
LIIKUTELTAVA JÄTTEENPOLTTOLAITOS

MIKLINE OY




Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikka

Visamäki, kevät 2016

Kimmo Oksanen



VISAMÄKI
Rakennustekniikka
Infra

Tekijä	Kimmo Oksanen	Vuosi 2017
Työn nimi	Liikuteltava jätteenpolttolaitos	

TIIVISTELMÄ

Ensimmäisenä ajatuksena opinnäytetyön taustalla on jätteen kuljettamistarpeen vähentäminen. Jätettä syntyy suuria määriä esimerkiksi isoilla rakennustyömailla ja kauppakeskuksissa. Opinnäytetyön tilaajana oli Forssalainen jätealan yritys Mikline. Miklinen tavoitteena oli löytää toimiva menetelmä jätteen polttamiseen paikan päällä. Järjestelmän tuli olla siirrettävissä kuorma-autoilla ja muunneltavissa asiakkaan mukaan. Opinnäytetyöhön etsittiin olemassa olevia toimivia tekniikoita pääasiassa puun ja pahvisen pakkausjätteen käsittelyyn.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin kolmeen yleisimpään käytössä olevaan jätteenpolttotekniikkaan, arinapolttoon, leijupetipolttoon ja kaasuttamiseen. Työssä käsiteltiin myös erilaisia jätteen esikäsittelymenetelmiä sekä polttoprosessin lopputuotteita.

Opinnäytetyössä suunniteltiin toimiva jätteenpolttojärjestelmä käyttämällä olemassa olevia tekniikoita. Laitteiston osien toimittajien tuli olla kansainvälisiä toiminta- ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Laitteistoa voidaan muuntaa jätejakeen mukaan ja se on helppoa kuljettaa tieverkostoa pitkin kuorma-autoilla. Kontteihin sijoitettu laitteisto on helppo kuljettaa myös laivalla toiseen maahan.

Johtopäätöksenä voidaan todeta kaasuttamisen olevan toimivin ratkaisu tutkituista menetelmistä. Kaasutuksen lopputuotteet voidaan myydä eteenpäin ja polttoprosessin tuottama kuona voidaan vielä polttaa isommassa polttolaitoksessa.

Prosessi on toimiva jätteen määrän vähentämiseen paikan päällä ja kuljetustarpeen vähentämiseen. Menetelmän käyttöönotto asettaa kuitenkin vaatimuksia jätteen tuottajalle esikäsittelyn osalta ja haasteena on Suomen ja EU:n lainsäädäntö. Laitoksen käyttöönotto onkin helpompaa aluksi EU:n ulkopuolella esim. Venäjällä. Tekniikan kehittyessä laitteisto on omiaan muidenkin hiilipohjaisten jätejakeiden käsittelyyn.

Avainsanat Jätteiden hyötykäyttö, jätteenpoltto, jätteenkäsittely, kaasutuspoltto.

Sivut 25 s.

Visamäki
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

Author	Kimmo Oksanen	Year 2017
Subject of Bachelor's thesis	Transferable waste incineration facility	

ABSTRACT

Big shopping malls and construction sites produce huge amounts of waste, wood and cardboard. There is a need to minimize the transporting of waste. This Bachelor's thesis was commissioned by Mikline which is a waste disposal company in Forssa. Their goal was to find a working method to incinerate waste on the spot. The facility needed to be transferable by trucks and configurable to meet the needs of the customer. The aim of the thesis was to study the existing techniques to treat wood and cardboard waste and design an incineration technique.

The theoretical part of the thesis focuses on three different incineration methods, furnace bed, fluidized bed and gasification. It also covers different kinds of waste pretreatment methods and end products from the incineration.

In the thesis an operating incineration method was designed by using existing techniques. Equipment suppliers were supposed to be international to increase the maintenance liability abroad. The equipment can be modified to treat different types of waste. The equipment is fitted in containers and it is also easy to transport by sea to some other country.

As a conclusion it can be stated that the best technique for incineration is gasification. End products from gasification can be sold and all the slag can be burned in a bigger incineration facility.

The process is functional for reducing the amount of waste on the spot and minimizing the need of transportation. The introduction of the method sets demands on the waste producer. The biggest challenge is, however, the legislation of Finland and the EU. The first commissioning of the facility will be easier outside the EU, in Russia for example. The equipment will be suitable to treat all carbon based waste when techniques develop.

Keywords Utilization of waste, waste incineration, waste treatment, gasification.

Pages 25 p.



MÄÄRITELMÄT

Agglomerointi	Tekniikka jolla kasvatetaan jauheen raekokoa.
Pyrolyysi eli kuivatuslaus	Orgaanisia aineita hajotetaan kuumentamalla hapettomasti.
Inertti aines	Aine joka ei osallistu reaktioon eli on reaktiokyvytön.
Ominaislämpökapasiteetti	Materiaalin kyky sitoa lämpöenergiaa suhteessa massaansa $J/(K \cdot kg)$.
Höyrystyslämpö	Lämpöenergian määrä joka vaaditaan yhden moolin höyrystämiseen materiaalin omassa höyrystyslämpötilassa kJ/mol .
Inertti leijumateriaali	Lämpöä sitova leijupedin materiaali, joka ei itse muutu prosessissa.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA RAJAUS	1
3	JÄTTEENPOLTTO SUOMESSA TÄNÄÄN	1
3.1	Kustannukset	2
3.2	Lainsäädännön asettamat haasteet.....	2
4	POLTTOTEKNIIKAT	2
4.1	Leijupolttto	3
4.1.1	Leijupolton haasteet.....	4
4.2	Arinapolttto	4
4.2.1	Arinapolton haasteet	5
4.3	Kaasutuspolttto	6
4.4	Kaasutusmenetelmät.....	6
4.4.1	Torrefiointi	7
4.4.2	Pyrolyysi.....	7
4.4.3	Kaasutuspolttto	8
5	POLTTOTEKNIIKAN VALINTA	8
5.1	Laitteiston koko	8
5.2	Lopputuote	9
5.3	Monipuolisuus.....	9
6	SIIRRETTÄVÄ KONTTI	10
6.1	Mitat	10
6.2	Konttien määrä	10
7	ESIKÄSITTELY	11
7.1	Materiaalin kosteus	11
7.1.1	Kuivaus.....	11
7.2	Esikäsitteilykontti.....	12
7.2.1	Murskain.....	13
7.2.2	Kuljettimet.....	14
7.2.3	Jätejakeen syöttöaukko	17
7.3	Prosessikontti	18
7.3.1	Ilmalukot.....	18
7.3.2	Kaasutuskammio	18
7.3.3	Talteenotto	19
7.3.4	Generaattori ja sähköjärjestelmät	20
7.3.5	Poltin.....	20
8	ENERGIAN HYÖTYKÄYTTÖ	21
8.1	Jätteestä lämpöä.....	22
8.1.1	Kaasutuksesta sähköksi	22

9 JOHTOPÄÄTÖKSET	22
LÄHTEET	24
HAASTATTELUT	25

1 JOHDANTO

Euroopan isoimmissa kaupungeissa on jätteenpolttaminen aloitettu jo 1800-luvulla. Aikakaudella oli selkeä tarve parantaa hygieniaoloja. Jätteenpoltto oli menetelmänä helppo ja turvallinen. Jätteidenpolton savukaasujen haittavaikutukset olivat tuntemattomat ja jätteen tilavuutta saatiin helposti pienennettyä. Prosessissa syntyvän energian hyödyntäminen on tullut ajankohdaisesti vasta 1970-luvulla olleen öljykriisin myötä. (Hänninen 2009)

Nykyään jäteala on jatkuvassa murroksessa mentäessä kohti saasteetonta aikakautta. Jätteitä ei saisi tuottaa ja kaikki pitäisi kierrättää. Jätelainsäädännön tiukentuessa on entistä vaikeampaa löytää kaikelle tuotettavalle jätejakeelle omaa lokeroa yhteiskunnassa. Ensisijaisena pidetään jätteen tuottamisen vähentämistä ja lainsäädäntö ohjaa yhteiskuntaa kohti pienempiä pakkauksia ja luontoystävällisiä vihreitä ratkaisumalleja.

Lainsäädäntö ohjaa esimerkiksi pakkausjätteen tuottajat vastaamaan omista jätejakeistaan. Uusia keräyspisteitä nousee koko ajan myös pakkausjätteelle. Rinki-ekopisteet ottavat nykyään vastaan kartonki-, lasi- ja metallipakkauksia.

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA RAJAUS

Opinnäytetyössä keskitytään tekniseen toteuttamiseen. Tarkoituksena on löytää teknisesti toimiva ratkaisu, jota voidaan hyödyntää tarvittaessa vaikka EU:n ulkopuolella. Tärkeintä on löytää ratkaisu joka on liikuteltavissa ja toteuttamiskelpoinen.

Opinnäytetyö onkin rajattu koskemaan vain tietynlaisia jätejakeita, kuten pakkausjätettä (pahvia, puuta tai muovia). Biojätteiden sekä lasin ja metallin tarkastelu on jätetty kokonaan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Ajatuksena on löytää teknisesti järkevä tapa polttaa jätettä ja samalla tuottaa hyödykkeitä. Laitos mahdutetaan konttiin, jota on helppo liikutella. Liikuteltavuutta ja muunneltavuutta laitokselle saadaan esimerkiksi useamman erilaisen kontin suunnittelulla.

Ideaalista olisi löytää tekniikka jolla voitaisiin käsitellä kaikkia jätejakeita. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kahteen jäteluokkaan. Pahvit ja jättepuu ovat suuressa osassa jätekuljetuksia sekä kauppakeskuksissa että rakennustyömailla. Koko työn ajatus on lähtenyt tarpeesta palvella rakennustyömailta ja kauppakeskuksia jätehuollon osalta.

3 JÄTTEENPOLTTO SUOMESSA TÄNÄÄN

Jätettä syntyy valtavia määriä esimerkiksi yhdyskunnissa, teollisuuslaitoksissa, kauppakeskuksissa ja rakennustyömailla. Kaikki nämä sijaitsevat

usein kaukana jätteenkäsittelylaitoksista. Jätejakeiden kuljettaminen käsittelylaitokseen on kallista ja ympäristöä kuormittavaa toimintaa. Jätteen käsittely vihreiden arvojen mukaan välittömästi syntypaikalla olisi tehokasta.

3.1 Kustannukset

Jätehuollolla on tarve vähentää kuljetuskustannuksia polttoaineen hinnan noustessa ja kilpailun kiristyessä. Kuljetuskustannukset nousevat luontaisesti isojen käsittelylaitosten valtavan tarpeen vuoksi, koska isoihin laitokseen on tuotava jätejakeet kauempaakin. Sopivaa jätettä ei yksinkertaisesti löydy riittävästi lähialueilta.

Isot jätteenpolttolaitokset eivät toimi kunnolla jätteen määrän ollessa liian alhainen. Tarve saada riittävästi jätettä poltettavaksi ja jakeiden määrän vähentäminen voivat jopa johtaa tilanteeseen, jossa kunta maksaa sopimus-sakkoja liian vähäisestä jätteen määrästä. (Vänskä, haastattelu 23.1.2016)

Markkinoilla olisi siis kysyntää tavalle vähentää jätteen käsittelyn kustannuksia. Kuljetuskustannuksien vähentäminen murto-osaan entisestä olisi huomattava edistysaskel jätehuollolle. Kuljetettavana olisi enää lopputuote, tuotettavat tuhkat ja prosessin jäänteet eli murto-osa jätteen alkuperäisestä tilavuudesta. Enää ei esimerkiksi maksettaisi jätteen sisältämän veden kuljettamisesta.

Jätejakeiden vihreämpi käsittely antaa osaltaan yritykselle myös markkinaedun nykyisellä vihreiden arvojen aikakaudella, sekä jätteen tuottajalle että käsittelijälle. Markkinaedun lisäksi jätteentuottajalla on mahdollisuus saada jopa sähköenergiaa hyötykäyttöön omasta jätteestään. Mahdollisuuksia on monia.

3.2 Lainsäädännön asettamat haasteet

Ongelmana Suomessa paikan päällä polttotekniikoilla suoritettavalle jätteenkäsittelylle on lainsäädäntö. Jätelain (L 17.6.2011/646) 8§ mukaan on yleinen velvollisuus noudattaa etusijajärjestystä. Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jätteen syntyessä on jätteen haltijan ensisijaisesti valmistettava jätejake uudelleenkäyttöä varten ja toissijaisesti kierrätettävä se. Kierrätyksen ollessa mahdotonta on jäte vasta hyödynnettävissä muulla tavoin, mukaan lukien energiana.

Polttolaitoksia ei myöskään saa asettaa esimerkiksi liian lähelle asutusta. Savukaasujen käsittelylle on omat rajoituksensa eikä jätteen käsittelyn tuottamaa jätevettä voi johtaa puhdistamattomana viemäriverkostoon. Kaiken kaikkiaan on haastavaa löytää laitteisto joka olisi toimiva ja Suomen lainsäädännön mukainen.

4 POLTTOTEKNIIKAT

Polttotekniikan valintaan vaikuttaa tekniikan olemassa olevien sovelluksien koko. Kokonaisuudessaan menetelmän tulee sopia yhteen konttiin. Esikäsitteily tulee eri konttiin. Tilaa tarvitaan sähkölaitteistolle, hälytysjärjestelmälle, antureille, tuhkan poistolle jne.

Menetelmän valintaan vaikuttaa oleellisesti myös lainsäädäntö ja mahdollisten puhdistusjärjestelmien vaatimukset. Lainsäädäntö antaa rajoitukset savukaasuille, laitoksen sijoittelulle, piipun korkeudelle, tuhkan käsittelylle, jätevesille jne.

Menetelmän kannattavuuden kannalta on oleellista saatavilla olevan raaka-aineen saanti ja laatu. Lähtökohtana on että asiakas lajittelee jätejakeet riittävällä tarkkuudella. Tekniikan tulee olla helppokäyttöinen ja riittävän huoltovapaa. Ympäristöystävällisyys korostuu tiukan lainsäädännön vuoksi.

Tutkimus keskittyy olemassa olevien tekniikoiden ominaisuuksiin ja tarjontaan. Kaikista eri menetelmistä on valittu kolme keskeisintä ja yleisimmin käytettyä menetelmää. Tarkasteluun ei oteta biojätteen käsittelyä eikä bio-reaktoreita. Biojäte rajataan kokonaan tutkimuksen ulkopuolelle ja keskitytään pahvin ja puun käsittelyyn.

Kiinteän polttoaineen palaminen voidaan jakaa kuuteen osaan:

- 1) Lämpeneminen
- 2) Kuivuminen
- 3) Haihtuvien vapautuminen
- 4) Syttyminen
- 5) Palaminen
- 6) Jäännöshiilen palaminen

(Dahlquist 2013, 6.)

4.1 Leijupoltto

Leijupoltosta on tullut eräs tärkeimmistä menetelmistä tuottaa energiaa kiinteistä polttoaineista ympäristöystävällisesti. Menetelmä soveltuu hyvin polttoaineille joita on hankalaa käsitellä muilla menetelmillä. Prosessilla voidaan käsitellä tehokkaasti polttoaineet joilla on karkea ja vaihteleva jaekoko tai muuttuvat kosteusolosuhteet. (Hämäläinen, Makkonen 2003, 1.)

Leijupoltto soveltuu huonolaatuisille polttoaineille ja mahdollistaa monipuolisen polttoaineen käytön hyvällä hyötysuhteella. Leijupolton alhaisen palamislämpötilan vuoksi typenoksidipäästöt ovat pienet. (Huhtinen 1997, 140.)

Leijukerrospoltoissa palamisreaktiot tapahtuvat pääosin paksussa ilmavirran leijuttamassa hiekkapatjassa, jonka suuri termien kapasiteetti stabiloi palotapahtumaa. Inerttinä leijumateriaalina käytetään joko polttoaineen omaa tuhkaa, hiekkaa tai jotakin muuta raemaista materiaalia. (Hämäläinen, Makkonen 2003, 1.)

4.1.1 Leijupolton haasteet

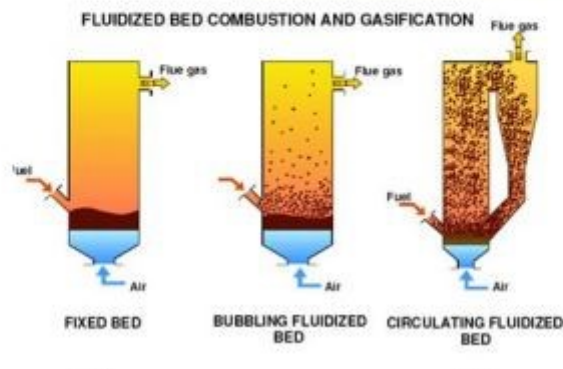
Prosessi vaatii ylläpitoa ja huoltoa. Petihiekka tulee vaihtaa riittävän usein, jotta vältetään petipartikkeleiden ja esim. alkalimetallien agglomeroituminen ja hiukkaskoon kasvaminen. Suuret agglomeraatit voivat jopa tukkia petiin tulevat polttoilmasuuttimet (Hämäläinen, Makkonen 2003, 1).

Polttoaineen partikkelien koolla ei aina ole suurta merkitystä petihiekan partikkelikokoon, sillä kattilaan syötetyn polttoaineen tilavuus on vain 1-3 % petihiekan tilavuudesta (Saarenpää 2015, 25). Leijuhiekan suuri osuus syötettävään polttoaineeseen nähdessä lisää tilan tarvetta ja ratkaisut ovatkin kookkaita. Leijuhiekka tulee myös kuumentaa, jotta se voisi auttaa palamisreaktiossa. Leijuhiekan lämmittäminen poistaa mahdollisuuden ajoittaisesta käytöstä, koska se ei ole enää kannattavaa.

Leijupolton ongelmana ovat yleensä savukaasujen mukana kulkeutuvat hiukkaset. Savukaasut kuljettavat pääosan leijupoltossa syntyvistä tuhista. Merkittävät hiukkaspäästöt vaativat tehokkaat hiukkaserottimet. Käytettyjä tekniikoita ovat sähkösuodattimet ja letkusuodattimet. (Jalovaara, Aho, Hietämäki & Hyytiä 2003, 36.)

Leijukerrostyytit

Fluidization is the operation by which solid particles are transformed into a fluidlike state through suspension in a gas or liquid*.



Kuva 1. Leijukerrospolton periaatekuva (Polttolaitteet ja kattilat 2016, 6).

4.2 Arinapoltto

Arinapoltto on hyvä tapa polttaa kiinteitä polttoaineita. Arinapoltossa kiinteä polttoaine on arinan päällä ja primäärinen palamisilma syötetään arinan alapuolelta ja sekundäärinen arinan yläpuolelta täydellisen palamisen varmistamiseksi. Arinapoltolle on lukuisia erilaisia muunneltavia ominaisuuksia polttoaineen mukaan. Arinaa voidaan esimerkiksi kallistaa ja käyttää painovoimaisesti tai polttoainetta voidaan työntää eteenpäin mekaanisesti.

Molemmat mekanismit voidaan myös yhdistää. (Wilén, haastattelu 29.3.2016.)

Arinapoltoissa tuhka poistuu pääosin pohjatuhkana. Savukaasut eivät kuljeta niin paljoa hiukkasia kuin leijupoltto. Pienissä laitoksissa käytetään usein nk. multisykloneita hiukkaserottimina. (Jalovaara, Aho, Hietämäki & Hyytiä 2003, 32.)

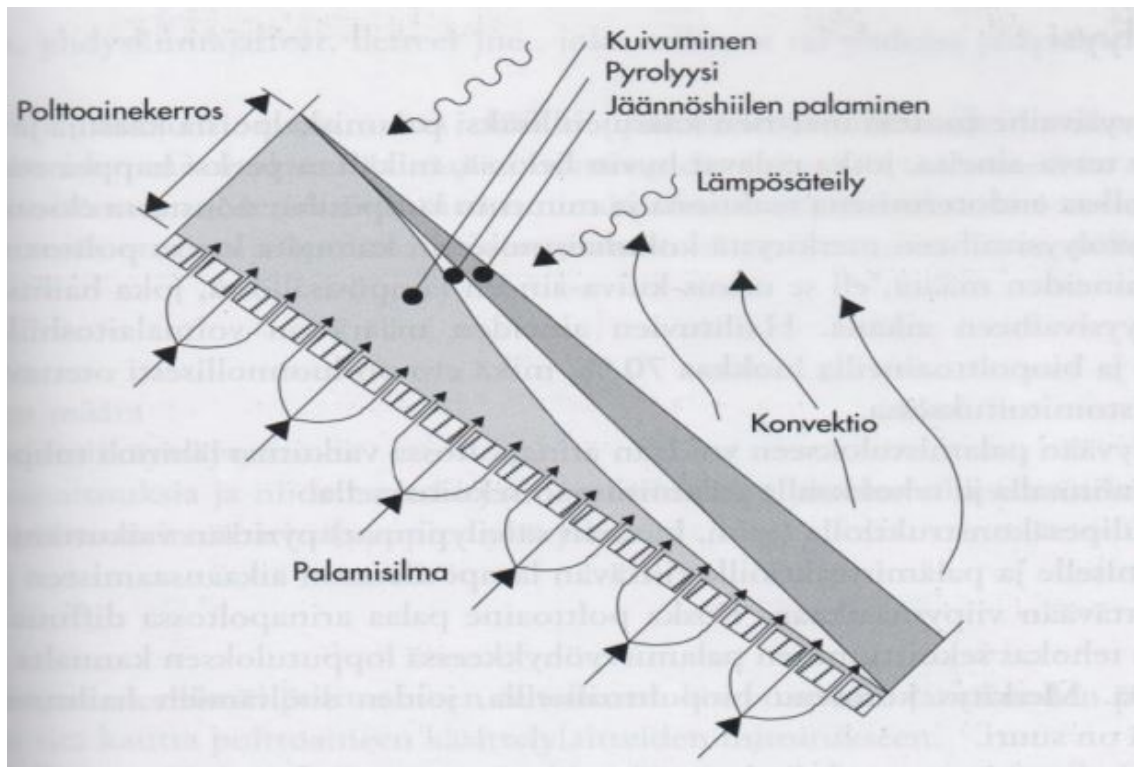
Polttoaineen vesipitoisuus on arinan mitoitusvaikutukseen vaikuttava tekijä. Kosteampi polttoaine vaatii pidemmän viipymän ja isomman osuuden arinan pinta-alasta. Vedenpoistoa polttoaineesta voidaan tehostaa pienentämällä polttoaineen jaekokoa. Näin saavutetaan enemmän pinta-alaa haihtumiselle. Eli esikäsitteily on ratkaisevaa myös arinapoltoissa. Arinapolton etuna on kuitenkin mahdollisuus polttaa polttoaine suurina partikkeleina (Jalovaara, Aho, Hietämäki, Hyytiä 2003, 29).

4.2.1 Arinapolton haasteet

Arinapolton palamista voidaan säädellä viipymällä tai palamisilman määrän säätelyllä. Apuna palamisessa käytetään tukipolttainetta, joka syötetään arinalle yläpuolelta. Tukipolttainetta yhdessä sekundääri-ilman kanssa saa aikaan palokaasujen täydellisen palamisen. Poltettaessa yhdyskuntajätteitä, tai muuta heterogeenistä polttoainetta, polttoaineen laadun vaihtelut heikentävät palamista ominaisuuksien muuttuessa arvaamattomasti. Epätäydellinen palaminen aiheuttaa lisääntyneet päästöt.

Arinapolton vaihtelevat lämpötilat arinan ja tulipesän eriosissa sekä polttoaineen kosteus aiheuttavat epätäydellisen palamisen. Päästöjen syntymiseen vaikuttavat merkittävästi lämpötila, kaasujen sekoittuminen ja viipymäaika. Polton aikaisia olosuhteita on vaikea todeta jatkuvaluontoisilla mittauksilla, jonka seurauksena automaattiset korjaustoimenpiteet eivät ole mahdollisia. (Vanhanen 2011, 3.)

Arinapoltoissa kaasujen sekoittuminen on tehottomampaa leijupolttoon verrattuna, mikä omalta osaltaan lisää epätäydellisen palamisen seurauksena syntyviä häkä- ja hiilivetypäästöjä. Arinan läpi putoava tuhka sisältää usein merkittävän määrän palamiskelpoista materiaalia. Arinapolton teho pinta-alayksikköä kohden on myös leijupolttota pienempi. (Jalovaara, Aho, Hietämäki, Hyytiä 2003, 32.)



Kuva 2. Arinapolton periaatekuva. (Maskuniitty 2002, 467).

4.3 Kaasutuspoltto

Kaasutuspoltto on menetelmä, jossa polttoainetta ei varsinaisesti polteta. Polttoaine hajotetaan kaasuiksi ja palamattomaksi kuonaksi. Prosessi toteutetaan hapettomissa tai vähähappisissa olosuhteissa lämmön avulla. Menetelmä vaatii polttoaineelta enemmän kuin leijupoltto tai arinapolttto.

Kaasutuspoltossa polttoaineen tulee olla mahdollisimman kuivaa ja tasalaatua. Polttoaine tulee olla riittävän pienessä koossa prosessin tehostamiseksi. Tuhkan osuus polttoaineesta tulee olla tarpeeksi alhainen ja tuhkan sulamispiste prosessilämpöä suurempi, ettei sulanut tuhka tuki järjestelmää.

Sopivissa olosuhteissa syntyvä tuotekaasu sisältää palavina ainesosina hiukkää, vetyä, metaania ja muita hiilivetyjä. Johdettaessa kaasutuskasuu esim. kaasuturbiiniin tai kaasumoottoriin, voi se olla ainoa polttoaine ja sitä voidaan käyttää seospolttoaineena maakaasun kanssa. (Jalovaara, Aho, Hieta-mäki, Hyytiä 2003, 40.)

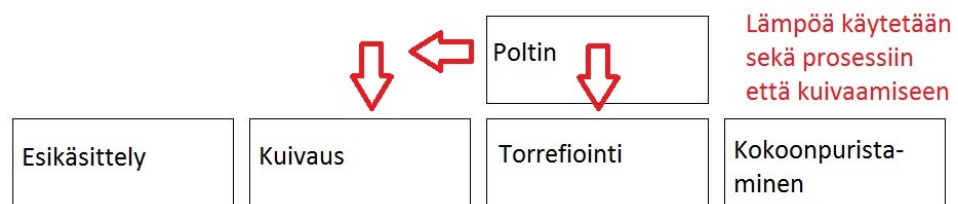
4.4 Kaasutusmenetelmät

Erilaisia lopputuotteita voidaan valmistaa kolmella erilaisella kaasutusmenetelmällä. Menetelmät ovat torrefiointi, pyrolyysi sekä kaasutus. Menetelmien erona ovat olosuhteet, kuten käytettävä lämpötila, hapen määrä ja aika.

4.4.1 Torrefiointi

Torrefioinnissa käytettävä tekniikka vaatii hapettomat olosuhteet tai jopa tyhjiön. Torrefioinnin tarkoituksena on poistaa aineksesta molekyyllitasolla sitoutunutta vettä. Menetelmä eroaa näin tavallisesta kuivaamisesta, jossa poistetaan irtovettä. Torrefioitavasta materiaalista poistuu veden mukana myös metanolia ja etikkaa. Prosessoitu kiinteä aines on vettä hylkivää. (Infokortti 16, n.d.).

Torrefioinnissa 200 °C - 280 °C on prosessille paras. Tällä vaihteluvälillä prosessissa helposti haihtuvat aineet haihtuvat ja kemiallisesti sitoutunut vesi poistuu materiaalista. Mentäessä yli 280 °C puu alkaa hiiltymään ja kaikki loput haihtuvat ainesosat haihtuvat pois. Näin käsitelty puu on tuoreen puun ja hiilen välimuoto. (Essi Hämäläinen, Jussi Heinimö. 2006, 10).



Kuva 3. Torrefioinnin kaaviokuva. (Kimmo Oksanen).

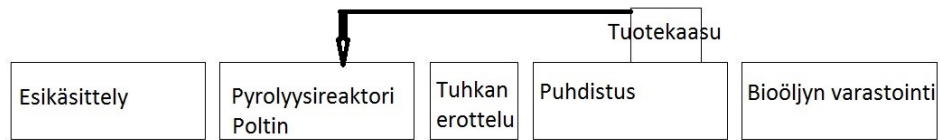
4.4.2 Pyrolyysi

Pyrolyysi on palamisen osa-alue. Menetelmällä voidaan hapettomissa olosuhteissa valmistaa biohiiltä tai bioöljyä. Prosessin lämpötila on yleensä 250 °C – 600 °C. Prosessissa tuotettava lopputuote määräytyy käytettävän menetelmän mukaan eli käytetäänkö hidasta vai nopeaa pyrolyysiä. (Infokortti 16, n.d.)

Nopeassa pyrolyysissä aines kuumennetaan nopeasti 300 °C - 550 °C lämpötilaan. Menetelmä tuottaa noin 15 % kiintoainesta ja 15 % kaasuja. Loput 70 % massasta muuttuu jäähtyttyään pyrolyysinesteiksi, kuten bioöljyksi. (Infokortti 16, n.d.)

Hidas pyrolyysi eroaa prosessina ajallisesti. Aineksen kuumentamiseen käytettävä aika on tunneista vuorokausiin. Lopputuotteeseen vaikuttavat niin käsittelyaika kuin kuumennusnopeuskin. Tyypillinen jakauma lopputuotteille on 33 % nesteitä, 33 % kiintoainesta ja 33 % kaasuja. (Infokortti 16, n.d.)

Pyrolyysimenetelmällä tuotetaan lähtötuotteista biohiiltä, puuetikkaa ja kreosoottia. Yhdestä tonnista kuivaa puumassaa saadaan arviolta noin 250 kg – 300 kg biohiiltä ja 250 m³ – 300 m³ kaasua ja n. 225 kg puuetikkaa. Kreosoottia syntyy samalla noin 30 kg – 50 kg. (Canada renewable bio energy corp. kotisivut 2012).



Kuva 4. Periaatekuva nopeasta pyrolyysiprosessista. (Kimmo Oksanen).

4.4.3 Kaasutuspoltto

Kaasutuspoltto tapahtuu yleensä 500 °C – 750 °C välillä. Prosessissa kiinteä polttoaine muutetaan tuotekaasuksi. (Infokortti 16, n.d.). Tuhkan osuus on yleensä noin 2 % - 5 % polttoaineen massasta. Tuotekaasu sisältää huomattavasti energiaa ja on hyödynnettävissä energian tuotantoon. Kaasu tulee puhdistaa käyttötarpeen mukaan (suorapoltto, polttomoottori tai turbiini). (Vilppo, haastattelu 2016).

Opinnäytetyö keskittyy pahvin ja puun kaasuttamiseen. Puun kaasutusteknologia on jo yli sata vuotta vanhaa perua. Käyttöä on rajoittanut riittävän puhtaan prosessin saavuttaminen. Suurin ongelma on ollut tervan muodostuminen. Terva tukkii järjestelmät ja tekee moottoreista käyttökelvottomia (Gasek Oy:n kotisivut. n.d.).

Tärkeää puun puhtaassa kaasutuksessa onkin riittävän korkea lämpötila (800 °C – 1200 °C). Korkea lämpötila hajottaa tervayhdisteet moottoreita vähemmän kuormittaviksi kevyemmiksi jakeiksi. (Gasek Oy:n kotisivut. n.d.) Lopputuotteen eli tuotekaasun polttaminen on tehokkaampaa kuin pelkän alkuperäisen materiaalin polttaminen (puun), koska se voidaan polttaa huomattavasti korkeammassa lämpötilassa (Canada renewable bio energy corp. kotisivut 2012).

5 POLTTOTEKNIIKAN VALINTA

Polttotekniikan valinnassa tärkeimpiä tekijöitä ovat muun muassa koko, muunneltavuus ja huoltovapaus. Kaasutuspoltto on ainakin tilan tarpeensa vuoksi hyvä ratkaisu. Tekniikasta on jo jonkin verran kokemusta ja isoja bioöljyn tuotantolaitoksia ollaan jo rakentamassa. Bioöljyn ja muiden kaasutuksen tuottamien hyödykkeiden kysyntä on kasvussa.

5.1 Laitteiston koko

Laitteiston tulee olla riittävän pieni, jotta sitä voitaisiin siirtää tarvittaessa. Useimmat menetelmät ja tekniikat eivät anna tätä mahdollisuutta. Laitteistojen koko vaatimukset ovat liian isot verrattuna leiju- ja arinapolttoon. Kaasutukseen tarvittava tekniikka voidaan mahduttaa nykyiselläänkin hyvin pieneen tilaan. Pienehköjä laitteistoja valmistaa esimerkiksi Yhdysvaltalainen Energy Dynamics Limited.

Liikuteltavan käsittelylaitteiston mitoittamiseen vaikuttaa suuresti sen prosessin käynnistämiseen materiaalin kannattava määrä. Arinapolton ja leijupolton prosessien ylläpitäminen ja käynnistäminen tarvitsevat huomattavasti suurempia määriä materiaalia kuin kaasutus.

Polttotekniikka	Pienin teho, MW	Tyypillinen teho, MW
Mekaaninen arina	1	2-30
Kerrosleijupoltto	2	10-50
Kiertoleijupoltto	7	20-50
Kaasutuspoltto	0,5	2-10

Kuva 5. Turpeen ja puun polton tyypilliset teholuokat polttotekniikoittain. (Jalovaara, Aho, Hietämäki, Hyytiä 2003, 29).

Kontteihin sijoitettu jätteen esikäsittely tuo muunneltavuutta koko prosessiketjulle. Erilaiset esikäsittelyvaihtoehdot helposti kuljetettavassa muodossa avaavat mahdollisuuden tuottaa jätteenkäsittelyä väliaikaisesti suoraan jätteentuottajan naapurissa. Laitosta ei tarvitse sitoa yhteen paikkaan.

5.2 Lopputuote

Kaasutusprosessin olosuhteita muuttamalla voidaan muuttaa lopputuotetta tarpeen mukaan ja prosessia voidaan säätää loputtomasti uudelleen käsiteltävää jätejätettä vaihdettaessa. Lainsäädäntö asettaakin menetelmälle suoremmat rajoitukset kuin tekniikka.

Kaasuttamalla voidaan tuottaa tuotekaasua ja bioöljyä. Tuotekaasua voidaan käyttää kaasutusprosessissa polttimen polttoaineena nostoen samalla prosessin omavaraisuusastetta. Bioöljy on haluttu raaka-aine jatkojalostukseen markkinoilla.

Leijupoltolla ja arinapoltoilla lopputuotteena saadaan pääosin tuhkaa, joka on ongelmallista hävittää. Hapettomasti kaasuttamalla saatu tuhka on vielä energiaa sisältävää, koska se ei ole palanut loppuun hapen puuttuessa. Kaasutuksen tuhkajäännös voidaan vielä polttaa loppuun isommissa polttolaitoksissa. Tilavuudeltaan se on kuitenkin enää murto-osa alkuperäisestä materiaalista.

5.3 Monipuolisuus

Kaasuttamalla voidaan periaatteessa hyödyntää kaikkia hiiltä sisältäviä materiaaleja. Tekniikan kehittyessä ja toiminnan laajentuessa voidaan lisätä käsiteltävien tuotteiden joukkoon vaikka lantaa tai ruokajätteitä yms. Biomassa tarvitsee kuitenkin erilaisen esikäsittelyn kuin esimerkiksi puhdas kuiva puu.

Kaasutus on prosessina kaikkein järkevin vaihtoehto tämän päivän poltto-tekniikoista. Se saadaan mahtumaan pieneen tilaan ja sillä on mahdollista käsittää suurinta osaa jätejakeista. Tekniikka on kehittymässä kovaa vauhtia ja tulee saavuttamaan lainsäädännön kaikki vaatimukset.

Suurin haaste paikan päällä tehtävällä kaasutuksella on jätejakeen tuottajalta vaadittu riittävä esikäsittely ennen prosessia. Riittävän homogeeninen materiaali on ehdoton vaatimus prosessin vakaan toiminnan kannalta. Kuitenkaan tekniikka ei ole varmasti ongelma vaan ihmisten tavat ja asenteet.

6 SIIRRETTÄVÄ KONTTI

Järjestelmä on tarkoitettu siirrettäväksi esimerkiksi kuorma-autoilla ja siksi valitaan kontti perustaksi järjestelmälle. Tarkoituksenmukaista ei ole rakentaa kiinteää laitosta. Osista koottuna järjestelmän muunneltavuus on helppoa ja erilaisilla osilla saadaan prosessi sovitettua aina materiaalin mukaan. Kontit ovat maailmanlaajuisesti hyväksytyjä tavarankuljetukseen ja niitä on helppo liikuttaa.

6.1 Mitat

Kuljetuskonttien perinteisimmät mitat ovat (ISO-rahtikontit) 3,6,9 ja 12m. Korkeus on yleensä 2,6m. EURO-luokituksen mukaiset kontin yleismitat ovat 13,6m/7,45m pitkä ja 2,67m korkea. ISO-rahtikontit ovat 2,4m leveitä ja EURO-kontit ovat 2,5m leveitä. (Container Handbook).

Kontin mitat tulee valita käytettävän menetelmän tilantarpeen mukaan. Esikäsittelyyn voidaan valita jätejakeeseen juuri sopiva laite, kunhan se on mahdollista sovittaa konttiin sisälle. Pahvin ja kartongin esikäsittelyyn sopiva murskain tai repijä voidaan valita teholtaan ja kooltaan selkeästi pienemmäksi kuin puun käsittelyyn sopiva. Pienemmällä laitteistolla saadaan säästöjä investoinneissa ja huolloissa.

Tarpeen voi tulla myös käyttää pienempää konttia esikäsittelyyn jätejakeen vähäisen tuoton vuoksi. Esikäsittelykontin koon eri vaihtoehdot antavat mahdollisuuden muuntaa jätejakeen varastointikapasiteettia tuoton mukaan. Opinnäytetyössä ei tarkastella biojätteen käsittelyä, mutta esimerkiksi biojätteen käsittelyssä on hyvä mitoittaa jätejakeen säilytysaika riittävän lyhyeksi.

6.2 Konttien määrä

Kaikki tarpeellinen tulee mahdollistaa mahdollisimman pieneen tilaan, mutta eri toimintojen sijoittaminen eri yksiköihin lisää järjestelmän muuntautumiskykyä. Kaikki materiaali tulee olla mahdollisimman tasalaatuista ja siksi tarvitaan mahdollisuus esikäsittelyyn. Ensimmäisenä olisi hyvä olla mahdollisuus kuivata kaikki materiaali tarpeen mukaan.

Hyvä ja toimiva jako muiden konttien toiminnoille on esikäsitteily ja varsinaisen prosessi eli poltto. Esikäsitteilymenetelmät valitaan aina jättejakeen ja haluttavan lopputuotteen mukaan. Pahvit pakataan mahdollisimman pieneen tilaan ja puun tulee olla myös oikean kokoista mahtuakseen murskaimeen. Materiaalin ja lajittelun ollessa riittävällä tasolla voidaan prosessi tehdä kahdella kontilla. Materiaalin ollessa märkää tulee se kuivata ennen prosessia.

7 ESIKÄSITTELY

Suurin haaste esikäsitteilyn kannalta on jättejakeen tuottajan oma panos eli lajittelu. Hyvällä ja toimivalla lajittelulla saavutetaan tasalaatuisempi polttoaine polttoprosessiin. Lajittelun tulee olla myös riittävän yksinkertaista käyttäjän mielenkiinnon säilyttämiseksi.

Yksinkertaisuus tulee helposta lajittelusta sekä riittävästä automaatiosta käytössä. Hyvänä esimerkkinä toimii esimerkiksi selkeä täyttöraja jolloin tulee painaa käyttökytkintä, joka käynnistää esikäsitteilyprosessin jota käyttäjän ei tarvitse valvoa.

Lajittelu on tarpeellista myös polttoaineen partikkelien koon rajoittamiseksi. Pieneen tilaan sovitettu tekniikka ja esimerkiksi pahvilaatikoiden koon vaihtelut tuovat omat haasteensa esikäsitteilykontille.

7.1 Materiaalin kosteus

Vesipitoinen polttoaine kuluttaa lämpöenergiaa huomattavasti enemmän, koska energiaa kuluu suuren ominaislämpökapasiteetin omaavan veden höyrystämiseen. Vedellä on myös korkea höyrystymislämpöenergian tarve.

Prosessin hyötysuhteen maksimoimiseksi tulee polttoaineen kaasutuksessa olla mahdollisimman tasalaatuista. Veden läsnäolo polttoaineessa huonontaa hyötysuhdetta hukkaenergian vuoksi, eli energiaa kuluu veden höyrystymiseen ja haihtumiseen. Polttoaineen säilyttäminen kuivana onkin yksi tärkeimpiä tekijöitä esikäsitteilyssä. Käytettävä materiaali tuleekin suojata kaikelta kosteudelta aina kuin se vain on mahdollista.

7.1.1 Kuivaus

Kosteus käsiteltävässä materiaalissa aiheuttaa häiriöitä prosessissa. Kosteus tulee poistaa riittävässä määrin ennen materiaalin varsinaista käsittelyä. Kosteuden hallintaa ei kuitenkaan tarvita materiaalin ollessa riittävän laadukasta. Tämän vuoksi saattaisi olla järkevää pitää kuivaus täysin omana yksikkönään, joka otetaan käyttöön vain tarvittaessa.

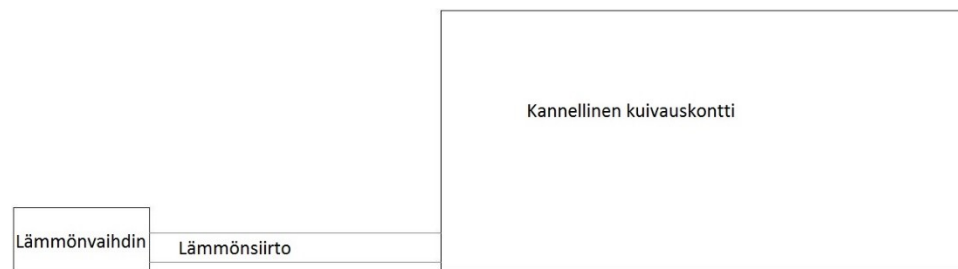
Rakennustyömailla tämä ei kuitenkaan välttämättä toimi. Järjestelmä on kuitenkin niin iso että sen saaminen sääsuojaan on kallista ja vaatisi paljon

tilaa. Rakennustyömaiden käyttöön on parempi kehittää järjestelmä, johon voi syöttää kaiken puujakeen, riippumatta kosteudesta.

Vaihtoehtoisesti kuivauksen voi yhdistää esikäsittelykonttiin säilytys-tilaan. Tällöin tarvittava tekniikka tulee mahduttaa samaan tilaan ja se vie tilaa esikäsittelyltä ja säilytykseltä. Samalla järjestelmän kokonaiskustannukset nousevat ja tekniikka monimutkaistuu ainakin huollon osalta.

Varsinaisen prosessin lämpöä olisi kuitenkin mahdollista hyödyntää kuivausprosessissa ottamalla talteen osa savukaasujen lämmöstä ja ohjaamalla se kuivaukseen. Liika lämpö esikäsittelyssä on kuitenkin riski turvallisuuden kannalta. Palokuormaa kertyy huomattavasti kun säilytetään materiaalia prosessia varten.

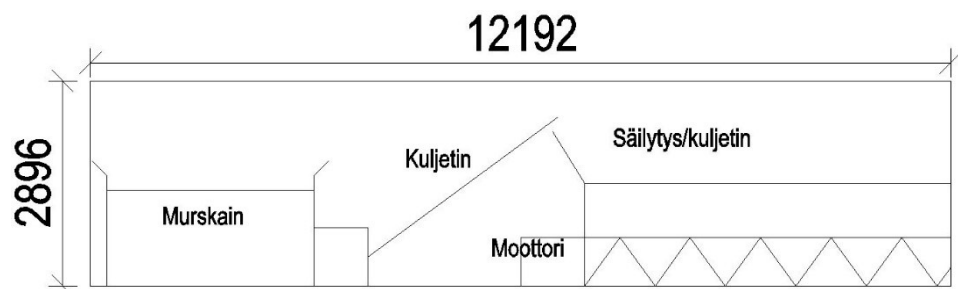
Suomalainen yritys Volter Oy on kehittänyt puuhakkeella toimivan Volter Indoor -voimalaitoksen. Sen tarvitsema puuhake voidaan kuivata ensin heidän kehittämällään kuivurilla. Volterin kuivuri tosin tarvitsee erillisen lämpimän veden liittymän. Kuumasta vedestä kuivurin omat lämmönvaihtimet ottavat kuivausprosessiin tarvittavan lämmön. (Volter Oy:n kotisivut. 2013).



Kuva 6. Volterin kuivurin periaatekuva. (Kimmo Oksanen).

7.2 Esikäsittelykontti

Esikäsittelykontilla on kaksi primääritoimintoa. Ensiksikin polttoaineen partikkelien kokoa tulee pienentää ja polttoaineen tulee olla mahdollisimman homogeenistä. Toiseksi valmista polttoainetta pitää pystyä varastoi-
maan riittävästi. Varastoon tulee mahtua energiamäärältään enemmän polttoainetta kuin mitä kuluu prosessin käynnistämiseen ja yhtäjaksoiseen käyttöön yksittäisellä käyttökerralla.



Kuva 7. Esimerkki esikäsittelykontista. (Kimmo Oksanen).

7.2.1 Murskain

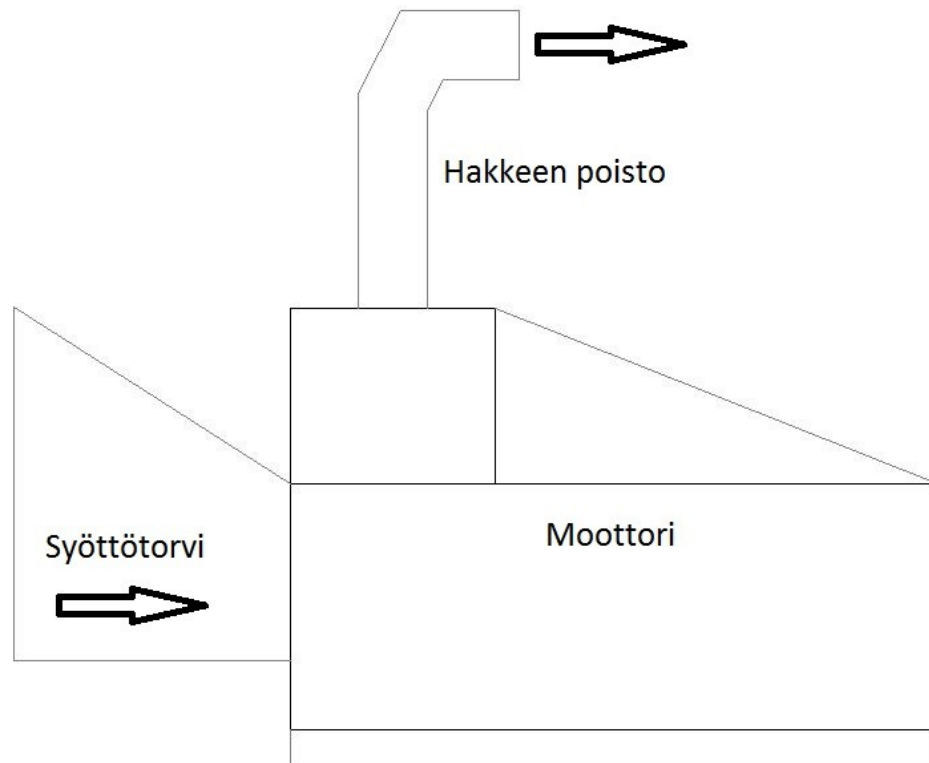
Murskain valitaan kunkin jätejakeen mukaan. Ei ole järkevää ottaa käyttöön isoa murskainta jokaiseen käsittelylaitokseen, mikäli pärjätään pienemällä. Pelkkä pahvin repiminen ja murskaaminen vaatii huomattavasti vähemmän tehoa laitteistolta kuin esimerkiksi puu-jakeen murskaus. Isojen puujättemäärien kanssa saattaa olla tarpeellista erillinen esikäsittelylaitteisto puun saamiseksi homogeeniseen muotoon.

Puujakeet saattavat myös sisältää metallia, kuten nauvoja tai niittejä (Esimerkiksi pahvilaatikot ja purkupuu). Tällöinkin murskaimelta vaaditaan riittävän pienikokoista ja tasalaatuista lopputulosta. Esikäsittelyn katkokset aiheuttavat lisäkustannuksia ja hankaloittavat käyttöä. Murskaimen valinnassa tuleekin ottaa huomioon osien kestävyys ja huollon helppous. Materiaalin sisältäessä suuria määriä metallia on huomattava murskaimen terien suuri kuluminen.

Puujakeen käsittelyyn käytetään sopivaa haketinta. Vaihtoehtoja on polttomoottorikäyttöinen tai esimerkiksi traktorin hydraulikasta käyttövoimansa saava haketin (Negri SRL kotisivut 2009). Rakennustyömailta tuleva materiaali saattaa olla isompaakin. Hakettimen kapasiteetti tulee siis olla riittävä.

Haketin on mahdollista asentaa murskaimen/repijän tilalle. Syöttöaukko ja käyttökytkimet asennetaan kontin seinään niin että niitä on mahdollista käyttää ulkoapäin. Vaihtoehtoisesti haketinta käytetään ilman polttomoottoria koneen, esimerkiksi traktorin, kanssa. Tällöin hake ajetaan kontin ulkopuolelta katolla olevasta syöttöaukosta sisään konttiin.

Negri SRL Italiasta toimittaa lähes maailmanlaajuisesti laadukkaita hakettimia. Hakettimet on mahdollista saada perässä vedettävänä tai kiinteästi asennettavina. Polttomoottorihakettimen kapasiteetti riittää 210mm halkaisijaltaan olevaan puuhun saakka. 210mm riittää hienosti 2*4 tuumaiseen puuhun (47*100mm). (Negri SRL kotisivut 2009).

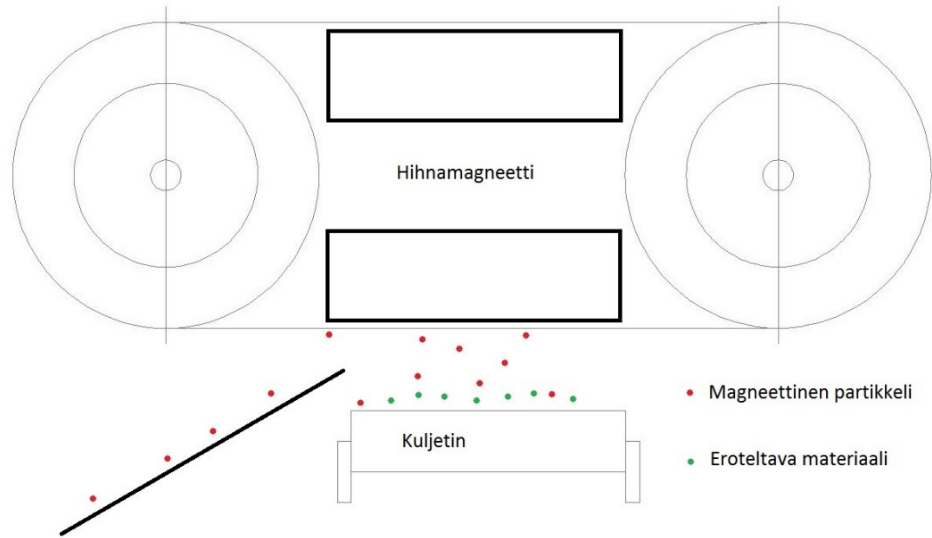


Kuva 8. Hakettimen periaatekuva. (Kimmo Oksanen).

7.2.2 Kuljettimet

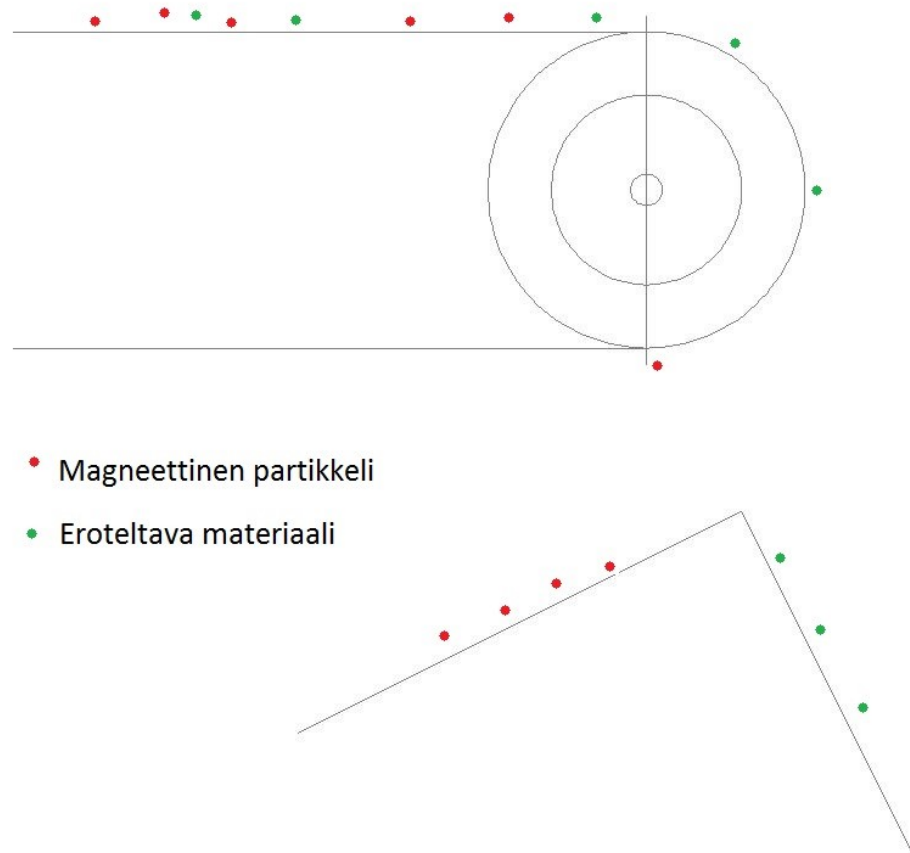
Murskaimelta hienonnettu jätejäte kuljetetaan säilytettäväksi ensimmäisen kontin takaosaan asennettuun säiliöön. Tavallinen hihnakuuljetin on yksinkertainen valinta ja siihen voidaan tarvittaessa yhdistää magneettisten metallien erottelulaitteisto. Vaihtoehtoja ovat esimerkiksi hihnamagneetti, magneettitela tai rumpumagneetti (Hagaplan Oy kotisivut).

Hihnamagneetti tarkoittaa kuljettimen yläpuolelle asennettavaa magneettia, joka poimii magneettiset kappaleet pois materiaalivirrasta. Rakenteeltaan yksinkertaisempi ja pienempi on magneettitela. (Hagaplan Oy kotisivut).



Kuva 9. Hihnamagneetin toimintaperiaate (Kimmo Oksanen).

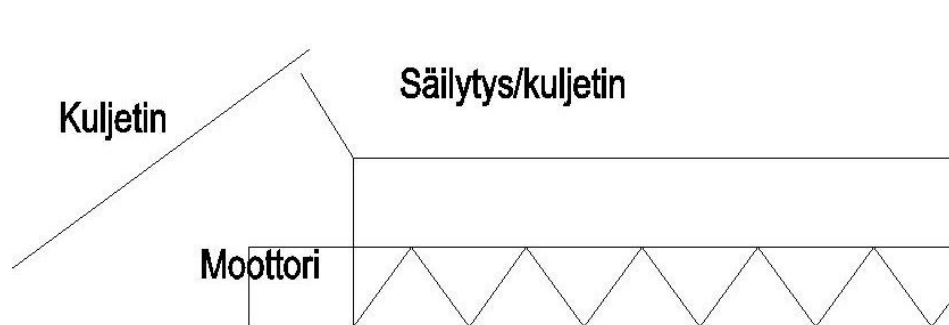
Magneettitela tarkoittaa hihnakuljettimen vetorumpuna käytettävää magneettista telaa. Magneettitela soveltuu paremmin pienemmille kappaleille kuin rumpumagneetti. Rumpumagneetti on parempi keskisuurten kappaleiden erotteluun jatkuvasta materiaalivirrasta. (Hagaplan Oy kotisivut).



Kuva 10. Magneettitelan toimintaperiaate (Kimmo Oksanen).

Magneettitela on järkevä valinta jakeelle jonka läpi magneettisten osien on vaikeampi mennä. Yläpuolella oleva magneetti saattaisi ottaa mukaansa enemmän käsiteltävää materiaalia kuin telamagneetti. Magneettiset kappaleet siirtyvät kuljettimen mukana magneettisen alueen loppuun ja putoavat sieltä eri puolelle kuin käsiteltävä jae. Magneettitelan käytöllä saavutetaan huomattavasti puhtaampi materiaali jatkokäsittelyä varten. (MAGSY, S.R.O. Kotisivut n.d.).

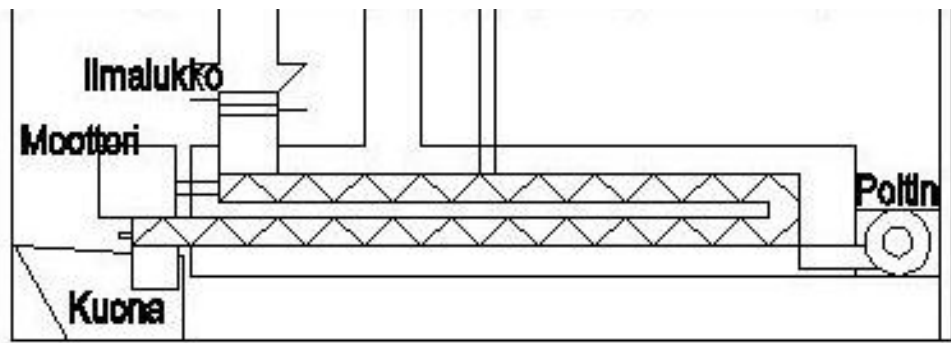
Isommat jätejakeet saattavat tukkia kuljettimet. Tärkeintä kuljettimissa on yksinkertaisuus ja varmatoimisuus. Yksinkertaisin ratkaisu on perinteinen koururuuvikuljetin. Ruuvikuljetin kuitenkin vaatii jakeiden tasaista laatua ja pientä kokoa. Jakeiden ollessa liian isoja ne alkavat kasautumaan kuljettimen yläpuolelle ja tukkivat reitin. Koururuuvikuljetin on avoin koko matkalta ja näin ollen materiaalin syöttö kuljettimeen voi tapahtua missä kohti kuljetinta tahansa. Avoin rakenne mahdollistaa kuljettimen sijoittamisen siilomaisen säilytysastian pohjalle.



Kuva 11. Koururuuvikuljettimen sijoittaminen säilytysastian pohjalle. (Kimmo Oksanen).

Ruuvikuljetin pystyy myös siirtämään kosteampaa jaeita tehokkaammin. Tarvittaessa ruuvikuljetin pystyy erottelemaan kosteutta pohjaviemäroinnin avulla kosteuden valuessa kuljettimen pohjalle. Mahdollisen materiaalikosteuden poistolla saavutetaan huomattavia säästöjä lämpöenergian kulutuksessa prosessin kaasutusvaiheessa.

Kaasutusvaiheessa kuljettimen tulee sietää suuria lämpötiloja. Ruuvikuljettimen lämmönkestävyyttä lisää sen moottorin sijoitus. Moottori sijoitetaan pyörivän akselin päähän ja kaasutuskammion ulkopuolelle. Tällöin moottori ei altistu kuumuudelle. Riittää kun akselisto ja ruuvi rakennetaan riittävän kestävästä materiaalista.

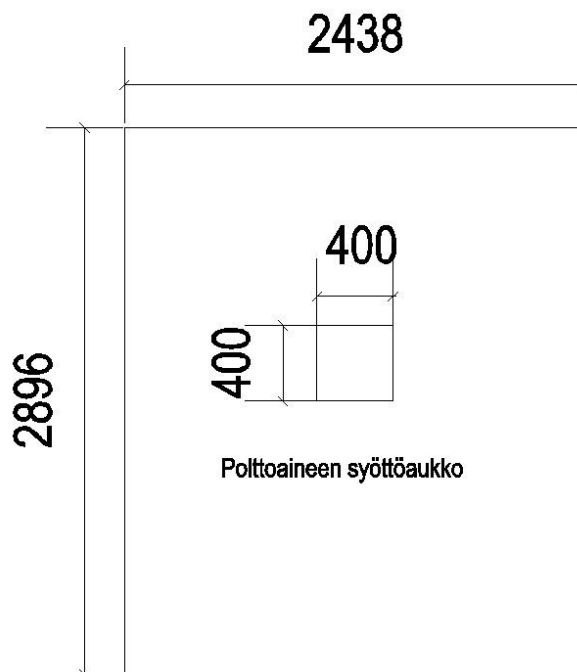


Kuva 12. Kaasutuskammio ja kuljettimen moottorin sijoittaminen. (Kimmo Oksanen).

7.2.3 Jätejakeen syöttöaukko

Pahvilaatikot ja pahviset pakkausmateriaalit sekä puu jätejakeena vaihtelevat huomattavasti kokonsa puolesta. Tasalaatuisuuden varmistamiseksi tulee käyttäjän lajitella ja valmistella jakeet mahdollisimman samankaltaisiksi partikkeleiksi. Vääränlainen jätejake voi holvata syöttökaukalossa ja pysäyttää prosessin toiminnan.

Jakeen koon vaihtelevuutta voidaan rajoittaa muokkaamalla polttoaineen syöttöaukon kokoa sopivaksi pakottaen käyttäjän toimiin isojen partikkeleiden kohdalla. Isot pahvilaatikot jouduttaisiin litistämään sopiviksi syöttöaukkoon.



Kuva 13. Esimerkki materiaalin syöttöaukosta esikäsittelykontin päädyssä. (Kimmo Oksanen).

7.3 Prosessikontti

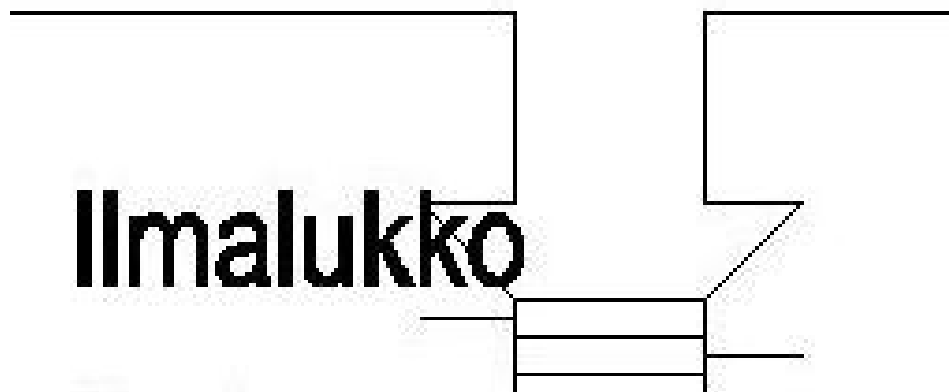
Prosessikontissa tapahtuu jätejakeen jatkokäsittely. Tasalaatuinen eli homogeeninen jätejake siirretään esikäsittelykontista prosessikonttiin ruuvikuljettimella. Prosessi käynnistetään kun esikäsittelykontissa on riittävästi materiaalia prosessia varten. Esikäsittelykonttiin on myös varattava riittävästi säilytystilaa materiaalille.

Prosessia ei kannata käynnistää mikäli ei saada tuotettua riittävästi lopputuotetta ja tuotekaasua prosessin ylläpitämiseksi. Tuotekaasun riittäessä prosessin ylläpitoon ei tarvita ylimääräistä polttoainetta vaan saavutetaan omavaraisuus prosessissa. Omavaraisuudella saavutetaan kustannussäästöjä.

7.3.1 Ilmalukot

Kaasuttamisessa on tarpeellista säädellä prosessin hapen saantia. Happea pitää olla joko vähän tai ei ollenkaan. Prosessin saadessa liikaa happea palaa materiaali kokonaan eikä haluttua lopputuotetta saavuteta. Materiaali kulkee ilmalukon läpi tullessaan esikäsittelykontista ja poistuessaan kaasutuskammioista. Ilmalukot ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja varmatoimisia. Mäntä työntää levyä joka sulkee syöttöaukon.

Käytettäessä kaksinkertaista ilmalukkoa minimoidaan ilman pääsy kaasutuskammioon. Ensin avataan toinen luukku ja suljetaan se. Ylemmän luukun ollessa kiinni voidaan avata alempi luukku ja materiaali putoaa eteenpäin.. Tekniikka on yksinkertainen ja mahdollistaa helpon ja toimintavarmen materiaalin syöttämisen.



Kuva 14. Periaatekuva kaksitoimisesta ilmalukosta prosessikontissa. (Kimmo Oksanen).

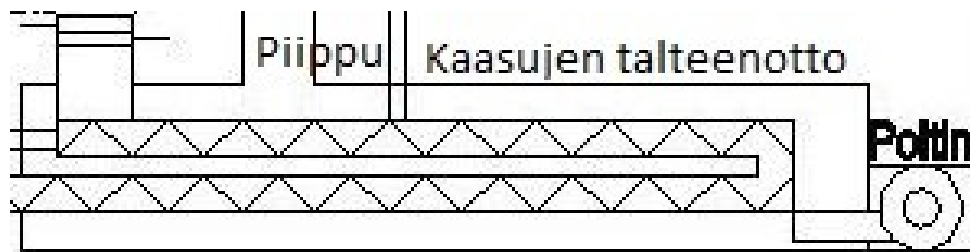
7.3.2 Kaasutuskammio

Kammio on koko prosessin sydän. Se rakennetaan kaksinkertaiseksi. Materiaalivirta kulkee sisemmässä kammiossa ja ulompaa osaa lämmitetään

polttimella. Kaksinkertaisella rakenteella saavutetaan riittävän vähähappiset ja kuumat olosuhteet prosessille.

Sisemmän kammion olosuhteilla ja materiaalin siellä viipymällä ajalla määritetään lopputuote. Kammion tulee olla ilmatiivis ja erittäin lämmönkestävä. Materiaali kuljetetaan ruuvikuljettimella kammion läpi. Kuljettimella säädellään materiaalin viipymä. Ruuvin kokoa ja kiertonopeutta säätämällä voidaan muuttaa materiaalivirran nopeutta.

Ulomman kammion riittävä eristys vähentää ympäröivän kontin eristyksen tarvetta sekä vähentää lämmönhukkaa. Lämpöhäviö vie lämpöenergiaa pois prosessilta ja lisää polttoaineen tarvetta. Ulomman kammion reunalle kuljettimen päähän sijoitetaan astia, johon otetaan talteen prosessissa syntyvä kaasutusjäännös. Kaasutusjäännös on mahdollista viedä vielä poltettavaksi isompaan polttolaitokseen. Poltin sijoitetaan ulomman kammion reunalla alaosaan, josta lämmittää koko kammion. Yläreunasta otetaan talteen syntyvät kaasut.



Kuva 15. Periaatekuva kaasutuskammioista. (Kimmo Oksanen).

7.3.3 Talteenotto

Prosessissa syntyvät kaasut otetaan talteen. Vaihtoehtoina ovat tuotekaasu ja pyrolyysinesteet. Lopputuote riippuu prosessin olosuhteista. Käytännössä kuitenkin syntyy sekä kaasuja että jäähtyessään nesteitä. Talteen otettavasta tuotteesta tulee kuitenkin erottaa vesi. Vedenerotuksessa tuote jäähdytetään ja lopullinen neste erotetaan kaasuista. Vedenerotuksessa tulee ottaa huomioon jäteveden käsittelyn määräykset.

Tuotekaasu otetaan talteen ja varastoidaan polttimen käyttöä varten. Vaihtoehtoisesti voidaan tuotekaasu ottaa talteen ja käyttää myöhemmin kaasuvoimalaitoksessa. Tuotekaasun ja pyrolyysinesteiden säilytyksessä tulee ottaa huomioon kontin sisällä oleva korkea lämpötila.

Kaasujen ja nesteiden säilytykseen varataankin tilat kontin ulkopuolelta. Säiliöt voidaan asentaa esimerkiksi kontin päälle, mikäli kontti on tarpeeksi eristetty. Yläpuolinen asennus helpottaa kaasujen talteenottoa, koska kaasut nousevat ylöspäin.

7.3.4 Generaattori ja sähköjärjestelmät

Prosessikonttiin asennetaan generaattori. Moottori tulee valita niin että se pystyy käyttämään tuotekaasua polttoaineenaan. Generaattori on tarpeellinen vain kun tuotetaan sähköä paikan päällä. Tällöin tuotetaan pääasiassa tuotekaasua joka muutetaan sähköksi. Paikoissa, joissa ei haluta tuottaa sähköä voidaan jättää generaattori pois. Tällöin tulee kuitenkin olla saatavilla sähköä tarpeellisen automatiikan energian tarpeeseen.

Prosessikonttiin asennetaan tarvittava automaatiotekniikka. Erilaiset etähälytysjärjestelmät ovat tarpeen. Valvontaan tulee sisällyttää ainakin palamisprosessi kokonaisuudessaan. Palaminen, lämpö ja aika sekä täyttymis- ja häiriöhälytykset täytyy automatisoida.

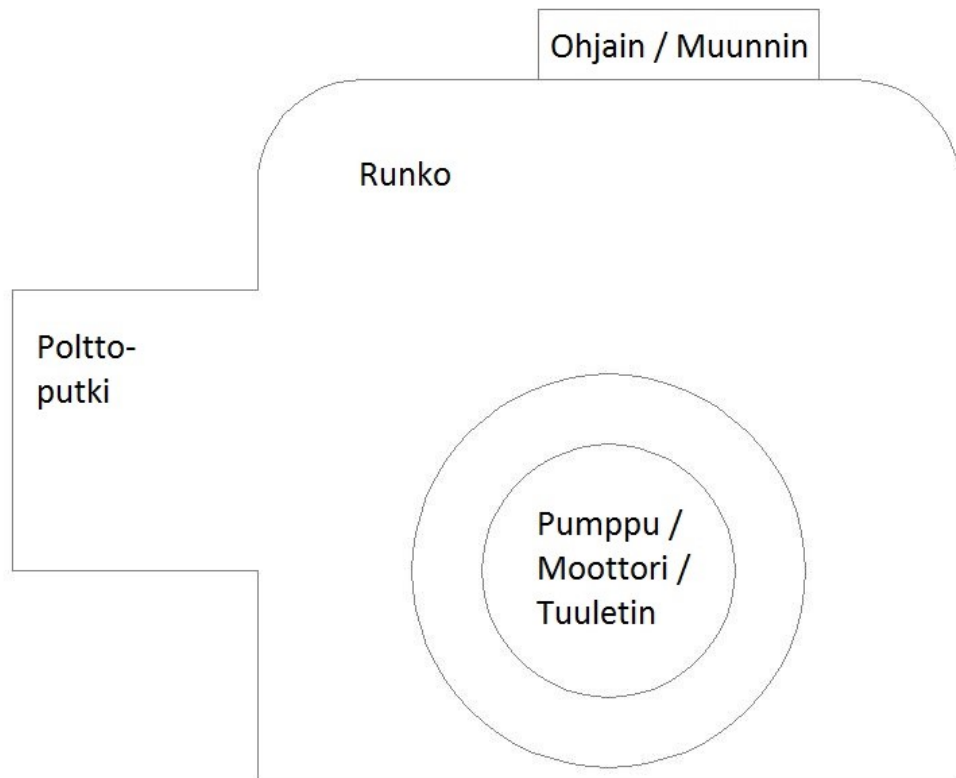
Ilmalukon toiminnan häiriintyessä tulee prosessi keskeyttää tulipalovaaran vuoksi, kuten polttimen häiriötilanteissa. Esikäsitteilykontissa saattaa olla huomattava palokuorma jätejakeesta ja prosessikontin läheisyydessä on kaasu- ja pyrolyysinesteiden painesäiliöt. Prosessikonteilla tulee olla jatkuva valvonta prosessin ollessa käynnissä, jotta saavutettaisiin turvallinen prosessi. Valvonta voidaan suorittaa etänä, kunhan prosessi on mahdollista keskeyttää etäkatkaisuna ainakin polttimen osalta.

Sähköjärjestelmät ja generaattori tulee eristää riittävästi kaasutuskammioista. Riittävän eristyksen avulla saadaan generaattori ja kaasutuskammio asennettua samaan konttiin, jolloin saadaan koko prosessi pienempään tilaan. Vaihtoehtoisesti voidaan tehdä isompi kaasutusjärjestelmä kokonaan omaan konttiinsa ja asentaa generaattori omaansa sähköjärjestelmien kera. Tähän erilliseen konttiin voidaan asentaa myös turvallisesti kaasujen ja nesteiden painesäiliöt.

Kaasumoottori sähkön tuotantoon on mahdollista saada kotimaisena tuotantona. Volter Oy Kempeleeltä on kehittänyt hakevoimalan jolla voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä puuhakkeesta. Hake kaasutetaan ja tuotekaasu käytetään moottorin polttoaineena. Volterin Oulun Ammattikorkeakoululle 4/2013 toimittama kaasumoottori on valmiiksi koukkulava-alustalla ja on sovitettavissa konttiin. (Volter Oy kotisivut 2013).

7.3.5 Poltin

Polttimen valinta on tärkein osa-alue prosessikontissa. Polttimen täytyy pystyä käyttämään tuotekaasua polttoaineenaan ja samalla tuottaa mahdollisimman vähän päästöjä ilmaan, kuten typpipäästöt yms. Vaihtoehtoja on markkinoilla kymmenittäin ja onkin haastavaa löytää paras toimittaja. Toimitusvarmuus ja huolto sekä takuukäytännöt ovatkin yhtä määrääviä tuotteen valinnassa kuin sen ominaisuudetkin.



Kuva 16. Kaasupolttimen periaatekuva (Kimmo Oksanen).

Opinnäytetyöhön valittu toimittaja on italialainen Baltur S.P.A.. Baltur on toiminut jo vuodesta 1950. Se on maailmanlaajuinen toimittaja kaasupolttimille (yli 60 maassa) ja omaa hyvän jälleenmyyntiverkoston. Kansainvälisen toimittajan etuna on mahdollisuus tilata varaosat ulkomailla suoraan kohteeseen ja mahdollisesti jopa ammattitaitoinen huolto. (Baltur S.P.A. kotisivut 2016).

Baltur polttimista löytyy täysin automatisoituja polttimia joiden säätö tapahtuu elektronisesti. Elektroninen säätö tuo tarkempaa liekin säätelyä ja näin ollen parantaa tarkkuutta prosessissa. Polttimen koko valitaan kaasutuskammion koon mukaan. Käytännössä kaikki tuoteperheen polttimet pystyvät tehollisesti lämmittämään kammiota riittävästi. Erot tulevat automaatioissa ja suutin valikoimassa. Balturin tuoteperheellä on EC-sertifikaatit ja se täyttää EU:n standardit. EU:n ulkopuolella Balturin polttimet ovat hyväksytyjä esimerkiksi Venäjällä ja Turkissa. (Baltur S.P.A. kotisivut 2016).

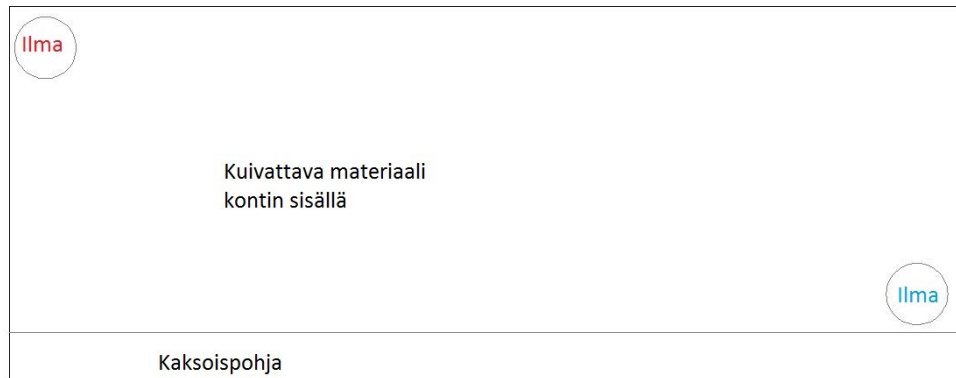
8 ENERGIAN HYÖTYKÄYTTÖ

Prosessissa vapautuu huomattava määrä lämpöä. Lämmön talteenotto jätteen tuottajalle liikuteltavalla laitoksella on haasteellista. Tarkoituksena on kuitenkin pystyä liikuttelemaan koko laitosta. Erityisesti prosessikonttia. Lämmöntalteenotto vaatii aina jonkinlaisen lämmönvaihtimen kontin ja lämmönsiirtojärjestelmän välille. Lämpö voidaan kuljettaa esimerkiksi nesteen mukana ja liittää osaksi kiinteistön vesikiertoista lämmitystä.

8.1 Jätteestä lämpöä

Polttoprosessissa tuotetaan lämpöä huomattavia määriä. Ilman lämmönsiirtojärjestelmää menee tuo kaikki energia hukkaan. Lämmön käyttäminen prosessissa tarvittavan materiaalin kuivattamiseen on paras vaihtoehto sen hyödyntämiseen. Tällöin voidaan rakentaa kiinteät lämmönvaihtimet ja liitokset erilliseen kuivurikonttiin.

Lämpöä voidaan johtaa esimerkiksi kontin kaksoispohjaan. Kontin lämmön noustessa tehostuu kosteuden poistuminen vettä sisältävästä materiaalista. Optimaalisen ilmanvaihdon mukana poistuu liika vesi tehokkaasti kuivattavasta materiaalista. Materiaalin tasalaatuisuus vähentää tuhkäjäännöstä sekä pienentää polttimen polttoaineen kulutusta. Polttoaineen kulutus vähennee, koska polttimen tuottamaa prosessiin vaadittavaa lämpöenergiaa ei käytetä ensisijaisesti veden haihduttamiseen. Tällöin tuotettavasta tuotekaa-
susta jää enemmän vaikka sähköntuottamiseen.



Kuva 17. Hukkalämmön käyttäminen materiaalin kuivaamiseen periaatteessa. (Kimmo Oksanen)

8.1.1 Kaasutuksesta sähköksi

Tuotekaasusta voidaan tuottaa sähköä erillisellä generaattorilla. Lupaavia tutkimuksia on tehty kaasuturbiinimoottoreiden käytöstä. Näyttäisi että tekniikka mahdollistaa vähä-päästöiset menetelmät tuotekaasun käyttämiseksi sähköntuotannossa. Tuotekaasun ja bioöljyn käyttö liikenteen polttoaineena tai sähköntuottoon on puhdasta ja perustuu uusiutuvaan materiaaliin. (Dahlquist 2013, 11,25)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

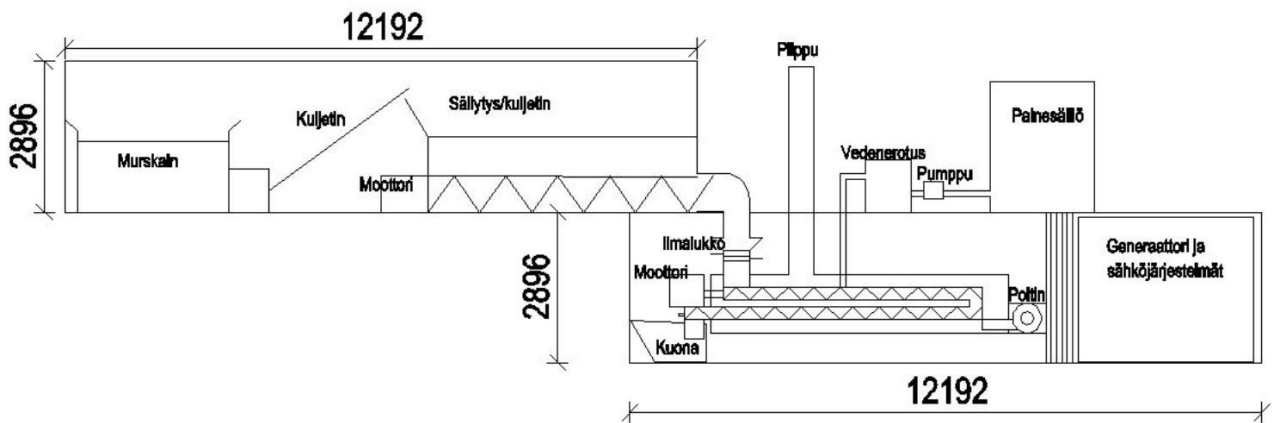
Kaikista tarkastelluista menetelmistä on paras vaihtoehto kaasuttaminen. Kaasutettaessa tuotetaan tuotekaasua ja bioöljyä. Tuotekaasua käytetään osana prosessia ja varastoidaan esimerkiksi myyntiä varten. Bioöljy puhdistetaan ja kerätään talteen myyntiä varten.

Tuotekaasu on uusiutuva luonnonvara, ainakin periaatteeltaan. Kaasutettava materiaalihan on oltava hiilipohjaista tuotekaasun ja bioöljyn tuotta-

miseksi. Tuotekaasun ja bioöljyn ominaisuudet riippuvat alkuperäisen aineksen ominaisuuksista ja käsittelyprosessista. Vaihdettaessa käsittelymenetelmiä saadaan lukemattomia erilaisia vaihtoehtoja lopputuotteelle kysynnän mukaan. (Dahlquist 2013, 11)

Kuljetuskustannukset eivät kohdistu enää pelkkään jätteeseen vaan tuhka-jäänös viedään isompaan polttolaitokseen poltettavaksi loppuun. Myyntiin tarkoitetut lopputuotteet kerätään isompiin kuormiin ja viedään suoraan ostajalle.

Kokonaisuutena prosessi on toimiva jätteen määrän vähentämiseen. Lain-säädännöstä johtuen toiminta joudutaan kuitenkin pitämään toistaiseksi EU-alueen ulkopuolella esimerkiksi Venäjällä. Tekniikoiden ja menetelmien kehittyessä voidaan prosessin hyödyntäminen varmasti aloittaa myös Suomessa.



Kuva 18. Periaatekuva kahden kontin järjestelmästä.(Kimmo Oksanen).

LÄHTEET

- L 17.6.2011/646. Jätelaki. Viitattu 25.3.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=kierr%C3%A4t%2A>
- Hämäläinen, J., Makkonen, P. 8.1.2003. VTT:n julkaisu. Leijupolttoteknologia: Vihreää energiaa.
- Sepponen, S. 19.11.2015. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö: Sekundääri-ilman tunkeutuvuus kierto-leijukattilan tulipesässä
- Essi Hämäläinen, Jussi Heinimö. 2006. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Tutkimusraportti: Esiselvitys puupolttoaineen jalostamisesta torrefiointitekniikalla.
- Saarenpää, T. 04/2015. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö: Prosessihöyrykattilan ylöslämmityksen energiatehokkuus.
- Vanhanen, S-M. 6.6.2011. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö: Lämpölaitoksen ympäristölupaan pohjautuva käytön tarkkailusuunnitelma.
- Maskuniitty, H. 2002. Poltto ja palaminen. Toim. Raiko, R. Teknistieteelliset akatemit International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto
- Jalovaara, J., Aho, J., Hietamäki, E., Hyytiä, H. 2003. Paras Käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen Ympäristökeskus 649. Helsinki.
- Huhtinen Markku, Kettunen Arto, Nurminen Pasi & Pakkanen Heikki 1997. Höyrykattila-tekniikka. Oy Edita Ab, Helsinki. ISBN: 951-37-1327-X.
- Infokortti 16. n.d. Termiset prosessit. Hajautetut biojalostamot. Viitattu 29.03.2016. www.forestenergy.org/openfile/436?PHPSESSID
- Hagaplan Oy kotisivut n.d.. Magneetit. Viitattu 21.11.2016. <http://www.hagaplan.com/Magneetit>
- Volter Oy kotisivut 2013. Portfolio. Viitattu 22.11.2016. <http://volter.fi/fi/portfolio/kaasumoottori-oamk/>
- International biomass torrefaction council kotisivut 2014. Torrefaction. Viitattu 28.03.2016. <http://www.biomassstorrefaction.org/torrefaction/>

MAGSY, S.R.O. n.d. kotisivut. Magneettierottelijat. Viitattu 21.11.2016. <http://www.magsy.biz/fi/27455-metallien-magneettierottelijat-hihnakuuljetimen-ylapuolelle>.

Baltur S.P.A. kotisivut 2016. About Us ja Downloads. Viitattu 22.11.2016. <http://www.baltur.com/ww/en/>

Gasek Oy kotisivut n.d. Puun kaasutus. Viitattu 4.12.2016. <http://www.gasek.fi/technology/wood-gasification/>

Negri SRL kotisivut 2009. Products ja About Us. Viitattu 27.11.2016. http://www.negri-bio.com/index.php?page=about_us

German Marine Insurers. Container Handbook. Explanation of terminology/Container dimensions and weights. Viitattu 22.8.2016. https://www.containerhandbuch.de/chb_e/stra/index.html?chb_e/stra/stra_03_02_00.html

Luento 2. Polttolaitteet ja kattilat Kurssi-materiaali Energiantuotanto ja -käyttö teollisuudessa, 7.1. - 7.4.2016. Viitattu 29.3.2016. Aaltoyliopisto.

Canada renewable bio energy corp. kotisivut 2012. Pyrolysis technology. Viitattu 4.12.2016. http://canadarenewablebioenergy.com/project/pyrolysis_technology/

Dahlquist, E. 2013. Boca Raton: CRC Press 2013. Technologies for converting biomass to useful energy: combustion, gasification, pyrolysis, torrefaction and fermentation

Hänninen, K. 2009. Jätteiden käsittely ja kierrätys Suomessa. Jyväskylän yliopistopaino, 1. painos
Gasum

HAASTATTELUT

Vänskä, A. 2016 Lehtori. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haastattelu 23.1.2016.

Wilén, J. 2016 Prosessinhoitaja. Delfortgroup. Haastattelu 29.3.2016.

Vilppo, T 2016. Itä-Suomen yliopisto. Haastattelu sähköpostilla 03/2016.

