

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
School of Energy Systems  
Energiatekniikan koulutusohjelma

*Ari Satimus*

## **BIOMASSAN KÄSITTELY VOIMALAITOKSISSA**

Työn tarkastajat:      Professori, TkT Esa Vakkilainen  
   Tutkimusassistentti, DI Kari Luostarinen

Työn ohjaaja:            Professori, TkT Esa Vakkilainen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
School of Energy Systems  
Energiatekniikan koulutusohjelma

Ari Satimus

### **Biomassan käsittely voimalaitoksissa**

Diplomityö

2015

85 sivua, 44 kuvaa, 8 taulukkoa, 6 liitettä

Tarkastajat: Professori, TkT Esa Vakkilainen  
Tutkimusassistentti, DI Kari Luostarinen

Hakusanat: puupolttoaine, varastointi, kuljettimet, turvallisuus

Tässä diplomityössä tutkitaan biomassan esikäsittelyä suurissa voimalaitoksissa. Työssä keskitytään puusta saataviin polttoaineisiin. Biomassan esikäsittely on tärkeä osa voimalaitoksen toimintaa. Sillä pyritään saamaan puulle halutut ominaisuudet loppukäyttöä, kuten polttoa tai kaasutusta varten. Puubiomassan tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kosteus, palakoko ja tasalaatuisuus.

Työ on jaettu neljään osaan. Ensimmäisessä osassa tutkitaan kiinteän biomassan ominaisuuksia ja ongelmia. Toisessa osassa esitellään erilaisia voimalaitoksissa käytettäviä puubiomassoja ja niiden erityisominaisuuksia ja -vaatimuksia. Kolmannessa osassa esitellään biomassan käsittelyä voimalaitoksella. Käsittely jaotellaan vastaanottoon, esikäsittelyyn, varastointiin ja käsittelylaitteistoihin. Kolmannessa osassa tutkitaan myös käsittelyn erityisvaatimuksia ja esitellään esimerkkejä biomassan kokonaiskäsittelystä laitoksella. Työn neljäs osa paneutuu biomassan käsittelyn turvallisuus- ja ympäristöasioihin.

Puubiomassan esikäsittely on suunniteltava käytettävien puulaatujen ja -määrien mukaan. Biomassan kosteuden ollessa korkea, on tutkittava onko kuivurien käyttö kannattavaa ja perusteltua. Jos voimalaitokselle tuleva puu on epätasalaatuista tai sisältää epäpuhtauksia, on käytettävä erilaisia puhdistus- ja murskainlaitteistoja. Biomassan käsittelyssä syntyy melua ja päästöjä. Ympäristö- ja terveyshaittojen ehkäisemiseksi käsittelylaitteistoihin on suunniteltava tarpeelliset suojat ja varojärjestelmät.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
School of Energy Systems  
Degree Program of Energy Technology

Ari Satimus

### **Biomass processing in power plants**

Master's thesis

2015

85 pages, 44 figures, 8 tables, 6 appendixes

Examiners: Prof. (Tech) EsaVakkilainen  
M.Sc (Tech) Kari Luostarinen

Keywords: wood fuel, storage, conveyors, safety

This thesis examines processing of biomass in large power plants. Study will focus on wood fuels. The processing of biomass is an important part of the power plant operation. It aims to give desired qualities for the wood's end use, like burning and gasification. The main qualities for woody biomass are moisture content, particle size and homogeneity.

The study is divided into four parts. The first part examines the features and problems of solid biomass. The second section presents a variety of woody biomass used in power plants and their specific features and requirements. Third section describes biomass processing in a power plant. The processing is divided in to reception, handling, storage and processing equipment. Third section also examines the specific requirements of biomass handling and presents examples of the overall processing in a biomass plant. The fourth part of the study focuses on safety and environmental aspect of biomass production.

Woody biomass pre-treatment should be designed specific for the type and quantity of wood used. If the used biomass has a high moisture content, it is necessary to examine whether the use of dryers is profitable and justified. If the incoming wood is inhomogeneous or contains impurities, a variety of cleaning and crushing equipment should be used. The processing of biomass generates noise and emissions. To prevent environmental and health hazards, processing equipment should be designed with necessary covers and safety systems.

## SYMBOLILUETTELO

### Lyhenteet:

HHV	tehollinen lämpöarvo engl. higher heating value
rpm	kierrosta minuutissa engl. revolutions per minute
VOC	haihtuvat orgaaniset yhdisteet engl. volatile organic compounds
SSD	tulistetun höyryn kuivuri engl. superheated steam dryer
BOD	Biologinen hapenkulutus engl. biological oxygen demand
COD	Kemiallinen hapenkulutus engl. chemical oxygen demand
CO	Hiilimonoksidi
O <sub>2</sub>	Happi
PM	Partikkelia miljoonassa
BAT	Paras saatavilla oleva tekniikka engl. best available technology
dB	Desibeli

### Alaindeksit:

ka	kuiva-aine
pa	polttoaine

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>SYMBOLILUETTELO</b> .....	<b>4</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 KIINTEÄN BIOMASSAN OMINAISUUDET</b> .....	<b>8</b>
2.1 Kosteus .....	9
2.2 Lämpöarvo .....	11
2.3 Tiheys .....	12
2.4 Palakoko .....	13
2.5 Tuhkapitoisuus.....	14
2.6 Epäpuhtaudet .....	14
2.7 Puupolttoaineiden ongelmat .....	15
2.8 Biopolttoaineiden laatuluokitus .....	18
2.8.1 Luokittelu raaka-aineen alkuperän mukaan.....	18
2.8.2 Luokittelu ominaisuuksien mukaan.....	20
<b>3 ERILAISET PUUPOLTTOAINEET VOIMALAITOKSISSA</b> .....	<b>21</b>
3.1 Hake .....	21
3.1.1 Sahanhake .....	23
3.1.2 Hakkuutähteet .....	23
3.1.3 Kokopuu- ja rankahake.....	25
3.1.4 Kuori .....	25
3.1.5 Kannot.....	26
3.2 Sahanpuru ja kutterinlastut .....	26
3.3 Briketit ja pelletit .....	27
<b>4 PUUBIOMASSAN KÄSITTELY LAITOKSELLA</b> .....	<b>29</b>
4.1 Vastaanotto .....	29
4.2 Biomassan esikäsitteily.....	31
4.2.1 Metallin- ja kivenerotus.....	31
4.2.2 Pienennys.....	33
4.2.2.1 Suurien palojen haketus ja murskaus.....	33
4.2.2.2 Seulonta ja rejektin hienonnus.....	36
4.2.3 Kuivaus .....	38
4.2.4 Kuivurit.....	40
4.2.4.1 Rumpukuivuri .....	40
4.2.4.2 Hihnakuivuri .....	42
4.2.4.3 Kaskadikuivuri.....	44

4.2.4.4 Pneumaattinen kuivuri .....	45
4.3 Varastointi.....	48
4.3.1 Ulkovarastointi .....	48
4.3.2 Siilot.....	50
4.4 Syöttö- ja käsittelylaitteistot .....	52
4.4.1 Siilon purkulaitteet.....	53
4.4.2 Kuljettimet .....	56
4.4.2 Syöttöjärjestelmä .....	62
4.5 Laituskäsittelytekniikat.....	63
4.6 Käsittelyn erityisvaatimukset .....	65
<b>5 PUUBIOMASSAN KÄSITTELYN TURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....</b>	<b>66</b>
5.1 Itsestään kuumeneminen ja palot.....	66
5.2 Kaasuuntuminen .....	70
5.3 Pöly- ja kaasuräjähdykset .....	72
5.4 Terveysriskit .....	75
5.5 Ympäristövaikutukset.....	78
<b>6 YHTEENVETO.....</b>	<b>81</b>
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>82</b>
<b>LIITTEET</b>	
Liite 1 Puuraaka-aineen luokitus standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan	
Liite 2 Kauppanimikkeiden luokittelu	
Liite 3 Puuhakkeen ja -murskeen luokittelu eri ominaisuuksien mukaan	
Liite 4 Hakkeen ja murskeen palakokovaatimukset standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan	
Liite 5 Pienille laitoksille tarkoitetun puuhakkeen luokitus eri ominaisuuksien mukaan	
Liite 6 Metsäteollisuuden sivutuotteiden ja tähteiden laatuluokitus eri ominaisuuksien suhteen	

## 1 JOHDANTO

Nykyaikaisen ajattelumallin mukaan pyrkimys vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja lisätä uusiutuvan energian käyttöä pienentää kasvihuonekaasupäästöjä ja ilmastonmuutosta. Bioenergia on uusiutuvaa energiaa, jossa hyödynnetään eloperäistä ainetta, kuten puita ja kasveja, energiatuotantoon. Biomassan polton ei nähdä lisäävän hiilidioksidin määrää ilmakehässä, koska ne sitovat saman verran hiiltä ilmakehästä kasvaessaan, kuin niiden poltossa vapautuu.

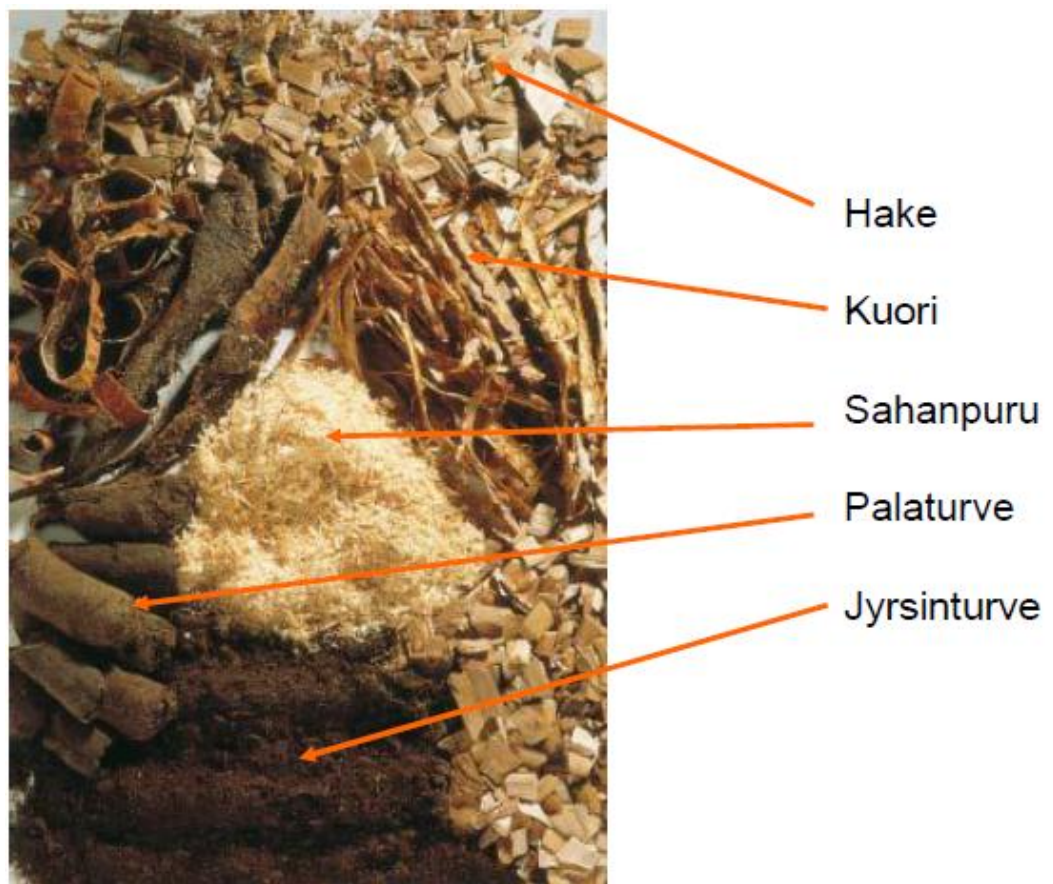
Suomi on metsävarantojensa ja suuren metsäteollisuussektorinsa takia ihanteellinen paikka puubiomassan käytön lisäämiseen. Metsäteollisuuden sivuvirrat on ohjattu polttoon jo teollisuuden alkua ajoista asti. Energiapuun ja jatkojalostukseen kelpaamattomien puunosien, kuten oksien ja kantojen, käytön lisäämisellä saadaan biomassan käyttöä tehostettua edelleen.

Biomassan käytössä on monenlaisia haasteita. Puun eri osilla on erilaisia ominaisuuksia ja laitoksille tuotava biomassa voi olla laadultaan epätasaista. Suurimpina haasteina on puun palakoon ja kosteuden epätasaisuus. Puun kuljetus- ja käyttökustannukset vaihtelevat suuresti ja polton kannattavaksi saaminen onkin haasteellista. Biomassan käsittelyssä laitoksella aiheutuu melua, päästöjä ja erilaisia turvallisuusriskejä, jotka on otettava huomioon laitosta suunniteltaessa.

Diplomityössä keskitytään puubiomassaan. Työn tarkoituksena on esitellä erilaisien puubiomassojen ominaisuuksia, käsittelylaitteistoja, varastointia sekä käsittelyn turvallisuus- ja ympäristöasioita. Työssä paneudutaan myös puubiomassan käsittelyn ja varastoinnin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. Työ on rajattu voimalaitosten sisällä tapahtuvaan biomassan käsittelyyn ja työssä on keskitytty isoihin biovoimalaitoksiin.

## 2 KIINTEÄN BIOMASSAN OMINAISUUDET

Materiaalin käsittelyn kannalta biomassa, kuten puuhake, kuori ja sahausjätteet eivät yleensä käyttäydy kuten vapaasti virtaavat aineet. Kiinteiden biopolttoaineiden suurimmat käsittelyyn ja varastointiin liittyvät huolenaiheet ovat niiden kosteuspitoisuus ja koko. Ohessa on myös käsitelty näiden lisäksi myös muita puubiomassan ominaisuuksia.



Kuva 1. Erilaisia Biopolttoaineita (Vakkilainen, 2009)



## 2.1 Kosteus

Puupolttoaineiden kosteuspitoisuus vaihtelee suuresti, riippuen puulajista, korjuuajasta, esikäsitteystä ja varastointitavasta ja -ajasta. (Van Loo & Koppejan, 2008)

Tuoreen puun kosteus on yleensä 40-60 %. Kosteuteen vaikuttavat, kasvupaikka, puulaji sekä puun ikä, ja lisäksi kosteus vaihtelee puun eri osissa. Kasvavan lehti-puun kosteus vaihtelee vuodenajoin. Elävässä puussa soluseinä on kyllästynyt vedellä ja soluontelo sekä soluvälit ovat veden täyttämiä. Kuivattaessa puusta poistuu ensin nk. vapaa vesi eli onteloissa oleva vesi. Viimeisenä poistuu sidottu eli soluseinämän vesi. Puun fysikaaliset ominaisuudet alkavat muuttua, kun tämä sidottu vesi alkaa poistua eli alitetaan nk. puun solujen kyllästymispiste. Puuta kuivattaessa sen tilavuus kutistuu. (Alakangas, 2000)

Kuiva puu tulee teollisuudesta, kuten sahojen jätteestä. Sen kosteuspitoisuus on yleensä alle 15 %. Alla olevasta taulukosta nähdään yleisimpien puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia.

Taulukko 1. Puiden kosteuspitoisuuksia (Alakangas, 2000)

Puupolttoaine	Kosteuspitoisuus, p- %	
	Puristamaton	Puristettu
Rankahake, tuore	50	
Rankahake, rasikuiva	40	
Rankahake, ilma-kuiva, ylivuotinen	25-30	
Metsäntähdehake, mänty	60	
Metsäntähdehake, kuusi	50-57	
Metsätähde, oksahake	50	
Kantohake	35	
Pajuhake	35-40	
Hakkeen seulontajäte	50-55	
SAHAUSTÄHDE		
Sahanpuru ja hake, kuivaamaton	50-55	
Sahanpuru, kuivatusta sahatavarasta	10-15	
Tasauspätkien hake	15	
Hiomapöly	5-10	
Hiomapöly, puusepän kuiva	15-20	
Kutterinpuru, puusepän kuiva	5-10	
Kutterinpuru, ilma-kuiva	15-20	
Puusepänteollisuuden jäte	5-10	
Puusepänteollisuuden jäte, ilma-kuiva	15-20	
Vanerijäte	35-50	
Vanerin tasausreunat	5-10	
KUITUPUUN KUORI		
Havupuu, kuiva kuljetus		
• kuiva kuorinta	40-50	
• märkä kuorinta	60-70	55-62
Havupuun märkä kuljetus tai varastointi vedessä	70-85	55-62
Koivupuu		
• märkä kuorinta	65-70	55-62
• kuiva kuorinta	40-50	
SAHANPUUN KUORI		
Havupuu		
• kuiva käsittely	40-50	
• märkä käsittely	60-80	55-62
Koivu	35-50	

## 2.2 Lämpöarvo

Puuaineksen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on 18,3-20,0 MJ/kg. Latvojen, oksien ja pienikokoisten puiden lämpöarvo on hieman suurempi kuin kokopuun (Kytö et al. 1983; Nurmi 1993, 1997 ja 2000). Esimerkiksi männyllä oksien lämpöarvo on 19,99 MJ/kg ja rungon 19,53 MJ/kg (Nurmi, 2000). Suurimmat vaihtelut puun eri osien välillä on lepällä ja haavalla. Puun lämpöarvo on muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna pieni, mikä asettaa omat vaatimuksensa puun käsittely- ja polttolaitteille. Myös varastotilaa tarvitaan yleensä enemmän kuin muita kiinteitä polttoaineita käytettäessä. (Alakangas, 2000) Taulukossa 2 on tarkasteltu eri polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja kuiva-aineessa (HHV).

Taulukko 2. Erilaisten polttoaineiden lämpöarvoja (Vakkilainen, 2009).

<b>Polttoaineita</b>	<b>HHV (MJ/kg)</b>
Hiili	23,0 ... 32,0
Öljy	40,0 ... 45,0
Maakaasu	50,0 ... 55,0
Muovi	27,0 ... 34,0
Sekajäte	8,5 ... 11,0
Sairaalajäte	17,5 ... 22,5
Puhdistamoliete	7,0 ... 13,0
Auton renkaat	32,0 ... 40,0
Puu	17,0 ... 20,0

Yleisesti voidaan sanoa, että mitä suurempi hiili- ja vetypitoisuus, sitä parempi lämpöarvo. Suuret hapen määrät puolestaan pienentävät polttoaineen lämpöarvoa. Alkuainetarkastelun lisäksi lämpöarvoa voidaan karkeasti arvioida biopolttoaineen rakenneaineiden, selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin perusteella. Näistä selluloosakuituja sitovalla ligniinillä on korkein lämpöarvo. Polttoaineen ligniinin osuuden kasvu tarkoittaa pienempää hapen ja suurempaa hiilen osuutta ja siten parempaa lämpöarvoa. Biomassojen ylempät lämpöarvot ovat samankaltaisia. (Vakkilainen, 2009) Taulukossa 3 on tarkasteltu puupolttoainelajien lämpöarvojen vaihteluja.

Taulukko 3. Eri puupolttoainelajien tehollisia lämpöarvoja kuiva-aineessa (Alakangas, 2000)

<b>Puupolttoainelaji</b>	<b>Puulaji</b>	<b>HHV , MJ/Kg</b>
Kuorellinen pinopuu	Mänty	19,3
	Kuusi	19,1
	Koivu	19,5
Taimistojen kokopuuhake	Mänty	20,5
	Kuusi	19,6
	Koivu	19,6
Harvennusten kokopuuhake	Mänty	19,6
	Kuusi	19,2
	Koivu	19,0
Hakkuutähde neulasitta	Mänty	20,4
	Kuusi	19,7
	Koivu	19,7
Hakkuutähde neulasineen	Mänty	20,5
	Kuusi	19,8
Metsätähdehake		19,3
Kanto- ja juuripuu	Mänty	19,5
	Kuusi	19,1
Sahanpuru		18,9
	Mänty, kuoreton	19,0
Kutterinlastu		18,9
Kuori	Mänty	20,0
	Kuusi	18,6
	Koivu	22,7
Hake	Paju	16,2

## 2.3 Tiheys

Puun tiheys (kuiva-tuoretiheys) voi vaihdella kasvupaikan, geneettisen perimän ja iän mukaan, ja samankin lajin samalla paikalla kasvavien runkojen tiheyksissä saattaa olla eroja. Koivun tiheys on yleensä 470-500, männyn 380-420, kuusen

380-400, harmaalepän 360-370, haavan 400, pihlajan 540, tammen 600, saarnin 590, katajan 510 ja nuorten pajujen 380 kg/m<sup>3</sup> (Kytö et al. 1983; Björklund 1984; Björklund & Ferm 1982; Hakkila et al. 1978; Tahvanainen 1995; Alakangas, 2000) Puupelleteillä irtotiheys on noin 600-750 kg/m<sup>3</sup> ja briketeillä noin 650 kg/m<sup>3</sup>. (Alakangas 2000) Puuhakkeen kuiva-tuoretiheydet ovat männylle ja kuuselle noin 395-409 kg/m<sup>3</sup> ja koivulle 393-494 kg/m<sup>3</sup>. Kuiva-tuoretiheys kutterinlastulle on 80-120 kg/m<sup>3</sup> ja sahanpurulle 380-480 kg/m<sup>3</sup>. (Alakangas 2000; Vakkiainen 2009)

Taulukko 4. Kuiva-tuoretiheyksien vaihteluita eri puulajien eri osissa (Kytö et. al. 1983; Alakangas, 2000)

Puulaji	Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>				
	Koko puu	Runkopuu	Oksat	Kanto	Kuori
Mänty	385	390-410	450	450	300
Kuusi	400	380-400	610	410	340
Koivu	475	490	530	510	550
Leppä	370	360-430	405-440		
Haapa	385	360	450		
Pyökki		575-625	750		

## 2.4 Palakoko

Puun palakoko vaikuttaa käsittelyyn, varastointiin, polttoaineen esivalmisteluihin, polttojärjestelmiin ja päästöihin. Haluttu palakoko saavutetaan seulonnan ja jälkimurskauksen avulla. (McGowan, 2009)

## 2.5 Tuhkapitoisuus

Kuorettoman runkopuun tuhkapitoisuus on tavallisesti alle 0,5 %, havupuun kuoren alle 2 %. Puun tuhkapitoisuus on tavallisesti pienempi kuin muiden kiinteiden polttoaineiden, mikä helpottaa tuhkan käsittelyä ja pienentää tuhkan käsittelyn kustannuksia. (Kytö et al. 1983; Wilen et al. 1996; Alakangas, 2000)

Taulukko 5. Eri puupolttoainelajien tuhkapitoisuus kuiva-aineessa (Alakangas, 2000)

Puupolttoainelaji	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, p-%
Halko/nalikat, Halko ja klapi	0,5 / 1,2
Kokopuuhake, mänty/Kokopuuhake, sekapuu	0,6 / 0,5
Koivuhake	0,4 - 0,6
Hakkuutähdehake	1,33
Hakkuutähdehake, kuusi	2,0 - 6,0
Kantohake	0,5
Pajuhake	1,7
Sahanpuru, kuorineen/Sahanpuru, mänty, kuoreton	1,1 / 0,08
Kutterinlastu	0,4
Männyn kuori	1,7
Kuusen kuori	2,3 - 2,8
Koivun kuori	1,6

## 2.6 Epäpuhtaudet

Kuorien ja hakkuutähteiden seassa saattaa esiintyä epäpuhtauksia. Kuoret voi sisältää runsaasti hiekkaa (silikaattia). Hiekka sekoittuu kuoren joukkoon kahdella tavalla. Hiekka voi imeytyä kuoren pintakerrokseen tuulen kuljettamana tai puun korjuun yhteydessä maan kosketuksesta. Korkea silikaattipitoisuus aiheuttaa ongelmia kattiloiden arinoiden tukkeutumisena, polttoaineen ja tuhkan käsittelysystemien eroosiona, lämmönvaihtimen kulumisena ja hiukkaspäästöjen lisääntymisenä. (McGowan, 2009)

Biomassan joukkoon voi myös joutua sinne kuulumattomia suuria tai pieniä tavaroita. Nämä ovat yleensä seurausta vääristä työtavoista tai inhimillisistä erehdyksistä. Biomassan seasta on kuuleman mukaan voinut löytää mm. polkupyöriä, isoja kiviä, erinäisiä työkaluja, työhanskoja ja -vaatteita ym. Tällaiset tavarat voivat pahimmillaan aiheuttaa suurtakin tuhoa jos niitä ei havaita ajoissa. Ylimääräisen tavaran joutumista biomassan joukkoon voidaan pyrkiä estämään lisäämällä käytön huolellisuutta ja valvontaa, sulkemalla reittejä, joissa joudutaan kosketuksiin biomassan kanssa ja minimoimalla ylimääräisten ihmisten kulkeminen alueella.

## 2.7 Puupolttoaineiden ongelmat

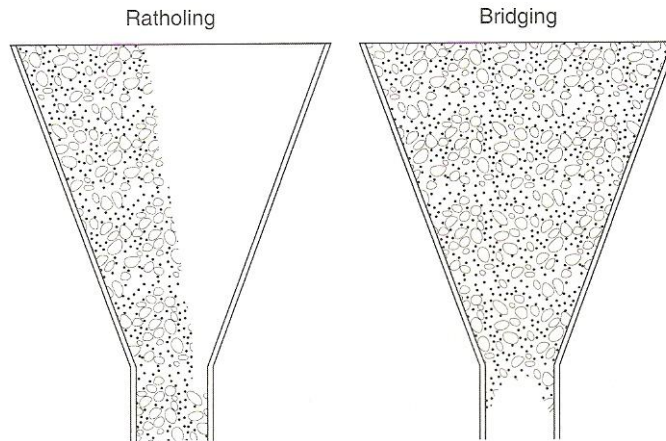
Biomassan holvautuminen siiloissa voi aiheuttaa ongelmia. Holvin muodostumiseen vaikuttaa monet tekijät kuten, polttoaineen tiheys ja juoksevuusominaisuudet. Polttoaineen juoksevuuteen siilossa vaikuttaa:

- Materiaalin sisäinen kitka
- Tiivistymistäipumus
- Juoksevuusfunktio
- Koheesivoimat
- Todellinen kitkakerroin materiaalin ja seinämän välillä
- Ulkoisten paineiden, lämpötilojen ja varastointiajan vaikutus em. ominaisuuksiin.

Polttoaineen juoksevuuteen vaikuttaa myös siilon korkeus ja purkausaukon suuruus. Polttoainekerroksen korkeuden kasvaessa siilossa olevat alemmat kerrokset joutuvat yhä suurempien voimien kohteeksi vaikeuttaen polttoaineen keskinäistä liikettä. Myös polttoaineen jäätyminen heikentää juoksevuuutta. Holvautuminen aiheuttaa siilojen kapasiteetin pienenemistä ja holvin irtoaminen voi luoda vaaratilanteita ja laite- ja rakennerikkoja. (Rautalin et al., 1986)

Holvautumisen estämiseksi siilon muotoon on kiinnitetty huomiota. Kuvassa 2 esiintyvät vanhat suppilonmalliset siilot on korvattu pystysuorilla tai alaspäin suu-

renevilla siiloilla. Siilojen koon ja purkausaukkojen suunnittelu, materiaalien valinta ja eristäminen auttavat holvautumisen estämisessä.

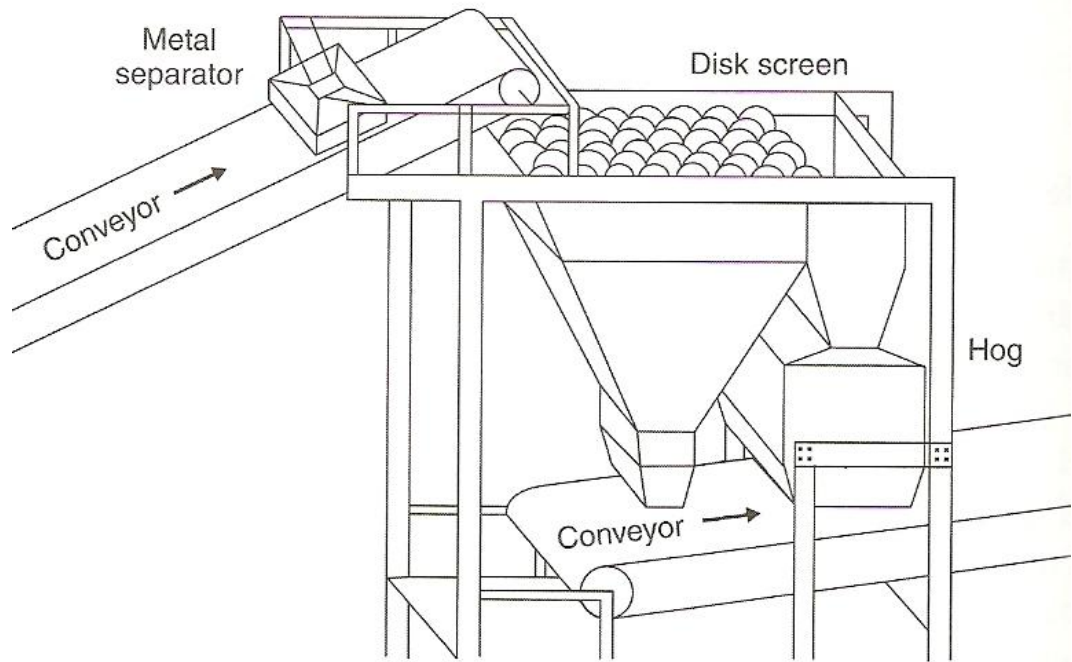


Kuva 2. Vanhanmallisten siilojen holvautumis- ja tukkeutumisongelmia (McGowan, 2009)

Jääkamien muodostuminen biomassaan aiheuttaa ongelmia varsinkin Suomen kaltaisissa sääolosuhteissa. Ne ovat erikokoisia jäisiä polttoainemöykkyjä, jotka joutuessaan purkaus- tai kuljetinlaitteistoihin, voivat aiheuttaa suurta tuhoa. Jotta jääkameja ei muodostuisi, on polttoaineen oltava riittävän kuivaa ja tasalaatuista. Myös hakevarastojen tasainen täyttö ja kulutus vähentää kamien määrää. Muita keinoja jääkamien estämiseksi on tulevan polttoaineen laadun valvonta, purkauspaikkojen lämmitys, hajotusrullat ja kamiseulat.

Polttoaineessa olevat ylisuuret palat ja pitkät tikut voivat aiheuttaa ongelmia purku- ja kuljetinlaitteistossa. Tällaisia ongelmia ovat tukokset, kiilautumiset ja kulumat. Ylisuurten palojen ja tikkujen poistamiseen käytetään seulontaa ja jälkimurskausta (kuva 3). Myös tulevan polttoaineen laadunvalvonta on tärkeässä osassa.





Kuva 3. Puupolttoaineiden seulonta- ja hienonnuksilaitteisto. (McGowan, 2009)

Biopolttoaineen pölyäminen voi aiheuttaa terveys- ja ympäristöongelmia. Pölyn kertyessä rakenteisiin ja ilmaan, aiheutuu myös räjähdysvaara. Pölyhaittojen ehkäisemisessä laitteistojen puhtaanapito, kuljettimien suojaaminen ja polttoaineen pudottamisen välttäminen kovalle alustalle ovat avainasioita.

Polttoaineen ikä ja ominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmia esikäsittelyssä. Esimerkiksi tuore metsähake ei murskaannu yhtä helposti kuin kuivempi polttoaine. Tällöin murskeen sekaan pääsee taipuisia oksia jotka aiheuttavat tukoksia.

## 2.8 Biopolttoaineiden laatuluokitus

Puupolttoaineet määritellään kahdella eri tavalla:

- Alkuperän ja raaka-ainelähteen mukaan, mikä luokitellaan standardin SFS-EN 14961-1/ SFS-EN ISO 17225-1 taulukon 1 raaka-aineluokan 1 Puubiomassa- pääluokan mukaan (liite 1)
- Kauppanimikkeen (Liite 2) ja ominaisuuksien mukaan (Liitteet 3-6)

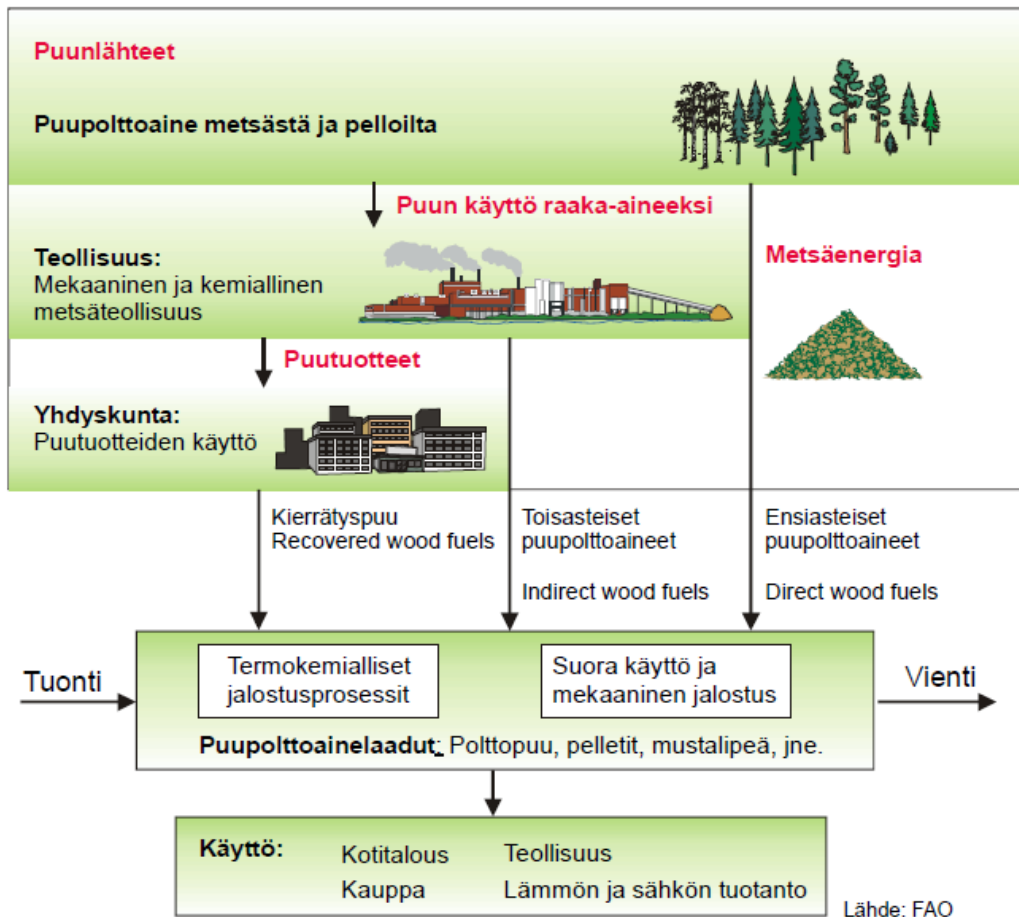
Suomessa yleisimmin käytetyt lämpö- ja voimalaitosten puupolttoaineet on luokiteltu eri ominaisuuksien mukaan laatuluokittelustandardeissa SFS-EN 14961-1:2010 osa 1 ja SFS-EN 14961-4:2011 osa 4. Ensimmäinen standardi soveltuu paremmin isommille laitoksille. Standardissa on omat laatuluokitukset seuraaville Suomessa yleisesti käytetyille puupolttoaineille; puuhake, puumurske, sahanpuru, höylän lastut eli kutterinpuru ja kuori. Jälkimmäinen laatuluokittelustandardi kohdistuu ei-teollisuuskäyttöön soveltuvalla puuhakkeelle eli pienen kokoluokan sovelluksiin. (Puupolttoaineiden laatuohje)

### 2.8.1 Luokittelu raaka-aineen alkuperän mukaan

Laatuluokittelustandardin osassa 1 kuvataan myös järjestelmä raaka-aineen alkuperän luokitteluksi kiinteiden biopolttoaineiden tuotantoa varten. Ensimmäinen taso määrittelee neljä pääbiomassatyyppiä: puu-, kasvi- ja hedelmäbiomassa, vesibiomassa, sekä sekoitukset ja seokset. Toisella tasolla luokitellaan biopolttoaineen alkuperä, ja tasoilla kolme ja neljä annetaan yksityiskohtaisempaa tietoa esimerkiksi puun osista. Liitteissä 3 ja 5 on kuvattu raaka-aineen laadun ilmoittaminen hakkeelle ja murskeelle. Liitteessä 1 on tarkempi puuraaka-aineen luokitus. (Puupolttoaineiden laatuohje)

Kuvassa 4 nähdään FAOn metsäosaston luokitus puupolttoaineilla alkuperän mukaan: FAOn luokitus on:

- Ensimmäiset: Metsästä tai pelloilta kasvatetusta puusta tai puunosista valmistettuja polttoaineita.
- Toisasteiset: Teollisuuden sivutuotteina tai puutähteinä saatavia puupolttoaineita.
- Kierrätyspuupolttoaineet: Käytetyistä puutuotteista valmistettuja puupolttoaineita. (Alakangas, 2000)



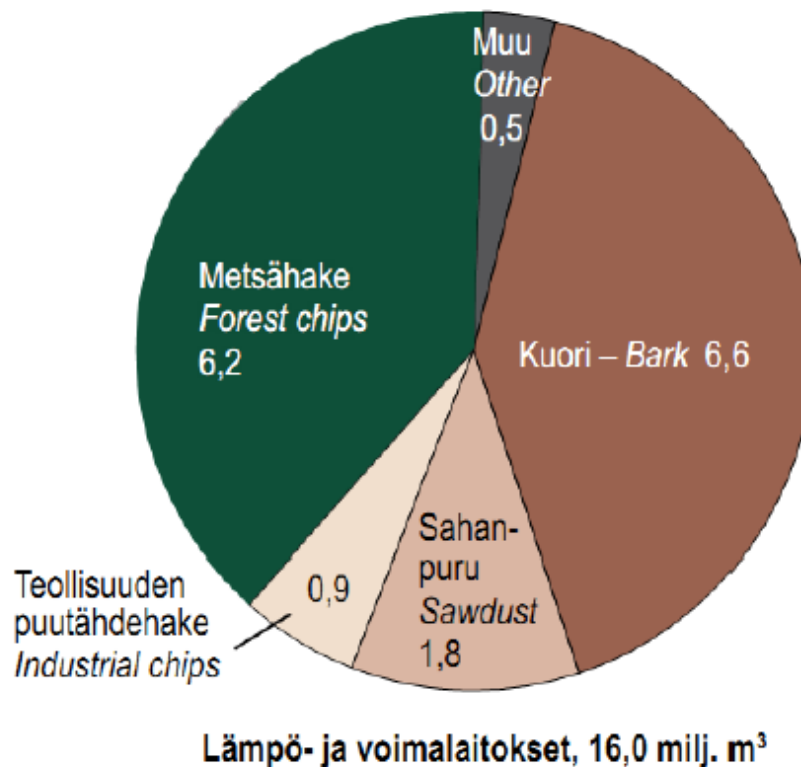
Kuva 4. Puupolttoaineiden luokittelu alkuperän mukaan(Alakangas, 2000)

### **2.8.2 Luokittelu ominaisuuksien mukaan**

Luokittelu ominaisuuksien mukaan on esitetty liitteessä 3. Puupolttoaineiden ominaisuuksista kosteus on tärkein tekijä polttoainekaupassa. Kosteus vaikuttaa lisäksi kuljetuskustannuksiin sekä laitoksella polttoaineiden käsittelyyn sekä polton ja päästöjen hallintaan. Liitteessä 5 on esitetty laatuluokitusstandardin SFS-EN 14961-4:2011 osa 4:n mukainen luokitus puuhakkeelle ei-teollisuuskäyttöön. Laatuluokitusstandardin mukaiset luokitukset yleisimmille metsäteollisuuden sivutuotteille (sahanpuru, höylän lastut, kuori) on esitetty liitteessä 6.

### 3 ERILAISET PUUPOLTTOAINEET VOIMALAITOKSISSA

Kuvassa 5 nähdään kaavio puupolttoaineiden käytöstä lämpö- ja voimalaitoksissa. Eniten voimaloissa käytetään kuorta, jota esim. metsäteollisuus polttaa ahkerasti omissa laitoksissaan. Toinen suuri käyttökohde on metsähake melkein yhtä suurella osuudella kuoren kanssa. Sahanpurua ja teollisuuden puutähdehakea seuraavaksi eniten, mutta muiden puupolttoaineiden osuus jää pieneksi.



Kuva 5. Puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa. (Vakkilainen, 2009)

#### 3.1 Hake

Polttohake on hakkurilla kokopuusta, rangoista, metsätähteestä tai muusta puuaineksesta tehtyä polttoainetta. Kokopuuhake valmistetaan karsimattomasta puusta ja rankahake karsituista rangoista. Hakkuutähteestä eli latvoista, oksista ja rai-

vauspuusta tehdään hakkuutähdehaketta ja kannoista kantohaketta tai -mursketta. Sahanhake on sahauksen sivutuotteena valmistettua haketta (Hakkila 1992; Alakangas, 2000)

Taulukko 6. Erilaisten hakkeiden ominaisuuksia (Raiko 1995)

Ominaisuus	metsätähde	kokopuu-hake	rankahake	kantohake	puutähdehake	sahanhake
Kosteus, %	50 - 60	45 - 55	40 - 55	30 - 50	10 - 50	45 - 60
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg <sub>ka</sub>	18,5 - 20	18,5 - 20	18,5 - 20	18,5 - 20	18,5 - 20	18,5 - 20
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg	6 - 9	7 - 10	7 - 11	8 - 13	6 - 15	6 - 10
Irtotiheys saap. tila, kg/m <sup>3</sup>	250 - 400	250 - 350	250 - 350	200 - 300	150 - 300	250 - 350
Energiatiheys, MWh/i-m <sup>3</sup>	0,7 - 0,9	0,7 - 0,9	0,7 - 0,9	0,7 - 1,0	0,7 - 0,9	0,5 - 0,8
Tuhkipitoisuus, %	1 - 3	1 - 2	0,5 - 2	1 - 3	0,4 - 1	0,5 - 2
Vetypitoisuus, %	6 - 6,2	5,4 - 6	5,4 - 6	5,4 - 6	5,4 - 6,4	5,4 - 6,4
Rikkipitoisuus, %	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Typpipitoisuus, %	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5

Haketta käytetään rakennusten lämmityskattiloissa, lämpölaitoksilla ja teollisuuden lämpö- ja voimalaitoksilla. Kosteus onkin polttohakkeen tärkein laatuominaisuus. Hakepalan keskimääräinen tavoitepituus on tavallisesti 30-40 mm.

Kun kosteus tunnetaan, merkittävin epävarmuustekijä on tiiviys, joka vaihtelee, sillä se riippuu haketuksen, murskauksen ja kuljetuksen teknisistä ratkaisuista. Hakkeen tiiviys osoittaa kiintotilavuuden ja irtotilavuuden suhteen eli sen, kuinka paljon kiintokuutioita tulee yhdestä irtokuutiosta. Tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat tiivyyteen ovat palakoko, palan muoto, puulaji, oksat, kosteus, vuodenai-ka, kuormausmenetelmä ja painuminen (Hakkila, 2000; Alakangas, 2000)

Hakkeen palakoko on epäyhtenäinen, pienet palaset täyttävät suurten välisiä tiloja kuormauksen ja kuljetuksen aikana. Kokopuuraaka-aineesta ja hakkuutähteestä

tehdyssä hakkeessa on enemmän hienoainesta kuin esimerkiksi palakooltaan tasajakeisemmassa kuitupuuhakkeessa, joten polttohakkeen tiiviys on yleensä hieman suurempi. Jos hakkeeseen sekoitetaan sahanpurua, tiiviys kasvaa merkittävästi. Mitä suurempi on hakepalasen pinnan lävistäjän suhde palan paksuuteen, sitä alhaisempi on hakkeen tiiviys.

Hauraista puulajeista kuten harmaalepstä tehty hake sisältää tavanomaista enemmän hienojaetta, joka siis lisää hakkeen tiiviyyttä. Tuoreista oksista, erityisesti norjista lehtipuuoksista syntyy ylipitkiä kappaleita, jotka alentavat hakkeen tiiviyyttä. Kuivuneen raaka-aineen haurastuneista oksista syntyy vähemmän ylipitkiä oksanpätkiä. Siksi raaka-aineen kuivuminen lisää hakkeen tiiviyyttä. Jäätynyt raaka-aine on haurasta ja tuottaa haketuksessa enemmän hienoainesta. Siksi jäätyneestä puusta tehdyn hakkeen tiiviys on yleensä normaalia korkeampi.

### **3.1.1 Sahanhake**

Sahanhaketta syntyy tähteenä sahoilta. Jäännösmateriaali haketetaan ja kuljetetaan jälkikäyttöön. Sahanhake on yleensä puun tukkipuun ulkopinnoilta syntyvää tähdettä. Varsinkin havupuun ulkopinnoilta saadut kuidut ovat pitkäkuituisempia kuin puun keskiosilta tulevat kuidut. Näin ollen sahanhaketta on järkevämpi käyttää sellutehtaiden armeerausmassana, eikä biomassana voimalaitoksilla.

### **3.1.2 Hakkuutähteet**

Hakkuutähteet muodostavat käyttökelpoisen ja määrällisesti merkittävän raaka-ainelähteen puupolttoaineiden tuotannossa. Ainespuun hakkuuvaiheessa muodostuvan hakkuutähteen määrää ja koostumus vaihtelee huomattavasti hakkuukohteittain. Hakkuutähdettä voidaan korjata joko heti hakkuun jälkeen tuoreena neulasineen tai kesäkauden jälkeen kuivahtaneena, jolloin huomattava osa neulasista sekä pieni määrä kuorta ja ohuita oksia jää hakkuualalle. Kuivahtanutta hakkuutähdettä

korjattaessa talteensaanto pienenee ja korjuun kannattavuus heikkenee. (Alakangas, 2000)

Jos hakkuutähteen annetaan kuivahtaa palstalla pari kesäkuukautta, kosteus laskee 50-60 %:sta jopa 20-30 %:iin. Hakkuutähteen kuivumisen myötä neulaset varisevat, ohuet oksat katkeilevat ja kuorikin irtoaa osittain. Hakkuutähteen puuainepitoisuus nousee ja kosteus vähenee, mutta toisaalta korjattavissa olevan hakkuutähteen määrä vähenee jopa 20-30 % pääasiassa neulasten karisemisen takia. Myös talteensaanto on pienempi kuin tuoreella hakkuutähteellä. Kuivahtaneen hakkuutähteen talteensaanto on 45 %.

Tuoreessa hakkuutähdehakkeessa on puuainetta keskimäärin 40 %, kuorta 23 % ja neulasia 37 %. Kuivahtaneesta hakkuutähteestä tehdyn hakkeen vastaavat luvut ovat: puuainetta yli 60 %, kuorta alle 30 % ja neulasia alle 10 % (Alakangas et al. 1999)

Eri lämpö- tai voimalalaitosten vastaanotto-, kuljetin- ja polttolaitteet poikkeavat toisistaan. Tämän takia käyttöpaikka asettaa hakkeelle tietyt laatuvaatimukset, joista tärkeimmät ovat kosteus ja palakokojakauma. Mikäli hakkeessa on pitkiä tikkuja, saattavat ne aiheuttaa käsittelylaitteissa holvaantumista ja tukkeutumista. Tasalaatuisen, suhteellisen hienojakoisen hakkuutähdehakkeen käsittelyominaisuudet eivät eroa merkittävästi sahauksen sivutuotteiden, purun ja kuoren, ominaisuuksista.

Hakkuutähdehake on palakooltaan ja kosteudeltaan epähomogeenista. Palakoko vaihtelee purumaisesta neulas- ja kuoriaineksesta puukapuloihin ja oksanpätkiin. Palakokoon vaikuttavat haketettava raaka-aine, hakkuri tai murskain, hakkurin terien kunto sekä käytettävän seulan reikäkoko. Mitä enemmän runkopuuta haketettava raaka-aine sisältää, sitä tasaisempi hakkeen palakokojakauma on. Murskaimilla tehtävä hake on palakooltaan karkeampaa kuin hakkureilla tehtävä hake.



Tuoreen hakkuutähteen kosteus on 50-60 painoprosenttia koko hakemäärän mäsasta. Hakkuutähteestä tuotettavan hakkeen kosteus on kuitenkin 25-65 %. Kosteuteen vaikuttaa mm. vuodenaika ja varastointi. Kesäaikana voidaan päästä alle 30 %:n kosteuksiin, kun hakkeen raaka-aine kuivuu palstalla, mutta vastaavasti talvella kosteudet saattavat nousta jopa 65 %:iin, kun hakkeen joukkoon joutuu lunta ja jäätä. Kosteus vaikuttaa merkittävästi hakkeen energiatihyteen. Käytännössä hakkuutähdehakkeen energiatiheys on 0,6-1,0 MWh/i-m<sup>3</sup>.

### **3.1.3 Kokopuu- ja rankahake**

Kokopuuhaketta käytetään pienemmissä lämpökeskuksissa ja koti- ja maatalouden lämpökattiloissa. Hake valmistetaan karsimattomista rangoista, jotka ovat joko hukkarunkopuuta tai teollisuudelle kelpaamatonta pienpuuta (mm. vajaatuottoiset metsät, taimikot, ensiharvennukset). Rankahake valmistetaan karsitusta runkopuusta, yleensä runkohukkapuusta. Runkohukkapuu sisältää yleensä korjuussa ja metsänhoitotöiden yhteydessä metsään käyttämättä jäävän runkopuun kuorineen. Kokopuuhaketta käytetään tällä hetkellä eniten kiinteistöjen lämmitykseen sekä pienemmissä kaukolämpökeskuksissa, joissa polttoaineen laatuvaatimukset ovat tiukemmat kuin suuremmissa laitoksissa. Kiinteistöjen polttoaineilla hakkeen kosteuden on oltava alhaisempi (max. 40 %) ja palakoon tasaisemman. (Alakangas, 2000)

### **3.1.4 Kuori**

Puun kuori muodostuu ulkokuoresta ja sisäkuoresta eli nilasta. Kuoren ja puun välissä sijaitseva jälsi tuottaa sisäpuolelleen puuainetta ja ulkopuolelleen nilaa, jota pitkin puu kuljettaa yhteyttämistuotteita latvuksesta runkoon ja juuristoon. Kaarna ja tuohi ovat ulkokuorta. Kuoren osuus runkopuusta on 10-20 %, mutta pienissä oksissa sen osuus voi olla jopa 60 %. (Alakangas, 2000)

Koska kuoressa on huomattavia määriä ligniiniä, sen lämpöarvo on korkea. Lämpöarvo on lähes sama rungon eri korkeuksilla. Sen sijaan eri puulajien kuorten

lämpöarvot vaihtelevat huomattavasti siten, että lehtipuilla lämpöarvot ovat pääsääntöisesti selvästi korkeampia kuin havupuilla. Käytännössä korkeat kosteus- ja tuhkapitoisuudet heikentävät huomattavasti kuoren polttoaineominaisuuksia. Sen vuoksi kuoren polttamisessa onkin usein kysymys pikemmin kuorijätteen hävittämisestä kuin energian tuotannosta. Puun kuorta käytetään yleensä metsäteollisuuslaitosten ja lämpökeskusten kattiloiden polttoaineena. Puunjalostusteollisuuden sivutuotteena syntyvästä kuoresta suurin osa on havupuiden kuorta. Kuoren käsittelyn kannalta ongelmallista on kuoren epähomogeenisuus ja lisäksi polttoaineseoksissa kuori aiheuttaa ongelmia käsittely- ja syöttölaitteissa.

Kuoren polttoaineominaisuuksia voidaan parantaa mm. puristamalla, kuivaamalla tai sekoittamalla sitä muiden polttoaineidenjoukkoon. Kuori voidaan kuivata lämmön avulla tai mekaanisesti kuoripuristimella. Kuoren seulonnassa kannattaa suuret kappaleet erottaa tarkemmin alitteesta ja pienet ylitteestä, vältetään suurten kappaleiden aiheuttamat ongelmat puristuksessa. Saavutettava kuiva-ainepitoisuustaso riippuu suuresti sekä kuoren lämpötilasta että partikkelikoosta. Lämpökuivaus on harvinaisempi ja vaatii suuria laitoksia.

### **3.1.5 Kannot**

Kannot ovat sitkeitä hakettaa, ja ne yleensä murskataan. Kantohakkeen kosteus on yleensä noin 35 %:n luokkaa, ja tuhkapitoisuus voi olla suurempi, jos mukaan on joutunut maa-aineista. Kantomurskeelle on tyypillistä paksut palat. (Alakangas, 2000)

### **3.2 Sahanpuru ja kutterinlastut**

Polttoaineena käytettävää sahanpurua saadaan puutavaran sahauksen sivutuotteena. Kutterinlastu on puolestaan konehöyläyksessä syntyvää puujätettä. Sahanpuru on yleensä märkää ja ilmavaa tavaraa. Sen kosteus voi kuitenkin vaihdella huomattavasti (ilmakuivasta 70 %:iin). Sahanpurua poltetaan metsäteollisuuslaitosten

ja lämpö-keskusten kattiloissa muiden polttoaineiden ohessa. Kutterinlastu puolestaan on yleensä niin kuivaa ja kevyttä, että sitä ei voida polttaa sellaisenaan vaan se sekoitetaan muihin raskaampiin ja märempiin polttoaineisiin. Sahanpurun tavoin kutterinlastua käyttävät metsäteollisuuslaitokset ja lämpökeskukset. Sahanpurusta ja kutterinlastusta voidaan valmistaa myös puristeita, pellettejä ja brikettejä. (Alakangas, 2000)

### **3.3 Briketit ja pelletit**

Puubriketit valmistetaan kuivasta purusta, hiontapölystä ja kutterinlastusta puristamalla. Sideaineita ei tavallisesti käytetä, sillä puun omat ainekset (ligniini) pitävät puristeen koossa. Puubriketti on yleensä poikkileikkaukseltaan pyöreä tai neliön muotoinen. Sivun pituus tai halkaisija on 50 - 80 mm. Pyöreän briketin sisällä voi olla reikä, jonka halkaisija on 10 - 20 mm. Puristamisen aikana puuaineksen kosteus on alle 15 %. (Alakangas, 2000)

Puupelletit ovat puristamalla valmistettuja, sylinterimäisiä, joskus neliömäisiä rakeita. Pelletit ovat halkaisijaltaan 8 - 12 mm ja niiden pituus on 10 - 30 mm. Niiden raaka-aineiksi käyvät esim. teollisuuden puutähteet, kuori ja metsähake. Pellettien polttoon tarvitaan erityisesti sitä varten suunnitellut laitteet. Isoissa lämpö- tai voimalaitoksissa pelletit murskataan ennen syöttämistä esim. pölypolttokattilaan.



Kuva 6. Puupellettejä (Lindberg et al., 2012)

Joutuessaan kosketuksiin veden kanssa puupelletit kostuvat, turpoavat ja hajoavat. Ne kestävät suoranaista kosteutta huonosti. Siksi puupellettivarasto täytyy suojata sateelta. (Kytö et al. 1983; Alakangas, 2000)

## 4 PUUBIOMASSAN KÄSITTELY LAITOKSELLE

### 4.1 Vastaanotto

Puupolttoaineiden vastaanotossa ei ole yhtä parasta tapaa toimia, vaan jokaisen laitoksen on suunniteltava sopivin ratkaisu omiin tarpeisiinsa. Myös polttoaineen saatavuus vaikuttaa ratkaisuihin. Suurin vaikuttava tekijä on taloudellisuus, ja halvin mahdollinen tapa, joka täyttää vastaanoton vaatimukset, tulee yleensä valita. (McGowan, 2009)

Biomassa kuljetetaan voimalaitoksille yleensä rekoilla. Rekkakuljetuksen etuna on biomassan saaminen suoraan korjuupaikalta laitokselle ilman purkamisen ja uudelleenlastaamisen tarvetta. Autokuljetuksen kustannustehokkuus kuitenkin pienenee kun kuljetusmatkat nousevat yli 100 – 150 km:n. Junakuljetukset ovat kustannustehokkaampia pitemmällä matkoilla, koska samalla kuljetuskerralla voidaan kuljettaa suurempia määriä biomassaa. (Lindberg et al., 2012)

Rekkojen tyhjennys hakkeesta tai murskeesta voidaan suorittaa joko rekan perältä tai kyljestä. Perä- ja kylkityhjennys suoritetaan joko kallistamalla tai sisään rakennetuilla kuljettimilla. Pellettejä voidaan kuljettaa myös itsetyhjentävillä rekoilla. Tällöin tyhjennys tapahtuu paineilman avulla. Normaalisti rekat tyhjenetään suoraan vastaanottosiiloon, joka pienimmissä laitoksissa voi toimia varastona. Suurimmissa laitoksissa bunkkeri toimii rekkojen ja suurempien varastojen välissä. Nämä bunkkerit ovat yleensä katettuja, jotta ympäristö säästyisi pölyhaitoilta ja polttoaine ei joutuisi kosketuksiin veden ja lumen kanssa.



Kuva 7. Vastaanottosiilo (Lindberg et al., 2012)

Siiloissa käytettävä talteenotto-laitteisto valitaan siilon koon, käytettävän biomassan, ja tarvittavan kapasiteetin mukaan. Kun käsitellään pelkkää haketta, ruuvikuljettimet ovat yleisiä. Kun biomassassa sisältää metsätähdettä ja kuorta, suositellaan käytettäväksi ketjukuljettimia tai hydraulisia syöttimiä. Vastaanottosiilojen loppuun asennetaan myös tasaurullia (kuva 8), jotka helpottavat biomassan kulkua seuraavalle kuljettimelle ja samalla rikkoo jäätyneitä kokkareita materiaalista. Vastaanottosiilot voivat olla myös lämmitettyjä, jolloin lumiset ja jäiset hakepalat eivät pääse tukkimaan laitteistoa.



Kuva 8. Tasaurulla (Lindberg et al., 2012)

Vastaanotettaessa biomassaa joka vaatii haketusta tai murskausta, puretaan ne joko suoraan haketin- ja murskainlaitteistoon tai ulkovarastoon.

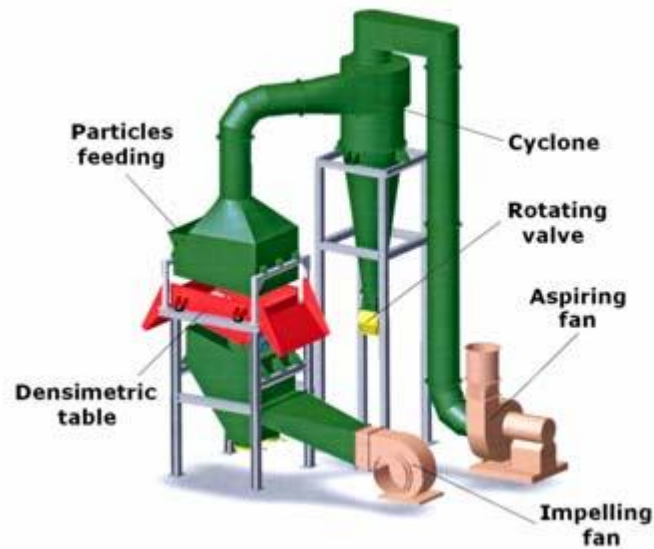
## **4.2 Biomassan esikäsittely**

Esikäsittelyssä biomassasta pitää saada puhdistettua epäpuhtaudet ja saada sen koko sopivaksi polttoprosessin kannalta. Kuivaaminen parantaa biomassan poltto-ominaisuuksia.

### **4.2.1 Metallin- ja kivenerotus**

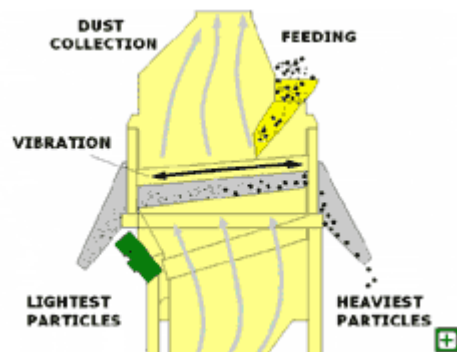
Kun biomassaa saapuu prosessointiin, siitä pitää erottaa metalliosat ja kivet. Niitä voidaan erotella esim. täryttämällä ja magneettiseparoinnilla. Erottelulaitteistot voivat olla osa biomassan seulontaa ja hienonnuksilaitteistoa.

Tärytyserottelu (Densimetric table) perustuu eri tuotteiden väliseen tiheyseroon. Sillä ei ole mitään tekemistä kokojakauman kanssa. Kuvassa 9 on esitetty tärytinlaite. Käsiteltävä materiaali syötetään kallistetulle alustalle yläpuolelta koko leveydeltä, joko hihnakuuljettimella tai tärysyöttimellä. Alusta tärisee epäkeskomootorien avulla ja se on rei'itetty ilmanläpäisyn saavuttamiseksi. (Urbar)



Kuva 9. Tärytyserottelu (Urbar)

Täryttimen erotus tapahtuu kolmessa osassa. Painavampi materiaali laskeutuu alustan päälle ja alkaa liikkua kallistettua alustaa ylöspäin värinän seurauksena. Nousevan ilmavirran takia kevyemmät partikkelit nousevat pintaan ja alkavat liikkua pöytää alaspäin. Sykloni ottaa talteen haihtuvat aineet, jolloin vältetään päästöt ilmakehään.



Kuva 10. Tärytyserottimen toiminta (Urbar)

Kivien erottamiseen ennen haketusta käytetään kiviloukkuja. Siinä puu liikkuu kuljettimella vesipatjan yli ja painavampi materiaali uppoaa vesialtaan pohjalle



Magneettierotin (kuva 11) on tärkeä osa biomassan esikäsitteilyä. Magneetin avulla saadaan poistettua massasta metalliset partikkelit, jotka muuten pääsisivät hajottaamaan murskaus- ja kuljetinlaitteistoja. Magneettierotin voi olla itsepuhdistava tai ei-itsepuhdistava.



Kuva 11. Magneettierotin (Secon Alternative Fuel Installations)

## 4.2.2 Pienennys

Puubiomassan pienennys riippuu puun alkuperäisestä koosta. Puuta voidaan pienentää hakettamalla, murskaamalla, repimällä ym.

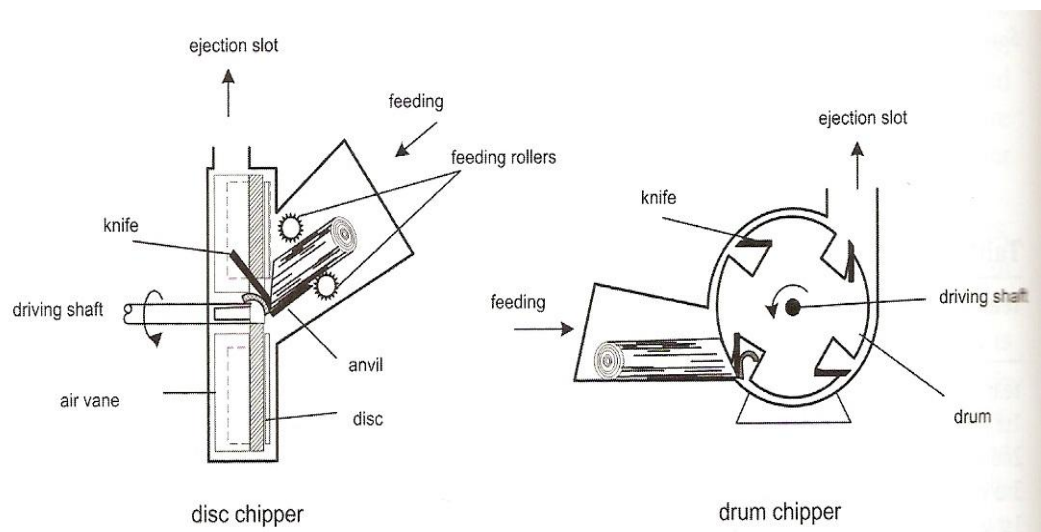
### 4.2.2.1 Suurien palojen haketus ja murskaus

Biomassaksi käytettävät puut haketetaan yleensä kuoren kanssa. Puut tuodaan hakettimen syöttökuljettimelle, joka voi olla joko ketju- tai hihnakuljetin. Siellä ne kulkeutuvat usean kivenpoiston ja metallinpaljastimen läpi ennen hakettimeen saapumista. Kivien ja metallien poisto on erittäin tärkeää hakettimen terien ja kuluvien osien kestävyyskannalta. Hakettimen valinnassa tärkeää on tuotantoka-

pasiteetti, hakettavien puiden koko, investointi- ja käyttökustannukset sekä systeemin turvallisuus. (Lindberg et al., 2012)

Yleisimmät haketintyytit ovat kiekko- ja rumpuhakkuri. Kiekkohakkuri koostuu raskaasta pyörivästä kiekosta, jonka halkaisija on 600- 1000 mm ja 2 – 4:stä terästä. Hakkeen kokoa voidaan muuttaa säätämällä teriä ja vastakappaletta. Kiekkohakkuri tuottaa melko tasalaatuista haketta kun leikkauskulma pysyy muuttumattomana verrattuna puun kuidun suuntaan huolimatta puun paksuudesta. (Van Loo & Koppejan, 2008)

Rumpuhakkuri koostuu pyörivästä rummista, jonka halkaisija on noin 450 – 600 mm. Terät ovat upotettu pystysuuntaisiin loviin. Rumpuhakkurissa leikkauskulma puun kuitujen suhteen vaihtelee puun halkaisijan muuttuessa, joten tuotettu hake ei ole yhtä tasalaatuista kuin kiekkohakkurissa.



Kuva 12. Kiekko- ja rumpuhakkuri (Van Loo & Koppejan, 2008)

Suurien palojen, kuten kantojen ja oksien murskaamiseen käytetään kahta päätapaa. 1990-luvun alusta asti yleisimmin käytetty murskain on suuri pystysuorasti syötettävä ja hitaasti pyörivä murskain. Pyörimisnopeus on yleensä noin 30 – 100 kierrosta minuutissa ja kapasiteetti noin 200 i-m<sup>3</sup>/h. Tämän tyyppisen murskaimen

investointi- ja ylläpitokustannukset ovat melko suuria. Vuosittainen tuotantokapasiteetti on siis tärkeä tekijä kun päätetään onko investointi perusteltu. Nykypäivänä käytettävät murskaimet eivät ole yhtä herkkiä kiville ja metallille kuin hakettimet. Pienet metallipalat aiheuttavat vain pientä vahinkoa ja kulumaa. Suuremmat metallipalaset voivat kuitenkin aiheuttaa vielä isoa vahinkoa, joten metallinpaljastimien käyttö on perusteltua. (Lindberg et al., 2012)

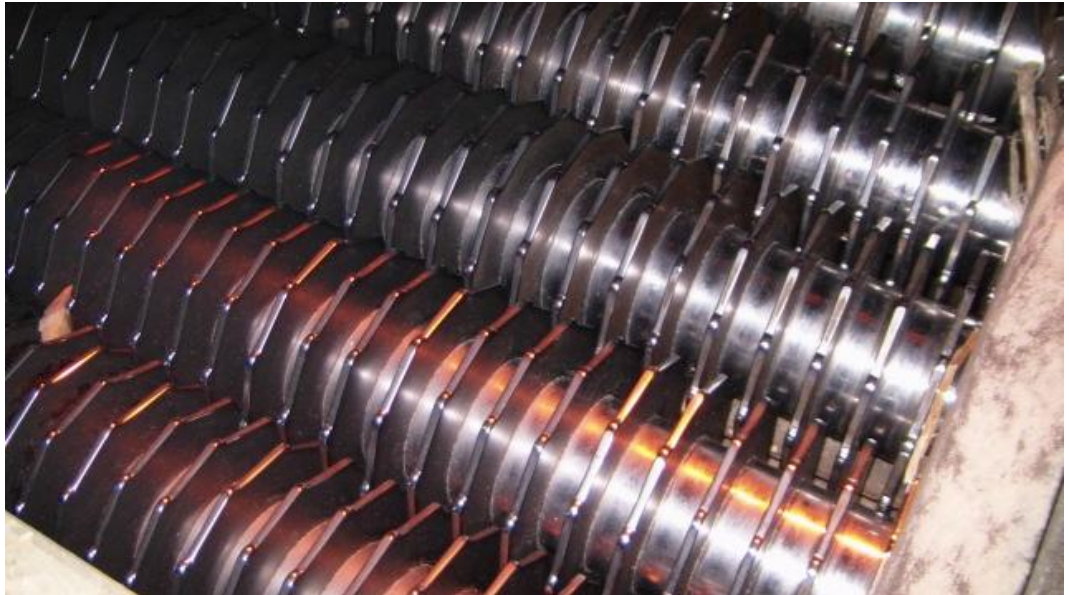
1990-luvun lopulta lähtien monet laitteistojen toimittajat ovat kehittäneet suuria sivusta syötettäviä murskaimia kookkaan biomassan, kuten oksien kantojen ja jopa biomassakimppujen käsittelyyn. Näiden murskaimien pyörimisnopeus vaihtelee 500:sta 1000 kierrokseen minuutissa ja kapasiteetti voi olla noin 400 i-m<sup>3</sup>/h. Koska nämä murskaimet toimivat korkeammilla nopeuksilla kuin hitaat murskaimet, on paljon tärkeämpää estää metallipalojen pääseminen laitteistoon. Myös kipinöiden syntymisen riski on suurempi, jolloin riittävien turvallisuusmenetelmien käyttö on tärkeää jos biomassalla on räjähtäviä ominaisuuksia.



Kuva 13. Puun ja kuoren murskaimia (Jeffrey Rader)

#### 4.2.2.2 Seulonta ja rejektin hienonnus

Tuore biomassa on suositeltavaa seuloa heti vastaanoton jälkeen, koska on tyypillistä että se sisältää ylikokoisia paloja. On myös yleistä, että massan seassa on kiviä, hiekkaa ja metallia. Seulontalaitteistot sijoitetaan yleensä sisätiloihin sääntämuutoksilta suojautumisen ja meluhaittojen minimoimisen takia. Kiekkoseula on yleisin käytetty teknologia ylisuurten partikkeleiden poistamiseen. Seulonnan jälkeen rejekti ohjataan joko murskaimeen tai rejektisäiliöön. (Lindberg et al., 2012)



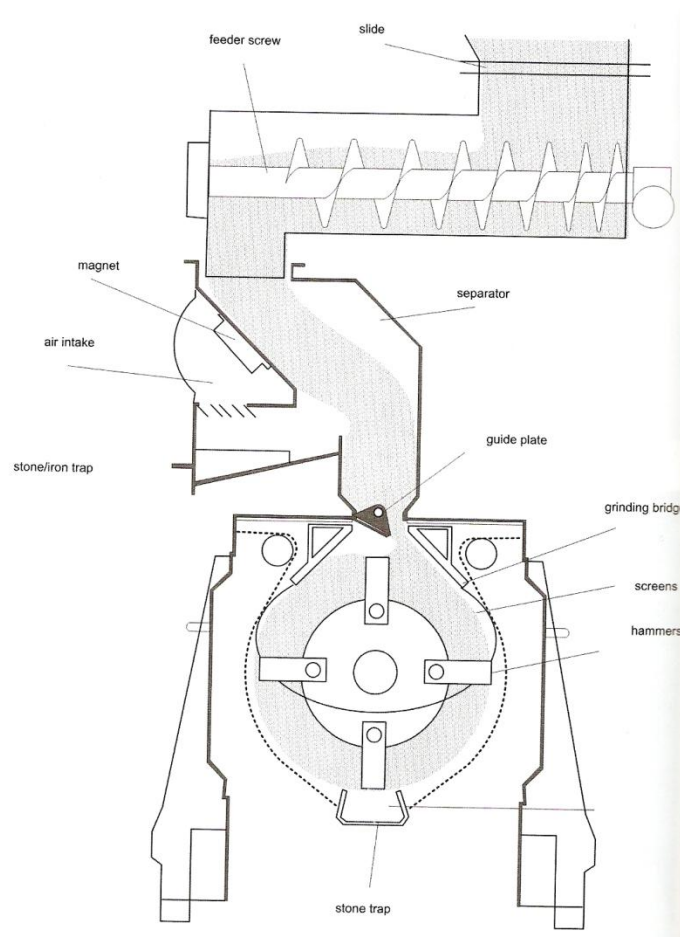
Kuva 14. Kiekkoseulan kiekot (Leinonen, 2010)

Seulontaan syöttö tapahtuu yleensä hihnakuuljettimella, jotta tuleva biomassavirta saadaan levitettyä seulan leveydelle, saadaan järjestettyä seulan ja murskaimen ohitus ja jotta voidaan käyttää magneetteja metallipalojen poistamiseen. Sekä itsepuhdistavia että ei-itsepuhdistavia magneetteja voidaan käyttää. Metallit kerätään talteen omaan säiliönsä kierrätystä varten.

Seulonnasta tulevan rejektin käsittelyyn on yleensä kaksi vaihtoehtoa. Jos rejektin määrän odotetaan olevan pieni, voi olla taloudellisesti kannattavaa poistaa se biomassan joukosta erilliseen säiliöön. Tällöin sitä voi käsitellä jätteenä tai myydä se.

Rejktiä voi myös kerätä suurempia määriä ja tarpeen tullen vuokrata sopiva murskain sen käsittelyyn.

Kun rejektin määrän odotetaan olevan melko suuri, on normaalia ohjata se suoraan murskaimeen ja syöttää takaisin biomassan sekaan. Tähän tarkoitukseen on valittavissa monia erityyppisiä murskaimia, aina korkeakierroksisesta vasaramyllystä hitaasti pyörivään kaksiroottoriseen murskaimeen. Hitaasti pyörivät murskaimet toimivat yleensä kierrosalueella 20 – 50 rpm ja niiden kapasiteetti on noin 200 i-m<sup>3</sup>/h riippuen murskattavasta materiaalista.



Kuva 15. Vasaramylly (van Loo & Koppejan, 2008)

Taulukko 7. Murskaintyyppien pääerot (Lindberg et al., 2012)

	<b>Korkeakierroksinen vasaramylly</b>	<b>Matalakierroksinen Kaksiroottorinen suurtehomurskain</b>
Pyörimisnopeus	> 500 rpm	< 100 rpm
Syötön maksimi paakkukoko	< n. 400 mm	< n. 600 mm
Tuotetun polttoaineen laatu	Pieni kokojakauma	Suuri kokojakauma
Räjähdyriski, kuiva pölyinen polttoaine	Keskimääräinen	Matala
Räjähdyriski, tuore biomassa	Matala	Matala
Kunnossapitokustannukset	Keskimääräisestä korkeaan	Keskimääräinen
Investointikustannukset	Keskimääräinen	Korkea
Investointi vs. kapasiteetti	Matalasta keskimääräiseen	Keskimääräisestä korkeaan

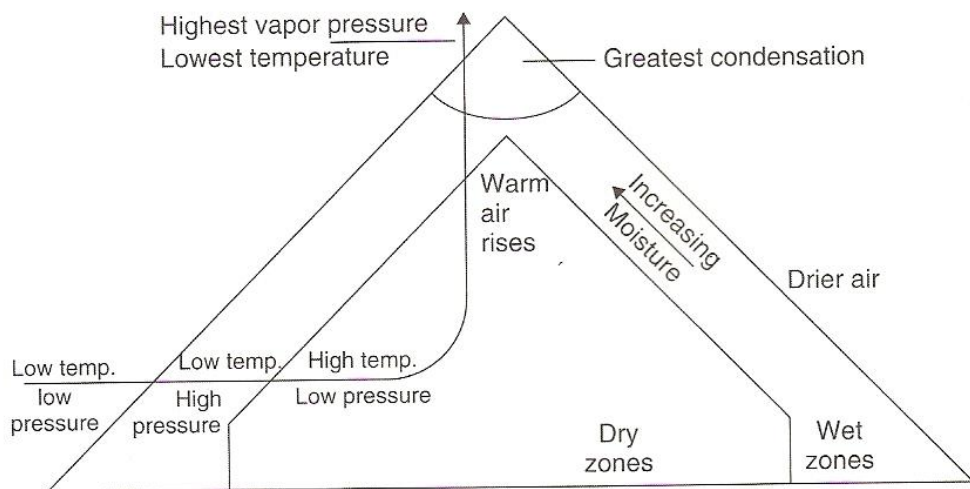
### 4.2.3 Kuivaus

Biomassan kuivauksen tärkeimmät syyt ovat:

- Polttoaineen energiasisältö riippuu sen kosteuspitoisuudesta. Palamisjärjestelmän tehokkuus paranee kun kosteuspitoisuus laskee.
- Palamisprosessin optimoimiseksi (minimaaliset päästöt, maksimaalinen tehokkuus) polttoaineen kosteuspitoisuuden tulisi olla mahdollisimman tasainen. Polttoaine, joka on kosteuspitoisuudeltaan vaihtelevaa, vaatii monimutkaisempaa polttoteknologiaa ja prosessinhallintasysteemiä. Tämä lisää investointikustannuksia.
- Märän biopolttoaineen pitkäaikainen varastointi aiheuttaa kuiva-ainehäviöitä ja biologisen hajoamisen yhteydessä syntyvää sienen kasvua.
- Pienissä tulipesissä kosteuspitoisuuden tulee olla 10 - 30 % teknisistä, taloudellisista ja ekologisista syistä.
- Pellettien ja brikettien tuotannossa raaka-aineen kosteuspitoisuuden tulee olla noin 10 %. (Van Loo & Koppejan, 2008)

Biomassan kuivaus vaikuttaa polttoaineen kokonaiskustannuksiin merkittävästi ja se pitäisikin tehdä mahdollisimman yksinkertaisesti. Tehokas tapa kuivata tuoretta puuta on varastoida hakettamatonta puuta ulkokasassa kesän yli. Näin kosteuspuitoisuus voi laskea noin 50 %:sta 30 %:n. Tämän luonnollisen kuivatuksen ongelmia ovat vaihtuvat sääolot ja logistiset ongelmat.

Kun tuoretta kuorta tai haketta varastoidaan kasassa, sen lämpötila kasvaa biologisen hajoamisen seurauksena. Mikro-organismien tuottama lämpö aiheuttaa luonnollista lämmön kulkeutumista, jossa ilma kiertää kasan läpi ja kuljettaa vesihöyryä kasan pinnalle. Tästä johtuen kasan keskikohta kuivuu ja osa vesihöyrystä lauhtuu kasan ulommille osille. Ulkona varastoitavassa kasassa myös sade kastelee ulompia kerroksia. Ulkovarastossa kesän yli säilytettävä tuore biomassa ei juuri kuivu, mutta sisällä varastoinnissa kosteuspuitoisuus voi laskea noin 15 %.



Kuva 16. Varastokasojen hormivaikutus (McGowan, 2009)

## 4.2.4 Kuivurit

Biomassan kuivaaminen on monissa tapauksissa kannattavaa vain jos on saatavilla halpa ja tehokas lämmönlähde. Kuivatuksen valinnassa on otettava huomioon sekä investointi-, että käyttökustannukset. Jatkuvatoimiset kuivaustekniikat ovat kuitenkin tarpeellisia sahanpurun ja hakkeen käsittelyssä esimerkiksi pellettien ja brikettien tuotantoon. (Van Loo & Koppejan, 2008)

Kuivaamo koostuu yleensä lämmöntuotannosta, kuivauksesta ja päästöjen hallinnasta. Biomassan kosteuspitoisuuden laskeminen noin 10 – 15 %:n nostaa sen lämpöarvoa 2 KWh/kg:sta noin 4,5 KWh/kg:n. Tämä pienentää kuljetus- ja varastointikustannuksia, sekä luo paremmat olosuhteet poltolle ja pellettien tuotannolle. Kuivaus vähentää polttoaineen syöttömäärää energian tuottamiseen, joka myös vähentää polttojärjestelmän aiheuttamia päästöjä. Kuivurin valintaan vaikuttaa seuraavat kriteerit:

- Joustavuus käsitellä erilaisia biomassalaatuja ja –sekoituksia
- Käytössä olevat lämmönlähteet, myös hukkalämpö
- Matala energiankulutus
- Pienet päästöt (pöly, VOC, pakokaasut)
- Korkeat turvallisuusstandardit (tuli- ja räjähdysuojat, lukitukset yms.)  
(Andritz)

### 4.2.4.1 Rumpukuivuri

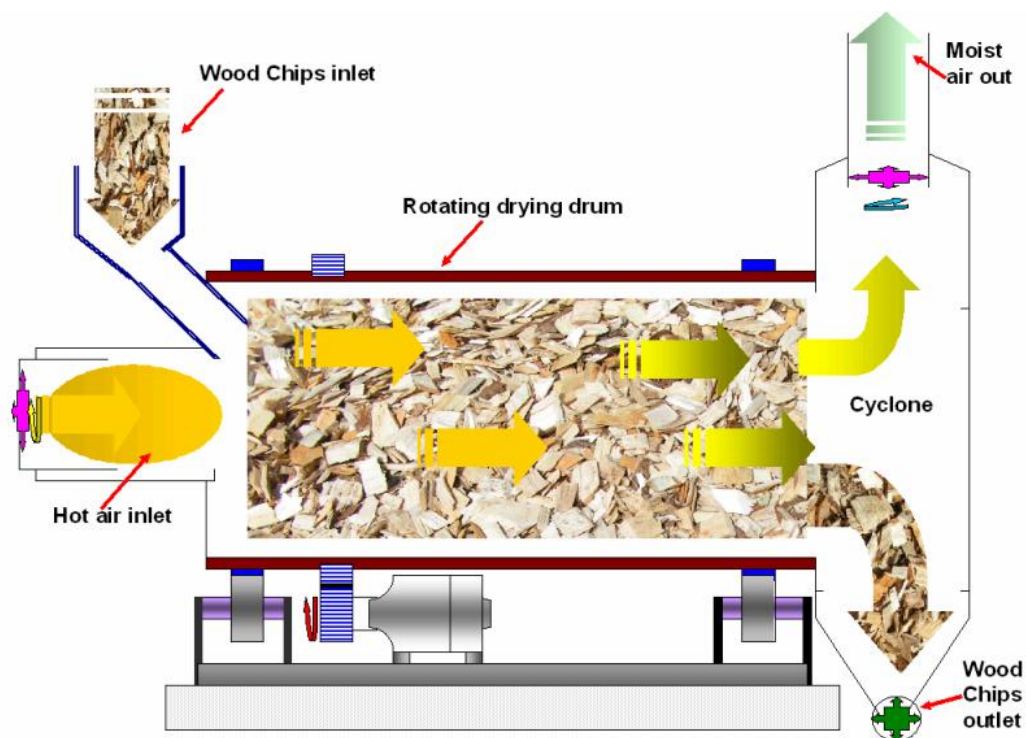
Rumpukuivuri on yleisin käytetty kuivausmenetelmä biomassan kuivauksessa. Rumpukuivureita on useita variaatioita, joista yleisin on jatkuvatoiminen suorarumpukuivuri. Siinä kuivattava materiaali syötetään hitaasti pyörivään rumpuun. Rummun seinämällä olevat listat nostavat materiaalin pohjalta ylös tiputtaen sen kuivauskaasuvirran läpi kuivattaen materiaalin. Kuivauskaasuna voidaan käyttää



joko savukaasua tai ilmaa. Kuivauskaasu menee vasta- tai myötävirtaan kuivattavaan materiaaliin nähden.

Kuivausajat vaihtelevat partikkelikoon mukaan. Pienillä partikkeleilla kuivumiseen voi mennä alle minuutin ja isommille partikkeleille 10 – 30 minuuttia. (Amos 1998) Kuivauskaasun sisääntulolämpötila voi vaihdella 200 – 600 °C (Holmberg 2007). Rummun pyörimisnopeutta ohjataan ulostulevan materiaalin kosteuspitoisuuden mittauksella. (Granö 2007; Alpua, 2011)

Rumpukuivurin etuina ovat suuri kapasiteetti, alhainen sähköteho, alhaiset käyttö- ja huoltokustannukset sekä rakenteen kestävyys. Lisäksi se sopii polttoaineille, joissa on partikkelikoon vaihteluja. Rumpukuivurin heikkouksia ovat pöly- ja hajuhaitat, suuret haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöt (VOC), materiaalin kosteuden vaikea hallittavuus sekä palovaara kuivaimen jälkeen ja alasajoissa. Lisäksi karkea kuori saattaa aiheuttaa tukoksia. (Amos 1998; Holmberg 2007; Worley 2011)

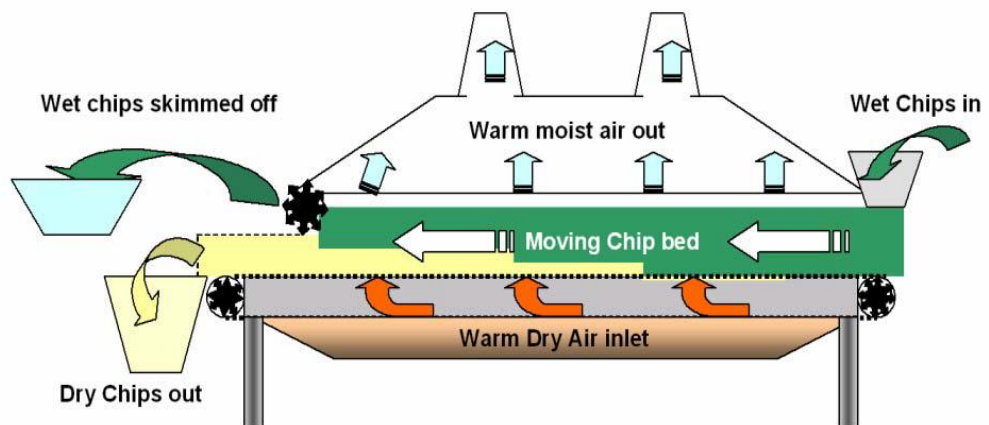


Kuva 17. Rumpukuivurin periaatekuva (Granö, 2007)

#### 4.2.4.2 Hihnakuivuri

Hihnakuivuri on rumpukuivurin jälkeen toiseksi yleisin puulle käytetty kuivausmenetelmä. Märkä biomassa syötetään sisään ja tasoitusruuvien avulla se hajautuu koko kuivurin leveydelle. Biomassa kulkeutuu hitaasti eteenpäin kuivauksen aikana. Kuumaa kuivausilmaa puhalletaan alhaalta päin kuivaustasoon noin 80 - 120 asteisena biomassapatjan läpi, jolloin tapahtuu kuivumista. Kuivuminen alkaa alaosasta, ja massan ulostulossa kuoriutuu pois ylin, kostea kerros. Poiskuurittu kostea biomassa palautuu uudelle kuivauskierrokselle. Poislähtevä lämmin ja kostea ilma voidaan myös palauttaa kuivauspatjan alkuun, jotta se voi esilämmittää biomassaa. (Granö, 2007)

Kuivausprosessi on jatkuvatoiminen ja se käyttää matalampia lämpötiloja kuin rumpukuivuri. Tästä syystä hihnakuivuri pystyy käyttämään voimalaitoksen sekundäärilämpöjä hyödyksi (Roos, 2008). Kuivauskaasun lämmittämiseen voidaan käyttää matalapainehöyryä, lämmintä ilmaa sekä vettä (Worley, 2011). Kuivauskaasun lämpötila voi vaihdella 30 – 150°C (Holmberg, 2007; Alpua, 2011)

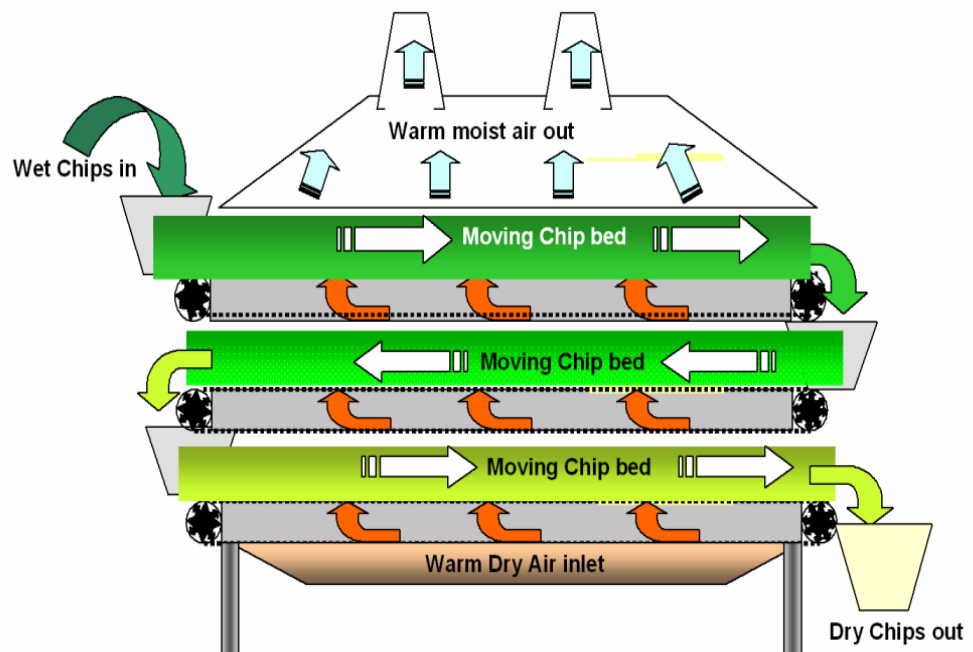


Kuva 18. Yksikerroksinen hihnakuivuri (Granö, 2007)

Hihnakuivurin etuina ovat sopivuus eri materiaaleille, sekundäärilämpöjen hyödyntäminen, kestävä rakenne, helppo säädettävyys sekä alhaisempi palovaarariski

ja pienemmät päästöt verrattuna rumpukuivuriin. Hihnakuivurin heikkouksia verrattuna rumpukuivuriin ovat suurempi investointikustannus, korkeampi käyttöteho sekä suuremmat huoltokustannukset. (Worley, 2011)

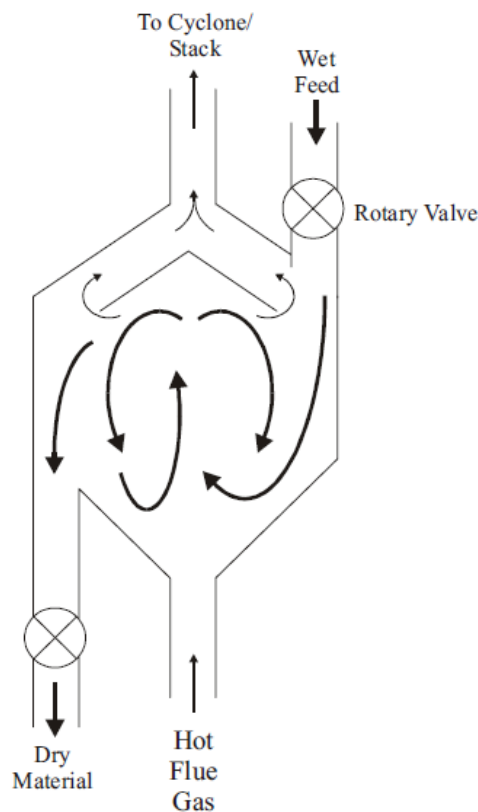
Hihnakuivuri vaatii suuren asennustilan. Tilaa saadaan pienennettyä käyttämällä monikerroksista kuivuria. Monikerroskuivuri edesauttaa myös partikkelien sekoittumisessa, joka parantaa aineensiirto-ominaisuuksia. (Alpua, 2011) Kuvassa 19 on esitetty monikerroskuivurin toimintaperiaate. Kuivaus tapahtuu useassa tasossa, biomassa kulkeutuu eteenpäin ja alaspäin kuivamisen edetessä, kun kuuma ilma kulkeutuu tasojen läpi alkaen alimmilta haketasoilta aina ylöspäin seuraavalle tasolle. (Granö, 2007)



Kuva 19. Monikerroksinen hihnakuivuri (Granö, 2007)

### 4.2.4.3 Kaskadikuivuri

Kaskadikuivureita käytetään yleensä viljan kuivatukseen, mutta ne sopivat myös muille biomassoille. (Amos, 1998) Kosteaa materiaalia syötetään kuivurin yläosasta. Kuivauskaasu tulee sisään osittain pohjasta ja osittain keskusputken kautta. Keskusputken kautta virrannut kaasu saa aikaan pyörreliikkeen. Kuivattava materiaali lentää virtauksen voimasta heijastinlevyä vasten, putoaa alaspäin ja nousee uudelleen ylös. Materiaali ohjautuu levyjen kohdilla matkalla ylöspäin. Kuivauskaasu poistuu kuivurin yläosasta ja kuivunut materiaali ohjautuu poistoreikiin säiliön reunalle. (Linna & Järvinen, 1983) Kuivauskaasuna voidaan käyttää savukaasua tai ilmaa. Kaskadikuivurin kuivauslämpötila osuu rumpu- ja hihnakuivurin väliin. Kuivausaika on noin 2 - 3 minuuttia. (Worley, 2011)

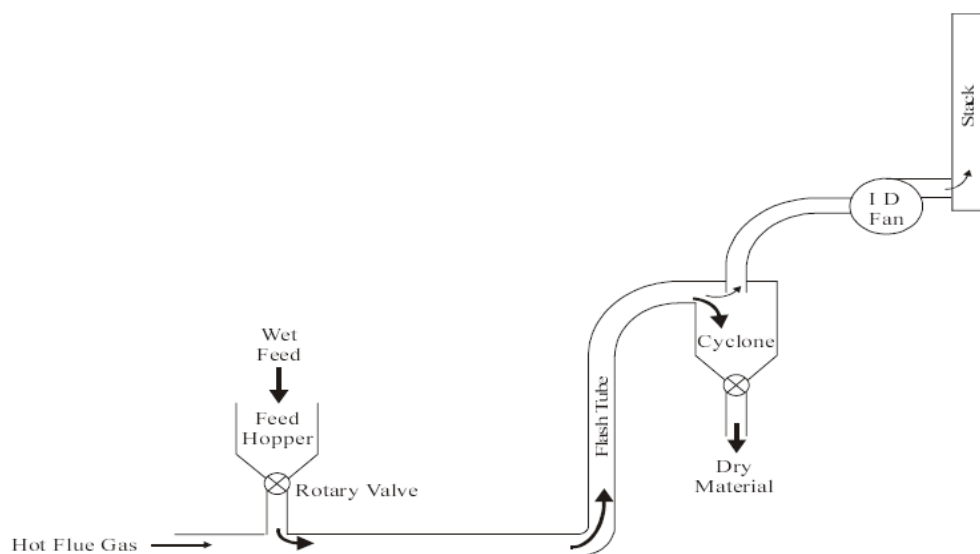


Kuva 20. Kaskadikuivurin periaatekuva (Amos, 1998)

Kaskadikuivuri vaatii pienemmän asennustilan kuin rumpu- tai hihnakuivuri. Kuivurin heikkouksia on altistuminen korroosiolle ja eroosiolle, korkeat käyttö- ja huoltokustannukset ja lämmön talteenoton vaikeus. Myös partikkelikoon on oltava homogeeninen. (Worley, 2011)

#### 4.2.4.4 Pneumaattinen kuivuri

Pneumaattisessa kuivurissa kuivattava materiaali johdetaan nopeavirtauksiseen kuumaan kaasuun. Kuivattavan materiaalin ja kuivauskaasun suora kosketus johtaa erittäin nopeaan kuivumiseen. Kuivattu materiaali ja kaasu erotetaan syklonisissa ja kaasut johdetaan puhdistimen läpi. (Amos, 1998) Kuivausaika on yleensä alle 30 sekuntia. (Worley, 2011) Kuvassa 21 on esitetty yksinkertainen pneumaattinen kuivuri ilman kaasujen puhdistusta.



Kuva 21. Pneumaattisen kuivurin periaatekuva (Amos, 1998)

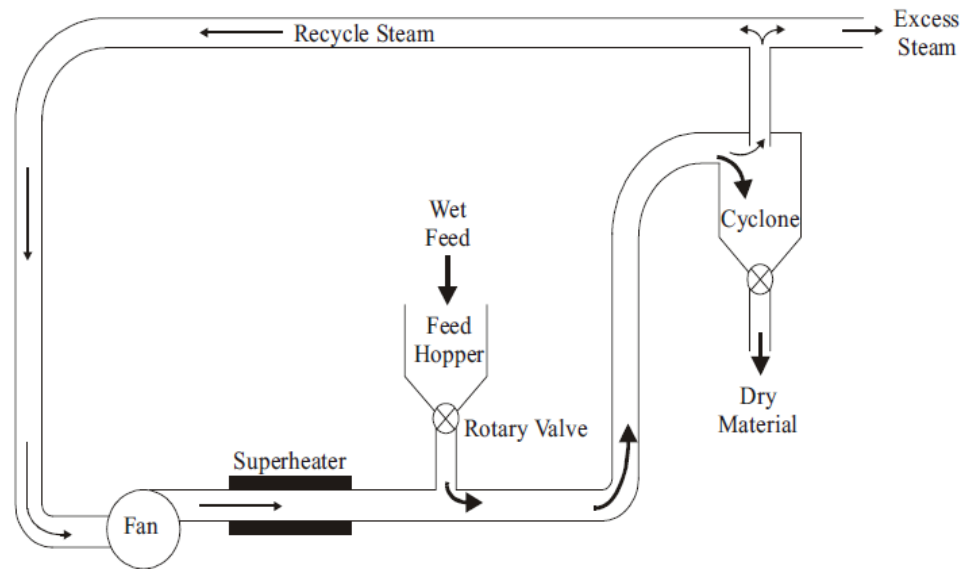
Pneumaattisen kuivurin lyhyen kuivausajan takia sen tilantarve on pienempi kuin rumpukuivurin. Se sopii laajalle valikoimalle eri materiaaleja. Muita etuja ovat yksinkertainen rakenne, luotettavuus ja lopputuotteen yhdenmukainen laatu.

Pneumaattinen kuivuri on myös paloturvallisempi ja helpompi hallita kuin rum-pukuivuri. (Worley, 2011)

Pneumaattisen kuivurin haittapuolia ovat korkeat asennuskustannukset, korkea sähkönkulutus ja korkea lämmöntarve. Kuivuri vaatii pienen partikkelikoon, joten kuivattava materiaali on murskattava ennen kuivatusta. Pneumaattinen kuivuri on altis korroosiolle ja eroosiolle, joten käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat korkeat. Myös lämmön talteenotto on vaikeaa.

Kun pneumaattisessa kuivurissa käytetään kuivauskaasuna tulistettua höyryä, sitä kutsutaan SSD:ksi (Superheated Steam Dryer). Kuivattava materiaali syötetään niin suureen määrään tulistettua höyryä, että materiaali kuivaa ja höyry pysyy tulistettuna. Tyypillisesti 90 % poistuvasta höyrystä kierrätetään takaisin ja loput 10 %, joka edustaa biomassasta poistetun veden määrää, poistetaan kondenssina tai käytetään muun prosessin osana. (Amos, 1998) SSD:n suuri etu on lämmön talteenotto. Jopa 70 – 80 % energiasta voidaan ottaa talteen. SSD:stä ei yleensä tule päästöjä ilmaan, koska kaikki höyry kondensoituu. Muita etuja ovat lopputuotteen kosteuden tarkka hallittavuus, ei palo- tai räjähdysriskiä, pieni tilantarve ja käytön helppous. (Amos 1998; Worley, 2011)

SSD ei voi kuivata suuria partikkeleita. SSD:n lauhde on korrosiivista ja sisältää suuren BOD -arvon. Tämä tarkoittaa sitä että prosessin lauhde vaati jäteveden käsittelyä. Muita haittoja ovat mahdolliset vuodot ja painekattilan pääomakustannus. (Worley 2011; Amos 1998) Kuvassa 22 on esitetty SSD:n periaatekuva.



Kuva 22. SSD:n periaatekuva (Amos 1998)

Taulukossa 8 on yhteenveto yleisempien kuivurityyppien valintakriteereistä.

Taulukko 8. Eri kuivurityyppien edut ja haitat (Amos, 1998)

Kuivurityyppi	Vaatii pienen partikkelikoon	Vaatii tasaisen kojo-kauman	Lämmön talteenoton helppous	Palovaara	Höyryn käyttö
Rumpukuivuri	Ei	Ei	Vaikea	Korkea	Voi käyttää höyryä
Kaskadikuivuri	Ei	Kyllä	Vaikea	Keskimääräinen	Ei
Pneumaattinen	Kyllä	Ei	Vaikea	Keskimääräinen	Ei
Pneumaattinen(SSD)	Kyllä	Ei	Helppo	Matala	Tuottaa ylimäärähöyryä

### 4.3 Varastointi

Polttoaineen varastokapasiteetti käyttöpaikalla on tärkeää. On suositeltavaa, että varastoa riittää ainakin 2 – 3 päiväksi, koska vaikeudet säätiloissa tai liikenteessä saattavat katkaista polttoaineen kuljetuksen. (Lindberg et al., 2012) Koska biomassalla on suhteellisen pieni energiatiheys, on varastotilojen suunnittelu tärkeää, jotta polttoaineen kustannukset voidaan pitää pieninä. (Van Loo & Koppejan, 2008) Varastoinnin tarkoitus ei ole ainoastaan tarjota puskuria jatkuvan tuotannon säilymiselle, vaan myös sekoittaa erilaisia biomassoja homogeeniseksi seokseksi sekä tasapainottaa materiaalien kosteuspitoisuus. Varaston tilavuus tulee olla tarpeeksi suuri, jotta sekoittuminen voi tapahtua. Kuljetusjärjestelmät varastoinnista jatkavat tätä operaatiota ja sekoittavat materiaalia lisää, jotta se on valmis syötettäväksi kattilaan tai kaasutuslaitokseen. (Andritz)

#### 4.3.1 Ulkovarastointi

Yksinkertaisin tapa varastoida biomassaa on sen kasaaminen. Tällöin on otettava huomioon monia asioita. Kun varastoidaan haketta ja kuorta, jonka kosteusprosentti ylittää 20 – 30 %, tapahtuu biologista ja biokemiallista hajoamista, sekä josain tapauksissa kemiallista hapettumista. Tämä johtaa lämmön kehittymiseen, mikä voi aiheuttaa itsesyttymistä. Myös kuiva-ainehäviöt, kosteuspitoisuuden muuttuminen ja terveystriskit (sienten ja bakteerien kasvu) tulisi ottaa huomioon. (Van Loo & Koppejan, 2008)

Yllä kuvatut vaikutukset ovat monimutkaisia ja riippuvat monista asioista; materiaalin partikkelikoosta (koko puu, isot palat, hake, sahanpuru), puun laadusta (kuori, puu), materiaalin kosteuspitoisuudesta, varastotyypistä (ulkovarasto, peitetty ulkovarasto, sisävarasto) ja kasan ilmanvaihdosta.



Ulkovaraston pohja on parasta päällystää betonilla, jotta estetään maa-aineksen sekoittuminen polttoaineen sekaan. Varastointialueessa tulisi olla kaade, jotta vedenpoisto mahdollistuu. Varastoa ei myös tule sijoittaa tulva-herkälle alueelle. (McGowan, 2009)

Kaikki puupolttoaineet kärsivät sitä enemmän energiahäviöitä, mitä kauemmin niitä säilytetään varastossa. Suurin energiahäviön aiheuttaja ulkovarastoinnissa on pintakerroksen kostuminen sateen takia. Kun pintakerros on saavuttanut kylläisyyden, tulevat sääolot eivät vaikuta sen kosteuspitoisuuteen. Korkean pakkaustiheyden ja vähäisen ilman läpivirtauksen takia, noin 45 – 60 cm kasan pinnasta pysyy kylläisenä. Kasat joissa on suuri pinta-ala verrattuna tilavuuteen nostavat koko kasan keskimääräistä kosteuspitoisuutta. Kartiomaiset kasat jotka minimoivat pinta-alan suhteen tilavuuteen, minimoivat myös energiahäviöt.

Toinen syy energiahäviöihin on haihtuvien yhdisteiden häviö ja biokemiallinen hapettuminen, joka voi johtaa jopa 15 % häviöihin saatavilla olevasta energiasta. Nämä häviöt johtuvat huonosta ilmankierrosta, jotka ovat tyypillisiä useimmille kasoille. Tämä ”hormivaikutus” (kuva 16) nostaa kasan sisäisiä lämpötiloja, joka toisaalta myös pienentää kasan keskikohtien kosteuspitoisuutta.

Puupolttoaineen luonnollisen kuivamisen potentiaaliin vaikuttaa suuresti varastokasan pakkaustiheys. Puskutraktoreilla tai vastaavilla laitteilla luodut kasat ovat tiiviimpiä ja niiden ilmankierto-ominaisuudet ovat huonompia kuin kasoilla jotka on luotu painovoiman avulla. Painovoiman avulla luodut kasat maksimoivat luonnollisen kuivauksen vaikutukset.

Yksi biomassan pitkäaikaisessa varastoinnissa huomioon otettava asia on materiaalin pH-arvon lasku. Varastoidun puun pH vaihtelee yleensä 4 ja 5 välissä. Tällöin betonirakenteet, jotka ovat kosketuksissa polttoaineen kanssa, tulisi olla haponkestäviä. Myös käsittelylaitteiston teräsoosat saattavat syöpyä odotettua nopeammin, joten ne tulisi suojata.

### 4.3.2 Siilot

Jotta polttoainetta voitaisiin suojella huonoilta sääoloilta, on suositeltavaa varastoida biomassa sisätiloihin. Biomassan varastointi siiloon antaa parhaan mahdollisen suojan säätilojen vaihteluilta sekä vähentää pölyn kulkeutumista lähialueilla. Pölyn ja hakepalojen leviäminen on suuri ongelma suojaamattomissa kasoissa tuulisilla alueilla. (Lindberg et al., 2012)

Irrallisen biomassan varastointiin pohjoismaissa on yleensä käytetty kahden tyyppisiä siiloja. Yleisimmin käytetty tyyppi on pyöreä siilo, joka on varustettu ulokekannatteisella ruuvikuljettimella tai vastaavalla. Näitä siiloja on käytetty jopa 10000 i-m<sup>3</sup>:n kokoiisiin varastoihin vaikka suurin osa olemassa olevista siiloista ovat alle 5000 i-m<sup>3</sup>. Toinen käytetty siiloratkaisu on ns. ”A-pylväs” -varasto, joka on varustettu lineaarisella ruuvikuljettimella tai vastaavalla. A-pylväs -varastoja käytetään yleensä silloin kun tarvitaan suurta varastointitilaa. Joskus sijoitteluvaikeuksien tai polttoaineen laadun takia käytetään A-pylväs – varaston sijaan useita pyöreitä siiloja.

Pyöreät siilot valmistetaan nykyisin useimmiten esivalmisteisista betonielementeistä. Ne asennetaan betonialustalle, joka voi olla joko maantasolla tai korkeammalla. Biomassavaraston korkeuden suhde halkaisijaan on materiaalin juoksevuu-den kannalta tärkeää. Suurempien, halkaisijaltaan yli 22 metristen, pyöreiden siilojen katto tehdään teräksestä ja niiden päälle asennetaan eristetty teollinen katto-paneeli. Pienemmissä siiloissa kattoina käytetään yleensä hitsattuja metallilevyjä. Katon ylä- ja keskiosaan asennetaan huoltoportaat, jotta syöttökuljetinta ja instrumenttilaitteita voidaan pitää kunnossa. Siiloihin asennetaan myös räjähdysovet, jos varastoitavalla biomassalla on räjähdysherkkiä ominaisuuksia.



Kuva 23. Kaksi isoa pyöreää hakesiiloa (Lindberg et al., 2012)

A-pylväs –siilot ovat betonialustaisia joihin on pystytetty teräsrunkoinen katto joka on päällystetty eristetyillä teollisilla kattopaneeleilla. Siilon pohja voi olla maan tasolla, mutta silloin poistokuljetin pitää sijoittaa tunneliin maan tason alapuolelle. Jos siilon pohjaa nostetaan maan tason yläpuolelle, niin tunnelin tarve voidaan välttää. Syöttökuljetin sijoitetaan niin, että se syöttää tulevan biomassan ylös ja keskelle varastoa. Varaston sisälle sijoitetaan liikuteltava kuljetin, jota käytetään levittämään polttoaine tasaisesti koko siilon leveydelle.



Kuva 24. A-pylväs siilo ja pyöreä siilo hakkeen ja kuoren varastointiin sellutehtaalla. (Lindberg et al., 2012)

Molemmat siilotyypit tulee varustaa suurilla ovilla, joista polttoainetta voidaan kerätä kaivinkoneilla tai kauhakuormaimilla laitteistovian aikana.

#### 4.4 Syöttö- ja käsittelylaitteistot

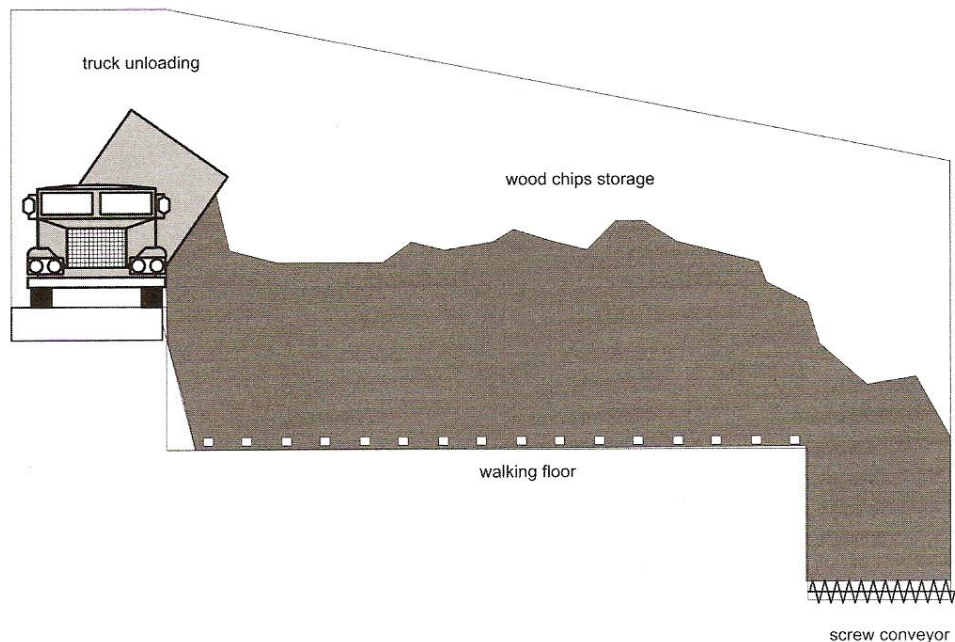
Polttoaineen syöttö- ja käsittelylaitteistoja käytetään kuljettamaan polttoaine vastaanotto paikalta tai varastosta polttojärjestelmään. Koska käsittelyjärjestelmät vaikuttavat suoraan polttojärjestelmän toimintaan, on polttoaineen syöttö- ja käsittelylaitteistot suunniteltava tarkasti ja säädettävä käytettävälle polttotekniikalle. Erilaiset biomassalaadut vaativat omanlaisensa sopivat kuljetus- ja käsittelylaitteistot. Niiden suunnittelussa otetaan huomioon seuraavat kriteerit:

- Polttoaineen ominaisuudet (partikkelien muoto ja kokojakauma, kosteuspitoisuus)
- Kuljetusmatka

- Korkeuserot
- Melu
- Pölyräjähdysten ja tulipalon riski
- Kuljetuskapasiteetti
- investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset
- Syöttö- ja käsittelylaitteistojen saatavuus (Van Loo & Koppejan, 2008)

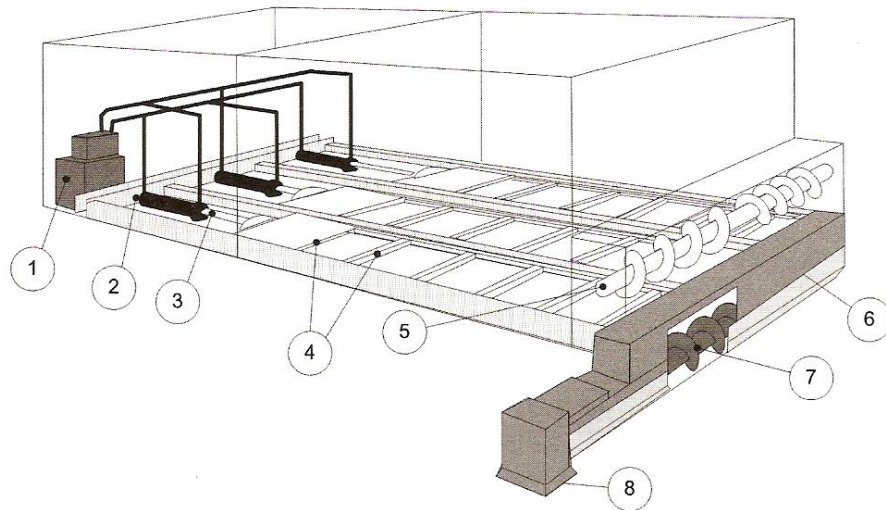
#### 4.4.1 Siilon purkulaitteet

Biomassan lyhytaikaiset varastot ovat suoraan yhteydessä kattilan syöttöjärjestelmään. Polttoaineen siirto varastosta kattilaan johtavalle kuljettimelle voidaan toteuttaa kola- tai tankopurkaimilla. Kolapurkain (Kuva 25) soveltuu erityisen hyvin pitkäaikaisten varastojen purkamiseen ilman erillisiä laitteita. (Van Loo & Koppejan, 2008)



Kuva 25. Kolapurkaimella varustettu vastaanottoasema (Van Loo & Koppejan, 2008)

Tankopurkain (kuva 26) muodostuu siilon pohjarakenteen päällä edestakaisin liikkuvista tangoista ja niihin kiinnitetyistä, poikkileikkaukseltaan kolmionmuotoisista kolista. Kolat työntävät polttoainetta eteenpäin. (Savon Voima) Tankopurkaimilla on vankka rakenne soveltuvat hyvin kuorelle ja hakkeelle.



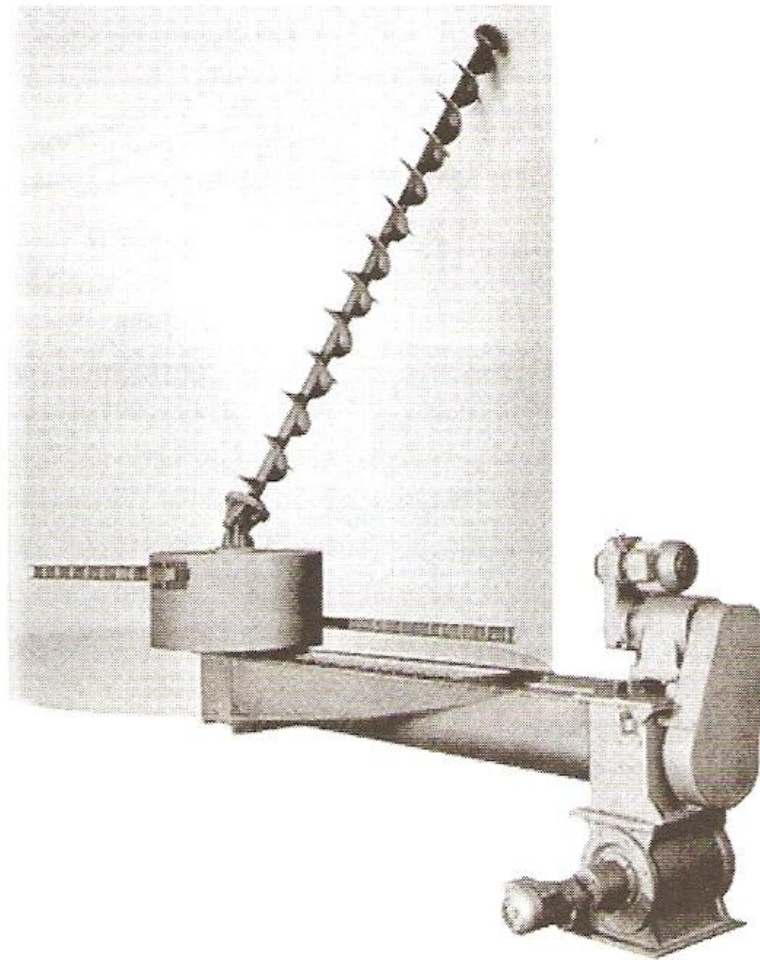
**Figure 3.29** Sliding bar conveyor used for the discharge of bunkers

*Explanations:* 1 = hydraulic generator, 2 = bearing for hydraulic cylinder, 3 = hydraulic cylinder, 4 = sliding bars, 5 = control screw, 6 = drop channel, 7 = screw conveyor, 8 = delivery end.

Kuva 26. Tankopurkain (Van Loo & Koppejan, 2008)

Ruuvipurkaimia käytetään purkulaitteena lähinnä pienehköissä ( $1 - 10 \text{ m}^3$ ) vastaanotto- tai välivarastosuppiloissa. Suuremmissa silloissa käytetään liikkuvia ruuvipurkaimia tai ruuvipohjaa. Liikkuva ruuvipurkain soveltuu laajalle siilon koalueelle, joka soveltuu sekä vastaanottoasemaksi, että välivarastoksi. (Savon Voima) Kuvassa 27 on esitetty yhdestä päästä tuettu liikkuva ruuvipurkain.



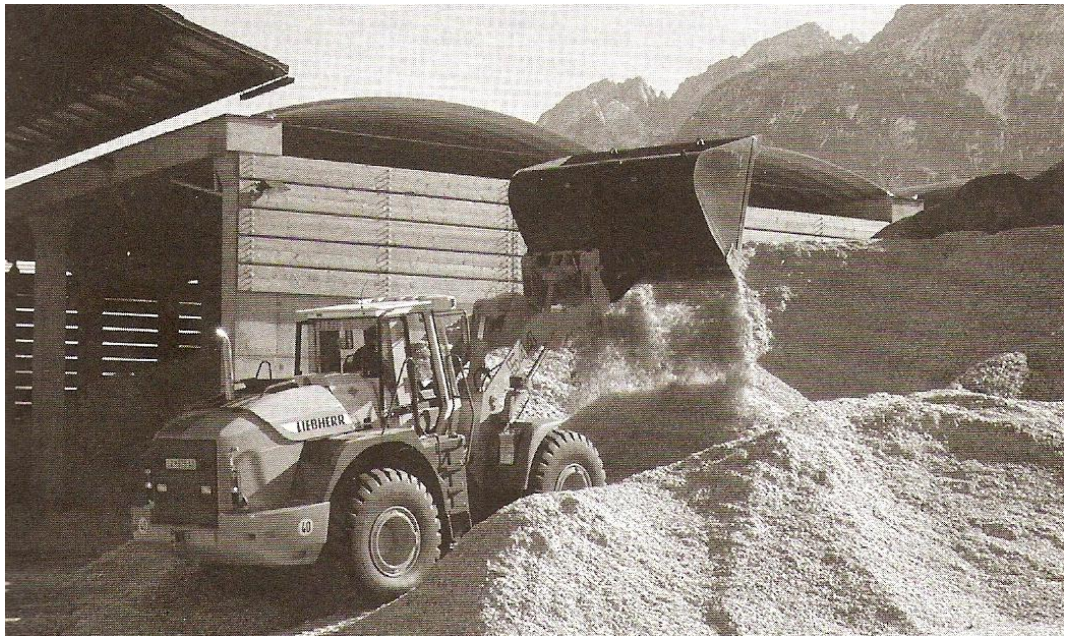


Kuva 27. Liikkuva ruuvipurkain (Van Loo & Koppejan, 2008)

Purkulaitteistoina voidaan käyttää myös hihna- ja help – purkaimia. Hihnapurkain soveltuu hyvin biopolttoaineille. Sitä käytetään suuremmissa voimalaitoksissa, kun polttoaineen tarve on 100 – 600 m<sup>3</sup>/h. Help – purkain on sovellus tankopurkaimesta pyöreäpohjaiseen siiloon. Laitteita on käytössä puunjalostusteollisuudessa. (Savon Voima)

#### 4.4.2 Kuljettimet

Pyöräkuormaajat tarjoavat helpoimman ja joustavimman tavan käsitellä lähes kaikenlaista kiinteää biomassaa (sahanpuru, hake, kuori, jätepuu). Kauhan tilavuus voi olla jopa 5 m<sup>3</sup>. Pyöräkuormaajan käyttö vaatii kuitenkin henkilöstöä, jolloin laitoksen käyttö ei ole mahdollista saada täysin automaattiseksi. (Van Loo & Koppejan, 2008)



Kuva 28. Biomassan käsittelyä pyöräkuormaajalla (Van Loo & Koppejan, 2008)

Nosturijärjestelmiä käytetään kuljettamaan haketta tai paaleja varastosta kattilan syöttöjärjestelmään. Nosturijärjestelmät sopivat hyvin paaleille, puuhakkeelle ja pelleteille ja voivat toimia täysin automaattisesti. Jos biomassan partikkelikoko ei ole tasalaatuista, voi nosturijärjestelmä aiheuttaa ongelmia. Niitä ei suositella kun käsitellään kuoren, sahanpurun ja hakkeen seoksia.





Kuva 29. Hakkeen käsittelyä nosturijärjestelmällä välivarastossa (Van Loo & Koppejan, 2008)

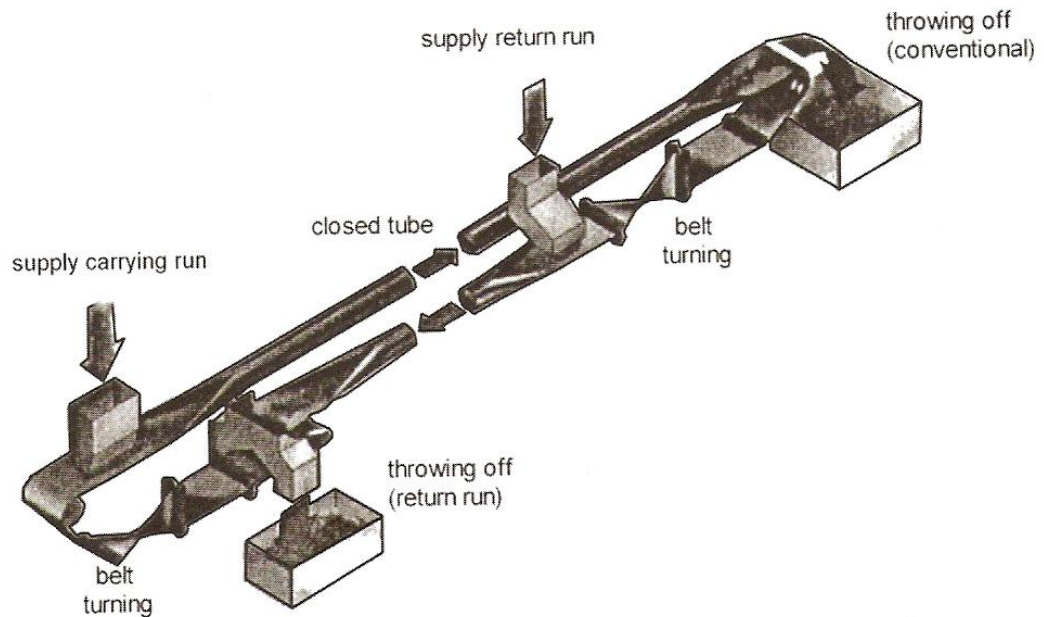
Hihnakuiljettimiiä käytetään kuljettamaan polttoainetta pitkiä välimatkojia. Hihnakuiljettimessä päätöntä hihnaa liikuttaa kaksi sen sisällä olevaa hihnapyörää. Sitä voidaan käyttää sahanpurun, kuoren, hakkeen ja murskatun puun kuljettamiseen. Hihna toimii parhaiten tasaisella kuormalla. Hihnakuiljetin on yksinkertainen, halpa ja antaa mahdollisuuden asentaa hihnakuiljetinvaa'an. (Van Loo & Koppejan, 2008; McGowan, 2009)



Kuva 30. Biomassan kuljetusta hihnakuiljettimellä (Process Barron)

Hihnakuuljettimen haittapuoli on rajoitettu nostokulma. Biomassan takaisin luisumisen estämiseksi hihnan suurin suositeltu nostokulma on  $15^\circ$  ja on suositeltavaa pitää nostokulma alle  $12^\circ$  jos mahdollista. Toinen haittapuoli hihnakuuljettimissa on pölyäminen. Pölyisen biomassan käsittelyssä täytyy pitää huolta pölyn synty-  
misen minimoinnissa ja pölyn talteenotosta. Tämä vaatii usein pölyn talteenottojärjestelmiä. (Lindberg) Hihnakuuljettimet ovat myös herkkiä ulkoisille vaikutuksille, kuten lämpötiloille ja hiekan kerääntymiselle hihnapyöriin. (Van Loo & Koppejan, 2008)

Kumiputki-hihnakuuljettimet sulkevat materiaalin sisäänsä ja näin välttyään pölypäästöiltä. Polttoaineen kuljetus on mahdollista molempiin suuntiin. Hihna on kaartuva ja eri korkeuksille kuljettaminen on mahdollista. Pitkät ja terävät partikkelit voivat läpäistä kumihihnan, jolloin koko hihna voidaan joutua korvaamaan. Kumiputki-hihnakuuljettimia on saatavilla jopa 2000 metrin kuljetusmatkoille.



Kuva 31. Kumiputki-hihnakuuljetin (Van Loo & Koppejan, 2008)

Ketjukuljettimia ja kolakuljettimia käytetään usein silloin kun kuljetusmatka on melko lyhyt. Ne koostuvat yleensä yhdestä tai useammasta metalliketjusta joihin on yhdistetty kuormaa eteenpäin työntäviä vetotankoja tai kolia. Niitä voidaan käyttää sahanpurun, kuoren ja hakkeen kuljettamiseen. Ketjukuljettimet ovat suunniteltu materiaalin vaakatasoiseen tai nousevaan (90° asti) kuljettamiseen ja ne pystyvät käsittelemään erilaisia partikkelikokoja. Materiaalin syöttäminen ja purkaminen on mahdollista missä kohtaa tahansa. Pölypäästöjen välttämiseksi kuljetin voidaan peittää. Ketjukuljettimien huonoina puolina voidaan pitää korkeaa tehontarvetta, alhaista kuljetuskapasiteettia (johtuen matalasta nopeudesta) sekä ketjun ja kolien korkeaa kulumaa.

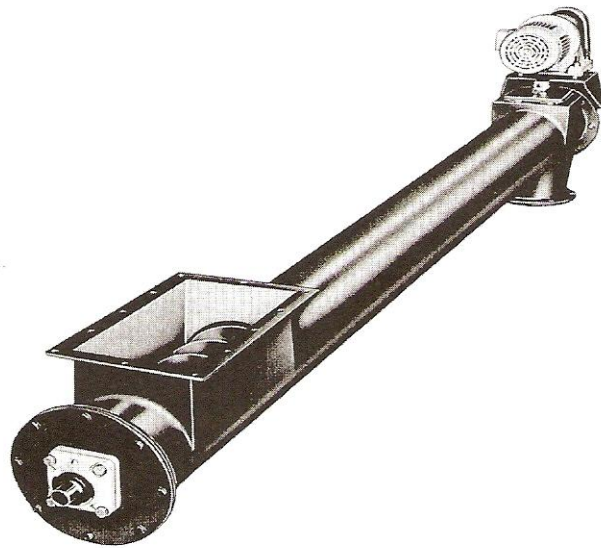


Kuva 32. Ketjukuljetin (Process Barron)

Ketjukuljettimet ovat karkearakenteisia ja ne voivat käsitellä painavia epätasaisia kuormia. Ne sopivat erityisen hyvin polttoaineen talteenottoon vastaanotosta ja varastosta, sekä kattilasiilojen syöttöön. Kuljettimet ovat suhteellisen helppoja käyttää ja huoltaa. (McGowan, 2009)

Ruuvikuljettimilla voidaan kuljettaa kiinteää materiaalia ilman pölypäästöjä. Ruuvikuljettimet ovat yleensä pienikokoisia ja ne ovat verrattain halpoja. Tämä kuljetustekniikka soveltuu lyhyille välimatkoille ja sitä käytetään yleensä alle 50 mm

partikkelikoon omaavien (esim. sahanpuru, pelletit, hake) biomassojen kuljetukseen. Niitä käytetään yleensä polttoaineen syöttöön kattiloihin ja osana silojen ja varastojen talteenottojärjestelmää. Ruuvikuljettimet voivat kuljettaa materiaalia vaakasuoraan tai nousevasti rajoitetulla kapasiteetilla. Vaihtuvilla nopeusajoilla niitä voidaan käyttää annostelulaitteistoina. (Van Loo & Koppejan, 2008; McGowan, 2009)



Kuva 33. Ruuvikuljetin (Van Loo & Koppejan, 2008)

Ruuvikuljettimilla on verrattain suuri tehontarve ja ne ovat herkkiä polttoaineen epäpuhtauksille (metalli, kivet). Ruuvikuljettimet eivät sovellu kuorelle. (Van Loo) Ruuvikuljettimia ei suositella käytettäväksi vastaanoton ja seulonnan välisissä kuljetuksissa, koska kuljetettava biomassa voi sisältää suuria paloja ja epäpuhtauksia. (Lindberg et al., 2012)

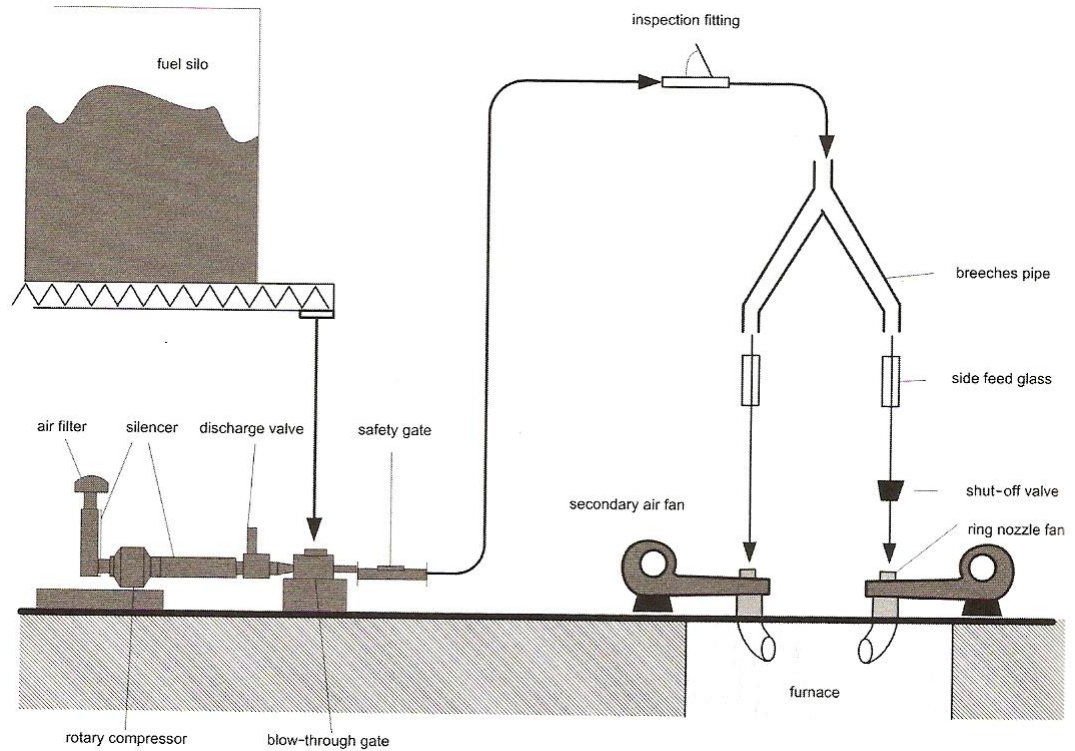
Kauhaketjuelevaattoreita käytetään pienten ja keskisuurten partikkeleiden nousevaan ja pystysuuntaiseen kuljetukseen. Kuljettimen kapasiteetti voi olla jopa 400 tonnia tunnissa ja suurin nostokorkeus jopa 40 metriä. Materiaalin partikkelikoko rajoittuu käytettävän kauhan kokoon. Pölypäästöt ja lian kertyminen voivat aiheuttaa ongelmia jos hienoa materiaalia kuljetetaan suurella nopeudella.





Kuva 34. Kauhaelevaattori (Vakkilainen & Maunula)

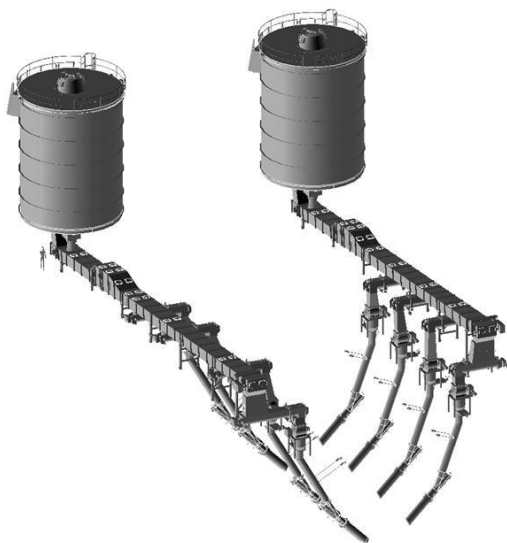
Pneumaattisia kuljettimia (kuva 35) käytetään laajasti sahanpurun ja hienonnetun oljen kuljettamiseen. Ne sopivat hyvin pölypolttimille ja monimutkaisille kuljetusreiteille. Korkeapaineisten systeemien kuljetusnopeus voi olla jopa 40 m/s.



Kuva 35. Matalapaineinen pneumaattinen kuljetin (Van Loo & Koppejan, 2008)

#### 4.4.2 Syöttöjärjestelmä

Kuvassa 36 on esimerkki biopolttoaineen päiväsiloista ja kattilasyöttöjärjestelmästä.



Kuva 36. Biopolttoaineen kattilasyöttöjärjestelmä (FosterWheeler, 2010)

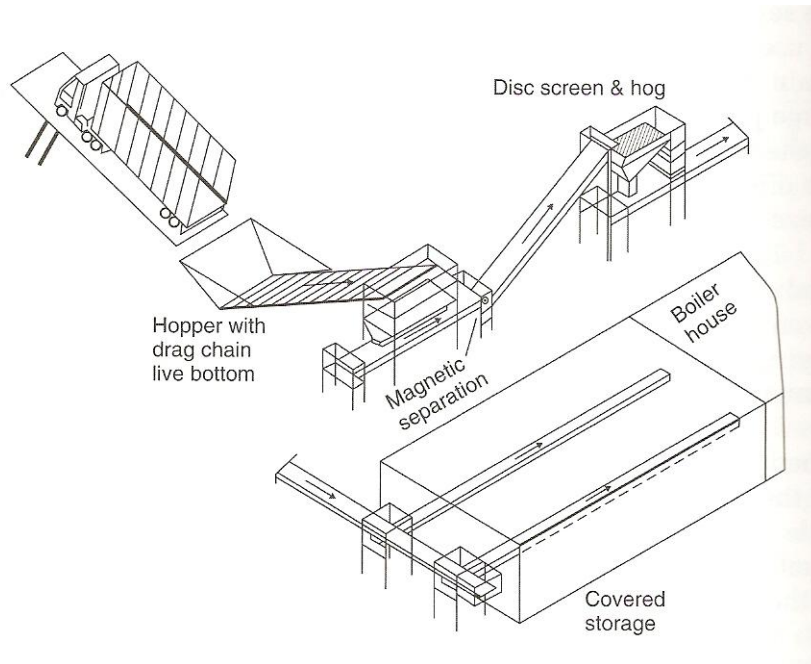
Päiväsiilot ovat tasapohjaisia ja pohjalla on pohjan ympäri kääntyvä ruuvipurkain. Ruuvipurkaimilta polttoaine putoaa ketjukolakuljettimille. Polttoainesiilon pohjalla on myös ympäri kääntyvä ruuvipurkain. Ruuvipurkaimelta turve putoaa syötöntasaustaskuun, jonka pohjalta polttoaine syötetään kahden annosteluruuvien avulla polttoainelinjojen kolakuljettimille. (FosterWheeler, 2010)

Polttoaine syötetään kattilaan kahta rinnakkaista linjaa pitkin. Kolakuljetinlinjat sijaitsevat kattilan etu- ja takaseinillä ja ovat keskenään samanlaisia. Annosteluruuvit ketjukolakuljettimien pohjassa annostelevat polttoaineen sulkusyöttimille. Sulkusyöttimet annostelevat polttoaineen kattilaan pudotustorvia pitkin.

Toisen polttoainelinjan pysähtyessä rinnakkainen linja ottaa automaattisesti vastaan pysähtyneen linjan kuorman kapasiteettinsa puitteissa. Tarvittaessa kattilan tehoa saattaa joutua rajoittamaan, sillä yhden linjan kapasiteetti on noin 70 % kattilan maksimikuormasta. Annosteluruuvien nopeuksia ohjataan järjestelmästä kattilantehontuotantarpeen tai kattilan painesäädön mukaan.

#### **4.5 Laitoskäsittelytekniikat**

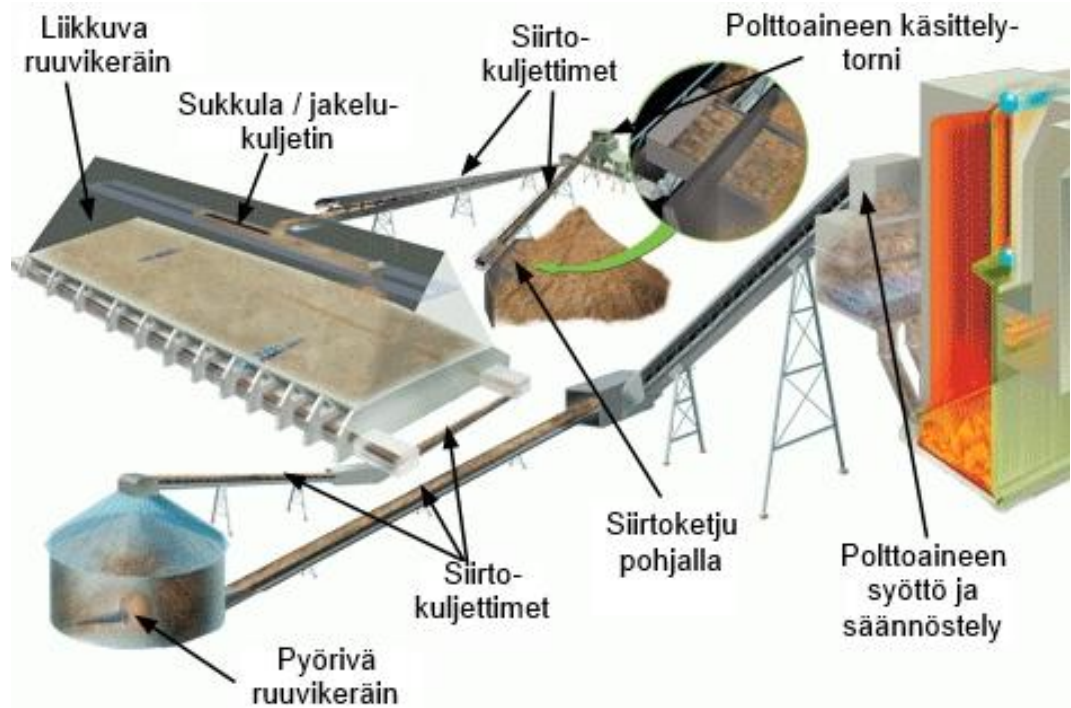
Kuvassa 37 on esitelty esimerkki polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmästä. Polttoaine vastaanotetaan hydraulisen nosturin avulla ja pudotetaan vastaanottosiilon. Polttoaine kuljetetaan ketjukuljettimen avulla magneettierotukseen, mistä siitä poistetaan metalli. Seuraavaksi polttoaine kuljetetaan kiekokoskulle ja murskaimelle, missä ylisuuret palaset saadaan sopivan kokoisiksi. Murskaimelta polttoaine kuljetetaan varastoon. (McGowan, 2009)



Kuva 37. Polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmä (McGowan, 2009)

Kuvassa 38 nähdään biomassan välivarastointi- ja kuljetusjärjestelmä. Siinä polttoaine kuljetetaan polttoaineen käsittelytornista A-pylväs -varastoon. A-pylväs -varastoa täytetään tasaisesti jakelukuljettimen avulla. Tämän jälkeen polttoaine siirtyy välivarastosiiloon liikkuvien ruuvipurkaimien ja hihnakuljettimien avulla. Siilon pohjalla liikkuu pyörivä ruuvipurkain, joka annostelee polttoaineen edelleen hihnakuljettimelle ja päiväsiiloihin tai polttoaineen syöttö- ja säännöstelyjärjestelmiin.





Kuva 38. Biomassan välivarastointi ja kuljetus (Vakkilainen & Maunula)

#### 4.6 Käsittelyn erityisvaatimukset

Biopolttoaineelle asetetut käsittelytekniset vaatimukset vaihtelevat laitoksen koon, kattila- ja polttotekniikan sekä käsittelyjärjestelmän osalta. Tavallisesti suuri laitos ei ole niin kriittinen polttoaineen laadun suhteen kuin pieni. Olennaista on, käytetäänkö laitoksella sille suunniteltua polttoainetta ja kuinka paljon. Biopolttoaineiden laituskäsittelylle, laitteiden toimivuudelle ja turvallisuudelle aiheuttaa erityisiä vaatimuksia käsiteltävän materiaalin suuret laatuvahtelut. (Savon Voima)

## 5 PUUBIOMASSAN KÄSITTELYN TURVALLISUUS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

### 5.1 Itsestään kuumentuminen ja palot

Kiinteän biomassan itsestään kuumentumisesta johtuvat tulipalot eivät ole kovin epätavallisia, mutta tulipalot voivat syttyä monesta syystä. Näitä ovat itsestään kuumentuminen, kitka, ylikuumentuminen, kipinät, kuljetuskaluston palot ja tuhopoltot.(IEA Bioenergy, 2013)

Itsestään kuumentuminen on hyvin tunnistettu ongelma. Sitä on havaittu monilla eri materiaaleilla ja monissa eri tilanteissa. Öljyiset rätit ovat parhaiten taipuvaisia itsestään kuumentumisen aiheuttamaan itsesyttymiseen. Kuitenkin mikä tahansa materiaali joka voi mädäntyä tai hapettua ilman välityksellä, voi eksotermisesti saavuttaa itsesyttymisen. Itsestään kuumentuminen voidaan nähdä ensimmäisenä askeleena prosessissa joka aiheuttaa itsesyttymisen. Nämä askeleet voidaan määrittellä seuraavasti:

1. Itsestään kuumentuminen: Lämpötilan nousu polttoaineessa johtuen eksotermisestä reaktiosta.
2. Lämpökarkaaminen: Itsestään kuumentuminen, joka johtaa nopeasti korkeisiin lämpötiloihin
3. Itsesytyminen: Näkyvää savuamista tai liekehdintää lämpökarkaamisen seurauksena.

Itsestään kuumentumista tapahtuu monilla eri materiaaleilla, mutta siitä muodostuu ongelma vain jos tuotettua lämpöä ei voida siirtää ulos materiaalista ilman, että materiaali lämpenee. Tämä jäähdytysprosessi on riippuvainen materiaalin ominaisuuksista, varaston koosta ja muodosta, sekä vallitsevista olosuhteista.

Materiaalin kosteus voi vaikuttaa itsestään kuumentumisriskiin monin tavoin. Suurissa vesipitoisuuksissa vesi voi joko absorboida lämpöä tai haihtua siinä määrin, että itsestään kuumentuminen on rajoitettua. Toisessa ääripäässä, kun vesipitoisuus

nousee yli noin 16 %:n, voi alkaa muodostua biologisia prosesseja. Kuivilla materiaaleilla veden lisääminen johtaa lämpötilan nousuun adsorptiolämmön tai kondensaation seurauksena. Syitä voi olla sadevesivuoto katosta tai varaston ilmastoinnin jäähdytysilman korkea kosteuspitoisuus. Kuvassa 39 nähdään kasa vasta-varastoituja pellettejä, jonka lämpötila on noussut itsestään kuumenemisen takia. Kuvan "savu" on luultavasti yhdistelmä vesihöyryä ja erilaisia kaasuja (kaasuuntuminen).



Kuva 39. Itsestään kuumenemista pellettivarastossa (IEA Bioenergy, 2013)

Kytevät tulet siilojen sisällä voivat vaikuttaa harmittomilta, koska tällöin ei näkyvillä ole tulta. Tällaisissa tilanteissa voi siilon yläpää kuitenkin täytyä korkeista pitoisuuksista syttyviä palokaasuja (CO, palamattomat hiilivedyt), jotka voivat aiheuttaa vakavia räjähdysriskkejä. Kuvassa 40 on esitetty siiloräjähdys, joka aiheutui todennäköisesti siilon yläpään kaasujen syttymisestä sähköstaattisesta purkauksesta kytöpaloa sammutettaessa.



Kuva 40. Siiloräjähdys (IEA Bioenergy, 2013)

Seuraavia yleisiä neuvoja ja suosituksia tulisi ottaa huomioon kun halutaan välttää itsestään kuumeneminen ja itsesyttymiset biomassan varastoissa:

- Vältä kuljetuksia ja varastointia suurissa määrissä kun polttoaineen taipumus itsestään kuumenemiseen ei ole tiedossa.
- Ole tietoinen itsestään kuumenemisen ja itsesyttymisen riskeistä suurissa varastotilavuuksissa.
- Vältä biomassan varastointia yli 15 %:n kosteuspitoisuuksissa. Kuljetuksissa kosteusvauriota saaneita pellettejä ei ikinä tulisi varastoida, vaan ne tulisi hyllyttää tai viedä suoraan polttoon.
- Vältä erityyppisten biomassojen sekoittamista varastoissa.
- Vältä eri kosteuspitoisuuksissa olevien polttoaine-erien sekoittamista varastossa.
- Vältä suuria määriä hienoainesta polttoaineessa.
- Mittaa ja tarkkaile lämpötilan ja kaasujen koostumusta varastoidussa materiaalissa. Säännölliset visuaaliset tarkastukset ovat suositeltuja.
- Tarkkaile sekä varaston että viereisiä tiloja CO:n ja O<sub>2</sub>:n vuoksi, jotta voidaan välttää vaarallisen ympäristön muodostuminen.

- Rajoita varastointiaikaa.
- Vahdi varastointiperiaatteen first-in-first-out toteutumista
- Puhdista varasto ennen uudella polttoaineella täyttämistä.
- Kontrolloi polttoaineen kuljetusta siten, ettei suurin sallittu lämpötila täyty.

Erilaiset biomassat ja erityyppiset varastorakennukset vaativat erilaista sammutusjärjestelmää ja -taktiikkaa. Pellettien palonsammutus eroaa muiden materiaalien sammutuksesta, koska vettä ei suositella, erityisesti siiloissa. Kastuneet pelletit turpoavat nopeasti ja jäljelle jääneestä materiaalista tulee erittäin kovaa. Pelletit voivat paisua jopa 3,5-kertaiseksi alkuperäisestä koostaan (kuva 41)



Kuva 41. Veden lisäyksen aiheuttama turpoamiseksi pelleteissä. (IEA Bioenergy, 2013)

Kun havaitaan tulipalo ulkovarastossa tai kasassa sisätiloissa, ensimmäinen tehtävä on sammuttaa liekit niin nopeasti kuin mahdollista. Tulen leviäminen voi olla melko nopeaa ja viivytys sammutusoperaatiossa voi nostaa riskiä koko varaston häviöstä. Veden käyttöä tulisi rajoittaa, paitsi jos tarkoitus on estää pölypilvien

muodostumista, joka voi nostaa palon intensiteettiä. Jos mahdollista, sammutusvaahdon käyttö voi helpottaa sammutusta.

Jos pellettikasassa havaitaan itsesyttymistä, todennäköisin paikka kyöpalolle on tunnistettava ensin. Kyseinen materiaali tulee poistaa kasasta pyöräkuormaajalla. Materiaali on tarkastettava huolellisesti ja kyteviä alueita sammutettava varovasti veden avulla. Poistamisoperaation yhteydessä on tärkeää jatkuvasti sammuttaa palavaa materiaalia ja suojella jäljelle jäänyttä kasaa.

Siilopalojen sammuttamistekniikat eroavat täysin "normaaleista" palon sammutusmenetelmistä. Rakennuspaloihin verratessa siilopalot muodostavat hyvin rajalliset sammutusvaihtoehdot, koska pääsy siilon pohjalle ja päälle on hyvin rajattua. Siilopalon sammuttaminen on pitkä prosessi, joka yleensä vie useita päiviä. Suositeltu tekniikka on inerttikaasun ruiskutus, jolla estetään ilman (hapen) pääsy kytevän palon paikkaan. Inerttikaasu tulee ruiskuttaa mahdollisimman lähelle siilon pohjaa jotta koko siilon tilavuus saadaan inertiksi.

## **5.2 Kaasuuntuminen**

Bioenergiana käytettävät metsäteollisuuden sivutuotteet tulevat monista eri lähteistä ja voivat käydä läpi monia eri esikäsittelyvaiheita. Esimerkiksi pelletiksi tehtävä sahanpuru kuivataan korkeissa lämpötiloissa, jonka jälkeen se puristetaan pelleiksi korkeassa paineessa ja lämpötilassa. Materiaalin ominaisuudet, sen käsittely ennen tuotantoa ja tuotanto-olosuhteet vaikuttavat ilmiöön, joka tunnetaan kaasuuntumisena. Tällä viitataan erilaisten haihtuvien yhdisteiden kaasumaisiin päästöihin tuotannosta käyttöön asti. Löydetyt yhdisteet voidaan jakaa kondensoituviiin ja ei-kondensoituviiin kaasuihin. (IEA Bioenergy, 2013)

Puu koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta, ligniinistä ja lipofiilisistä (rasvahakuisista) yhdisteistä, kuten rasvahapoista ja pihkasta, joita yleensä kutsutaan osaksi uuteaineita. Termokemiallisen konversion aikana, näistä lipofiilisistä yhdisteistä tulee karbonyyliyhdisteitä (aldehydejä ja ketoneja), sekä monimutkaisia terpeenejä.

Puubiomassasta emittoituiden aldehydien uskotaan olevan seurausta tyydyttymättömien rasvahappojen kaksoissidosten hapettumisesta. Varastoinnissa muodostuvat aldehydit riippuvat varasto-olosuhteista, biomassan ominaisuuksista ja esikäsitteilyn parametreista. Myös biomassan ikä on tärkeä. Vertailu tuoreiden ja varastoitujen pellettien välillä osoittaa, että vähemmän aikaa varastoidut pelletit tuottavat korkeampia päästöjä.

Aldehydien ja ketonien lisääntyvä itsehapettuminen johtaa vastaavien karboksyylihapojen syntymiseen. Näiden happojen kaasuuntuminen muodostaa pistävän hajun. Joillain näistä haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä (VOC) voi olla terveyshaittoja, kuten silmien ja hengitysteiden ärtymystä.

Terpeenit syntyvät kasvien biosynteesissä ja niitä esiintyy luonnollisesti puun pihkassa, varsinkin havupuissa. Terpeenien hallitseva muoto muodostuu kahdesta isopropeenimolekyylisestä, joka tunnetaan monoterpeeninä. Se muodostaa puun ominaisuoksun. Terpeenien päästöihin vaikuttaa havupuun geneettinen kuorma, sekä vallitsevat ympäristön olosuhteet. Terpeenipäästöjen on havaittu olevan vähäiset varastoiduissa pelleteissä ja suurimman osan päästöistä uskotaan häviävän aikaisessa vaiheessa puun käsittelyn aikana.

Varastoinnin aikana suurin osa puubiomassasta emittoi ei-kondensoituvia kaasuja, pääosin hiilimonoksidia, hiilidioksidia ja metaania. Varastoinnin turvallisen suunnittelun kannalta on tärkeää ottaa selville aineiden kaasuuntumisen määrä ja nopeus. Tämä riippuu monista parametreista, kuten puubiomassan tyypistä ja alkuperästä, tuotantotavasta, kosteuspitoisuudesta ym. Nämä ei-kondensoituvat kaasut johtavat hapen ehtymiseen ja voivat joissain tapauksissa olla myrkyllisiä. Tällöin

varastojen riittävä ilmanvaihto on tarpeellista. Erityisesti hiilidioksidin tapauksessa, joka on painavampaa kun ilma ja voi siten asettua varaston alaosiin tai kulkeutua alempiin polttoaineen purkutiloihin.

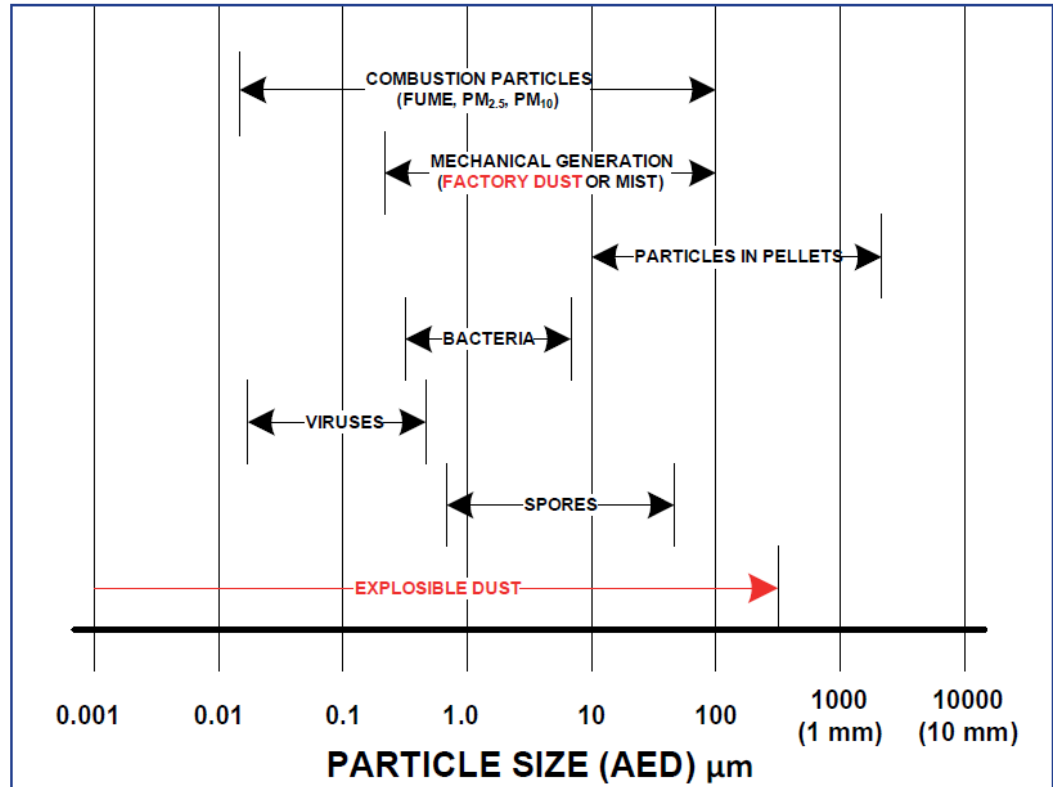
### 5.3 Pöly- ja kaasuräjähdykset

Pölyräjähdykset ovat suurin vaurioiden ja loukkaantumisten aiheuttaja metsä- ja maatalousalan fyysisten vammojen ohessa bioenergiasektorilla. Operaatiohenkilöstön tietämys, minkä tyyppinen pöly aiheuttaa räjähdyksiä ja tunnollisen puhtaanapidon tärkeydestä on usein rajallista. Osa ongelmaa on pölyn räjähdysominaisuuksien olevan monimutkaisia ja niitä karakterisoidaan monilla parametreilla kuten:

- Pölymateriaalin kemiallinen koostumus ja tuoreus (reaktiivisuus)
- Pölyn partikkelikoko
- Onko partikkelit ilmassa pilvenä vai kerrostumana
- Pölypartikkelien pitoisuus pilvessä
- Pölykerrostuman sakeus
- Yhteys ilman (hapen) kanssa
- Ilman sakeus
- Syttymislähteen energia
- Ympäröivän ilman lämpötila
- Pölyn lämpötila (IEA Bioenergy, 2013)

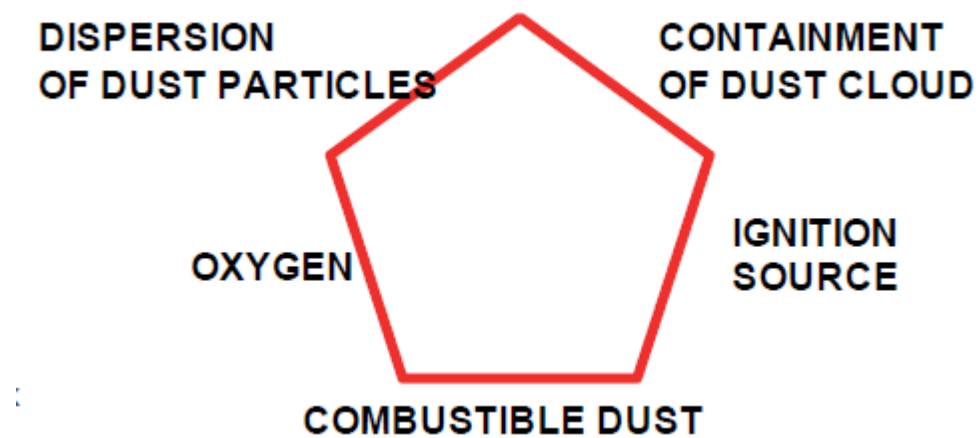
Kuvassa 42 on esitetty tehtaalla tuotetun puupölyn partikkelijakauma verrattuna muihin yleisiin partikkeleihin.





Kuva 42. Puupölyn yleinen partikkelijakauma verrattuna muihin yleisiin partikkeleihin (IEA Bioenergy, 2013)

Jotta pölyräjähdys voisi syntyä, on kuvan 43 mukaisen "räjähdyspentagonin" viisi tekijää oltava olemassa. Nämä ovat pölypartikkeleiden hajaantuminen, pölypilven muodostuminen, syttymislähde, syttyvä pöly ja happi.



Kuva 43. "Räjähdyspentagoni" (IEA Bioenergy, 2013)

Pölyräjähdys ei yleensä ole yksittäinen tapahtuma. Yleisin skenaario on pölypilven tai pölykerroksen alkusytytys yllämpenemisen johdosta yhdessä kiven tai metallinpalasen aiheuttamasta kipinästä, hitsaustyön aiheuttamasta kipinästä, epäkuntoisen sähkölaitteen valokaaresta tai sähköstaattisesta purkauksesta. Alkutaapahtuma voi alkaa pienenä räjähdysmäisenä palona, aiheuttaen paineaallon, joka irrottaa lattialle, puomien päälle ym. jääneen pölyn. Vapautuneella pölyllä on usein korkea pitoisuus ja yhteys ilman kanssa. Se syttyy helposti luoden tulipallon, joka leviää lähellä äänen nopeutta (343 m/s huoneen lämpötilassa), kunhan pölyn konsentraatio ylittää vaaditun minimikonsentraation ja sillä on yhteys happeen. Eksotermisen reaktion tämän leviävän tulipallon sisällä tunnetaan nimellä deflagraatio (räjähtävä palaminen) ja se on räjähtävä nopeasti liikkuva tuli, joka usein tunnetaan toissijaisena räjähdysenä. Toissijainen räjähdys on usein voimakkaampi kuin ensisijainen räjähdys, monista syistä johtuen. Ensiksi siinä on mukana paljon enemmän polttoainetta kuin ensisyytymisessä; toiseksi se liikkuu erittäin nopeasti; kolmanneksi se altistaa kaiken sen tiellä palaviksi partikkeleiksi jotka eivät pelkästään revi rakenteita auki, vaan myös kerrostuu pinnoille useiksi sekunneiksi tai jopa minuuteiksi ennen kuin palo on sammunut.

Deflagraatiolle altistuneet ihmiset kärsivät vakavista palovammoista, koska partikkelit laskeutuvat heidän iholleen ja jatkavat palamista hetken aikaan johtaen vaikeisiin syviin haavoihin tai vakavaan ihokudoksen palamiseen raajoista tai kasvoista.

Palojen, varsinkin kytöpalojen aikana muodostuu suuria määriä pyrolyysikaasuja, jotka leviävät paikkoihin joissa kaasut kerääntyvät suuriksi pitoisuuksiksi. Nämä pitoisuudet voivat saavuttaa räjähtämisen rajat ja voivat helposti syttyä, mikäli paikalla on syttymislähde. Kaasuräjähdys eroaa pölyräjähdyksestä (deflagraatiosta) ja se luokitellaankin yläääniseksi räjähdykseksi. Biomassan pyrolyysi tai kyteminen synnyttää laajan kirjon erilaisia kaasuja joilla on erilaiset räjähtävyysrajat. Kaasuspektin räjähtävyys on monimutkaista ennakoida, vaikka yksittäisten kaasuyhdisteiden ominaisuudet olisivatkin selvillä.

Pölyräjähdysten kontrolloinnin menestyksekkääseen toteutukseen tulee kuulua paitsi pölyn ominaisuuksien määrittäminen, myös jaettu vastuu johdon, käyttöhenkilöstön ja kunnossapidon välillä, sekä sen pitää pohjautua kestäväan ja mitattuun dataan. Kuka tahansa määrätään vastuulliseksi pölymäärien hallintaan laitoksella, on heidän oltava tietoinen metodeista, joilla määritellään ja arvioidaan turvalliset pölyrajat. Tarkastukset ja tiedon taltioinnit tulee tehdä ennalta määrättyinä ajanjaksoina.

Pölyräjähdysten estämiseksi pyritään käyttämään seuraavia metodeja:

- Pölyn keräily: suojat, suljetut tilat, imurilaitteistot, ilmanpoistolaitteistot
- Pölyn tukahduttaminen: veden suihkutusta ja sumutus, öljyn suihkutusta, lievittävän kemikaalin suihkutusta, sideaineiden sekoitus biomassaan, biomassan pudottamisen välttäminen kovalle alustalle
- Räjähdysten ehkäisy: happipitoisuuden pitäminen biomassan happikonsentraation alapuolella.
- Räjähdysten hallinta: laitteiston ja varastojen suunnittelu
- Kipinän sammutus: kipinän havainnointilaitteisto ja siihen liittyvät vesi ja inerttikaasusysteemit, höyryn haastelijat, porttilaitteisto, joka sammuttaa tai ohjaa kipinän turvalliselle alueelle.
- Räjähdysten tukahduttaminen: painetunnistin, tukahduttavan aineen vapautus
- Räjähdysten purkaminen: paineaallon vapauttaminen turvalliseseen paikkaan, räjähdyspaneelit

## 5.4 Terveysriskit

Biopolttoaineiden käytön biologiset terveysriskit johtuvat yleensä pölyn muodostumisesta ja "bioaerosoleista". Bioaerosolit ovat laaja käsite ilmassa kulkeutuvilla epäpuhtauksilla, erityisesti biologisen alkuperän omaavilla pienhiukkasilla. Bio-

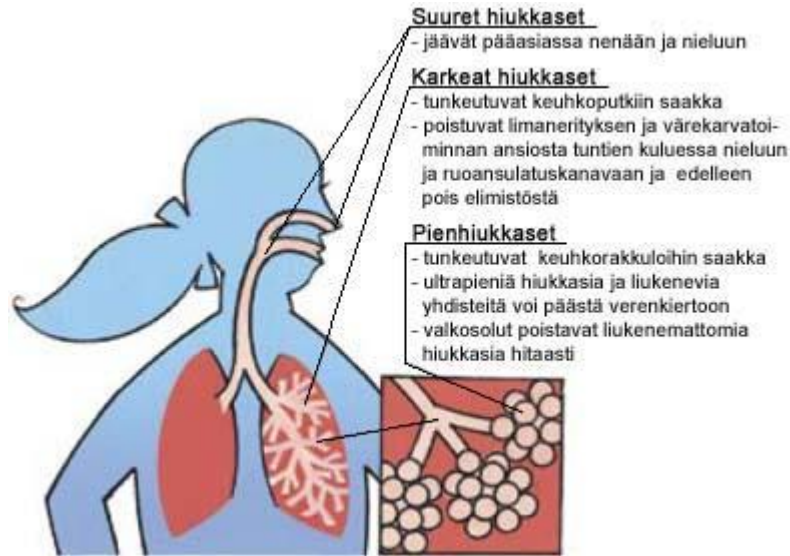
aerosolit voivat syntyä monilla eri tavoilla, kuten nestemäisistä pisaroista tai kivistä materiaalista, joka pysyy ilmassa yksin, ryhmässä tai jonkun muun orgaanisen materiaalin kantamana. Bioaerosoleja esiintyy ilmassa jatkuvasti ja niille altistuminen on osa jokapäiväistä elämää. Altistuminen kuitenkin kasvaa orgaanisen materiaalin käsittelyn yhteydessä. (IEA Bioenergy, 2013)

Bioaerosolien haitat jakautuvat kolmeen laajaan ryhmään:

- **Fyysinen:** Missä fyysinen altistuminen partikkeleille hengitysteissä aiheuttavat terveysvaikutuksia.
- **Ärsyttävä/Allergisoiva:** Missä biologinen partikkeli aiheuttaa immunologisen reaktion kantajassa siten, että haitallisia terveysvaikutuksia havaitaan.
- **Patogeeninen:** Missä elinkelpoista organismeja hengitetään ja organismi leviää ja tartuttaa kantajan aiheuttaen sairauden.

Pölyhiukkaset ja muut saman partikkelikoon omaavat hiukkaset jaotellaan sen mukaan kuinka syvälle hengitysteihin ne ajautuvat:

- **Suuret hengitettävät hiukkaset (PM100):** Ilmassa olevat partikkelit, jotka voivat päätyä nenään tai suuhun normaalin hengityksen aikana. Partikkelit joiden halkaisija on 100 µm tai vähemmän.
- **Karkeat hengitettävät hiukkaset (PM10):** Partikkelit, jotka ohittavat nenän ja kurkun saavuttaen keuhkot. Partikkelit joiden halkaisija on 10 µm tai vähemmän.
- **Pienhiukkaset:** Partikkelit jotka pääsevät keuhkorakkuloihin tai verenkiertoon asti. Partikkelikoko 2,5 µm tai vähemmän.



Kuva 44. Hiukkasia elimistössä. (Hengityслиitto)

Biomassasta syntyvän pölyn ja partikkelien biologinen luonne voi aiheuttaa lisääntyviä terveyshaittoja johtuen kehon ja immuunisysteemin biologisesta vastuksesta. Tällöin keho reagoi biologiseen materiaaliin ja kehittää sopivan vastatoimen, joka pyrkii vastustamaan syntynyttä vaaraa. Normaalisti tilanteet eivät aiheuta terveysvaikutuksia, mutta voivat joissain tapauksissa synnyttää allergisia reaktioita, kuten astmaa tai heinänuhaa.

Bioaerosolien patogeeneja biopoltoaineissa ovat suurimmalta osin sieneliöitä ja bakteereja, mutta myös viruksia, prioneja ja alkueliöitä voi esiintyä. Patogeenien ominaisuudet, kuten niiden kasvu ja selviytyminen käsittelyn ja varastoinnin aikana ja niiden selviytyminen ilmassa olevassa bioaerosolissa vaihtelee patogeenilajista riippuen. Patogeenistä johtuvat infektiot voivat olla vakavia ja harvinaisissa tapauksissa johtaa jopa kuolemaan.

Biologisten terveysriskien ehkäisyyn biomassan käsittelyssä on otettava huomioon kaksi perusasiaa:

- Mikrobisen kasvuston leviämisen ehkäisy
- Aerosolien kehittymisen ja orgaanisen pölyn ja biologisesti aktiivisen materiaalin ilmaan pääsemisen ehkäisy

Yhteenvedona pölyn ja bioaerosolituotannon vähentäminen sekä home- ja bakteerikasvustoille sopivien olosuhteiden välttäminen biomassan varastoinnissa ovat avainasia, joilla saadaan suojeltua laitosten henkilöstöä terveyshaitoilta.

## 5.5 Ympäristövaikutukset

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjä voi esiintyä biomassan varastoinnin ja kuivauksen yhteydessä. Kuoresta tulevien monoterpeenipäästöjen on havaittu olevan korkeita kun tuore kuori varastoidaan kasaan. Päästöt kuitenkin pienenevät hyväksytylle tasolle jo muutaman päivän jälkeen. Kuoren kuivausprosessin aikana on havaittu terpeenien, alkoholien, rasvahappojen ja hartsihappojen päästöjä. Laboratoriotestit ovat osoittaneet, että metsähakkeen ja sahanpurun kuivauksen aikana esiintyvät VOC-päästöt ovat terpeenejä, alkoholeja, aldehydejä sekä karboksyylihappoja. Aldehydi- ja terpeenipäästöjä esiintyy myös pellettivarastoissa. Näiden tyypillisiä yhdisteitä on heksanaali, pentanaali (amyylialdehydi) ja monoterpeenit. (Lindberg et al., 2012)

Käsiteltäessä biomassasta tuotettuja kuivia polttoaineita tulee pölyä olemaan aina mukana. Pöly on ensisijaisesti työterveysriski laitoksen työntekijöille. Laitoksen operaatiot tulisi organisoida niin, että pölypäästöt eivät leviäisi ympäröivään ilmaan.

Parhaat mahdolliset tekniikat (BAT) ilmanpäästöjen vähentämiseen ovat:

- Murskatun ja pölyisen materiaalin käsittely ja tuotanto-operaatiot tulisi suorittaa sisätiloissa kun se on mahdollista.
- Murskatun ja pölyisen materiaalin kuljettimet tulisi peittää tai suunnitella siten, että pölypäästöt saadaan talteen tai minimoitua.
- Hienojakoinen materiaali tulisi kuljettaa vain suljetuissa kuljettimissa.
- Pöly tulisi poistaa poistoilmasta kuitusuodattimilla tai muilla soveltuvilla tekniikoilla. Paras mahdollinen tekniikka partikkelipäästöille on  $< 20 - 50$

mg/Nm<sup>3</sup> partikkeleille, jossa alempi arvo viittaa kuitusuodattimien käyttöön ja ylempi arvo syklonien ja muiden partikkelinpoistotekniikoiden käyttöön. Alempi arvo viittaa myös kaikkiin uusiin laitoksiin. Poistoilman päästöjä tulisi seurata vuosittain suurien päästöjen lähteillä.

- Veden sumutusjärjestelmiä voidaan käyttää pölypäästöjen ehkäisemiseksi mikäli ne eivät madalla polttoaineen laatua tai nosta itsesyttymisriskiä.

Biomassan murskaus ja haketus ovat merkittävimmät melulähteet. Monien eri murskaimien ja hakettimien melu on mitattu. Mitatut äänentasot vaihtelivat 116 – 130 dB välillä. Suurin osa melutasosta oli 120 dB:n alapuolella. Myös biomassan lastaamiseen ja kuljettamiseen käytettävät kauhakuormaajat ja rekat aiheuttavat melupäästöjä.

Melupäästöjen vähentämisen parhaat mahdolliset tekniikat ovat:

- Murskaus ja haketus tulisi suorittaa sisätiloissa jos mahdollista
- Melua tuottavien osien eristäminen tai suojakansien käyttäminen kun mahdollista.
- Kun biomassa murskataan ulkona lähellä asutusta:
  - Murskain tulisi varustaa äänenvaimentimilla.
  - Tiheässä käytössä äänivalleja tulisi rakentaa melulle altistumista vähentämään. Harvemmassa käytössä biomassakasat tulisi asettaa murskaimen ympärille melun vähentämiseksi.

Biomassan ulkovarastojen valumat voivat johtaa kiinteän tai liuenneen orgaanisen materiaalin päästöihin vesistöihin. sellutehtaiden kuoren, sahan jätteiden ja metsätähteiden valumien myrkyllisyyttä on tutkittu laboratoriomittakaavassa myrkyllisyystesteillä. Tulosten mukaan valumat kuoresta ja sahanjätteestä olivat myrkyllisiä testiorganismi daphnialle. Myrkyllisyys nousi ajan myötä tiettyyn pisteeseen asti. Myrkyllisyyden aiheutti jossain määrin fenoli-yhdisteet. Valumat haketetusta metsäntähteistä eivät osoittautuneet myrkyllisiksi.

Metsähakkeen ja tuoreen sahanpurun valumien laatu on mitattu laboratoriotesteillä. Testit osoittivat, että valumien COD vaihtelee välillä 2000 – 9000 mg/l, TOC välillä 900 – 1400 mg/l ja pH välillä 4 – 5,6. Valumien koko COD konsentraatio oli 0,1 – 0,5 massa-% ja TOC 0,1 – 0,2 massa-% materiaalin kuiva-painosta. Eniten orgaanista materiaalia liukeni tuoreesta metsäntähdehakkeesta (0,5 massa-%).

Parhaat mahdolliset tekniikat nestemäisten päästöjen vähentämiseen ovat:

- Varastointialueet tulisi asfaltoida tai sulkea vastaavalla vettä läpäisemättömällä kerroksella, jotta voidaan estää valumat maaperään ja pohjaveteen.
- Pohjavesialueita tulisi välttää varastointi- ja käsittelyalueina.
- Kiinteä aine tulisi poistaa valumista ja hulevesistä.
- Valumat ja hulevedet tulisi ohjata seurantalaitteiston läpi ja säännöllistä veden laadun hallintaa (pH, johtavuus, SS, COD/TOC) tulisi käyttää.
- Alueet joissa on öljyvalumisen riski tulisi varustaa öljynerotuskaivoilla.



## 6 YHTEENVETO

Erilaiset puulajit eroavat toisistaan ominaisuuksiensa puolesta. Myös polttoon tuotavan biomassan ominaisuudet voivat vaihdella riippuen puun leikkuuajankohdasta, varastointiajasta ja murskausmenetelmästä. Suurimpia biomassan käsittelyyn vaikuttavia ominaisuuksia ovat kosteus, tiheys ja palakoko.

Puun korkea kosteuspitoisuus pienentää biovoimalaitoksen hyötysuhdetta ja joissain tapauksissa on tarpeellista käyttää kuivureita ennen polttoa puun saamiseksi tarpeeksi kuivaksi. Biomassan varastoinnin aikana kosteuden ollessa 20 - 60 % alkaa tapahtua biomassan hajoamista ja itsestään kuumenemistä. Tämä voi johtaa itsestään syttymiseen.

Biomassan palakoon heittäminen ja ylisuuret palaset aiheuttavat monia haasteita biomassan esikäsittelyssä. Suuret palat tukkivat kuljetinlaitteistoja ja tällöin tarvitaan ylimääräisiä seulonta- ja murskauslaitteistoja. Biomassan tasalaatuisuus on erittäin tärkeää esikäsittelyn toimivuuden kannalta.

Biomassan esikäsittely on tärkeä suunnitella käytettävien puulaatujen ja -määrien mukaan. Nykyaikaiset laitteisto- ja varastointiratkaisut mahdollistavat puubiomassan tehokkaan esikäsittelyn, kunhan esisuunnittelu on tehty riittävän huolellisesti. Puubiomassan menestykselliseksi esikäsittely vaatii laitoksen johdon, käyttöhenkilöstön ja kunnossapidon saumatonta yhteistyötä.

Biomassan käsittelyn yhteydessä on otettava huomioon ympäristö- ja turvallisuusasiat. Biomassan käsittelyssä syntyy melua ja ilmapäästöjä. Pölypäästöjen ja kaasuuntumisen seurauksena käsittelyssä ja varastoinnissa syntyy räjähdysvaara. Pölypäästöjen ehkäisemisessä ympäristön puhtaanapito on tärkeässä asemassa. Käsittelylaitteiston ympärille tulee myös rakentaa suojia jotta pöly ei pääse leviämään ympäristöön. Räjähdyksen välttämiseksi tulee varastointirakennukset suunnitella ohjeiden mukaisesti.

## LÄHTEET

Alakangas, E., Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1999. Hakkuutähteestä polttohakeeksi. Koulutusmateriaali. Jyväskylä, VTT Energia.

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2045.

Alpua J. 2011 Biopolttoaineen kuivaus voimalaitoksessa, Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Amos, W. A. 1998. Report on biomass Drying technology. Colorado, National renewable Energy Laboratory.

Andritz, Belt drying system BDS. [WWW] Viitattu:15.5.2015. Saatavilla: <http://www.andritz.com/products-and-services/pf-detail.htm?productid=5152>

Björklund, T. 1984. Tervalepän biomassa. Helsinki. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 151.

Björklund, T. & Ferm, A. 1982 Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Helsinki. Folia Forestalia 500.

Granö, U-P. 2007. Bioenergiaa Metsästä 2003-2007. [pdf-tiedosto]. Jyväskylän yliopisto, Chydenius-instituutti, Kokkolan yliopistokeskus. Euroopan Unionin Interreg-projekti. Projekti-info 110.

Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Helsinki, Metsätutkimuslaitos, Folia Forestalia 342.

Hakkila, P. 1992 Metsäenergia. Helsinki. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 422.

Hakkila, P. 2000. Metsähakkeen energiatiheys. Puuenergia 1/2000. Helsinki, Puuenergia ry.

Hengityliitto. Hiukkaset. [WWW] Viitattu: 6.5.2015. Saatavilla: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmansaasteet/hiukkaset>

Holmberg, H. 2007. Biofuel Drying as a Concept of to Improve the Energy Efficiency of an Industrial CHP Plant. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, ISBN 978-951-8648-5.

IEA Bioenergy. 2013. Health and Safety Aspects of Solid Biomass Storage, Transportation and Feeding. [WWW] [viitattu 15.5.2015] Saatavilla: <http://www.ieabioenergy.com/publications/health-and-safety-aspects-of-solid-biomass-storage-transportation-and-feeding/>

Jeffrey Rader. Wood/Bark Hogs.[WWW] Viitattu:15.5.2015. Saatavilla: <http://terrasource.com/equipment/wood-bark-hogs-by-jeffrey-rader-brand>

Kytö, M., Äijälä, M. & Panula, E. 1983 Metsäenergian käyttö ja jalostus. Kirjallisuustutkimus. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 237.

Leinonen, J. 2010. Mankeliin menevän hakevirran optimointi. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu.

Lindberg, J. & Tana, J. 2012. Best Available Techniques (BAT) in solid biomass fuel processing, handling, storage and production of pellets from biomass, Nordic Council of Ministers.

Linna, V. & Järvinen, T. 1983 Hakkeen keinokuivatuksen tekniset ratkaisut ja taloudellisuus. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Tutkimusraportti nro 25 A.

McGowan, T. 2009 Biomass and alternate fuel systems: an engineering and economic guide. New Jersey. John Wiley & Sons.

Nurmi, J. 1993. Pienkokoisten puiden maanpäällisen biomassan lämpöarvo. Helsinki. Acta Forestalia Fennica 236.

Nurmi, J. 1997. Heating values of mature trees. Tampere. Acta Forestalia Fennica 256.

Nurmi, J. 2000. Characteristics and storage of whole-tree biomass for energy. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 758.

Process Barron. Belt Conveyor Systems. [WWW] Viitattu:15.5.2015 Saatavilla: <http://processbarron.com/bulk-materials-handling/custom-conveyors/belt-conveyors>

Puupolttoaineiden laatuohje. 2013. VTT-M-07608-13. [pdf-tiedosto] Saatavilla: <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/918.pdf>

Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä, IFRF, Suomen kansallinen komitea.

Rautalin, A., Thun, R., Brandt, J., Okkonen J. & Pyykkönen R. 1986. Turvetuotteiden ja hakkeen juoksevuus siilossa. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 616

Roos, C. J. 2008 Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power. Olympia, Northwest CHP Application Center.

Savon Voima Oyj:n bioenergiaohjelma. 2001. [pdf-tiedosto] Saatavilla: <http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/SVLampoBioenergiaohjelma.pdf>

Secon Alternative Fuel Installations. Magnet drum between drag chain conveyors in transfer tower. [WWW] viitattu: 15.5.2015. Saatavilla: <http://www.alternativefuelinstallations.com/index.php/modular-alternative-fuel-equipment/purifying-equipment-windshifter-air-knife/magnet-drum-between-drag-chain-conveyors-in-transfer-tower>

Tahvanainen, L. 1995. Pajun viljelyn perusteet. Silva Carelica 30. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta 86.

Urbar. Vibrating Applications. Densimetric tables. [WWW] Viitattu 15.5.2015 Saatavilla: [http://www.urbar.com/en/aplicaciones/e\\_mesas\\_densimetricas.htm](http://www.urbar.com/en/aplicaciones/e_mesas_densimetricas.htm)

Van Loo, S. & Koppejan J. 2008. The Handbook of Biomass Combustion Co-firing. London. Earthscan

Vakkilainen, E., Maunula J. #6b Polttoaineen käsittely. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Luentomateriaalit: BH50A0800 Höyrykattilatekniikka.

Vakkilainen, E. 2009. Biopolttoaineet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kurssimateriaalit: BH50A0800 Höyrykattilatekniikka.

Wilén, C., Moilanen, A. & Kurkela, E. 1996. Biomass feedstock analyses. Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 282.

Worley, M. 2011. Biomass Drying Technology Update [pdf-tiedosto]. Harris Goup Inc. BioPro Expo & Marketplace, Atlanta, GA.



**Liite 1** Puuraaka-aineen luokitus standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan (Puupolttoaineiden laatuohje)

1.1 Metsän ja istutusmetsän puu-biomassa ja muu luonnonpuu	1.1.1 Kokopuu ilman juuria	1.1.1.1 Lehtipuu
		1.1.1.2 Havupuu
		1.1.1.3 Lyhytkiertoviljelypuu
		1.1.1.4 Pensaat
		1.1.1.5 Sekoitukset ja seokset
	1.1.2 Kokopuu juurineen	1.1.2.1 Lehtipuu
		1.1.2.2 Havupuu
		1.1.2.3 Lyhytkiertoviljelypuu
		1.1.2.4 Pensaat
		1.1.2.5 Sekoitukset ja seokset
	1.1.3 Runkopuu/ranka	1.1.3.1 Lehtipuu, kuorellinen
		1.1.3.2 Havupuu, kuorellinen
		1.1.3.3 Lehtipuu, kuoreton
		1.1.3.4 Havupuu, kuoreton
		1.1.3.5 Sekoitukset ja seokset
	1.1.4 Hakkuutähde	1.1.4.1 Tuore/vihreä, lehtipuu (sisältää lehtiä)
		1.1.4.2 Tuore/vihreä, havupuu (sisältää neulasia)
		1.1.4.3 Varastoitu, lehtipuu
		1.1.4.4 Varastoitu, havupuu
		1.1.4.5 Sekoitukset ja seokset
1.1.5 Kannot/juurakot	1.1.5.1 Lehtipuu	
	1.1.5.2 Havupuu	
	1.1.5.3 Lyhytkiertoviljelypuu	
	1.1.5.4 Pensaat	
	1.1.5.5 Sekoitukset ja seokset	
1.1.6 Kuori (metsästä)		
1.1.7 Sekalainen puu puutarhoista, puistoista, tienvarsilta, viinitarhoilta, hedelmätarhoilta ja oppopuu makeasta vedestä		
1.1.8 Sekoitukset ja seokset		
1.2 Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ja puutähteet	1.2.1 Kemiaalisesti käsittelemättömät puutähteet	1.2.1.1 Lehtipuu, kuorellinen
		1.2.1.2 Havupuu, kuorellinen
		1.2.1.3 Lehtipuu, kuoreton
		1.2.1.4 Havupuu, kuoreton
		1.2.1.5 Kuori (teollisuuden toiminnoista)
	1.2.2 Kemiaalisesti käsitellyt puutähteet, kuidut ja puuaines	1.2.2.1 Ilman kuorta
		1.2.2.2 Kuorellinen
		1.2.2.3 Kuori (teollisuuden toiminnoista)
		1.2.2.4 Kuidut ja puuaines
	1.2.3 Sekoitukset ja seokset	

## Liite 2 Kauppanimikkeiden luokittelu (Puupolttoaineiden laatuohje)

Polttoaineen nimi	Tyypillinen palakoko	Tyypillinen valmistusmenetelmä (SFS-EN 14961-1/EN ISO 17225-1, taulukko 2)
Kokopuu	Puun runko ja oksat	Katkaistu, karsimaton puu, joka sisältää myös latvan, mutta ei sisällä kantoa eikä juuria, ellei erikseen ole mainittu
Ranka/runkopuu	Puun runko	Karsittu ranka tai runkopuu
Hakkuutähde	Latvukset ja oksat	Latvus ja oksat, jotka on katkaistu runkopuusta sekä hakkuualueelle jäävä pienikokoinen puu
Kanto	Kanto	Kanto juurineen paloitetuna muutamaan osaan nostovaiheessa
Hake	16 ...100 mm	Paloittelu mekaanisesti teräväkulmaisilla, leikkaavilla terillä
Murske	Vaihteleva	Murskaus tylppäkulmaisilla terillä
Kuori	Vaihteleva	Puun kuorintatähde, joka voidaan haluttaessa repiä
Nippu, paali	Vaihteleva	Hakkuutähteen tai kokopuiden sidonta pitkänomaisiksi nipuksi (pituussuuntaan sidottu)
Jauhemainen, pölymäinen polttoaine	< 1 mm	Jauhatus
Sahanpuru	1 ... 5 mm	Sahauksessa syntyvä puru
Höylän lastut	1 ... 30 mm	Höyläys leikkaavilla terillä



**Liite 3** Puuhakkeen ja -murskeen luokittelu eri ominaisuuksien mukaan (Puupolttoaineiden laatuohje)

Velvoittavat ominaisuudet (pakollisia, määritettävä aina)	
<b>Raaka-aine</b> (SFS-EN 14961-1/EN ISO 17225-1)	Standardin taulukosta 1, pääluokka 1 (liite 1)
<b>Palakoko</b> (Mitat) - Analyysi SFS-EN 15149-1:n mukaisesti (Liite 3)/SFS-EN ISO 17827	Katso taulukko 4 tässä julkaisussa
<b>Kosteus</b> , M (p-% saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 14774-1 ja 14774-2 mukaisesti (ks. Liite 4)/SFS-EN ISO 18157	Luokat: M 10, M 15, M 20, M 25, M 30, M 35, M 40, M 45, M 50, M 55 JA M 55+ (enimmäisarvo ilmoitettava)
<b>Tuhka</b> , A (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi SFS-EN 14775:n/SFS-EN ISO 18122 mukaisesti	Luokat: A 0.5, A 0.7, A 1.0, A 1.5, A 2.0, A 3.0, A 5.0, A 7.0, A 10.0 ja A 10.0+ (enimmäisarvo ilmoitettava)
Velvoittavat ominaisuudet (pakollisia ainoastaan kemiallisesti käsitellylle biomassalle (raaka-aineluokille 1.2.2 Kemiallisesti käsitelty teollisuuden sivutuote- tai puutähde (Liite 1); 1.3.2 Kemiallisesti käsitelty käytöstä poistettu puu tai puutuote) tai opastavat ominaisuudet (kaikille muille biomassoille)	
<b>Typpi</b> , N (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15104/SFS-EN ISO 16948 mukaisesti	Luokat: N 0.3, N 0.5, N 1.0, N 2.0, N 3.0 ja N 3.0+ (enimmäisarvo ilmoitettava)
<b>Kloori</b> , Cl (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15289/SFS-EN ISO 16994:n mukaisesti	Luokat: Cl 0.02, Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 ja Cl 0.10+ (enimmäisarvo ilmoitettava)
Opastavat ominaisuudet (vapaaehtoisia, mutta suositellaan ilmoitettaviksi)	
<b>Tehollinen lämpöarvo</b> , Q (MJ/kg tai kWh/kg saapumistilassa) - Analyysi EN 14918/SFS-EN ISO 18125 (englanninkielinen) mukaisesti	vähimmäisarvo ilmoitettava (lämpöarvon oltava vähintään) (Liitteessä 5 on laskukaavat)
<b>Irtotiheys</b> , BD (kg/m <sup>3</sup> saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 15103 mukaisesti (Liite 6)/SFS-EN ISO 17828	Luokat: BD 150, BD 200, BD 250, BD 300, BD 350, BD 400, BD 450 ja BD 450+ (vähimmäisarvo ilmoitettava)
<b>Tuhkansulamiskäyttäytyminen</b> (°C) - Analyysi CEN/TS 15370-1 mukaisesti	Muodonmuutoslämpötila ilmoitettava

**Liite 4** Hakkeen ja murskeen palakokovaatimukset standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan (Puupolttoaineiden laatuohje)

Luokka	Pääfraktio (vähintään 60%) mm	Karkea fraktio (mm)	Maksimipituus ylisuurille kappaleille, mm	Poikkileikkauspinta-ala, cm <sup>2</sup> vain SFS-EN ISO 17225-4 standardille
P16S	$3,15 \leq P \leq 16$	$\leq 6\% > 31,5 \text{ mm}$	$\leq 45 \text{ mm}$	$\leq 2$
P16	$3,15 \leq P \leq 16$	$\leq 6\% > 31,5 \text{ mm}$	$\leq 150 \text{ mm}$	
P31S	$3,15 \leq P \leq 31,5$	$\leq 6\% > 45 \text{ mm}$	$\leq 150 \text{ mm}$	$\leq 4$
P31	$3,15 \leq P \leq 31,5$	$\leq 6\% > 45 \text{ mm}$	$\leq 200 \text{ mm}$	
P45S	$3,15 \leq P \leq 45$	$\leq 10\% > 63 \text{ mm}$	$\leq 200 \text{ mm}$	$\leq 6$
P45	$3,15 \leq P \leq 45$	$\leq 10\% > 63 \text{ mm}$	$\leq 350 \text{ mm}$	
P63	$3,15 \leq P \leq 63$	$\leq 10\% > 100 \text{ mm}$	$\leq 350 \text{ mm}$	
P100	$3,15 \leq P \leq 100$	$\leq 10\% > 150 \text{ mm}$	$\leq 350 \text{ mm}$	
P200	$3,15 \leq P \leq 200$	$\leq 10\% > 200 \text{ mm}$	$\leq 400 \text{ mm}$	
P300	$3,15 \leq P \leq 300$	ilmoitettava		
Hienoaineksen määrä (< 3,15 mm), SFS-EN ISO 17225-1 mukaan				SFS-EN ISO 17225-4 mukaan
F05	$\leq 5 \%$			-
F10	$\leq 10 \%$			P31S ja P45S- luokan vaatimus
F15	$\leq 15 \%$			P16S luokan vaatimus
F20	$\leq 20 \%$			-
F25	$\leq 25 \%$			-
F30	$\leq 30 \%$			-
F30+	> 30 (maksimiarvo on ilmoitettava)			-

S tarkoittaa pienemmille laitoksille soveltuvaa haketta, joka voidaan luokitella standardin SFS-EN ISO 17225-4 mukaan.

**Liite 5** Pienille laitoksille tarkoitettun puuhakkeen luokitus eri ominaisuuksien mukaan (Puupolttoaineiden laatuohje)

Velvoittavat ominaisuudet	Laatuluokka ja sen arvot
<b>Raaka-aine</b> (SFS-EN 14961-1/SFS-EN ISO 17225-1) 1.1.1 Kokopuu (ei sisällä juuria)(ei sisällä luokkaa 1.1.1.3 lyhytkiertoviljelypuu, esim. paju) 1.1.3 Runkopuu/ranka 1.1.4.3 Hakkuutähteet, lehtipuu, varastoitu	A1, A2
1.2.1 Kemiallisesti käsittelemätön teollisuuden puutähde	A1, A2, B1
1.1 Luonnon- ja istutusmetsän puubiomassa sekä muu luonnonpuu (paitsi luokat 1.1.5 kannot/juuret ja 1.1.6 kuori)	B1
1.2 Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ja tähteet (voi sisältää myös kemiallisesti käsiteltyä puuta esim. liimattua, laminoitua, maalattua puuta) <sup>1</sup> , 1.3 Käytöstä poistettu puu tai puutuote <sup>1</sup>	B2
<b>Palakoko</b> (Mitat) - Analyysi SFS-EN 15149-1 mukaisesti - valitaan SFS-EN 14961-4/SFS-EN ISO 17225-4 standardin taulukosta 2 tai tämän ohjeen taulukosta 4	A1, A2, P 16S, P 31S, P 45S B1, B2: P 16S, P 31S, P 45S
<b>Kosteus</b> , M (p-% saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 14774-2/ SFS-EN ISO 18134 mukaisesti	A1: M 10 tai M 25 A2: M 35 B1, B2: määriteltävä
<b>Tuhka</b> , A (p-% saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 14775/ SFS-EN ISO 18122 mukaisesti	A1: A 1.0 A2: A 1.5 B1, B2: A 3.0
<b>Tehollinen lämpöarvo</b> , Q (MJ/kg tai kWh/kg saapumistilassa) - Analyysi EN 14918/SFS-EN ISO 18125 (englanninkielinen) mukaisesti	A1: Q 13.0 tai Q 3.6 A2: Q 11.0 tai Q 3.1 B1, B2: arvo ilmoitettava
<b>Irtotiheys</b> , BD (kg/m <sup>3</sup> saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 15103/SFS-EN ISO 17828:n mukaisesti	A1, A2: BD 150, BD 200 B1, B2: arvo ilmoitettava
<b>Typpi</b> , N (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15104/SFS-EN ISO 16948 mukaisesti	A1, A2: ei tarvita B1, B2: N1.0
<b>Rikki</b> , S (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15289/SFS-EN ISO 16994 mukaisesti	A1, A2: ei tarvita B1, B2: S 0.1
<b>Kloori</b> , Cl (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15289/ SFS-EN ISO 16994 mukaisesti	A1, A2: ei tarvita B1, B2: Cl 0.05
<b>Raskasmetallit</b> (mg/kg kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15297/SFS-EN ISO 16967 mukaisesti Arseeni (As), kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), lyijy (Pb), elohopea (Hg), nikkeli (Ni), sinkki (Zn)	A1, A2: ei tarvita B1, B2: SFS-EN 14961-4:n taulukon 2 mukaan

<sup>1</sup> ei saa sisältää orgaanisia halogenoituja yhdisteitä tai raskasmetalleja enempää kuin luonnonpuu (Alakangas & Wiik 2008, taulukko 22 tai soveltamisohjeen taulukko 11). Purkupuu ei kuulu standardin piiriin.

<sup>2</sup> B1 luokkaan luokitellaan hake, joka on valmistettu lyhytkiertoviljelypuusta ja jota on lannoitettu lietteillä.

**Liite 6** Metsäteollisuuden sivutuotteiden ja tähteiden laatuluokitus eri ominaisuuksien suhteen (Puupolttoaineiden laatuohje)

Velvoittavat ominaisuudet	Sahanpuru, höylän lastut	Kuori
<b>Raaka-aine</b> (SFS-EN 14961-1/ SFS-EN ISO 17225-1)	1.2.1.3 tai 1.2.1.4 1.2.2.1	1.2.1.5
<b>Palakoko</b> (Mitat) - Analyysi SFS-EN 15149-1 (liite 3)/SFS-EN ISO 17827) mukaisesti	ei palakokovaatimusta	Nimellisesti suurin palakoko P 16, P 45, P 63, P 100 ja P 200
<b>Kosteus</b> , M (p-% saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 14774-2/SFS-EN ISO 18134 mukaisesti	<i>Sahanpuru:</i> M 10, M 15, M 20, M 25, M 30, M 35, M 45, M 50, M 55, M 60, M 65 ja M 65+1) <i>Höylän lastut:</i> M 10, M 15, M 20, M 30 ja M 30+ 1)	<i>Kuori</i> M 20, M 25, M 30, M 35, M 40, M 45, M 50, M 55, M 60, M 65 ja M 65+ 1)
<b>Tuhka</b> , A (p-% saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 14775/SFS-EN ISO 18122 mukaisesti	A 0.5, A 0.7, A 1.0, A 1.5, A 2.0, A 3.0, A 5.0, A 7.0, A 10.0 ja A 10.0+ 1)	A 1.0, A 1.5, A 2.0, A 3.0, A 5.0, A 7.0, A 10.0 ja A 10.0+ 1)
<b>Repiminen</b> - Standardin EN 14961-1 taulukko 10/SFS-EN ISO 17225-1 taulukko 9	ei tarvita	revitty tai repimätön kuori
<b>Tehollinen lämpöarvo</b> , Q (MJ/kg saapumistilassa) tai energiatiheys, E (MWh/irto-m <sup>3</sup> ) - Analyysi SFS- EN 14918/SFS-ISO EN 18125 (englanninkielinen) mukaisesti	Vähimmäisarvo ilmoitettava	
<b>Velvoittavat tai opastavat ominaisuudet (velvoittava vain laatuluokalle 1.2.2.1)</b>		
<b>Typpi</b> , N (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15104/SFS-EN ISO 16948 mukaisesti	N 0.3, N 0.5, N 1.0, N 2.0, N 3.0 ja N 3.0+ 2)	N 0.5, N 1.0, N 2.0, N 3.0 ja N 3.0+ 2)
<b>Kloori</b> , Cl (p-% kuiva-aineessa) - Analyysi EN 15289/SFS-EN ISO 16994 mukaisesti	Cl 0.02, Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 ja Cl 0.10+ 2)	
<b>Opastavat ominaisuudet</b>		
<b>Irtotiheys</b> , BD (kg/m <sup>3</sup> saapumistilassa) - Analyysi SFS-EN 15103/SFS-EN ISO 17828 mukaisesti	BD 100, BD 150, BD 200, BD 250 BD 300, BD 350 ja BD 350+ 1)	BD 250, BD 300, BD 350, BD 400 ja BD 450
<b>Tuhkan sulamiskäyttäytyminen</b> (°C) - Analyysi CEN/TS 15370-1:n mukaisesti	Muodonmuutoslämpötila, DT, vähimmäisarvo ilmoitettava	

<sup>1</sup> Laatuluokille, joissa on +-merkki perässä, on enimmäisarvo ilmoitettava.

<sup>2</sup> Typpi ja kloori ovat velvoittavia (pakollisia) vain kemiallisesti käsitellylle puulle (luokka 1.2.2) mm. maalattu tai lakattu puu sekä lastulevy- tai vaneritähde ja opastavia muille puupolttoaineille. Laatuluokittelustandardin osassa 1 on kemiallisesti käsitellylle puulle ilmoitettava myös typpi ja kloori. Lisäksi Alakangas, E. & Wiik, C. 2008 julkaisun taulukossa 22 ja vastaavan Energiäteollisuus ry:n soveltamisohjeen taulukossa 11 on lisävaatimuksia kemiallisten ominaisuuksien määrittämiseen.