

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma/yrittämisen ja jatkojalostuksen suuntautumisvaihtoehto

Kirsi Laukkanen

PUUN JA PUUPOHJAISTEN MATERIAALIEN KÄYTTÖ ENERGiantuotannossa ja siinä syntyvän tuhkan laatu ja käytettävyys

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikka

LAUKKANEN, KIRSI

Puun ja puupohjaisten materiaalien käyttö energiantuotannossa ja siinä syntyvän tuhkan laatu ja käytettävyys

Opinnäytetyö

29 sivua + 28 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Tuomo Väärä

Toimeksiantaja

Apila Group Oy Ab

Helmikuu 2011

Avainsanat

puupohjainen bioenergia, puutuhka, uusiutuvat energialähteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Suomessa käytettävien puupohjaisten materiaalien käyttöä energiantuotannossa ja prosesseissa syntyvän tuhkan laatua ja käytettävyyttä. Toimeksianto tuli ympäristökonsultointia ja asiantuntijapalveluita tarjoavalta Apila Group Oy:ltä. Opinnäytetyön aihe on kiinnostava ja ajankohtainen, koska energian käyttömäärät kasvavat jatkuvasti ja lisääntyvästä ilmastonmuutoksesta aiheutuu paineita käyttää aiempaa enemmän uusiutuvia energialähteitä.

Teoriaosuus koottiin monista kirjallisuuden ja internetin tietolähteistä. Tärkeimmät opinnäytetyössä käytetyt lähteet olivat Kirsi Knuuttilan toimittama Puuenergia-kirja sekä Energiateollisuus ry:n julkaisema tutkimusraportti puupohjaisista polttoaineista. Osana opinnäytetyötä tehtiin haastattelututkimus voimalaitoksille. Se toteutettiin sähköpostikyselynä Zef®-ohjelmalla. Haastateltaviksi valittiin Suomessa lämpö- ja/tai sähköenergiaa tuottavia voimalaitoksia. Kysymyksiä haastattelussa oli yhteensä 16.

Tutkimuksessa saatiin selville, että siihen vastanneista voimalaitoksista suurimman ryhmän muodostivat kokoluokaltaan yli 100 MW:n voimalaitokset. Polttoaineena käytettiin eniten haketta. Syntyvä energia ohjattiin lähes yhtä usein kaukolämmöksi ja sähköenergiaksi. Leijupetikattila oli yleisin käytössä oleva kattilatyyppejä. Poltossa syntyvää tuhkaa ei puhdistettu ennen loppusijoitusta missään voimalaitoksessa. Tuhka meni kuitenkin usein hyötykäyttöön metsälannoitteeksi, maanrakennusaineeksi tai kaatopaikkojen päällysrakenteisiin. Tulokset olivat yhtäpitävät teoriaosuuden kanssa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood technology

LAUKKANEN, KIRSI

Wood-based Materials in Power Production and the Usability of Ashes

Bachelor's Thesis

29 pages + 28 pages of appendices

Supervisor

Tuomo Väärä, MSc

Commissioned by

Apila Group Oy Ab

February 2011

Keywords

wood-based power production, wood ash

The purpose of this research was to examine the use of wood-based materials in power production in Finland. Also the quality and usability of ashes that are formed in the process were under surveillance. The thesis was carried out in cooperation with the coordinating company Apila Group Oy. The topic of the thesis is interesting and up-to-date. The use of power is increasing these days and increased global warming will put pressure on the use of renewable energy sources.

The theoretical part of the thesis was collected in various literature and Internet sources of information. The most important sources were Puuenergia supplied by Kirsi Knuutila and the research report published by Energiateollisuus Ry. An interview on power plants was conducted as a part of the thesis. It was carried out by e-mail. 60 power plants were chosen from Finland. There were 16 questions in the interview.

It was found out that over 40 per cent of the power plants were sized over 100 MW. Wood chips were most frequently used as fuel. The energy generated in the plants was used almost as often for district heating as for electricity. A fluidized bed boiler was the most commonly used boiler type. Ashes were not cleaned in any plant. However, ash was often utilised, for example, as a forest fertiliser. The outcome of the study was congruent with the theoretical background.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TERMIT JA LYHENTEET

| | | | | |
|---|--|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 | | |
| 2 | PUUPOHJAISET POLTTOAINEET ENERGIAN TUOTANNOSSA | 9 | | |
| | 2.1 | Palaminen ja puun energiapoltossa huomioon otavaa | 9 | |
| | 2.2 | Polttoaineen lämpöarvo | 10 | |
| | 2.3 | Puupolttoaineiden jaottelu | 10 | |
| | | 2.3.1 | Puhdas puu | 11 |
| | | 2.3.2 | Puu, jonka seassa muita aineita | 12 |
| | | 2.3.3 | Puupohjaiset kierrätyspolttoaineet | 12 |
| | | 2.3.4 | Kyllästetty puu | 13 |
| | 2.4 | Energiantuotannossa käytettävät polttokattilat | 13 | |
| | | 2.4.1 | Arinapoltto | 14 |
| | | 2.4.2 | Leijukerros poltto | 15 |
| | | 2.4.3 | Stokeripoltin | 16 |
| | | 2.4.4 | Kiinteäkerroskaasutus | 16 |
| | 2.5 | Poltossa syntyvä tuhka ja sen hyötykäyttö | 17 | |
| 3 | POLTTO LAITOKSILLE TEHTY HAASTATTELUTUTKIMUS PUUPOHJAISTEN MATERIAALIEN KÄYTÖSTÄ ENERGIAN TUOTANNOSSA | 17 | | |
| | 3.1 | Aineisto ja menetelmät | 17 | |
| | 3.2 | Tulokset | 19 | |
| | | 3.2.1 | Voimalaitosten koko | 19 |
| | | 3.2.2 | Voimalaitosten polttoaineet | 20 |
| | | 3.2.3 | Polttoaineen kosteus ja palamislämpötila sekä käytettävät polttokattilat | 22 |
| | | 3.2.4 | Tuotetun energian käyttö, savukaasujen puhdistus | 23 |
| | | 3.2.5 | Laitosten tulevaisuudennäkymät | 23 |

| | |
|--|----|
| 3.2.6 Tuhkan määrä, puhdistus ja hyötykäyttö | 23 |
| 4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 25 |
| LIITTEET | |

Liite 1. Polttoaineiden lämpöarvoja (8: 152)

Liite 2. Biovoimalaitoksille tehty haastattelu

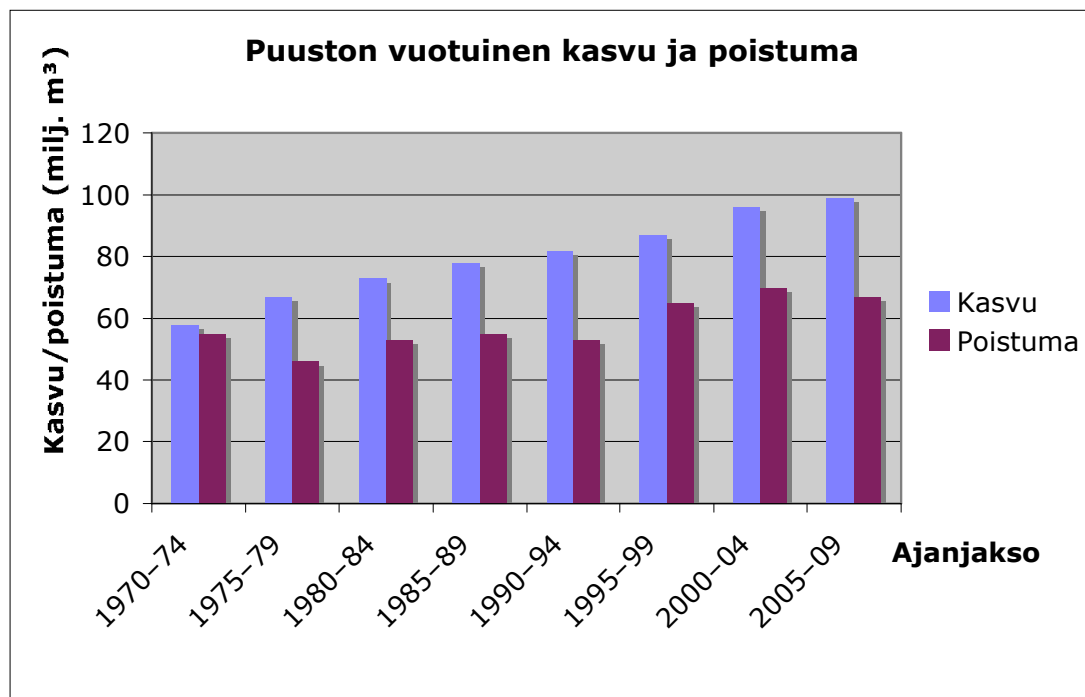
Liite 3. Kyselyn vastaukset (osin salainen)

1 JOHDANTO

Suomen pinta-alasta on metsää 70–86 prosenttia, riippuen siitä minkälainen puusto lasketaan metsäksi. Metsäsektoriin sisältyy metsätalous ja –teollisuus. Se on perinteisesti ollut ja on edelleen Suomen talouden kantavia voimia. Tosin sen merkitys on vuosi vuodelta vähentynyt. Vuonna 2008 maan bruttokansantuotteesta lähes viisi prosenttia tuli metsäsektorilta ja tätä seuraavanakin vuonna yli neljä prosenttia. (1)

Kasvihuoneilmiön lisääntyessä valtioilla on paineita kehittää ja lisätä uusiutuvien energiaraaka-aineiden käyttöä. Euroopan parlamentti on asettanut tavoitteeksi, että unionin kokonaisenergiankulutuksesta 20 prosenttia tuotettaisiin uusiutuvilla energialähteillä vuoteen 2020 mennessä. Jo nyt Suomessa päästään tähän lukemaan, joten maan tavoite on nostettu korkeammaksi, 38 prosenttiin. (2) Tämän tavoitteen toteuttamiseen on hyvät mahdollisuudet puupohjaisten energiaraaka-aineiden käyttöä lisäämällä. Hakkuutähteistä – kuten oksista, kannoista ja jalostukseen kelpaamattomasta pienpuusta – tehtyä metsähaketta käytettiin Suomessa vuonna 2009 energiantuotantoon tähän asti ennätyksellinen määrä eli 5,4 miljoonaa kuutiometriä. Vuoteen 2020 mennessä metsähakkeen käyttö pyritään lisäämään 13 miljoonaan kuutiometriin. (3)

Puupohjainen bioenergia – tässä opinnäytetyössä tarkastellaan puupohjaista – laskeaan hiilidioksidineutraaliksi, sillä puun poltossa syntyvä hiilidioksidi päätyisi ilmakehään joka tapauksessa puiden lahotessa metsässä. Poltossa hiili vain vapautuu lahoamista nopeammin kasvien ja ilmakehän väliseen hiilen kiertoon. Suomen metsissä olevat puuvarat lisääntyvät koko ajan ja puut sitovat hiiltä tehokkaasti kasvaessaan. Näin ollen, vaikka puun energiakäyttöä lisättäisiinkin, metsät toimisivat silti ilmaston kannalta hyvinä hiilinieluinä. (4: 110) Kuvasta 1 voidaan huomata, että vuosittain puuta kasvaa enemmän kuin sitä poistuu korjuun tai luonnollisen lahoamisen seurauksena. Lisäksi jokaisena tarkasteltuna ajanjaksona puuston määrä on lisääntynyt edelliseen jaksoon verrattuna.

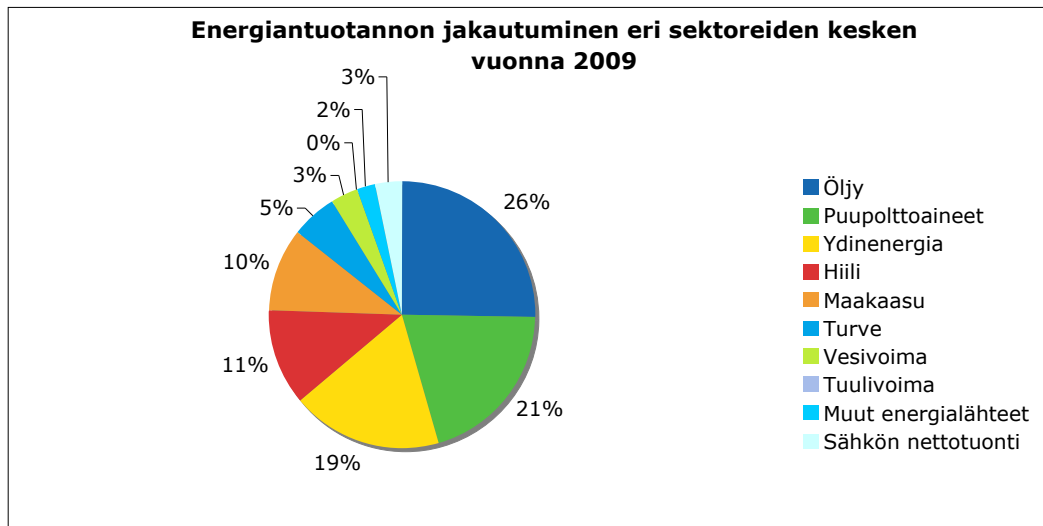


Kuva 1. Suomen puuston kasvu ja poistuma 1970-luvulta nykypäivään (5)

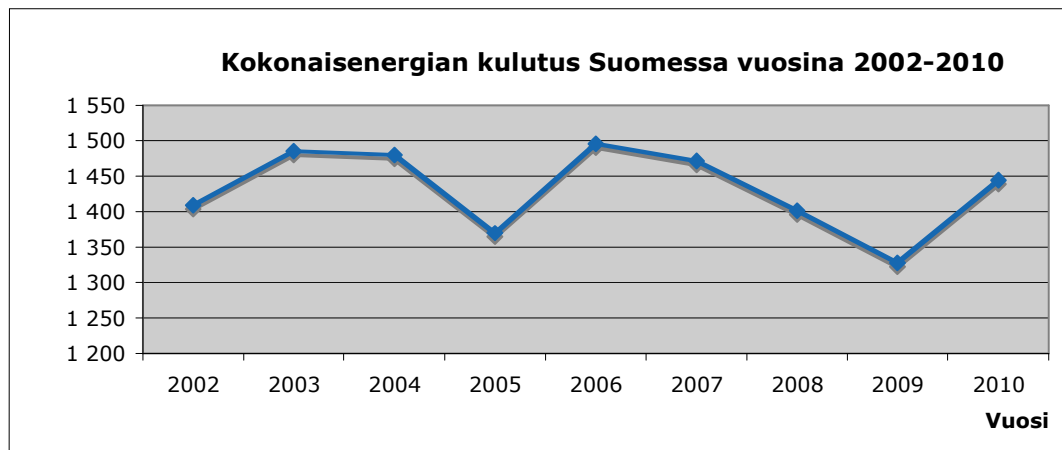
Tätä opinnäytetyötä varten on haastateltu Suomessa toimivia biopolttolaitoksia, jotka joko osittain tai kokonaan käyttävät energialähteenään puupohjaisia raaka-aineita. Biovoimaloiksi kutsutaan myös muita materiaaleja, kuten kotitalousjätteitä polttavia laitoksia. Tällaisia polttolaitoksia ei ole tässä opinnäytetyössä otettu huomioon teoriaosuudessa eikä tutkimusosassa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Suomessa tällä hetkellä toimivia puuta polttavia voimalaitoksia mahdollisimman kattavasti, jotta tutkimuksessa saaduista tuloksista tulisi luotettavia. Haastattelussa selvitettiin muun muassa voimalaitosten ominaisuuksia, käytettävien energiaraaka-aineiden laatua ja syntyvän tuhkan määrää, laatua ja hyötykäyttöön soveltuvuutta.

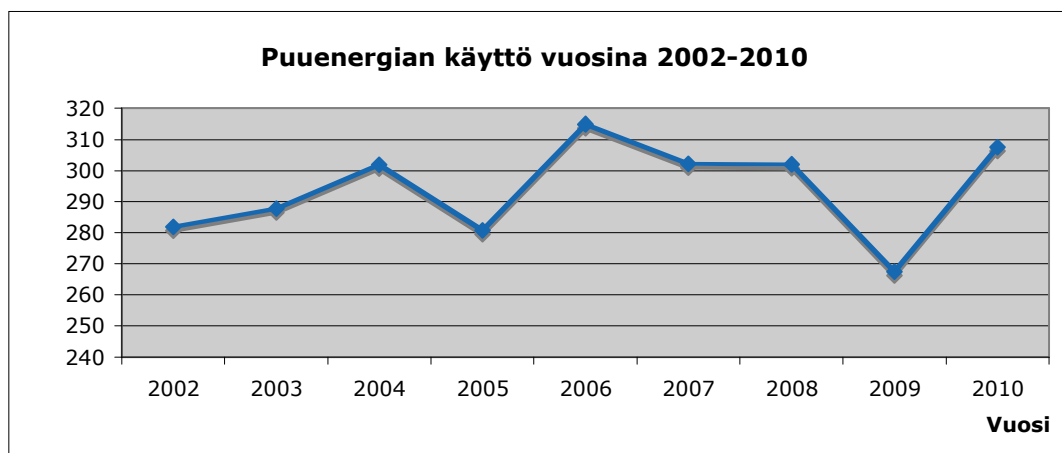
Toimeksianto opinnäytetyöhön tuli Apila Group Oy:ltä, joka on ympäristökonsultointia ja asiantuntijapalveluita tarjoava yritys. Sopimukset työstä tehtiin jo syksyllä 2010 mutta varsinainen kirjoitusprosessi pääsi vauhtiin vuoden 2011 keväällä. Haastattelututkimus suoritettiin saman vuoden touko- ja syyskuun välisenä aikana.



Kuva 2. Suomen energiantuotannon prosentuaalinen jakautuminen eri sektoreiden kesken vuonna 2009 (19)



Kuva 3. Kokonaisenergian kulutus Suomessa vuosina 2002–2010 (5)



Kuva 4. Puuenergian käyttö Suomessa vuosina 2002–2010 (5)

2 PUUPOHJAISET POLTTOAINEET ENERGIAN TUOTANNOSSA

2.1 Palaminen ja puun energiapoltossa huomioitavaa

Palamiseksi kutsutaan kemiallista reaktiota, jossa aine – alkuaine tai yhdiste – yhtyy hapen kanssa. Ilman happea palamista ei voi tapahtua. Vaikka yleensä palamiseksi mielletään nopeat reaktiot, joissa syntyy valoa ja runsaasti lämpöenergiaa, myös esimerkiksi hitaasti tapahtuva raudan ruostuminen on palamista. Happipitoisuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa palamisreaktioon – mitä enemmän happea, sitä nopeampaa palaminen on. Paloajalla sekä polttoaineen ja hapen sekoittumisella on suurin vaikutus siihen, miten täydellisesti aine palaa. (6)

Palamisessa syntyy hapen yhdisteitä, joita kutsutaan oksideiksi. Esimerkiksi hiilen palaessa syntyy hiilidioksidia (CO_2) ja hiilimonoksidia (CO), typen yhtyessä happeen typpidioksidia (NO_2) ja typpimonoksidia (NO) Rikki muodostaa palaessaan rikkidioksidia (SO_2). Useat oksidit ovat haitallisia ympäristölle ja jopa vaarallisia hengitettynä. (6)

Polttoaineen ominaisuudet vaikuttavat suuresti palamiseen. Märän polttoaineen käyttämisestä syntyy paljon vesihöyryä ja sen tehollinen lämpöarvo on alhainen. Palaminen jää epätäydelliseksi palamislämpötilan ollessa alhainen. Polttoaineen pitäisi siis olla aina mahdollisimman kuivaa parhaan energiahyödyn saamiseksi. (7)

Puussa on hiiltä 48–52 prosenttia, vetyä noin kuusi prosenttia ja happea 38–42 prosenttia. Kuiva-aineessa on haihtuvien aineiden osuus 70–85 prosenttia. Puun kuoressa on haihtuvia aineita vähemmän kuin kokopuussa. Polttoaine käy palaessaan läpi seuraavat vaiheet: polttoaineen kuivuminen, haihtuvien aineiden irtoaminen eli kiinteän olomuodon muuttuminen kaasumaiseksi, joiden jälkeen seuraa kaasujen palaminen ja lopuksi jäännöshiilen palaminen. (7)

2.2 Polttoaineen lämpöarvo

Kullakin polttoaineella on sille ominainen lämpöarvo. Se kertoo kuinka paljon lämpöä kehittyy polttoaineen massaa kohti täydellisessä palamisessa. Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden lämpöarvo ilmoitetaan tavallisesti megajouleina polttoainekiloa kohti, eli yksikkö on MJ/kg. Kaasumaisia polttoaineita käytettäessä lämpöarvo ilmoitetaan megajouleina kuutiometriä kohti, jolloin yksiköksi tulee MJ/m³. (8: 27)

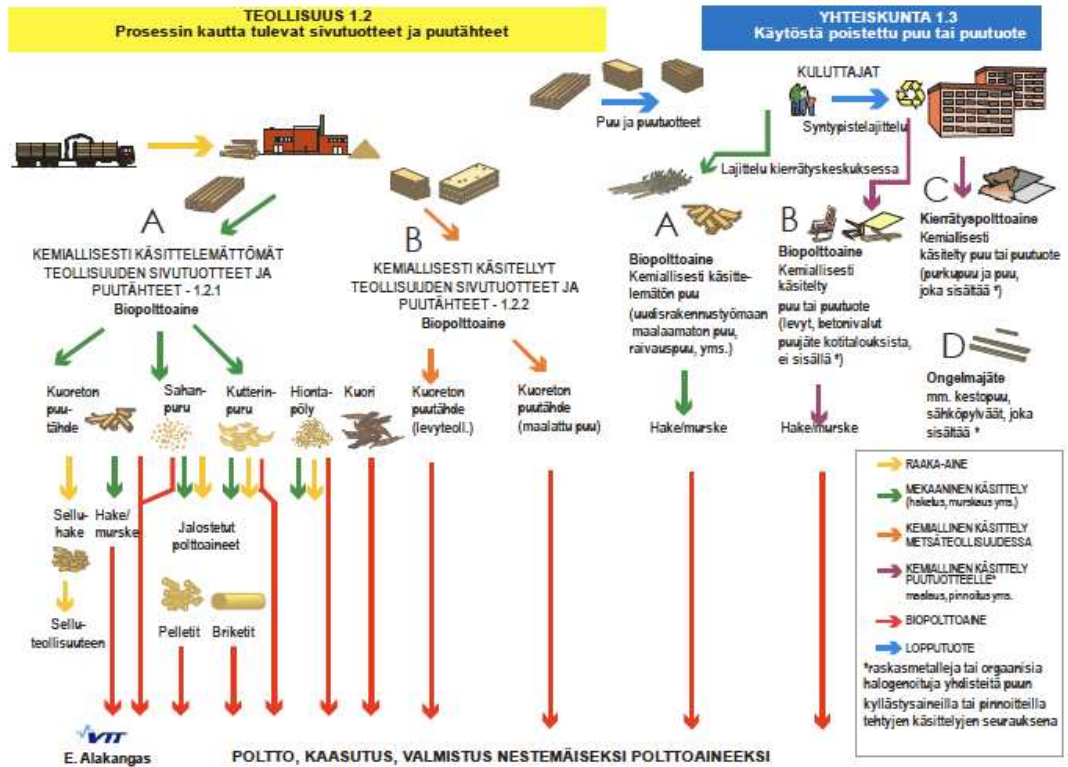
Ylempi lämpöarvo eli kalorimetrinen lämpöarvo tarkoittaa vapautuvaa lämpömäärää, joka vapautuu massayksikön polttoainetta palaessa täydellisesti. Palaessa syntyvä ja polttoaineessa ollut vesi on tällöin nesteenä peruslämpötilassa (+25 °C). Kalorimetrin lämpöarvon määrittäminen tapahtuu pommikalorimetrissä. Alemmaksi lämpöarvoksi eli teholliseksi lämpöarvoksi kutsutaan lämpömäärää, joka muodostuu poltettaessa yksi massayksikkö polttoainetta, kun palamisessa syntyvä vesi höyrystyy ja jäähtyy takaisin alkulämpötilaan pysyen höyryn muodossa. Se saadaan kalorimetrisestä lämpöarvosta muunnoskaavan avulla ottamalla huomioon polttoaineen sisältämän vedyn palamisen yhteydessä syntyvän ja savukaasuissa poistuvan veden haihduttamiseen tarvittava lämpömäärä. Tehollinen ja kalorimetrinen lämpöarvo ilmoitetaan yleensä kuivaainetta kohti. Suomessa polttoaineen lämpöarvo ilmoitetaan yleensä tehollisena lämpöarvona. Toimituskostean eli saapumistilassa olevan polttoaineen lämpöarvo laskeaan kuiva-aineen tehollisesta lämpöarvosta. (8)

2.3 Puupolttoaineiden jaottelu

Puupohjaiset polttoaineet ovat biomassaa, joka on koostumukseltaan joko osittain tai kokonaan puuta. Esimerkkejä puupohjaisista polttoaineista ovat puun kuori, hake, vanerimurske ja pelletit.

Puupohjaiset polttoaineet voidaan jakaa poltettavuutensa perusteella neljään ryhmään: 1. ryhmään kuuluu puhdas, kemiallisesti käsittelemätön puu, jossa ei ole mitään muita aineita. 2. ryhmään kuuluu kemiallisesti käsitelty puu, eli puu, jonka seassa on muita aineita. 3. ryhmään kuuluvat kierrätyspolttoaineet, esimerkiksi lastulevyhuonekalut. Lisäksi on 4. ryhmä, johon kuuluu kemiallisesti kyllästetty puutavara eli kestopuu. (9)

Biopolttoaineryhmille 1 ja 2 ei sovelleta jätteenpolttoasetusta. Niille käytetään EN 14961-1-standardia. Ryhmän 3 biopolttoaineille sovelletaan jätteenpolttoasetuksen normia ja käytetään standardia CEN/TS 15359, joka on valmisteilla oleva kierrätyspolttoaineiden vaatimuksia ja luokkia koskeva Euroopan yhtenäinen standardi. (9)



Kuva 5. Puunjalostusteollisuuden sivutuotteiden ja tähteiden, sekä käytöstä poistetun puulle ja puutuotteiden luokittelu Suomessa (9)

2.3.1 Puhdas puu

Puhtaaseen puuhun ei ole lisätty mitään siihen luontaisesti kuulumattomia aineita.

Raaka-aineen kosteus ei vaikuta sen luokitteluun kemiallisen käsittelyn suhteen ja se voi siis olla joko tuoretta (märkää) tai kuivattua. Käsittelemättömän puun polttamiseen energian tuottamista varten voimalaitoksissa ei tarvita ympäristölupaa. (9)

1. ryhmään kuuluvaa puhdasta puuta ovat esimerkiksi halot, kuori, vanerintuotannossa syntyvät viilunkappaleet ja purilaat, puupelletit, korjuutähteet metsästä (metsähake), sahausjäte kuten puru ja hake, sekä maalaamaton rakennuspuu. (9)

Metsähakkeen energiakäyttöön sisältyy raaka-aineita vertailtaessa paljon lisäyspotentiaalia. Muun muassa sahojen ja levytehtaiden sivutuotteina syntyvät purut ja hylkyviilut hyödynnetään jo nykyisin varsin hyvin. Eri puuhakemuotojen kosteus on korkea, 40–60 %. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 6–9 MJ/kg (LIITE 1).

2.3.2 Puu, jonka seassa on muita aineita

2. ryhmään kuuluu pinnoittamalla, maalaamalla, lakkaamalla tai muulla tavoin kemiallisesti käsiteltyä puuta, kuten vaneritähteet, lastulevy, huonekaluteollisuuden hylkytuotteet, rakennustyömaiden puutähteet ja betonivalumuotit. Ryhmään laskettavat puut eivät saa sisältää halogenoituja orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja. Ryhmiin 1 ja 2 kuuluvia polttoaineita saa polttaa ilman jätteenpolttoasetuksessa vaadittuja lisäjärjestelmiä, kuten savukaasusuodattimia tai mittausjärjestelmiä. (10)

Puulevyt, kuten vaneri ja lastulevy, on valmistettu liimaamalla. Vaneri sisältää fenolihartsiliimaa ja lastulevy ureaformaldehydihartsia tai ureamelamiiniformaldehydihartsia riippuen levyn suunnitellun käyttökohteen kosteudesta. Liimaa on levyssä kuitenkin niin pieni osa verrattuna puuaineen määrään, että se ei vaikuta ympäristön kannalta levyjen polttoon. Palamislämpötilan on oltava puulevyjen poltossa vähintään 800 °C, jotta hiukkaspäästöt pysyisivät riittävän matalina. (11: 226)

Puulevyjen kosteus on alhainen, joten niiden lämpöarvo on parempi kuin useimpien muiden puupohjaisten polttoaineiden, etenkin tavallisesti kosteina poltettavien materiaalien. Esimerkiksi vaneritähteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 16 - 18 MJ/kg (LIITE 2), mikä on parempi kuin useimmilla ryhmän 1 tuoreilla puupolttoaineilla. Liimat sisältävät kuitenkin alkaleja, jotka tietyissä kattiloissa saattavat haitata palamista. Tuhkan korkea alkalipitoisuus aiheuttaa kattilaan korroosio-ongelmia. (11: 207)

2.3.3 Puupohjaiset kierrätyspolttoaineet

3. ryhmään kuuluvat puupohjaiset kierrätyspolttoaineet, jolloin materiaalissa, sen pinnoitteessa tai maalissa on halogeeni- eli tärkeimpänä kloorin ja fluorin yhdisteitä. Ryhmään 3 kuuluvat polttoaineet eivät kuitenkaan saa sisältää puunkyllästysaineita. Luokkaan 3 kuuluvat kierrätyspolttoaineiden lisäksi sellaiset puupohjaiset energiaraaka-aineet, joiden alkuperän määrittely on hankalaa. Esimerkkejä tähän ryhmään kuu-

luvista materiaaleista ovat käytetyt, elinkaarensa päässä olevat huonekalut, käytöstä poistetut keittiökaapistot ja muu pinnoitettu lastulevy sekä rakennusten purkupuu ilman kyllästettyä puutavaraa. Näiden energiakäyttöön sovelletaan jätteenpolttoasetusta. (8)

Mistäään käytettävissä olevasta lähteestä ei löytynyt lämpöarvotietoja ryhmään 3 kuuluville kierrätyspolttoaineille. Tämä johtuu luultavasti siitä, että näitä käytetään kohtuullisen vähän, polttoerät ovat satunnaisia ja poltettava materiaali epähomogeenista, jolloin lämpöarvon mittaaminen on hankalaa. Maaleissa ja lakoissa olevat polymeerit kuitenkin nostavat useiden tähän ryhmään kuuluvien materiaalien lämpöarvoa. Lisäksi niiden kosteus on suhteellisen alhainen.

2.3.4 Kyllästetty puu

Kaikki kyllästetty puu luokitellaan ongelmajätteeksi. Ryhmän 4 esimerkkejä ovat rakennusten purkupuu, joka sisältää puunkyllästysaineilla käsiteltyä puuta, kestopuusta valmistetut ja elinkaarensa päässä olevat terassilaudoitukset sekä vanhat sähkö- ja puhelinpylväät ja ratapölkkyt. (8)

Kupari, kromi, arseeni ja kreosoottijäätymään sisältyvät PAH-yhdisteet tekevät kestopuusta ongelmajätettä (12). Sitä ei saa polttaa ilman erityisjärjestelyjä ja ennalta oli oletus, että Suomessa korkeintaan yhdessä ongelmajätteen polttolaitoksessa voitaisiin sitä polttaa. Savukaasujen suodatukselle ja tuhkan loppusijoitukselle on olemassa tiukat monitorointijärjestelmät.

2.4 Energiantuotannossa käytettävät polttokattilat

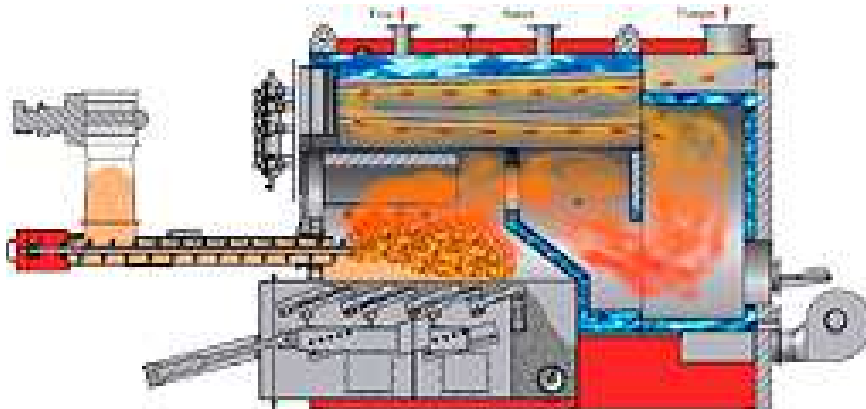
Suomessa puuhun pohjautuvan energian tuottamiseen voimalaitoksissa käytetään pääasiassa kahdentyypisiä polttokattiloita: arina- ja leijupetikattiloita. Lisäksi vähemmän käytettyjä kattilavaihtoehtoja ovat stokeripolttimet sekä polttoaineen kaasuttamiseen perustuvat polttimet. Polttolaitoksen koko ja käytettävät polttoaineet vaikuttavat suuresti polttokattilan valintaan. (4: 92–98)

2.4.1 Arinapoltto

Arinakattilan polttoaineeksi soveltuvat erityisen hyvin niin puupohjaiset, kuin muutkin alhaisen tuhkapitoisuuden omaavat polttoaineet. Palaminen on hyvin voimakasta arinakattiloissa, joka johtaa arinan palopään korkeaan lämpötilaan. Tästä johtuen polttoaine palaa hyvin tehokkaasti ja arinakattilaa käytettäessä on mahdollista päästä hyvin pieniin palopäästöihin. Huonona puolena korkeassa lämpötilassa tapahtuvasta palamisesta on tuhkan mahdollinen sulaminen, mistä muodostuu kuonaa polttokattilaan. Puun seassa poltettava turve pahentaa tuhkan sulamisongelmaa. Kuonalla tarkoitetaan polttokattilaan jääviä palamattomia aineita. Yleensä alle 1 MW:n laitoksissa käytetään arinakattiloita, joissa on kiinteä arina. (4: 97)

Arinakattilassa voi olla myös mekaaninen liikkuva tai pyörivä arina. Suuremmissa, kuitenkin alle 10 MW:n voimalaitoksissa käytetään yleisesti liikkuva-arinaista kattilaa. Pyörivää arinaa käytettiin alun perin hyvin kosteille polttoaineille, kuten sahoilta tulevalle kuorelle ja purulle. Nykyään sitä käytetään puupohjaisista polttoaineista myös metsähakkeelle. Polttoaineen kosteus saattaa olla jopa 65 %. Mekaanisesti liikuttava arina tehostaa polttoaineen palamista. (4: 97)

Märkä polttoaine syötetään arinan yläosan keskelle alakautta, jossa se aluksi kuivuu. Osittain palanut ja osittain kaasuuntunut savukaasu johdetaan jälkipalotilaan, jossa syntyneet kaasut poltetaan loppuun. Erillisessä tulitorvi-tuliputkikattilassa savukaasujen lämpö otetaan talteen. Kattila on joko kuumavesi-, kuumaöljy- tai höyrykattila. (4: 97)



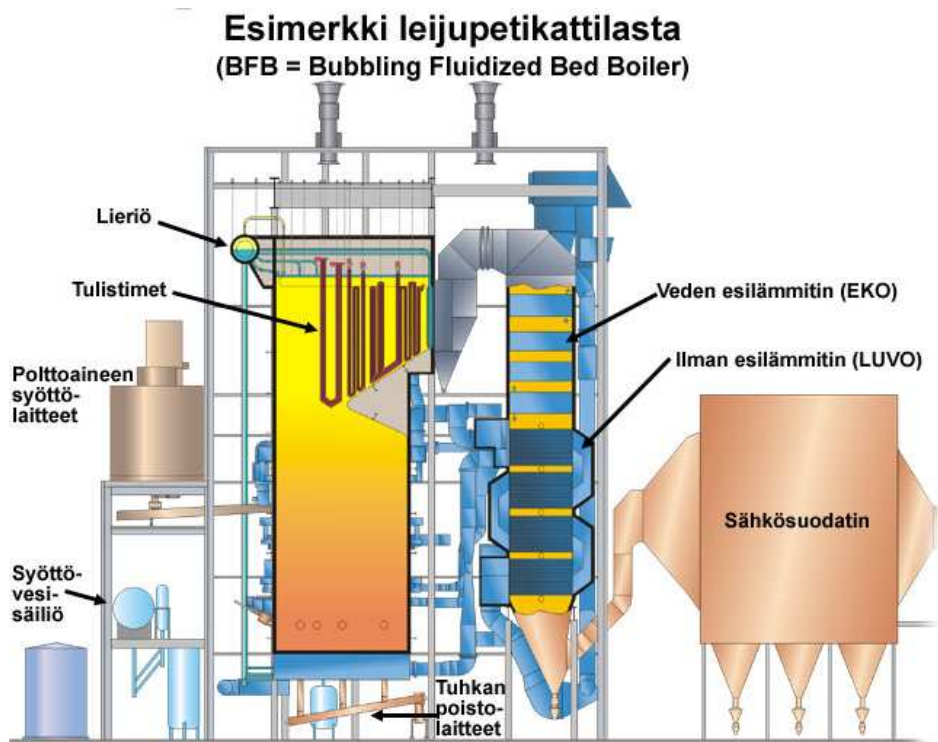
Kuva 6. Arinakattila (13.)

2.4.2 Leijukerros poltto

Leijukerros poltossa käytetään kahta erilaista menetelmää: kuplivakerros- ja kiertokerros menetelmää. Kuplivakerros on yleisempi pienemmän kokoluokan voimalaitoksissa. Leijukerros polttoon käyttävät aluelämpölaitokset ovat teholtaan vähintään 4 MW. Kiertokerros polttoaineena käytetään usein hiiltä. (4: 98)

Polttoaine palaa leijupoltossa kiehuvan veden tapaan kuplivan hiekkakerroksen sisällä, minkä takia aineen- ja lämmönsiirto on tehokasta. Etuna leijukerros poltossa on tehokas palaminen suhteellisen matalassa lämpötilassa (noin 900 °C), jolloin myös typioksidipäästöt (NO_x) jäävät vähäisiksi. Syöttämällä kattilaan kalkkia voidaan eliminoida rikkidioksidipäästöt (SO_2). (3: 98) Kiertokerros poltossa kattilaan ajetaan ilmaa suurella nopeudella, jolloin siellä oleva hiekka alkaa kiertyä kattilan sisällä ”hiekkamyrslynä”. (14)

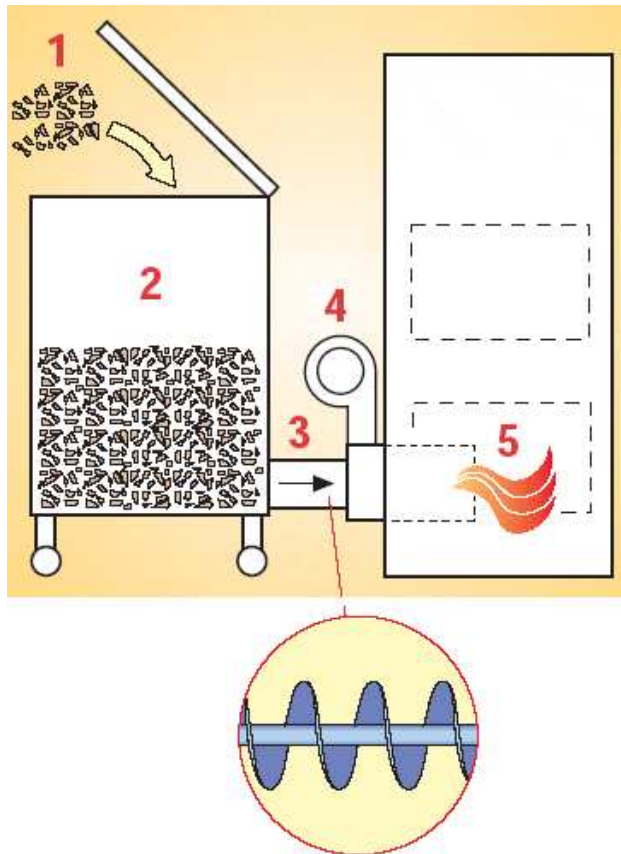
Leijukerros poltossa käytettävien raaka-aineiden on oltava hyvin pienijakoisia, jotta leijutus onnistuu kunnolla. Soveltuvia puupohjaisia polttoaineita ovat muun muassa hake, kuori ja sahausjäte. (4: 98)



Kuva 7. Leijupetikattila (15)

2.4.3 Stokeripoltin

Kaikkein pienimmissä, kokoluokaltaan 500 kW:n laitoksissa käytetään usein stokeripolttimia. Niitä on kahdenlaisia: alasyöttöstokereita, sekä isoja vaakasyöttöisiä stokeriteita. Polttoaineena stokeripolttimissa käytetään yleisimmin haketta, mutta myös sahanpurun, turvepellettien ja palaturpeen polttaminen on mahdollista. (4: 96)



Kuva 9. Stokeripolttimen rakennekuva (7)

2.4.4 Kiinteäkerroskaasutus

Kaasutin on pystyssä oleva pyöreä reaktori, johon polttoaine syötetään ylhäältä käsin ja syntyvät kaasutkin poistuvat yläkautta. Tuhka poistuu reaktorin pohjalla olevan pyörivän arinan läpi. Kaasuttimeen syötetään ilmaa vastavirtaan polttoaineen syöttöön nähden. Vastavirtaperiaatteesta johtuen kaasu sisältää paljon tervamaisia yhdisteitä, jonka takia se on poltettava lähellä kaasutinta. (7)

2.5 Poltossa syntyvä tuhka ja sen hyötykäyttö

Puun polttamisessa syntyy tuhkaa. Sen määrä ja laatu vaihtelevat riippuen raaka-aineesta ja palamisolosuhteista. Polttokattilasta poistettua tuhkaa kutsutaan pohjatuhkaksi ja savukaasuista erotettua tuhkaa lentotuhkaksi. Lentotuhka luokitellaan ongelmajätteeksi sen pienhiukkasiin tarttuneen suuren raskasmetallimäärän vuoksi. (17)

Puutuhka koostuu enimmäkseen piidioksidista ja alumiinioksidista. (18: 84) Se sisältää lisäksi seuraavia alkuaineita: 10 - 30 prosenttia kalsiumia (Ca), yhteensä noin 2 prosenttia kaliumia (K) ja magnesiumia (Mg) ja noin 1 prosentin fosforia (P). Lisäksi puutuhkassa on pieniä määriä kadmiumia, kuparia kromia ja rikkiä. Puutuhka on pH-arvoltaan 9 - 13, joka tarkoittaa sen olevan happamuudeltaan emäksistä. (17)

Aikaisemmin poltossa syntyvä tuhka on läjitetty kaatopaikoille. Viime aikoina on kuitenkin alettu ymmärtää tuhkan hyötykäytön mahdollisuus. Sitä onkin alettu käyttää muun muassa teiden rakennuksessa ja metsien lannoituksessa. (19) Tuhkan käyttömahdollisuuksia betonin raaka-aineena tutkitaan (11). Sisältämiensä ravinneaineiden ja kalkitusvaikutuksensa vuoksi puutuhka soveltuu erinomaisesti metsämaan pH-pitoisuuden nostoon tähtäävään lannoitukseen ja monien ravinnehäiriöiden korjaamiseen. Tuhkan mukana kulkeutuu luonnollisesti takaisin metsään sieltä puun korjuun myötä poistuneet ravinteet. (17)

3 POLTTOLAITOKSILLE TEHTY HAASTATTELUTUTKIMUS PUUPOHJAISTEN MATERIAALIEN KÄYTÖSTÄ ENERGIANTUOTANNOSSA

3.1 Aineisto ja menetelmät

Haastattelututkimukseen valittiin puuta eri muodoissaan polttoaineena käyttäviä biovoimaloita eri puolilta Suomea. Aluksi oli tarkoitus jaotella polttolaitokset alueellisesti, mutta lähemmin tarkasteltuna se vaikutti turhalta ja vastaustulosten saamista hankaloittavalta. Näin ollen jaottelu jätettiin pois lopullisesta tutkimuksesta. Haastatteluun laadittiin 16 kysymystä, jotka esitettiin 55 eri polttolaitoksen edustajalle Zef®-ohjelmalla tehdyllä haastattelulomakkeella. Haastattelulomake on liitteessä 2. Alkuperäisenä tavoitteena oli saada vastausten määrä nousemaan 70 prosenttiin. Haastattelututkimuksen tulokset ovat liitteessä 3.

Tutkimukseen mukaan otetuista voimalaitoksista suurin osa oli Energiategollisuus ry:n jäsenten ja niiden osakkuusyhtiöiden omistamia lämpövoimalaitoksia. Näistä suurimmassa osassa tuotetaan samanaikaisesti sekä lämpö- että sähköenergiaa.

Tutkimuksesta saatavan tiedon kannalta tärkeimpinä kysymyksinä pidettiin seuraavia kysymyksiä:

- ★ 3. Mikä on polttolaitoksen teho (kokoluokka)?
- ★ 5. Mitkä ovat pääasialliset puupohjaiset raaka-aineet laitoksenne energiantuotannossa ja mitkä ovat prosenttiosuudet (noin)?
- ★ 9. Mihin puun poltossa syntyvä energia käytetään? Suuntaa-antava prosenttijakauma myös toivottava.
- ★ 12. Millaiselta polttolaitoksen tulevaisuus näyttää? Onko puuhun pohjautuvaa energiantuotantoa lisätä/vähentää, tai laajentaa polttoaineena käytettävien raaka-aineiden määrää lähivuosina?
- ★ 13. Paljonko tuhkaa syntyy vuodessa nykyisillä polttomäärillä?
- ★ 14. Mitä tuhkalta tehdään, meneekö se hyötykäyttöön?

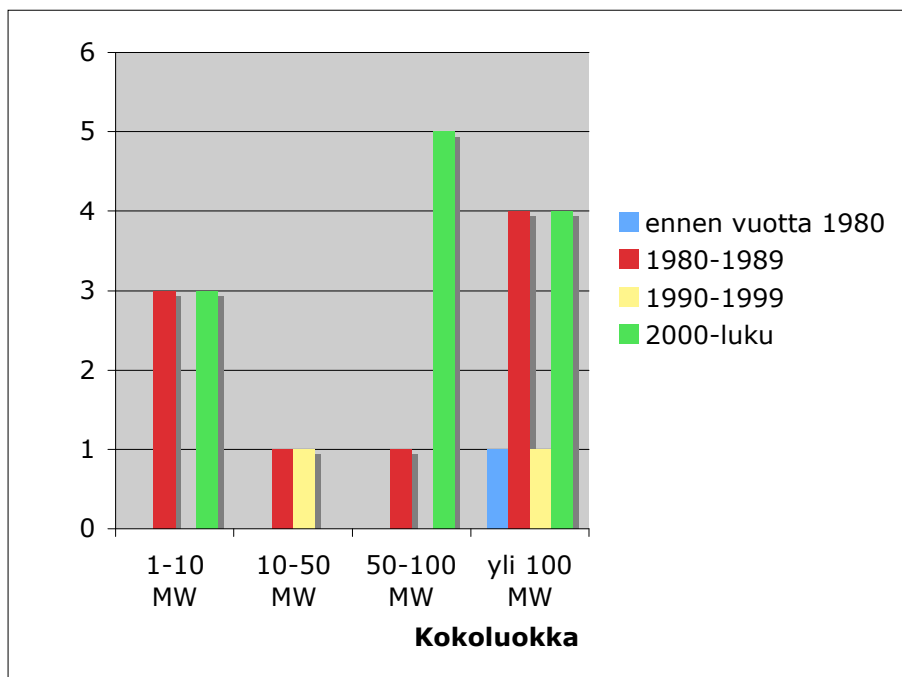
Kysymys numero 3 voimalaitoksen tehosta on tärkeä siksi, että siitä saatavat vastaukset määrittelevät laitokset kokonsa mukaiseen järjestykseen. Vastausvaihtoehdot olivat 1–10 MW, 10–50 MW, 50–100 MW ja yli 100 MW. Viidennen kysymyksen tarkoituksena oli kartoittaa energiantuotannon kannalta oleelliset polttoainetiedot, koska poltettavan raaka-aineen laadulla on hyvin suuri merkitys saadun energian määrään. Kysymyksessä 8 kysytty palolämpötila vaikuttaa syntyviin palokaasuihin ja tuhkan määrään (7). Kysymyksen 9 tarkoitus oli antaa tärkeää tietoa syntyvän energian jakautumisesta sähkön- ja lämmöntuotannon kesken. Kymmenennen kysymyksen tarkoituksena oli yhdessä voimalaitoksen tehoa kartoittavan kysymyksen kanssa antaa tietoa siitä, pitääkö teoriaosuudessa kerrottu jaottelu tehon ja polttokattilan välisestä yhteydestä paikkansa, eli että pienen kokoluokan laitokset käyttävät arina- ja suuremmat leijupetikattiloita. Tuhkaa käsittelevät kysymykset olivat sitä varten, että niistä saaduista vastauksista ilmeni mahdollisesti uusia käyttökohteita tuhkan jatkokäsittelyyn.

3.2 Tulokset

Kyselyyn vastaamisen aloitti 36 voimalaitoksen edustajaa eli 60 prosenttia kutsutuista, mutta loppuun asti kaavakkeen täytti 34 henkilöä. Täten haastattelututkimuksen lopullinen vastausprosentti jäi hieman toivottua alhaisemmaksi 57 prosenttiin. Niille kutsuille vastaajille, jotka eivät olleet aloittaneet vastaamista tai olivat jättäneet sen kesken, lähetettiin muistutusviesti. Siitä oli apua neljän vastaajan kohdalla. Osa kuvista on Zef-ohjelman raportista kopioituja.

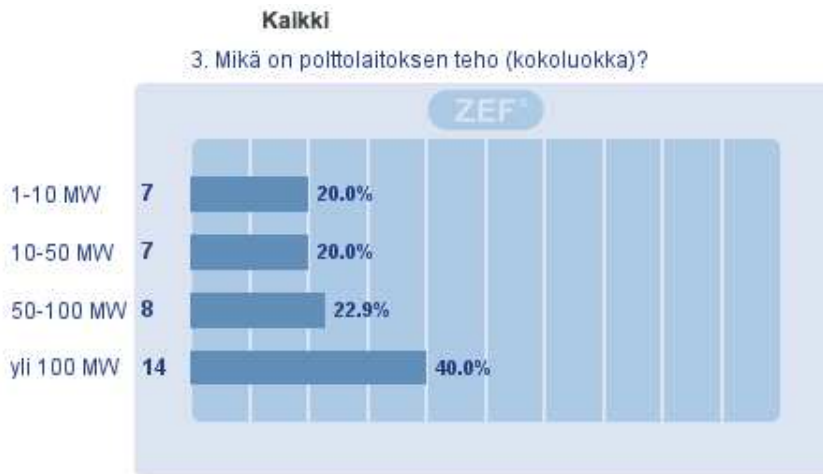
3.2.1 Voimalaitosten koko

Haastattelututkimuksessa selvisi, että voimalaitokset oli rakennettu vuosien 1960 ja 2010 välisenä aikana. 2000-luvulla on rakennettu noin 30 % tutkituista voimalaitoksista. Kuvassa 10 on esitetty eri vuosikymmenillä rakennettujen voimalaitosten kokovertailu. 2000-luvulla on rakennettu lukumääräisesti eniten voimalaitoksia. Niissä on sekä suuria että pieniä voimaloita. Suuria voimaloita on rakennettu melko tasaisesti kaikilla vuosikymmenillä ja niitä on rakennettu edelleen melko runsaasti viime vuosikymmenelläkin. Kysymyksellä haluttiin katsoa onko rakennusvuodella ja voimalaitoksen koolla riippuvuutta, mutta tällaista suoraa korrelaatiota ei löytynyt tämän aineiston perusteella. Kaikilta voimalaitoksilta ei saatu rakennusvuotta tietoon, joten vertailun aineisto ei kattanut koko tutkimusta.



Kuva 10. Voimalaitosten kokovertailu

20 % voimalaitoksista oli teholtaan 1–10 MW. Myös kokoluokaltaan 10–50 MW:n voimalaitoksia oli 20 % . Lähes 23 % kuului välille 50–100 MW. Selkeästi eniten kuului yli 100 MW:n voimaloihin: 40 % vastaajista.

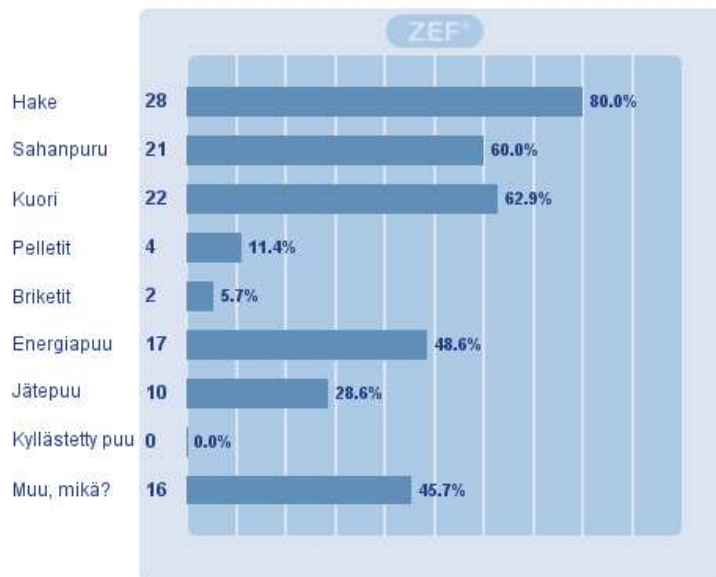


Kuva 11. Polttolaitosten kokoluokat

3.2.2 Voimalaitosten polttoaineet

Niissä 28:ssä laitoksessa, joessa ilmoitettiin poltettavan haketta, sen osuus polttoaineista vaihteli välillä 3–95 %. Kuten myös seuraavasta kuvaajasta (kuva 12) voidaan huomata, hake oli useimmin käytetty puupohjainen polttoaine. Sahanpurua käytettiin polttoaineena 21:ssä voimalaitoksessa ja osuus vaihteli 2 ja 55 prosentin välillä. Jätettä ilmoitettiin poltettavan yhdeksässä voimalaitoksessa. Yksikään haastatelluista voimalaitoksista ei ilmoittanut polttavansa kyllästettyä puutavaraa. Kysymyksen viimeiseen ”Muu, mikä?” –alakohtaan 16:sta vastanneesta 11 ilmoitti polttavansa turvetta ja kaksi hiontapölyä. Turpeen polttoa tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan tutkittu, joten vastaustulos jätetään tältä osin huomiotta.

5. Mitkä ovat pääasialliset puupohjaiset raaka-aineet laitoksenne energiantuotannossa ja mitkä ovat %-osuudet (noin)?



Kuva 12. Kuvaaja haastattelun polttoainejakaumasta. Ensimmäinen luku kertoo vastanneiden lukumäärän ja prosenttiosuus esimerkiksi hakkeen osalta sen, että sitä poltetaan keskimäärin 80,6 % kaikista polttoaineista kaikissa hakkeen polton ilmoittaneissa voimalaitoksissa.

26 % kyselyyn vastanneista kertoi voimalaitoksessa poltettavan jätepuuta. Näille yhdeksälle lähetettiin vastausta tarkentavia kysymyksiä. Alkuperäisessä kyselylomakkeessa jätepuuta käsittelevä kohta oli jäänyt epätasälliseksi. Tarkennusviestillä haluttiin saada vastauksia polttoaineiden kuuluvuudesta jätteenpolttoasetuksen piiriin, jätepuun lämpöarvon paremmuudesta, sekä siihen, vaikuttavatko puun seassa olevat lisäaineet jotenkin polttoprosessiin. Jätepuun polttoon liittyvää tietoa pidettiin yhtenä tutkimuksen kiinnostavimmista kysymyksistä. Lisäkyselyyn saatiin vastaus neljältä voimalaitokselta.

Jätepuun osuus kaikesta polttoaineesta vaihteli yhdeksällä vastanneella voimalaitoksella välillä 1–80 %. Enimmäkseen, seitsemällä vastanneella, jätepuun osuus oli 10 % tai sen alle. Tämän tutkimuksen perusteella jätepuun poltto on toistaiseksi varsin vähäistä verrattuna kaikkeen puupohjaiseen energiantuotantoon.

Kaikki neljä lisäkyselyyn vastannutta kertoi polttavansa jätepuuksi luokiteltavaa puuta rinnakkaispoltoissa puhtaiden puuainesten seassa. Kaksi kysymykseen 5 myöntävästi ja lisäkyselyyn vastannutta voimalaitosta kertoi polttavansa rakennusten purkupuuta, jossa on seassa maalattua ja lakattua puutavaraa. Sen kerrottiin palavan samantyyppisesti

kuin puhdas puu. Se tarvitsee rinnakkaispolttoluvan ja mahdollisesti savukaasupuhdistuksen esimerkiksi kuitusuodattimella.

Vanerimursketta polttavan laitoksen edustaja kertoi mursketta poltettavan kuusen kuoreen sekoitettuna. Koska kyseessä on ryhmään 2 kuuluva polttoaine, mitään ylimääräisiä investointeja puhdistukseen ei tarvita esim. pesureilla. Mielenkiintoinen ja hieman hämmästyttävä tutkimustulos oli eräältä laitokselta saatu vastaus, jonka mukaan suurimman osan heillä poltettavasta jätetuusta muodostaa ratapölkkyhake. Ennako-oletus oli, ettei kyllästettyjä ratapölkkyjä polteta Suomessa muualla kuin yhdessä ongelmajätteen polttoon erikoistuneessa laitoksessa, joka ei kuitenkaan kyseeseen vastannut. Myös ratapölkkyjä polttavassa voimalaitoksessa poltto tapahtuu täysin muiden puutuotteiden ja turpeen seassa, eli yhteispolttona. Laitoksen edustajan mukaan kaikki heidän käyttämänsä polttoaineet luetaan kuuluvaksi biopolttoaineisiin eikä niiden energiakäyttöön tarvita jätteenpolttolupaa. Ratahakkeen poltolle kerrottiin kuitenkin olevan omat lämpötilat ja viipymääjat, jotka polttoprosessin tulee täyttää. Tämän vuoksi savukaasujen koostumusta seurataan tarkasti.

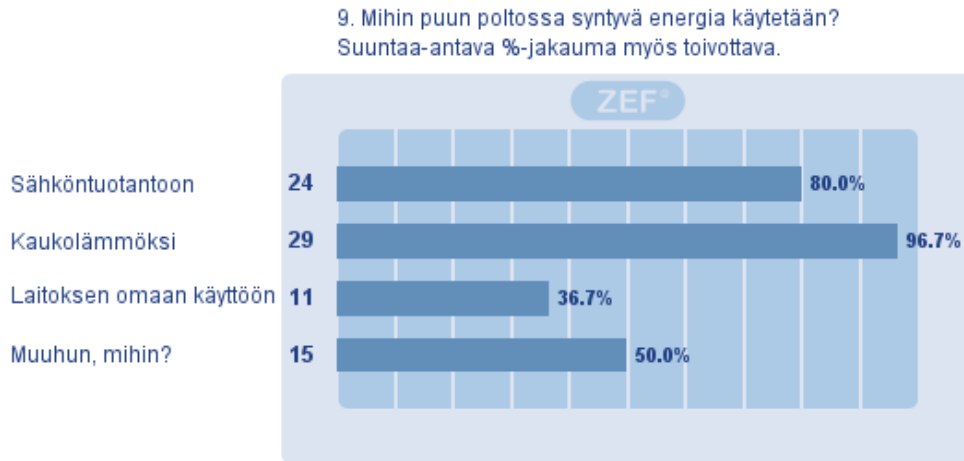
3.2.3 Polttoaineen kosteus ja palamislämpötila sekä käytettävät polttokattilat

Kysymykseen 7 voimalaitosten polttoaineiden kosteudesta vastasi 20 voimalaa. 85 % vastaajista ilmoitti polttoaineena käytettävän yli 26 prosentin kosteudessa olevaa puuta. Ainoastaan yhdessä voimalaitoksessa, jossa poltettiin puupölyä, raaka-aineen ilmoitettiin olevan alle 12 % kosteudessa. Samassa voimalaitoksessa kerrottiin käytettävän polttoaineena yli 80 prosenttisesti vanerimursketta, jonka kosteuden voidaan myös olettaa olevan 10 prosentin luokkaa (LIITE 1). Kahdessa voimalaitoksessa, joka vastaa 10 % kysymyksen vastanneista voimalaitoksista, polttoaineen kerrottiin olevan 18–26 % kosteudessa. Voimalaitoksissa, joissa poltettiin yli 26 %:n kosteudessa olevia polttoaineita, käytettiin yleisesti raaka-aineena haketta, jonka kosteus on 45–60 %.

Yleisimmin puun palamislämpötila oli 850–900 °C. Korkeimmat polttolämpötilat olivat 1200 °C ja alimmat 500 °C. Eniten haastatelluilla voimalaitoksilla oli käytössä leijupetikattiloita. Niitä oli 19:ssä ja arinakattiloita yhdeksässä voimalaitoksessa.

3.2.4 Tuotetun energian käyttö, savukaasujen puhdistus

Keskimäärin puolet kaikesta tuotetusta energiasta menee tutkimuksen mukaan kaukolämmöksi. Ainoastaan yhdessä kyselyyn vastanneista voimalaitoksista kaukolämpöä ei tuotettu ollenkaan. Hieman alle 30 % menee sähköntuotantoon.



Kuva 13. Voimalaitoksessa tuotettavan energian jakautuminen. Prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osuus voimalaitoksista tuotti sähköä, kaukolämpöä ym. Monessa voimalaitoksessa tuotettiin useantyyppistä energiaa, siksi prosentit ovat yhteensä yli 100.

Savukaasujen puhdistuksessa sähkösuodatin oli tavallisin menetelmä. Sen ilmoitti olevan käytössä 41 % laitoksista. 28 % ei vastausten mukaan tarvitse mitään erityisiä puhdistuslaitteita. Multisykloneita oli kolmessa laitoksessa.

3.2.5 Laitosten tulevaisuudennäkymät

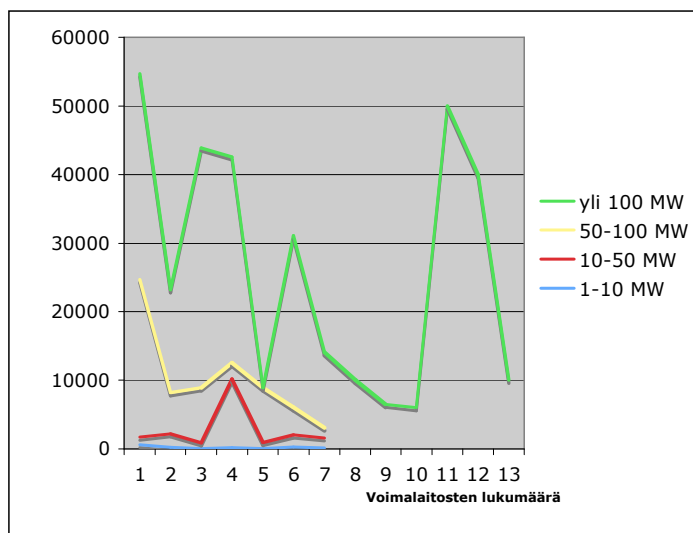
Polttolaitosten toiminta vaikutti olevan vakaalla pohjalla, sillä 19 (56 %) ilmoitti tulevaisuudessa todennäköisesti laitoksen toiminnan pysyvän samanlaisena kuin tänä päivänä. 10 (29 %) taas kertoi tiedossa olevan lisäystä puupohjaiseen energiantuotantoon. Eräs laitos suunnitteli tuotannon kaksinkertaistamista.

3.2.6 Tuhkan määrä, puhdistus ja hyötykäyttö

Puun poltossa syntyvän tuhkan määrä oli suurella osalla polttolaitoksista vaikea arvioida, koska paljolti oli käytössä yhteispolttoa turpeen kanssa. Laitoksissa vuosittain muodostuvan tuhkan määrä vaihteli välillä 45–50 000 t, minkä pystyi hyvin myös suhteuttamaan laitosten kokoon ja tehoon. Missään laitoksista ei kerrottu tuhkaa puhdis-

tettavan ennen hyötykäyttöä tai loppusijoitusta. Useissa laitoksissa oli tiedossa, että tuhka sisältää raskasmetalleja, mutta vain raja-arvot alittavia määriä. 14 laitosta ilmoitti raskasmetalleista, monella niistä raskasmetallien esiintyvyys johtui turpeen poltosta. Arseni oli yleisin tuhkassa esiintyvä raskasmetalli. Yksi laitos ilmoitti lentotuhkan olevan ongelmajätettä, pohjatuhkan taas menevän hyötykäyttöön. Seitsemän (21 %) laitosta ei toimittanut syntyvää tuhkaa mihinkään hyötykäyttöön, 23 (68 %) taas toimitti. 20 vastaajaa kuvaili tuhkan käyttötarkoitusta: kaikkein useimmin se meni metsälannoitteeksi, sen lisäksi betoni- ja asfalttiteollisuuteen raaka-aineeksi. Sitä voitiin käyttää myös ampumaratavallin täyteaineeksi ja kaatopaikan peittoon.

Kuvan 14 kuvaajasta nähdään voimalaitoksen tehollisen koon vaikutus syntyvän tuhkan määrään. Selkeästi kuvaajasta voidaan huomata, että mitä suuremmaksi voimalaitos kasvaa, sitä enemmän tuhkaa muodostuu. Suurilla voimalaitoksilla näyttäisi kuitenkin olevan suurempi hajonta syntyvän tuhkan määrässä kuin pienemmän kokoluokan voimaloilla. Vastaustuloksissa, joiden pohjalta kuvaaja on tehty, on mukana myös turpeen poltossa syntyvä tuhka niiden laitosten osalta, jotka polttavat puuta ja turvetta sekaisin. Tällöin pelkän puutuhkan osuutta oli mahdoton saada selville. Vastaustulosta vääristää lisäksi se, että turpeen poltossa syntyy enemmän tuhkaa, kuin pelkän puun poltossa.



Kuva 14. Voimalaitoksen koon vaikutus syntyvän tuhkan määrään

4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuusosa ja tutkimuksessa saadut vastaukset tukivat hyvin toisiaan. Voimalaitosten kokojakaumasta ei voida vetää johtopäätöstä, että trendi olisi kasvamassa suuriin voimalaitoksiin päin. Vuosikymmenjakaumasta voidaan kuitenkin nähdä, että ainakaan puuenergia-ala ei ole kuihtumassa vaan pikemminkin uusia investointeja tehdään edelleen. Tämä on ajankohtainen ja tärkeä kysymys, kun uusiutuvien energialähteiden määrää ollaan lisäämässä ja puupohjaisia mekaanisen ja kemiallisen metsäteollisuuden sivutuotteita on Suomessa laajamittaisesti saatavilla. Lisäksi tulevaisuudessa paperintuotanto tulee vähenemään ja on polttava puheenaihe, mihin kaikki Suomessa kasvava puu käytetään.

Puuta enemmän käyttämällä Suomen energiaomavaraisuus saataisiin kasvamaan. Olisi ympäristön kannalta sitä parempi, mitä enemmän puuta poltettaisiin suurissa laitoksissa eikä pienpoltona kotitalouksissa. Näin pienhiukkasmäärät laskisivat, teho lisääntyisi ja olisi mahdollisuus entistä useammin myös energiantuotannon kannalta erityisen tehokkaaseen, hukkaenergiaa minimoivaan sähkön ja lämmön rinnakkaistuotantoon. Jätepuun energiakäytössä on lisäyspotentiaalia. Etenkin sen polttamiseen tarvittaisiin enemmän laitospoltoa pienpolton sijaan. Keskimäärin suuremman kokoluokan laitoksissa on paremmat mahdollisuudet jätteenpolttoasetuksen mukaisesti laiteinvestointeihin. Tällä hetkellä polttokelpoista jätepuuta päättyy kaatopaikoille huomattavia määriä.

Kyselyn vastauksien tultua ilmeni, että osa kysymyksistä olisi vaatinut tarkennuksia ja näin siis yhden kysymyksen kohdalla tehtiinkin. Vasta vastausten saavuttua avautui paremmin voimalaitosten käytännön toiminta, ja sen paremman ymmärtämisen perusteella olisi osaa kysymyksistä voinut muotoilla haluttujen vastausten kannalta tarkoituksenmukaisemmin. Kokonaan uuteen kyselyyn ei silti ollut mahdollista lähteä ajan rajallisuuden vuoksi. Osaan kysymyksistä oli mahdollista vastata niin vapaamuotoisesti, että vastausten muuttaminen numeeriseen muotoon ja taulukoiksi tai kuvaajiksi ei ollut mahdollista.

Tarkempia vastauksia olisi toivottu esimerkiksi polttolaitosten käyttöönottovuodesta, sillä osa vastaajista oli ilmaissut vastauksissaan usean eri kattilan käyttöönottoajankohdan. Myös polttolaitosten koon ja käyttöasteen analysointi oli hankalaa, sillä osa vastaajista oli ilmoittanut voimalaitoksen eri yksiköiden yhteenlasketun tehon tai käyt-

töasteen ja osa pelkän puuta polttavan yksikön tiedot. Myös tämä seikka, että osa laite-
toksista poltti puun seassa esimerkiksi turvetta, teki tulosten arvioinnista vaikeaa.

Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja opettavaista. Se herätti halun perehtyä asiaan
tarkemmin vielä jatkossa. Kiinnostavaa olisi saada laajempi otos erityisesti jätepuun
polttamisesta. Palamisolosuhteiden ja tarvittavien laitteistojen tarkempi vertailu olisi
myös mielenkiintoista. Ympäristönäkökulman huomioonottaminen monelta kannalta,
kuten kasvihuoneilmiön hillitseminen ja ilmakehän suojeleminen paikallisella ja glo-
baalilla tasolla olisivat jatkotutkimuksessa tärkeitä seikkoja.

LÄHTEET

1. Ylitalo, Esa. 11/2010. Metsätilastollinen vuosikirja
http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2010/vsk10_12.pdf [viitattu 15.5.2011]
2. Fagerblom, Ahti. 2011. Bioenergia
<http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/Bioenergia/Sivut/default.aspx> [viitattu 10.4.2011]
3. Hakkuutähteistä ja metsäteollisuuden sivutuotteista saadaan energiaa. Maa- ja metsätalousministeriö. 2011
http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/ilmasto_energia/puun_energiakaytto.html [viitattu 11.4.2011]
4. Alakangas, Eija ym. 2003. Puuenergia. Jyväskylän Teknologiakeskus Oy [viitattu 10.4.2011]
5. Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkójulkaisu]. □ISSN=1798-5072. 2010, Liitetaulukko 3. Sähkön tuotanto ja kokonaiskulutus, GWh . Helsinki: Tilastokeskus
http://www.stat.fi/til/salatuo/2010/salatuo_2010_2011-10-06_tau_003_fi.html [viitattu 6.10.2011]
6. Kemian opettajankoulutusyksikkö. Kemian laitos. Helsingin yliopisto
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/kaasut/palaminen.html> [viitattu 10.4.2011]
7. Puhakka Martti. Polttoteknologiat
http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/bioenergiamateriaali04/pdf_materiaali/Polttoteknologiat.htm [viitattu 15.4.2011]

8. Alakangas, E. 2000. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Otamedia Oy, Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045. 158 s.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biopolttoaineiden_lampoarvoja [viitattu 1.2.2011]
9. Alakangas, Eija. 4.4.2008. Kierrätyspuun luokittelu osana CEN-biopolttoainestandardia
http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/tutkimusraportit/liitteet/puujäteraportti_r04989_08_final_suojattu.pdf?SectionUri=%2ffi%2fkaukolampo%2fkirjasto%2ftutkimusraportit [viitattu 9.4.2011]
10. Alakangas, Eija. Kiinteiden biopolttoaineiden eurooppalaiset standardit, Polttoaineiden laatuvaatimukset ja luokat – moniosainen standardi. VTT
http://p29596.typo3server.info/fileadmin/Files/Documents/05_Workshops_Training_Events/Taining_materials/finnish/D19_2_FI_Fuel_specification.pdf [viitattu 11.7.2011]
11. Alakangas, Eija. 2002. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2002/S221.pdf> [viitattu 10.4.2011]
12. OVA-ohje: kreosootti – tiivistelmä. 2011. Työterveyslaitos
<http://www.ttl.fi/ova/tkreosootti.html> [viitattu 10.8.2011]
13. Unicon Bio –kattilalaitokset kuumun veden ja höyryn tuotantoon.
http://www.kpaunicon.com/tuotteet.asp?tuotesivu=unicon_bio [viitattu 12.4.2011]
14. Pietikäinen, Pertti. Lämmöntuotanto lämpölaitoksessa
http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/bioenergiamateriaali04/pdf_materiaali/Kattilatekniikka-Pietikainen.pdf [viitattu 10.4.2011]
15. Tampereen teknillinen yliopisto
https://www.tut.fi/pop/pap/suomi/monipoltt_kattilat/5_leijukattilat/frame.htm [viitattu 10.4.2011]

16. Tuhkan käyttö metsälannoitevalmiisteena. 2006

[http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndighe-
ten/Projekt/RecAsh/Handböcker%20Handbooks/RecAsh%20handbok%20\(finska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndighe-
ten/Projekt/RecAsh/Handböcker%20Handbooks/RecAsh%20handbok%20(finska).pdf)

[viitattu 17.7.2011]

17. Lappalainen, Markku 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Rakennustieto Oy. Helsinki [viitattu 1.8.2011]

18. Kuokkanen, Matti; Kuokkanen Toivo 2009. Puu- ja turvepellettien sekä hakkeen lämpökeskus- ja pienpoltossa syntyvien tuhkien hyötykäyttöön liittyvä tutkimusraportti. Oulun yliopisto, Kemian laitos [viitattu 8.3.2011]

19. Maa- metsä- ja kalatalous. 2011. Tilastokeskus

http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_maatalous.html [viitattu 8.9.2011]

Liite1/2

| Ominaisuus | Kierrätys- puu | Pakkaus- jäte | Kierrätys- polttoaine ^a | REF-pelletti | Kotitalouden kuivajäte | ONki | Ruokohelppi syyskorj. | Ruokohelppi kevät |
|---|-------------------|------------------|---------------------------------------|--------------|---------------------------|-----------|--------------------------|----------------------|
| Kosteus,% | 15–35 | 7–25 | 15–35 | 3–5 | 25–36 | 17–25 | 20–30 | 15–20 |
| Kalorimehinen lämpöarvo, MJ/kg | 18–21 | 18–26 | 20–40 | 22–26 | 19,9–23,9 | 17,9–18,7 | 18,0–18,9 | 18,4–18,7 |
| Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg | 18–19 | 17–25 | 17–37 | 21–25 | 18,5–23,4 | 17,4 | 16,7–17,7 | 17,1–17,5 |
| Tehollinen lämpöarvo seapumistuksessa, MJ/kg | 12–16 | 10,4–10,9 | 13–35 | 20–24 | 11,7–6,9 | 12,4–14,0 | 11,0–13,7 | 13,2–14,2 |
| Itäheisy seapumis- Besse, kgf-m ³ | 150–250 | 100–150 | 150–250 | 300–500 | 150–200 | 80 | 80 | 70 |
| Energiatehisy, MWh/m ³ | 0,6–0,8 | - | 0,7–1,0 | 2,0–2,8 | 0,7–1,0 | 0,3–0,4 | 0,2–0,3 | 0,3–0,4 |
| Tuhkeipitoisy kuiva-aineessa, % | 1–5 | 5–15 | 3–7 | 4–10 | 5,3–16,1 | 5 | 5,1–7,1 | 6,2–7,5 |
| Hilkipitoisy kuiva-aineessa C, % | 48–51 | 34,5–35,6 | 45–56 | 50–60 | 47,1–53,5 | 45–47 | 44,6–46,7 | 45,5–46,1 |
| Vetyipitoisy kuiva-aineessa (H), % | 6–6,5 | 4,2–4,5 | 5–9 | 6,0–8,5 | 6,1–7,2 | 5,8–6,0 | 5,6–5,9 | 5,7–5,8 |
| Rikkipitoisy kuiva-aineessa (S), % | <0,2 | 0,02–0,06 | 0,05–0,20 | 0,10–0,15 | 0,08–0,22 | 0,01–0,03 | 0,05–0,25 | 0,08–0,13 |
| Tyypipitoisy kuiva-aineessa (N), % | 0,1–0,8 | 0,08–0,1 | 0,2–0,9 | 0,2–1,5 | 0,67–1,07 | 0,4–0,6 | 0,7–1,1 | 0,65–1,04 |
| Natrium, Na % | 0,0005–0,001 | 0,002–0,003 | 0,001–0,0045 | 0,002–0,0035 | 0,001–0,0048 | 0,01–0,6 | <0,001 | <0,03 |
| Kalium, K, % | 0,0007–0,0009 | 0,001–0,0055 | 0,001–0,0015 | 0,001–0,0025 | 0,0008–0,0038 | 0,69–1,3 | 1,2–2,3 | 0,3–0,5 |
| Kloori, Cl, % | <0,1 | <0,1 | 0,03–1,0 | 0,1–0,9 | 0,2–1,5 | 0,14–0,97 | 0,4 | 0,09 |

^a puuta, muovia ja pekkauksia sisältävä seos

| Ominaisuus | Jyrsinturve | Palaturve | Kivihäili (keskiarvo) | Mustalipeä | Bioliete | Siistausliete | Primääriiete | Seosliete* |
|--|-------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|----------|---------------|--------------|------------|
| Kosteus, % | 48,5 | 38,9 | 10 | 65-80 % kuiva-aine- pitoisuus | 80 | < 60 | 60-70 | 70 |
| Kalorimebinen lämpöarvo, MJ/kg | 22,1 | 22,5 | 28,8 | 13-15 | - | 6,9-15,0 | | |
| Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg | 20,9 | 21,3 | 27,9 | 10-13 | 17,4 | 8-13 | | |
| Tehollinen lämpöarvo saapumisillessä, MJ/kg | 9,66 | 11,9 | 24,8 | - | 0 | 2,9 | 2,3 | 2,5 |
| Itöiheys saapumisillessä, kg/m ³ | 340 | 389 | | - | | | | |
| Tuhkipitoisuus kuiva-aineessa, % | 5,1 | 4,5 | 14 | - | 10 | 30-60 | 0,4 | 10-30 |
| Hilipitoisuus kuiva- aineessa C, % | 52-56 | 52-56 | 76-87 (71,5) | 35-38 | 45 | 25-45 | 44 | 45 |
| Vetyipitoisuus kuiva-aineessa (H), % | 5,0-6,5 | 5,0-6,5 | 3,5-5,0 (4,5) | 3,5-4,5 | 6 | 2,7-5,5 | 5 | 5,5 |
| Rikkiipitoisuus kuiva-aineessa (S), % | 0,05-0,3 | 0,05-0,3 | <0,5 | 3,5-6,0 | 1,2 | 0,1-0,3 | 0,1 | 0,45 |
| Typpiipitoisuus kuiva-aineessa (N), % | 1,0-3,0 | 1,0-3,0 | 0,8-1,5 (1,3) | 0,05-0,20 | 0,4 | 0,1-0,9 | 0,4 | |
| Natrium, Na | 0,007 | 0,007 | 0,012 | 18-23 | | 0,1-0,3 | | 2-4 |
| Kalium, K | 0,02 | 0,02 | 0,003 | 1-6 | | 0,2-0,5 | | 0,6-0,7 |
| Fosfori, P | | | 0,01 | 0,01 | | | 0,02 | 1,9-2,5 |
| Kloori, Cl, % | 0,02-0,06 | 0,02-0,06 | 0,10 | 0,1-2,5 | 1,5 | 0,1-0,6 | 0,5 | 0,75 |

* primääri-, bio- ja kuorimateriaalin seos. Seoslietteen ominaisuuksiin vaikuttaa biolietteen osuus.

| Ominaisuus | Kevyt öljy, kotitalous | Kevyt öljy, suurkiinteistöt | Raskas öljy | Pyrolyysiöljy |
|---|--|--------------------------------|---------------------|---------------|
| Kosteus, % | 0,01-0,02 | 0,01-0,02 | 0,3-0,7 | 15-30 |
| Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg ja MJ/l | 42,5-42,9 kesä 36,3 MJ/l talvi 35,9 MJ/l | 36,7 MJ/l | 41,0-41,3 | 18-23 |
| Tehollinen lämpöarvo saapumisillessä, MJ/kg | 42,4-42,9 | 42,4-42,9 | 40,9-41,2 | 15-19 |
| Itöiheys saapumisillessä, kg/m ³ | 845 kesä, 840 talvi (15 °C) | 870 | 920-1020 (15 °C) | 1180-1220 |
| Tuhkipitoisuus kuiva-aineessa, % | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,1-0,3 |
| Hilipitoisuus kuiva-aineessa C, % | 86,2 | 86,2 | 86,4 | 32-49 |
| Vetyipitoisuus kuiva-aineessa (H), % | 13,7 | 13,7 | 10,1 | 6,9-8,6 |
| Rikkiipitoisuus kuiva-aineessa (S), % | 0,005-0,2 | 0,1 | 0,8-0,95 | 0,006-0,05 |
| Typpiipitoisuus kuiva-aineessa (N), % | 0,01-0,03 | 0,01-0,03 | 0,3-0,4 | 0-0,1 |

0 %

1. Polttolaitoksen nimi:
En osaa sanoa

ZEF®

Jatka / Tallenna

0 %

2. Minä vuonna polttolaitos on otettu käyttöön?
En osaa sanoa

ZEF®

Jatka / Tallenna

0 %

3. Mikä on polttolaitoksen teho (kokoluokka)?
En osaa sanoa

ZEF®

- 1-10 MW
- 10-50 MW
- 50-100 MW
- yli 100 MW

Jatka / Tallenna

0 %

4. Entä käyttöaste?
En osaa sanoa

ZEF®

Jatka / Tallenna

0 %

5. Mitkä ovat pääasialliset puupohjaiset raaka-aineet laitoksenne energiantuotannossa ja mitkä ovat %-osuudet (noin)?
En osaa sanoa

ZEF

Hake

Sahämpuru

Kuori

Pelletit

Brikitit

Energiapuu

Jätepuu

Kyllästetty puu

Muu, mikä?

Jatka / Tallenna

0 %

6. Mistä puupohjainen raaka-aineenne on peräisin (keskimääräinen välimatka, tuotantotapa)?
En osaa sanoa

ZEF

Jatka / Tallenna

0 %

7. Mikä on puupolttolaitoksenne (vastausvaihtoehdoissa merkitty "a") koskeusluokka? Jos polttolaitoksessa on käytössä useita eri raaka-aineita, vastatkaa eniten käytetyn mukaan ja laittakaa lisätietoja -kohtaan raaka-aineen nimi.

En osaa sanoa

ZEF

a < 12 %

12 % ≤ a < 18 %

18 % ≤ a < 26 %

≤ 26 %

Lisätietoja

Jatka / Tallenna

0 %

8. Mikä on puupolttolaitoksenne palamislämpötila?

En osaa sanoa

ZEF

Jatka / Tallenna

0 %

9. Mihin puun poltossa syntyvä energia käytetään? Suunta-antava %-jakauma myös toivottava.

En osaa sanoa

ZEF

Sähköntuotantoon

Kaukolämmöksi

Laitoksen omaan käyttöön

Muuhun, mihin?

Jatka / Tallenna

0 %

10. Millainen/millaiset polttokattilat laitoksessa on (myös kpl-määrä)?

En osaa sanoa

ZEF

Arinakattila

Leijupetikattila

Jokin muu, mikä?

Jatka / Tallenna

0 %

11. Syntykö palamisessa haitallisia savukaasuja?

En osaa sanoa

ZEF

Ei

Kyllä; mitä ja puhdistetaanko niitä jotenkin?

Jatka / Tallenna

0 %

12. Millaiselta polttolaitoksen tulevaisuus näyttää, onko puuhun pohjautuvaa energiantuotantoa tarkoitus lisätä/vähentää, tai laajentaa polttoaineena käytettävien raaka-aineiden määrää lähivuosina?

En osaa sanoa

ZEF

Vähentää; jääkö joitain raaka-aineita pois tai lopetetaanko tuotanto kokonaan?

Pitää samanlaisena kuin nyt

Lisätä, kuinka paljon ja minkä raaka-aineiden osuutta?

Jatka / Tallenna

0 %

13. Paljonko tuhkaa syntyy vuodessa nykyisillä polttomäärillä?

En osaa sanoa

ZEF®

Jatka / Tallenna

0 %

14. Mitä tuhalle tehdään, meneekö se hyötykäyttöön?

En osaa sanoa

ZEF®

Ei

Kyllä, mihin?

Jatka / Tallenna

0 %

15. Onko syntyvässä tuhkassa haitta-aineita?

En osaa sanoa

ZEF®

Ei

Kyllä, mitä?

Jatka / Tallenna

0 %

16. Puhdistetaanko tuhkaa jollain tavoin ennen loppusijoitusta (kaatopaikka/hyötykäyttö)?

En osaa sanoa

ZEF®

Ei

Kyllä, miten?

Jatka / Tallenna

| | 2. Käyttöönottovuosi? | 3. | | | |
|----------------|------------------------------------|---------|----------|-----------|------------|
| | | 1-10 MW | 10-50 MW | 50-100 MW | yli 100 MW |
| Voimalaitos 1 | 1992 / 1996 / 2001 / 2009 | | 1 | | |
| Voimalaitos 2 | 1984, 1990 ja 2005 | | 1 | 1 | |
| Voimalaitos 3 | 1990 | | | | 1 |
| Voimalaitos 4 | 2009 | | | | 1 |
| Voimalaitos 5 | 1989 | | | | 1 |
| Voimalaitos 6 | 1977 | | | | 1 |
| Voimalaitos 7 | Otetaan käyttöön alkusyksystä 2012 | | | 1 | |
| Voimalaitos 8 | 2009 | | | 1 | |
| Voimalaitos 9 | 2000 | | | 1 | |
| Voimalaitos 10 | 2003 | | | 1 | |
| Voimalaitos 11 | 2000 | 1 | | | |
| Voimalaitos 12 | 2002 | | 1 | | |
| Voimalaitos 13 | 1983 | | 1 | | |
| Voimalaitos 14 | Arinakattila 1983, CHP laitos 1993 | | 1 | | |
| Voimalaitos 15 | 1963/1997/2003 | | | | 1 |
| Voimalaitos 16 | 1986 | | | | 1 |
| Voimalaitos 17 | Nykyinen Proflow-kattila v 1981 | | | 1 | |
| Voimalaitos 18 | 1993 | | 1 | | |
| Voimalaitos 19 | NA1 1960, NA2 1964, NA3 1972 | | | | 1 |
| Voimalaitos 20 | 2010 | | | | 1 |
| Voimalaitos 21 | 1986 | | | | 1 |
| Voimalaitos 22 | 2000 | 1 | | | |
| Voimalaitos 23 | 1980 | 1 | | | |
| Voimalaitos 24 | 1981 | 1 | | | |
| Voimalaitos 25 | 2004 | 1 | | | |
| Voimalaitos 26 | 1985 | 1 | | | |
| Voimalaitos 27 | 2006 | 1 | | | |
| Voimalaitos 28 | 2009 | | | 1 | |
| Voimalaitos 29 | 2002 | | | 1 | |
| Voimalaitos 30 | 2008 lopulla | | | | 1 |
| Voimalaitos 31 | 1990-luvulla | | | | 1 |
| Voimalaitos 32 | 1984 | | | | 1 |
| Voimalaitos 33 | 1982 / käyttöönotto menossa | | | | 1 |
| Voimalaitos 34 | v.2010 (Vanha lämpölaite v.1985) | | 1 | | |

| 4. | Käyttöaste? | 5. | Hake | Hake - Comment |
|-------|---|----|------|----------------|
| VL 1 | 8760 h/a | | 1 | 80 |
| VL 2 | FLK2 15%, ESE 1 n.83%, ESE 2 n. 83% | | | |
| VL 3 | viime vuosina 90% | | 1 | 20 |
| VL 4 | 75 % | | | |
| VL 5 | 92 % | | 1 | 5 |
| VL 6 | 340 vrk/a | | 1 | |
| VL 7 | Sitä ei voi vielä sanoa, koska laitosta ei olla otettu käyttöön | | | |
| VL 8 | 6000-7000 h vuodessa | | 1 | 62 |
| VL 9 | Voimalaitos on ajossa 8 - 10 kk / a | | 1 | 47 |
| VL 10 | 92% | | 1 | 20 |
| VL 11 | 90 | | 1 | 30 |
| VL 12 | 85 | | 1 | 30 |
| VL 13 | Peruskuormalaitos, kpa käyttö 8760h vuodessa | | 1 | 60 |
| VL 14 | CHP syyskuusta toukokuuhun, Arinakattila kesä ja huiput | | 1 | 15 |
| VL 15 | 100 % (jokin kattila ajossa) | | 1 | |
| VL 16 | 7500 h/a | | 1 | 20 |
| VL 17 | n. 8000 h/vuosi | | | |
| VL 18 | 11 kk vuosi | | 1 | 20 |
| VL 19 | NA1 -1000-2500 h/a, NA2 ja NA3 -7000 h/a | | | |
| VL 20 | 95% | | 1 | 20 |
| VL 21 | 95% | | 1 | 10 |
| VL 22 | 80 % | | 1 | |
| VL 23 | 90 % | | 1 | 75 |
| VL 24 | Huipun käyttötuntimäärä 5500 h | | 1 | 95 |
| VL 25 | 96 % | | 1 | |
| VL 26 | 90 | | 1 | 2,5 |
| VL 27 | 94% | | 1 | 50 |
| VL 28 | 98% | | 1 | 40 |
| VL 29 | 48% | | | |
| VL 30 | Talvella 100 % noin 6 kk ajan, kevät ja syys 50-100 % | | 1 | 50 |
| VL 31 | 95% | | 1 | 20 |
| VL 32 | 90 | | 1 | 35 |
| VL 33 | Kaukolämmön terpeesta riippuen 6500 h/a molemmilla yksiköillä | | 1 | 12 |
| VL 34 | 80 % (lopun 20 % vanhalla leijukattilalla) | | 1 | |

| | Sahanpuru | Sahanpuru - Comment | Kuori | Kuori - Comment | Pelletit | Pelletit - Comment |
|-------|-----------|---------------------|-------|-----------------|----------|--------------------|
| VL 1 | | | | | | |
| VL 2 | 1 | 10 | 1 | 10 | | |
| VL 3 | 1 | 2 | | | | |
| VL 4 | 1 | 5 | 1 | 70 | | |
| VL 5 | 1 | 20 | 1 | 10 | | |
| VL 6 | 1 | | 1 | | | |
| VL 7 | | | | | | |
| VL 8 | | | | | | |
| VL 9 | 1 | 15 | 1 | 2 | | |
| VL 10 | | | 1 | 30 | | |
| VL 11 | 1 | 40 | 1 | 30 | | |
| VL 12 | 1 | 55 | 1 | 10 | | |
| VL 13 | 1 | 20 | 1 | 20 | 1 | |
| VL 14 | | | | | | |
| VL 15 | 1 | | 1 | | | |
| VL 16 | 1 | 5 | 1 | 15 | | |
| VL 17 | | | | | | |
| VL 18 | 1 | 25 | 1 | 20 | 1 | |
| VL 19 | 1 | 2 | | | | |
| VL 20 | 1 | 5 | 1 | 5 | | |
| VL 21 | 1 | 10 | 1 | 5 | | |
| VL 22 | 1 | | | | | |
| VL 23 | | | 1 | 20 | | |
| VL 24 | 1 | | 1 | | 1 | |
| VL 25 | | | | | | |
| VL 26 | | | | | | |
| VL 27 | | | | | | |
| VL 28 | | | | | | |
| VL 29 | | | 1 | | | |
| VL 30 | 1 | 40 | 1 | 10 | | |
| VL 31 | | | 1 | 15 | | |
| VL 32 | 1 | 30 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| VL 33 | 1 | 6 | 1 | 3 | | |
| VL 34 | | | | | | |

| | Briketit - Comment | Energiapuu | Energiapuu - Comment | Jätepuu | Jätepuu - Comment |
|-------|--------------------|------------|----------------------|---------|-------------------|
| VL 1 | | 1 | 18 % | | |
| VL 2 | | 1 | 41 | 1 | 1 |
| VL 3 | | | | 1 | 2 |
| VL 4 | | 1 | 25 | | |
| VL 5 | | 1 | 60 | 1 | 5 |
| VL 6 | | 1 | | 1 | |
| VL 7 | | | | 1 | 5 |
| VL 8 | | | | | |
| VL 9 | | | | | |
| VL 10 | | 1 | 30 | | |
| VL 11 | | | | | |
| VL 12 | | | | 1 | 5 |
| VL 13 | | | | | |
| VL 14 | | | | 1 | 10 |
| VL 15 | | 1 | | 1 | |
| VL 16 | | 1 | 5 | | |
| VL 17 | | 1 | 20 | 1 | 80 |
| VL 18 | | 1 | 5 | | |
| VL 19 | | | | | |
| VL 20 | | | | | |
| VL 21 | | 1 | 10% | | |
| VL 22 | | | | | |
| VL 23 | | | | | |
| VL 24 | 5 | | | | |
| VL 25 | | | | | |
| VL 26 | | | | | |
| VL 27 | | 1 | 15% | | |
| VL 28 | | | | | |
| VL 29 | | | | | |
| VL 30 | | | | | |
| VL 31 | | 1 | 30 | | |
| VL 32 | 4 | 1 | 25 | | |
| VL 33 | | 1 | 3 | | |
| VL 34 | | 1 | | | |

| | Kyllästetty puu | Kyllästetty puu - Comment | Muu, mikä? | Muu, mikä? - Comment |
|-------|-----------------|---------------------------|------------|--------------------------|
| VL 1 | | | 1 | kantomurkse 2 % |
| VL 2 | | | | |
| VL 3 | | | 1 | turve 70-80 % |
| VL 4 | | | | |
| VL 5 | | | | |
| VL 6 | | | | |
| VL 7 | | | | |
| VL 8 | | | 1 | turve 38% |
| VL 9 | | | | |
| VL 10 | | | 1 | turve |
| VL 11 | | | | |
| VL 12 | | | | |
| VL 13 | | | | |
| VL 14 | | | | |
| VL 15 | | | | |
| VL 16 | | | 1 | kannot, risut 15 |
| VL 17 | | | | |
| VL 18 | | | 1 | Turve 30 |
| VL 19 | | | | |
| VL 20 | | | 1 | Turve 70% |
| VL 21 | | | 1 | Turve 60% ja hiili 5% |
| VL 22 | | | 1 | Hiontapöly |
| VL 23 | | | 1 | Palaturve 5 % |
| VL 24 | | | | |
| VL 25 | | | 1 | Palaturve |
| VL 26 | | | 1 | Jyrsinpolttoturve |
| VL 27 | | | 1 | Palaturve 35% |
| VL 28 | | | 1 | Jyrsinturve 60% |
| VL 29 | | | 1 | Hiomapöly, sahanpuru 15% |
| VL 30 | | | | |
| VL 31 | | | | |
| VL 32 | | | | |
| VL 33 | | | | |
| VL 34 | | | | |

| 6. | |
|--|--|
| Mistä puupohjainen raaka-aineenne on peräisin (keskimääräinen välimatka, tuotantotapa)? | |
| VL 1 | tienvarsihaketusta, noin 15 % tulee terminaalihaketuksena energiapuusta. |
| VL 2 | 50 km |
| VL 3 | 100 km säteeltä |
| VL 4 | 100 km |
| VL 5 | Sahateollisuudesta ja metsäpaloilta. Sektori hankinnalle noin 100 km. |
| VL 6 | Sahoilta keskim. 100 km sisältä. Metsästä tulevat jakeet keskim. 120 km sisältä. |
| VL 7 | Pääosin Oulun jätehuollon keräilyalueelta lajiteltuna jätekeskuksessa rakennusjätteestä. Pieni osa tulee Koillismaalta ja Lapista enimmillään n. 400 km päästä. |
| VL 8 | keskim. 100 km, valmis hake tai turve |
| VL 9 | Sahanpuru ja kuori tulevat lähialueen sahoilta, kuljetusmatka noin 70 km. Metsähake tuotetaan pääosin noin 120 km säteeltä, sitä muodostuu sekä päätehakkuiden oksista ja latvuksista sekä harvennushakkuiden rankapuusta. |
| VL 10 | 100 km, metsä |
| VL 11 | 20 km, sahat |
| VL 12 | 50, sahat |
| VL 13 | Ajomatka noin 50 km. Puukasa haketetaan metsä autoo, joka kuljetetaan sen meilille polttoon. n 50km säteeltä metsähaketta suoraan hakkeen toimittajilta. n 60 km säteeltä kierrätyshaketta |
| VL 14 | murskattuna kierrätyshakkeen toimittajilta |
| VL 15 | n. 30 eri toimittajaa etelä- ja kaakkois-suomen alueella. |
| VL 16 | Maakunnasta ja Venäjältä n. 50 km |
| VL 17 | Purkupuu, kuormalava, erilliskerätty puu. max 150 km etäisyydeltä pääasiassa |
| VL 18 | Kuusamosta ja Taivalkoskelta sahojen sivutuotteita , 20 km |
| VL 19 | Etäisyys n. 70-150km. Sahojen sivutuote. |
| VL 20 | Metsäteollisuuden sivutuote, rankahake, keskim. tuontimatka 50 km. |
| VL 21 | Metsäteollisuuden sivutuote, kantomurske, rankahake ja risutuki. Keskimäärin 50 km säteeltä. |
| VL 22 | Kuningaspalkilta Hartolasta, max 100 m, teollisuuden sivutuote |
| VL 23 | Metsästä ja sahoilta, alle 50 km, |
| VL 24 | Rankahake, 50 km, pihaan ostettuna energiasisällön mukaan Oma hankinta hake 3,5 %, 5 km Osto hankinta hake 23 %, 40..80 km Osto Palaturve 74,5 %, |
| VL 25 | 40..80 km |
| VL 26 | Metsästä, 20 km, nuorenmetsän kunnostus |
| VL 27 | n.30km, tienvarsihaketus |
| VL 28 | Useista hankintalähteistä 50-100km |
| VL 29 | Vänentehtaat, 500m |
| VL 30 | Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteita. Metsähakkeet (kanto, risu yms), metsä -ja bioenergiayrittäjiltä. keskimääräinen matka 50 km. |
| VL 31 | 50 km, metsästä |
| VL 32 | Metsästä, sekä teollisuuden sivutuotteet. Etäisyys n.50 km säteellä, metsähake hakkureilla ja murskoilla. |
| VL 33 | Metsähake / teollisuuden sivutuotteet (kutteri&puru) n. 100 km säteellä |
| VL 34 | n. 0 - 100 km säteeltä, haketus lansseissa |

| | 7. | | | | |
|-------|----------|------------------|------------------|--------|-------------|
| | a < 12 % | 12 % <= a < 18 % | 18 % <= a < 26 % | >=26 % | Lisätietoja |
| VL 1 | | | | 1 | 1 |
| VL 2 | | | | 1 | |
| VL 3 | | | | 1 | 1 |
| VL 4 | | | | 1 | |
| VL 5 | | | | 1 | 1 |
| VL 6 | | | | 1 | 1 |
| VL 7 | | | | | |
| VL 8 | | | | | 1 |
| VL 9 | | | | 1 | 1 |
| VL 10 | | | | 1 | |
| VL 11 | | | | 1 | |
| VL 12 | | | 1 | | |
| VL 13 | | | | 1 | 1 |
| VL 14 | | | | 1 | 1 |
| VL 15 | | | | 1 | 1 |
| VL 16 | | | | 1 | 1 |
| VL 17 | | | | 1 | |
| VL 18 | | | | | 1 |
| VL 19 | | | | | 1 |
| VL 20 | | | 1 | 1 | |
| VL 21 | | | 1 | 1 | |
| VL 22 | 1 | | | | |
| VL 23 | | | | 1 | |
| VL 24 | | | | | 1 |
| VL 25 | | | | 1 | |
| VL 26 | | | | 1 | |
| VL 27 | | | | 1 | |
| VL 28 | | | | | 1 |
| VL 29 | | | | | 1 |
| VL 30 | | | | | 1 |
| VL 31 | | | | | |
| VL 32 | | | | 1 | |
| VL 33 | | | | 1 | 1 |
| VL 34 | | | | | 1 |

| Lisätietoja - Comment | |
|-----------------------|--|
| VL 1 | vuoden keskiasteus noin 42 % |
| VL 2 | |
| VL 3 | 30-35 % metsähakkeet |
| VL 4 | |
| VL 5 | Energiapuu |
| VL 6 | Hakkeet |
| VL 7 | |
| VL 8 | kosteusprosentti on hakkeilla 50%, mainitsemasi arvot ovat varmaan jotain kuiva-aine |
| VL 9 | Kaikki käyttämämme puupolttoaineet ylittävät pääsääntöisesti 26% kosteuden |
| VL 10 | |
| VL 11 | |
| VL 12 | |
| VL 13 | Puun kosteudet on 30-55 % |
| VL 14 | metsähake |
| VL 15 | Biokattila on suunniteltu 50-60 % kosteudelle |
| VL 16 | Metsähake |
| VL 17 | |
| VL 18 | Puru n. 55%, Kuori n.60 %, hake 25 -30% |
| VL 19 | Tuore sahanpuru, kosteusluokkaa 40-50% |
| VL 20 | |
| VL 21 | |
| VL 22 | |
| VL 23 | |
| VL 24 | 30 - 50% |
| VL 25 | |
| VL 26 | |
| VL 27 | |
| VL 28 | 40% |
| VL 29 | Vanerimurske, kuori 40%, pöly 5% |
| VL 30 | 35-45 % |
| VL 31 | |
| VL 32 | |
| VL 33 | Metsähake |
| VL 34 | n. 40 - 45 % |

| 8. | |
|-----------------------------------|--|
| Puupolttoaineen palamislämpötila? | |
| VL 1 | Tulipesän lämpötila (lähtevät savukaasut) on noin 960 astetta |
| VL 2 | Tulipesän lämpötila meillä n. 900 oC |
| VL 3 | 900 astetta |
| VL 4 | >850oC |
| VL 5 | 800 - 850 astetta |
| VL 6 | noin 900 C |
| VL 7 | Jäte, joka sisältää puupolttoaineen palaa kattilassa >850 asteessa C |
| VL 8 | leijupeti 850 astetta celciusta |
| VL 9 | Varsinaista palamislämpötilaa en osaa nyt määrittää mutta hiekkapedin lämpötila on 800 - 900 C |
| VL 10 | 880 |
| VL 11 | 800 |
| VL 12 | 800 |
| VL 13 | 750-850 C |
| VL 14 | 650 - 900C |
| VL 15 | 1200 |
| VL 16 | 850 |
| VL 17 | 850-900 C, kiertopeti |
| VL 18 | 600 -800 C |
| VL 19 | 1200 C |
| VL 20 | yli 800 astetta |
| VL 21 | Yli 800 astetta |
| VL 22 | 700-800 C |
| VL 23 | 700-1000 astetta |
| VL 24 | 500 - 800 |
| VL 25 | 700-800 C |
| VL 26 | 500-600 astetta |
| VL 27 | 800 |
| VL 28 | 850C |
| VL 29 | n. 900 °C |
| VL 30 | 850 C |
| VL 31 | 1000 |
| VL 32 | |
| VL 33 | -1000 C |
| VL 34 | 750 - 850 C |

| 9. | | | | |
|-------|-----------------|---------------------------|---------------|-------------------------|
| | Sähkötuotantoon | Sähkötuotantoon - Comment | Kaukolämmöksi | Kaukolämmöksi - Comment |
| VL 1 | 1 | 18 | 1 | 79 |
| VL 2 | 1 | 33 | 1 | 64 |
| VL 3 | 1 | 30 | 1 | 20 |
| VL 4 | 1 | 25 | 1 | 40 |
| VL 5 | 1 | 50 | 1 | 30 |
| VL 6 | 1 | 49 | 1 | 50 |
| VL 7 | 1 | 30 | 1 | 34 |
| VL 8 | 1 | 34 | 1 | 73 |
| VL 9 | 1 | 27 | 1 | 73 |
| VL 10 | 1 | 25 | 1 | 50 |
| VL 11 | 1 | 20 | 1 | 80 |
| VL 12 | 1 | 25 | 1 | 75 |
| VL 13 | 1 | 20 | 1 | 80 |
| VL 14 | 1 | 10 | 1 | 75 |
| VL 15 | 1 | | 1 | |
| VL 16 | 1 | 30 | 1 | 70 |
| VL 17 | 1 | 15 | 1 | 15 |
| VL 18 | 1 | 16 | 1 | 70 |
| VL 19 | 1 | 27 | 1 | 56 |
| VL 20 | 1 | 50 | 1 | 50 |
| VL 21 | 1 | 35 | 1 | 60 |
| VL 22 | | | 1 | |
| VL 23 | | | 1 | |
| VL 24 | | | 1 | |
| VL 25 | | | 1 | |
| VL 26 | | | 1 | |
| VL 27 | | | 1 | 99 |
| VL 28 | 1 | 25 | 1 | 75 |
| VL 29 | 1 | 9 | | |
| VL 30 | 1 | 25 | 1 | 35 |
| VL 31 | 1 | 20 | 1 | 5 |
| VL 32 | | | | |
| VL 33 | 1 | 33 | 1 | 67 |
| VL 34 | 1 | 12 | 1 | 86 |

| | Laitoksen omaan käyttöön | Laitoksen omaan käyttöön - Comment |
|-------|--------------------------|------------------------------------|
| VL 1 | 1 | 3 |
| VL 2 | | |
| VL 3 | 1 | 10 |
| VL 4 | 1 | 10 |
| VL 5 | | |
| VL 6 | 1 | 1 |
| VL 7 | 1 | 2 |
| VL 8 | 1 | 3 |
| VL 9 | | |
| VL 10 | | |
| VL 11 | | |
| VL 12 | | |
| VL 13 | | |
| VL 14 | 1 | 10 |
| VL 15 | 1 | |
| VL 16 | | |
| VL 17 | 1 | 5 |
| VL 18 | 1 | 3 |
| VL 19 | | |
| VL 20 | | |
| VL 21 | | |
| VL 22 | | |
| VL 23 | | |
| VL 24 | | |
| VL 25 | | |
| VL 26 | | |
| VL 27 | 1 | 1 |
| VL 28 | | |
| VL 29 | | |
| VL 30 | | |
| VL 31 | 1 | 5 |
| VL 32 | | |
| VL 33 | | |
| VL 34 | 1 | 2 |

| | Muuhun, mihin? | Muuhun, mihin? - Comment | 10. Arinakattila | Arinakattila - Comment |
|-------|----------------|------------------------------------|---------------------|------------------------|
| VL 1 | 1 | | 1 | |
| VL 2 | | | | |
| VL 3 | 1 | lopun lauhdeena | | |
| VL 4 | 1 | prosessihöyry, 25 | | |
| VL 5 | 1 | 20, tehdasteluun | | |
| VL 6 | | | | |
| VL 7 | 1 | 34 | 1 | 1 |
| VL 8 | | | | |
| VL 9 | | | | |
| VL 10 | 1 | höyry | 1 | 1 |
| VL 11 | | | | |
| VL 12 | | | | |
| VL 13 | | | | |
| VL 14 | 1 | 5, Teollisuushöyryn tuotantoon | 1 | 1 |
| VL 15 | 1 | Prosessihöyry teollisuuteen | | |
| VL 16 | | | | |
| VL 17 | 1 | Paperitehdas + muu teollisuus 65 % | | |
| VL 18 | 1 | Häviöt 11 % | | |
| VL 19 | | | | |
| VL 20 | | | | |
| VL 21 | 1 | Höyryyn 5% | | |
| VL 22 | 1 | Kuningaspalkille | 1 | |
| VL 23 | | | 1 | 1 kpl |
| VL 24 | | | 1 | Kabliz-arina, liikuva |
| VL 25 | | | 1 | |
| VL 26 | | | | |
| VL 27 | | | 1 | 1 |
| VL 28 | | | | |
| VL 29 | 1 | Teollisuuden prosessihöyry 91% | 1 | 1 |
| VL 30 | 1 | Prosessihöyryksi 40 % | | |
| VL 31 | 1 | 69 | | |
| VL 32 | | | | |
| VL 33 | | | | |
| VL 34 | | | | |

| | Leijupetikattila | Leijupetikattila - Comment |
|-------|------------------|---|
| VL 1 | | |
| VL 2 | 1 | 3 |
| VL 3 | 1 | |
| VL 4 | 1 | Kiertoleijupeti |
| VL 5 | | |
| VL 6 | 1 | 1 kpl |
| VL 7 | | |
| VL 8 | 1 | 1 |
| VL 9 | 1 | 2 kpl |
| VL 10 | 1 | 1 |
| VL 11 | | |
| VL 12 | 1 | 1 |
| VL 13 | 1 | 2 kpl leijupetikattiloita (voimalaitos 38 MW ja lämpökeskuskattila 20 MW) |
| VL 14 | 1 | 1 |
| VL 15 | 1 | |
| VL 16 | 1 | |
| VL 17 | | |
| VL 18 | 1 | 27 MW |
| VL 19 | | |
| VL 20 | | |
| VL 21 | 1 | 1 |
| VL 22 | | |
| VL 23 | | |
| VL 24 | | |
| VL 25 | | |
| VL 26 | 1 | |
| VL 27 | | |
| VL 28 | 1 | |
| VL 29 | 1 | 1 |
| VL 30 | 1 | Kiertopeti |
| VL 31 | 1 | 1 |
| VL 32 | | |
| VL 33 | 1 | CFB |
| VL 34 | 1 | Sekä vanha, että uusi |

| | Jokin muu, mikä? | Jokin muu, mikä? - Comment | 11. | |
|-------|------------------|---|-----|-----------------------------|
| | | | Ei | Kyllä, puhdistetaan jotain? |
| VL 1 | | | | 1 |
| VL 2 | | | | 1 |
| VL 3 | | | | 1 |
| VL 4 | | | 1 | |
| VL 5 | 1 | Kiertoleijupetikattila | | 1 |
| VL 6 | 1 | Kiertoleijukattila | | 1 |
| VL 7 | | | | 1 |
| VL 8 | | | | 1 |
| VL 9 | | | 1 | |
| VL 10 | | | | 1 |
| VL 11 | | | 1 | |
| VL 12 | | | 1 | |
| VL 13 | | | 1 | |
| VL 14 | | | 1 | |
| VL 15 | 1 | kaasuturbiini + Ito-kattila, apukattila maakaasulla | | 1 |
| VL 16 | | | | 1 |
| VL 17 | 1 | Kiertopetikattila 1 kpl, varakattila (öljy) | | 1 |
| VL 18 | 1 | Lisäksi asiakkaalla toinen leijupetikattila 8 MW | 1 | |
| VL 19 | 1 | Hillipölykattilat 3 kpl á 315 MWpa | | 1 |
| VL 20 | 1 | Kiertopetikattila | | 1 |
| VL 21 | | | | 1 |
| VL 22 | | | 1 | 1 |
| VL 23 | | | | 1 |
| VL 24 | | | 1 | 1 |
| VL 25 | | | 1 | 1 |
| VL 26 | | | 1 | 1 |
| VL 27 | | | 1 | |
| VL 28 | | | | 1 |
| VL 29 | 1 | 1 POR-kattila | | 1 |
| VL 30 | | | | 1 |
| VL 31 | | | 1 | 1 |
| VL 32 | | | | |
| VL 33 | 1 | pölypolttokattila | | 1 |
| VL 34 | | | 1 | |

| | Kyllä, mitä ja puhdistetaanko niitä jotenkin? - Comment |
|-------|--|
| VL 1 | pienhiukkaset, puhdistus sähkösuotimella |
| VL 2 | Sähkösuodattimella |
| VL 3 | sähkösuodatin, hiukkaset |
| VL 4 | |
| VL 5 | Sähkösuodattimella ja tarvittaessa kemiallisella reaktiolla. |
| VL 6 | Sähkösuodatin pölyille |
| VL 7 | savukaasunpuhdistuslaitteistossa, johon kuuluu jäähdytin, reaktori, pussisuotimet ja lauhdutin |
| VL 8 | Normaalit SO ₂ ja NO _x , kalkinsyöttö SO ²⁺ |
| VL 9 | |
| VL 10 | lentotuhka, sähkösuodatin |
| VL 11 | |
| VL 12 | |
| VL 13 | |
| VL 14 | |
| VL 15 | mm. NO _x , hiukkaset, puhdistetaan sähkösuotimella ja savukaasupesurilla |
| VL 16 | sähkösuodattimet |
| VL 17 | savukaasun puhdistuslaitos, aktiivihiili+sammutettu kalkki |
| VL 18 | |
| VL 19 | Low-Nox -poltto, hiukkaset sähkösuodatin, rikinpoistolaitos |
| VL 20 | Sähkösuodatin, inerttiaineet, LTO lauhdutuspatterin |
| VL 21 | Sähkösuodatin |
| VL 22 | Sähkösuodatin |
| VL 23 | syglooni |
| VL 24 | Multisykloni |
| VL 25 | Multisykloni (hiukkaset) |
| VL 26 | Sähkösuodin |
| VL 27 | |
| VL 28 | Sähkösuodin |
| VL 29 | 2 x ESP |
| VL 30 | Letkusuodatin, kalkin syöttö, ammoniakkin syöttö, aktiivihiili |
| VL 31 | |
| VL 32 | |
| VL 33 | sähkösuodin |
| VL 34 | |

| 12. | | | |
|----------|-----------------------------|--------|---|
| Vähentää | Pitää samanlaisena kuin nyt | Lisätä | Lisätä - Comment |
| VL 1 | 1 | | |
| VL 2 | 1 | | |
| VL 3 | | 1 | puun osuus 30-40 % |
| VL 4 | 1 | | |
| VL 5 | 1 | | |
| VL 6 | | 1 | Tarkoitus noin kaksinkertaistaa, pääpainoi metsästä tulevilla hakkeilla |
| VL 7 | | | |
| VL 8 | | 1 | puuhaketta 62% -> 70 % |
| VL 9 | 1 | | |
| VL 10 | 1 | | |
| VL 11 | 1 | | |
| VL 12 | 1 | | |
| VL 13 | | 1 | Lisätä 20-30% puun käyttöä, hake. |
| VL 14 | | 1 | Puupohjaisten osuutta n. 30%:iin |
| VL 15 | 1 | | |
| VL 16 | | 1 | metsäpolttoaineita 10-20 % |
| VL 17 | 1 | | |
| VL 18 | 1 | | |
| VL 19 | | 1 | Nykylaitos 2% -> 10%, uusinvestoinnin myötä ehkä enemmänkin -> 30% |
| VL 20 | | 1 | 40-50% kokonaispolttoainemäärästä |
| VL 21 | | 1 | biot 60% |
| VL 22 | 1 | | |
| VL 23 | 1 | | |
| VL 24 | 1 | | |
| VL 25 | 1 | | |
| VL 26 | 1 | | |
| VL 27 | 1 | | |
| VL 28 | 1 | | |
| VL 29 | 1 | | |
| VL 30 | 1 | | |
| VL 31 | 1 | | |
| VL 32 | | | |
| VL 33 | | 1 | |
| VL 34 | | 1 | Nyt 50 % jatkossa jopa 75 % |

| 13. | |
|---|---|
| Pajonko tuhkaa syntyy vuodessa nykyisillä polttomäärillä? | |
| VL 1 | 850 ton/a |
| VL 2 | n. 10000 t |
| VL 3 | 30 000 t |
| VL 4 | 15000 tn |
| VL 5 | 10 000 - 12 000 tn |
| VL 6 | Laitos polttaa puuta ja tuhkaa sekaisin (hankala arvioida tarkasti puutuhkan osuutta), arvio puutuhkan määrästä 10000 t/a |
| VL 7 | 23 000 t/vuodessa. Huom. puupolttolaitteen osuus kokonaispolttolaitteesta n. 5 % |
| VL 8 | 8000 tonnia |
| VL 9 | 4000 tonnia, sisältää sekä lentotuhkan että pohjatuhkan. |
| VL 10 | 1500 t |
| VL 11 | 200 tn |
| VL 12 | 2000 tn |
| VL 13 | 1800 tonnia, turve- sekä puutuhkaa. |
| VL 14 | n. 1500t/vuosi, sis. myös turpeenpoltosta syntyneen tuhkan |
| VL 15 | 6000-7000 tonnia vuodessa, sisältäen pohjahiekkan ja lentotuhkan |
| VL 16 | 6000 ton |
| VL 17 | n. 8000 tn |
| VL 18 | 850 t lentotuhkaa, 100 t petihiekkaa (sis. pohjatuhkan) |
| VL 19 | 50000 tn |
| VL 20 | arviolta 40 000 ton |
| VL 21 | 10 000 ton |
| VL 22 | 600 t (arvio) |
| VL 23 | 45 tonnia |
| VL 24 | 225m ³ , 175 tn |
| VL 25 | 62 t |
| VL 26 | 250 tonnia |
| VL 27 | 84tn |
| VL 28 | n.8000t |
| VL 29 | Lento- ja pohjatuhka yht. 2380 t |
| VL 30 | 35000 tonnia |
| VL 31 | 30000 |
| VL 32 | |
| VL 33 | kokonaisuudessaan n. 25000 t (huom - turve mukana ko luvussa) |
| VL 34 | n. 2000 m ³ , vastaa n. 1100 tn |

| | 14. | |
|-------|-------------------|---------------|
| | Hyötykäyttöön, ei | Kyllä, mihin? |
| VL 1 | | 1 |
| VL 2 | | 1 |
| VL 3 | | 1 |
| VL 4 | | 1 |
| VL 5 | | 1 |
| VL 6 | 1 | |
| VL 7 | | 1 |
| VL 8 | | 1 |
| VL 9 | | 1 |
| VL 10 | | 1 |
| VL 11 | | 1 |
| VL 12 | | 1 |
| VL 13 | | 1 |
| VL 14 | | 1 |
| VL 15 | | 1 |
| VL 16 | 1 | |
| VL 17 | 1 | |
| VL 18 | 1 | |
| VL 19 | | 1 |
| VL 20 | | 1 |
| VL 21 | | 1 |
| VL 22 | | 1 |
| VL 23 | 1 | |
| VL 24 | 1 | |
| VL 25 | | 1 |
| VL 26 | 1 | |
| VL 27 | | 1 |
| VL 28 | | 1 |
| VL 29 | | 1 |
| VL 30 | | 1 |
| VL 31 | | 1 |
| VL 32 | | |
| VL 33 | | 1 |
| VL 34 | | 1 |

| | Kyllä, mihin? - Comment |
|-------|--|
| VL 1 | 90 % Peitto- ja metsälannoitteeksi (vain pohjatuhka, lentotuhkan on ongelmajätettä) |
| VL 2 | |
| VL 3 | maanrakentamiseen |
| VL 4 | metsälannoite |
| VL 5 | Maanparannusaineeksi |
| VL 6 | |
| VL 7 | Selvitystyö on tämän osalta vielä kesken. |
| VL 8 | Menee, toimittajalla useita kohteita, maanrakennus ja lannoitekokeiluja |
| VL 9 | Maanrakennukseen, lähinnä teollisuuden varastoalueiden tekemisessä korvaamaan sepeli/hiekka täyttöä. |
| VL 10 | metsälannoitteeksi |
| VL 11 | metsälouuteen |
| VL 12 | maanrakennukseen |
| VL 13 | Maanrakennus toimintaa, maisemointiin. |
| VL 14 | Tierakenteiden maanrakennusaineeksi |
| VL 15 | maanrakennus |
| VL 16 | |
| VL 17 | |
| VL 18 | |
| VL 19 | Betoni-, rakennusaine- ja asfalttiteollisuus |
| VL 20 | Lannoitteeksi ja maanrakennukseen |
| VL 21 | Maisemointiin ja maanrakennukseen |
| VL 22 | Tuhkan hyötykäyttäjälle (valmistelu vaiheessa) |
| VL 23 | |
| VL 24 | |
| VL 25 | Hyötykäyttö selvitys on meneillään |
| VL 26 | |
| VL 27 | Metsälannoitteeksi |
| VL 28 | |
| VL 29 | Kaatopaikanpeittoon (Metsäainia) |
| VL 30 | Pääosin neutralointiaineeksi |
| VL 31 | |
| VL 32 | |
| VL 33 | ampumaratavallin täyteaine |
| VL 34 | Kaatopaikan "peittoon" (kaatopaikka lopetettu) |

| 15. | | | |
|-------|--------------------|------------------------------|--|
| | Haitta-aineita? Ei | Haitta-aineita? Kyllä, mitä? | Haitta-aineita? Kyllä - Comment |
| VL 1 | | 1 | Raskasmetalleja |
| VL 2 | | 1 | Raskasmetalleita sallituissa rajoissa |
| VL 3 | | 1 | arseeni siksi ei lannoitekäyttöä |
| VL 4 | 1 | | |
| VL 5 | | 1 | Raskasmetalleja pieniä määriä |
| VL 6 | | 1 | Turpeen mukana tuleva arseeni on suurin ongelma (esim lannoitekäyttö). |
| VL 7 | | | |
| VL 8 | 1 | | |
| VL 9 | | 1 | Joidenkin metallien pitoisuudet ylittävät "puhtaan maan" raja-arvot. |
| VL 10 | 1 | | |
| VL 11 | 1 | | |
| VL 12 | 1 | | |
| VL 13 | | 1 | Korkea arseeni pitoisuus. |
| VL 14 | 1 | | |
| VL 15 | | 1 | jonkinverran mm. metalleja, mutta tuhka on hyötykäyttökelpoista |
| VL 16 | | 1 | |
| VL 17 | | 1 | REF:n poltto lisää metallien osuutta |
| VL 18 | | 1 | Vaihtelee => Arseeni, Barium, PAH-yhdisteet |
| VL 19 | | 1 | Raskasmetalleja, jotka niukkaliukoisia. |
| VL 20 | | 1 | Arseni turpeen takia suurimpana mutta raja-arvojen alla |
| VL 21 | | 1 | Turvetuhkassa arseeni on suurimpana + muut raskasmetallit |
| VL 22 | | | |
| VL 23 | 1 | | |
| VL 24 | 1 | 1 | raskasmetalleja normaalimäärä |
| VL 25 | 1 | | |
| VL 26 | 1 | | |
| VL 27 | | 1 | hiukan cadmiumia |
| VL 28 | | 1 | |
| VL 29 | 1 | 1 | Soveltuu em käyttöön |
| VL 30 | | 1 | |
| VL 31 | 1 | 1 | |
| VL 32 | | | |
| VL 33 | | 1 | arseeni ja molybdeeni (tulee turpeesta) |
| VL 34 | | 1 | Jonkun verran raskasmetalleja (jyrsinturpeesta) |

| 16. | | | |
|-------|--------------------|-----------------------|--|
| | Puhdistetaanko? Ei | Puhdistetaanko? Kyllä | Puhdistetaanko? Kyllä - Comment) |
| VL 1 | 1 | | |
| VL 2 | 1 | | |
| VL 3 | 1 | | |
| VL 4 | 1 | | |
| VL 5 | 1 | | |
| VL 6 | 1 | | |
| VL 7 | | | |
| VL 8 | 1 | 1 | En tiedä tarkkaan loppusijoittajan käsittelyitä, miellä EI |
| VL 9 | 1 | | |
| VL 10 | 1 | | |
| VL 11 | 1 | | |
| VL 12 | 1 | | |
| VL 13 | 1 | | |
| VL 14 | 1 | | |
| VL 15 | 1 | | |
| VL 16 | 1 | | |
| VL 17 | 1 | | |
| VL 18 | 1 | | |
| VL 19 | 1 | | |
| VL 20 | 1 | | |
| VL 21 | 1 | | |
| VL 22 | 1 | | |
| VL 23 | 1 | | |
| VL 24 | 1 | | |
| VL 25 | 1 | | |
| VL 26 | 1 | | |
| VL 27 | 1 | | |
| VL 28 | 1 | | |
| VL 29 | 1 | | |
| VL 30 | 1 | | |
| VL 31 | 1 | | |
| VL 32 | | | |
| VL 33 | 1 | | |
| VL 34 | 1 | | |