

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

School of Energy Systems

Energiatekniikka

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

KIERRÄTYSPUUN KÄYTTÖ LEIJUKERROSKATTILOISSA

RECOVERED WOOD USE IN FLUIDIZED BED BOILERS

Työn ohjaaja: Jouni Ritvanen

Lappeenranta 12.12.2020

Heikki Sinisaari

TIIVISTELMÄ

School of Energy Systems

Energiatekniikka

Opiskelijan nimi: Heikki Sinisaari

Kierrätyspuun käyttö leijukerroskattiloissa

Kandidaatintyö 2020

Ohjaaja: Jouni Ritvanen

40 sivua, 11 kuvaa, 3 taulukkoa ja 1 liite.

Hakusanat: kandidaatintyö, kierrätyspuu, kiinteä biopolttoaine, leijupoltto, seospoltto

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan kierrätyspuuhun polttoaineena ja sen hyödyntämiseen energiana. Yhteiskunnasta syntyvä käytöstä poistettu puu tai puutuote voidaan jakaa luokkiin A, B, C ja D. Kierrätyspuulla tarkoitetaan luokkia A ja B, jotka luokitellaan kiinteiksi biopolttoaineiksi. Luokka C on kierrätyspolttoainetta ja luokka D on ongelmajätettä. Kierrätyspuu sisältää enemmän mekaanisia- ja kemiallisia epäpuhtauksia kuin tavallinen luonnonpuu, jotka vaikuttavat kierrätyspuun polttoaineellisiin ominaisuuksiin. Ongelmia aiheuttavat yleensä kierrätyspuun sisältämät raskasmetallipitoisuudet (lyijy ja sinkki), klooripitoisuus ja alkalimetallipitoisuudet (kalium ja natrium).

Tarkasteltavat kattilatyypit ovat leijukerroskattilat eli leijupeti- (BFB) ja kiertopetikattilat (CFB). Molempien kattilatyypien sekä seospolton toimintaperiaatteet esitetään. Tämän jälkeen kerrotaan kierrätyspuun polttoon liittyvistä erityispiirteistä ja haasteista. Polttoon liittyviä haasteita ovat lähinnä epäpuhtauksista johtuvat likaantuminen, korrosio ja agglomeroituminen. Ongelmia voidaan estää esimerkiksi polttamalla suojapolttoainetta tai käyttämällä lisäaineita kattilassa.

Työn tarkoituksena on tutustua siihen, mitä kierrätyspuun energiahyödyntämisessä on otettava huomioon. Työssä pyritään tutkimaan kierrätyspuun koko toimitusketjua, aina jätteenkäsittelylaitokselta polttoon asti.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	BIOMASSA.....	7
2.1	Metsät Suomessa	7
2.2	Puupolttoaineet	8
2.3	Puupolttoaineilla tuotettu energia Suomessa.....	9
3	KIERRÄTYSPUUN MÄÄRITELMÄ JA LUOKITTELU	11
3.1	Määritelmä ja luokittelu.....	12
3.1.1	Kiinteiden biopolttoaineiden standardi	12
3.1.2	Tilasto- ja Luonnonvarakeskus	13
3.1.3	VTT:n laatuluokitus	13
4	KIERRÄTYSPUUN OMINAISUUDET	16
4.1	Epäpuhtaudet	16
4.2	Kierrätyspuun käyttötekniset ominaisuudet	16
4.2.1	Kosteus.....	16
4.2.2	Tehollinen lämpöarvo	17
4.2.3	Tuhka	17
4.3	Kierrätyspuun ominaisuuksien raja-arvot ja käyttösuositus	19
5	KIERRÄTYSPUUN TOIMITUSKETJU.....	19
5.1	Käsittely.....	20
5.1.1	Jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksilla käsiteltävä puujäte.....	21
5.2	Kuljetus.....	22
5.3	Varastointi	22

6	KIERRÄTYSPUUN KÄYTTÖ LEIJUKERROSKATTILOISSA	23
6.1	Leijupoltto	23
6.1.1	Kerrosleijukattila (BFB)	24
6.1.2	Kiertoleijukattila (CFB)	27
6.2	Seospoltto	28
6.3	Kierrätyspuun käytön haasteet leijukerroskattiloissa	30
6.3.1	Palaminen ja käytettävyys.....	32
6.3.2	Tuhkaan liittyvät haasteet	33
6.3.2.1	Likaantuminen ja korrosio.....	33
6.3.2.2	Kasautumat eli agglomeraatit	34
7	YHTEENVETO.....	36
	LÄHTEET.....	38

LIITTEET

Liite 1. Luonnonpuun ominaisuuksien maksimiarvoja.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

E	energiankulutus	TWh, GWh
P	teho	MW
v	nopeus	m/s

Lyhenteet

BFB	kerrosleiju (Bubbling Fluidized Bed)
CFB	kiertoleiju (Circulating Fluidized Bed)
CHP	sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
EUR/MWh	euroa megawattitunnilta
HCl	suolahappo
KPA	kiinteä polttoaine
LCP	Suuri polttolaitos, yli 50 MW (Large Combustion Plant)
Luke	Luonnonvarakeskus
Mha	miljoona hehtaaria
m-%	massaprosentti
SRF	kierrätyspolttoaine (Solid Recovered Fuel)
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT

1 JOHDANTO

Ilmakehään vapautuvilla kasvihuonepäästöillä ja ilmaston lämpenemisellä on havaittu olevan yhteys toisiinsa, jonka takia ilmastonmuutoksen torjumisesta on tullut maailmanlaajuinen megatrendi viimeisten vuosikymmenten aikana. YK, EU ja valtiot eri puolilla maailmaa pyrkivät lainsäädännön ja velvoitteiden keinoin kestäviin ratkaisuihin ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseen.

Suomen eduskunta hyväksyi 29.3.2019 lain 416/2019, jonka mukaan kivihiili on korvattava vähäpäästöisemmällä polttoaineilla vuoteen 2029 mennessä. Suomen uusimman hallitusohjelman tavoitteena on hiilineutraali Suomi vuonna 2035. Kyseinen lainsäädäntö ja päästökaupan vaikutukset näkyvät energiasektorilla hiilidioksidipäästöjen pienentämisenä eli fossiilisten polttoaineiden, enimmäkseen kivihiilen ja raskaan polttoöljyn käytön vähentämisenä. Tämä tulee lisäämään uusiutuvien energiantuotantotapojen, kuten biomassan, tuulivoiman ja aurinkoenergian merkitystä tulevaisuudessa.

Suomen kokonaisenergiantuotanto oli 105 TWh vuonna 2019, joista puupolttoaineiden osuus oli 28 % (Luonnonvarakeskus, Tilastotietokanta). Puupolttoaineet ovat biomassasta peräisin olevaa biopolttoainetta. Biopolttoaineiden käytössä vapautuva hiili katsotaan olevan osa nykymaailman luonnollista kiertoa ja luokitellaan näin päästöttömäksi polttoaineeksi, joka on tärkein syy niiden yleistymiselle.

Kestävän kehityksen myötä myös kiertotalouden käsite on yleistynyt. Kiertotalouden keskeisenä tavoitteena on raaka-aineiden ja materiaalien pysyminen mahdollisimman pitkään käytössä, materiaalin arvon säilyminen ja materiaalien haittavaikutusten väheneminen (Pirhonen et al. 2011). Kiertotalous näkyy maailmalla biotaloudessa puun niin sanotun kaskadikäytön yleistymisenä. Kaskadikäyttö tarkoittaa, että biomassaa käytetään vähintään kerran ennen sen polttoa tai loppusijoitusta. Kaskadikäytön tavoitteena on rajallisten biomassaresurssien käytön tehostaminen. (Sokka et al. 2015).

Puun elinkaari tulee jossain vaiheessa siihen pisteeseen, ettei sitä voida enää käyttää missään muussa tarkoituksessa kuin energiantuotannossa. Kierrätyspuun ominaisuuksille on määrätty raja-arvot, joiden mukaan kierrätyspuu jaetaan luokkiin A, B, C ja D (Alakangas et al. 2008). Luokittelu on tehty sitä varten, ettei runsaasti epäpuhtauksia sisältävää kierrätettyä puuta päädy poltettavaksi sellaisiin voimalaitoksiin, joihin niiden käyttöä ei ole suunniteltu. Kierrätyspuuta käytetään pääosin seospolttoaineena leijukerroskattiloissa muiden kiinteiden biopolttoaineiden, turpeen ja kivihiilen kanssa, jolloin kierrätyspuun ominaisuuksien vaikutus käytettävyyteen pienenee.

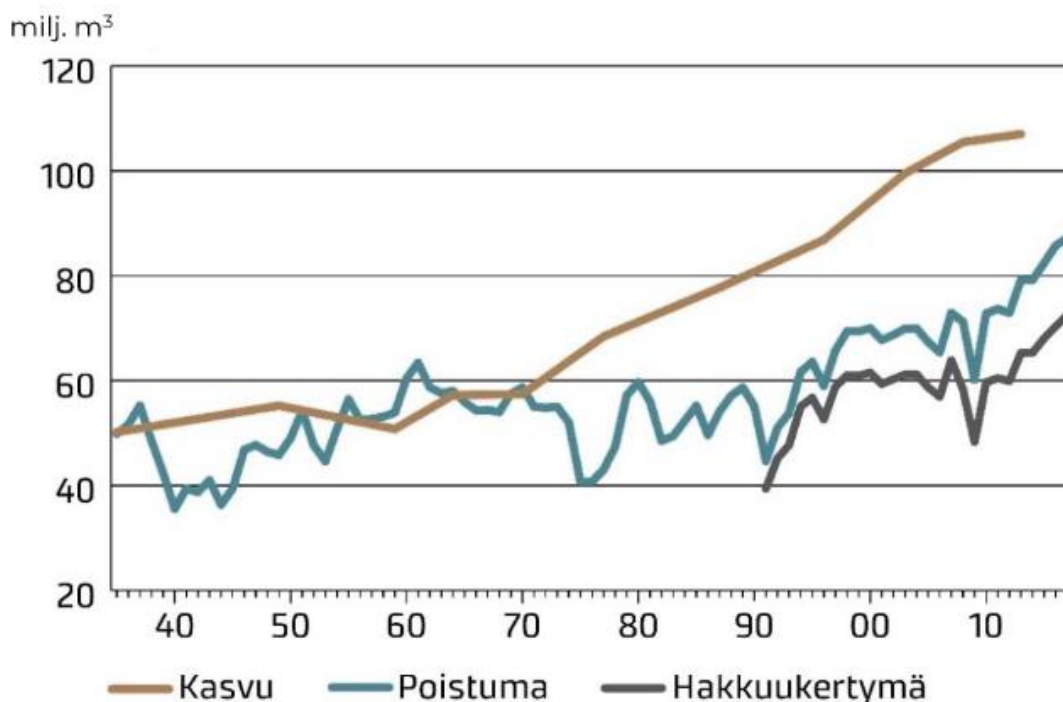
Tämän työn idea tuli Fortum Power and Heat Oy:lta ja työn tarkoitus on selvittää mitä asioita kierrätyspuun energiahyödyntämiseen liittyy. Työssä selvitetään, miten kierrätyspuu luokitellaan Suomessa, kierrätyspuun ominaisuuksien erityispiirteistä sekä kierrätyspuun poltolle ominaisia haasteita leijukerroskattiloissa.

2 BIOMASSA

2.1 Metsät Suomessa

Suomen metsävarat ovat kaikista Euroopan maista suurimmat suhteessa pinta-alaan. Suomen pinta-alasta yli kolme neljäsosaa, noin 26.2 miljoonaa hehtaaria on metsää. Suomen metsistä 4,5 Mha eli noin 17 % sijaitsee luonnonpuistoissa ja 3 Mha eli noin 13 % on suojeltua metsää. Jäljelle jäävä 18,7 Mha eli noin 70 %:a pyritään hyödyntämään niin, että metsien kasvun kehitys ei lopu (IRENA 2018).

Metsät ovat tärkeitä hiilinieluja, jotka samalla tuottavat vaurautta omistajilleen, metsäteollisuudelle ja energiasektorille. Suomessa metsissä olevan biomassan osuus on kasvanut hallitun metsätalouden ja -teollisuuden ansiosta viimeisen 50:en vuoden ajan. Metsien vuosittaisia hakkuita Suomessa säätelee Luonnonvarakeskus, joka pyrkii pitämään metsien tasaisen kasvun myös tulevaisuudessa. Kuvassa 1 esitetään Suomen metsien vuotuista kasvua vuosilta 1935-2017. Kuvasta voidaan nähdä, että puuston kasvu on ollut selvästi poistumaa suurempi 1970-luvulta lähtien (IRENA 2018).



Kuva 1. Suomen metsien vuotuinen kasvu, runkokuun hakkuukertymä ja kokonaispoistuma vuosina 1935-2017. Lähde: Ympäristöministeriö, Luonnonvarakeskus

Puu on yksi Suomen tärkeimmistä luonnonvaroista, jonka ansiosta metsäteollisuudesta on tullut yksi arvokkaimmista toimialoista Suomessa. Energiana hyödynnettävät puupolttoaineet pohjautuvat Suomessa metsäteollisuuden ja metsänhoidon sivuvirtoihin. Puunjalostuksen erilaiset tähteet, kuori, sahanpuru, teollisuuden puutähdhake ja sellun valmistuksen jäteliemet voidaan hyödyntää energiana. Myös metsänhoitotöiden ja hakkuiden yhteydessä kerättävät puiden latvukset, oksat, rangat ja kannot voidaan hakettaa ja käyttää energiana (Maa- ja Metsätalousministeriö, 2019).

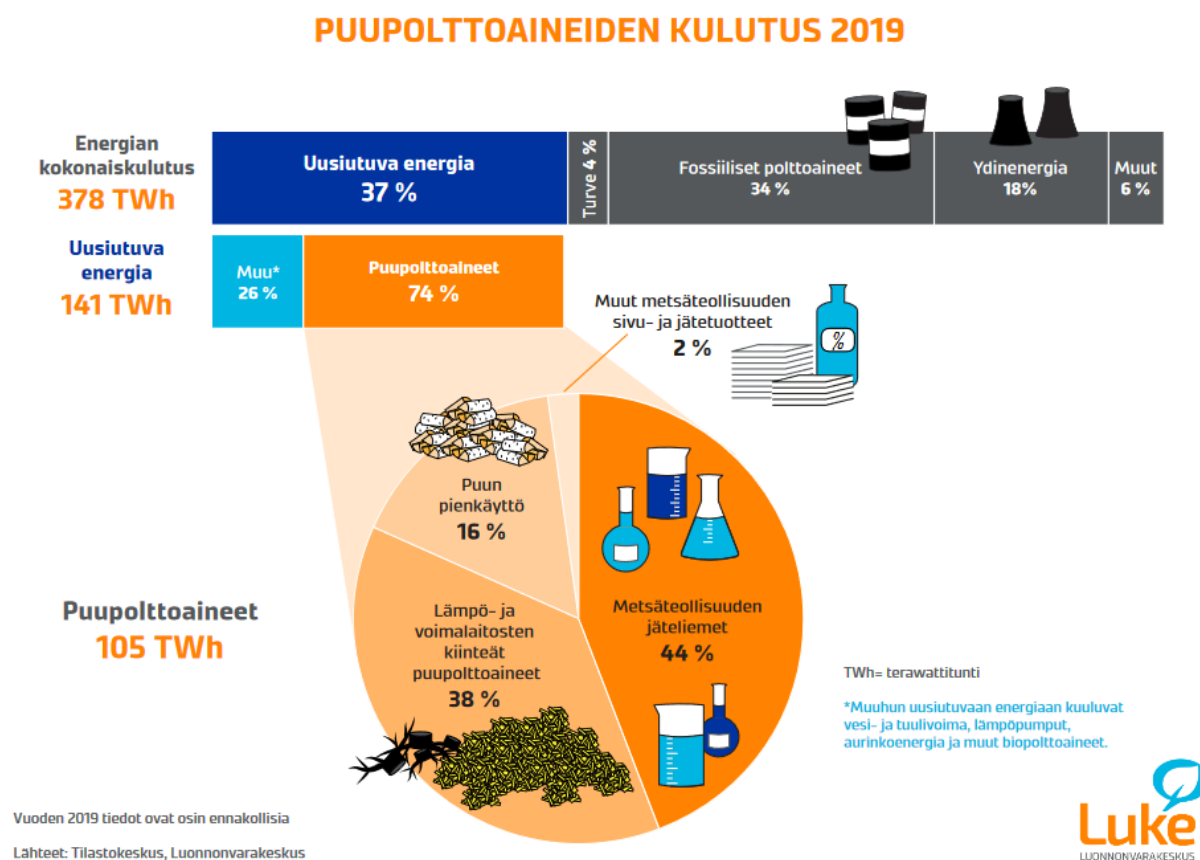
2.2 Puupolttoaineet

Puupolttoaineet luokitellaan uusiutuviksi polttoaineiksi ja niistä käytetään myös nimitystä kiinteä biopolttoaine. Puupolttoaineet voidaan jakaa kiinteiden biopolttoaineiden standardin SFS-EN ISO 17225-1 avulla alkuperän ja raaka-ainelähteiden mukaan neljään luokkaan. Standardissa kyseiset neljä luokkaa ovat: luonnon- ja istutusmetsän puu sekä muu luonnonpuu, puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ja tähteet, käytöstä poistettu puu tai puutuote ja sekoitukset ja seokset (SFS-EN ISO 17225-1: 2014).

Puupolttoaineet voidaan jakaa kiinteiden biopolttoaineiden standardin avulla myös kaupanimikkeiden ja ominaisuuksien mukaan. Yleisimpiä käytettyjä kaupanimikkeitä ovat: kokopuu, puuhake, puumurske, pelletit, brikitit ja polttopuu. Ominaisuuksien mukaan luokiteltaessa puupolttoaineiden ominaisuudet tulee mitata ja ainakin velvoittavien ominaisuuksien arvot tulee ilmoittaa. Velvoittavilla ominaisuuksilla tarkoitetaan puupolttoaineille pakollisia tietoja, jotka tulee ilmoittaa esimerkiksi polttoaineen myynnin yhteydessä (SFS-EN ISO 17225-1: 2014)

2.3 Puupolttoaineilla tuotettu energia Suomessa

Suomen energiantuotanto oli 378 Terawattituntia vuonna 2019. Uusiutuvalla energialla tuotettiin 37 % koko Suomen energiantuotannosta. Puupolttoaineilla tuotettiin uusiutuvista 74 %, joista kiinteiden puupolttoaineiden osuus oli 54 %. Puupolttoaineet kattoivat 28 % koko Suomen energiantuotannosta vuonna 2019 (Suomen virallinen tilasto SVT, 2019). Kuvassa 2 esitetään puupolttoaineiden kulutusta Suomessa vuonna 2019.



Kuva 2. Puupolttoaineiden kulutus vuonna 2019. Lähde: Luonnonvarakeskus, Tilastokeskus

Puupolttoaineita käytetään kaukolämmön tuotannossa, sekä yhdistetysti lämpöä ja sähköä tuottavissa CHP-voimalaitoksissa. Suurimmassa osassa kaukolämpö- ja CHP-voimaloista käytetään suoraa polttoa, jossa polttoaineen palamisen lämmöllä kehitetään höyryä, joka usein tulistetaan vesihöyrykierrossa (Maa- ja metsätalousministeriö, 2019).

Fossiiliset polttoaineet omaavat yleensä suuremmat teholliset lämpöarvot ja energiasisällöt kuin puupolttoaineilla. Puupolttoaineiden suurin etu on kuitenkin niiden päästöttömyys. Suomessa suurien metsävarojen ansiosta puupolttoaineiden saatavuus on loistavaa ja niiden käytöllä on suuri työllinen vaikutus.

Suomessa käytettiin kierrätyspuuksi luokiteltavaa puuta yhteensä 1 068 000 m³, josta saatiin energiaa 1,87 TWh vuonna 2019. Puupolttoaineilla tuotettu energia oli 39,52 TWh, joten kierrätyspuun määrä puupolttoaineilla tuotettavasta energiasta oli noin 4,7 % (Luonnonvarakeskus, Tilastokeskus).

Taulukossa 1 esitetään lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttöä vuosina 2010-luvulla. Taulukosta arvoista voidaan huomata, että kiinteiden puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa on kasvanut 2010-luvulla.

Taulukko 1. Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö Suomessa vuosina 2010-2019.

Lähde: Luonnonvarakeskus, Tilastotietokanta

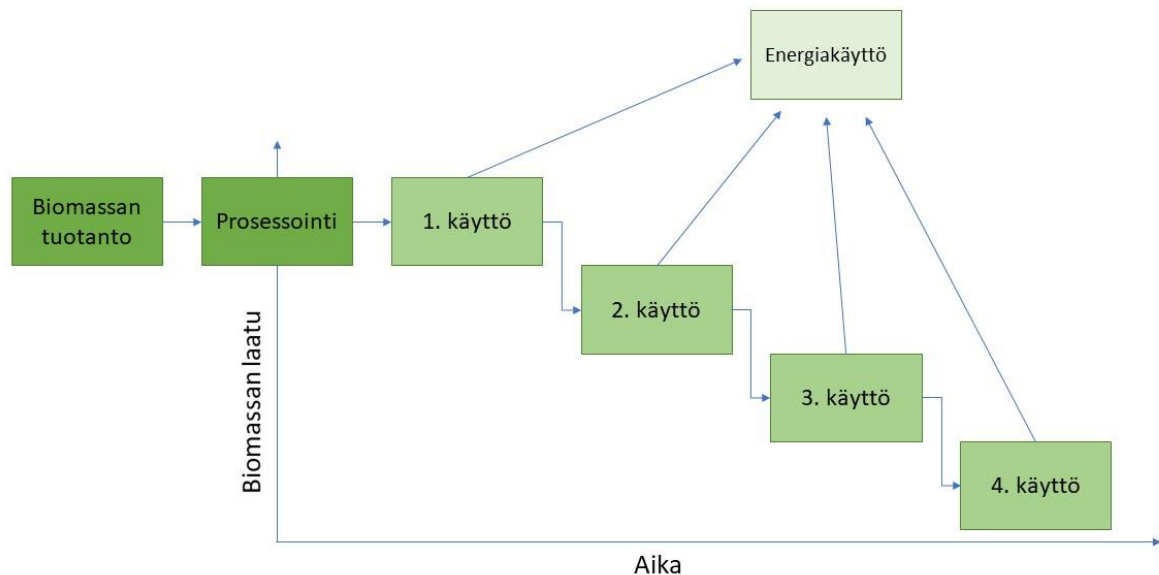
Vuosi	2010	2016	2017	2018	2019
Metsähake yhteensä	12 489	14 805	14 427	14 844	15 111
Metsäteollisuuden sivutuotepuu yhteensä*	17 035	19 977	21 251	20 842	21 184
Puupelletit ja- briketit	416	1 040	1 355	1 287	1 363
Kierrätyspuu	829	1 525	1 423	1 654	1 866
Puupolttoaineet yhteensä	30 770	37 387	38 457	38 626	39 524

(Yksikkö GWh)

(*Metsäteollisuuden sivutuotepuu sisältää kuoren, purun, puutähdehакkeen ja muut puulähteet)

3 KIERRÄTYSPUUN MÄÄRITELMÄ JA LUOKITTELU

Puutuotteen käytön jälkeen syntyvä puujäte lajitellaan ja kierrätetään, jolloin se päättyy jätteenkierrätys- tai käsittelylaitokselle, missä puun uudelleen hyödyntämismahdollisuus arvioidaan. Jos todetaan ettei kierrätetty puutuote sovellu uusiokäyttöön, se päättyy pääsääntöisesti energiantuotantoon. Kuvassa 3 esitetään niin sanottu kaskadikäytön periaate, jonka mukaan puutuotteen elinkaarta pyritään pidentämään resurssien ja kustannuksien minimoimiseksi.



Kuva 3. Puun kaskadikäytön periaate. Lähde: Perustuu: Suomen Ympäristökeskus (SYKE), 2017

Kierrätettyä puuta ei voida hyödyntää energiantuotannossa, ennen kuin sille on tehty tiettyjä toimenpiteitä. Kyseiset toimenpiteet ovat luokittelu alkuperän ja ominaisuuksien mukaan, käsittely (haketus tai murskaus), ominaisuuksien määrittäminen näytteenotolla (vähintään velvoittavat), kuljetus, varastointi ja laadunvarmistus. Edellä mainittuihin toimenpiteisiin voidaan hyödyntää VTT:n tuottamaa Puupolttoaineiden laatuohjetta (Alakangas et al. 2014).

3.1 Määritelmä ja luokittelu

Kierrätyspuu -termiä käytetään yleensä tilastoinnissa ja kaupankäynnissä. Kierrätyspuun määritelmä ja termit eivät aina ole globaalisti yhdenmukaisia, vaan ne saattavat vaihdella lähteen mukaan. Kierrätyspuusta voidaan käyttää seuraavia termejä: kierrätyspuu (recovered wood /recycled wood), käytöstä poistettu puu tai puutuote (used wood) ja jättepuu tai puujäte (waste wood). Termien kanssa tulee olla tarkka, koska vain osa käytöstä poistetusta puusta tai puutuotteesta ja puujätteestä on määritelmän mukaan kierrätyspuuta.

Kierrätyspuun luokitteluun Suomessa voidaan hyödyntää kiinteiden biopolttoaineiden standardia SFS-EN ISO 17225-1, VTT:n raporttia ”Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus” sekä Tilastokeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen määritelmää kierrätyspuusta. Kierrätyspuulla tarkoitetaan kiteytettynä puuta, jota on käytetty johonkin käyttötarkoitukseen vähintään kerran, joka hyödynnetään energiantuotannossa. Esimerkiksi käyttöön soveltumattomat kuormalavat ovat energiakäyttöön soveltuvaa kierrätyspuuta.

3.1.1 Kiinteiden biopolttoaineiden standardi

Kierrätyspuu kuuluu kiinteiden biopolttoaineiden standardin SFS-EN ISO 17725-1 luokkaan 1.3 ”Käytöstä poistettu puu tai puutuote” ja alaluokkaan 1.3.1 ”kemiallisesti käsittelemätön puu”. Seuraavat alaluokat eivät ole kierrätyspuuta: 1.3.2 ”kemiallisesti käsitelty puu” ja 1.3.3, ”seokset tai sekoitukset” luokista 1.3.1 ja 1.3.2 (SFS-EN ISO 17725-1).

Suomessa kierrätyspuun luokitteluun hyödynnetään VTT:n tutkimusraporttia ”Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus” (Alakangas et al. 2008). Kyseisen tutkimusraportin mukaan käytöstä poistettu puu tai puutuote voidaan jakaa luokkiin A, B, C ja D. Luokat A ja B luokitellaan kiinteiksi kierrätyspolttoaineiksi, jotka ovat kierrätyspuuta. Luokka C luokitellaan kierrätyspolttoaineeksi ja luokka D on pintakäsiteltyä puuta ja luokitellaan ongelmajätteeksi.

3.1.2 Tilasto- ja Luonnonvarakeskus

Kierrätyspuu määritellään tilastokeskuksen mukaan seuraavasti:

"Biopolttoaineeksi luokiteltava puhdas puutähde tai käytöstä poistettu puu tai puutuote, johon ei sisälly muovipinnoitteita tai halogenoituja orgaanisia yhdisteitä eikä raskasmetalleja. Esimerkiksi uudisrakentamisen puutähde, puupakkaukset ja kuormalavat ovat kierrätyspuuta. Termi vastaa SFS-EN ISO 17225-1 standardin termiä käytöstä poistettu puu tai puutuote (used wood)."

Luonnonvarakeskus kartoittaa vuosittain lämpö- ja voimalaitoksissa käytettävien puupolttoaineiden määriä. Kierrätyspuuksi tilastoidaan vain kiinteäksi biopolttoaineeksi luokiteltava eli luvussa 3.1.3 esiteltävät käytöstä poistetun puun luokat A ja B. Kierrätyspuun luokkien A ja B määriä ei tilastoida erikseen. Lämpö- ja voimalaitosten tulee ilmoittaa puhtaan käytetyn kierrätyspuun määrä vuosittain, joka tarkoittaa VTT:n luokituksen A- ja B -luokkien kierrätyspuuta yhteensä (Ylitalo 2020).

3.1.3 VTT:n laatuluokitus

Käytöstä poistetun puun luokitteluun käytetään Suomessa VTT:n laatimaa tutkimusraporttia: ”Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus” (Alakangas & Wiik, 2008), joka on päivitetty Alakankaan et al. toimesta nimellä: ”Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön” vuonna 2014. Käytöstä poistettu puu jaetaan raportissa luokkiin A, B, C ja D.

Luokkaan A kuuluva puu määritellään kiinteäksi biopolttoaineeksi standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan ja kuuluu alaluokkaan 1.3.1 ”kemiallisesti käsittelemätön puu”. A luokan puu ei saa sisältää kemiallisia epäpuhtauksia eikä luokkien B, C tai D puuta. Mekaanisia epäpuhtauksia, kuten nauvoja tai metallisia ja muovisia kiinnikkeitä saa olla korkeintaan 2 m-% kuiva-aineesta (Alakangas et al. 2014).

Luokan B puu luokitellaan A luokan tavoin kiinteäksi biopolttoaineeksi standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan ja se kuuluu alaluokkaan 1.3.2 ”kemiallisesti käsitelty puu”. B luokan puu saa sisältää mekaanisia epäpuhtauksia korkeintaan 2 m-% kuiva-aineesta. Kloori-, typpi-,

rikki- ja raskasmetallipitoisuuksien vuosikeskiarvot eivät saa ylittää luonnonpuun raja-arvoja. Yksittäisen erän osalta luonnonpuun raja-arvot eivät saa ylittyä merkittävästi. Merkittäväksi ylitykseksi katsotaan, jos kierrätyspuulle tehtävän kokoomanäytteen analyysin tulos ylittää raja-arvon 20 %:lla. Jos B luokassa epäillään olevan epäpuhtauksia, se tulee luokitella uudelleen luokkaan C tai analysoitava raaka-aineen kloori-, typpi- rikki- ja raskasmetallipitoisuudet epäpuhtauksien poissulkemiseksi, jolloin se voidaan pitää luokassa B. A ja B luokkien käytöstä poistetulle puulle on oltava todistus materiaalin alkuperästä, joka tarkoittaa laatu järjestelmää tai vastaavaa, jossa puujätteen lajittelu on kuvattu (Alakangas et al. 2014). Kuvassa 4 esitetään alustavasti kierrätyspuun luokkaan B luokiteltavaa kuormalava jätettä.



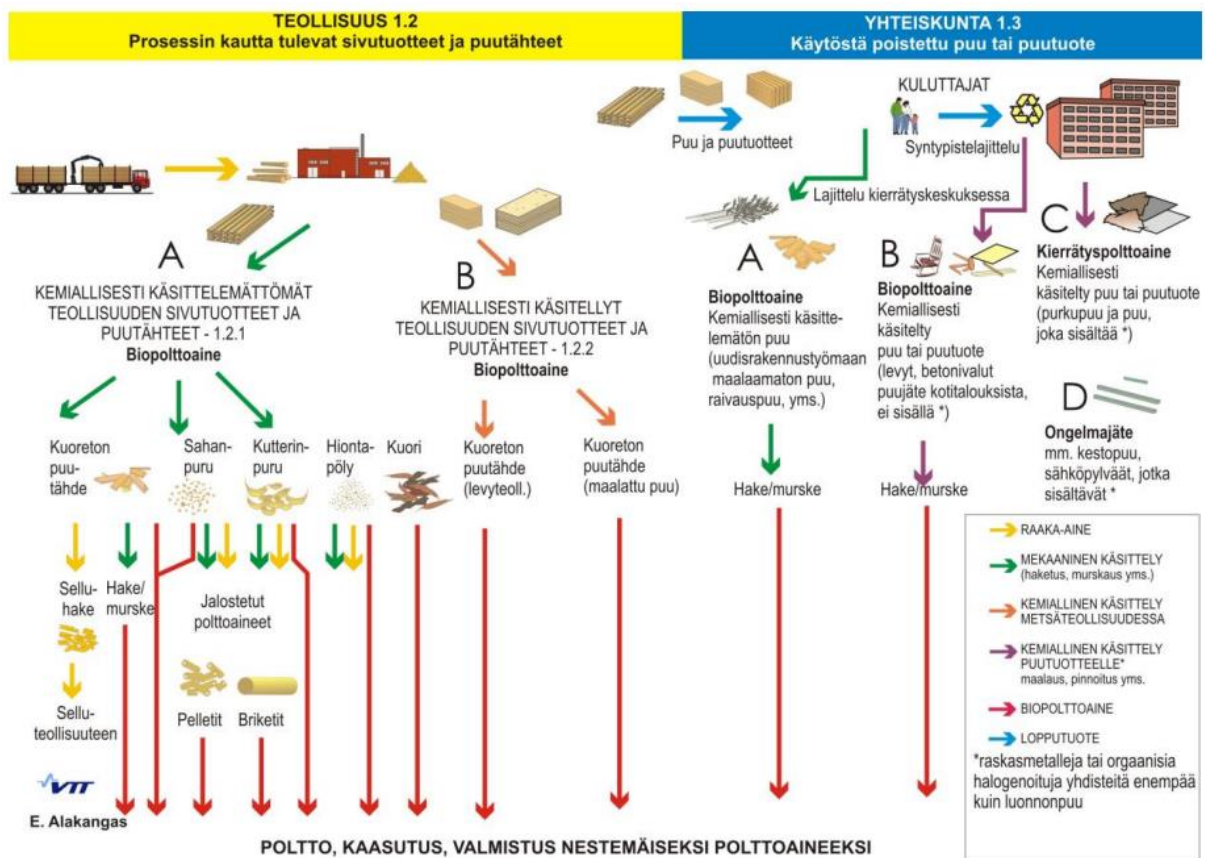
Kuva 4. Alustavasti B-luokkaan luokiteltavia kuormalavoja ja puujätettä. Lähde: Ekopartnerit, 2020

Luokan C puu luokitellaan standardin SFS-EN 15359 mukaan kiinteäksi kierrätyspolttoaineeksi (SRF) ja sen polttaminen tapahtuu Suomessa jätteenpolttoasetuksen 151/2013 mukaan. C luokkaan luokiteltavan puun pinnoitteessa tai puunsuoja-aineessa on orgaanisia halogeeniyhdisteitä, mutta ei puunkyllästysaineita. Jos voidaan todistaa analyysien, että C-luokkaan määritellyn puun epäpuhtauksien taso ei ylitä annettuja raja-arvoja kloorille,

tyypelle, rikille tai raskasmetalleille, se voidaan luokitella B luokan puuna (Alakangas et al. 2014). C-luokan puuta saattaa nähdä kutsuttavan kierrätyspuuksi, vaikka se luokitellaan virallisesti kierrätyspolttoaineeksi. Luokan C käytöstä poistettua puuta ei luokitella kierrätyspuuksi, joten siitä ei voi myöskään myydä kierrätyspuuna. Näin myös taloudellinen ero luokkien B ja C välillä on suuri.

Luokan D puu luokitellaan ongelmajätteeksi, koska se sisältää puunkyllästysaineita. Esimerkkeinä D-luokan puujätteestä ovat purkupuu, joka sisältää kestopuuta sekä sähkö- ja puhelinpylväät (Alakangas et al. 2014). D luokan käytöstä poistettu puu ei ole virallisesti kierrätyspuuta.

Kuvassa 5 esitetään teollisuuden sivutuotteiden ja puutähteiden sekä käytöstä poistetun puun tai puutuotteiden luokittelu Suomessa. Kierrätyspuuta on virallisesti kuvassa Yhteiskunta 1.3-ryhmän käytöstä poistetun puun tai puutuotteen luokat A ja B.



Kuva 5. Suomen luokittelu puunjalostusteollisuuden sivutuotteille ja tähteille (SFS-EN ISO 17225-1, luokka 1.2) sekä käytöstä poistetulle puulle tai puutuotteelle (luokka 1.3). Lähde: Alakangas et al. 2014

4 KIERRÄTYSPUUN OMINAISUUDET

4.1 Epäpuhtaudet

Kierrätyspuu voi sisältää mekaanisia ja kemiallisia epäpuhtauksia enemmän kuin luonnonpuu. Mekaanisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi maa-aines, kivet, muovi, metallit, betoni ja lasi. Mekaaniset epäpuhtaudet voidaan yleensä erotella raaka-aineesta lajittelulla tai polttoaineen tuotantoprosessin eli haketuksen tai murskauksen aikana. Metallit voidaan esimerkiksi poistaa magneettikeräimellä ja kivet seulomalla. Kemiallisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi maalit, pinnoitteet, puunsuoja-aineet ja liimat. Ne ovat lähes aina osa puumateriaalia, jolloin niiden erottaminen ja poistaminen voi olla hyvin vaikeaa (Alakangas et al. 2014).

Kierrätyspuun epäpuhtaudet vaikuttavat sen luokitteluun sekä ominaisuuksiin. Epäpuhtaudet vaikuttavat myös tuhkan koostumukseen, joka on otettava huomioon kattilateknisessä suunnittelussa. Kierrätyspuun tuhkaan liittyvistä haasteista kerrotaan kappaleessa 6.3.2 Tuhkaan liittyvät haasteet.

4.2 Kierrätyspuun käyttötekniset ominaisuudet

Käyttöteknisiksi ominaisuuksiksi voidaan lukea ne ominaisuudet, joita tarvitaan arvioitaessa polttoaineen teknistä käytettävyyttä. Näitä ominaisuuksia ovat kosteus, tuhkapitoisuus, tehollinen lämpöarvo, haihtuvien aineiden- ja kiinteän hiilen pitoisuudet, rikki- ja klooripitoisuus, tuhkan sulamiskäyttäytyminen, tuhkan koostumus sekä tuhkan likaantumis- ja kuonaantumisen ominaisuudet sekä korroosio-ominaisuudet. Erityisesti tuhkaan liittyvät ominaisuudet korostuvat kiinteille biopolttoaineille ja kierrätyspolttoaineille (Raiko et al. 2002).

4.2.1 Kosteus

Puupolttoaineen kosteus vaikuttaa teholliseen lämpöarvoon eli siihen kuinka suuri lämpömäärä syntyy poltettaessa yksi massayksikkö polttoainetta. Mitä kosteampaa puupolttoaine on, sitä

pienempi sen lämpöarvo on. Tämän takia puupolttoaineen tulee olla mahdollisimman hyvin kuivattua, jotta saadaan maksimaalinen energiamäärä poltossa. Seospoltossa kuiva polttoaine parantaa kosteamman polttoaineen palamista kattilassa. Kierrätyspuun kosteuspitoisuus on yleensä alle 20 m-%. Talvella kosteuspitoisuus saattaa nousta lumen takia, jonka takia polttoaineen varaston tulisi sijaita kuivassa tilassa (Alakangas et al. 2008)

VTT:n julkaisussa ”Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia” kerrotaan 23:n kierrätyspuusta otetun näytteen kosteuden vaihtelevan välillä 4 – 35 m-% ja näytteiden kosteuden keskiarvon olevan 21 m-%. Samassa julkaisussa olevan 10:n kierrätyspuu näytteen haihtuvien osuus vaihtelee välillä 80 – 84 m-% ja haihtuvien keskiarvo on 81 m-% (Alakangas et al. 2016).

4.2.2 Tehollinen lämpöarvo

Tehollinen lämpöarvo ilmaisee, kuinka paljon polttoaine luovuttaa tehoa massaa kohti. Toimituskostean tai saapumistilassa olevalle polttoaineelle käytetään tehollista lämpöarvoa saapumistilassa mittaamaan kierrätyspuun lämpöarvoa sen saapuessa voimalaitokselle. Tehollinen lämpöarvo voidaan laskea saapuneesta polttoaine-erästä otetun näytteen avulla määrittämällä siitä kosteus (Alakangas et al. 2014).

Kierrätyspuun tehollinen Lämpöarvo vaihtelee ”Käytöstä poistetun puun luokitus ja hyvien käytäntöjen kuvaus” (Alakangas et al. 2008) mukaan välillä 18,6 – 20,7 MJ/kg (Alakangas et al. 2016). Kierrätyspuun tehollinen lämpöarvo ja pitoisuudet verrattuna luonnonpuuhun esitetään taulukossa 2.

4.2.3 Tuhka

Tuhkapitoisuus on erityisesti kiinteille biopolttoaineille ja kierrätyspolttoaineille tärkeä ominaisuus. Puujätteen tuhkapitoisuuden ylittäessä 3 m-% kuiva-aineesta, on polttoaineen joukossa mekaanisia epäpuhtauksia kuten hiekkaa tai maa-ainesta. Puujätteen maa-aines voi lisääntyä, jos sitä säilytetään asfaltoimattomalla kentällä tai, jos puujäte sisältää esimerkiksi

kantoja tai hakkuutähdettä. Tuhka voi aiheuttaa poltettaessa ongelmia kattilassa reagoiessaan kloorin kanssa (Alakangas et al. 2008)

Tuhkan pitoisuudet vaihtelevat ”Käytöstä poistetun puun luokitus ja hyvien käytäntöjen kuvaus” (Alakangas et al. 2008) mukaan välillä 0,3 - 10,6 m-%. VTT:n julkaisussa ”Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia” kerrotaan 20:n kierrätyspuusta otetun näytteen tuhkapitoisuuden vaihtelevan välillä 0,7 – 4,8 m-% ja keskiarvon olevan 2,0 m-% (Alakangas et al. 2016). Kierrätyspuun tuhkapitoisuus verrattuna luonnonpuuhun esitetään taulukossa 2. Kierrätyspuun tuhkapitoisuuden polttoteknisistä vaikutuksista kerrotaan lisää kappaleessa 6.3.2.

Taulukko 2. Kierrätyspuun ja luonnonpuun ominaisuuksien vertailu. Lähde: Alakangas et al. 2008

Ominaisuus	Kierrätyspuu	Luonnonpuu
Tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]	18,6-20,7	17,1–20,6
Pitoisuus [m-%]		
Tuhka	0,3–10,6	0,2–10,0
Kosteus	4-35	vaihtelee
Hiili, C	48,1–50,4	47–55
Vety, H	5,8–6,5	5,3–7,0
Typpi, N	0,23–2,86	<0,1–1,2
Rikki, S	< 0,02–0,08	< 0,01–0,20
Kloori, Cl	0,02–0,16	< 0,01–0,01
Fluori, F	< 0,01	< 0,0005–0,002
Pitoisuus [mg/kg]		
Alumiini, Al	100–600	10–3 000
Natrium, Na	200–5 100	10–2 000
Arseeni, As	< 0,1–54	< 0,1–4,0
Kadmium, Cd	0,12–0,94	< 0,05–5,0
Kalium, K	240–900 (Na + K 1100-2200)	200–5 000
Kromi, Cr	0,2–81,0	0,2–40,0
Kupari, Cu	5,5–47,0	0,5–400,0
Elohopea, Hg	< 0,03–0,14	< 0,02–2,0
Lyijy, Pb	1,7–150,0	< 0,5–50,0
Sinkki, Zn	27–230	5–200

4.3 Kierrätyspuun ominaisuuksien raja-arvot ja käyttösuositus

Käytöstä poistetun puun tai puutuotteen luokkien A ja B, kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet eivät saa merkittävästi ylittää luonnon puun arvoja. Merkittävä ylitys tarkoittaa, jos kokoomanäytteen tulos ylittää raja-arvon 20 %:lla (Alakangas et al. 2008). Kierrätyspuun epäpuhtaudet esiteltiin kappaleessa Epäpuhtaudet. Liitteessä 1 esitetään luonnonpuun raja-arvoja sekä velvoittavat ja opastavat ominaisuudet A-, B- ja C-luokan käytöstä poistetulle puulle.

A-luokan kierrätyspuuta voidaan käyttää kaikkien kokoluokkien kattilalaitoksissa. B-luokan kierrätyspuuta voidaan käyttää kattilalaitoksissa, joissa polttotekniikan taso ja varustetaso ovat hyvät. Hyvänä polttotekniikan ja varustetasona pidetään riittävää viipymääikää ja lämpötilatasoa, palamisilman hallintaa ja savukaasujen puhdistusta. Palamisen hyvyttä tulee myös pystyä tarkkailemaan. Luokan B kierrätyspuuta suositellaan käytettävän seospolttoaineena ensisijaisesti kattilalaitoksissa, joiden teho on vähintään 20 MW_{th}. Lain (750/2013) mukaan vaaditaan hyvää polttotekniikan tasoa myös pienemmissä, yli 5 MW_{th} uusissa laitoksissa. Yli 50 MW_{th}:n laitoksille sovelletaan Valtioneuvoston asetusta suurten polttolaitosten (LCP) päästöjen rajoittamisesta (93/2013) (Alakangas et al. 2014)

5 KIERRÄTYSPUUN TOIMITUSKETJU

Biomassan toimitusketju yleisesti on moniosainen kokonaisuus, jonka pääosia ovat: hakkuu, kuljetus, prosessointi ja varastointi. Kierrätyspuun toimitusketju poikkeaa tyypillisestä biomassan toimitusketjusta siltä osin, että kierrätyspuun hakkuu on tapahtunut jo aikaisemmin ja se saapuu käytöstä suoraan jätteenkierrätys- tai käsittelylaitokselle, missä sen ominaisuudet määritetään. Tämän jälkeen puu menee prosessoitavaksi eli käsittelyyn ja käsittelystä edelleen varastointiin tai voimalaitokselle. Kierrätyspuun toimitusketjun kustannukset muodostuvat edellä mainituista pääosista, joten toimitusketjun jokainen osa tulee suunnitella mahdollisimman kustannustehokkaaksi kokonaisuudeksi.

5.1 Käsittely

Kierrätyspuusta valmistettavat polttoainemikkeet ovat yleensä hake tai murske. Haketta voidaan tehdä paloittelemalla puuta terävillä työkaluilla ja sen tyypillinen palakoko on 5-100 mm. Mursketta valmistetaan joko siirrettävällä murskaimella tai voimalaitoksen murskaimella murskaamalla puuta tylpillä työkaluilla ja sen palakoko on vaihteleva (Alakangas et al. 2016). Hakkeen ja murskeen eroavaisuus havainnollistetaan kuvassa 6.



Kuva 6. Hake ja murske. Lähde: Alakangas et al. 2016

Kattilan suunnittelu asettaa raja-arvot käytettävien polttoaineiden ominaisuuksille. Kattilan mukaan määritetään, voidaanko käyttää hakkeeksi vai murskeeksi prosessoitua kierrätyspuuta ja minkälaisella palakoolla. Leijukerroskattilat ovat joustavia polttoaineen palakoon suhteen, joten niissä voidaan pääsääntöisesti käyttää sekä haketta, että mursketta.

Luokan A kierrätyspuu on kalliimpaa kuin luokan B kierrätyspuu, ja sitä on yleisesti vähemmän alueellisesti saatavilla tiukkojen puhtausvaatimusten takia. Tämän takia kierrätyspuuta myydään usein A- ja B-luokkien sekoituksena. Kierrätyspuun hinnoitellaan EUR/MWh perille toimitettuna ja purettuna. Jos toimitettavassa kierrätyspuuerässä polttoaineen laatuominaisuudet poikkeavat negatiivisesti sovitusta voidaan toimittajalta periä hintasanktioita sopimuksen mukaan. (Nylen 2020).

5.1.1 Jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksilla käsiteltävä puujäte

Jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksille tuleva puujäte lajitellaan yleensä neljään ryhmään. Ensimmäinen on puhdasta, pintakäsittelemätöntä luonnonpuuta olevat puut ja kannot esimerkiksi rakennustyömaan tonteilta, tietyömailta ja puutarhoista. Tällainen puu kuuluu luokkaan A. Toinen ryhmä on puhdas puu rakennuksilta, esimerkiksi maalaamaton puu ja kuormalavat. Kolmas ryhmä on maalattu, pinnoitettu tai muuten käsitelty puu rakennustyömailta tai muusta teollisuudesta. Neljäs ryhmä on purkupuuta. Lisäksi painekyllästetty puu lajitellaan erikseen. Purkupuulla tarkoitetaan rakenteiden tai rakennuksien purkamisesta syntyvää puuta, joka sisältää muovipinnoitteita tai muita epäpuhtauksia. Tämän takia purkupuuta luokitellaan luokkaan C, jos se ei sisällä kyllästysaineita. C-luokan kierrätyspolttoaineiden energiahyödyntämisessä sovelletaan jätteenpolttoasetusta (Alakangas et al. 2008).

Laitokselle saapuvista puujätekuormista rekisteröidään paino, puujätteen haltijan tiedot, kuljettajan tiedot ja kuorman sisältö sähköiseen järjestelmään. Jätekuormat tarkistetaan silmämääräisesti ja tarvittaessa valokuvataan. Henkilökuntaa koulutetaan kierrätyspuumurskeen tai -hakkeen tuottamiseen ja erityishuomiota on kiinnitettävä vaikeasti tunnistettaviin puujäte-eriin. Jos ei voida olla täysin varmoja joidenkin puujakeiden alkuperästä tai ominaisuuksista, ne on poistettava kierrätyspuusta (Alakangas et al. 2008).

Varastojen paloturvallisuudesta on huolehdittava. On varmistettava, että varastossa on sopivan kokoiset varastokasat ja riittävät aumat kasojen välissä. Henkilökunnan tulee olla hyvin perehdytetty työtehtävään ja ensisammutusta varten. Yhteistyö paloviranomaisten ja vakuutusyhtiön kanssa tulee olla sovittu (Alakangas et al. 2008).

Jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksilta peräisin oleva puujäte voidaan luokitella käytöstä poistetun puun luokittelun mukaisesti luokan B kierrätyspuuksi. Tässä tapauksessa puujätteen alkuperä tulee olla selvitetty ja puujäte ei saa sisältää purkupuuta tai kyllästettyä puuta. Osa purkupuusta voidaan erityismenettelyn perusteella luokitella luokan B kierrätyspuuksi. Tällöin purkutoiminta tulee olla ohjeistettu jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksen toimesta niin, että pystyy laatujärjestelmänsä avulla todentamaan, ettei puujäte sisällä halogenoituja orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja (Alakangas et al. 2008)

Polttoaineen laatua tulee seurata näytteenottosuunnitelman avulla. Näytteenottosuunnitelmassa määritetään näytteenottotiheys ja -määrät, analysoidavat ominaisuudet sekä ohjeistetaan

näytteenottotapa. Näytteenottosuunnitelma on osa jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksen laatu järjestelmää (Alakangas et al. 2008).

5.2 Kuljetus

Biomassan kuljetukseen on käytetty perinteisesti kolmea eri kulkumuotoa: reikkoja, junia ja laivoja. Näistä rekat ovat suosituin kuljetusmuoto, ja niiden pisin kustannustehokas kuljetusmatka on noin 100 km. Voimalaitoksen sijainnista riippuen kuljetusmatkat saattavat olla kierrätyspuun toimituksille pidempiä. Junia ja laivoja käytetään biomassan pidempiin kuljetuksiin. Biomassan kuljetus voimalaitoksille tapahtuu Suomessa lähes poikkeuksetta rekoilla. Kuljetusmuodoksi pyritään valitsemaan mahdollisimman kustannustehokas vaihtoehto. Kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat kuorman koko, polttoaineen tiheys, kuljetusmatka sekä kuljetuksien säännöllisyys.

Kierrätyspuun haketus tai murskaus tapahtuu jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksilla, joten kuljetettava polttoaine on aina hakkeen tai murskeen muodossa. Rekat punnitaan täytenä ja polttoaine-erä puretaan voimalaitoksen vastaanoton jälkeen sovittuun paikkaan. Purkamisen yhteydessä polttoaineesta otetaan aina näyte putoavasta virrasta, purettavan kuorman keskivaiheelta. Näytteestä mitataan myöhemmin kosteus. Kosteus mitataan päivittäin jokaisesta tuodusta polttoaine-erästä. Myös tyhjä rekka punnitaan. Täyden rekan, tyhjän rekan ja kosteuden avulla voidaan laskea polttoaineen kosteus sekä toimitettu energiasisältö. Toimitetun energiasisällön perusteella määräytyy polttoaineen hinta (Alakangas 2020).

5.3 Varastointi

Kierrätyspuun varastointia tapahtuu kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäinen on jätteenkierrätys- ja käsittelylaitoksille saapuneen puujätteen varastointi. Toinen on haketetun tai murskatun kierrätyspuun varastointi odottamaan kuljetusta loppukäyttöpaikalle. Kolmas on varastointi loppukäyttöpaikalla eli voimalaitoksella.

Energiantarve on otettava huomioon, koska kylminä talvipäivinä energiantarve voi olla jopa kaksinkertainen normaaliin. Esimerkiksi Fortum Power and Heat Oy:n Järvenpään CHP-

laitoksella on kaksi 3 000 m³ betonista siiloa jotka täytenä riittävät viikonlopun ylitse. Kattilan edellä on kaksi 240 m³ Kattilasiiloa joihin mahtuu noin 5 tunnin polttoainemäärä (Nylen 2020).

Varastoinnin tärkein tehtävä puupolttoaineilla on varmistaa, ettei kosteutta tai epäpuhtauksia pääse varastoitavaan erään ja että polttoaine pysyy tasalaatuisena. Myös varastojen koot tulee optimoida, varsinkin voimalaitoksilla. Suuremmat varastot tarjoavat mahdollisuuden ostaa suurempia eriä kerralla, joka voi johtaa pienempään hintaan. Tämä tuo myös joustavuutta kuljetusaikatauluihin sekä antaa varmuusvaraston polttoaineelle, mikäli kuljetuksiin tulee äkillisiä ongelmia. (Jirjis 1995)

6 KIERRÄTYSPUUN KÄYTTÖ LEIJUKERROSKATTILOISSA

6.1 Leijupoltto

Leijupolttotekniikan polttosovellukset tulivat markkinoille 1970-luvulla, jonka jälkeen niistä on tullut yksi tärkeimmistä keinoista polttaa ympäristöystävällisesti kiinteitä polttoaineita. Leijupolttotekniikka soveltuu erityisen hyvin huonolaatuisille polttoaineille, kuten esimerkiksi puulle, joiden poltto ei onnistu muilla polttotavoilla ilman monimutkaisia erikoisjärjestelyjä. Yksi suurimmista eduista leijupolttotekniikassa on, että voidaan käyttää useita eri polttoaineita samassa kattilassa hyvällä hyötysuhteella (Raiko et al. 2002). Seospoltto -termiä käytetään useamman eri polttoaineen polttamisesta samaan aikaan kattilassa ja sitä kerrotaan enemmän kappaleessa 6.2.

Leijupolttoa hyödynnetään vesi-höyrypiiriä käyttävissä voimalaitoksissa. Leijupoltossa vapautuva savukaasu lämmittää höyrystimessä olevan veden höyryksi, jonka jälkeen höyry tulistetaan, josta kehitetään turbiinin ja lauhduttimen avulla sähköä ja lämpöä (CHP).

Leijupolton etuina muihin polttolaitteisiin verrattuna voidaan pitää laajaa polttoainevalikoimaa, halpaa rikinpoistoa sekä vähäistä typen oksidien- (NO_x:n) ja palamattomien päästöjä. Lisäksi kattilaan syötettävän polttoaineen laadun nopealla ja suurellakin vaihtelulla ei ole niin suurta merkitystä kuin esimerkiksi pölypoltossa. Leijupoltossa leijukerroksen lämpötila vaihtelee lämpötilojen 750-950 °C välillä ja lämpötilan ylärajan on oltava polttoaineen tuhkan pehmenemislämpötilan alapuolella (Raiko et al. 2002).

Leijupoltto voidaan toteuttaa joko kuplivassa leijukerroksessa (kerrosleiju) tai kiertoleijukerroksessa (kiertoleiju). Kerrosleijukattilat soveltuvat käytettäväksi 5-100 MW voimalaitoksissa ja kiertoleijukattilat yli 100 MW:n voimalaitoksissa (Raiko et al. 2002).

Leijupolton toimintaperiaate perustuu siihen, että leijutusmateriaalista ja polttoaineesta muodostuva leijukerros saadaan käyttäytymään fluidin tavoin. Kattilan pohjassa olevista suuttimista syötetään primääri-ilmaa petiin, jonka vaikutuksesta leijutusmateriaali muodostaa leijukerroksen. Kun ilmavirtaus ylittää niin sanotun minimileijutusnopeuden, leijukerros alkaa kuplia, josta tulee nimitys kuplapeti. Mikäli ilmavirtaus on suurempi kuin leijutusmateriaalin lentoonlähtönopeus, hiukkaset lähtevät kulkemaan leijutusväliaineen mukana. Kyseistä ominaisuutta käytetään kiertoleijukattiloissa (Huhtinen et al. 1994)

Leijukerroskattiloiden pääkomponentteja ovat: polttoaineen syöttösiilo, kattila, primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimet, käynnistyspoltin, höyrystin, tulistin, sykloni (kiertoleijukattila), ekonomaiseri (veden esilämmitin), luvo (ilman esilämmitin), sähkösuodin, savukaasupuhallin, savupiippu ja polttoainesiilo. Leijukerroskattilat suunnitellaan yleensä tapauskohtaisesti käyttötärpeen mukaan, mutta pääkomponentit ovat pääosin samat jokaisessa voimalaitoksessa. Päälämmönsiirtimien sijoittelu vaihtelee jonkin verran. Kattilan suunnittelussa on otettava huomioon käytettävien polttoaineiden ominaisuudet ja polttoainekohtaiset vaatimukset, polttoaineen palamisaika, tarvittava kaasunopeus, höyrystymistarve, haluttava kattilateho, polttoaineen syöttötapa, päästöjen rajoittaminen, materiaalien kestävyys ja kuonaantuminen.

6.1.1 Kerrosleijukattila (BFB)

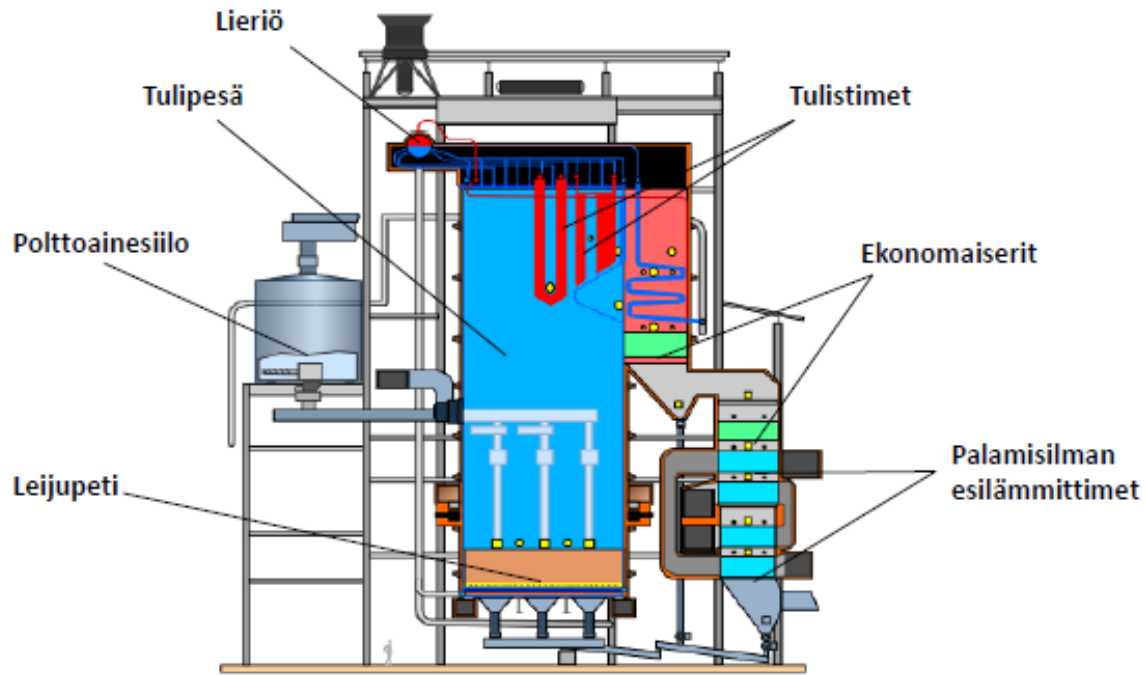
Kerrosleijukattilan palaminen tapahtuu kuplivassa leijukerroksessa. Kuplapetin leijutusmateriaalina käytetään yleensä hiekkaa tai kalkkikiveä, joiden partikkelien keskikoko on noin 1-3 mm, joka mahdollistaa 0,7-3 m/s leijutusnopeuden. Kuplivassa leijupoltossa voidaan saada biopolttoaineilla polttoainetehoksi reaktorin poikkipinta-alaa kohti enintään noin 3 MW/m². Kuplivan leijukerroksen etuina verrattuna kiertoleijuun voidaan pitää soveltuvuutta kosteille polttoaineille. Yksinkertaisen rakenteen ansiosta leijukerros on myös kustannuksellisesti halvempi toteuttaa kuin kiertoleiju (Raiko et al. 2002)

Ennen polttoaineen syöttämistä kattilaan, peti on lämmitettävä tasolle, joka varmistaa polttoaineen turvallisen syttymisen, eli lämpötilaan 500-600 °C (Huhtinen et al. 1994).

Polttoaineen syöttötavalla on merkitystä kattilatekniseen suunnitteluun. Kun polttoaine syötetään pedin päälle, palaminen tapahtuu paljon ylempänä kattilassa kuin, jos syötetään polttoaine esimerkiksi ruuvisyöttimellä pedin sivuille. Syötettäessä polttoaine mekaanisesti pedin päälle, polttoainesiilon alapuolinen kuljetin syöttää polttoaineen sulkusyöttimen kautta pudotusputkeen, josta se putoaa pedin päälle. Polttoaineen syöttöputkia on tavallisesti useampia, jotta polttoaine saadaan jakautumaan tasaisesti petiin. Mekaanisten syöttöjärjestelmien etu esimerkiksi pneumaattisiin järjestelmiin on niiden sallima laajempi kokojakauma ja vähäisempi polttoaineen esikäsitteilyn tarve, jonka takia ne soveltuvat hyvin puupolttoaineille (Huhtinen et al. 1994).

Polttoaine voidaan syöttää myös ruuvisyöttimellä pedin sivuille. Ruuvisyöttimellä pystytään helposti vaihtelevaan syötettävän polttoaineen määrää muuttamalla ruuvin pyörimisnopeutta. Ruuvisyöttimillä mahdollinen ongelma voi olla tukkeutuminen. Kiinteä polttoaine pakkautuu tiiviisti kiinni ruuviin eikä putoa petiin. Polttoaineen pakkautumista voidaan ehkäistä ruuvin suunnittelulla. Ruuvin jaekokoa voidaan muuntaa tai ruuvin halkaisijaa voidaan muuttaa niin, että se kapenee loppua kohti. Mahdollisuus on myös käyttää useampia ruuveja. Useamman ruuvin käyttö on tehokasta varsinkin, kun polttoaineena on biomassa. Ruuvisyöttimen ongelma on myös polttoaineen levittyminen petiin, joten niitä käytetään yleensä pienemmissä kattiloissa (Basu et al. 2006).

Kuplapetissä on suuri lämpökapasiteetti, jonka ansiosta polttomenetelmä soveltuu hyvin kosteiden polttoaineiden polttoon eikä kuivausta tarvita. Kuumaan hiekkakerrokseen sekoittuva kostea polttoaine kuivuu nopeasti ja lämpenee syttymislämpötilaan. Suuren lämpökapasiteetin ansiosta leijupetikattilat ovat joustavia polttoaineen laatuvariaatioille. Palamisen tarvitsema ilma saadaan osittain leijutusilmasta (primääri-ilma), jonka lisäksi osa tarvittavasta palamisilmasta tuodaan pedin yläpuolelle sekundääri-ilmana. BFB- ja CFB-kattiloissa kattila varustetaan käynnistyspolttimilla käynnistystä ja ylösajoa varten (Huhtinen et al. 1994). Kuvassa 7 on poikkileikkaus kerrosleijukattilasta.



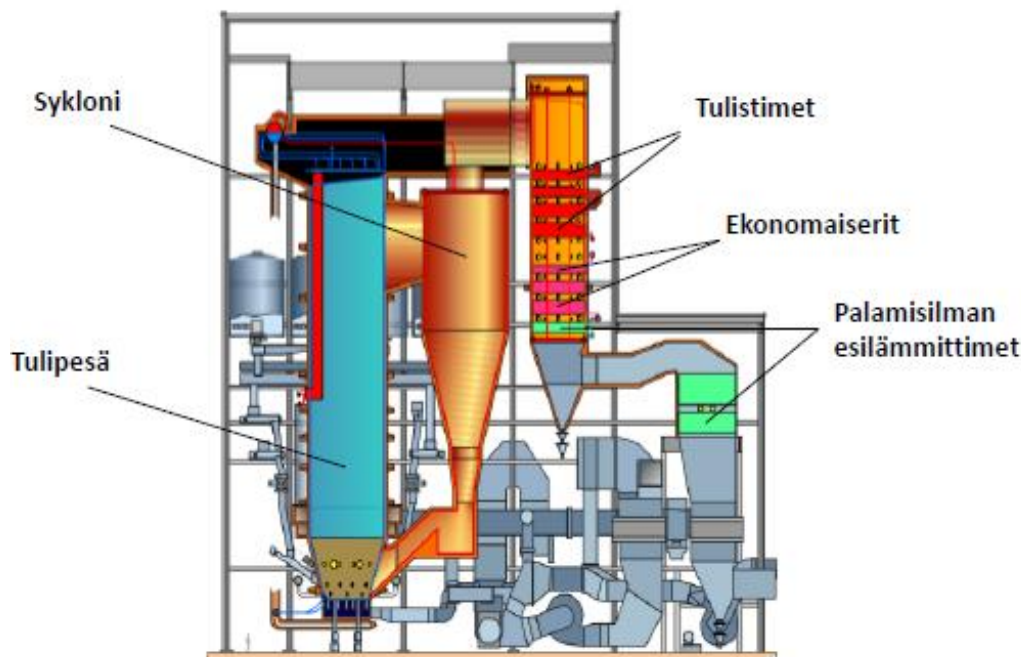
Kuva 7. Kerrosleijukattila (BFB). Lähde: Perustuu: Valmet 2017

Palamisen jälkeen kattilan pohjalle kertyy tuhkaa, jota kutsutaan pohjatuhkaksi. Pohjatuhka poistetaan leijupetistä päästämällä tietty määrä hiekkaa arinan aukosta. Poistettu hiekka seulotaan, jotta siitä erottuu karkea kuona. Tämän jälkeen puhdistettu hiekka palautetaan kattilaan. Hienojakoinen tuhka jauhautuu kattilassa ja poistuu savukaasujen mukana tulipesästä niin sanottuna lentotuhkana (Huhtinen et al. 1994). Lentotuhka voidaan erottaa savukaasuista erilaisilla suodattimilla. Yleisin lentotuhkan erotukseen käytettävä suodatintyyppi on sähkösuodin, jota suositellaan käytettävän parhaan käytössä olevan tekniikan metallipäästöjen sekä elohopeapäästöjen rajoittamiseen

Petin lämpötila on pidettävä tarpeeksi alhaisena, ettei polttoaineen sisältämä tuhka pääse sulamaan tai edes pehmenemään, jolloin hiekka agglomeroituisi tuhkan takia. Pitkälle edennyt agglomeraatio voi johtaa sintraantumiseen. Sintraantumiseen päässeen hiekan poistaminen kattilasta on hankalaa ja vaatii yleensä kattilan alasajon. Tämän takia petin lämpötila pidetään yleensä noin 100 °C tuhkan sulamispisteen alapuolella, mikä tarkoittaa esimerkiksi kotimaisilla polttoaineilla noin 900 °C (Huhtinen et al. 1994). Agglomeroitumista käsitellään tarkemmin kappaleessa 6.3.2.2 Kasautumat eli agglomeraatit.

6.1.2 Kiertoleijukattila (CFB)

Kiertoleijukattila toimii leijutusalueella, jolle on ominaista voimakas pyörteisyys ja hiukkasten hyvä sekoittuminen (Huhtinen et al. 1994). Kiertoleijukattiloissa käytetyn leijutusmateriaalin keskikoko on yleensä noin tai alle 0,5 mm ja leijutusnopeudet vaihtelevat välillä 3-10 m/s. Kiertoleijupoltossa polttoainetehoksi reaktorin poikkipinta-alaa kohti voidaan saada hiiltä poltettaessa enintään noin 6 MW/m². Kuplivaan leijukerrokseen verrattuna kiertoleijukattiloilla on yleensä hiilen poltossa korkeampi palamishyötysuhde, matalammat typpi- ja rikkioksidipäästöt sekä laajempi polttoainevalikoima. Kiertoleijukattiloiden rakenne on kuitenkin monimutkaisempi, jonka takia ne ovat kalliimpia toteuttaa (Raiko et al. 2002). Kuvassa 8 on poikkileikkaus kiertoleijukattilasta.



Kuva 8. Kiertoleijukattila CFB. Lähde: Perustuu: Valmet 2017

Kiertoleijusta ei erotu selvää pedin pintaa, koska osa hiekasta tempautuu suuren leijutusnopeuden ansiosta savukaasujen mukaan. Savukaasun mukana tulipesästä poistuvat hiukkaset erotetaan syklonissa ja palautetaan tulipesään. Polttoaine syötetään joko etuseinän kautta tai sekoittamalla se syklonista palavan hiekan joukkoon (Huhtinen et al. 1994). Kiertopetiin syötettävien biomassan palakoko voi olla pituussuunnassa yli 100 mm. Tällöin

kuitenkin polttoaine on yleensä hyvin reaktiivista ja palaa nopeasti jouduttuaan tulipesään ja samalla pilkkoutuu pienempiin osiin (Raiko et al. 2002).

Tulipesän kiintoainemäärä ja raekoko pidetään sopivana poistamalla sieltä ajoittain kiintoainetta pohjatuhkan ulosottolaitteiston kautta. Kiintoainemäärää pystytään seuraamaan tarkastelemalla tulipesän paine-eroja pystysunnassa. Palamisilma tuodaan kiertopetikattilaan leijukerroskattilan tavoin primääri- ja sekundääri-ilmana. Primääri- ja sekundääri-ilman määrät vaihtelevat polttoaineittain (Raiko et al. 2002). Taulukossa 3 vertaillaan leijukerros- ja kiertoleijukattiloiden tyypillisten toiminta-arvojen eroavaisuuksia.

Taulukko 3. BFB- ja CFB-kattiloiden tyypillisiä toiminta-arvoja. Lähde: Huhtinen et al. 1994 ja Raiko et al. 2002.

Ominaisuus	Yksikkö	BFB	CFB
Tilavuusrasitus	MW/m ³	0,1-0,5	0,1-0,3
Poikkipintarasitus	MW/m ²	0,7-3	0,7-6
Pedin painehäviö	kPa	6,0-12	-
Kokonaispainehäviö	kPa	-	10-15
Leijutusnopeus	m/s	0,7-2	4,5-6,7
Pedin korkeus	m	0,4-0,8	-
Primääri-ilman lämpötila	°C	20-400	20-400
Sekundääri-ilman lämpötila	°C	20-400	20-400
Petin lämpötila	°C	700-1000	800-950
Kaasutilan lämpötila	°C	700-1200	-
Loppulämpötila	°C	-	850-950
Sekundääri-ilman osuus	%	30-70	25-65
Ilmakerroin	-	1,1-1,4	1,1-1,3
Petin tiheys	kg/m ³	1000-1500	10-100

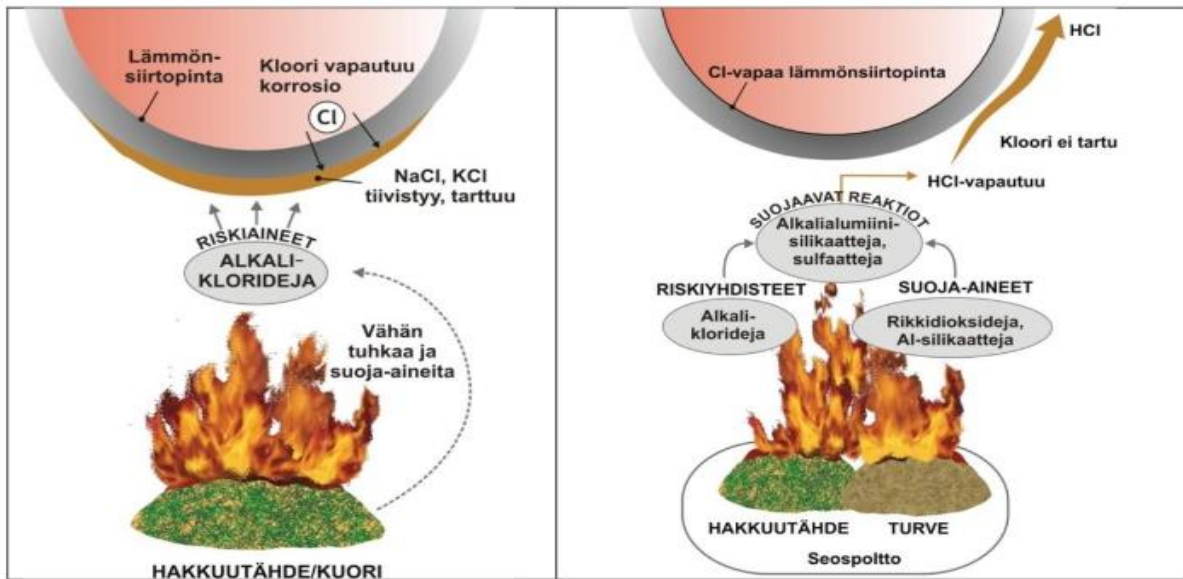
6.2 Seospoltto

Seospoltto (co-firing) tarkoittaa useamman polttoaineen samanaikaista polttoa kattilassa. Kivihiilelle suunnitelluissa kattiloissa voidaan polttaa noin 5 % biomassaa ilman suurempia toimenpiteitä. Biomassan suurempien osuuksien polttaminen asettaa tiukemmat rajat

polttoaineen laadulle ja kattilan ominaisuuksille (IEA Bioenergy 2016). Kerrosleiju- (BFB) ja erityisesti kiertoleijukattiloissa (CFB) voidaan polttaa laajalla valikoimalla erilaisia polttoaineita, kun taas arina- ja pölypolttolaitokset asettavat selvästi tiukemmat ehdot seospoltolle (Alakangas et al. 2016). Seospoltossa oleville polttoaineille asetetaan yleensä käyttömäärien ja suhteiden rajat. Polttolaitoksen ympäristölupaa haettaessa polttoaineiden laatu, ominaisuudet ja käyttömäärät tulee ilmoittaa (Alakangas et al. 2008).

Kiinteät biopolttoaineet tuottavat haasteita voimalaitoskattiloille. Suurimmat haasteet biomassan seospoltossa ovat tuhkan kerrostuminen ja niiden poisto, kattilapintojen likaantuminen ja kuonaantuminen, kattilanpintojen kuumakorrosio, kattilaputkien eroosio ja lentotuhkan putsaus (typpioksidi NO_x ja rikkioksidi SO_x) (IEA Bioenergy 2016). Haasteet johtuvat pääosin kiinteiden biopolttoaineiden sisältämästä kloorista ja alkaleista. Poltossa kloorista ja alkaleista muodostuu korroosiota aiheuttavia ja likaavia alkaliklorideja, jonka lisäksi alkalit reagoivat leijupetipoltossa petimateriaalin kanssa aiheuttaen petijyvästen kasvua ja yhteen liimautumista. Kustannustehokas tapa välttää kyseisiä ongelmia on kiinteiden polttoaineiden polttaminen yhdessä niin sanottujen suojaolttoaineiden kanssa (Alakangas et al. 2016)

Suojaolttoaineet sisältävät yhdisteitä, jotka suojaavat kattilaa vaurioilta ja häiriöiltä. Tärkeimmät suoja-aineet ovat rikki ja alumiinisilikaatit, jotka kykenevät muuttamaan alkalikloridit vaarattomaan muotoon sekä sitomaan alkaleita. Kivihiili ja turve ovat yleisimpiä suojaolttoaineita ja myös yhdyskunta- ja kuitulietteillä on havaittu vastaava suojaava vaikutus. Suomessa lähes kaikissa voimalaitosluokan leijupetikattiloissa käytetään seospolttoa, joissa käytettävät polttoaineet ovat tavallisesti turve, kivihiili ja erilaiset kiinteät biopolttoaineet. Kivihiilen käyttö on kuitenkin vähentynyt ja tulee edelleen vähenemään siitä aiheutuvien kasvihuonepäästöjen takia (Alakangas et al. 2016). Biomassaa käyttävissä lämpövoimalaitoksissa voidaan polttaa seospolttona esimerkiksi kierrätyspuuta, metsähaketta ja kuorta (Nylen 2020). Kuvassa 9 esitetään seospolttoaineena käytettävän turpeen suojaominaisuudet. Vasemmalla puolella kuvaa polttoaineseos ei sisällä tarpeeksi suoja-aineita estämään kloorin kerrostumista. Oikealla puolella kuvaa turve seospolttoaineena luovuttaa kloorin kerrostumista estäviä suoja-aineita, jolloin kloori ei pääse tarttumaan lämmönsiirtopinnalle.

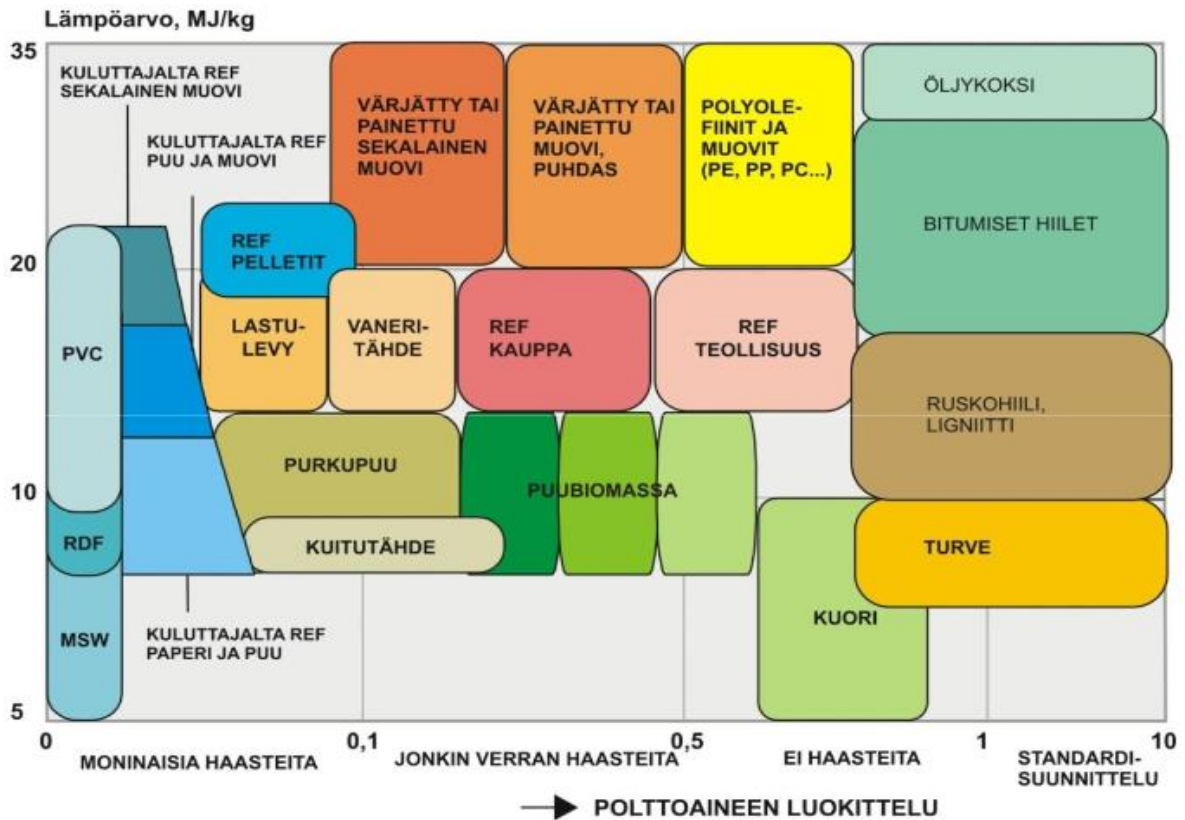


Kuva 9. Yksinkertaistettu kuvaus seospolton suojaavista vaikutuksista. Lähde: Alakangas et al. 2016.

Suomessa teollisuuden puutähdettä ja käytöstä poistettua puuta käytetään yleensä seospolttona muiden puupolttoaineiden ja turpeen kanssa, jolloin puujätteen ominaisuudet eivät yksin määrää polttoaineen käyttäytymistä kattilassa. Kierrätyspuun kosteus on noin 20 m-%, joka parantaa seospoltossa kosteamman polttoaineen palamista kattilasta. Kosteuden vaikutus polttoaineiden palamiseen on kiinnitettävä huomiota kattilaa suunniteltaessa (Alakangas et al. 2008).

6.3 Kierrätyspuun käytön haasteet leijukerroskattiloissa

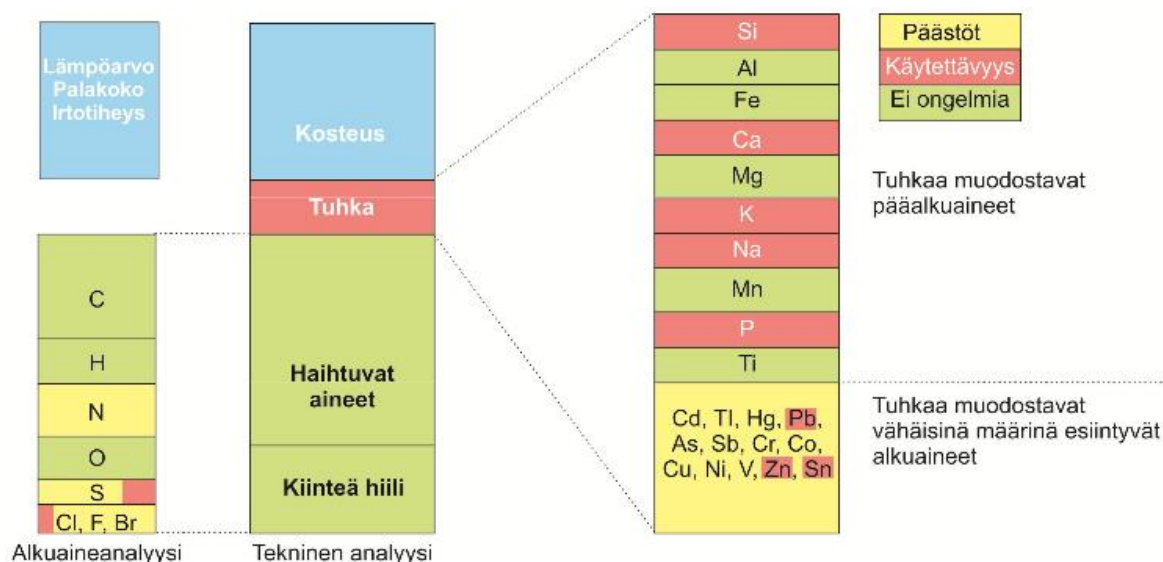
Kierrätyspuun käytön haasteet ovat pääosin samoja kuin muulle biomassalle, jotka lueteltiin kappaleessa Seospoltto. Luokan A kierrätyspuu on ominaisuuksiltaan melko samanlaista kuin esimerkiksi luonnonpuusta tehty metsähake, joten käytön haasteet ovat pääosin samanlaisia metsähakkeen kanssa. B-luokan kierrätyspuu saattaa sisältää enemmän kemiallisia epäpuhtauksia, jolloin kuumakorroosion, agglomeroitumisen eli tuhkan kasautumisen ja kattilapintojen kuonaantumisen riskit kasvavat (IEA Bioenergy 2016). Kuvassa 10 esitetään polttoaineiden haastavuutta kattilasuunnittelun kannalta.



Kuva 10. Polttoaineiden haastavuus kattilasuunnittelun kannalta. Lähde: Alakangas et al. 2016

Polttoaineen kuljettimissa saattaa esiintyä ongelmia, kierrätyspuussa olevien mekaanisten epäpuhtauksien kuten lasin ja erilaisten irto-osien takia. Työturvallisuuteen tulee ottaa huomiota varsinkin, jos kierrätyspuussa tiedetään olevan epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ja haitalliset aineet saattavat sekoittua käsittelyssä syntyvään pölyyn ja päätyä hengitysilmaan. (Alakangas et al. 2015).

Käytöstä poistettu puu saattaa sisältää alumiinia, joka saattaa aiheuttaa ongelmia poltossa. Alumiinin sulamislämpötila on alhainen, jonka takia sulanut alumiini tarttuu kattilan kylmemmille pinnoille ja aiheuttaa kerrostumia. Alumiinia voi esiintyä purkupuussa, kaupan puujätteestä ja ikkuna- ja oviteollisuuden puujätteessä. Eniten ongelmia näistä aiheuttavat alumiinifoliot, joita voi esiintyä kaupoista tulevan puujätteen joukossa. Leijukerroskattiloissa suuret alumiinipalaset eivät leiju ja päätyvät arinatuhkaan. Tämän takia metallinpalat tulee poistaa jätepuun murskausvaiheessa. SFS 5875 -standardin raja-arvona metalliselle alumiinille on 0,1 m-% kuivaa polttoainetta (Alakangas et al. 2008). Kuvassa 11 esitetään polttoaineen kemiallisten ominaisuuksien vaikutusta poltossa esiintyviin haasteisiin.



Kuva 11. Polttoaineen kemiallisten ominaisuuksien vaikutusta poltossa esiintyviin haasteisiin. Lähde: Alakangas et al. 2016

6.3.1 Palaminen ja käytettävyys

Kiinteäksi biopolttoaineeksi luokiteltavasta puusta ja kuormalavoista tehtyä haketta voidaan pitää samankaltaisena metsähakkeen kanssa. Maalia, kartonkia ja muita ei-puuta olevia aineita sisältävä purkupuu sisältää esimerkiksi lyijyä, jonka tiedetään aiheuttavan ongelmia poltossa. Tällainen puu luokitellaan riippuen kemiallisista epäpuhtauksista pääsääntöisesti luokan C kierrätyspuuksi. Epäpuhtauksia sisältävän puun poltosta aiheutuvia kattilan kerrostumia voidaan pitää samanlaisena kuin poltettaessa mitä tahansa muuta kierrätyspolttoainetta. Kierrätyspuu saattaa sisältää erilaisia metalleja, kuten sinkkiä, messinkiä ja alumiinia, jotka saattavat tukkia primääri-ilma kanavaa (Alakangas et al. 2015). Leijupoltossa polton haasteita pyritään hallitsemaan muun muassa petimateriaalin, alhaisempien petilämpötilojen ja tulipesän nuohouksien avulla (Alakangas et al. 2008)

Polttoaineen ja polttoaineseosten tulistimien kuumakorroosioriskitasoja voidaan arvioida karkeasti polttoaineanalyysien perusteella. Tärkeimpiä määriteltäviä alkuaineita ovat alkalit (natrium ja kalium), rikki ja kloori. Kiinteiden biopolttoaineiden haihtuvien osuus kuiva-aineesta on korkea ja kierrätyspuu ei ole tässä poikkeus. Haihtuvien aineiden osuus vaikuttaa esimerkiksi palamisprofiiliin, reaktiivisuuteen ja päästöjen muodostumiseen (Alakangas et al. 2016).

6.3.2 Tuhkaan liittyvät haasteet

Kierrätyspuu saattaa sisältää enemmän epäpuhtauksia kuin luonnonpuu, mikä saattaa kiihdyttää kerrostumien muodostumista kattilassa. Epäpuhtauksien määrä saattaa vaikuttaa myös tuhkan koostumukseen. Tuhkan sisältämät alkalimetallit, kalium ja natrium vaikuttavat kattilan likaantumiseen, tuhkan sulamiseen, korroosioon ja leijupetihiekan agglomeraatioon. (Claesson et al. 2009).

Polttoaineen tuhkapitoisuus alentaa myös polttoaineen lämpöarvoa ja vaikuttaa tuhkan käsittelylaitteistoilta vaadittavaan kapasiteettiin. Epäpuhtaudet kuten lasit, kivet, maainen ja metallit nostavat polttoaineiden tuhkapitoisuutta (Alakangas et al. 2016).

Leijukerroskattiloiden tulipesän suhteellisen matala lämpötila verrattuna esimerkiksi pölypolttoon, vähentää selvästi muodostuneiden tuhkapartikkelien sulamistaipumista. Myös höyrystyneiden, tuhkaa muodostavien ainesosien määrä leijukerroskattilassa on pienempi kuin vastaavalla polttoaineella esimerkiksi pölypolttokattilassa (Raiko et al. 2002). Kierrätyspuun polton jälkeen kattilassa syntyvä pohjahiekan laatu tulee aina analysoida hyötykäyttömahdollisuuksien selvittämiseksi. Hyötykäyttömahdollisuutta ei voida määrittellä etukäteen ennen pohjahiekan laadun analysointia. (Nylén 2020)

6.3.2.1 *Likaantuminen ja korroosio*

Kierrätyspuun alkalit eli natrium ja kalium saattavat aiheuttavat sekä kattilan likaantumista että kloorin kanssa reagoidessaan mahdollisesti kuumakorroosion. Alkaliin ja kloorin reagoidessa syntyy alkaliklorideja, jolloin savukaasuissa osittain sulana oleva lentotuhka takertuu lämmönsiirtopinnoille ja aloittaa tuhkan alla olevan metallin syövyttämisen. Kuumakorroosiota voidaan estää polttamalla ns. suojapolttoainetta kierrätyspuun kanssa samaan aikaan kattilassa. Poltettaessa runsaasti alkaleja ja klooria sisältävää biomassaa esimerkiksi turpeen kanssa, turpeen palamisessa syntynyt rikkioksidi reagoi alkalikloridin kanssa muodostaen alkalisulfaatteja. Tällöin kloori vapautuu pieninä suolahappopitoisuuksina savukaasuihin eikä muodosta alkalikloridikerrostumia. Samankaltainen ilmiö tapahtuu, jos alkalikloridit reagoivat alumiinisilikaatin kanssa, jolloin niistä muodostuu yhdessä alkalisilikaatteja ja tuhkan kerrostumia ei pääse syntymään (Alakangas et al. 2008).

Kloori voi aiheuttaa kuumakorroosiota höyrykattiloiden tulistimissa, kun materiaalin lämpötila ylittää 450-480 °C. Jos polttoaineen klooripitoisuus ylittää 0,05 m-% kuiva-aineesta, höyrykattiloissa saatetaan joutua käyttämään matalampia höyrynarvoja. Höyrynarvojen alentaminen ei ole kuitenkaan aina välttämätöntä, vaan kuumakorroosiota voidaan hallita myös kattilan materiaalin valinnoilla ja käyttämällä rikkiä sisältäviä polttoainetta seoksena tai lisäaineena. Kierrätyspuun klooriarvot saattavat olla hieman suurempia kuin luonnonpuulla. Kierrätyspuun klooripitoisuudet vaihtelevat pääsääntöisesti välillä 0,02-0,16 m-% ja luonnonpuulla välillä 0,01-0,05 m-% (Alakangas et al. 2008).

Kierrätyspuu saattaa sisältää enemmän raskasmetalleja ja erityisesti sinkkiä ja lyijyä kuin luonnonpuu. Poltossa muodostuvat sinkki- ja lyijy-yhdisteet aiheuttavat korroosiota myös lämpötiloissa 350-400 °C. Tällöin myös höyrystinputket ovat alttiina korroosiolle. Tämän takia jätettä pääpolttoaineena käytävissä kattiloissa painetaso on alempi kuin tavanomaisia polttoaineita käytettäessä. Kierrätys- ja jätepolttolaitokset saattavat sisältää myös bromia, jolla on havaittu kloorin tapainen haittavaikutus, mutta bromipitoisuudet ovat usein lähes merkityksettömät klooripitoisuuksiin verrattuna. Jätepolttolaitokset saattavat sisältää myös metallista alumiinia, joka aiheuttaa likaantumista ja ääritapauksissa jopa kattilan tukkeutumisen (Alakangas et al. 2016).

6.3.2.2 *Kasautumat eli agglomeraatit*

Yksi tuhkan tärkeimmistä ominaisuuksista kattilan toiminnalle on tuhkan sulamispiste. Tuhkan sulaminen voi muodostaa kasautumia eli agglomeraatteja petihiekan kanssa. Pitkälle edennyt agglomeraatio voi johtaa sintraantumiseen, jolloin sintraantumaan päässeessä hiekan poistaminen kattilasta on hankalaa ja vaatii yleensä kattilan alasajon. Agglomerointi voi olla peräisin joko pelkästään tuhkasta tai tuhkan ja leijutusmateriaalin seoksesta. Esimerkiksi Petimateriaalina käytettävän luonnonhiekan sisältämä kvartsi reagoi biomassan alkalien kanssa, jolloin tapahtuu agglomeroitumista eli kasautumista (Raiko et al. 2002).

Kierrätyspuun poltosta aiheutuneiden kerrostumien muodostuminen ei ole yleensä ongelma suuren kokoluokan polttolaitoksissa (LCP), joissa savukaasujen puhdistus on tehokasta. LCP-laitoksissa ongelmia saattaa syntyä tuhkan palamattomien määrästä, jolloin tuhka saattaa sisältää suuria pitoisuuksia raskasmetalleja ja palamattomia tai hapettuneita epäpuhtauksia.

Tuhkan hyödyntäminen lannoitteena saattaa näin olla myös ympäristöllinen riski (Alakangas et al. 2015).

Agglomeroituminen voidaan estää pitämällä tuhkan pitoisuus leijutusmateriaaliin verrattuna alhaisena sekä vaihtamalla leijutusmateriaalia riittävän usein. Biomassan ja kvartsihiekan tapauksessa kannattaa harkita leijutusmateriaalin vaihtamista toiseen leijutusmateriaaliin, kuten kalkkiin. Myös seospolttoa puhtaiden polttoaineiden kanssa sekä agglomeroitumista estävien lisäaineiden käyttöä kattilassa suositellaan. (Raiko et al. 2002)

7 YHTEENVETO

Biomassasta valmistettavat polttoaineet katsotaan olevan päästöttömiä niiden sitoman hiilidioksidin ansiosta, jonka takia biomassan hyödyntäminen energiantuotannossa on lisääntynyt. Puupolttoaineilla tuotettiin 28 % Suomen energiantuotannosta vuonna 2019, josta kierrätyspuun osuus oli noin 4,7 %. Kierrätyspuulla tarkoitetaan yhteiskunnassa käytössä ollutta puuta, joka ei enää sovellu muuhun kuin energiakäyttöön. Esimerkiksi kuormalavat ovat kierrätyspuuta.

Kierrätyspuu luokitellaan puhtaaksi puutähteeksi tai kiinteiden biopolttoaineiden standardin SFS-EN ISO 17225-1 mukaan käytöstä poistetuksi puuksi tai puutuotteeksi, joka ei sisällä raskaita halogeenisia yhdisteitä tai raskasmetalleja. Suomessa luokitteluun voidaan hyödyntää VTT:n raporttia ”Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus” (Alakangas et al. 2008). Käytöstä poistettu puu jaetaan kyseisen raportin mukaan luokkiin A, B, C ja D, joista A ja B määritellään kierrätyspuuksi. C-luokan puu määritellään kiinteäksi kierrätyspolttoaineeksi ja D-luokan puu ongelmajätteeksi (Alakangas et al. 2008)

A-luokan kierrätyspuu ei saa sisältää kemiallisia epäpuhtauksia ja mekaanisia epäpuhtauksia saa olla maksimissaan 2 m-% kuiva-aineesta. A-luokan puu ei saa sisältää luokkien B, C tai D puuta. B-luokan kierrätyspuun vuosikeskiarvot kloori-, typpi-, rikki- ja raskasmetallipitoisuuksille eivät saa ylittää yli 20 %:lla luonnonpuun raja-arvoja. C-luokan puun käyttöön sovelletaan jätteenpoltoasetusta 151/2013. C-luokan puun pinnoitteessa tai puunsuoja-aineessa on orgaanisia halogenoituja yhdisteitä, mutta ei kuitenkaan puunkyllästysaineita, joita luokan D ongelmajätteeksi luokiteltava puu sisältää. (Alakangas et al. 2008)

Kierrätyspuu saattaa sisältää kemiallisia ja mekaanisia epäpuhtauksia, jotka tulee yrittää poistaa käsittelyvaiheessa mahdollisimman hyvin. Epäpuhtaudet vaikuttavat polttoaineellisiin ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat polttoon ja palamiseen. Kierrätyspuun kosteus on yleensä alle 20 m-% ja tehollinen lämpöarvo noin 20 MJ/kg. Arvot saattavat vaihdella polttoaine-erien mukaan (Alakangas et al. 2008). A-luokan kierrätyspuuta voidaan polttaa kaikkien kokoluokkien kattilalaitoksissa. B-luokan kierrätyspuuta voidaan käyttää kattilalaitoksissa, joissa polttotekniikan taso ja varustetaso ovat hyvät. B-luokan puuta suositellaan käytettävän seospolttoaineena ensisijaisesti kattilalaitoksissa, joiden teho on vähintään 20 MW_{th} (Alakangas et al. 2014)

Kierrätyspuusta energiakäyttöön tehtävät yleisimmät kauppanimikkeet ovat hake ja murske. Kierrätyspuun toimitusketju on yleensä seuraavanlainen: saapuminen jätteenkierrätys- tai käsittelylaitokselle, ominaisuuksien määrittäminen, käsittely, kuljetus voimalaitokselle, varastointi ja poltto. Epäpuhtaudet tulee yrittää poistaa mahdollisimman tehokkaasti kierrätyspuun käsittelyvaiheessa. On varmistettava, ettei polttoaineen laatu pääse huonontumaan toimitusketjun missään vaiheessa. Kierrätyspuuta poltetaan usein luokkien A ja B seoksena. (Nylen 2020)

Leijupolttotekniikka soveltuu hyvin huonolaatuisille polttoaineille, joiden poltto ei onnistu muilla polttotavoilla ilman monimutkaisia erikoisjärjestelyjä. Tämän takia leijukerroskattilat ovat yleisin vaihtoehto biomassan poltolle. Leijukerroskattiloita on kahdelaisia: kerrosleiju- ja kiertoleijukattiloita. Kiertoleijukattiloilla on yleensä matalammat typpi- ja rikkioksidipäästöt sekä laajempi polttoainevalikoima. Kiertoleijukattiloiden rakenne on monimutkaisempi, jonka takia ne ovat kalliimpia toteuttaa (Raiko et al. 2002)

Kierrätyspuun polttoon liittyvät ongelmat aiheutuvat kierrätyspuussa olevista epäpuhtauksista. Kloori-, typpi-, rikki-, alkali- (natrium ja kalium) ja raskasmetallipitoisuudet (tärkeimpänä sinkki ja lyijy) vaikuttavat tuhkan sulamiskäyttäytymiseen ja koostumukseen, joista aiheutuvat suurimmat ongelmat poltossa. Kloori ja alkalit voivat reagoida keskenään muodostaen alkaliklorideja, jotka voivat aiheuttaa kloorin kerrostumista tulipesän lämpöpinnoille ja aiheuttaa korroosiota. Kloorin kerrostumisen ja korroosion estämiseksi kattilassa voidaan polttaa käyttää rikkipitoista polttoainetta seoksena tai lisäaineena. Raskasmetallit saattavat aiheuttaa korroosiota myös lämpötiloissa 350-400 °C, jolloin myös höyrystinputket voivat olla alttiina korroosiolle (Alakangas et al. 2008).

Tuhkan sulaminen voi aiheuttaa yhteen liimautumista petihiekan kanssa, jolloin muodostuu kasautumia eli agglomeraatteja. Pitkälle edennyt agglomeraatio voi johtaa sintraantumiseen. Sintraantumiseen päässeen hiekan poistaminen kattilasta on hankalaa ja vaatii yleensä kattilan alasajon. Agglomeroitumisen ehkäisemiseksi suositellaan seospoltoa puhtaiden polttoaineiden kanssa, agglomeroitumista estävien lisäaineiden käyttöä kattilassa tai hiekan sijasta vaihtoehtoisten petimateriaalien käyttämistä. (Raiko et al. 2002 ja Alakangas et al. 2015)

LÄHTEET

Alakangas E, Wiik C. 2008. Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus. VTT-R-04989-08. [pdf-dokumentti]. [viitattu 20.1.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2008/VTT-R-04989-08.pdf>

Alakangas E, Impola R. 2014. Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13 – päivitys 2014. [pdf-dokumentti]. [viitattu 20.1.2020]. Saatavissa: https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf

Alakangas E, Koponen K, Sokka L, Keränen J. 2015. Classification of used wood to biomass fuel or solid recycled fuel and cascading use in Finland. [pdf-dokumentti]. [viitattu 24.1.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2015/OA-Classification-of-used-wood.pdf>

Alakangas et al. 2014. Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön – VTT-M-01931-14. Bioenergia ry, Energiateollisuus ry, Metsäteollisuus ry. [pdf-dokumentti]. [viitattu 20.1.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-M-01931-14.pdf>

Alakangas E, Hurskainen M, Laatikainen-Luntama J, Korhonen J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT, Espoo. [pdf-dokumentti]. [Viitattu 24.1.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Alakangas Eija 2020. Johtava tutkija, Bioenergia ja biopolttoaineet VTT. Eija Alakankaan puhelinhaastattelu 31.1.2020.

Basu, Prabir. 2006. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. Taylor & Francis Group, LLC.

Claesson F., Skrifvars BJ., Elled AL., Johansson A. (2009) Chemical Characterization of Waste Fuel for Fluidized Bed Combustion. In: Yue G., Zhang H., Zhao C., Luo Z. (eds) Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02682-9_174

Ekopartnerit, 2020. Lajitteluohjeet, Puu. [verkkosivusto]. [viitattu 11.12.2020] Saatavissa: <https://www.ekopartnerit.fi/lajitteluohjeet/puu/>

Flyktman M, Impola R, Linna V. 2012. KOTIMAISTA POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN 0,5...30 MW KATTILALAITOSTEN TEKNISET RATKAISUT SEKÄ PALAMISEN HALLINTA. [pdf-dokumentti]. [viitattu 31.1.2020]. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826>

Hannula, J. 2015. Puujätteen käsittely ja laadunhallinta. Lassila & Tikanoja. [pdf-dokumentti]. [viitattu 31.1.2020]. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B754E0E8E-DDD0-4F9B-A6C2-C09881770EED%7D/109398>

Huhtinen, M. et al. 1994. Höyrykattilatekniikka. Oy Edita Ab.

IEA Bioenergy 2016. W.R.Livingston, J.Middelkamp, W.Willeboer, S.Tosney, B.Sander, S.Madrani, M.T.Hansen. The status of large scale biomass firing. [pdf-dokumentti] [viitattu 8.12.2020]. Saatavissa: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2016/03/IEA_Bioenergy_T32_cofiring_2016.pdf

IRENA (2018), Bioenergy from Finnish forests: Sustainable, efficient and modern use of wood International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [pdf-dokumentti]. [viitattu 20.1.2020]. Saatavissa: <https://www.irena.org/publications/2018/Mar/Bioenergy-from-Finnish-forests>

Jirjis, R. 1995. Biomass and Bioenergy, Volume 9, Issues 1-5, 1995, Pages 181-190. [pdf-dokumentti]. [viitattu 8.12.2020]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0961953495000909?casa_token=rhQ_PYY7160AAAAA:xoSJq2HON9k28BAHBMmZkl1yqIXYQc8I9Tch6epw6UPBv-LO7Xz1SOimE1OqTXPFUO42Bq7buq0

Luonnonvarakeskus, Tilastokeskus. Puupolttoaineiden kulutus 2019 (ennakko). [pdf-dokumentti]. [viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://stat.luke.fi/sites/default/files/puupolttoaineiden_kulutus_2019_ennakko.pdf

Luonnonvarakeskus, Tilastotietokanta. Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö muuttujina, Metsäkeskusalue, Puupolttoaine ja Vuosi. [viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__04%20Talous__10%20Puun%20energiakaytto/03_kiint_puupolt_kok_kayt_maak.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Maa- ja metsätalousministeriö. 2019. Metsien taloudellinen merkitys Suomessa. [pdf-dokumentti]. [viitattu 24.1.2020]. Saatavissa:

<https://mmm.fi/documents/1410837/12877048/Metsien+taloudellinen+merkitys+11092019.pdf/3e1220c1-b210-bb7e-7c6a-a60d84824607/Metsien+taloudellinen+merkitys+11092019.pdf>

Nylen Jari 2020. Vanhempi ostaja, kiinteät biomassat. Fortum Power and Heat Oy. [sähköpostiviesti] [5.2.2020].

Pirhonen I, Herajärvi H, Saukkola P, Rätty T, Verkasalo E. 2011. Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood research Oy:n osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. [pdf-dokumentti]. [viitattu 20.1.2020]. Saatavissa:

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp191.pdf>

Raiko, R. et al. 2002. Poltto ja palaminen, toinen täydennetty painos. International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto.

SFS-EN ISO 17225-1. 2014. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 1: Yleiset vaatimukset. SFS Online – standardit ja julkaisut (LUT) -tietokanta.

Sokka L, Koponen K, Keränen J. T. 2015. Cascading use of wood in Finland: with comparison to selected EU countries. VTT. [pdf-dokumentti]. [viitattu 20.1.2020]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-R-03979-15.pdf>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-795X. 4. vuosineljännes 2019. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 4.12.2020]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/ehk/2019/04/ehk_2019_04_2020-04-17_tie_001_fi.html

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). 2017. Biomassan kaskadiperiaate ja muut politiikan toimet. Syngiat ja ristiriidat. Raitanen E, Antikainen R, Turunen T, Primmer E, Seppälä J. [pdf-dokumentti]. [viitattu 31.1.2020]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/224563/SYKEra_27_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valmet 2017. HOFOR moves toward CO₂ neutrality by utilizing the capabilities of CFB. [pdf-dokumentti] Saatavissa: https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/power-and-recovery/hofor_co2_neutrality_cfbs_whitepaper.pdf

Ylitalo Esa 2020. Yliaktuuri Luonnonvarakeskus. Puhelinhaastattelu 24.1.2

Luonnonpuun ominaisuuksien maksimiarvoja. Lähde: Alakangas et al. 2014

Ominaisuuksien ilmoittaminen (SFS-EN ISO 17225-1) mukaan puujäteluokille A ja B (biopolttoaine; ei sovelleta jätteenpolttoasetusta), sekä luokan C puujätteelle, joka analyysin todistetaan puhtaudeltaan biopolttoaineeksi (ei sovelleta jätteenpolttoasetusta).

					Luokka A		Luokka B		Luokka C
Ominaisuus		Raja-arvo*, kuiva-aineesta	Luonnon puu, johon raja- arvo perustuu	Velvoittavat	Opastavat	Velvoittavat	Opastavat	Raja- arvotuudelleen- luokitukselle luokkaan B	
	Rikki	S	< 0,2 m-%	kuori, lehtipuu		X	X	X	
	Typpi	N	< 0,9 m-%	kuori, lehtipuu		X	X	X	
	Kalium	K	< 5 000 mg/kg	kuori, lehtipuu			X		
	Natrium	Na	< 2 000 mg/kg	kuori, lehtipuu			X		
	Kloori ²	Cl	< 0,1 m-%	kuori, lehtipuu		X	X	X	
” Raskasmetallit ”	ΣArseeni ³ + Kromi + Kupari	As +Cr +Cu	< 70 mg/kg Σ 74 mg/kg	kuori, havupuu			X	X	
	Kadmium	Cd	< 1 mg/kg	kuori, havupuu			X	X	
	Elohopea	Hg	< 0,1 mg/kg	kuori, havupuu			X	X	
	Lyijy	Pb	< 50 mg/kg	kuori, havupuu			X	X	
	Sinkki	Zn	< 200 mg/kg	kuori, havupuu			X	X	

* Raja arvoja sovelletaan vain kloorille, typelle, rikille ja raskasmetalleille. Kaliumin ja natriumin arvot ovat suositusarvoja (opastavia).

2 Puun kuoren klooripitoisuus < 0,05 m-% kuiva-aineesta

3 Arseenin arvo ei saa ylittää luokan B puulla 10 mg/kg huomioiden mittaustarkkuus \pm 30 %

Taulukossa 1000 mg/kg vastaa 0,1 m-%.