/3-10484921>

FazerGroup. Fazer-konsernin vuosikatsaus 2019. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

https://www.fazergroup.com/globalassets/global/fazergroup/about-us/annual-review-2019/fg_annual-review_2019_fi.pdf

FazerGroup. Fazer-konsernin vuosikatsaus 2020. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

https://www.fazergroup.com/globalassets/global/fazergroup/reports--governance/reports--presentations/fi/fg_annual-review_2020_fi.pdf

Fazergroup. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

<https://www.fazergroup.com/fi/>

Fazermills. Innovaatiolla parempaan tulevaisuuteen: Fazerin ksylitolitehdas voitti Tähtiteko 2020 -kilpailun. Viitattu 2.12.2021. Saatavissa

<https://www.fazermills.com/fi/ajankohtaista/innovaatioilla-parempaan-tulevaisuuteen-fazerin-ksylitolitehdas-voitti-tahtiteko-2020--kilpailun>

Huhtinen M., Korhonen R., Pimiä T. & Urpalainen S. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Hunt, K. 2017. How our oats provide power and purpose. Podcast. Taste of General Mills. Viitattu 1.12.2021. Saatavissa

<https://blog.generalmills.com/2017/04/how-our-oats-provide-power-and-purpose/>

Kaleva. 2005. Kaura palaa myös lämpökattilassa. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://www.kaleva.fi/kaura-palaa-myos-lampokattilassa/2132202>

Kuusrainen, L. 2021. Biokattilalaitoksen työmaapäällikkö. STEP Oy. Haastattelu 28.10.2021

Lahti Energia. Huoletonta energiaa vastuullisesti. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/yritysesittely/>

Lahti Energia. Lämpöä ja sähköä paikallisista polttoaineista. Viitattu 1.10.2021. Saatavissa

<https://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/energiantuotanto/>

Lahti Energia. 2019. Lahti Energia toimittaa Fazerille uuden energiatuotantolaitoksen. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://www.lahtienergia.fi/tiedotteet/fi-ajankohtaista-tiedotteet-lahti-energia-toimittaa-fazerille-uuden-energiantuotantolaitoksen/>

Motiva. 2020. Bioenergian käyttö. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto

Power. 2006. Case Histories: Co-Firing Coal and Oat Hulls Reduces Emissions at University Power Plant. Viitattu 10.10.2021. Saatavissa

<https://www.powermag.com/case-histories-co-firing-coal-and-oat-hulls-reduces-emissions-at-university-power-plant/>

Ravanko, V. 2021. Tehtaan johtaja. Fazer Oy. Haastattelu 1.11.2021.

Researchgate. 2015. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

https://www.researchgate.net/figure/BioGrate-including-the-stoker-screw-and-a-water-filled-ash-basin-underneath-the-grate_fig1_268079772

SFS. Tulitorvikattilat Osa 6: Vaatimukset kattilan varusteille. Viitattu 25.11.2021. Saatavissa <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/168739.html.stx>

Strömberg, B. 2006. Fuel Handbook. Värmeforsk. Viitattu 18.11.2021. Saatavissa <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20745827>

Säättö. ATEX-luokitukset. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://saato.fi/ratkaisut/atex-luokitukset/>

Tukes. 2016. Uudistettu painelaitedirektiivi tuo uusia velvoitteita painelaitteiden valmistajille. Viitattu 1.12.2021. Saatavissa <https://tukes.fi/-/uudistettu-painelaitedirektiivi-tuo-uusia-velvoitteita-painelaitteiden-valmistajil-1>

Ullakko, A. 2021. Uusi 10 miljoonan lämpölaite voi vanheta käsiin, jos puusta tulee liian arvokasta poltettavaksi- Kaukolämpöjohtaja: ” Maailma muuttuu liian nopeasti”. Yle. Viitattu 7.10.2021. Saatavissa <https://yle.fi/uutiset/3-12041325>

Välimaa, T. 2021. Biokattilalaitoksen operaattori. STEP Oy. Haastattelu 8.11.2021.

Wikipedia. 2019. ATEX. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://fi.wikipedia.org/wiki/ATEX>

Wikipedia. 2021. Kaura. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kaura>

Wikipedia. 2020. Lämpölaite. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa <https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6laitos>

Wikipedia 2018. Lämpöarvo. Viitattu 1.12.2021. Saatavissa https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6arvo#Eri_aineiden_l%C3%A4mp%C3%B6arvoja

Wikipedia. 2018. Säänkestävä teräs. Viitattu 1.12.2021. Saatavissa https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4nkest%C3%A4v%C3%A4_ter%C3%A4s

Yle. 2014. Kaura on nyt niin halpaa, että sitä kannattaa polttaa uunissa- voimalaitokset ovat vielä varovaisia. Viitattu 26.11.2021. Saatavissa

<https://yle.fi/uutiset/3-742458>

Liite 1. Polttoaineanalyysi

näytteen kuvaus	näyte	diagnostiikka	Asiakkasnäytteenotto	Näytteenottopiste		
Analyyssi		Menetelmä	Yksikkö	Tulos	(MU)	Raja-arvo
Alkuperäisestä näytteestä						
Kokonaiskosteus	GQ (a)	SFS-EN ISO 18134-2	%	52,4	4.2	
Tilavuuspaino	GQ	SFS-EN 13040	g/l	385	35	
Gravimetriset						
Tuhka (550°C), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 18122	%	8,1	0.7	
Haihtuvat aineet, kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 18123	%	78,1	2.3	
Lämpöarvomääritys						
Kalorimetrisen lämpöarvo (qV) kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 18125	MJ/kg	18,61	0.19	
Tehollinen lämpöarvo (qp), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 18125	MJ/kg	17,33	0.17	
Tehollinen lämpöarvo (qp), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 18125	MWh/tonni	4,813	0.048	
Tehollinen lämpöarvo (qp), saapumistila	GQ (a)	SFS-EN ISO 18125	MJ/kg	6,97	0.07	
Tehollinen lämpöarvo (qp), saapumistila	GQ (a)	SFS-EN ISO 18125	MWh/tonni	1,935	0.019	
Alkuainemääritykset						
Rikki (S), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 16994	%	0,30	0.03	
Hilli (C), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 16948	%	46,0	0.9	
Vety (H), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 16948	%	5,9	0.3	
Typpi (N), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 16948	%	0,71	0.10	
Happipommihajotus	GQ (a)	SFS-EN ISO 16994 mod.		Tehty		
Kloori (Cl), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 16994 mod.	%	0,018	0.005	
Fluori (F), kuiva näyte	GQ (a)	SFS-EN ISO 16994 mod.	%	<0,001	0.00	
Bromi (Br), kuiva näyte	GQ	SFS-EN ISO 16994 mod.	%	<0,001		
Kokonaiset märkäpoltolla						
Mikroaaltohajotus HNO3/H2O2/HF	RZ (a)	Sis. men. EF3017 , Hajotus (mikroaalto)		Tehty		
Arseni (As)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	<1	-0.010	
Kadmium (Cd)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	<0,2	0.00060	
Kromi (Cr)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	7,8	3.9	
Kupari (Cu)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	<10	2.5	
Lyijy (Pb)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	<1	0.041	
Elohopea (Hg)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	<0,1	-0.0075	
Nikkeli (Ni)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	3,0	1.5	
Sinkki (Zn)	RZ (a)	SFS-EN ISO 16968	mg/kg ka	15	7.5	
Liukoiset alkuaineet						
Näytteenottopiste						
Analyyssi		Menetelmä	Yksikkö	Tulos	(MU)	Raja-arvo
Liukoiset alkuaineet						
pH	GQ	SFS-EN 13037		3,9	0.3	
Muut						
Tuhkautus tehty	GQ	SFS-EN ISO 21404	°C	550		
Kutistumislämpötila (SST)	GQ	SFS-EN ISO 21404	°C	1330		
Muodonmuutoslämpötila (DT)	GQ	SFS-EN ISO 21404	°C	>1450		
Puolipallolämpötila (HT)	GQ	SFS-EN ISO 21404	°C	>1450		
Sulamislämpötila (FT)	GQ	SFS-EN ISO 21404	°C	>1450		
Huomautukset						
Asiakirjojen osittainen kopioiminen on kielletty. Testausulos koskee vain tutkittua näytettä. Akkreditoituidut menetelmät on arvioitu tutkimuksen suorittaneen laboratorion oman maan akkreditointielimen toimesta. Tämä tutkimustodistus on luotu sähköisesti ja se on tarkastettu ja hyväksytty. Mittausepävarmuuksien osalta lisätietoja saatavilla pyydettyäessä.						
# = tulos poikkeaa viitearvosta						
[] = Mahdolliset viitearvot ovat tuloksen perässä hakasuluissa.						
GQ = Analysoiva laboratorio on Eurofins Environment Testing Finland (Jyväskylä).						
(a) = Analyysit on tehty akkreditoitulla menetelmällä (SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T039).						
RZ = Analysoiva laboratorio on Eurofins Environment Testing Finland (Lahti).						
(a) = Analyysit on tehty akkreditoitulla menetelmällä (SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T039).						