

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Hanna Kuusela

**KIERRÄTYSPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ LEIJUKERROS-
POLTOSSA VETYKAASUN KANSSA**

Työn tarkastajat: Professori Risto Soukka
 Professori Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Tuotantojohtaja Kari Kuivala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Hanna Kuusela

Kierrätyspolttoaineiden käyttö leijukerrospoltoissa vetykaasun kanssa

Diplomityö

2009

68 sivua, 12 kuvaa, 9 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Risto Soukka
Professori Mika Horttanainen

Hakusanat: Kierrätyspolttoaine, kierrätyspuu, leijukerrospolto, leijukerroskattila, vetykaasu, päästöjen hallinta

Keywords: Recycled fuel, recovered wood, fluidized bed, fluidized-bed boiler, hydrogen gas, emissions control

Tämä diplomityö on tehty Leppäkosken Energia Oy:n ja Kemira Chemicals Oy:n yhteisyritys FC Energia Oy:lle. FC Energia Oy suunnittelee rakentaa uutta biovetyvoimalaitosta Sastamalaan. Voimalaitoksella tuotettaisiin Kemira Chemicals Oy:n ylijäämävedystä ja biopolttoaineista sähköä, kaukolämpöä ja prosessihöyryä. Ympäristölupaa on haettu hakkeen, turpeen ja kierrätyspuun poltolle vetykaasun kanssa. Voimalaitoksen kattilan toiminta perustuu kuplivaan leijukerrostekniikkaan.

Diplomityössä selvitettiin, mitä muutoksia kierrätyspolttoaineiden käyttö vaatii leijukerrospoltoissa verrattuna hakkeen ja turpeen polttoon. Kierrätyspolttoaineena käytetään hyvälaatuaista kierrätyspuuta. Kierrätyspuun käytössä sovelletaan jätteenpoltoasetusta. Jätteenpoltoasetus määrää tiukemmat päästöjen raja-arvot rinnakkaispoltole kuin hakkeen ja turpeen poltolle sekä jatkuvatoimiset savukaasujen mittauslaitteet. Rinnakkaispolton hiukkasmaisten päästöjen tiukempi raja-arvo vaatii tehokkaamman sähkösuodattimen. Lisäksi kierrätyspuuta käytettäessä tulistimen materiaaliin tulee olla kestävämpää, mikä aiheuttaa huomattavan lisäinvestoinnin.

Työn päätavoitteena oli selvittää, onko kierrätyspuun käyttö taloudellisesti kannattavaa. Oletetulla kierrätyspuun hinnalla 10 €/MWh kierrätyspuuta polttavan voimalaitoksen takaisinmaksuaika on sama kuin haketta polttavan laitoksen ja vuoden lyhyempi kuin turvetta polttavan laitoksen. Tulokseksi saatiin, että rinnakkaispolto käyttö on taloudellisesti kannattavaa hakkeenpoltoon nähden jos kierrätyspuun hinta on alle 11,2 €/MWh. Kierrätyspuun polttoon liittyy toiminnallinen riski, koska vastaavanlaisia rinnakkaispolttolaitoksia ei ole aiemmin rakennettu.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Environmental Engineering Degree Programme

Hanna Kuusela

Using recycled fuel in fluidized bed combustion with hydrogen gas

Master's thesis

2009

68 pages, 12 figures, 9 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Risto Soukka
Professor Mika Horttanainen

Keywords: Recycled fuel, recovered wood, fluidized bed, fluidized-bed boiler, hydrogen gas, emissions control

This master's thesis was made to FC Energia Oy, a joint venture of Leppäkosken Energia Oy and Kemira Chemicals Oy. FC Energia Oy is planning to build a new biohydrogen power plant in Sastamala. The power plant would produce electricity, district heating and process steam from Kemira Chemicals Oy's residue hydrogen and biofuel. Environmental license for combustion of chips, peat and recovered wood with hydrogen gas has been applied for. The power plant's boiler uses bubbling fluidized bed technology.

The purpose of this study was to find out which changes the use of the recycled fuel requires, compared to combustion of chips and peat. Good quality recovered wood is used as recycled fuel. The Finnish environmental legislation regulates the waste incineration of recovered wood. The regulations stipulate stricter emission limit values for co-combustion than for combustion of chips and peat. Continuous flue gas measurement instruments are also required. Stricter limit values for co-combustion particle emissions require a more efficient electric filter. Also the material of the superheater has to be more durable when using recovered wood as fuel. This requires significant additional investments.

The main aim of the thesis was to find out if the use of the recovered wood is financially profitable. When the estimated price of recovered wood is 10 €/MWh, the repayment period for recovered wood power plant is the same as for a chips power plant, and one year shorter than for a peat power plant. The result of this study is that co-combustion is more profitable than a chips power plant if the price of recovered wood is under 11,2 €/MWh. Combustion of recovered wood poses a functional risk because a co-combustion plant of this type has not been previously built.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	6
2 LAKISÄÄTEISET VAATIMUKSET KIERRÄTYAPOLTTOAINEIDEN KÄYTÖLLE.....	9
2.1 Ympäristönsuojelulaki.....	9
2.2 Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta.....	10
2.3 Ympäristölupamenettely	11
2.4 Kierrätyspolttoaine	12
2.4.1 Kierrätyspuu	12
2.5 Päästöjen raja-arvot	13
2.6 Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton tuhkat	15
3 TEKNISET VAATIMUKSET VEDYN JA KIERRÄTYSPOLTTOAINEIDEN RINNAKKAISPOLTOLLE.....	17
3.1 Höyrykattilan toimintaperiaate.....	17
3.2 Teollisuuden vastapainevoimalaitos.....	18
3.3 Kierrätyspolttoaine	19
3.4 Vety	20
3.4.1 Vedyn poltto.....	22
3.5 Leijukerrospoltto	22
3.6 Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto	24
3.6.1 Palaminen	26
3.6.2 Kattilan likaantuminen	26
3.6.3 Korroosio.....	27
3.6.4 Tulistimen materiaali.....	28
3.7 Päästöt ja niiden hallinta.....	29
3.7.1 Hiukkaset.....	30
3.7.2 NO _x	33
3.7.3 SO ₂	34
3.8 Tuhkien ominaisuudet	34
4 TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA REF:N RINNAKKAISPOLTTOON	36
4.1 Kustannuslajit.....	36
4.2. Investointilaskelmat ja -päätökset	37
4.2.1 Tuloslaskelma.....	37
4.2.2 Nykyarvomenetelmä	38
4.2.3 Takaisinmaksuaika	38
4.2.4 Sisäisen koron menetelmä	39
4.2.5 Herkkyystarkastelu	39
4.3 Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä	40
4.3.1 Päästökauppa	40
4.3.2 Sähkön tuotantotuki.....	40
4.3.3 Polttoaineiden hinnankehitys	41
5 KIERRÄTYSPOLTTOAINEITA HYÖDYNTÄVÄN BIO- VETYVOIMALAITOKSEN KANNATTAVUUSLASKENTA.....	42
5.1 Laitoksen tekninen kuvaus	43
5.2 Taloudellinen kannattavuus.....	46
5.2.1 Erot investointikustannuksissa	48

5.2.2 Erot hankintakustannuksissa	48
5.2.3 Erot käyttökustannuksissa, päästökaupassa ja tuissa	49
5.3 Ympäristöluvan hakuprosessi.....	50
5.4 Rinnakkaispolton päästöt	50
5.4.1 Päästöt ilmaan.....	51
5.4.2 Päästöt veteen	54
5.4.3 Melu ja tärinä.....	55
5.5 Vaikutukset ympäristöön.....	56
6 TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA	58
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	62
LÄHTEET	65

LIITTEET

Liite 1. Rinnakkaispolttolaitoksen raja-arvon määrittäminen

Liite 2. Tuloslaskelmat

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Kemialliset tunnukset:

As	arseeni
Br	bromi
C	hiili
Ca	kalsium
Cl	kloori
CO	hiilimonoksidi
CO ₂	hiilidioksidi
Cr	kromi
Cu	kupari
H	vety
H ₂	vetykaasu
HCl	hydrokloridi
HF	vetyfluoridi
I	jodi
N	typpi
NO ₂	typpidioksidi
NO _x	typen oksidit
Pb	lyijy
S	rikki
SO ₂	rikkidioksidi
Zn	sinkki

Symbolit:

C	päästön raja-arvo
$C_{jäte}$	jätteen polttoasetuksen liitteen 5 raja-arvo kullekin päästölle
$C_{prosessi}$	jätteenpolttoasetuksen liitteen 2 kohdissa 2 - 4 päästöjen raja-arvo
E_M	mitattu päästöpitoisuus
E_S	laskettu päästöpitoisuus standardin mukaisessa happipitoisuudessa
$m^3(n)$	normikuutio
$m_{hiukkaset}$	hiukkasten massa
MW_{pa}	polttoaineen teho
O_M	mitattu happipitoisuus
O_S	standardin mukainen happipitoisuus
$q_{net,d}$	tehollinen lämpöarvo kuiva-aineesta
Q_{pa}	polttoaineen mukana kattilaan syötetty energia vuodessa
$Q_{pa/h}$	polttoaineen mukana kattilaan syötetty energia tunnissa
t_{pa}	kattilan käyntiaika vuodessa
V	savukaasun volyyymi
$V_{jäte}$	pelkästään jätteen poltosta syntyvän savukaasun volyyymi
$V_{prosessi}$	tavanomaisesti käytettyjen polttoaineiden (lukuun ottamatta jätettä) polttamisesta syntyvän savukaasun volyyymi

Lyhenteet:

BAT	Best Available Techniques
CEN	European Committee for Standardization
EN	European neuvosto
MARA	Maanrakennus
REACH	Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals
REF	Recovered Fuel
SFS	Suomen standardisoimisliitto
VNp	Valtioneuvoston päätös

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Leppäkosken Sähkö -konserniin kuuluvalla FC Energia Oy:lle kesällä 2009. Haluan erityisesti kiittää tuotantojohtaja Kari Kuivalaa mielenkiintoisesta aiheesta ja opastuksesta työni aikana. Haluan kiittää työn tarkastajina toimineita Lappeenrannan teknillisen yliopiston professoreja Risto Soukkaa ja Mika Horttanaista työni ohjauksesta. Kiitos talousjohtaja Leo Iltaselle asiantuntevista neuvoista ja ideoista. Haluan myös kiittää koko Leppäkosken Sähkö -konsernin henkilökuntaa positiivisesta ja mukavasta työympäristöstä.

Lappeenrannan opiskeluajasta mukavan ja unohtumattoman tekivät opiskelukaverit. Nyt on aika siirtyä kohti uusia haasteita työelämässä. Sydämellinen kiitos vanhemmilleni, veljelleni ja Jannelle siitä, että olette tukeneet ja kannustaneet minua opinnoissani ja unelmien toteuttamisessa.

Ikaalisissa 9.11.2009

Hanna

1 JOHDANTO

Euroopan unionin tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Energian tuottaminen uusiutuvilla energialähteillä fossiilisten polttoaineiden sijaan vähentää hiilidioksidipäästöjä ja näin edesauttaa EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamista. Lisäksi tavoitteena on lisätä jätteiden hyötykäyttöä, jotta vältetään kaatopaikkasijoittamisen kasvihuonekaasupäästöiltä.

Suomessa jätteiden energiahyötykäyttö on painottunut jätteiden rinnakkaispoltoon tavanomaisten polttoaineiden kanssa. Yhdistetyllä kaukolämmön- ja sähköntuotannolla päästään hyvään kokonaishyötysuhteeseen ja se on taloudellisesti kilpailukykyinen toimintamalli. Yhdistettyyn kaukolämmön- ja sähköntuotantoon pyritään löytämään edullisin polttoainevaihtoehto. 1980-luvulla käytettiin yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa puun kuorta ja sahausjätettä. Myöhemmin polttotekniikan ja lupien salliessa alettiin käyttää muita puhtaita, polttoon sopivia murskattuja jätteitä pääpolttoaineiden rinnalla. Kierrätyspolttoaineille laadittiin 2000-luvun alussa standardi, joka määrittelee kierrätyspolttoaineiden perusominaisuudet sekä antaa lähtökohdat niiden laadunvalvonnalle ja kaupalle. Kierrätyspoltosta muodostuvat päästöt ovat olleet hyvin hallinnassa, koska poltettavat jätteet ovat olleet hyvin palavia ja melko haitattomia jätteitä. (Vesanto 2006, 13.)

Tämä diplomityö on tehty FC Energia Oy:lle Sastamalaan suunnitteilla olevaan bio-vetyvoimalaitokseen. FC Energia Oy on vuonna 2000 perustettu Leppäkosken Energia Oy:n ja Kemira Chemicals Oy:n yhteisyritys. FC Energiasta Leppäkosken Energia Oy omistaa 66 % ja Kemira Chemicals Oy loput 34 %. Leppäkosken Energia Oy on Leppäkosken Sähkö Oy:n omistama tytäryhtiö ja Kemira Chemicals Oy on Kemira Oyj:n omistama tytäryhtiö.

FC Energia Oy:n tavoitteena on rakentaa uusi bio-vetyvoimalaitos, jolla tuotetaan sähköä vetykaasulla ja kotimaisilla biopolttoaineilla. Bio-vetylaitokselle haetaan ympäristölupaa hakkeen, turpeen ja kierrätyspolttoaineiden poltolle vetykaasun kanssa.

Tässä diplomityössä tarkastellaan kierrätyspolttoaineiden käyttömahdollisuuksia leijukerrospoltoissa vetykaasun kanssa. Kierrätyspolttoaineiden käyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, koska vältetään jätteiden kaatopaikkasijoituksen aiheuttamilta kasvihuonekaasupäästöiltä. Uuden voimalaitoksen avulla pystytään suojautumaan paremmin sähkön hintariskejä vastaan ja sähkön tuontia korvataan alueellisella ja paikallisella voimalaitosratkaisulla. Nykyinen höyrykattilalaitos jäisi uuden bio-vetyvoimalaitoksen varakattilaksi.

FC Energia Oy:n nykyinen Sastamalan höyrykattilalaitos valmistui vuonna 2003, jonka läheisyyteen on nyt suunnitteilla uusi leijukerroskattila. Nykyisellä laitoksella tuotetaan Kemira Chemicals Oy:n ylijäämävedystä prosessihöyryä ja kaukolämpöä. Tällä hetkellä höyrykattilalaitoksella ei kuitenkaan pystytä hyödyntämään koko vetymäärää. Uuden suunnitteilla olevan voimalaitoksen avulla voitaisiin hyödyntää koko vetymäärä ja tuotettaisiin lisäksi sähköä. Energia hyödynnetään Kemira Chemicals Oy:n tuotantoon, Kemira Chemicals Oy:n tehdaskiinteistöihin ja Sastamalan kaukolämpöverkkoon.

Uudella bio-vetyvoimalaitoksella poltetaan Kemira Chemicals Oy:n tehtaalta prosessin sivutuotteena muodostuva vetykaasu yhdessä turpeen, hakkeen tai kierrätyspolttoaineen kanssa. Kotimaisilla biopolttoaineilla tasataan vedyn määrän vaihteluita ja korvataan tällä hetkellä varapolttoaineena käytetty öljy. Lisäksi voimalaitos suunnitellaan niin, että tulevaisuudessa vedyn tilalla voitaisiin polttaa biopolttoaineita ja vety voitaisiin käyttää esimerkiksi liikennepolttoaineena. Bio-vetyvoimalaitos on ensimmäinen voimalaitos, jossa yhdistetään leijukerrostekniikka ja matalapaineisen vetykaasun poltto.

Hiilidioksidi-, typen oksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöt tulevat lisääntymään nykyiseen Sastamalan voimalaitokseen nähden. Tällä hetkellä Kemira Chemicals Oy:n Sastamalan tuotantolaitoksilla ei ole sähköntuotantoa. Rakennettava voimalaitos vähentää Suomen sähköntuotannossa syntyviä hiilidioksidi- ja rikkidioksidipäästöjä. Uusiutuva energia ei tuota laskennallisesti CO₂ -päästöjä.

Diplomityön tavoitteena on selvittää, mitä muutoksia ja erityispiirteitä kierrätyspoltoaineiden käyttö aiheuttaa leijukerrospoltoissa yhdessä vetykaasun kanssa verrattuna hakkeen tai turpeen polttoon vedyn kanssa. Työssä vertaillaan kierrätyspoltoaineen hankinta- ja käyttökustannuksia turpeeseen ja hakkeeseen nähden sekä tarvittavia lisäinvestointeja käytettäessä kierrätyspoltoaineita. Diplomityön päätavoitteena on selvittää, onko kierrätyspuun poltto taloudellisesti kannattavaa verrattuna hakkeen ja turpeen käyttöön. Ympäristölupaa haetaan turpeen, hakkeen ja kierrätyspoltoaineiden käytölle, jotta voidaan käyttää parasta mahdollista polttoainetta ja varautua polttoaineiden saatavuusongelmiin. Kierrätyspoltoaineena käytetään teollisuudesta peräisin olevaa kierrätyspuuta, mikä luokitellaan käytöstä poistetun puun luokitukseen C. Käytettävä kierrätyspuu on ominaisuuksiltaan hyvälaatuista, eikä eroa merkittävästi luonnonpuun ominaisuuksista.

2 LAKISÄÄTEISET VAATIMUKSET KIERRÄTYAPOLTTOAINEIDEN KÄYTÖLLE

Jätteen polttamisessa on noudatettava valtioneuvoston asetusta (362/2003), ympäristönsuojelulakia (86/2000), jätelakia sekä ympäristölupapäätöstä (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 3 §).

Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan vertailuasiakirja ja jätteenpolttodirektiivi ovat erillisiä asiakirjoja. Niillä on kuitenkin yhteys, koska taustalla ovat samat tiedot mm. jätteenpolton teknisten ratkaisujen vaikutuksista päästöihin. Jätteenpoltoasetus antaa jätteenpoltto- ja rinnakkaispolttolaitoksille raja-arvot, joita ei saa ylittää ja niitä on mitattava ja valvottava. (Vesanto 2006, 28.)

Parhaan käytettävissä olevan tekniikan vertailuasiakirja on informatiivinen taustaasiakirja, jossa on esitettyä hyviä toimintatapoja ja teknisiä ratkaisuja. Vertailuasiakirjassa tarkastellaan ympäristövaikutuksia kokonaisvaltaisesti. Lisäksi vertailuasiakirjassa on parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan liittyvät päästötasot. (Vesanto 2006, 29.)

2.1 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista. Lisäksi lakia sovelletaan sellaiseen toimintaan, jossa hyödynnetään tai käsitellään jätettä. (Ympäristönsuojelulaki 2000, 2 §.)

Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava ympäristölupa. Lisäksi ympäristölupa pitää olla jätteen laitosmaiseen hyödyntämiseen tai käsittelyyn liittyvässä toiminnassa. (Ympäristönsuojelulaki 2000, 28 §.)

2.2 Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta

Jätteenpolttodirektiivin (2000 / 76 / EY) tavoitteena on ehkäistä tai rajoittaa jätteen poltosta ja rinnakkaispoltoista aiheutuvia ympäristöhaittoja. Jätteenpolttodirektiivi koskee jätteen polttoa ja rinnakkaispoltoa. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, 1 §.) Jätteenpolttoasetus noudattaa tarkasti jätteenpolttodirektiiviä.

Poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksen toiminnanharjoittajan tulee huolehtia, ettei jätteiden toimittamisessa ja vastaanottamisessa aiheudu haittaa ympäristölle tai ihmisille. Ympäristöön kohdistuvista päästöistä pyritään estämään tai minimoimaan erityisesti ilmaan, maaperään, pinta- ja pohjavesiin kohdistuvat haitat. Lisäksi minimoidaan haju- ja meluhaitat. (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 3 §.)

Poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksen toiminnanharjoittajan tulee kirjata jätteiden tiedot ja punnita jäte-erät. Jätteiden paino on määritettävä mahdollisuuksien mukaan yleisimpien jätteiden luettelosta annetun ympäristöministeriön asetuksen mukaisesta jäteluokitusta noudattaen. (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 5 §.)

Jätteiden palamisolosuhteiden on oltava mahdollisimman hyvät. Kuonassa ja pohjatuhkassa olevan orgaanisen hiilen kokonaismäärän on oltava alle kolme prosenttia tai niiden hehkutushäviö alle viisi prosenttia aineksen kuivapainosta. Tarvittaessa jäte on esikäsiteltävä, jotta edellä mainitut vaatimukset täyttyvät. (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 8 §.)

Poltto- ja rinnakkaispolttolaitoksissa savukaasun lämpötila nostetaan valvotusti ja homogeenisesti kaikkein epäedullisimmissakin olosuhteissa vähintään kahdeksi sekunniksi 850 °C:seen. Lämpötila mitataan polttouunin sisäseinän läheisyydestä tai ympäristöluvassa määritellystä kohdasta. Lämpötila tulee saavuttaa polttoilman viimeisen syötön jälkeen. (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 8 §.)

Poltto- ja rinnakkaispolttolaitoksessa on oltava automaattinen järjestelmä, mikä estää jätteen syöttämisen käynnistyksen aikana, kunnes savukaasun lämpötila on saavuttanut 850° C:tta tai polton aikana, kun lämpötila alittaa 850° C:tta sekä polton aikana, kun jatkuvat mittaukset osoittavat, että jokin päästöjen raja-arvo ylittyy puhdistuslaitteissa olevien häiriöiden vuoksi. (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 10 §.)

Poltto- ja rinnakkaispolttolaitoksissa syntyvän polttojätteen määrä on minimoitava. Mahdollisuuksien mukaan polttojäte on hyödynnettävä laitoksessa tai ympäristöluvan osoittamalla tavalla. Ennen polttojätteen hyödyntämistä on selvitettävä polttojätteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä haitallisuus ympäristölle. Selvityksen tulee kattaa polttojätteen liukoisen jakeen ja raskasmetallien liukoisen jakeen kokonaismäärä. (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 15 §.)

2.3 Ympäristölupamenettely

Sellaiseen toimintaan, johon sovelletaan jätteen polttamisesta annettua valtioneuvoston asetusta, on oltava ympäristölupa. Ympäristölupahakemus tehdään ympäristösuojeluasetuksessa osoitetulle lupaviranomaiselle. Alueellisessa ympäristökeskuksessa käsitellään sellaiset ympäristöluvut, joissa sovelletaan jätteen polttamisesta annettua valtioneuvoston asetusta. (Saarinen & Leikoski 2009, 8.)

Ympäristölupaviranomainen voi pyytää täydentämään saapunutta ympäristölupahakemusta ja järjestää tarvittaessa neuvotteluja. Ympäristöviranomainen kuuluttaa hakemuksesta 30 päivän ajan asianomaisten kuntien ilmoitustaululla. Hakemuksen vaikutusalueen asukkailla ja viranomaisilla on mahdollisuus esittää ympäristölupahakemuksesta vaatimuksia ja mielipiteitä. Mahdolliset valitukset lupapäätöksestä tehdään Vaasan hallinto-oikeuteen ja siitä edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen. (Saarinen & Leikoski 2009, 9.)

2.4 Kierrätyspolttoaine

Kierrätyspolttoaineille on laadittu kansallinen standardi SFS 5875 vuonna 2000. Standardi määrittelee kierrätyspolttoaineen laatuluokat sen mukaan, kuinka paljon polttoaine sisältää klooria, rikkiä, elohopeaa, kadmiumia sekä yhteismäärältään kaliumia ja natriumia. Lisäksi I-luokassa ei saa olla metallista alumiinia. Polttoainetta valittaessa huomioidaan myös kosteus, tiheys ja raskasmetallien määrä. Kierrätyspolttoaineet luokitellaan kolmeen eri luokkaan, mitkä ovat REF I, REF II ja REF III taulukon 1 mukaisella tavalla. (Suomen ympäristökeskus 2003, 28.)

Taulukko 1. Kierrätyspolttoaineiden laatuluokitus standardin SFS 5875 mukaan. (Suomen ympäristökeskus 2003, 28.)

Epäpuhtaus	Yksikkö	REF I	REF II	REF III
Kloori	massa- %	< 0,15	< 0,50	< 1,50
Rikki	massa- %	< 0,20	< 0,30	< 0,50
Typpi	massa- %	< 1,00	< 1,50	< 2,50
Kalium + natrium	massa- %	< 0,20	< 0,40	< 0,50
Elohopea	mg / kg	< 0,1	< 0,2	< 0,5
Kadmium	mg / kg	< 1,0	< 4,0	< 5,0

2.4.1 Kierrätyspuu

Kierrätyspuun laatuluokitus perustuu eurooppalaiseen kiinteiden biopolttoaineiden standardiin (EN 14961). Samaan standardiin kuuluu myös puunjalostusteollisuuden kemiallisesti käsitellyt sivutuotteet ja käytöstä poistettu puu. Puujäte jaetaan neljään eri luokkaan. Luokka A on kemiallisesti käsittelemätöntä puuta. Luokkaan B kuuluu kemiallisesti käsitelty puu, jossa ei ole raskasmetalleja eikä halogenoituja orgaanisia yhdisteitä. Luokkiin A ja B kuuluvat puut ovat biopolttoaineita, eikä niihin sovelleta

jätteenpolttoasetusta. Luokkien A ja B ominaisuudet luokitellaan standardin EN14961-1 mukaan. Luokkaan C kuuluva puu on kierrätyspolttoainetta ja siinä voi olla raskasmetalleja ja halogenoituja orgaanisia yhdisteitä. Luokkaan C kuuluvalla puulle sovelletaan eurooppalaista kierrätyspolttoainestandardia (CEN / TS 15359) sekä jätteenpolttoasetusta. Luokkaan D kuuluva puu on ongelmajätettä. (Alakangas & Wiik 2008, 1.)

2.5 Päästöjen raja-arvot

Jätteenpoltto- ja rinnakkaispolttolaitoksissa on oltava mittauslaitteistot ja käytettävä tekniikoita, joilla voidaan seurata merkittäviä parametreja, olosuhteita ja massapitoisuuksia. Viranomaiset määrittelevät mittausvaatimukset myöntämässään luvissa. Ilmaan ja veteen kohdistuvien päästöjen automaattisille seurantalaitteille on tehtävä tarkastustesti kerran vuodessa. Kalibrointi tulee tehdä rinnakkaismittauksilla viitemenetelmin vähintään kolmen vuoden välein. Viranomainen määrittelee, mistä kohdasta näytteenotto ja mittaukset otetaan. Ilmaan ja veteen kohdistuvien päästöjen määräaikaismittaukset on tehtävä jätteenpolttodirektiivin liitteessä III olevan 1 ja 2 kohdan mukaisesti. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, 10 §.)

Poltto- ja rinnakkaispolttolaitoksissa on tehtävä jätteenpolttodirektiivin liitteen III mukaisesti seuraavat mittaukset ilmapäästöille:

- jatkuvatoimiset mittaukset seuraaville epäpuhtauksille: NO_x, SO₂, CO, hiukasten kokonaismäärä, orgaanisen hiilen kokonaismäärä, HCl ja HF;
- jatkuvatoimiset mittaukset seuraavista parametreista: lämpötila uunin sisäseinän läheisyydestä tai muusta hyväksytyistä kohdasta, sekä savukaasun happipitoisuus, paine, lämpötila ja vesihöyrystisältö;
- raskasmetallien, dioksiinien ja furaanien mittaukset vähintään 2 kertaa vuodessa; ensimmäisen käyttövuoden aikana tehdään kuitenkin mittaukset vähintään joka kolmas kuukausi. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, 11 §.)

Savukaasujen viipymäaika, vähimmäislämpötila ja happipitoisuus on tarkistettava vähintään kerran laitoksen käyttöönoton aikana (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, 11 §).

Rinnakkaispolttolaitoksen savukaasun epäpuhtauksien pitoisuudet eivät saa ylittää jätteenpolttoasetuksen (362/2003) liitteessä II ilmaistuja raja-arvoja (Valtioneuvoston asetus jätteiden polttamisesta 2003, 13 §). Rinnakkaispolton hiukkasten raja-arvo lasketaan jätteenpolttoasetuksen alla olevan kaavan 1 avulla (liite 1).

$$\frac{V_{jäte} \times C_{jäte} + V_{prosessi} \times C_{prosessi}}{V_{jäte} + V_{prosessi}} = C \quad (1)$$

$V_{jäte}$ = pelkästään jätteen poltosta syntyvän savukaasun volyyymi
[m³(n)/s]

$C_{jäte}$ = jätteen polttoasetuksen liitteen 5 raja-arvoa kullekin päästölle
[mg/m³(n)]

$V_{prosessi}$ = tavanomaisesti käytettyjen polttoaineiden (lukuun ottamatta jätettä) polttamisesta syntyvän savukaasun volyyymi [m³(n)/s]

$C_{prosessi}$ = jätteenpolttoasetuksen liitteen 2 kohdissa 2 - 4 päästöjen raja-arvo

C = päästön raja-arvo

Päästöjen raja-arvojen tulokset on standardoitava seuraavia olosuhteita vastaaviksi: polttolaitoksen savukaasuissa lämpötila 273 K, paine 101,3 kPa, happipitoisuus 11 %, kuiva savukaasu. Rinnakkaispoltoissa tulokset on standardoitava jätteenpolttodirektiivin liitteen II mukaisesti kokonaishappipitoisuuden mukaan alla oleva kaavan 2 mukaisesti. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, 11 §.)

$$E_S = \frac{21 - O_S}{21 - O_M} \times E_M \quad (2)$$

E_S = laskettu päästöpitoisuus standardin mukaisessa happipitoisuudessa

E_M = mitattu päästöpitoisuus

O_S = standardin mukainen happipitoisuus

O_M = mitattu happipitoisuus

2.6 Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton tuhkat

Jätelainsäädännön mukaan tuhkat ovat jätettä. Tuhkien sijoittaminen maaperään edellyttää jätelupaa ja tuhkien hyödyntämiseen tarvitaan ympäristölupa. Kun tuhkia hyödynnetään esim. uusiokäyttöön, niin tuhkan määritelmä muuttuu jätteestä tuotteeksi. Hyödynnettäviin tuhkiin käytetään REACH-asetusta, mikä on EU:n vuonna 2007 voimaan tullut kemikaaliasetus. Tuhkia voidaan hyödyntää maanrakennuskäyttöön MARA-asetuksen mukaisesti. Hyödynnettäessä tuhkia sementin tai betonin raaka-aineena tuhkat voivat vaatia tuotteen rekisteröinnin. (Valtion ympäristöhallinto 2009, Lillman 2009, 8, Vesanto ym. 2007, 48.)

Hyvälaatuisia, erikseen lainsäädännössä säädeltyjä tuhkia voidaan hyötykäyttää maanrakennusmateriaalina ilmoitusmenettelyllä. Kierrätysmateriaalien tuhkia ei kuitenkaan voida hyödyntää pelkällä ilmoitusmenettelyllä. Voimalaitoksissa ja muissa polttolaitoksissa syntyvät kierrätyspolttoaineiden tuhkat luokitellaan ympäristöministeriön asetuksessa nimikeryhmään 10 01. Tarkempi tuhkien luokitus riippuu tuhkan laadusta ja sen syntytavasta. Tuhkien luokituksen selvittämiseksi vaaraominaisuudet arvioidaan erikseen. (Vesanto ym. 2007, 48.)

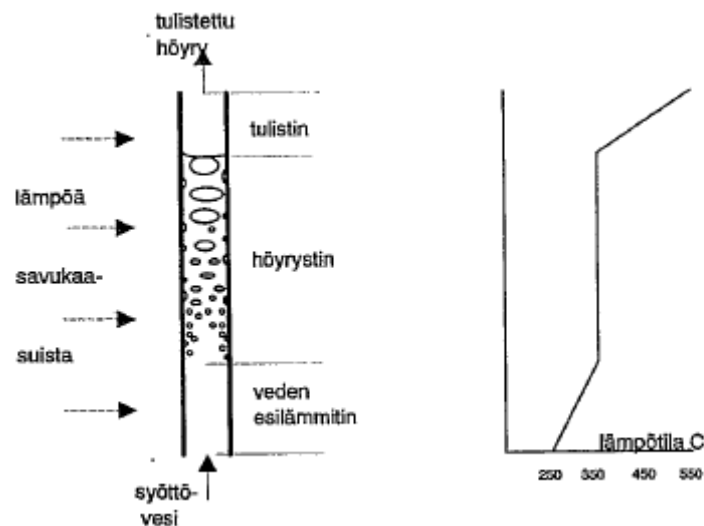
Tuhkan tuottajalla pitää olla tiedot tuhkan alkuperästä, jäteluokituksesta ja sijoituskelpoisuudesta. Lisäksi tulee tietää tuhkan koostumus ja tiettyjen haitallisten aineiden liukoisuudet. Tuhkan vastaanottajan on puolestaan tarkistettava tuhka ja sitä koskevat tiedot. Tuhkiin sovelletaan kaatopaikkakelpoisuuden yleisiä periaatteita,

mitkä on määritelty Valtioneuvoston päätöksessä VNp 861/97 liitteessä 2. Tuhkan kaatopaikkasijoittamisessa on huomioitava syttyvyys, hapettavuus, syövyttävyys, reaktiivisuus ja myrkyllisyys. (Vesanto ym. 2007, 48.)

3 TEKNISET VAATIMUKSET VEDYN JA KIERRÄTYSPOLTTOAINEIDEN RINNAKKAISPOLTOLLE

3.1 Höyrykattilan toimintaperiaate

Höyrykattilan toiminta perustuu kattilaan syötetyn veden muuttamiseen höyryksi. Kuvassa 1 on esitettyä karkeasti vaiheet, joilla syöttövesi saadaan muutettua tulistetuksi höyryksi. Ensimmäisessä vaiheessa vesi lämmitetään höyrystymislämpötilaan. Tämän jälkeen vesi höyrystyy painetta vastaavassa höyrystymislämpötilassa ja lopuksi vesihöyryä tulistetaan eli vesihöyry lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan. Lisäksi kattilalaitokseen kuuluu mm. polttoaineen varastointi-, käsittely ja kuljetuslaitteet sekä savukaasujen puhdistuslaitteistot. (Huhtinen ym. 1997, 7.)



Kuva 1. Höyrykattilan toimintaperiaate. (Huhtinen ym. 1997, 7.)

Voimalaitoksien höyrykattiloiden höyrinpaineet ovat tyypillisesti 150 - 220 bar ja lämpötilat 450 - 550 °C (Huhtinen ym. 1997, 7). Alle 100 MW:n kattiloissa kotimaisia polttoaineita poltettaessa höyrinpaineet ovat tavallisesti alle 100 bar (Metso Oyj 2008). Veden lämmittämiseen tarvittava energia voidaan tuottaa fossiilisilla tai uusiutuvilla energialähteillä. Polttoaineen lisäksi kattilaan syötetään palamisilmaa. Kat-

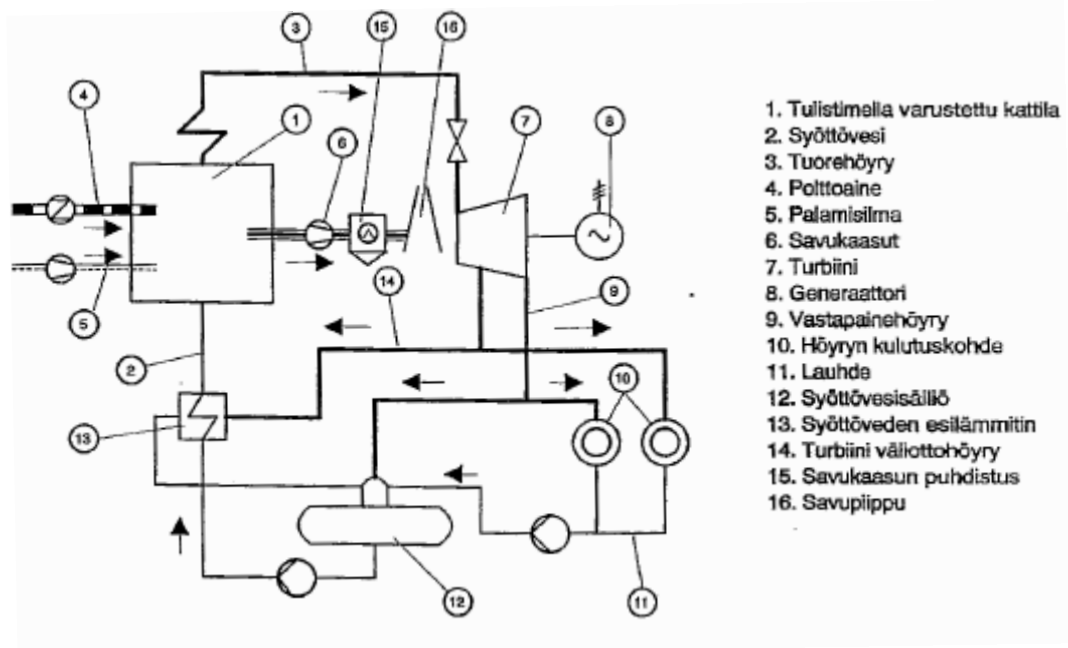
tilassa polttoaine ja palamisilmassa oleva happi reagoivat keskenään, jolloin polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia muuttuu savukaasuihin sitoutuneeksi lämpöenergiaksi. Savukaasuihin sitoutunut lämpöenergia pyritään hyödyntämään jäähdyttämällä savukaasuja höyryntuotannon lämmönvaihtimissa (tulistin, höyrystin, vedenesilämmitin ja palamisilman esilämmitin) ennen kuin savukaasut johdetaan puhdistuksen kautta savupiippuun. (Huhtinen ym. 1997, 7.)

Höyrytekniikka kehittyi suuresti 1700-luvulla, jolloin rakennettiin ensimmäisiä höyrykoneita. Voimalaitoksien sähköntuotannossa nykyisin höyrykoneen tilalla on höyryturbiini. Höyryturbiinin toiminta perustuu höyryn sisältämän energian muuttamiseen suoraan turbiinia pyörittäväksi liike-energiaksi. Höyryturbiinit soveltuvat suuriin paineisiin ja niillä voidaan saavuttaa hyvä yli 40 %:n sähköntuotannon hyötysuhde. (Huhtinen ym. 1997, 8.)

3.2 Teollisuuden vastapainevoimalaitos

Teollisuusprosessien lämmityksessä on yleensä käytetty lämmönsiirtoaineena höyryä. Höyryn avulla saadaan helposti siirrettyä suuria lämpötehoja ja lämmitys voidaan toteuttaa nopeasti, koska höyryllä on hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Teollisuuden vastapainevoimalaitoksien edullisuus perustuu siihen, että höyryntuotannon yhteyteen voidaan rakentaa suhteellisen pienillä lisäinvestoinneilla sähkövoimalaitos. Sähkövoimalaitosta varten kattilan painetasoa on nostettava ja on rakennettava turbiinilaitos. (Huhtinen ym. 1997, 14.)

Vastapainevoimalaitoksen prosessikaaviosta (kuva 2) voidaan havaita, että höyryä voidaan ottaa turbiinin väliotosta. Teollisuuden vastapainevoimalaitoksen kokonaisyötysuhde on samaa luokkaa kuin kaukolämpövoimalan eli noin 90 %:a. Lämmityshöyryn tuotannosta johtuva sähkötehon alentuminen on suurempi vastapainevoimalaitoksissa kuin kaukolämpövoimalaitoksissa, koska teollisuusprosesseissa tarvitaan korkeampia lämpötiloja ja korkeampipaineisia lämmityshöyryjä. (Huhtinen ym. 1997, 14 - 15.)



Kuva 2. Teollisuuden vastapainevoimalaitoksen prosessikaavio. (Huhtinen ym. 1997, 14.)

3.3 Kierrätyspolttoaine

Kierrätyspolttoaineiden laatu voi vaihdella, jos raaka-aineet ovat peräisin useista eri lähteistä. Kierrätyspolttoaineiden laatuksista tärkeimmät ovat palakoko, kosteus, epäpuhtaudet ja kemiallinen koostumus. (Alakangas 2000, 112.)

Käytöstä poistetun puun luokitukseen C kuuluva kierrätyspuu sisältää raskasmetalleja ja halogenoituja yhdisteitä, mutta ei puun kyllästysaineita. Luokan C puunpoltossa noudatetaan jätteenpolttoasetusta. (Alakangas & Wiik 2008, 50.) Taulukossa 2 on esitettyä rakennustoiminnan puujätteen, kierrätyspuiden keskiarvon ja luonnonpuun keskeisempiä ominaisuuksia. Taulukosta voidaan havaita, että kierrätyspuun ja luonnonpuun ominaisuudet eivät monissa kohdissa merkittävästi eroa toisistaan. Tuhkapiitoisuus voi olla huomattavasti suurempi luonnonpuulla verrattuna kierrätyspuun tuhkapiitoisuuteen. Rakennustoiminnan puujätteessä kloori-pitoisuus on matalampi kuin keskimäärin kierrätyspuulla. Korkea Cl-pitoisuus on yksi merkittävä kattilan korroosion aiheuttaja.

Taulukko 2. Kierrätyspuun ja luonnon puun ominaisuuksien keskiarvoja. (Alakangas & Wiik 2009, 32, 35.)

Ominaisuus	Yksikkö	Rakennus- toiminnasta syntynyt kierrätyspuu	Keskiarvo kaikista kier- rätyspuista	Luonnonpuu
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineesta, $q_{net,d}$	MJ/kg	18,7	18,6 - 18,9	17,1 - 20,6
Tuhkapitoisuus	p - % kuiva-aineesta	1,7	0,7 - 4,0	0,2 - 10,0
C	p - % kuiva-aineesta	50,1	49,1 - 52,2	47 - 55
H	p - % kuiva-aineesta	6,4	5,9 - 6,4	5,3 - 7,0
N	p - % kuiva-aineesta	0,5	0,25 - 1,00	< 0,1 - 1,2
S	p - % kuiva-aineesta	0,02	< 0,02 - 0,08	< 0,01 - 0,20
Cl	p - % kuiva-aineesta	0,035	0,02 - 0,12	< 0,01

3.4 Vety

Vety on päästöjen kannalta ihanteellinen polttoaine, koska sen palaessa syntyy vain vesihöyryä. Vedyn palamisessa syntyvä vesihöyrymäärä on 75 g/MJ. Luonnossa vety ei esiinny vapaana, vaan se on varastoituneena veteen ja hiilivetyihin. (Huhtinen 1997, 21, Pirilä 1981, 64.)

Vetyä voidaan tuottaa mm. seuraavilla menetelmillä:

- Reformointi prosessit
- Elektrolyysi
- Biokemialliset prosessit
- Termokemialliset syklit
- Radiolyysi
- Fotolyysi (Raunio 2005, 4.)

Tällä hetkellä vetyä valmistetaan pääasiassa maakaasusta reformoimalla eli hajottamalla. Maakaasun reformoinnissa hiilivedyn hiiliketjut ja vedyn ja hiilen väliset kemialliset sidokset rikotaan. Hiili hapetetaan hiilidioksidiksi. Reaktion tuotteina syntyy vetyä ja hiilidioksidia. Maakaasun reformointi on edullinen menetelmä tuottaa vetyä teollisuuden tarpeisiin, mutta se ei ole päästötön tapa vedyn tuottamiseen, koska se tuottaa jonkin verran hiilidioksidipäästöjä. (Helsinki University of Technology 2002.)

Vetyä voidaan tuottaa vedestä hajottamalla se elektrolyytisesti sähkövirran avulla hapeksi ja vedyksi. Tällä menetelmällä saadaan tuotettua puhtainta vetyä. Elektrolyysissä kokonaisreaktio on sama kuin polttokennossa, mutta vastakkaisuuntainen. Haittapuolena tälle tekniikalle on suuri sähkön kulutus. (Helsinki University of Technology 2002.)

Ekologinen tapa tuottaa vetyä on biomassan kaasuttaminen. Biomassan kaasutus ei vapauta ilmakehään hiilidioksidipäästöjä, kuten hiilivetyjen reformointi aiheuttaa. Biomassan kaasutuksella tuotettu vety sisältää epäpuhtauksia, minkä vuoksi vetykaasu on puhdistettava ennen käyttöä. Tämä kaasutustekniikka on lupaava keino vedyn tuottamiseen, mutta se vaatii vielä kehittämistä. (Helsinki University of Technology 2002.)

Termokemialliset syklit löydettiin jo 1960-luvulla. Nykyään tiedetään jo satoja termokemiallisia syklejä vedyn valmistamiseen. Tulevaisuuden kannalta lupaavina pidetään jodi-rikki (I-S) ja kalsium-bromi (Ca-Br) syklejä. I-S -menetelmä sopii yhteiskäyttöön ydinvoiman kanssa. I-S -kiertoon syötetään lämpöä ja vettä ja kierrosta vapautuu vetyä ja happea. Jodi-rikki -sykli toimii laboratoriomittakaavassa, mutta haasteena on suuren mittakaavan keskeytymätön toiminta. Muita haasteita ovat materiaalien kestävyys rikkihapon hajottamisessa ja reaktio-olosuhteiden optimointi. (Raunio 2005, 7 - 8,10.)

Vedyn valmistamiseen voidaan hyödyntää ydinvoimaa. Ydinvoimalla tuotetun sähkön lisäksi vedyn valmistamiseen voidaan käyttää ydinvoiman prosessilämpöä. Tur-

vallisuussyistä vedyntuotantolaitos tulee sijoittaa muutaman kymmenen metrin päähän ydinreaktorista. (Raunio 2005, 4.)

Vedyn energiasisältö on noin 119 MJ/kg. Vedyn energiasisältö on noin kolme kertaa suurempi kuin bensiinillä. Korkean energiasisällön vuoksi vedyn käyttöä polttoaineena tutkitaan paljon. (Raunio 2005, 3.)

3.4.1 Vedyn poltto

Vety on harvinainen polttoaine voimalaitoksilla johtuen kalliista valmistuskustannuksista. Vedyn polttoa suunniteltaessa on huomioitava vedyn polttotekniset ominaisuudet, korkea palamislämpötila ja suuri palamisnopeus sekä pyrkimys vähäisiin typpidioksidipäästöihin. (Teknologiaselvitys ja vedyn käyttö Suomessa 2009.)

Vedyn käyttö polttimissa ei eroa oleellisesti muiden kaasumaisten polttoaineiden käytöstä. Vedyn korkea palamislämpötila ja liekin suuri etenemisnopeus vaativat muutoksia polttimen rakenteessa. Jos palamislämpötilaa ei alenneta, niin vedyn palamisesta syntyy paljon NO_x -päästöjä. Liekin lämpötilaa voidaan laskea käyttämällä sopivaa poltinrakennetta. (Pirilä 1981, 63.)

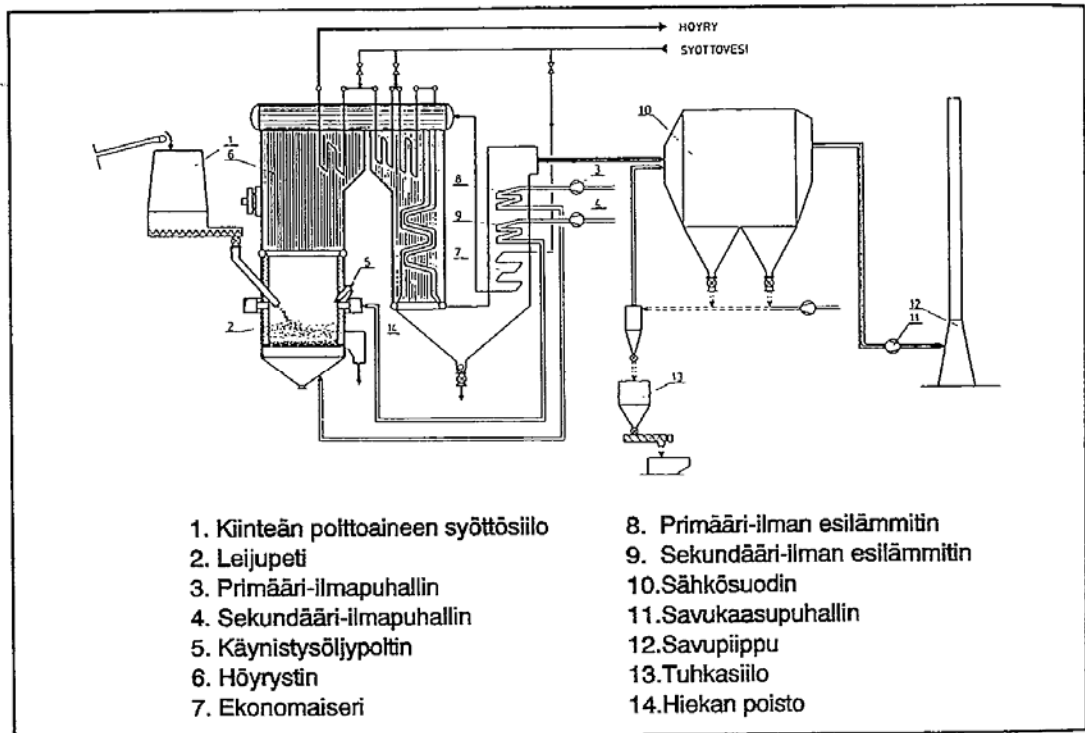
3.5 Leijukerros poltto

Leijukerros poltto perustuu jätteen polttoon ilmavirran avulla leijutettavassa hehkuvan hiekan ja tuhkan muodostamassa kerroksessa. Leijukerros poltto on huomattavasti uudempi menetelmä kuin arinapoltto. Leijukerros poltossa polttoaine liikkuu ja sekoittuu kerroksessa jatkuvasti ja kaasujen ja lämmön siirtyminen on tehokasta. Leijukerros poltto perustuu yleensä joko leijukerrostekniikkaan tai kiertoleijutekniikkaan. Leijukerrostekniikassa (kuva 3) tulipesän muoto ja mitoitus suunnitellaan niin, että tulipesästä poistuvan savukaasuvirran nopeus on pieni ja kerros materiaali partikkelit eivät poistu kaasuvirtauksen mukana. Kiertoleijutekniikassa virtausnopeus on suurempi ja kerroksesta poistuva kaasuvirtaus kuljettaa mukanaan kerros materiaalia. (Vesanto 2006, 31 - 32.)

Leijukerrospoltoissa tulipesään ei saa päästä hallitsematonta ilmaa. Pedin materiaaleina käytetään yleensä hiekkaa tai mineraalimurskeita sekä polttoaineen tuhkaa. Leijupoltossa leijutusmateriaalin keskikoko on noin 1 mm ja leijutusnopeus on noin 1 - 3 m / s. Tulipesän pohjalta poistetaan karkea tuhka ja palamaton materiaali. Savukaasun mukana tulipesästä poistuu hienojakoinen tuhka ja jauhautunut petimateriaali. Jäteperäiselle materiaalille suunnatussa leijukerrospoltoissa savukaasu johdetaan esikäsittelykammioon, jossa sitä jäähdytettäessä höyrystyneet metallit ja epäorgaaniset aineet kiinteytyvät. (Vesanto 2006, 32, Lohiniva ym. 2002, 77.)

Kiertopetitekniikkaa käytetään yleensä suuremmissa laitoksissa, koska kiertopedissä palaminen on tehokkaampaa kuin leijukerrostekniikassa ja tulipesän tarvitsema tilavuus on pienempi. Kiertopetitekniikka kuluttaa enemmän energiaa, koska painehäviöt ovat suuremmat. (Vesanto 2006, 33.)

Leijutekniikoita käytettäessä jäte pitää murskata sopivaan noin 100 mm:n palakokoon. Tässä tekniikassa murskauksen ja metallikappaleiden poisto on erittäin tärkeää, koska syöttö- ja tuhkanpoistolaitteet jumittuvat helposti. Leijukerrostekniikassa laitokset suunnitellaan noin 400 °C höyryn lämpötiloille ja kierto-leijukattilat korkeammille lämpötiloille. (Vesanto 2006, 33.)



Kuva 3. Leijukerroskattilan rakennekuva. (Huhtinen ym. 1997, 144.)

3.6 Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto

Rinnakkaispoltto tarkoittaa jätteiden polttamista samanaikaisesti tavanomaisen polttoaineen kanssa. Leijupetikattilassa rinnakkaispolttoaineeksi sopii hyvänlaatuisen ja melko puhtaasti palava materiaali. Useimmiten leijupetikattiloissa rinnakkaispolttavia jätteitä ovat purkupuu, pakkausjätteet ja erilleen lajitellut sopivasta materiaalista valmistetut REF I- ja REF II-luokkiin kuuluvat kierrätyspolttoaineet. Lisäksi teollisuuden erillisiä tuotantojätteitä voidaan polttaa leijupetikattilassa tavanomaisen polttoaineen rinnalla. Teknisesti hyvälaatuisen jätteen ja kierrätyspolttoaineen poltto soveltuu puulle, turpeelle tai kivihielelle suunnitellussa leijukattilassa. Jätteen tai kierrätyspolttoaineen määrä voi olla jopa muutama kymmenen prosenttia kokonaispolttoaineosuudesta. (Vesanto 2006, 35.)

Jätteiden ja kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltoissa pitää kiinnittää huomiota materiaalin vastaanottoon, varastointiin ja syöttöön, koska jäteperäisten materiaalien käsittelyominaisuudet eroavat tavanomaisista polttoaineista. Jättemateriaaleja käyttä-

vän laitoksen tulee pudistaa savukaasut vaatimuksien mukaisesti. (Vesanto 2006, 35 - 36.)

Kierrätyspolttoaineita voidaan käyttää rinnakkaispolttoaineena tekniset ominaisuudet huomioiden pienten polttolaitosten kokoluokassa (5 - 50 MW) maksimissaan noin 20 - 30 % kokonaispolttoainetehosta. Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltossa on huomioitava sekä teknisiä että ympäristöön vaikuttavia asioita. Tärkein tekninen asia on polttoaineen soveltuvuus kattilaan. (Suomen ympäristökeskus 2003, 38.)

Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto voi aiheuttaa polttoteknisiä haasteita verrattuna tavanomaisten polttoaineiden käyttöön. Haasteet riippuvat kierrätyspolttoaineiden laadusta, kierrätyspolttoaineiden osuudesta verrattuna tavanomaisiin polttoaineisiin ja pääpolttoaineiden ominaisuuksista.

Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltossa on mm. huomioitava seuraavat asiat:

- savukaasupäästöt
- savukaasujen ja polttoaineen viipymäajat tulipesässä (2 sekuntia vähintään 850 °C:ssa)
- polttoaineen syöttöjärjestelmän toiminta
- korroosio kattilan pinnoilla
- tuhkan muodostuminen
- palamattomien aineiden käsittely lento- ja pohjatuhkassa
- kattilan likaantuminen
- kattilan säädettävyyys. (Suomen ympäristökeskus 2003, 38.)

Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto on suunniteltava huolellisesti etukäteen tapauskohtaisesti, jotta vältetään käyttöongelmilta ja voidaan minimoida ympäristövaikutukset. Ennen varsinaista kattilalaitoksen käyttöönottoa tulisi tehdä koepoltto, jotta varmistutaan polttoaineiden sopivuudesta ja päästötasosta. (Suomen ympäristökeskus 2003, 39.)

3.6.1 Palaminen

Kierrätyspolttoaine on murskattava sopivaan (noin 50 - 100 mm) palakokoon. Kierrätyspolttoaineet ovat yleensä reaktiivisia ja hyvin palavia. Kierrätyspuupolttoaineiden poltto ei juuri eroa tavanomaisen puun poltosta. Kierrätyspuu on yleensä kuivempaa ja sillä voi olla korkeampi lämpöarvo kuin tuoreella puulla tai kuorella. Kierrätyspuun epäpuhtaudet eivät vaikuta oleellisesti puun palamiseen, mutta ne voivat lisätä kattilan likaantumista, korroosiota ja vaikuttaa tuhkien laatuun ja kaasumaisiin päästöihin. (Vesanto ym. 2007, 40.)

Polttoaineen tulisi olla mahdollisimman homogeenista, jotta palamisprosessi olisi hyvin hallittavissa ja polttoaineen syöttö tulipesään pitäisi tapahtua mahdollisimman tasaisesti. Jätteenpoltoasetuksen mukaan kierrätyspolttoaineen syöttö on voitava keskeyttää, jos poltto-olosuhteet eivät täytä rajaehtoja. (Vesanto ym. 2007, 40 - 41.)

Kierrätyspolttoaineiden mukana tulevat mekaaniset epäpuhtaudet kuten metallit tulisi poistaa mahdollisimmat hyvin ennen polttoa, koska ne huonontavat leijutusta. Arinalle kerrostuvat mekaaniset epäpuhtaudet huonontavat leijutusta, jonka seurauksena lämpötilan hallinta sekä palamiseen ja päästöjen hallinta heikkenee. (Vesanto ym. 2007, 41.)

3.6.2 Kattilan likaantuminen

Polttoaineen ja tuhkan koostumuksilla on suuri vaikutus kattilan likaantumiseen. Hienojakoinen, alkalimetalleja ja reaktiivista kalsiumia sisältävä tuhka on likaavampaa kuin pääasiassa silikaattimineraaleja sisältävä tuhka. Myös esimerkiksi fosfori- ja rautayhdisteillä on taipumus lisätä tuhkan likaavuutta. Tuhkan määrä vaikuttaa myös likaavuuteen. Kierrätyspolttoaineet likaavat kattilaa enemmän kuin fossiiliset polttoaineet ja turve, koska kierrätyspolttoaineiden tuhkat ovat kalsium- ja alkalipitoisia. Lisäksi kloorin määrä vaihtelee kierrätyspolttoaineissa. (Vesanto ym. 2007, 41 - 42.)

Leijukattiloissa poltetaan usein erilaisia polttoaineita yhdessä, joten polttoaineiden ja tuhkien yhteisvaikutuksia on vaikea arvioida etukäteen. Puhdas kierrätyspuu ja ra-

kennusjäte ovat poltto-ominaisuuksiltaan verrattavissa puuhakkeeseen. (Vesanto ym. 2007, 42.)

Polttoaineen ja tuhkien ominaisuuksien lisäksi poltto-olosuhteet ja kattilan rakenne vaikuttavat kattilan likaantumiseen. Korkea polttolämpötila tai huonosti hallittu epätasainen palaminen aiheuttavat tuhkan osittaista sulamista ja lisäävät tuhkan tarttuvuutta kattilan pintoihin. Kattilan tehokas nuohous on välttämätöntä likaavia bio- ja kierrätyspolttoaineita poltettaessa. (Vesanto ym. 2007, 43.)

3.6.3 Korroosio

Yleisin korroosiotyyppi bio- ja kierrätyspolttoaineita polttavissa leijukattiloissa on tulistinten kuumakorroosio, mikä syntyy polttoaineen kloorin ja alkalimetallien reagoissa keskenään. Likaiset polttoaineet ovat yleensä myös korrodoivia. (Vesanto ym. 2007, 43.)

Puupolttoaineiden alkalit ovat pääasiassa kaliumia. Jättepolttoaineissa on korkeampi natriumpitoisuus. Polttoaineen palaessa kloorin ja tuhkan alkalien reaktiossa muodostuu alkalikloridisuoloja. Savukaasuissa alkalikloridit esiintyvät sulapisaroina ja höyrynä. Alkalikloridihöyryt kondensoituvat kohdatessaan tulistinpinnan ja pisarat tarttuvat pintaan. Kloridisuolat rikkovat putkea suojaavan oksidipinnan ja käynnistävät kloorikorroosion. (Vesanto ym. 2007, 43.)

Tulistinpinnalla oleva tuhkerakennos kasvaa ajan kuluessa. Vaikka klooripitoisten polttoaineiden käyttäminen lopetettaisiin kattilassa, korroosio jatkuu pitkään. (Vesanto ym. 2007, 43 - 44.)

Kuorta ja puuta poltettaessa kloorikorroosioriski on olemassa jo alhaisilla polttoaineen klooripitoisuuksilla (n. 1 % kuiva-aineesta), kun höyryn lämpötila on yli 500 °C. Jos klooripitoisuus on isompi, niin kloorikorroosiota voi esiintyä jo höyryn lämpötiloissa 460 - 480 °C. Purkupuussa ja kierrätyspolttoaineissa voi olla rakasmetalleja, jotka laskevat suolaseosten sulamislämpötiloja ja kloorikorroosion alkamis-

lämpötiloja. Yleisimmät raskasmetallit kierrätyspolttoaineissa ja purkupuussa ovat lyijy ja sinkki. (Vesanto ym. 2007, 44.)

Kloorin aiheuttama kuumakorrosio on pistekorrosiota, jonka korroosionopeus voi olla 1 - 2 mm/a. Klooripitoisuuden lisäksi korroosionopeus riippuu mm. putkimateriaalista, kaasun ja metallin lämpötiloista ja tuhkan kemiallisesta koostumuksesta. (Vesanto ym. 2007, 44.)

Polttoaineen rikki-kloorisuhteella on vaikutusta korroosioon ja kattilan likaantumiseen. Jos tulistinalueella olevan savukaasun S/Cl -suhde on suurempi kuin 2, vähenevät likaantuminen ja korrosio. Jos S/Cl -suhde on suurempi kuin neljä, niin likaantuminen ja korrosio vähenevät oleellisesti. Klooripitoisten polttoaineiden kanssa sopii hyvin käytettäväksi rikkipitoisia polttoaineita kuten turvetta. (Vesanto ym. 2007, 45.)

3.6.4 Tulistimen materiaali

Kattilan lämpöpinnoista tulistimen materiaalivalinta on haastavin korkean lämpötilan vuoksi. Höyryn lämpötila tulistimessa voi maksimissaan olla n. 550 °C. Tulistimissa käytettävien metallien tulee olla kuumalujia eli niiden virumiskestävyys tulee olla hyvä. Lisäksi käytettävien metallien pitää kestää tulta eli ne eivät saa olla taipuvaisia kuumakorrosioon. (Huhtinen ym. 1997, 174, 178.)

Kuumalujuutta voidaan parantaa erilaisilla seosaineilla. Yksi tehokaista seosaineista on molybdeeni, joka vaikuttaa jo pieninä 0,5 - 1,0 %:n pitoisuuksina. Paineenalaisten osien lujuuden mitoitus tapahtuu tiettyyn lämpötilaan asti myötölujuuden mukaan. Lämpötilan noustessa myötölujuus pienenee. Jos aine on jatkuvassa rasituksessa, niin tietyn lämpötilan yläpuolella sen muoto muuttuu jo myötörajaa pienemmissä jännityksissä ja pitkän ajan kuluessa aine voi murtua. Tätä hidasta aineen muodonmuutosta nimitetään virumiseksi ja virumisen aiheuttavaa jännitystä virumislujuuksi. Virumislujuuteen vaikuttaa sekä lämpötila että aika. (Huhtinen ym. 1997, 178.)

Tulistinmateriaalin kesto lyhenee huomattavasti lämpötilan noustessa. On tärkeää, etteivät tulistimet ylikuumene esimerkiksi kattilakiven tai epätasaisen virtauksen vaikutuksesta. Hiiliteräksillä ja niukkaseosteisilla teräksillä on hyvä lämmönjohtokyky, joten ne soveltuvat tulistimen materiaaliksi, kun paineet ja lämpötilat eivät ole korkeat. Näitä materiaaleja voidaan käyttää teollisuuden prosessikattiloissa ja pienissä voimalaitoksissa. (Huhtinen ym. 1997, 178.) Yleensä tulistimissa käytetään seosteisiä ferriittisiä teräksiä tai austeniittisiä teräksiä. (Kirssi 2007, 26.)

3.7 Päästöt ja niiden hallinta

Hyvälaatuisen kierrätyspolttoaineen rinnakkaispoltto ei yleensä lisää savukaasun NO_x- ja SO₂-päästöjä puun tai turpeen sekapolttokattiloissa. Kierrätyspolttoaineen typpi- ja rikkipitoisuudet ovat yleensä korkeintaan samaa suuruusluokkaa kuin pääpolttoaineilla. Huonolaatuisella kierrätyspolttoaineella on korkeampi tuhkapitoisuus kuin puulla tai turpeella. Suuremman tuhkapitoisuuden vuoksi kierrätyspolttoaineiden poltossa savukaasujen hiukkaspitoisuus on korkeampi kuin puun ja turpeen poltossa. Tämä asettaa vaatimuksia tehokkaalle hiukkasten poistolle. Jos kierrätyspolttoaineiden klooripitoisuus on korkea, käytöstä aiheutuu dioksiineja ja furaaneja. Dioksiinien ja furaanien poistamiseksi savukaasuihin on lisättävä aktiivihiihtä ennen sähkösuodatinta. Dioksiinit ja furaanit ovat erittäin myrkyllisiä yhdisteitä. (Suomen ympäristökeskus 2003, 39.) Taulukosta 3 ilmenevät turpeen ja puun päästöarvoja ja hyötysuhteita, jotka perustuvat pienten polttolaitosten takuukokeisiin ja kattilakohtaisiin tietoihin. Hyvälaatuisen kierrätyspuun ominaisuudet eivät oleellisesti eroa tavanomaisen puun ominaisuuksista.

Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto ei yleensä edellytä investointeja savukaasun rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjen vähentämiseksi. Hiukkasten erottaminen savukaasuista edellyttää puhdistuslaitteita. (Suomen ympäristökeskus 2003, 40.)

Taulukko 3. Takuukokeisiin ja kattilakohtaisiin tietoihin perustuvia pienten polttolaitosten päästöarvoja ja hyötysuhteita leijukerroskattiloissa turpeelle ja puulle. (Suomen ympäristökeskus 2003, 18.)

Ominaisuus	Yksikkö	Turve	Puu
Polttoaineteho	MW	10 - 50	10 - 50
Polttoaineen kulutus	GWh	1400	850
Polttoaineen osuus	%	> 60	> 60
Kattilahyötysuhde	%	89 - 91	89 - 91
NO _x	mg/MJ	130 - 200	80 - 150
SO ₂	mg/MJ	150 - 250	< 30
Hiukkaset (sähkösuodatin)	mg/MJ	5 - 20	5 - 30

3.7.1 Hiukkaset

Savukaasujen sisältämät hiukkaset ovat pääasiassa peräisin polttoaineen sisältämästä tuhkasta ja palamatta jääneestä polttoaineesta. Leijupoltossa osan hiukkasista aiheuttaa mukaan tuleva hienojakoinen petimateriaali. Hiukkasten muodostumiseen ja kokonaismäärään ei merkittävästi vaikuta polttotekniikka. Hiukkasten jakautumiseen pohja- ja lentotuhkaan riippuu polttotekniikasta, polttoaineesta ja kattilan toimintaolosuhteista. (Suomen ympäristökeskus 2003, 59.)

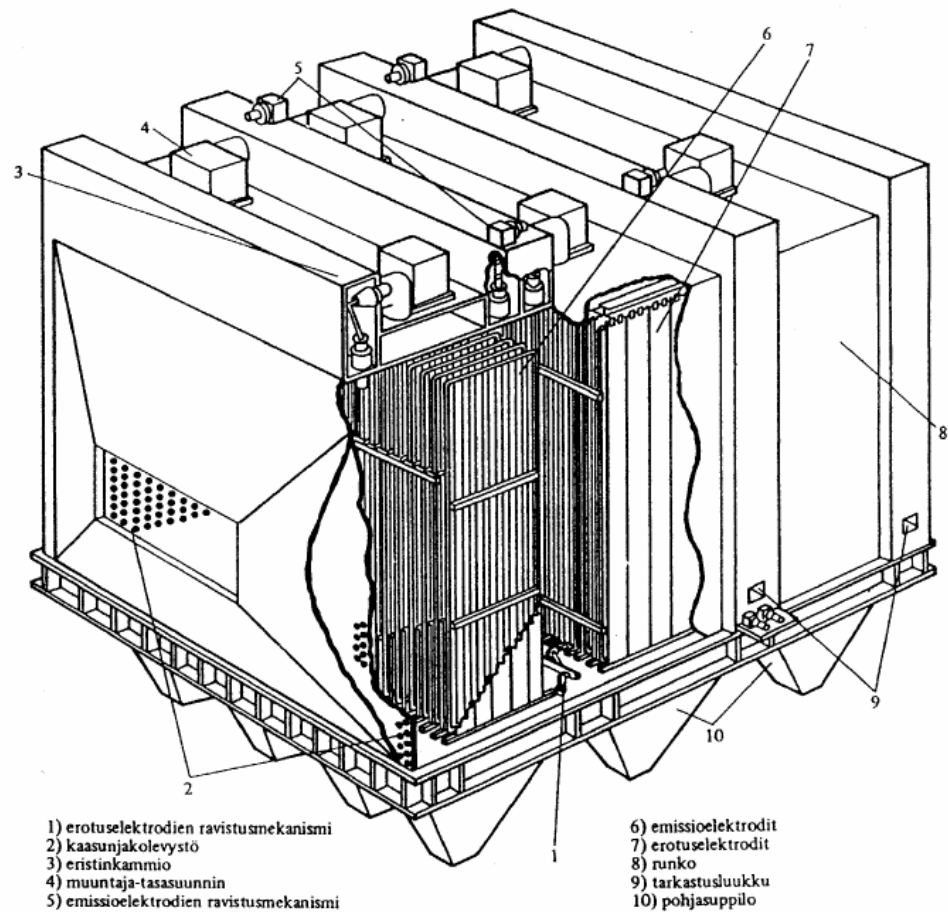
Hiukkaspäästöjen vähentämiseksi on useita eri menetelmiä, joiden valintaan vaikuttavat toimintaolosuhteet sekä vaadittava erotusaste. Pienissä polttolaitoksissa savukaasujen puhdistamisessa käytetään mm. sähkösuodattimia, kuitusuodattimia sekä mekaanisia erottimia. (Suomen ympäristökeskus 2003, 59.)

Sähkösuodatin on käytetyin hiukkasten erotuslaite suurissa voimalaitoksissa. Se on myös yleistynyt pienemmissä kattilalaitoksissa. Sähkösuodattimen etuja ovat korkea erotusaste, pienet käyttö- ja kunnossapitokustannukset, lämpötilankesto, luotettavuus, vähäiset huoltovaatimukset, vähäinen tukkeutumisvaara ja pitkä käyttöikä. Sähkösuodattimen erotusaste on noin 99 % kiinteillä polttoaineilla. Sähkösuodatti-

men heikkona puolena on korkea investointikustannus verrattuna mekaanisiin erotimiin. Investointikustannus on noin 15 000 - 20 000 €/MW_{pa}. Sähkösuodattimen hintaan vaikuttaa oleellisesti tarvittava erotuskyky. Hinta nousee huomattavasti, jos vaaditaan korkeampaa erotuskykyä kuin 99,5 %, koska silloin joudutaan lisäämään sähkösuodattimeen yksi lisäkenttä. Toinen heikkous sähkösuodattimissa on erotusasteen heikkeneminen hiukkaskoon pienetessä alle 10 µm:iin. (Suomen ympäristökeskus 2003, 59 - 60.)

Sähkösuodattimessa hiukkaset varataan sähkökentän avulla, jonka jälkeen ne kiinnittyvät keräyselektrodeille, joilta ne saadaan pois ravistamalla tai pesemällä vedellä. Savukaasu johdetaan maadoitettujen kokoojalevyjen ja emissioelektrodien väliin. Emissioelektrodit varataan negatiivisella tasavirtajännitteellä, joka on 50 - 80 kV riippuen prosessista sekä elektrodien ja levyjen välisestä etäisyydestä. Emissioelektrodit aiheuttavat koronapurkauksen, minkä seurauksena negatiivisten elektrodien irtoaminen synnyttää sähkövirran. Elektronit törmäävät kaasumolekyyleihin, jotka ionisoituvat ja aiheuttavat hiukkasille negatiivisen varauksen. Tällöin hiukkaset ajautuvat kokoojalevyille sähköisten voimien vaikutuksesta, josta ne saadaan ravistamalla säiliöön. (Suomen ympäristökeskus 2003, 60.) Sähkösuodattimen rakenne on esitettyä kuvassa 4.

Sähkösuodattimen erotusaste on riippuvainen emissioelektrodeilta irtoavasta sähkövirrasta. Ominaisvirran kulutus ilmoitetaan sähkövirtana kokoojalevyn pinta-alaa kohden. Nykyisissä sähkösuodattimissa se on yleensä 0,3 - 0,7 mA/m². (Suomen ympäristökeskus 2003, 60.)



Kuva 4. Sähkösuodattimen rakenne. (Ohlström 1998, 40.)

Kuitusuodattimia (tai letkusuodattimia) käytetään lähinnä suurissa voimalaitoksissa. Kuitusuodattimia käytetään silloin, kun hiukkasmaisten päästöjen raja-arvo on tiukka tai hiukkaset ovat vaikeasti erotettavissa. Kiinteän polttoaineen laitoksissa kuitusuodattimella päästään yli 99 %:n erotuskykyyn. Kuitusuodattimen investointikustannus on samaa suuruusluokkaa kuin sähkösuodattimen. Letkusuodattimien kokonaiskustannukset ovat kuitenkin huomattavasti suuremmat kuin sähkösuodattimella, koska letkut on vaihdettava 2 - 4 vuoden välein. Letkujen osuus on noin 20 -30 % letkusuodattimen hinnasta. (Suomen ympäristökeskus 2003, 62 - 63.)

Mekaaniset eli dynaamiset erottimet ovat perinteisesti olleet pienten ja keskisuurten (alle 50 MW_{pa}) kattiloiden hiukaspuhdistimia. Mekaaniset erottimet ovat yleensä yksinkertaisia ja edullisia. Yleisin mekaaninen erotin on sykloni. Sen toiminta perustuu keskipakovoimaan. Hiukkasia sisältävä kaasu johdetaan syklonin sisään joko

tangentiaalisesti tai aksiaalisesti, ja se kulkeutuu spiraalimaisesti kohti pohjaa. Keskipakovoiman vaikutuksesta hiukkaset kulkeutuvat syklonin seinämiä vasten ja puutoavat pohjalle. Puhdistettu kaasu imetään pois syklonin keskeltä. Mekaanisten erottimien heikkona puolena on huono erotusaste. Kiinteillä polttoaineilla erotusaste on noin 90 %. (Suomen ympäristökeskus 2003, 64 - 65.)

Pienissä alle 10 MW:n puuta polttavissa laitoksissa käytetään yleensä mekaanisia erottimia hiukkasten erottamiseen. Suuremmissa yli 10 MW:n polttolaitoksissa käytetään nykyään yleensä sähkösuodattimia. Kierrätyspolttoaineita polttavissa laitoksissa tiukemman hiukkasmaisten päästöjen raja-arvon vuoksi käytetään usein kuitusuodatinta. (Suomen ympäristökeskus 2003, 65.)

3.7.2 NO_x

Leijupoltossa NO_x-päästöt ovat yleensä pienemmät kuin poltinpoltossa. Leijupolton polttolämpötila on matala (800 - 950 °C), minkä vuoksi termisen NO_x:n muodostuminen on merkityksetöntä ja lähes kaikki NO_x on lähtöisin polttoaineen tyypeistä. Uudet kiinteän polttoaineen leiju- ja arinakattilat varustetaan palamisilman vaiheistuksella, jotta voidaan vähentää NO_x-päästöjä. (Suomen ympäristökeskus 2003, 36.)

Leijupolton NO_x-päästöjen määrään vaikuttaa eniten polttoaineen laatu, lämpötila ja ilmakerroin. Ilmakertoimen tai lämpötilan kasvaessa myös NO_x-päästöt kasvavat. NO_x-päästön ja polttoaineen laadun välinen riippuvuus toisistaan on monimutkaisempi, eikä selvää korrelaatiota ole. Puulla NO_x-päästö riippuu voimakkaasti polttoaineen tyypipitoisuudesta. Puun tyypipitoisuuden kasvaessa NO_x-päästöt kasvavat. (Suomen ympäristökeskus 2003, 36.)

NO_x-päästöt voivat olla varsin erilaiset kiertoleijupoltossa ja leijukerrosoltossa. Kalkkikiven lisäyksellä kattilaan on suuri vaikutus NO_x-päästöihin. (Suomen ympäristökeskus 2003, 36.)

3.7.3 SO₂

Leijupoltossa pitkät viipymääjat ja sopiva lämpötila auttavat tehokkaaseen rikinpoistoon. Leijupoltossa petimateriaalin intensiivinen jauhautuminen poistaa kalkkikivitäi dolomiittipartikkelin ympärille muodostuvaa tiukkaa sulfaattikerrosta, joka muuten hidastaisi rikkidioksidin sitoutumista. (Suomen ympäristökeskus 2003, 37.)

Leijupoltossa myös palamislämpötila vaikuttaa rikinpoistoon. Optimilämpötila riippuu mm. käytettävästä sorbentista. Leijukerrospolton optimilämpötila on 820 - 850 °C, kun kiertoleijupoltossa optimilämpötila on hieman korkeampi 850 - 880 °C. Kiertoleijupoltossa on pidemmät viipymääjat kuin leijukerrosoltossa, minkä vuoksi kiertoleijupoltossa rikinpoisto on tehokkaampaa. (Suomen ympäristökeskus 2003, 37.)

Käytettäessä puuta ja turvetta leijukattilassa polttoaineen tuhka sitoo pienen osan (n. 10 - 20 %) muodostuneesta rikkidioksidista johtuen puun tuhkan sisältämistä korkeista alkalimetallipitoisuuksista. Rikinsidontan tehokkuutta on vaikea arvioida, koska alkalimetallipitoisuuden lisäksi rikinsidontaan vaikuttaa palamisolosuhteet ja pedin koostumus. (Suomen ympäristökeskus 2003, 37.)

Tuhkan korkea alkalimetallipitoisuus voi heikentää kattilan käytettävyyttä alentamalla tuhkan sulamispistettä, mikä voi aiheuttaa pedin sintraantumista ja vaikeuttaa pohjatuhkan poistoa. Lisäksi kattilan lämpöpinnoille saattaa muodostua kerrostumia. (Suomen ympäristökeskus 2003, 37.)

3.8 Tuhkien ominaisuudet

Rinnakkaispolttolaitoksen tuhkien laatuun vaikuttaa monet tekijät. Tärkeimmät tuhkien laatuun vaikuttavat tekijät ovat:

- kierrätyspolttoaineen laatu
- kierrätyspolttoaineen osuus kokonaispolttoainemäärästä
- pääpolttoaine ja sen ominaisuudet

- laitoksen polttotekniikka
- hiukkasten erotustekniikka. (Ranta & Wahlström 2002, 33.)

Kierrätyspolttoaineen tuhka sekoittuu pääpolttoaineen tuhkan joukkoon. Kierrätyspolttoaineen tuhka ei välttämättä aiheuta pääpolttoaineen tuhkan laadun heikkene- mistä, jos kierrätyspolttoaineen tuhkapitoisuus on pieni ja se on laadultaan hyvää. (Ranta & Wahlström 2002, 33 - 34.)

Kierrätyspolttoaineiden tuhkapitoisuus on yleensä suurempi kuin puulla ja turpeella. Kierrätyspolttoaineiden osuuden kasvaessa rinnakkaispoltossa myös tuhkan määrä yleensä lisääntyy. Kierrätyspuun ja turpeen tuhkat ovat tuhkan suuren kalsiumpitoi- suuden takia usein alkalisia. Taulukosta 4 voidaan havaita kierrätyspuun osuuden vaikutukset kokonaispolttainemäärästä raskasmetallipitoisuuksiin. Kierrätyspuu nostaa tuhkan haitallisten aineiden kuten arseenin, kromin, kuparin, lyijyn ja sinkin määrää. (Vesanto ym. 2007, 49 - 50.)

Taulukko 4. Kierrätyspuun osuuden vaikutukset kokonaispolttainemäärästä raskasmetallipitoisuuksiin. (Vesanto ym. 2007, 49.)

Raskasmetalli	30 % Turve 70 % Puu	30 % Turve 30 % Puu 40 % Kierrätyspuu
As	100 mg / kg	200 mg / kg
Cr	300 mg / kg	400 mg / kg
Cu	400 mg / kg	800 mg / kg
Pb	700 mg / kg	1 100 mg / kg
Zn	2 000 mg / kg	3 400 mg / kg

Joissakin tapauksissa tuhkia voidaan hyödyntää betoniteollisuudessa, maanrakennuk- sessa ja kalkitusmateriaalina. Höytykäyttömahdollisuus pitää selvittää kullekin lai- tokselle erikseen tutkimalla tuhkan koostumus. (Heikkinen ym. 2002, 34.)

4 TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA REF:N RINNAKKAIS-POLTTOON

4.1 Kustannuslajit

Energia-alan kustannuslaskennassa korostuu pääomakustannusten käsittely, koska investoinnit ovat suuria ja pitkäaikaisia. Kustannusten käsittelyn helpottamiseksi ne jaotellaan erilaisiin osa-alueisiin. Kustannukset voidaan jaotella ajoittumisen perusteella, jolloin kustannukset koostuvat investointikustannuksista, käytönaikaisista kustannuksista ja käytön jälkeisistä kustannuksista. Investointikustannuksiin kuuluu voimalaitoksen rakentaminen sekä polttoaineiden hankinnassa ja tuotetun energian siirrossa tarvittavien järjestelmien rakentaminen. Käytönaikaiset kustannukset koostuvat polttoainekustannuksista, käyttöhenkilöstön palkoista, huollosta ja korjauksista sekä vakuutusmaksuista yms. Käytön jälkeisiin kustannuksiin luokitellaan viivästyneesti hoidettava jätehuolto sekä voimalaitoksen käytöstä poisto. (Tarjanne 2008.)

Kustannukset voidaan jaotella myös kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteiden kustannusten suuruus ei riipu tuotannon määrästä, kun taas muuttuvien kustannusten suuruus on riippuvainen tuotannon määrästä. Pääomakustannukset ovat suurin osa energiatuotantolaitosten kiinteistä kustannuksista. Investointikustannukset kirjataan taseeseen pääomana. Tuotantokustannuksiin kuuluvat pääomakustannukset aiheutuvat pääoman poistosta ja pääomalle maksettavasta korosta. Muut kiinteät kustannukset koostuvat kiinteistä käyttökuluista, joita ovat mm. palkkakustannukset, suunnitellut vuosihuollot ja vakuutusmaksut. Vaikka nämä kustannukset ovat kiinteitä, niin niihin vaikuttavat laitoksen pitkät seisokit. (Tarjanne 2008.)

Muuttuvat kustannukset ovat verrannollisia energiantuotantolaitoksen tuotannon määrään. Energiantuotantolaitoksen muuttuvista kustannuksista suuri tekijä on polttoainekustannukset. Polttoainekustannuksiin vaikuttavat kattilan hyötysuhde ja polttoaineen hinta. Muuttuvia kustannuksia ovat myös tuotannon määrään verrannolliset kunnossapitokustannukset. (Tarjanne 2008.)

4.2. Investointilaskelmat ja -päätökset

Investointilaskelma on investoinnin pitoajalle ulottuva laskelma, jolla selvitetään investoinnin kannattavuus. Laskelma perustuu investoinnin kustannuksista ja tuotoista sekä markkinoista ja pääomatarpeesta saatuihin tietoihin. Investointilaskelman taloudelliseen kannattavuuteen perustuvia menetelmiä ovat:

- nykyarvomenetelmä
- sisäisen koron menetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä
- annuiteettimenetelmä
- pääoman tuottoastemenetelmä. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 213.)

Investointien laskentakorkona voidaan käyttää investointiin käytettävien pääomien suhteella painotettua keskimääräiskustannusta tai sitä korotettuna.

Investoinnin pitoajalla tarkoitetaan taloudellista käyttöaika, mikä investointihyödykkeellä yrityksessä on. Pitoaika voi tarkoittaa esimerkiksi laitteen sitä ikää, minkä se on käyttökelpoinen alkuperäisessä tarkoituksessaan. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 218.)

Investointihyödykkeen jäännösarvo tarkoittaa sitä myyntituloa, mikä investoinnista voidaan saada pitoajan päätyttyä. Jäännösarvo voi usein olla nolla. Jäännösarvo voi joissain tapauksissa olla negatiivinenkin, jos esimerkiksi koneen hävittämistä joutuu maksamaan. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 218.)

4.2.1 Tuloslaskelma

Tuloslaskelma voidaan esittää kululaji- tai toimintakohtaisena tuloslaskelmana. Kululajikohtaisessa laskelmassa kulut ovat luonteensa mukaisessa järjestyksessä ja se on yleisemmin tuloslaskentatapa. Toimintakohtaisessa laskelmassa kulut on jaettu

toiminnoittain. Kululajikohtainen tuloslaskelma koostuu seuraavista neljästä osaluueesta:

- varsinaisen liiketoiminnan tuotot ja kulut
- rahoituksen tuotot ja kulut
- satunnaiset tuotot ja kulut
- tilinpäätössiirtojen ja verojen muutokset. (Ikäheimo ym. 2005, 70)

4.2.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä kaikki investoinnista johtuvat tuotot ja kustannukset diskontataan laskentakorolla nykyhetkeen. Jos nykyarvomenetelmän tulos on positiivinen, niin investointi on kannattava. Kannattavin investointivaihtoehto on se, minkä nykyarvo on suurin. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 218, 220.)

4.2.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmässä lasketaan, minkä ajan kuluessa investoinnin nettotuotot ylittävät hankintakustannuksen. Jos menetelmässä ei huomioida laskentakorkoa ja nettotuotto on vakio, niin takaisinmaksuaika lasketaan jakamalla hankintameno vuotuisella nettotuotolla. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 223.)

Vuotuisten nettotuottojen ollessa eri suuret lasketaan, kuinka monen vuoden nettotuotot tulee laskea yhteensä, jotta perushankintamenot täyttyvät. Laskentakorko voidaan ottaa huomioon diskonttaustekijän avulla. Tällöin lasketaan, kuinka monen vuoden diskontatut vuosituotot tarvitaan täyttämään hankintamenot. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 223.)

Takaisinmaksuajan menetelmä on yleisesti käytössä helppoutensa vuoksi. Menetelmä on painottunut enemmän rahoitusvaikutuksien analysointiin, kuin investointivaikutusten kannattavuuteen, koska menetelmässä ei huomioida takaisinmaksuajan jälkeistä jaksoa. Takaisinmaksuajan menetelmä on kuitenkin yksi hyvä menetelmä investointipäätöksiä tehtäessä. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 223.)

4.2.4 Sisäisen koron menetelmä

Sisäinen korkokanta tarkoittaa sitä korkokantaa, jonka mukaan laskettuna investoinnin nettonykyarvo on nolla. Jos sisäinen korkokanta on vähintään tavoitteena olevan pääoman tuottoprosentin suuruinen, niin investointi on kannattava. Taloudellisesti kannattavin investointivaihtoehto on se, jonka sisäinen korko on suurin. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 221.)

4.2.5 Herkkyystarkastelu

Investoinnin laskennassa on aina epävarmuustekijöitä, koska investoinnin laskennassa käytettäviä tietoja on jouduttu arvioimaan. Epävarmuus tulisi määritellä mahdollisimman tarkasti ennen investointipäätöksen tekemistä. Herkkyysanalyysi on ensimmäinen vaihe investointiin liittyvän epävarmuuden analysoinnissa. Herkkyysanalyysillä tutkitaan, miten investoinnin kannattavuus muuttuu yhden tai useamman tekijän muuttuessa. Sellaiset riskitekijät on tutkittava huolellisesti, jotka vaikuttaisivat oleellisesti investoinnin kannattavuuteen. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 224 - 225.)

Herkkyysanalyysi voidaan tehdä muuttamalla jokaisen osatekijän arvoa 5 %, 10 % tai 15 % ja tai tarkastelemalla, millä tekijöillä on merkittävä vaikutus investoinnin toteuttamiseen. Herkkyysanalyysi voidaan tehdä myös arvioimalla, miten eri osatekijät vaihtelevat optimistisen, todennäköisen ja pessimistisen tulevaisuuden perusteella. Tällä tavalla saadaan realistiset vaihteluvälit eri osatekijöille. (Ikäheimo ym. 2005, 219 - 220.)

Kun jokainen kannattavuuteen liittyvälle komponentille on tehty herkkyysanalyysi, saadaan selville ne osatekijät joiden arviointivirheet aiheuttavat suurimman ja vähäisemmän vaikutuksen kannattavuuteen. Herkkyysanalyysin avulla saadaan selville kannattavuuden suhteen merkittävimmät tekijät, joihin voidaan keskittyä enemmän. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 225.)

4.3 Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Suunniteltaessa kierrätyspolttoaineen käyttöä kyseessä on aina taloudellinen optimointi halvemman polttoaineen ja lisääntyvien ylläpitokustannuksien välillä. Kierrätyspolttoaineiden käytössä voidaan joutua tekemään lisäinvestointeja polttoaineen syöttölaitteistoihin sekä savukaasujen puhdistus- ja päästömittauslaitteisiin. (Vesanto ym. 2007.)

Polttoaineiden hintaan vaikuttavia asioita ovat mm. polttoaineen tuotantokustannukset, maailmanmarkkinahinnat, saatavuus ja polttoainevarat sekä verot (Tarjanne 2006). Polttoaineen hintaan vaikuttaa myös päästökaupan vaikutus fossiilisille polttoaineille sekä sähköntuotantotuki biopolttoaineille.

4.3.1 Päästökauppa

Päästökaupalla tarkoitetaan kaupankäyntiä päästöoikeuksilla. EU:n jäsenmaille on määritelty yhteinen enimmäismäärä kasvihuonekaasupäästöille YK:n Kioton sopimuksen mukaisesti. Tällä hetkellä EU:n päästökauppajärjestelmässä kasvihuonekaasupäästöjä tuottaville laitoksille annetaan hakemuksen perusteella tietty määrä päästöoikeuksia. Yritys voi tarvittaessa ostaa lisää päästöoikeuksia tai jollei yritys tarvitse saamiaan päästöoikeuksiaan, niin ne voidaan myydä pois. (Energiateollisuus 2009.)

EU:n päästökaupan piiriin kuuluvat polttoaineteholtaan yli 20 MW:n jätteen rinnakkaispolttolaitokset. Päästökaupalla on suuri merkitys turpeen poltossa, koska turpeen päästökerroin on $106 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{MJ}_{\text{turve}}$. (Koskinen 2006, 52.)

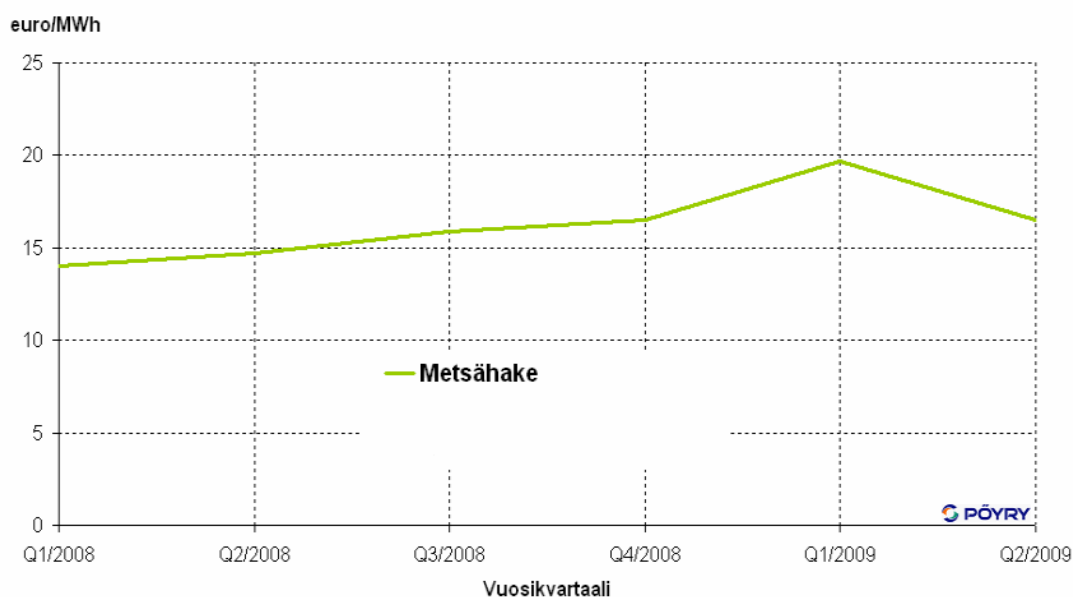
4.3.2 Sähkön tuotantotuki

Sähkön tuotantotuki on yksi energiaverojärjestelmän ohjauskeino lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Verotukitasoja on kolme erilaista. Tuulivoimalla ja metsähakkeella tuotetulle sähkölle maksetaan tukea 0,69 sentt/kWh. Kierrätyspolttoaineelle maksetaan 0,25 sentt/kWh ja muille sähkön tuotantotuen piiriin kuuluville polttoaineille 0,42 sentt/kWh. Kierrätyspolttoaineen tuen pienempi määrä perustuu siihen, että kier-

rätyspolttoaineen energiasisällöstä on arvioitu olevan 60 % uusiutuvaa energiaa. (Tarjanne 2008, 42.)

4.3.3 Polttoaineiden hinnankelityks

Polttoaineiden hinnankelitystä on vaikea arvioida. Hinnankelitykseen vaikuttavia asioita on erittäin paljon. Polttoaineiden hintaan vaikuttavia asioita ovat mm. polttoaineiden tuotantokustannukset, päästökauppa, verotus ja saatavuus. Lisäksi saattaa esiintyä polttoaineiden saatavuusongelmia esimerkiksi turpeella sateisen kesän jälkeen. Turpeen huono tuotantovuosi näkyy selkeästi turpeen hinnan kasvuna. Metsähakkeen hinnankelitys vuoden 2008 alusta vuoden 2009 kesäkuulle on esitetty kuvassa 5. Hinnan muutoks tammikuusta 2008 vuoden 2009 tammikuuhun on lähes 40 %.



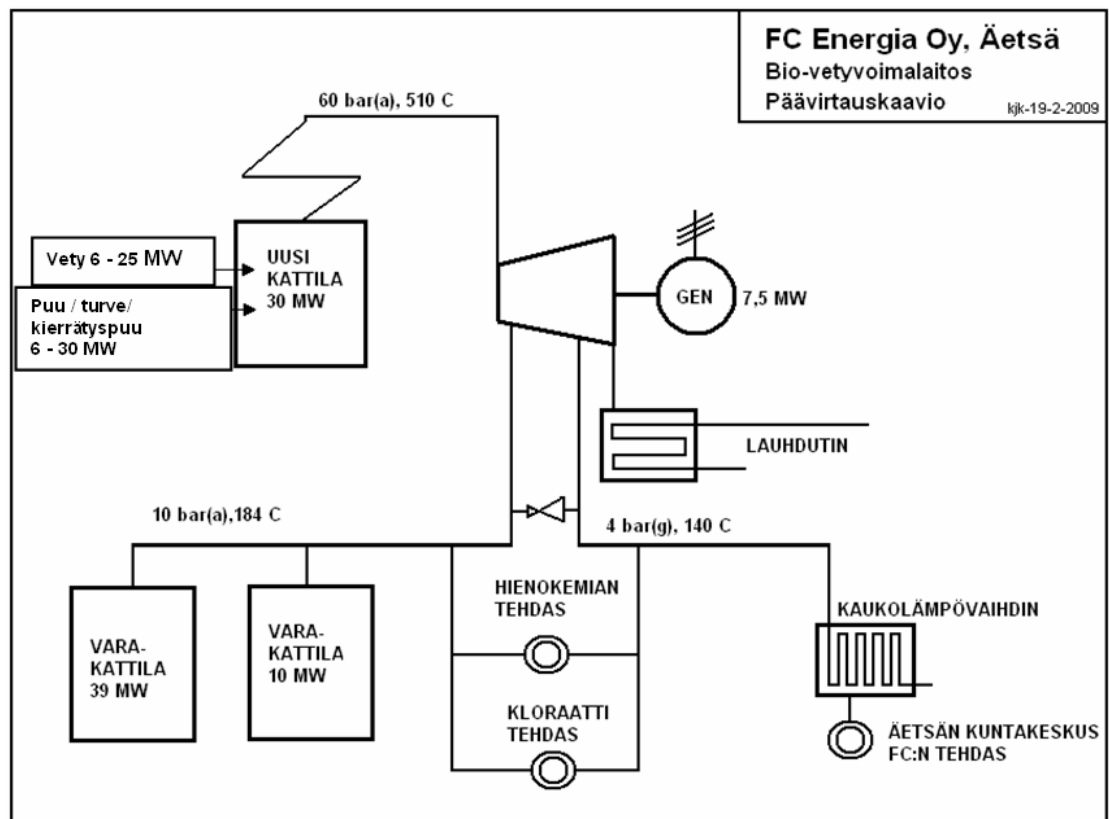
Kuva 5. Metsähakkeen hinnankelitykset. (Pöyry CM Oy 2009 a, muokattu.)

5 KIERRÄTYSPOLTTOAINEITA HYÖDYNTÄVÄN BIO-VETYVOIMALAITOKSEN KANNATTAVUUSLASKENTA

Kemira Chemicals Oy:n tuotantolaitoksella Sastamalassa syntyy vetyä kloorin ja kloraatin elektrolyyttisen tuotannon sivutuotteena (Pirilä 1981, 10). FC Energia Oy:llä on Sastamalassa Kemira Chemicals Oy:n tuotantolaitoksen vieressä höyrykattilalaitos, jossa poltetaan Kemira Chemicals Oy:n ylijäämävetyä. Nykyisellä höyrykattilalaitoksella ei pystytä hyödyntämään koko ylijäämävetyä energiaksi, vaan vuosittain noin 60 GWh vetyä jää hyödyntämättä.

FC Energian tavoitteena on rakentaa uusi bio-vetyvoimalaitos, jossa voitaisiin hyödyntää koko vetymäärä energiaksi. Voimalaitoksessa käytetään Kemira Chemicals Oy:n ylijäämäviedyn lisäksi kierrätyspuuta, haketta tai turvetta saatavuudesta ja hinnasta riippuen. Uusi suunnitteilla oleva bio-vetyvoimalaitos tuottaa prosessihöyryä, sähköä ja kaukolämpöä. Bio-vetyvoimalaitos on ensimmäinen voimalaitos, jossa yhdistetään leijukerrostekniikka ja matalapaineisen vetykaasun poltto.

Uuden bio-vetyvoimalaitoksen valmistuttua vuonna 2003 Sastamalaan rakennettu 39 MW:n höyrykattilalaitos ja vuonna 1987 käyttöön otettu 11 MW:n kattila jäävät varalle ja niille haetaan jatkolupaa samaan ympäristölupapäätökseen. 11 MW:n kattila poistetaan käytöstä noin 2 vuoden kuluttua uuden voimalaitoksen kaupallisesta käyttöönotosta ja vanhin vuonna 1978 käyttöön otettu 10,6 MW:n kattila jää pois heti uuden voimalaitoksen valmistuttua. Varakattiloita on arvioitu käytettävän korkeintaan 2 % kokonaisenergiamäärästä eli noin 7 vrk. Kuvasta 6 nähdään tulevan bio-vetyvoimalaitoksen päävirtauskaavio, missä on myös esitettyä myös varakattilat. Nykyisillä höyrykattiloilla on voimassa oleva ympäristölupa (diaarinro 1901Y0852-111).



Kuva 6. Voimalaitoksen päävirtauskaavio. (Kuivala 2009, muokattu.)

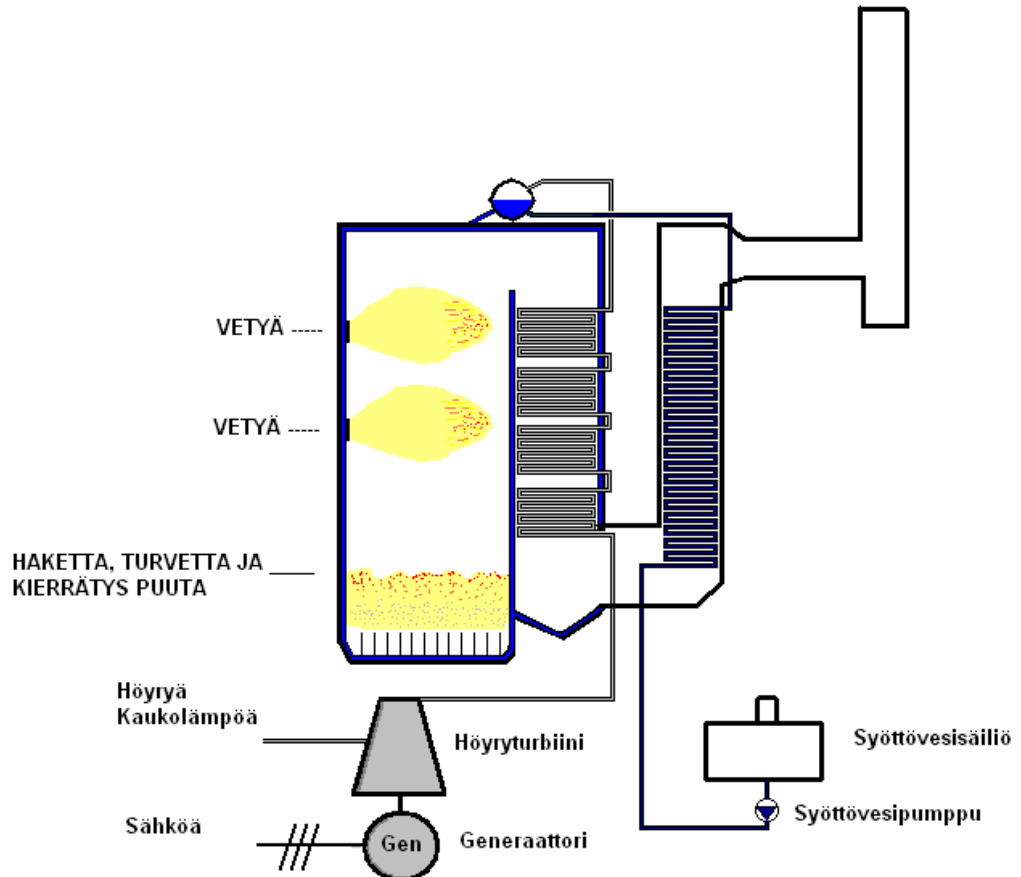
Tässä työssä tarkastellaan kierrätyspuun käyttömahdollisuuksia vetykaasun kanssa verrattuna hakkeeseen ja turpeeseen. Tarkasteluissa huomioidaan taloudellinen, tekninen ja ympäristönäkökulma.

5.1 Laitoksen tekninen kuvaus

Suunnitteilla olevan voimalaitoksen höyrykattilan toiminta-arvot ovat: 30 MW (10,3 kg/s) - 60 bar -510 °C. Uusi voimalaitos tuottaa 9 bar höyryä 12 GWh/a, 3 bar höyryä 130 GWh/a ja sähköä 52 GWh/a Kemira Chemicals Oy:n tuotantoon ja tehdas-kiinteistöihin sekä Sastamalan Äetsän alueen kaukolämpöverkkoon. Lisäksi muodostuu 25 °C:een lauhdelämpöä 65 GWh/a.

Polttotekniikka perustuu kuplivaan leijukerrostekniikkaan. Kattila on varustettu kahdella leijupedin yläpuolisella vetypolttimella, yhteisteholtaan 30 MW (kuva 7). Kattila on mitoitettu siten, että sillä voidaan polttaa myös 30 MW puupohjaisia polttoai-

neita. Voimalaitoksen kattila toimii peruskuormakattilana ja se tuottaa tulistettua höyryä voimalaitoksen höyryturbiinille. Laitoksen pääpolttoaineina ovat Kemira Chemicals Oy:n tuottama vetykaasu sekä hake, turve tai kierrätyspolttoaine.



Kuva 7. Bio-vetyvoimalaitos. (Kuivala 2009.)

Uuden voimalaitoksen suunnittelussa on käytetty tietoja nykyisistä FC Energia Oy:n Sastamalan ja FC Power Oy:n Lappeenrannan vetyvoimalaitoksista. Sastamalan nykyinen 39 MW:n höyrykattilalaitos valmistui vuonna 2003. Se on ensimmäinen höyrykattilalaitos, jossa on kaksi vetykaasupoltinta samassa tulipesässä. Matalapaineinen vetykaasu poltetaan kattilassa ylipaineisena ilman savukaasujen takaisinkierrätystä. Kattilan rakenteena on vesiputkikattilarakenne ensimmäisenä Suomessa. Vetypolttimien kehitystyöllä saatiin rakenne, jolla pystytään polttamaan vetyä alhaisilla NO_x -päästöillä ja samalla polttimien kunnossapitokustannukset pysyvät alhaisina. Höyrykattilalaitoksella tuotetaan prosessihöyryä ja kaukolämpöä. (Teknologiaselvitys ja vedyn käyttö Suomessa 2009.)

FC Power Oy:n Lappeenrannan 18,6 MW:n vetyvoimalaitos valmistui vuonna 2007. Voimalaitoksella käytetään savukaasujen takaisinkierrätystä poltossa syntyvien NO_x-päästöjen vähentämiseksi. Palaminen tapahtuu alipaineisessa tulipesässä. Voimalaitoksen tulistimissa ja polttimissa ei ole havaittu ennenaikaista kuumakorroosiota. (Teknologiaselvitys ja vedyn käyttö Suomessa 2009.) Lappeenrannan voimalaitoksella tuotetaan sähköä ja höyryä. Polttoaineina käytetään Kemira Chemicals Oy:n vetykaasua ja vara- ja lisäpolttoaineena käytetään kevyttä vähärikkistä polttoöljyä. Nykyisillä vetyvoimalaitoksilla ei ole savukaasunpuhdistuslaitteita. Taulukoista 5 - 6 voidaan havaita tämän hetkisen Sastamalan vetyvoimalaitoksen päästöt ilmaan.

Uusi bio-vetyvoimalaitos rakennetaan jaksoittaista käyttöä varten. Laitos suunnitellaan niin, että polttoainekuormituksesta 75 % on vetyä ja 25 % biopolttoaineita. Laitos tulee käyttämään vetyä n. 193 GWh/a ja biopolttoaineita 62 GWh/a. Huipunkäyttöajaksi on arvioitu 6500 h ja vuosihyötysuhteeksi 75,7 %.

Tulipesän ja tulistimien puhdistaminen pyritään suorittamaan ajon aikana toimitukseen kuuluvien vesi- ja höyrynuohoimien avulla. Hiukkaset erotetaan savukaasuista sähkösuodattimen avulla. Savukaasujen virtausnopeus savupiipussa on oletetulla polttoainejakaumalla n. 10 m/s. Savukaasujen lämpötila ekonomaiserin jälkeen on noin 155 °C. Höyrykattilalaitokseen tällä hetkellä kuuluvat öljysäiliöt jäävät paikoilleen. Kevyelle polttoöljylle, jota käytetään uudessa kattilassa käynnistyspolttoaineena, tulee uusi 10 m³ öljysäiliö.

Kattilalaitosta ohjataan Kemira Chemicals Oy:n tehdasvalvomosta ja se liitetään Leppäkosken Energia Oy:n kaukovalvontajärjestelmään. Voimalaitoksen prosessinohjausautomaatio ohjaa ja säätää kahta vetypoltinta annettujen parametrien mukaisesti. Annetuista asetusarvoista mahdollisesti ilmenevistä poikkeamista saadaan hälytys kaukovalvontajärjestelmään ja raja-arvojen ylitykset/alitukset aiheuttavat tarvittaessa polttimien pysäytyksen. Polttoaineiden palamista säädetään kuorman ja savukaasujen happipitoisuuden perusteella. Kameravalvonnalla seurataan voimalaitoksen tilavalvontaa sekä polttimien liekkiä ja savukaasun poistumista piipusta. Pro-

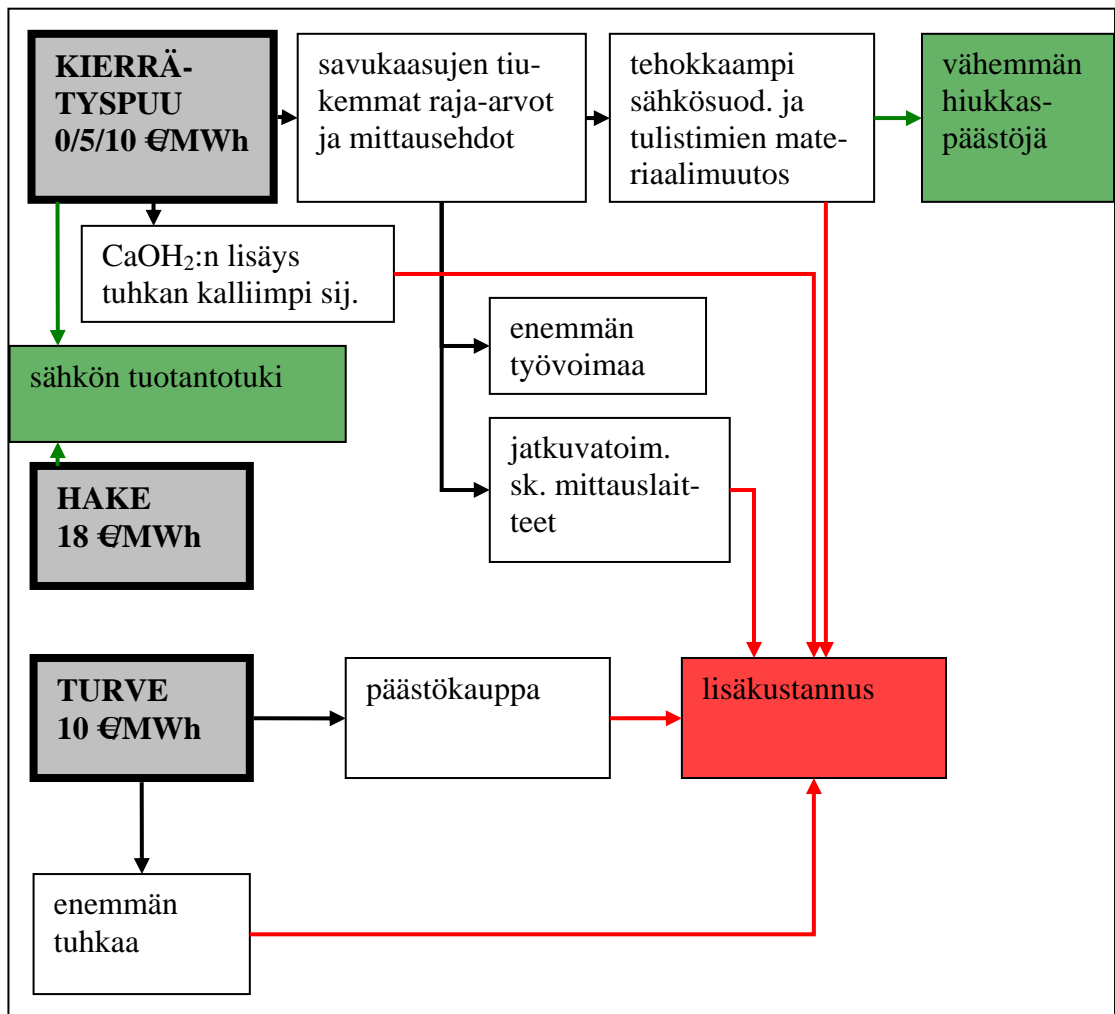
sessin ohjausautomaatio muodostaa tarvittavat kuukausi-, viikko- ja päiväraportit laitoksen toiminnasta ja lisäksi huoltomies kirjaa päivittäin tärkeimmät prosessiarvot.

Hake varastoidaan kolapohjaiseen n. 400 m³ varastoon, jossa on lisäksi hakkeen seulo lomo sekä mahdollinen murskain seulan ylitteelle. Hakkeen käsittelystä aiheutuvat melu- ja pölyhaitat estetään rakenteellisesti. Turpeelle ja kierrätyspolttoaineelle käytetään samaa varastoa kuin hakkeelle. Kierrätyspolttoaineen koostumustiedot saadaan toimittajalta. Kaikki laitokselle tuodut polttoainekuormat punnitaan ja niistä otetaan näyte. Polttoainevarastoa valvotaan kaukovalvonnan avulla. Lentotuhka varastoidaan sähkösuodattimen alle kahdelle suljetulle tuhkalavalle ja arinatuhka varastoidaan kattilan alle suljetulle tuhkalavalle. Tuhkat sijoitetaan kaatopaikalle. Voimalaitos liitetään osaksi Leppäkosken Energia Oy:n kunnonvalvontajärjestelmää ja Leppäkosken Sähkö Oy:n ympäristöjärjestelmään.

5.2 Taloudellinen kannattavuus

Tässä tarkastelussa verrataan kierrätyspuun kannattavuutta leijukerrospoltoissa vedyn kanssa suhteessa hakkeen ja turpeen polttoon. Laskelmissa on käytetty oletettua polttoainejakaumaa, eli 75 % vetyä ja 25 % kierrätyspuuta, haketta tai turvetta. Kannattavuuslaskelmissa on käytetty pitoaikana 20 vuotta. Useimmiten voimalaitoksien pitoaikana on käytetty 25 vuotta. Koska vastaavanlaista laitosta ei ole aiemmin tehty, niin laskelmissa käytetään sen vuoksi lyhyempää pitoaikaa. Laskentakorkona on käytetty 5 %. Eri polttoainevaihtoehdoille tehtiin tuloslaskelmat (liite 2). Tuloslaskelmien avulla laskettiin kumulatiivinen tuotto, joiden perusteella saatiin takaisinmaksuajat.

Voimalaitoksen kolmelle eri biopolttoainevaihtoehdolla (kierrätyspuu, hake ja turve) on hyvin erilaisia teknisiä ja taloudellisia vaikutuksia, jotka ilmenevät alla olevasta kuvasta 8.



Kuva 8. Eri polttoaineiden aiheuttamat vaikutukset.

Kierrätyspuuta käytettäessä työvoimakustannukset nousevat, koska jokaista laitokselle tulevasta polttoainekuormasta kirjataan tiedot ylös ja punnitaan jäte-erät.

Rinnakkaispoltossa savukaasujen lämpötila on oltava vähintään 2 sekunnin ajan 850 °C:tta. Kattila mitoitetaan joka tapauksessa isoksi, koska vedyn poltto vaatii palamisilman vaiheistukset. Kahden sekunnin viipymäaika toteutuu joka tapauksessa suunnitellussa laitoksessa. (Kuivala, henkilökohtainen tiedonanto 4.9.2009.)

Jos voimalaitokselle otetaan käyttöön kierrätyspuu, niin se tulisi olemaan hyvälaatuista rakennustoiminnan puujätettä. Rakennustoiminnan puujätteessä Cl-pitoisuus on suhteellisen matala noin 0,035 p- % kuiva-aineesta (taulukko 2). Jos tulevaisuudessa poltettaisiin kierrätyspolttoainetta, minkä Cl-pitoisuus olisi korkeampi, niin

höyryn lämpötilaa pitäisi alentaa, koska tulistimen korroosioriski kasvaa lämpötilan ja Cl-pitoisuuden noustessa. Voimalaitokselle valitaan tulistinmateriaaliksi austeniittinen teräs, mikä soveltuu kierrätyspuun, turpeen, hakkeen ja vedyn polttoon. Jos tulistin materiaaliksi olisi valittu ferriittinen teräs, niin se olisi soveltunut hakkeen ja turpeen poltolle, mutta lämpötilaraja korroosiolle olisi voinut tulla vastaan. Kierrätyspuuta poltettaessa tulistinmateriaaliksi pitää valita joka tapauksessa austeniittinen teräs.

5.2.1 Erot investointikustannuksissa

Investointikustannukset ovat pääosin samat riippumatta käytettävistä polttoaineista. Jos laitoksessa otetaan käyttöön kierrätyspuu, niin huomattavimmat investointikustannuksiin vaikuttavat asiat verrattuna hakkeen tai turpeen käyttöön ovat sähkösuodatin sekä tulistimien materiaalimuutos. Koska kierrätyspuun käytön hiukkasten raja-arvo on $37 \text{ mg} / \text{m}^3(\text{n})$, niin kattilatoimittajan lupaama päästöraja $50 \text{ mg} / \text{m}^3(\text{n})$ ei täytä jätteenpoltoasetuksen vaatimia ehtoja. Jotta rinnakkaispolttolaitoksen raja-arvoon päästään, niin pitää investoida tehokkaampaan sähkösuodattimeen, mikä vaikuttaa ympäristöön hiukkasmaisten päästöjen vähennyksenä. Tehokkaamman sähkösuodattimen ja tulistimen materiaalimuutoksen vuoksi investointikustannukset kasvavat 950 000 € alustavien kattilatoimittajien tarjouksien perusteella. Tällä sähkösuodattimen lisäinvestoinnilla päästään hiukkasten päästötasoon $37 \text{ mg} / \text{m}^3(\text{n})$ polttoainesuhteella 75 % vetyä ja 25 % kierrätyspuuta. Kierrätyspuuta poltettaessa vaaditaan jatkuvatoimiset savukaasujen mittauslaitteet. Näiden mittauslaitteiden arvioitu investointikustannus on 100 000 €. Haketta ja turvetta käyttävien voimalaitosten investointikustannukset ovat 20,4 M€ ja kierrätyspuuta käyttävän 21,5 M€.

5.2.2 Erot hankintakustannuksissa

Kierrätyspuun hankintakustannukset lasketaan hinnoilla 0 €/MWh, 5,0 €/MWh ja 10 €/MWh. Hyvälaatuisen kierrätyspuun keskihinta on tällä hetkellä noin 10 €/MWh (Pöyry CM Oy 2009 b). Kierrätyspuun kulutus on 62 GWh/a polttoainesuhteella 75

% vetyä ja 25 % biopolttoaineita. FC Energia maksaa kierrätyspuun käytöstä 5,0 €/MWh hinnalla 310 000 €/a ja 10 €/MWh hinnalla 620 000 €/a.

Hakkeen hinta on noin 18 €/MWh. Käytettäessä vedyn kanssa ainoastaan haketta kulutus on 62 GWh/a. Hakkeen hinnaksi tulee 1 116 000 €/a. Turpeen hinta vaihtelee hintaan vaikuttavien monien eri tekijöiden vuoksi. Turpeen hinnaksi arvioidaan 10 €/MWh. Turpeen hankintahinnaksi tulee 620 000 €/a.

5.2.3 Erot käyttökustannuksissa, päästökaupassa ja tuissa

Tuhkamäärä hakkeella ja kierrätyspuulla on maksimissaan 175 t/a. Tuhkamäärä on laskettu hakkeen ja kierrätyspuun määrälle 24527 t/a, kosteuspitoisuudella 45 % ja tuhkapitoisuudella 1,3 % kuiva-aineesta. Turvetta polttaessa tuhkamääräksi muodostuu maksimissaan 611 t/a. Tuhkamäärä on laskettu turpeen määrälle 23 250 t/a, kosteuspitoisuudella 48,5 % ja tuhkapitoisuudella 5,1 % kuiva-aineesta. Tuhkien koostumus tulee tutkia ja sen mukaan selviää, voidaanko rinnakkaispolton tuhkat luokitella tavalliseksi jätteeksi vai ongelmajätteeksi. Kierrätyspuuta poltettaessa tuhkien on oletettu sijoitettavan ongelmajätteen kaatopaikalle ja hinnaksi on arvioitu 151 €/t. Tuhkan kaatopaikkamaksu turvetta ja haketta poltettaessa on 60 €/t. Tuhkien kaatopaikkamaksu kierrätyspuulle on 26 425 €/a, hakkeelle 10 5000 €/a ja turpeelle 36 660 €/a.

Huonolaatuisesta kierrätyspuuta poltettaessa dioksiinien ja furaanien poistamiseen voidaan mahdollisesti tarvita sammutetun kalkin ja aktiivihiiilen lisäys. Aktiivihiiilen lisäyksellä pystytään poistamaan savukaasuista dioksiini ja furaani sekä elohopea (Jokiniemi 2006, 24.) Saatujen tutkimusten perusteella sammutettua kalkkia lisätään prosessiin 33 t/a. Hinnaksi sammutetulle kalkille on arvioitu 170 €/t. Joten kierrätyspuulle sammutetun kalkin lisähinta on 5610 €/a.

Tarkemmasta laadunvarmistuksesta johtuen kierrätyspuuta käytettäessä työvoimakustannukset ovat suuremmat, koska polttoaineiden kuormat punnitaan saapumishetkellä ja tarvittaessa otetaan näyte polttoaineesta. Työvoimakustannuksien lisäksi kierrä-

tyspuulle arvioidaan olevat 25 000 €/a. Jatkuvatoimisten mittalaitteiden huollosta ja kalibroinnista aiheutuvien kulujen on arvioitu olevan noin 25 000 €/vuodessa.

Sähköntuotantotuki saadaan hakkeen ja kierrätyspuun käytölle. Tukea saadaan vain sähkön tuotannon osalta. Sähkön tuotantotuki hakkeelle on 6,9 €/MWh ja kierrätyspolttoaineille 2,5 €/MWh. (Tarjanne 2008, 92.) Sähkön tuotanto vuodessa on 52 GWh. Sähkön tuotantotukea hakkeelle saadaan 427 800 €/a ja kierrätyspuulle 155 000 €/a.

Hiilidioksidin ominaispäästökerroin turpeelle on 105,9 g_{CO2} / MJ (Tilastokeskus 2008, 27). Turvetta poltettaessa 62 GWh/a turpeen hiilidioksidipäästöt ovat 23 637 t vuodessa. CO₂-päästöoikeuden hinnaksi arvioidaan 14 €/t. CO₂-päästökaupan kustannuksiksi turpeelle tulisi 330 916 €/a.

5.3 Ympäristöluvan hakuprosessi

Nykyisellä Sastamalan höyrykattilalaitoksella on voimassaoleva ympäristölupa. Nyt haettiin lupaa sekä uudelle laitokselle että vanhoille kattiloille samaan ympäristölupapäätökseen. Ympäristölupahakemus kierrätyspuun, hakkeen ja turpeen poltolle vetykaasun kanssa lähetettiin Pirkanmaan ympäristökeskukselle 16.7.2009.

Kierrätyspuun osalta ympäristöluvan hakuprosessi voi pitkittyä, koska lupaprosessijat ovat olleet yleensä pidempiä kierrätyspolttoaineiden poltossa. Tämän vuoksi aiotaan hakea lupaa ympäristönsuojelulain 101 § mukaisesti hakkeen ja turpeen poltoon. 101 § (Päätöksen täytäntöönpano muutoksenhausta huolimatta) tarkoittaa, että toiminta voidaan aloittaa muutoksenhausta huolimatta lupapäätöstä noudattaen (Ympäristönsuojelulaki 2000, 101 §).

5.4 Rinnakkaispolton päästöt

Uuden laitoksen rinnakkaispolton hiukkasten raja-arvo on laskettu jätteenpolttoasetuksen (362/2003) liitteen 2 mukaisesti alla olevalla kaavalla. Raja-arvon laskennassa

käytettiin oletettua kuormitusta, jossa vedyn osuus on 75 % ja kierrätyspolttoaineen 25 %. Laitoksen rinnakkaispolton raja-arvo on vuotuinen hiukkasten raja-arvo.

$$\frac{V_{\text{jäte}} \times C_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}} \times C_{\text{prosessi}}}{V_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}}} = C \quad (3)$$

Savukaasumäärä vedylle (V_{prosessi}) on 7,6 m³(n)/s ja kierrätyspuulle ($V_{\text{jäte}}$) on 3,7 m³(n)/s. Savukaasumäärät ovat mahdollisen kattilatoimittajan laskemia oletetulla polttoainesuhteella. $C_{\text{jäte}}$ on jätteenpolttoasetuksen liitteen 5 raja-arvo hiukkasille, joka on 10 mg/m³. C_{prosessi} on tavanomaisen jätteen hiukkasten raja-arvo, joka on 50 mg/m³ (taulukko 7). Sijoittamalla lukuarvot kaavaan 3 uuden laitoksen rinnakkaispolton hiukkasten raja-arvoksi saatiin 37 mg/m³.

Kattilatoimittaja lupaa sähkösuodattimen hiukkasten erotusasteeksi 50 mg/m³(n). Tämä raja-arvo soveltuisi vedyn, turpeen ja hakkeen poltolle, mutta poltettaessa kierrätyspuuta raja-arvo on 37 mg / m³(n). Kierrätyspuun poltolle vaaditaan tehokkaampi hiukkasmaisten päästöjen puhdistuslaite.

5.4.1 Päästöt ilmaan

Päästöt ilmaan tulevat lisääntymään uudessa voimalaitoksessa nykyiseen laitokseen verrattuna. Höyrykattilaitoksen savukaasut johdetaan 50 m korkeaan savupiippuun. Taulukoissa 5 - 6 on esitetty nykyisen Sastamalan laitoksen päästöt ilmaan sekä taulukoissa 7 - 8 uuden voimalaitoksen arvioidut päästöt poltettaessa vetyä ja turvetta. Hiukkaspäästöjen raja-arvo poltettaessa vetyä ja kierrätyspolttainetta on laskettu kaavan 3 avulla.

Taulukko 5. Nykyisen Sastamalan laitoksen vuonna 2004 mitatut päästöt 39 MW:n kattilasta, vety: (päästötulokset on redusoitu 3 %:n O₂:een). (FC Energia Oy 2004.)

Erotettava aine	Päästö (mg/m³n)	Ominaispäästö (mg/MJ)	Vuosipäästö (kg/a)
Hiukkaset	0	0	0
NO _x (NO ₂ :na)	721	207	76 898
CO ₂	0	0	0

Taulukko 6. Nykyisen Sastamalan laitoksen vuonna 2004 mitatut päästöt 39 MW:n kattilasta poltettaessa raskasta polttoöljyä. (päästötulokset on redusoitu 3 %:n O₂:een). (FC Energia 2004.)

Erotettava aine	Päästö (mg/m³n)	Ominaispäästö (mg/MJ)	Vuosipäästö (kg/a)
Hiukkaset	38	11	129
NO _x (NO ₂ :na)	905	260	3052
CO ₂		72 000	851 330

Vedyn poltosta ei synny kuin NO_x-päästöjä. Nykyisellä Sastamalan laitoksella on käytössä raskas polttoöljy, josta syntyy CO₂-päästöjä 72 g/MJ. Joutsenon laitoksen NO_x-päästöt olivat 78 mg/m³n vuonna 2007 redusoituna 3 %:n O₂:een poltettaessa vetyä.

Taulukko 7. Ympäristökeskukselle ilmoitetut päästöjen raja-arvot kattilatoimittajan selvityksen perusteella uudelle 30 MW:n bio-vetyvoimalaitokselle poltettaessa vetyä ja turvetta 100 %:n kuormituksella laskettuna 6 % O₂:een (mg/m³n)

Päästö	Turve N = 1,2 % S = 0,2 % ka.	Vety	Vety 25 % Turve 75 %	Vety 50 % Turve 50 %	Vety 75 % Turve 25 %
Hiukkaset	50	-	38	25	15
NO _x (NO ₂ :na)	450	350	425	400	375
SO _x (SO ₂ :na)	550	-	415	275	165

Kattilan NO_x-päästöt ovat samat poltettaessa turvetta, haketta ja kierrätyspuuta. Turpeen rikkipitoisuus on 0,2 % kuiva-aineesta ja typpipitoisuus on 1,2 % kuiva-

aineesta. Polttoaineen pienemmän rikkipitoisuuden vuoksi SO_x-päästöt ovat matalammat hakkeella ja kierrätyspuulla turpeeseen verrattuna. Kierrätyspuun SO_x-päästöt oletetulla polttoainejakaumalla ovat 165 mg/m³n.

Taulukossa 8 on ilmoitettuna uuden suunnitteilla olevan bio-vetyvoimalaitoksen päästöjen raja-arvot poltettaessa vetyä ja turvetta. BAT-kirjan mukaisesti laskettu 30 MW:n voimalaitoksen hiukkasten raja-arvo on 52 mg/MJ. Taulukossa 9 on uuden bio-vetyvoimalaitoksen päästöjen raja-arvot poltettaessa vetyä ja kierrätyspuuta.

Taulukko 8. Uuden kattilan laskennalliset ominaispäästöarvot oletetulla polttoainesuhteelle: vetyä 75 % ja turvetta 25 % laskettuna 6 %:n O₂:een.

Päästö:	(mg/MJ)	Raja-arvo BAT-kirja (mg/MJ)
Hiukkaset	4,3	52
NO _x (NO ₂ :na)	108,0	
SO ₂	26,1	

Taulukko 9. Uuden kattilan laskennalliset ominaispäästöarvot oletetulla polttoainesuhteelle: vetyä 75 % ja kierrätyspuuta 25 % laskettuna 6 %:n O₂:een.

Päästö:	(mg/MJ)
Hiukkaset	10,7
No _x (NO ₂ :na)	108,0
SO ₂	47,6

Voimalaitoksen arvioidut vuotuiset ominaispäästöarvot on laskettu suhteella 75 % vetyä ja 25 % turvetta tuntipäästön ja polttoaineen mukana kattilaan syötettävän lämpöenergian avulla kaavoja 4 - 5 avulla:

Tuntipäästö:

$$C \times (V_{\text{prosessi}} + V_{\text{jäte}}) = m_{\text{hiukkaset}} \quad (4)$$

C on rinnakkaispolton hiukkasten raja-arvo 37 mg/m^3 , mikä laskettiin kaavan 3 avulla. Vedyn ja kierrätyspolttoaineen savukaasumäärät V_{prosessi} ja $V_{\text{jäte}}$ ovat yhteensä $11,3 \text{ m}^3/\text{s}$ mahdollisen kattilatoimittajan selvityksen perusteella. Rinnakkaispolton hiukkasten tuntipäästö on $1,5 \text{ kg/h}$.

Polttoaineen mukana kattilaan syötettävä lämpöenergia tunnissa:

$$\frac{Q_{pa}}{t_{pa}} = Q_{pa/h} \quad (5)$$

Q_{pa} = polttoaineen mukana kattilaan syötetty energia vuodessa

$Q_{pa/h}$ = polttoaineen mukana kattilaan syötetty energia tunnissa

t_{pa} = kattilan käyntiaika vuodessa

Polttoaineen mukana syötetty energia vuodessa on $9,18 \cdot 10^8 \text{ MJ}$ ja kattilan käyntiaika 6500 h/a . Polttoaineen mukana kattilaan syötetty energia on 141 GJ/h . Ominaispäästö lasketaan jakamalla tuntipäästö kattilaan syötetyn energian määrällä. Hiukkasten ominaispäästö on $10,7 \text{ mg/MJ}$.

Rinnakkaispolttolaitoksissa savukaasun lämpötila tulee nostaa valvotusti ja homogeenisesti vähintään kahdeksi sekunniksi $850 \text{ }^\circ\text{C}$:seen. Tämä kahden sekunnin viipymä ei aiheuta muutoksia laitokselle, jos kierrätyspolttoaine otetaan käyttöön. Vetyä poltettaessa palamisilman vaihteistuksia on enemmän ja useita eri ilmavyöhykkeitä. Hapen säätö tulee olemaan haastavaa, koska vety reagoi helposti hapen kanssa.

5.4.2 Päästöt veteen

Nykyisen höyrykattilalaitokseen vesilaitos jää toimimaan ja laitokseen lisätään raakaveden mekaaninen esisuodatin ja käänteisosmoosilaitos, koska uusi voimalaitos tarvitsee puhtaampaa vettä. Käänteisosmoosilaitoksen pesukemikaalit otetaan laitokselle Kemira Chemicals Oy:n tuotannosta ja laimennetaan pesuveteen. Prosessiveden valmistus oli vuonna 2008 keksimäärin noin 35 t/h . Nykyiseen höyrykattilalaitokseen

sisältyvä paineilmalaitos ($35 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ja paine 7 bar) jää myös toimintaan nykyisellä tavalla. (FC Energia 2009.)

Lauhteiden lämpötila on noin $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Vesilaitoksen huuhteluvedet, puhtaat lauhteet, jäähditysvedet sekä raakaveden esisuodattimen kiintoaine johdetaan sellaisenaan Kokemäenjokeen. Lämpökuorma vesistöön tulee lisääntymään nykyiseen verrattuna, mutta vaikutukset ovat vähäisiä, koska joki on virtaava ja lämpökuorma ja lämpötila-ero jokeen ovat pienet. Vedet, jotka voivat sisältää epäpuhtauksia johdetaan välisäiliön kautta kaupungin jätevesiverkoston. (FC Energia 2009.)

Kokemäenjoen kiintoainepitoisuus on $4,95 \text{ mg/l}$. Voimalaitos käyttää vettä $298\,000 \text{ t/a}$, josta lauhteita palaa kiertoon kaukolämmöstä $18\,000 \text{ t/a}$, turbiinilauhteina $97\,700 \text{ t/a}$ ja omakäytöstä $42\,000 \text{ t/a}$. Uutta vettä puhdistetaan $140\,300 \text{ t/a}$. Tästä määrästä puhdistuksessa erottuu kiintoainetta n. 700 kg/a . Huleveden määrä on laskettu 2 ha alueelle sadevesimäärällä 650 mm/a . Huleveden määräksi tulee noin $13\,000 \text{ m}^3/\text{a}$. (FC Energia 2009.)

5.4.3 Melu ja värinä

Uuden voimalaitoksen läheisyydestä mitattiin melu ympäristölupahakemusta varten ennen laitoksen rakentamista, jotta tiedetään jo olemassa oleva melutaso. Mittaukset otettiin $1,5 \text{ m:n}$ korkeudelta kolmesta eri mittauspisteestä noin $100 - 200 \text{ metrin}$ päästä tulevasta laitoksesta. Mittaukset otettiin kahden vuorokauden ajalta, jotta tulokset ovat luotettavat. Tämän hetkinen A-painotettu keskiäänitaso lähimpään omakotitaloon oli päivällä 47 dB(A) ja yöllä 49 dB(A) . Uimahallin suuntaan A-painotettu keskiäänitaso oli päivällä 45 dB(A) ja yöllä 46 dB(A) . Asutuksen suuntaan A-painotettu keskiäänitaso oli päivällä 46 dB(A) ja yöllä 48 dB(A) . (FC Energia 2009.)

Voimalaitoksen yksittäisen laitteen melu ei ylitä arvoa 85 dB(A) alueella, jolla joudataan työskentelemään huollon tai käytön takia. Melu mitataan standardin ISO 3746 mukaan. Tämä ei koske tiloja, jotka ovat sitä varten erikseen rakennetut, kuten esim. puhallinkone sekä nuohoimien, varo-, käynnistys- ja reduktioventtiilien aiheuttamaa

melua. Uusi voimalaitos ei lisää oleellisesti tehdasalueen tärinää nykyiseen verrattuna, koska alueella on nykyinen FC Energia Oy:n höyrykattilalaitos, joka jää varalaitokseksi uuden bio-vetyvoimalaitoksen valmistuttua. Lisäksi alueella on Kemira Chemicals Oy:n tuotantolaitos. (FC Energia 2009.)

5.5 Vaikutukset ympäristöön

Uuden bio-vetyvoimalaitoksen tavoitteena on korvata sähkön ostoa alueellisella ja paikallisella voimalaitosratkaisulla. Tällä hetkellä Kemira Chemicals Oy:n Sastamalan tuotantolaitoksilla ei ole sähköntuotantoa. Rakennettava voimalaitos vähentää Suomen sähköntuotannossa syntyviä päästöjä (CO₂- ja SO₂- päästöt), koska bio-vetyvoimalaitoksen uusiutuvien energialähteiden osuus on suurempi, kuin keskimäärin Suomen sähkön tuotannossa. Suomen sähkön tuotannosta 36 % tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä vuonna 2008 (Tilastokeskus 2009). Lisäksi omakäyttöenergian ja kaukolämmön tuotannossa hyödynnetään tuotantoprosessin jäähdytysvesien lämpöenergiaa.

Voimalaitoksen toiminta-alue on kaavoitettu teollisuusalueeksi. Aidattu toiminta-alue on rajoitettu Kemira Chemicals Oy:n tehdasalueen ja Kokemäenjoen väliin. Voimalaitoksesta on n. 10 m joen rantaan, maaperä on savea ja moreenia. Aluetta ei ole merkitty pohjavesialueeksi.

Lähimpään asuinrakennukseen on noin 300 m. Peruskoulun ala-aste sijaitsee noin 0,6 km etäisyydellä ja terveyskeskus, vanhusten palvelutalo sekä kaksi päiväkotia sijaitsevat n. 1 km säteellä höyrykattilalaitoksesta.

Uusi voimalaitos korvaa nykyiset höyrykattilat, joissa varapolttoaineena ovat kevyt- ja raskaspolttoöljy. Uuden voimalaitoksen savukaasut ohjataan 50 m korkeaan savupiippuun. Korkeampi savupiippu vähentää lähiympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia nykyiseen verrattuna, koska päästöt leviävät laajemmalle alueelle.

Voimalaitoksen suunnittelussa ja käytössä otetaan huomioon FC Energia Oy:n Sastamalan höyrykattilalaitoksen vaaran arviointi -toimintaohje, Turvatekniikan Keskuksen ohjeet ja määräykset sekä Kemira Chemicals Oy:n pelastus- ja kaasunsuojelusuunnitelmat. Palo- ja kaasuhälytykset sekä muut kriittiset hälytykset siirretään Kemira Chemicals Oy:n klooraattitehtaan valvomoon, josta huolehditaan tarvittavien korjaus- ja pelastustoimenpiteiden toteutus.

Savukaasujen hiukkaspäästöt puhdistetaan sähkösuodattimen avulla. Hakkeen käsittelyn melu- ja pölypäästöt estetään rakenteellisesti. Voimalaitos tullaan varustamaan mahdollisimman matalatyyppipäästöisillä kaupallisilla polttimilla.

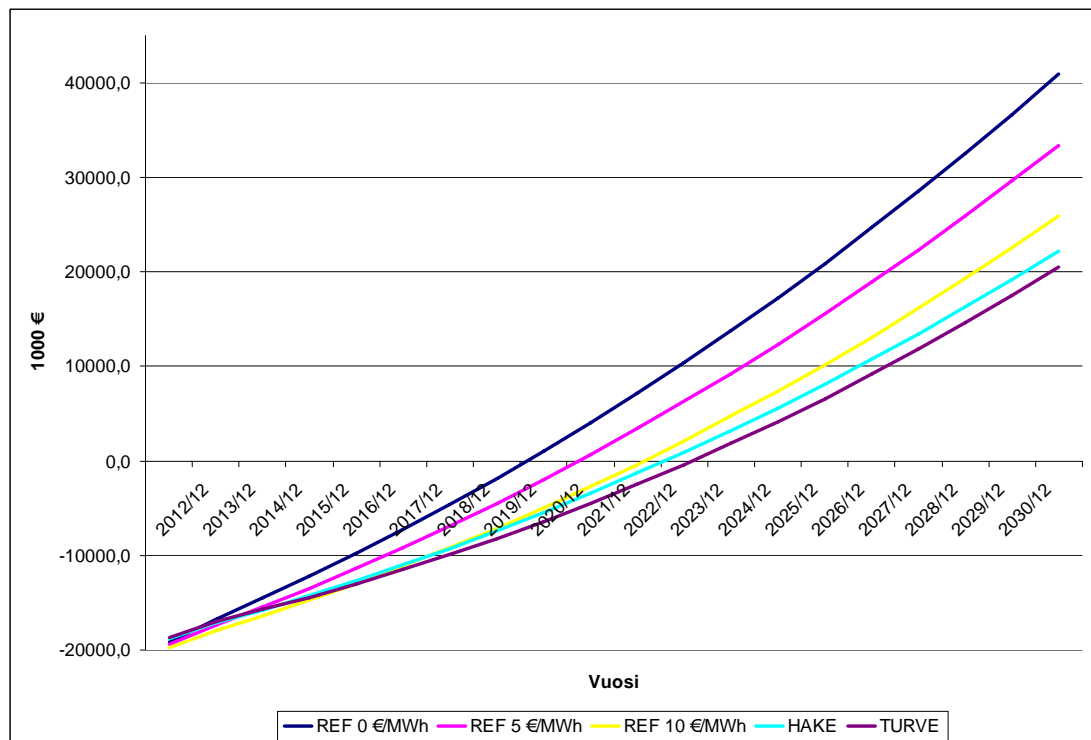
Savukaasujen hiukkaspäästöjen osalta uusi kattila täyttää pienten alle 50 MW:n poltolaitosten kansallisen BAT-selvityksen mukaisen päästöjen raja-arvon, joka kyseiselle laitokselle on 52 mg/MJ laskettuna BAT-kirjan liitteessä 1 olevalla kaavalla.

Voimalaitos liittyy Leppäkosken Sähkö -konsernin sähkön siirto- ja jakelualan energiasäästösopimukseen. Ympäristöasioiden hallintajärjestelmässä on sisällytetty energiatehokkuuden parantamistavoitteiksi energiankulutuksen vähentäminen sekä materiaalien ja polttoaineiden käytön vähentäminen. Voimalaitos tulee noudattamaan Leppäkosken Sähkö Oy:n ympäristöjärjestelmän sisältämiä tavoitteita ja ohjeita.

Uusi voimalaitos käyttää puupolttoaineita enintään 86 800 m³ vuodessa. Se vastaa noin 616 rekkakuormaa vuodessa. Voimalaitokselle rakennetaan uusi tie.

6 TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

Kuvassa 9 on esitettyä tuloslaskelmien (liite 2) perusteella lasketut takaisinmaksuajan kuvaajat viidelle eri polttoainevaihtoehdolle.

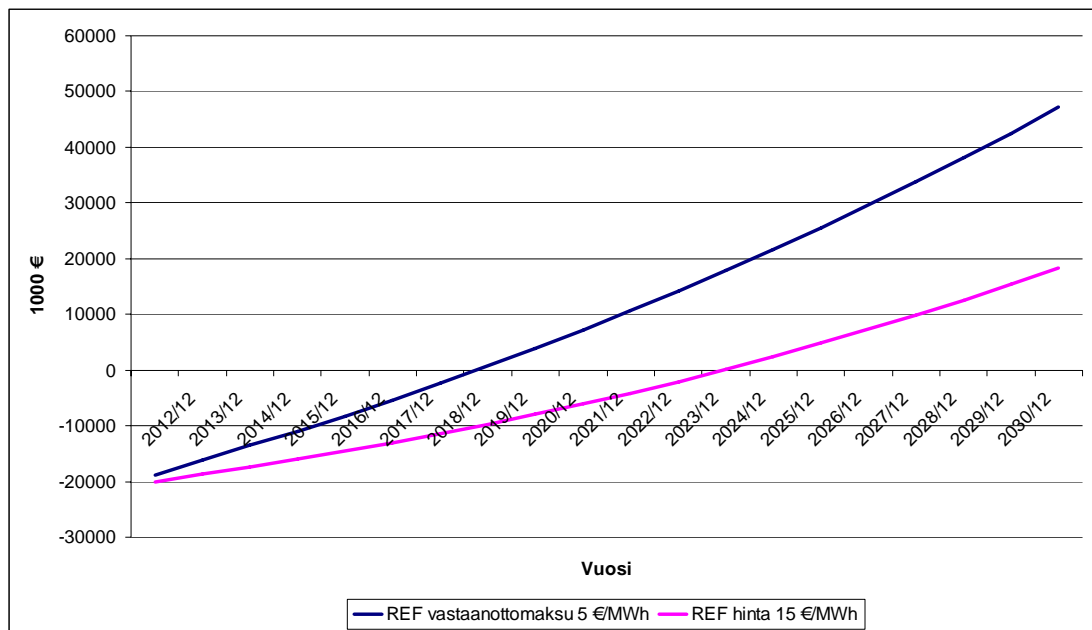


Kuva 9. Kumulatiivinen tuotto eri polttoainevaihtoehdoilla.

Kierrätyspuun oletetulla hinnalla 10 €/MWh tai poltettaessa haketta laitoksen takaisinmaksuaika on 12 vuotta. Turvetta poltettaessa voimalaitoksen takaisinmaksuaika on 13 vuotta eli vuoden pidempi kuin haketta ja kierrätyspuuta oletetulla 10 €/MWh hinnalla polttavien laitosten. Polttoainevalinnalla ei ole huomattavaa merkitystä takaisinmaksuaikoihin nykyisillä polttoaineiden hinnoilla. Pitoajan lopussa vuonna 2030 voimalaitoksen kumulatiivinen tuotto kierrätyspuun hinnalla 10 €/MWh on 5 M€suurempi kuin poltettaessa turvetta.

Jos kierrätyspuun hinta olisi 5 €/MWh, laitoksen takaisinmaksuaika olisi 2 vuotta lyhyempi kuin haketta polttavan laitoksen. Jos kierrätyspuusta ei tarvitsisi maksaa, niin laitoksen takaisinmaksuaika hakkeeseen verrattuna lyhenisi 3 vuotta.

Herkkyystarkastelussa tarkastellaan kierrätyspuun hinnan muutoksen vaikutusta takaisinmaksuaikaan. Herkkyystarkastelu tehtiin kierrätyspuun vastaanottomaksulla 5 €/MWh ja hinnalla 15 €/MWh (kuva 10).

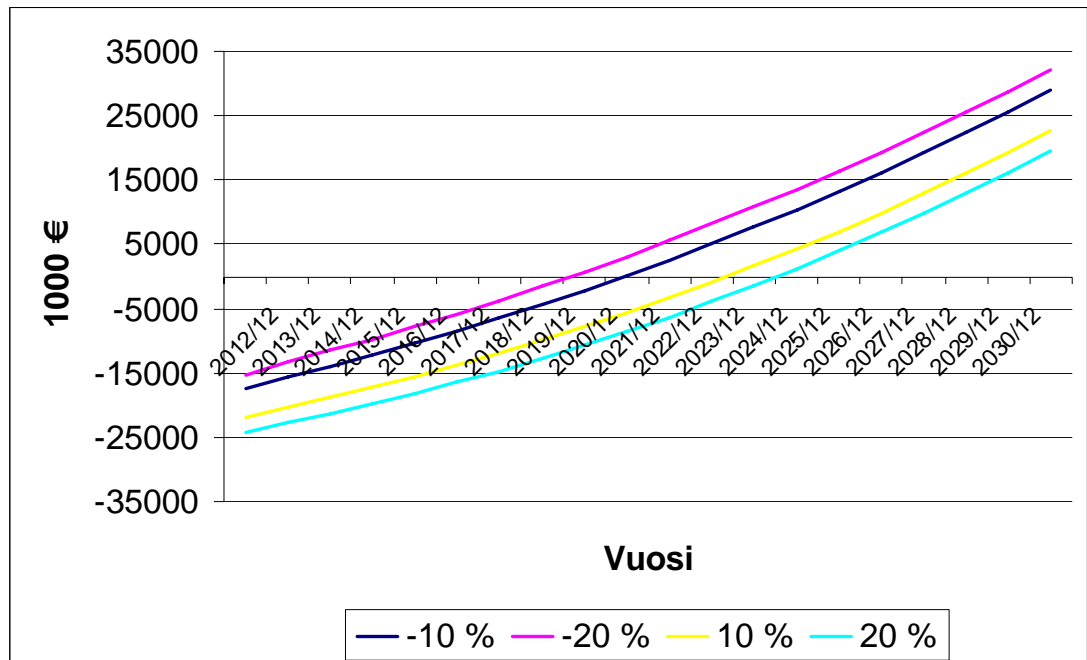


Kuva 10. Kumulatiivinen tuotto herkkyystarkastelussa käytetylle kierrätyspuun vastaanottomaksulle 5 €/MWh ja hinnalle 15 €/MWh.

Yllä olevasta kuvasta 10 nähdään, että takaisinmaksuaika vastaanottomaksulla 5 €/MWh on 8 vuotta ja 15 €/MWh hinnalla 14 vuotta. Kierrätyspuun hinnan kallistuminen hinnasta 10 €/MWh hintaan 15 €/MWh vaikuttaisi takaisinmaksuaikaan kahdella vuodella. Kierrätyspuun käyttö on taloudellisesti kannattavaa alle 11,2 €/MWh hinnalla turpeeseen ja hakkeeseen nähden. Eli kierrätyspuun poltto on taloudellisesti hieman kannattavampaa hakkeeseen verrattuna nykyisellä 10 €/MWh hinnalla.

Herkkyystarkastelu tehtiin myös investoinnin muutoksen vaikutuksena takaisinmaksuaikaan (kuva 11). Investoinnin suuruus voi helposti muuttua näin isossa ja pitkässä

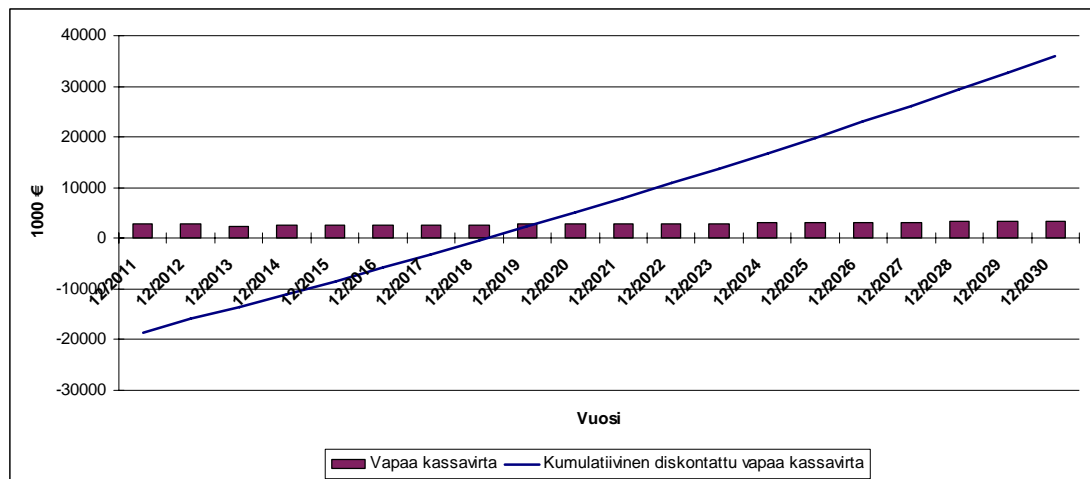
projektissa. Herkkyystarkastelu tehtiin investoinnin muutokselle $\pm 10\%$ ja $\pm 20\%$ kierrätyspuun hinnalle 10 €/MWh.



Kuva 11. Herkkyystarkastelu investoinnin muutokselle $\pm 10\%$ ja $\pm 20\%$ kierrätyspuun hinnalla 10 €/MWh.

Investoinnin muutoksen vaikutus -20% :sta $+20\%$:iin vaikuttaa takaisinmaksuaikaan 5 vuotta. Eli investoinnin muutokset vaikuttavat oleellisesti takaisinmaksuaikaan. Silti $+20\%$:n muutoksesta huolimatta investointi on kannattavaa, koska takaisinmaksuaika on alle 20 vuotta.

Kuvassa 12 on esitettyä vuosittainen vapaa kassavirta sekä kumulatiivinen diskontattu vapaa kassavirta kierrätyspuun hinnalle 10 €/MWh. Vapaa kassavirta tarkoittaa liiketoiminnasta syntyvää vuosittaista tuottoa, josta ei ole vähennetty korkokuluja ja poistoja. Kumulatiivinen diskontattu vapaa kassavirta saadaan lisäämällä investointiin vuosittainen vapaa kassavirta.



Kuva 12. Vuosittainen vapaa kassavirta ja kumulatiivinen diskontattu vapaa kassavirta kierrätyspuun hinnalle 10 €/MWh.

Kumulatiivisen diskontatun vapaan kassavirran suuruus investoinnin pitoajan loppuessa vuonna 2030 on 36 milj. €. Tämä luku on investoinnista saatava tuotto pitoajan päätyttyä korkokuluja lukuun ottamatta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Jätteiden energiahyötykäyttö on lisääntynyt EU:n asettamien ilmastotavoitteiden vuoksi. Päämääränä on vähentää kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää kasvihuonekaasupäästöjen minimoimiseksi. Kaatopaikka- ja energiamaksujen noustessa jätteiden energiahyötykäyttö on tullut hyväksi vaihtoehdoksi kaatopaikkasijoituksen tilalle. Suomessa kuitenkin suhtaudutaan jätteiden energiahyötykäyttöön melko kriittisesti verrattuna moniin muihin maihin. Kriittinen suhtautuminen johtuu siitä, että jätteiden hyötykäyttö energiaksi on Suomessa uusi asia. Lisäksi jätteiden energiahyötykäytön ympäristövaikutukset eivät ole niin laajasti ihmisten tietoisuudessa. Tästä syystä rinnakkais- ja jätteenpolton lupaprosessit ovat hitaita ja niistä yleensä tehdään valituksia. Osa yrityksistä voi jättää rinnakkaispolttolaitokset tekemättä juuri sen vuoksi, ettei yrityksessä ole aikaa pitkiin lupaprosesseihin. Jos paikalliset asukkaat vastustavat projektia, niin yrityksen on mietittävä myös maineeseen liittyviä asioita.

EU:n tavoitteena on mm. lisätä uusiutuvan energian käyttöä niin, että vuonna 2020 EU:ssa uusiutuvan energian määrä olisi 20 % kokonaisenergiämäärästä. Jätteiden energiahyötykäyttö vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Sastamalaan rakennettava bio-vetyvoimalaitos vähentää Suomen sähköntuotannossa syntyviä päästöjä. Kierrätyspuun kemialliset ominaisuudet eivät oleellisesti eroa hakkeen omaisuuksista, joten kierrätyspuun käyttö ei aiheuta merkittävää ympäristöriskiä.

Rinnakkaispolttoaineiden käyttö antaa joustomahdollisuuksia polttoainehankintaan. Rinnakkaispolttolaitoksen suunnittelu ei vaadi kovin paljon muutoksia verrattuna perinteisten polttoaineiden polttoon. Kuitenkin investointipäätöstä tehtäessä on huomioitava se, aiotaanko jatkossa mahdollisesti polttaa kierrätyspuuta, koska rinnakkaispolttolaitoksessa vaaditaan tehokkaampi sähkösuodatin ja tulistimien materiaalin tulee olla austeniittista terästä. Kierrätyspolttoaineiden osuuden ollessa pieni kokonaispolttoainemäärästä päästöongelmia ei muodostu merkittävästi. Kierrätyspuun käytössä noudatetaan jätteenpolttodirektiiviä, jossa määrätään tiukemmat päästöjen

raja-arvot kuin perinteisillä polttoaineilla. Tehokkaamman sähkösuodattimen seurauksena hiukkasmaiset päästöt ovat pienemmät kierrätyspuuta poltettaessa.

Voimalaitoshankkeet ovat taloudellisesti suuria investointeja, joiden riskit on kartoitettava huolellisesti etukäteen. Suunnitteilla oleva bio-vetyvoimalaitos on ensimmäinen voimalaitos, jossa yhdistetään matalapaineinen vetykaasun poltto ja leijukerros-tekniikka. Uuden bio-vetyvoimalaitoksen suunnittelussa hyödynnetään nykyisten Lappeenrannan ja Sastamalan vetyvoimalaitosten käytöstä saatu kokemus vetykaasun poltosta. Koska vastaavanlaisia voimalaitoksia ei ole olemassa, se tuo omat lisähaasteensa. Tekninen riski bio-vetyvoimalaitoksessa on hapen säätö. Se tulee olemana haasteellista, koska vety sitoo helposti hapen. Palamisilman vaiheistuksien avulla saadaan vähennettyä NO_x-päästöjä.

Päästökauppajärjestelmän kolmannen kauden säännökset vaikuttavat vuosiin 2013 - 2020 (Motiva Oy 2009). Tämän päästökauppajakson jälkeisiä muutoksia on vaikea arvioida etukäteen. Jotta EU:n asettamiin kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteisiin päästäisiin ja lisättäisiin uusiutuvan energian käyttöä, niin ohjaukskeinoina ovat päästökauppa, verot ja tuet.

Suunnitteilla olevassa bio-vetyvoimalaitoksen leijukerroskattilassa voidaan polttaa useita erilaisia polttoaineita, joten polttoaineiden hinnanmuutokset tai saatavuusongelmat eivät aiheuta huomattavia riskejä toimintaan.

Kemira Chemicals Oy:n ylijäämävedyn käyttäminen hyödyksi energiantuottamisessa on ympäristön kannalta järkevä vaihtoehto, koska tällä hetkellä ei pystytä hyödyntämään koko vetymäärää, vaan noin 60 GWh jää hyödyntämättä. Lisäksi vety on päästötön polttoaine. Vedyn osalta on huomioitu se, että sitä voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa käyttää autojen polttoaineena. Tällöin kattilassa voidaan polttaa biope räisiä polttoaineita ilman ongelmia. Lisäksi tulevaisuudessa Kemira Chemicals Oy:n mahdolliset tuotannon muutokset ja sen aiheuttamat vaikutukset vedyn muodostumiseen voidaan korvata biopolttaineilla.

Tässä työssä kierrätyspuusta on arvioitu maksavan 0 €/MWh, 5 €/MWh tai 10 €/MWh. Kierrätyspuun saatavuus ja riittävyys tulevaisuudessa on yksi riskitekijä, koska ei tiedetä, kuinka paljon rinnakkaispolttolaitoksia rakennetaan lisää. Kierrätyspuun kysynnän noustessa polttoaineen hinta kallistuu.

Investointi kierrätyspuuta polttavalle laitokselle on noin 5 % suurempi kuin tavanomaisia biopolttoaineita poltettaessa. Kannattavuuslaskelmista selviää, että kierrätyspuun käyttö on lisäinvestoinneista huolimatta taloudellisesti hieman kannattavampaa kuin hakkeen ja turpeen käyttö. Kannattavuus hakkeeseen nähden johtuu pääasiassa siitä, että kierrätyspuun hinta on 8 €/MWh edullisempi kuin hakkeella. Kierrätyspuun ja turpeen hinta on sama, mutta kierrätyspuun käytölle saadaan sähkön tuotantotukea, eikä jouduta maksamaan päästöoikeuksista. Kierrätyspuun hinnalla 10 €/MWh ja haketta polttavan laitoksen takaisinmaksuaika on 12 v ja turvetta polttavan laitoksen takaisinmaksuaika on vuoden pidempi. Kierrätyspuun käyttö on taloudellisesti kannattavaa alle 11,2 €/MWh hinnalla hakkeeseen nähden. Kierrätyspuun nykyinen hinta on 10 €/MWh, joten kierrätyspuun pienikin hinnan kallistuminen vaikuttaa niin, ettei kierrätyspuun käyttö ole enää kannattavaa tavanomaisiin biopolttoaineisiin verrattuna, jos niiden hinta pysyy nykyisellä tasolla.

Kierrätyspuun käyttö on taloudellisesti hieman kannattavampaa kuin hakkeen ja turpeen käyttö, mutta siihen liittyy myös haasteita. Tekniset ratkaisut kierrätyspuun käytölle on ratkaistavissa tehokkaammalla sähkösuodattimella, tulistimien austeniittisellä teräsmateriaalilla ja jatkuvatoimisilla savukaasujen mittauslaitteilla. Kierrätyspuun polttoon liittyy toiminnallinen riski, koska vastaavanlaista rinnakkaispolttolaitosta ei ole olemassa. Lisäksi haasteena on ympäristöluvan hakuprosessi, sekä kierrätyspuun saatavuus ja hintataso tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Alakangas, Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. [pdf-dokumentti] [viitattu 9.9.2009]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

Alakangas, Eija & Wiik, Camilla. 2008. Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus. VTT. [pdf-dokumentti]. [viitattu 18.6.2009]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-04989-08.pdf>

Energiateollisuus. 2009. Päästökauppajärjestelmä. [Energiateollisuus ry:n www-sivuilla]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/ymparisto/paastokauppa>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY. 2000. [pdf-dokumentti] [viitattu 15.7.2009]. Saatavissa: http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:NTOT5SOM_7sJ:eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do%3Furi%3DOJ:L:2004:143:0056:0075:FI:PDF+Euroopan+parlamentin+ja+neuvoston+direktiivi+2000/76/EY&hl=fi&gl=fi

FC Energia Oy. 2004. Päästömittaustulokset Sastamalan voimalaitokselta.

FC Energia Oy. 2007. Päästömittaustulokset Sastamalan voimalaitokselta.

FC Energia Oy. 2009. Ympäristölupahakemus bio-vetyvoimalaitokselle Sastamalaan.

FC Power. 2007. Päästömittaustulokset Joutsenon voimalaitokselta.

Heikkinen M. & Hyvönen, S. & Juvonen, J. & Kiema, M. & Lohiniva, E. & Mäkinen, T. & Puurunen, T. & Ruokojärvi, A. & Torvinen, S. 2002. KELPO-hanke: Kierätyspolttoaineiden energiakäyttöselvitys Pohjois-Savossa. [pdf-dokumentti] [viitattu 5.7.2009]. Saatavissa: kokoeko.savonia-amk.fi/KELPO-loppuraportti.pdf

Helsinki University of Technology. 2002. Vedyn valmistus ja kuljetus. [Helsinki University of Technology:n www-sivuilla][viitattu 26.8.2009]. Saatavissa: <http://www.tkk.fi/Units/AES/projects/renew/fuelcell/vetytulevaisuus/valmistaminen.html>

Huhtinen, Markku & Kettunen, Arto & Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki. 1997. Höyrykattilatekniikka. Edita Helsinki. ISBN 951-37-1327-X.

Ikäheimo, S. & Lounasmeri, S. & Walden, R. 2005. Yrityksen laskentatoimi. Ws Bookwell Oy. Juva 2005. ISBN 951-0-30814-5.

Jokiniemi, Jorma. 2006. Jätteiden energiakäytön päästöjen hallinta. Kuopion yliopisto ja VTT. [pdf-dokumentti] [viitattu 12.8.2009]. Saatavissa: http://www.lohjangklusteri.fi/.../Jokiniemi_Lohja071106_final.pdf

Kirssi, Antti. 2007. Höyrykattiloiden kuumankestävät materiaalit. [pdf-dokumentti] [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20071993>

Kuivala, Kari. 2009. Voimalaitoksen päävirtauskaavio. Henkilökohtainen tiedonanto.

Kuivala, Kari. 4.9.2009. Henkilökohtainen tiedonanto.

Lillman, Eeva. 2009. Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnitelma. Tuhkat ja kuonat - nykytilanne. [pdf-dokumentti] [viitattu 8.9.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=99707&lan=sv>

Lohiniva, Elina, Sipilä, Kai, Mäkinen, Tuula, Hietanen, Lassi. 2002. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. VTT. [pdf-dokumentti] [viitattu 24.7.2009]. ISBN 951-38-5890-1. Saatavissa: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>

Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy. 2009. Jätteenkäsittelymaksut 1.1.2009. [pdf-dokumentti] [viitattu 5.8.2009]. Saatavissa: <http://www.lhj.fi/DowebEasyCMS/?Page=Hinnasto>

Metso Oyj. 2008. Reference list. Hybex boilers (Bubbling Fluidized Bed). Henkilökohtainen tiedonanto.

Motiva Oy. 2009. Päästökauppadirektiivi. [Motiva Oy:n www-sivuilla] [viitattu 24.9.2009]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/paastokauppadirektiivi>

Neilimo, Kari & Uusi-Rauva, Erkki. 2007. Johdon laskentatoimi. Edita Prima Oy. Helsinki 2007. ISBN 978-951-37-4109-9.

Ohlström, Mikael. 1998. Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus – VTT tiedotteita. [pdf-dokumentti] [viitattu 25.8.2009]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1934.pdf>

Pirilä Pekka. 1981. Vedyn käyttö energiataloudessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Pöyry CM Oy. 2009 a. Puupolttoaineiden hintaseuranta. [Pöyry CM Oy:n www-sivuilla] [viitattu 30.9.2009]. Saatavissa: <http://www.puunhinta.fi/tilastot.htm?graph=fi-all-main>

Pöyry CM Oy. 2009 b. Puupolttoaineiden hintaseuranta. [pdf-dokumentti] [viitattu 27.10.2009]. Saatavissa: www.puunhinta.fi/pdf/Esittelymateriaali_090506.pdf

Ranta, Jussi & Wahlström, Margareta. 2002. Tuhkien laatu REF-seospoltossa. VTT. [pdf-dokumentti] [viitattu 24.7.2009]. ISBN 951-38-5886-3. Saatavissa: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>

Raunio, Tapani. 2005. Vedyn valmistaminen. [pdf-dokumentti] [viitattu 4.8.2009]. Saatavissa: http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/Tfy-56.170_05/Raunio_Vedynvalmistaminen.pdf.

Saarinen, Risto & Leikoski, Mervi. 2009. Selvitys jätteenpolton luvista. Suomen ympäristökeskus.

Suomen ympäristökeskus. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5 - 50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. [pdf-dokumentti][viitattu 3.7.2009] ISBN 952-11-1489-4. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>

Tarjanne, Risto. 2006. Polttoainehuollon luentomoniste kevät 2008.

Tarjanne, Risto. 2008. Energiatalouden luentomoniste kevät 2008.

Teknologiaselvitys ja vedyn käyttö Suomessa. 2009. FC Energia Oy:n biovetyvoimalaitos.

Tilastokeskus. 2008. Energiatilasto, Vuosikirja 2007. Helsinki, Multiprint Oy. ISBN 978-952-467-776-9.

Tilastokeskus. 2009. Sähkön tuotanto uusiutuvilla energialähteillä kasvoi 15 prosenttia vuonna 2008. [Tilastokeskuksen www-sivuilla] [viitattu 9.11.2009]. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2008/salatuo_2008_2009-10-21_tie_001_fi.html

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta. 362/2003. [Finlex:n www-sivuilla] [viitattu 11.6.2009]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030362>

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta. 362/2003. Liite N:o 362. [Finlex:n www-sivuilla pdf-dokumentti] [viitattu 11.6.2009]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030362>

Valtion ympäristöhallinto. 2009. REACH - EU:n uusi kemikaaliasetus. [Valtion ympäristöhallinnon www-sivuilla] [viitattu 8.9.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=330087&lan=FI#a4>

Vapo Oy. Hinnoitteluesimerkki. [Vapo Oy:n www-sivuilla][viitattu 6.8.2009] Saatavissa: http://www.vapo.fi/fin/kunta_ja_yritysassiakkaat/biopolttoaineet/energiaturve/hinnoittelu/hinnoitteluesimerkki/?id=400

Vesanto, Petri. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä [verkkodokumentti]. Suomen Ympäristökeskus, [viitattu 12.6.2009].

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54918&lan=FI>

Vesanto, Petri, Hiltunen, Matti, Moilanen, Antero, Kaartinen, Tommi, Laine-Ylijoki, Jutta, Sipilä, Kai, Wilen, Carl. 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. VTT. ISBN 978-951-38-6973-1. [pdf-dokumentti] [viitattu 3.7.2009]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>

Ympäristönsuojelulaki. 4.2.2000/86. [Finlex:n www-sivuilla] [viitattu 25.9.2009]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

Liite II

Rinnakkaispolttolaitoksen ilmaan johdettavien päästöjen raja-arvojen määrittäminen

Rinnakkaispolttolaitoksen raja-arvot määritellään tämän liitteen 1 kohdan laskukaavalla (sekoitussääntö); jos liitteen 2—4 kohdissa ei ole esitetty erityistä kokonaispäästöjen raja-arvoa C.

1. Päästöjen raja-arvojen laskenta

Kullekin savukaasun sisältämälle epäpuhtaudelle sekä hiilimonoksidille määritetään raja-arvo seuraavasti:

$$\frac{V_{\text{jäte}} \times C_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}} \times C_{\text{prosessi}}}{V_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}}} = C$$

$V_{\text{jäte}}$: pelkästään jätteen poltosta syntyvän savukaasun volyyymi, joka määritetään sen jätteen perusteella, jonka luvassa määritetty lämpöarvo on pienin tässä asetuksessa säädettyjen olosuhteiden mukaisesti muunnettuna.

$C_{\text{jäte}}$: polttolaitoksille liitteen V päästöjen raja-arvot asiaankuuluvien epäpuhtauksien ja hiilimonoksidin osalta.

V_{prosessi} : laitosprosessista, mukaan lukien laitoksessa tavanomaisesti käytettyjen sallittujen polttoaineiden (lukuun ottamatta jätteitä) polttaminen, syntyvän savukaasun volyyymi, joka määritetään tässä asetuksessa säädetyn happipitoisuuden perusteella. Jos säännökset puuttuvat näiden laitosten osalta, käytetään sellaisen savukaasun todellista happipitoisuutta, jota ei ole laimennettu lisäämällä siihen prosessin kannalta tarpeetonta ilmaa. Muiden olosuhteiden mukaisesti tapahtuvasta muuntamisesta säädetään tässä asetuksessa.

C_{prosessi} : tämän liitteen 2—4 kohdissa tietyille teollisuusaloille asetetut päästöjen raja-arvot, tai jos tällaiset raja-arvot puuttuvat, sellaisten laitosten savukaasussa esiintyvien asianomaisten epäpuhtauksien ja hiilimonoksidin päästöjen raja-arvot, joista säädetään muualla laissa, kun niissä poltetaan tavanomaisesti sallittuja polttoaineita (lukuun ottamatta jätteitä). Jos tällaisia säädöksiä ei ole, käytetään luvassa asetettuja päästöjen raja-arvoja. Jos tällaisia luvassa asetettuja päästöjen raja-arvoja ei ole, käytetään todellisia massapitoisuuksia.

C: tämän liitteen 2—4 kohdissa tietyille teollisuusaloille ja tietyille epäpuhtauksille asetetut kokonaispäästöjen raja-arvot ja happipitoisuus tai jos tällaiset raja-arvot puuttuvat, hiilimonoksidia ja asianomaisten epäpuhtauksien kokonaispäästöjen raja-arvot, joilla korvataan tämän asetuksen liitteissä asetetut päästöjen raja-arvot. Kokonaishappipitoisuus, jolla korvataan muuntamisen perustana oleva happipitoisuus, määritetään edellä tarkoitetun pitoisuuden perusteella, jossa otetaan huomioon osavolyymit.

TULOSLASKELMA REF 0 €/MWh	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/12	2016/12	2017/12	2018/12	2019/12	2020/12	2021/12	2022/12	2023/12	2024/12	2025/12	2026/12	2027/12	2028/12	2029/12	2030/12
Tuloslaskelma 1000 €																				
Likvealitto	-811.0	4907.2	5005.4	5105.5	5207.6	5311.7	5418.0	5526.3	5636.9	5749.6	5864.6	5981.9	6101.5	6223.5	6348.0	6475.0	6604.5	6736.6	6871.3	7008.7
Likvealittominen muut tuotot	584.0	584.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0
Ainekavitt	1549.6	1580.6	1612.2	1644.5	1677.3	1710.9	1745.1	1780.0	1815.6	1851.9	1889.0	1926.7	1965.3	2004.6	2044.7	2085.6	2127.3	2169.8	2213.2	2257.5
Ulkopuolisat palvelut	96.6	96.6	100.6	102.6	104.6	106.7	108.8	111.0	113.2	115.5	117.8	120.2	122.6	125.0	127.5	130.1	132.7	135.3	138.0	140.8
Tuhtan kaatopaikkamaksu	26.4	27.0	27.5	28.0	28.6	29.2	29.8	30.4	31.0	31.6	32.2	32.9	33.5	34.2	34.9	35.6	36.3	37.0	37.7	38.5
Muuttuvat kulut yhteensä	1672.7	1706.1	1740.3	1775.1	1810.6	1846.8	1883.7	1921.4	1959.0	1999.0	2038.0	2079.8	2121.4	2163.8	2201.1	2251.2	2286.2	2342.2	2389.0	2436.8
Myyntikate	3722.3	3785.1	3893.1	3954.4	4031.0	4099.0	4168.3	4239.3	4311.0	4384.6	4459.6	4536.1	4614.1	4693.7	4774.9	4857.8	4942.2	5028.4	5115.4	5204.3
Kinneat palkat ja palkkiot	120.0	122.4	124.8	127.3	129.9	132.5	135.1	137.8	140.6	143.4	146.3	149.2	152.2	155.2	158.3	161.5	164.7	168.0	171.4	174.8
Lisä palkkakulut REF:n laadunvalvonnasta	25.0	25.5	26.0	26.5	27.1	27.6	28.2	28.7	29.3	29.9	30.5	31.1	31.7	32.3	33.0	33.6	34.3	35.0	35.7	36.4
Liiketoimintamittalaitteiden vuosittaiset kulut	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.3	22.7	23.2	23.6	24.1	24.6	25.1	25.6	26.1	26.6	27.1	27.5	28.1	28.7	29.4
Muut kinneat kulut	372.2	379.6	387.2	394.9	402.8	410.9	419.1	427.5	436.0	444.8	453.7	462.7	472.0	481.4	491.1	500.9	510.9	521.1	531.5	542.2
Käyttökate	3350.2	3405.5	3511.9	3569.5	3628.2	3688.1	3748.1	3809.3	3871.4	3934.6	3998.9	4065.3	4132.9	4201.8	4270.9	4341.3	4412.1	4483.3	4554.9	4627.0
Poistot käyttöomaisuudesta (tasapoisit)	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9
Likvealitto	2276.3	2331.6	2388.0	2445.6	2504.3	2564.1	2625.0	2687.0	2749.5	2813.5	2879.0	2946.0	3014.5	3084.5	3156.0	3229.0	3303.5	3378.5	3455.0	3533.0
Korjokulut ja muut rahoituskulut	1020.2	966.5	912.8	859.1	805.4	751.7	698.0	644.3	590.6	536.9	483.2	429.5	375.9	322.2	268.5	214.8	161.1	107.4	53.7	0.0
Rahoitusserät yhteensä	1020.2	966.5	912.8	859.1	805.4	751.7	698.0	644.3	590.6	536.9	483.2	429.5	375.9	322.2	268.5	214.8	161.1	107.4	53.7	0.0
Tulos rahoituserien jälkeen	1266.1	1365.1	1465.3	1566.6	1669.1	1772.4	1876.3	1981.3	2087.0	2193.5	2300.6	2408.3	2516.5	2625.3	2734.6	2844.5	2954.9	3065.8	3177.2	3289.0
Tulos satunnaisten jälkeen	1266.1	1365.1	1465.3	1566.6	1669.1	1772.4	1876.3	1981.3	2087.0	2193.5	2300.6	2408.3	2516.5	2625.3	2734.6	2844.5	2954.9	3065.8	3177.2	3289.0
Tilikauden voitto	1266.1	1365.1	1465.3	1566.6	1669.1	1772.4	1876.3	1981.3	2087.0	2193.5	2300.6	2408.3	2516.5	2625.3	2734.6	2844.5	2954.9	3065.8	3177.2	3289.0
Likvealittion kasvu-%		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Kumulatiivinen tulorahoitus	1266.1	2631.2	4096.5	5562.1	7117.6	8683.3	10249.3	11825.6	13412.1	15008.6	16605.1	18211.6	19828.1	21444.6	23061.1	24677.6	26294.1	27910.6	29527.1	31143.6
Tulorahoitus ilman poistoja	2300.0	2439.0	2199.1	2310.4	2422.8	2536.4	2651.1	2767.1	2884.4	3002.9	3122.7	3243.8	3366.3	3490.2	3615.4	3742.1	3870.3	3999.9	4131.1	4263.8
Talossimulauska	-19147.4	-16708.4	-14509.3	-12198.9	-9776.1	-7239.8	-4588.7	-1821.5	1062.8	4065.7	7188.4	10432.2	13796.5	17288.7	20904.1	24646.2	28516.3	32516.4	36647.4	40911.2

TULOSLASKELMA REF -5 €/MWh	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/12	2016/12	2017/12	2018/12	2019/12	2020/12	2021/12	2022/12	2023/12	2024/12	2025/12	2026/12	2027/12	2028/12	2029/12	2030/12
Tuloslaskelma 1000 €																				
Likvealitto	-4811.0	4907.2	5005.4	5105.5	5207.6	5311.7	5418.0	5526.3	5636.9	5749.6	5864.6	5981.9	6101.5	6223.5	6348.0	6475.0	6604.5	6736.6	6871.3	7008.7
Likvealittominen muut tuotot	584.0	584.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0
Ainekavitt	1859.6	1896.8	1934.7	1973.4	2012.9	2053.2	2094.2	2136.1	2178.8	2222.4	2266.9	2312.2	2358.4	2405.6	2453.7	2502.8	2552.8	2603.9	2656.0	2709.1
Ulkopuolisat palvelut	96.6	96.6	100.6	102.6	104.6	106.7	108.8	111.0	113.2	115.5	117.8	120.2	122.6	125.0	127.5	130.1	132.7	135.3	138.0	140.8
Tuhtan kaatopaikkamaksu	26.4	27.0	27.5	28.0	28.6	29.2	29.8	30.4	31.0	31.6	32.2	32.9	33.5	34.2	34.9	35.6	36.3	37.0	37.7	38.5
Muuttuvat kulut yhteensä	1982.7	2022.3	2062.8	2104.0	2146.1	2189.0	2232.8	2277.5	2323.0	2369.5	2416.9	2465.2	2514.5	2564.8	2616.1	2668.4	2721.8	2776.2	2831.8	2888.4
Myyntikate	3412.3	3468.9	3526.6	3585.5	3645.5	3706.6	3768.8	3832.1	3896.5	3961.9	4028.4	4095.9	4164.5	4234.2	4304.9	4376.7	4449.6	4523.6	4598.6	4674.6
Kinneat palkat ja palkkiot	120.0	122.4	124.8	127.3	129.9	132.5	135.1	137.8	140.6	143.4	146.3	149.2	152.2	155.2	158.3	161.5	164.7	168.0	171.4	174.8
Lisä palkkakulut REF:n laadunvalvonnasta	25.0	25.5	26.0	26.5	27.1	27.6	28.2	28.7	29.3	29.9	30.5	31.1	31.7	32.3	33.0	33.6	34.3	35.0	35.7	36.4
Liiketoimintamittalaitteiden vuosittaiset kulut	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.3	22.7	23.2	23.6	24.1	24.6	25.1	25.6	26.1	26.6	27.1	27.5	28.1	28.7	29.4
Muut kinneat kulut	372.2	379.6	387.2	394.9	402.8	410.9	419.1	427.5	436.0	444.8	453.7	462.7	472.0	481.4	491.1	500.9	510.9	521.1	531.5	542.2
Käyttökate	3040.2	3099.3	3159.4	3220.6	3282.9	3346.3	3410.8	3476.4	3543.1	3610.8	3679.6	3749.5	3820.5	3892.6	3965.7	4040.0	4115.4	4191.9	4269.5	4348.2
Poistot käyttöomaisuudesta (tasapoisit)	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9
Likvealitto	1966.3	2015.4	2065.5	2116.6	2168.7	2221.8	2275.9	2331.0	2387.1	2444.2	2502.3	2561.4	2621.5	2682.6	2744.7	2807.8	2871.9	2937.0	3003.1	3069.2
Korjokulut ja muut rahoituskulut	1020.2	966.5	912.8	859.1	805.4	751.7	698.0	644.3	590.6	536.9	483.2	429.5	375.9	322.2	268.5	214.8	161.1	107.4	53.7	0.0
Rahoitusserät yhteensä	1020.2	966.5	912.8	859.1	805.4	751.7	698.0	644.3	590.6	536.9	483.2	429.5	375.9	322.2	268.5	214.8	161.1	107.4	53.7	0.0
Tulos rahoituserien jälkeen	946.1	1048.9	1149.7	1252.5	1357.3	1464.1	1572.8	1683.4	1795.0	1907.6	2021.3	2136.0	2251.7	2368.4	2486.1	2604.8	2724.5	2845.2	2966.9	3089.6
Tulos satunnaisten jälkeen	946.1	1048.9	1149.7	1252.5	1357.3	1464.1	1572.8	1683.4	1795.0	1907.6	2021.3	2136.0	2251.7	2368.4	2486.1	2604.8	2724.5	2845.2	2966.9	3089.6
Tilikauden voitto	946.1	1048.9	1149.7	1252.5	1357.3	1464.1	1572.8	1683.4	1795.0	1907.6	2021.3	2136.0	2251.7	2368.4	2486.1	2604.8	2724.5	2845.2	2966.9	3089.6
Likvealittion kasvu-%		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Kumulatiivinen tulorahoitus	946.1	1995.0	2797.8	3705.3	4718.6	5839.9	7075.7	8449.1	9962.0	11613.9	13406.2	15349.1	17452.5	19716.4	22140.8	24635.6	27290.8	29996.7	32853.3	35862.9
Tulorahoitus ilman poistoja	2020.0	2122.8	1876.6	1981.4	2087.2	2194.1	2302.0	2410.9	2520.8	2632.7	2745.6	2859.5	2974.4	3090.3						

TULOSLASKELMA REF -10 €/MWh																				
Tuloslaskelma 1000 €	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/12	2016/12	2017/12	2018/12	2019/12	2020/12	2021/12	2022/12	2023/12	2024/12	2025/12	2026/12	2027/12	2028/12	2029/12	2030/12
Liikevaihto	4811.0	4907.2	5005.4	5105.5	5207.6	5311.7	5418.0	5526.3	5636.9	5749.6	5864.6	5981.9	6101.5	6223.5	6348.0	6475.0	6604.5	6736.6	6871.3	7008.7
Liiketoiminnan muut tuotot	584.0	584.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0
Ainekäyttö	2169.6	2213.0	2257.3	2302.4	2348.5	2395.4	2443.3	2492.2	2542.0	2592.9	2644.7	2697.6	2751.6	2806.6	2862.8	2920.0	2978.4	3038.0	3098.7	3160.7
Liiketoiminnasta saadut palvelut	98.6	100.6	102.6	104.6	106.7	108.8	111.0	113.2	115.5	117.8	120.1	122.6	125.2	127.8	130.4	133.0	135.7	138.4	141.1	143.8
Tuonnan kaatopaikkamaksu	26.4	27.0	27.5	28.0	28.6	29.2	29.8	30.4	31.0	31.6	32.2	32.9	33.5	34.2	34.9	35.6	36.3	37.0	37.7	38.5
Muuttuvat kulut yhteensä	2392.7	2338.5	2385.3	2433.0	2481.7	2531.3	2581.9	2633.6	2686.2	2740.0	2794.8	2850.7	2907.7	2965.8	3025.1	3085.6	3147.4	3210.3	3274.5	3340.0
Myyntikate	3102.3	3152.7	2654.1	2906.5	2958.9	3014.4	3070.0	3126.8	3184.6	3243.6	3303.8	3365.2	3427.8	3491.7	3556.9	3623.3	3691.1	3760.3	3830.8	3902.7
Kinneat palkat ja palkkiot	120.0	122.4	124.8	127.3	129.9	132.5	135.1	137.8	140.6	143.4	146.3	149.2	152.2	155.2	158.3	161.5	164.7	168.0	171.4	174.8
Lisä palkkiot REF:n laadunvalvonnasta	25.0	25.5	26.0	26.5	27.1	27.6	28.2	28.7	29.3	29.9	30.5	31.1	31.7	32.3	33.0	33.6	34.3	35.0	35.7	36.4
Lakuvuoromiesten mitalilaitteiden vuosittaiset kulut	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.3	22.7	23.2	23.6	24.1	24.6	25.1	25.6	26.1	26.7	27.2	27.7	28.3	28.8	29.4
Muut kinneat kulut	372.2	379.6	387.2	394.9	402.8	410.9	419.1	427.5	436.0	444.8	453.7	462.7	472.0	481.4	491.1	500.9	510.9	521.1	531.5	542.2
Käyttökate	2730.2	2773.1	2466.9	2511.5	2557.1	2603.5	2650.9	2699.3	2748.6	2798.9	2850.2	2902.5	2955.8	3010.3	3065.8	3122.4	3180.2	3239.1	3299.2	3360.5
Poistot käyttöomaisuudesta (tasapoisto)	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9	1073.9
Korkeus- ja muut rahoituskulut	1656.3	1659.2	1383.0	1437.6	1483.2	1529.7	1577.1	1625.4	1674.7	1725.0	1776.3	1828.6	1882.0	1936.4	1991.9	2048.6	2106.3	2165.3	2225.4	2286.7
Rahoitusat yhteensä	966.5	912.8	859.1	805.4	751.7	698.0	644.3	590.6	536.9	483.2	429.5	375.9	322.2	268.5	214.8	161.1	107.4	53.7	0.0	0.0
Tulos rahoitusatien jälkeen	686.2	739.2	460.2	578.6	677.8	778.0	879.0	981.1	1084.1	1188.1	1293.0	1399.0	1506.1	1614.3	1723.5	1833.8	1945.3	2057.9	2171.7	2286.7
Tulos satunnaiserien jälkeen	636.1	732.7	480.2	578.6	677.8	778.0	879.0	981.1	1084.1	1188.1	1293.0	1399.0	1506.1	1614.3	1723.5	1833.8	1945.3	2057.9	2171.7	2286.7
Tilikauden voitto	636.1	732.7	480.2	578.6	677.8	778.0	879.0	981.1	1084.1	1188.1	1293.0	1399.0	1506.1	1614.3	1723.5	1833.8	1945.3	2057.9	2171.7	2286.7
Liiketoiminnan kasvuv-%		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Kumulatiivinen tuhorahitus	636.1	1368.8	1849.0	2427.6	3105.4	3883.3	4762.4	5743.4	6827.5	8015.6	9308.6	10707.7	12213.8	13828.0	15551.5	17385.3	19330.6	21388.5	23560.1	25846.8
Tuorahituslinjan poistot	1710.0	1806.6	1934.1	2082.4	2241.4	2411.9	2594.9	2791.3	2999.9	3219.9	3452.4	3697.4	3954.9	4224.9	4507.4	4803.5	5113.1	5436.2	5773.3	6124.3
Takaisinmaksukaika	-19767.4	-17960.8	-16406.7	-14794.3	-13002.6	-11190.9	-9197.9	-7143.0	-4985.0	-2723.1	-356.2	2116.7	4696.7	7384.8	10182.2	13069.8	16109.0	19240.7	22466.3	25946.3

TULOSLASKELMA HAKE																				
Tuloslaskelma 1000 €	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/12	2016/12	2017/12	2018/12	2019/12	2020/12	2021/12	2022/12	2023/12	2024/12	2025/12	2026/12	2027/12	2028/12	2029/12	2030/12
Liikevaihto	4811.0	4907.2	5005.4	5105.5	5207.6	5311.7	5418.0	5526.3	5636.9	5749.6	5864.6	5981.9	6101.5	6223.5	6348.0	6475.0	6604.5	6736.6	6871.3	7008.7
Liiketoiminnan muut tuotot	812.8	812.8	2767.5	2822.8	2879.3	2936.9	2995.6	3055.1	3116.6	3179.9	3242.5	3307.4	3373.5	3441.0	3509.8	3580.0	3651.6	3724.6	3799.1	3875.1
Ainekäyttö	2660.0	2713.2	2767.5	2822.8	2879.3	2936.9	2995.6	3055.1	3116.6	3179.9	3242.5	3307.4	3373.5	3441.0	3509.8	3580.0	3651.6	3724.6	3799.1	3875.1
Liiketoiminnasta saadut palvelut	91.9	93.8	95.6	97.5	99.5	101.5	103.5	105.6	107.7	109.9	112.1	114.3	116.6	118.9	121.3	123.7	126.2	128.7	131.3	133.9
Tuonnan kaatopaikkamaksu	10.5	10.7	10.9	11.1	11.4	11.6	11.8	12.1	12.3	12.5	12.8	13.1	13.3	13.6	13.9	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3
Muuttuvat kulut yhteensä	2762.4	2817.7	2874.0	2930.1	2986.1	3042.9	3100.9	3170.2	3236.6	3301.4	3367.4	3434.7	3503.4	3573.5	3645.0	3717.9	3792.2	3868.1	3945.4	4024.3
Myyntikate	2861.4	2902.3	2934.1	2986.8	3040.5	3095.8	3152.8	3211.8	3272.3	3334.3	3397.2	3461.2	3526.1	3592.0	3658.9	3726.8	3795.7	3865.6	3936.6	4008.7
Kinneat palkat ja palkkiot	120.0	122.4	124.8	127.3	129.9	132.5	135.1	137.8	140.6	143.4	146.3	149.2	152.2	155.2	158.3	161.5	164.7	168.0	171.4	174.8
Lisä palkkiot REF:n laadunvalvonnasta	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4	186.4
Lakuvuoromiesten mitalilaitteiden vuosittaiset kulut	306.4	312.5	318.8	325.2	331.7	338.3	345.1	352.0	359.0	366.2	373.5	381.0	388.6	396.4	404.3	412.4	420.6	429.0	437.6	446.4
Käyttökate	2555.0	2589.8	2625.3	2661.3	2697.8	2734.8	2772.3	2810.3	2848.7	2887.6	2926.9	2966.7	3007.0	3047.4	3088.2	3129.4	3171.0	3213.0	3255.4	3298.3
Poistot käyttöomaisuudesta (tasapoisto)	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4	1021.4
Liiketoiminnan kasvuv-%		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Kumulatiivinen tuorahitus	970.3	919.2	868.2	817.1	766.0	715.0	663.9	612.8	561.8	510.7	459.6	408.5	357.5	306.4	255.3	204.3	153.2	102.1	51.1	0.0
Tuorahituslinjan poistot	970.3	919.2	868.2	817.1	766.0	715.0	663.9	612.8	561.8	510.7	459.6	408.5	357.5	306.4	255.3	204.3	153.2	102.1	51.1	0.0
Tulos satunnaiserien jälkeen	563.3	649.2	385.8	473.1	561.2	650.0	739.5	829.8	920.9	1012.8	1105.5	1199.0	1293.4	1388.7	1484.8	1581.9	1679.8	1778.7	1878.6	1979.4
Tulos satunnaiserien jälkeen	563.3	649.2	385.8	473.1	561.2	650.0	739.5	829.8	920.9	1012.8	1105.5	1199.0	1293.4	1388.7	1484.8	1581.9	1679.8	1778.7	1878.6	1979.4
Tilikauden voitto	563.3	649.2	385.8	473.1	561.2	650.0	739.5	829.8	920.9	1012.8	1105.5	1199.0	1293.4	1388.7	1484.8	1581.9	1679.8	1778.7	1878.6	1979.4
Liiketoiminnan kasvuv-%		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Kumulatiivinen tuorahitus	563.3	1212.5	1598.3	2071.5	2632.6	3282.6	4022.1	4851.9	5728.8	6785.6	7891.1	9090.2	10383.6	11773.3	13257.1	14839.0	16518.9	18297.6	20176.2	22155.7
Tuorahituslinjan poistot	1584.7	1670.6	1407.2	1494.5	1582.5	1671.3	1760.9	1851.2	1942.3	2034.2	2126.9	2220.4	2314.8	2410.1	2506.2	2603.3	2701.2	2800.1	2900.0	3000.8
Takaisinmaksukaika	-18842.7	-17172.1	-15765.0	-14270.4	-12887.9	-11016.6	-9255.7	-7404.5	-5462.2	-3428.1	-1301.2	919.2	3234.0	5644.1	8150.3	10753.6	13454.8	16254.9	19154.9	22155.7

TUULOSLASKELMA TURVE																				
	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/12	2016/12	2017/12	2018/12	2019/12	2020/12	2021/12	2022/12	2023/12	2024/12	2025/12	2026/12	2027/12	2028/12	2029/12	2030/12
Tulosasteima 1000 €	4811,0	4907,2	5065,4	5105,5	5207,6	5311,7	5418,0	5526,3	5636,9	5749,6	5864,6	5981,8	6101,5	6223,5	6348,0	6475,0	6604,5	6736,6	6871,3	7008,7
Liikevoitto	484,0	454,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0
Liiketoiminnan muut tuotot	2164,0	2207,3	2251,4	2286,5	2342,4	2389,2	2437,0	2485,8	2535,5	2586,2	2637,9	2690,7	2744,5	2798,4	2854,1	2912,9	2970,7	3030,1	3090,7	3152,5
Ainekäyttö	91,9	93,8	95,6	97,5	99,5	101,5	103,5	105,6	107,7	109,9	112,1	114,3	116,6	118,9	121,3	123,7	126,2	128,7	131,3	133,9
Ulkopuoliset palvelut	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9	330,9
Paastoikeus	36,7	37,4	38,1	38,9	39,7	40,5	41,3	42,1	43,0	43,8	44,7	45,6	46,5	47,4	48,4	49,3	50,3	51,3	52,4	53,4
Tuhtaan kaatopaikkamaksu	2292,6	2338,4	2383,2	2428,0	2472,8	2517,6	2562,4	2607,2	2652,0	2696,8	2741,6	2786,4	2831,2	2876,0	2920,8	2965,6	3010,4	3055,2	3100,0	3144,8
Muuttuvat kulut yhteensä	2972,4	3022,8	3073,2	3123,6	3174,0	3224,4	3274,8	3325,2	3375,6	3426,0	3476,4	3526,8	3577,2	3627,6	3678,0	3728,4	3778,8	3829,2	3879,6	3930,0
Wyyntikate	120,0	122,4	124,8	127,2	129,6	132,0	134,4	136,8	139,2	141,6	144,0	146,4	148,8	151,2	153,6	156,0	158,4	160,8	163,2	165,6
Kiinteät palkat ja palkkiot	186,4	190,1	193,8	197,5	201,2	204,9	208,6	212,3	216,0	219,7	223,4	227,1	230,8	234,5	238,2	241,9	245,6	249,3	253,0	256,7
Muut kiinteät kulut	306,4	312,5	318,6	324,7	330,8	336,9	343,0	349,1	355,2	361,3	367,4	373,5	379,6	385,7	391,8	397,9	404,0	410,1	416,2	422,3
Kiinteät kulut yhteensä	2666,0	2710,2	2754,4	2798,6	2842,8	2887,0	2931,2	2975,4	3019,6	3063,8	3108,0	3152,2	3196,4	3240,6	3284,8	3329,0	3373,2	3417,4	3461,6	3505,8
Käytökate	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4	1021,4
Poistot käyttöomaisuudesta (tasapaino)	1644,6	1688,9	1733,2	1777,5	1821,8	1866,1	1910,4	1954,7	1999,0	2043,3	2087,6	2131,9	2176,2	2220,5	2264,8	2309,1	2353,4	2397,7	2442,0	2486,3
Liikevoitto	970,3	919,2	868,2	817,1	766,0	715,0	663,9	612,8	561,7	510,6	459,5	408,4	357,3	306,2	255,1	204,0	152,9	101,8	50,7	0,0
Korkeakoulut ja muut rahoituskulut	970,3	919,2	868,2	817,1	766,0	715,0	663,9	612,8	561,7	510,6	459,5	408,4	357,3	306,2	255,1	204,0	152,9	101,8	50,7	0,0
Rahoituserät yhteensä	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3
Tulos rahoituksen jälkeen	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3
Tulos satunnaiserien jälkeen	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3
Tilikauden voitto	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3	674,3
Liiketoiminnan kasvu-%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kumulatiivinen tulorehottus	674,3	1444,0	2218,7	2993,4	3768,1	4542,8	5317,5	6092,2	6866,9	7641,6	8416,3	9191,0	9965,7	10740,4	11515,1	12289,8	13064,5	13839,2	14613,9	15388,6
Tulorehottus ilman poistoja	1695,7	1791,0	1206,3	1303,4	1401,4	1500,3	1600,3	1701,2	1803,0	1905,9	2009,9	2114,8	2221,0	2328,1	2436,4	2545,9	2656,5	2768,3	2881,3	2995,6
Takaisinmaksuaika	-18731,7	-16940,7	-15734,4	-14451,0	-13029,6	-11529,2	-9928,9	-8227,8	-6424,7	-4518,8	-2508,9	-394,0	1827,0	4155,1	6591,5	9137,4	11793,9	14562,2	17445,5	20439,0