



Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

MEESAUNIN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET
ALTERNATIVE FUELS FOR LIME KILNS

Lappeenrannassa 20.10.2009

0260959

Aapo Hiltunen

ENTE 5

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	2
2. MEESAUUNI	2
3. POLTTOAINEET JA PÄÄSTÖT	6
4. VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET	8
5. PETROKOKSI	9
5.1 Petrokoksin käyttölaitteisto	9
5.2 Petrokoksin käytön vaikutukset	12
5.3 Petrokoksin käyttökokemukset	13
6. BIOMASSAN KAASUTUS	14
6.1 Biokaasun ominaisuudet	14
6.2 Biomassan kaasutuslaitteisto	15
6.3 Biokaasun aiheuttamat ongelmat	17
6.4 Biokaasun käyttökokemukset	18
7. LIGNIINI	19
7.1 Ligniinin erotus mustalipeästä	19
7.2 Ligniini meesauunin polttoaineena	20
7.3 Lignoboost	21
8. PUU	21
9. POLTTOAINEIDEN VAIKUTUS KAUSTISOINTIIN	23
9.1 Palamisominaisuudet	23
9.2 Epäpuhtaudet kemikaalikierrrossa	25
9.3 Renkaan muodostus	26
10. VAIHTOEHTOISTEN POLTTOAINEIDEN VAIKUTUS TALOUTEEN	27
11. YHTEENVETO	28
LÄHTEET	30

1. JOHDANTO

Meesauunit aiheuttavat merkittävän osan sellu- ja paperitehtaiden fossiilisista hiilidioksidipäästöistä, sekä polttoainekustannuksista. Raskaan polttoöljyn, sekä maakaasun hinnat ovat nousseet viime vuosina merkittävästi. Myös päästömaksut voivat tulevaisuudessa aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia tehtaille. Kansainväliset tavoitteet kasvihuonepäästöjen alentamiseksi painostavat teollisuutta siirtymään fossiilisten polttoaineiden käytöstä vaihtoehtoisiin polttoaineisiin. Näistä syistä johtuen on ryhdytty etsimään halvempia ja vähempi päästöisiä polttoaineita myös meesauuni käyttöön. Hinnan ja päästöjen lisäksi polttoaineiden kemiallinen vaikutus kaustisointikiertoon, sekä toimintavarmuus asettavat rajoitteita meesauunissa käytettäville polttoaineille ja käytettävälle laitteistolle.

Tässä työssä esitellään pääpiirteittäin meesauunin toiminta ja laitteisto. Työssä on keskitytty esittelemään tämän hetken kilpailukykyisimmät meesauunin vaihtoehtoiset polttoaineet ja niiden vaikutuksia meesauunin toimintaan ja kaustisointiin. Työssä on esitetty periaatteellinen laskelma vaihtoehtoisten polttoaineiden vaikutuksesta sellutehtaan talouteen.

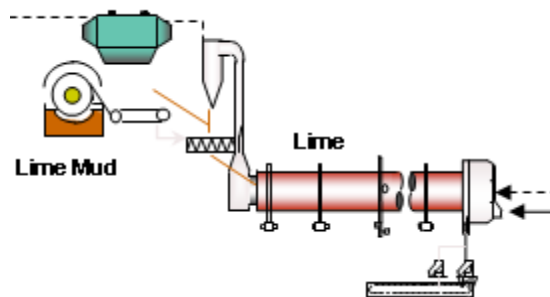
2. MEESAUUNI

Meesauunilla tarkoitetaan polttouunia, jolla meesasta (CaCO_3) voidaan valmistaa kalkkia (CaO). Uunissa meesan lämpötila nostetaan niin korkeaksi, että se muuttuu kemiallisesti kalkiksi. Meesauunin toiminta perustuu kiertouuniteknikkaan, jota käytetään selluteollisuudessa (meesauuni), sekä mineraaliteollisuudessa ja sementin valmistuksessa (klinkkeriuuni) kalkin valmistukseen. Selluteollisuudessa meesauuneja käytetään osana kaustisointiprosessia, jossa viherlipeästä valmistetaan valkolipeää. Kaustisointiprosessissa tarvittava kalkki voidaan valmistaa meesauunissa meesasta eli kalsiumkarbonaatista, jota saadaan valkolipeän ohella kaustisointiprosessista.

Yhtälössä 1 on esitetty meesan reaktioyhtälö kalkiksi:

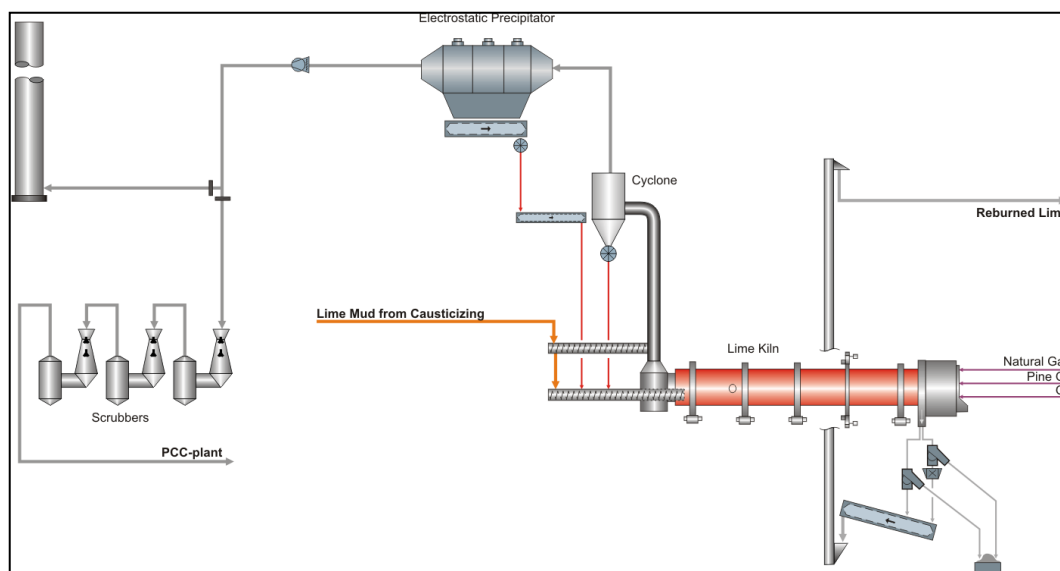


Meesauunin tekniikka on varsin yksinkertainen ja se on pysynyt lähes muuttumattomana pyörivän meesauunin keksimisen jälkeen.



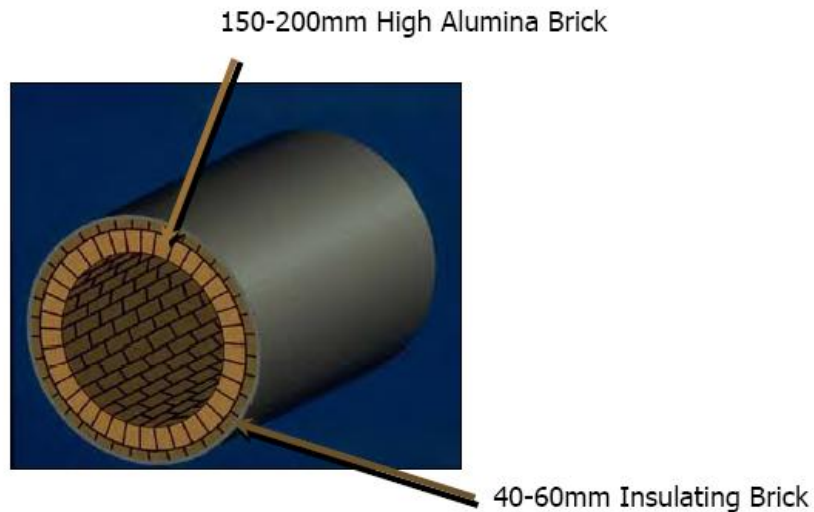
Kuva 1 Yleiskuva meesauunin toiminnasta. (Gullichsen, Fogelholm 2000, 10)

Meesasuotimelta tuleva meesa syötetään uunin syöttöpäähän pulverimaisessa muodossa. Meesan kuiva-ainepitoisuus ennen uunia on noin 80%. Meesaa voidaan myös kuivata ennen uuniin syöttämistä erillisellä kuivurilla, jolloin varsinainen uuniosa saadaan lyhyemmäksi. (Kiiskilä, Mattelmäki 1992, 16)



Kuva 2 Yleiskuva kaustisoinnista.

Meesan reagoituminen kalkiksi eli kalsinointi tapahtuu uunin pyörivässä rumpuosassa. Rumpu koostuu teräsvaipan sisälle muuratuista eristetiilistä, sekä pinnan alumiinioksiditiilistä. Rummun rakenne on esitetty kuvassa 3.

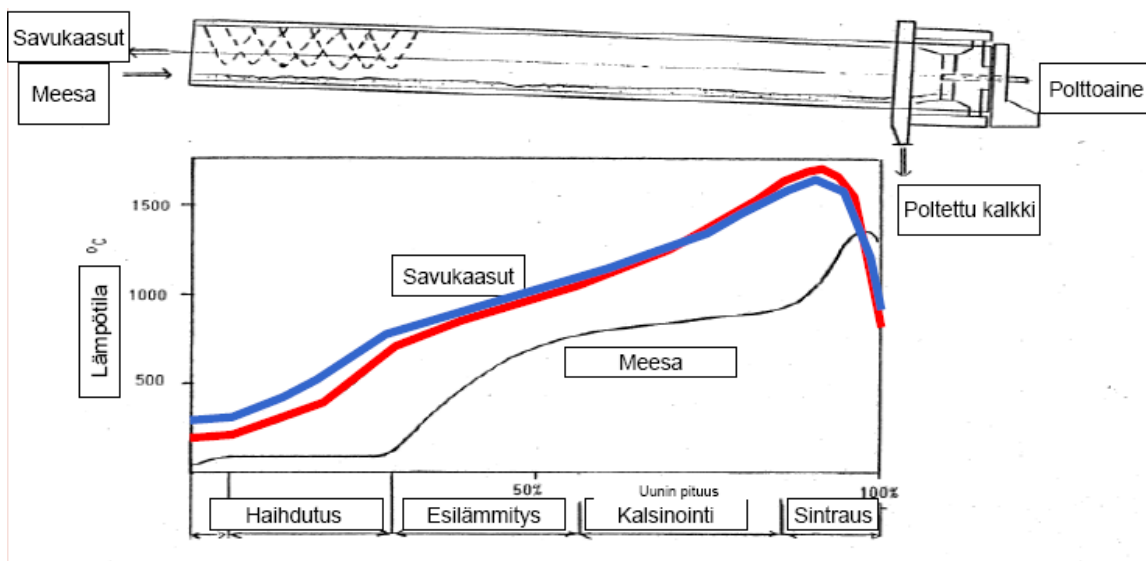


Kuva 3 Meesauunin rummun poikkileikkaus (Gorog 2002, 5)

Meesauunin rummun on oltava hiukan kalteva polttimeen päin, jotta meesa saataisiin valumaan. Meesa siis vierii putken pohjalla syöttöpäästä poltinta kohti ja polttimelta tulevat savukaasut virtaavat putken yläosassa syöttöpäähän, sekä edelleen sähkösuotimelle ja savukaasupesurille.

Kalsinoinnin lisäksi meesauunilla on muitakin tehtäviä. Ensin uuniin tulevasta meesasta haihdutetaan siinä oleva kosteus, sekä esilämmitetään se ennen kalsinointia. Meesan lämpötila nousee haihdutuksen aikana noin 80 °C asteeseen. Vanhoissa uuneissa haihdutusta voidaan tehostaa uunin kylmään päähän lisättävillä ketjuilla. Ketjut lisäävät uunin lämmönsiirtopinta-alaa, jolloin haihdutuskapasiteetti lisääntyy. Ketjuvyöhyke on noin 1/10-1/3 uunin rummun pituudesta. (Toropainen 2003, 18) Ketjut lisäävät kuitenkin myös uunin huolto- ja kunnostustarvetta. Haihdutus ja esilämmitys tapahtuvat uunin pituuteen nähden ensimmäisellä puoliskolla. Esilämmityksen aikana meesan lämpötila nousee noin 600 °C asteeseen. Esilämmityksen jälkeen tapahtuu varsinainen kalsinointi.

Kalkin lämpötila nousee tällöin yli 800 °C asteeseen. Kalsinointi vaatii noin neljännes osan uunin pituudesta. Viimeisessä vaiheessa kalkkipöly sintrautuu. Tällöin kalkista muodostuu noin 10-50 mm halkaisijaltaan olevia kalkkipalloja. Sintrautuminen on tärkeää, jotta kalkin käsittely olisi helppoa. Kuvassa 4 on esitetty eri vaiheiden jakautuminen uunin pituuteen nähden, sekä meesan ja savukaasujen lämpötilat. Uusissa meesauuneissa uunin koko ja mittasuhteet voivat vaihdella sen lisälaitteista riippuen. (Gorog 2002, 6)



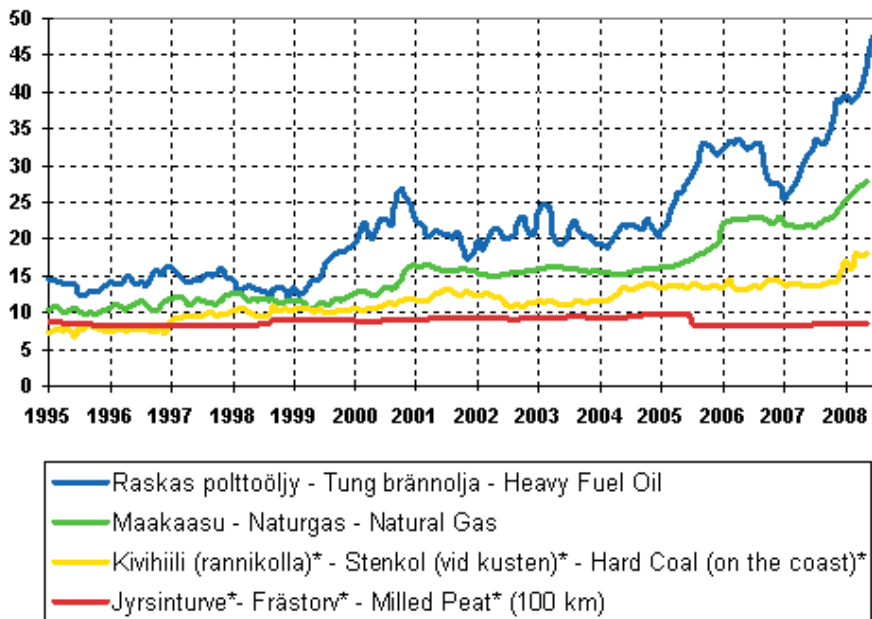
Kuva 4 Uunin vaiheet (Isaksson 2007, 4)

Uunista poistuva palanut kalkki jäähdytetään uunin poltinpäässä sijaitsevassa kalkinjäähdyttimessä ennen jatko käsittelyä. Kalkin jäähdyttimessä osa kalkin sisältämästä lämmöstä saadaan otettua talteen ja hyödynnettyä uunin lämmittämiseen. Palamisesta syntyvät savukaasut kulkevat uunin rummussa meesan kanssa vastakkaisiin suuntiin. Savukaasujen mukaan tempautuu irtonaista kalkkipölyä. Savukaasut johdetaan uunista sähkösuotimelle, jossa savukaasuista poistetaan kalkkipöly ja palautetaan se takaisin meesauuniin. Sähkösuotimessa kalkkipöly varataan sähköisesti, jolloin se keräytyy sähkösuotimen levyille. Levyiltä pöly on helppoa ravistella pois. (Toropainen 2003, 23)

Meesauunin poltin sijaitsee rummun alemmassa päädyssä. Polttoaineen palaminen tapahtuu samassa tilassa, jossa meesa kalsinoidaan. Tämän vuoksi polttoaineen tuhka jäännös ja savukaasut vaikuttavat kalkan ominaisuuksiin. Tällä on suuri merkitys polttoaineen valinnan kannalta. (Ohlström, Savolainen 2005, 113) Jotta kalsinointi olisi tehokasta, tulee liekin olla riittävän pitkä ja kuuma. Liekin adiabaattinen palamislämpö on polttoaineesta riippuen yli 1800 °C. (Isaksson 2007, 5). Samalla polttimella voidaan usein polttaa eri polttoaineita. Käytetyimpiä polttoaineita ovat öljy ja maakaasu. (Toropainen 2003, 21) Öljyn ja maakaasun käytöllä on pitkät perinteet meesauuni käytössä ja niiden vaikutukset kalkan valmistuksessa tunnetaan hyvin. Myös käytettävä tekniikka on yksinkertaista ja luotettavaa.

3. POLTTOAINEET JA PÄÄSTÖT

Meesauunin yleisimmät polttoaineet ovat maakaasu ja polttoöljy. Kuvasta 5 nähdään maakaasun ja polttoöljyn hintojen yli kaksinkertaistuneen viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kuvasta 5 näkyvät myös toistuvat piikit öljyn hinnan kehityksessä. Viime vuosina nämä hinnan nousut ovat olleet voimakkaampia ja pidempi aikaisia. Öljyn hinnan kehitykseen vaikuttavat muun muassa öljyn lisääntynyt tarve Kiinassa ja Intiassa, luonnon katastrofit, sekä taloudelliset epävakaudet Keski-idän maissa. Polttoaineiden hinnan nousu aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia myös sellutehtaille. (Golebiowski, Weakly 2007, 1)



Kuva 5 Voimalaitospolttoaineiden hinnat (Voimalaitos polttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa 2008)

Meesauunin aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat merkittävin osa sellutehtaan fossiilisen hiilidioksidin päästöistä. Meesauuni aiheuttaa noin 80% modernin sellutehtaan hiilidioksidipäästöistä. (Vakkilainen 2008, 7) Yhtälöstä 1 nähdään, että hiilidioksidia vapautuu myös meesan kalsinointiprosessissa. Kalsinoinnista johtuva hiilidioksidipäästö on kuitenkin biomassapohjaista eli peräisin puusta, joten sitä ei lasketa kuuluvaksi fossiilisen hiilidioksidin päästöihin. Meesauunin kokonaishiilidioksidipäästöistä noin 40% on itse polttoaineen palamisesta johtuvaa. Mikäli polttoaineena käytetään fossiilisia polttoaineita, nämä päästöt lasketaan kuuluvaksi fossiilisiin hiilidioksidipäästöihin. Suomi ja useat muut teollisuusmaat ovat sitoutuneet Kioton sopimuksessa vähentämään kasvihuonepäästöjään merkittävästi. Tulevaisuudessa tehtaat voivat joutua maksamaan päästömaksuja aiheuttamistaan kasvihuonepäästöistä. Uusiutuvien polttoaineiden polttamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ei lasketa kuuluvaksi päästöinventareihin. Tämän vuoksi sellutehtaat voivat säästää merkittäviä summia käyttämällä esimerkiksi meesauuneissaan uusiutuvia polttoaineita. Jotta voimalaitokset voisivat tehokkaammin hyödyntää käytettävissä olevia vaihtoehtoisia polttoaineita, on ryhdytty uudelleen

kehittämään ja valmistamaan niitä käyttäviä ja jalostavia laitteita. (Ohlström, Savolainen 2005, 111-113)

Vaihtoehtoisia polttoaineita voidaan saada erilaisten tuotantoprosessien oheistuotteina, eivätkä niiden hinnat ole siksi niin alttiita suurille hinnan vaihteluille. Polttoaineita voidaan saada myös selluntuotannon oheistuotteina. Kehitettyjen laitteiden avulla meesauuneissa käytettävät vaihtoehtoiset polttoaineet alkavat olla sekä hintansa, että energiatehokkuutensa puolesta kilpailukykyisiä perinteisten polttoaineiden kanssa. Käyttämällä nykyaikaista teknologiaa sellutehtaat voivat olla omavaraisempia, muista riippumattomia myös tarvitsemiensa polttoaineiden suhteen. Tämä takaa tehtaille myös vakaammat ja helpommin ennustettavat polttoaineiden hinnat.

4. VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

Meesauuneissa on kokeiltu laajasti erilaisia vaihtoehtoisia polttoaineita. Seuraavissa kappaleissa esitellään käyttökokemusten ja tehtyjen tutkimusten perusteella käyttökelpoisimmiksi ja kilpailukykyisimmiksi havaitut vaihtoehtoiset polttoaineet. Varsinkin klinkkeriuuneissa on, tässä työssä esitettyjen lisäksi, kokeiltu paljon erilaisia muitakin polttoaineita, kuten revittyjä autonrenkaita, lihanluujauhoa, muoveja, sekä erilaisia jäteliemiä ja öljyjä. On esitetty myös, että joillakin tehtailla oheistuotteina valmistettava raakamäntyöljy voitaisiin polttaa meesauunissa. Mäntyöljyn polttaminen meesauunissa onnistuu hyvin, mutta sen korkean jälleen myynti arvon vuoksi sen myyminen on tänä päivänä polttamista kannattavampaa. Useimmat polttoaineet eivät vielä ole osoittautuneet potentiaalisiksi polttoaineiksi meesauuneissa. Useiden polttoaineiden saatavuus on osoittautunut käytön esteeksi ja hankittava käyttölaitteisto liian kalliiksi saatavaan hyötyyn nähden. Joidenkin polttoaineiden käytössä tarvittava laitteisto ei kaikilta osin ole vielä riittävän kehittynyttä. Myös polttoaineiden ja niiden tuhkan sisältämien kemikaalien vaikutus kaustisoinnin kemikaalikiertoon voi olla esteenä niiden käytölle. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö meesauuneissa varmaan lisääntyy uuden päästökaupakauden alettua ja uusien päästöoikeuksien ja –maksujen selvittyä.

5. PETROKOKSI

Petrokoksi on öljyn jalostuksessa syntyvä kiinteä, polttokelpoinen aine. Poltettava petrokoksi on ominaisuuksiltaan hiiltä vastaavaa ja myös käytettävä polttolaitteisto on pääasiassa sama kuin hiilen poltossa. Vaikka petrokoksi on öljyn jalostuksen oheistuote, sen hinta on huomattavasti polttoöljyä alhaisempi ja vakaampi hinta muutoksille. Petrokoksin polttaminen meesauunissa vaatii kuitenkin enemmän lisälaitteita kuin perinteiset meesauunin polttoaineet.



Kuva 6 Petrokoksi (Francey et al. 2008, 36)

Yleisimmät petrokoksityypit ovat vihreä-, polttoaine-, flexi-, nestemäinen- ja viivästetyn prosessinkoksi. Petrokoksin sopivuus polttoaineeksi riippuu pääasiassa sen rikki- ja rikkipitoisuudesta ja murskattavuudesta. Murskattavuus ilmoitetaan HGI- (Hardgrobe Grindability Index) lukuna. Taulukossa 1 on esitetty poltettavan petrokoksin tyypillisiä ominaisuuksia. (Golebiowski, Weakly 2007, 1)

Taulukko 1 Petrokoksin koostumus (Vakkilainen 2008, 10)

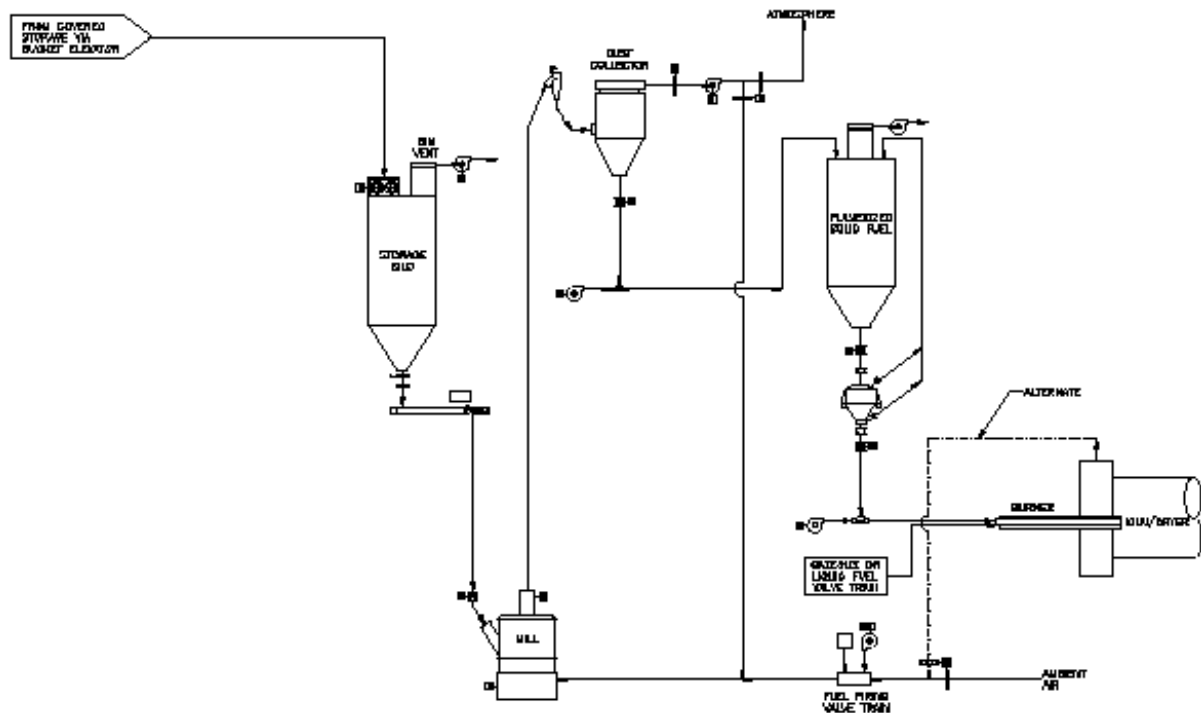
HGI	Size [mm]	Rikki- pitoisuus - %	kosteus - %	Tuhka -%	Metallit [ppm]	Typpi -%
20-90	3-30	4-7	3-12	0.5-1.5	100-5000	1-5

5.1 Petrokoksin käyttölaitteisto

Kiinteitä polttoaineita on poltettu meesauuneissa jo yli 70 vuotta. Toimiva tekniikka on siis jo olemassa ja käyttökokemuksia on paljon. Petrokoksin polttaminen meesauunissa vaatii pölymäisille polttoaineille sopivan varastointi-, kuljetus- ja polttolaitteiston.

Laitteistoon voi olla liitettynä myös polttoaineen murskaukseen soveltuva mylly. Käyttölaitteisto eroaa merkittävästi nestemäisten ja kaasumaisten polttoaineiden poltossa käytettävästä laitteistosta.

Petrokoksin polttamisessa käytetään yleensä suoraa jauhatus-polttosysteemiä, puolisuoraa jauhatus-polttosysteemiä tai epäsuoraa jauhatus-polttosysteemiä. Suorassa systeemissä petrokoksi syötetään suoraan myllyltä meesauuniin. Tällöin myllyn ja meesauunin toiminta ovat täysin riippuvaiset toistensa toiminnasta ja ovat herkempiä toimintakatkoksille. Puolisuorassa systeemissä jauhettu petrokoksi puhalletaan syklonin kautta meesauunille. Meesauuni käytössä käytetään kuitenkin yleisimmin epäsuoraa systeemiä. Epäsuorassa systeemissä syklonin tilalla voi olla kangassuodatin ja systeemiin kuuluu jauhetun petrokoksin varastosiiilo, sekä painosyöttölaitteisto syötetyn polttoaineen mittaamiseksi. Tässä systeemissä uuniin menevää ilmamäärää pystytään helpommin rajoittamaan ja tällöin myös NO_x -päästöt ovat pienemmät. Jauhetun petrokoksin kuljettamiseen käytetään yleensä paineilmaa. Polttoaineen määrän mittaaminen on tärkeää, jotta palaminen olisi tasaista ja hallittua. Varastosiiilon ansiosta mylly toimii itsenäisesti riippumatta uunin toiminnasta. Tämän vuoksi useampi meesauuni voi toimia yhden myllyn yhteydessä. Myös meesauunin pysäytys ja käynnistys ovat helpompia epäsuorassa systeemissä kuin muissa. Epäsuoran petrokoksin polttolaitteiston pääomakustannukset ja sähkön kulutus ovat kuitenkin muita systeemejä suuremmat. Murskauksessa käytetään tyypillisesti hiilen murskaukseen käytettäviä kehärulla-, pystyrulla-, pallo- tai rullamylyä. (Golebiowski, Weakly 2007, 5)



Kuva 7 Epäsuora jauhatus-polttoysteemi (E.A Golebiowski, Marvin Weakly 2007, 23)

Koska petrokoksi poltetaan kiinteässä muodossa, myös polttimen on oltava erityisesti tähän tarkoitukseen suunniteltu. Meesauuneissa petrokoksia käytetään yleensä lisäpolttoaineena perinteisen polttoaineen rinnalla. Petrokoksilla voidaan korvata yli 75 % poltettavasta öljyn tai maakaasun määrästä. Käytettävät polttimilla voidaan yleensä polttaa useampaa polttoainetta yhtä aikaa. Petrokoksi sisältää normaali polttoaineita vähemmän vetyä, joten se tarvitsee myös vähemmän palamisilmaa. Tämän vuoksi myös meesauunin kaasuvirtaus on pienempi, sekä syöttöpään lämpötila alhaisempi.

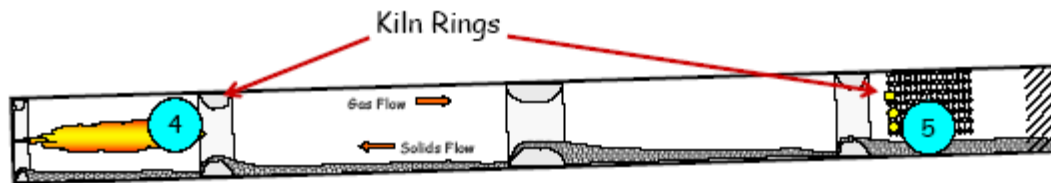


Kuva 8 Petrokoksi ja maakaasupoltin (Golebiowski, Weakly 2007, 36)

5.2 Petrokoksen käytön vaikutukset

Valtaosa petrokoksen käytöstä aiheutuvista ongelmista johtuu sen sisältämästä rikistä ja metalleista. Petrokoksen käyttö lisää kuluja myös kemikaalikierrrossa, sekä meesauunin päästöjä. Myös NO_x-, SO₂- ja metallipäästöt lisääntyvät. Lisääntyneitä NO_x -päästöjä voidaan alentaa muun muassa vähentämällä meesauunin primääri-ilman määrää. Poltettaessa petrokoksia oksidoituu sen sisältämästä rikistä SO₂:a. Se kuinka suuri osuus rikistä oksidoituu SO₂:ksi, riippuu muun muassa uunin pituudesta ja halkaisijasta. SO₂ voi myös reagoida meesan ja jäännösnatriumin kanssa ja muodostaa kalsium- (CaSO₄), sekä natriumsulfaattia (Na₂SO₄). Sulfaatit voivat alkaa kertymään uunin seinämiin muodostaen renkaita, jotka haittaavat meesan ja kaasujen virtausta. Poltettaessa petrokoksia, varsinkin liekin kärjen tasalle syntyvän, renkaan muodostus lisääntyy. Renkaan muodostus vähentää uunin tuotantokapasiteettia ja niiden poistaminen on usein kallista ja vaatii erikoislaitteistoa. Kuvassa 9 on esitetty renkaan muodostuminen meesauunissa. Kalsiumsulfaatin muodostuminen vähentää myös hiukan kalsiumoksidin muodostumista. Poltettaessa petrokoksia myös meesasuodattimen kemiallisen puhdistuksen, sekä valkaisussa tarvittavien kemikaalien tarve lisääntyy. Useimpiin laitoksiin joudutaan lisäksi syöttämään NaOH:ia. (Golebiowski, Weakly 2007, 5), (Vakkilainen 2008, 9) Käytännössä on kuitenkin huomattu, että petrokoksen polttaminen ei välttämättä merkittävästi lisää renkaan muodostusta meesauunissa. Petrokoksi on

kuitenkin aiheuttanut ongelmallisten kerrosten muodostumista haihduttimiin. (Francey 2008, 25)



Kuva 9 Renkaanmuodostus (Gorog 2002, 14)

5.3 Petrokoksin käyttökokemukset

Ennen vuotta 2004 kolmella sellu- ja paperitehtaalla oli valmiudet polttaa perinteisten polttoaineiden rinnalla petrokoksia. Vuoteen 2007 yhdeksän tehdasta lisäsi tämän mahdollisuuden ja kymmenen tehdasta harkitsi sitä. Petrokoksi on osoittautunut taloudellisesti kannattavaksi vaihtoehdoksi perinteisille meesauunin polttoaineille, vaikka polttolaitteiston ja polttoaineen käsittelylaitteiston pääomakustannukset ovat suuret. Laitteistojen takaisin maksuajat ovat olleet vain 2-3 vuotta. Tämä johtuu petrokoksin hintaerosta maakaasuun ja polttoöljyyn verrattuna.

Petrokoksin käyttö meesauunin polttoaineena on varsin suosittua maailmalla. Se on kannattavaa varsinkin alueilla, joissa tehtaat sijaitsevat lähellä öljynjalostamoja. Erityisesti meesauunit, joissa on aiemmin käytetty hiiltä, ovat helppo ja taloudellisesti kannattavaa muuttaa petrokoksille. Suomessa petrokoksin käyttö ei kuitenkaan ole kannattavaa, koska suomalaisista öljynjalostamoista ei saada petrokoksia. Uusimmissa biomassan jalostusprosesseissa syntyy nestemäisten ja vahamaisten lopputuotteiden ohella myös vaikeammin hyödynnettäviä kiinteitä jakeita. Näitä aineita voidaan käyttää petrokoksin tapaan meesauunin polttoaineina ja siten parantaa biojalostuksen taloudellista kannattavuutta.

6. BIOMASSAN KAASUTUS

Biomassan kaasutus yleistyi 1980-luvulla öljykriisin aikaan. Öljyn hinnan laskun myötä toimivia kaasutuslaitoksia lopetettiin, mutta viimeaikoina biomassan kaasutusta on ryhdytty käyttämään jälleen. Kaasutuslaitteistoa on käytetty aiemmin myös hiilen kaasuttamiseen. Meesauunin muuttaminen kaasutuslaitoksen kaasulle on erittäin helppoa. Vaikka kaasutuslaitteiston pääomakustannukset ovat suuret, meesauuni käyttöön hankittu kaasutuslaitteisto on kokoluokaltaan taloudellisesti järkevä. Biomassan hinta on polttoöljyyn ja maakaasuun verrattuna alhainen ja tarvittava polttoaine on yleensä sellutehtaalla oheistuotteena syntyvää jätettä. Biokaasun hinta ei siksi ole myöskään niin herkkä hintavaihteluille kuin perinteisten polttoaineiden. (Isaksson 2007, 11) (Vakkilainen 2008, 24) Biokaasun raaka-aineena voidaan käyttää useita eri biopolttoaineita. Sellutehtailla voidaan käyttää muun muassa kuorijätettä tai sahojen purua. Myös metsähake ja hakkuutähteet sopivat biokaasun raaka-aineiksi. Oljen käyttö biokaasun raaka-aineena on myös mahdollista. Oljen käsittely sellaisenaan on kuitenkin kallista ja olki on aina kuivattava ennen käyttöä. Oljen käyttö pelletti muotoisena on kuitenkin ollut onnistunutta. (Vakkilainen 2008, 31)

6.1 Biokaasun ominaisuudet

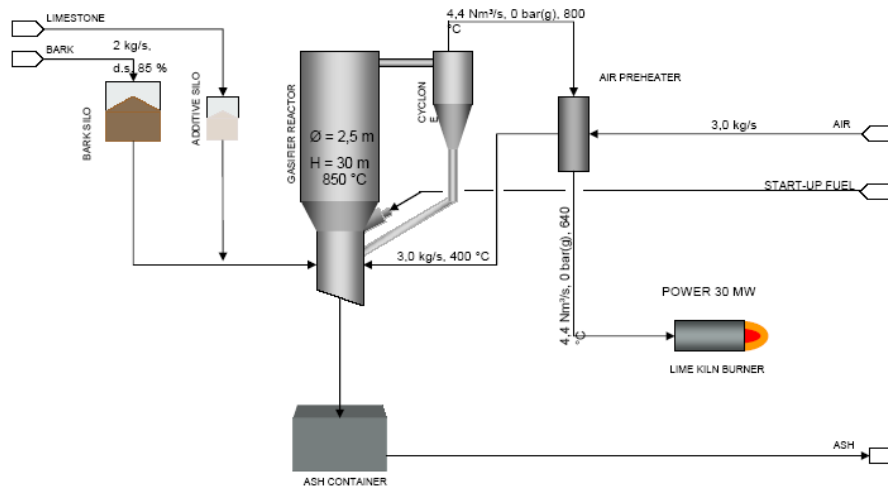
Biokaasun palamisominaisuudet eivät eroa merkittävästi polttoöljyn ja maakaasun ominaisuuksista. Taulukosta 2 nähdään savukaasun lämpötilojen olevan biokaasua poltettaessa korkeammat kuin maakaasulla ja polttoöljyllä. Myös savukaasu virtaus sähkösuotimelle on biokaasun poltossa suurempi. Biokaasun adiabaattinen palamislämpötila on kuitenkin perinteisiä polttoaineita alhaisempi. Biokaasun adiabaattinen palamislämpötila on noin 1870 °C sen ollessa maakaasulla noin 2050 °C ja raskaalla polttoöljyllä 2210 °C. Myös biokaasun alempilämpöarvo voi olla maakaasuun ja polttoöljyyn verrattaessa huomattavasti pienempi. Raskaan polttoöljyn alemman lämpöarvon ollessa noin 36 MJ/Nm³ biokaasun vastaava arvo voi olla vain 7 MJ/Nm³. Biokaasun huono alempilämpöarvo johtuu kaasuun jäävästä biopolttoaineen kosteudesta. Täysin kuivan biokaasun lämpöarvo olisi merkittävästi suurempi.

Taulukko 2 Polttoaineiden ominaisuudet tuotantokapasiteetilla 500 t/d poltettua kalkkia. (Isaksson 2007, 6)

	Energian kulutus [GJ/t]	Savukaasujen lämpötilamuutokset			
		Savukaasukanavassa [°C]	Ennen kuivainta [°C]	Syklonin jälkeen [°C]	Poltettu kalkki [°C]
Biokaasu	6,46	743	720	242	282
Maakaasu	6,17	725	702	212	226
Raskas polttoöljy	5,92	685	663	175	226

6.2 Biomassan kaasutuslaitteisto

Biokaasua poltetaan usein maakaasun ohella. Toki yksin polttaminenkin on mahdollista. Maakaasun ja biokaasun polttamiseen soveltuukin sama poltin. Yleensä käytetään kuitenkin erikoispoltinta, jolla voidaan polttaa useampia eri polttoaineita. Kuvassa 10 on esitetty tyypillinen biomassan kaasutuksen prosessikuvaus. Laitteiston pääosat koostuvat biomassasiilosta, kaasuttimesta, tuhkan keräimestä, syklonista ja ilman esilämmittimestä. Laitteistoon voi kuulua myös biomassan esikuivain. Biopolttoaineen kuivaaminen on tärkeää, jotta kaasuvirtauksen suhteellinen savukaasumäärä saadaan pienemmään. Biopolttoaineen kuiva-aine pitoisuuden ollessa 60 % suhteellinen savukaasumäärä voi olla yli 1,5-kertainen verrattuna täysin kuivan biopolttoaineen savukaasumäärään. Kuivaamiseen voidaan käyttää osa itse tuotekaasusta. (Isaksson 2007, 7)

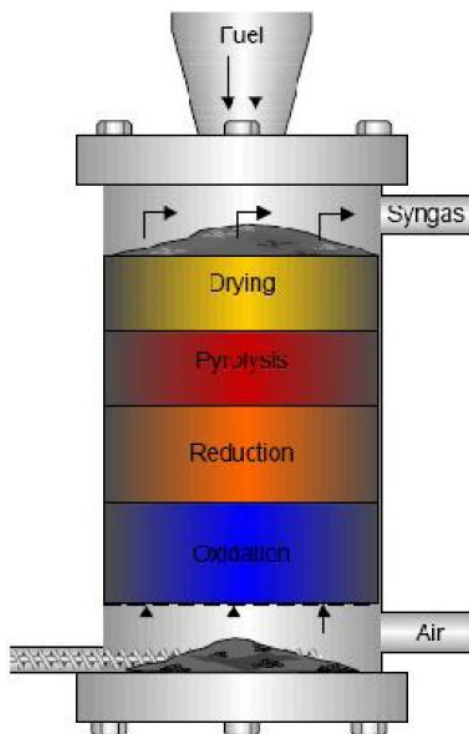


Kuva 10 Biomassan kaasutuslaitteisto (Isaksson 2007, 13)

Biomassan kaasutuksella voidaan tuottaa poltettavaa kaasua polttoaineista, jotka sisältävät hiiltä. Biomassaa poltetaan tilassa, johon syötetään vähemmän ilmaa mitä stökiometrinen eli täydellinen palaminen vaatisi. Tällöin polttoaine kuivuu, hajoaa pyrolyysissa ja polttoaineen jäännös hiili kaasuntuu. Näin ollen prosessi on termokemiallinen. (Nexterra's Gasification Technology 2008)

Varsinainen biomassan kaasutin voi olla varsin yksinkertainen. Kaasutin tilaan johdetaan polttoaine, palamisilma, sekä vesihöyry ja sieltä kerätään pois tuotekaasu ja tuhka. Kuvassa 11 on kuvattu ylävetokaasutin. Siinä polttoaine tuodaan kaasuttimeen sen yläosasta ja ilma puhalletaan polttoaineen läpi alhaalta. Biokaasu nousee kaasuttimen yläosaan. Alavetokaasuttimessa ilma tuodaan kaasuttimen keskiosaan ja tuotekaasu, sekä tuhka kerätään sen alaosasta. Samaa peruseriaatetta käyttäviä hieman toisistaan poikkeavia kaasuttimia on useita. Käytössä on myös monimutkaisempia FBG-kaasuttimia (fluidized bed gasifier), joissa polttoaine syötetään leijuvan hiekkapatjan päälle. Hiekkapatjaa leijutetaan ilmalla kuten leijupetikattilassakin. Biokaasu ja kiinteät aineet erotetaan toisistaan syklonissa. (Sagitov 2008, 29-40) Kaasuttimissa tuhkan joukkoon tulee yleensä myös palamatonta polttoainetta. Tämän vuoksi myös sen uudelleen poltto on mahdollista. (Vakkilainen 2008, 24) Kuvassa 12 on esitetty Nexterran kaupallinen biomassan kaasutuslaitteisto. Nexterra kaasuttimessa polttoaine, ilma, sekä

vesihöyryn tuodaan kaasuttimen alaosaan ja pelkästään tuotekaasun talteenotto tapahtuu kaasuttimen yläosassa.



Kuva 11 Ylävirtauskaasutin



Kuva 12 Nexterra kaasutin
(Nexterra Gasification
Technology 2008)

6.3 Biokaasun aiheuttamat ongelmat

Biomassasta tuotettu kaasu on usein puhdasta ja sisältää vähän haitallisia kemikaaleja ja epäpuhtauksia. Näin ollen sen polttaminen aiheuttaa vain vähän ongelmia ja muutoksia kaustisointikiertoon. Ongelmia aiheuttaa kuitenkin biomassan tuhkan sisältämät aineet. Biopolttoaineen tuhkaa kulkeutuu tuotekaasun mukana kaasutuslaitoksesta meesauuniin. Tuhkasta voi kulkeutua uuniin 50-100 %, jolloin fosforia voi kertyä meesaan jopa 35-70 kilogrammaa päivässä. Fosforipitoisuutta kaustisoinnissa alennetaan poistamalla meesaa kierrosta. Poistettava meesamäärä on suuri ja kalkin korvaus tarve voi olla 3,5-7 tonnia vuorokaudessa. (Isaksson 2007, 9) Biomassan kaasutuslaitteiston toimintakatkokset ovat

johtuneet muun muassa tulipaloista kuivurissa ja polttoaineen holvaamisesta kaasuttimessa. (Berglin 2008, 13)

6.4 Biokaasun käyttökokemukset

Biomassan kaasutuslaitteita oli aiemmin varsin runsaasti käytössä. Ahlström toimitti 1986 Ruotsiin Kalsborgiin biomassan kaasutuslaitteiston. Kalsborgissa tuotettiin kaasua männyn kuorijätteestä. Märkä kuori murskattiin vasaramyllyllä ja kuivattiin puukaasun polttamisesta saatavilla kuumilla savukaasuilla. Kuiva kuorijauhe ohjattiin varastosiilosta noin 800 °C asteiseen kaasuttimeen, josta saatava kaasua poltettiin tehtaassa meesauuneissa. Laitoksen teho oli 27 MW, josta noin 25 % käytettiin kuoren kuivaamiseen. Laitos poistettiin käytöstä vuonna 2002, jolloin tehtaassa meesauuni muutettiin toimimaan pikiöljyllä.

Ahlström toimitti vastaavanlaisen laitoksen myös Norrsundetiin vuonna 1985. Laitos käytti ensisijaisena polttoaineenaan ensimmäiset 10 vuotta männyn kuorta, mutta muutettiin sittemmin käyttämään kuusen kuorta. Nykyään laitoksessa kaasutetaan pääasiassa sahanpurua. Tehtaassa kumpikin meesauuni tuottaa 160 tonnia kalkkia vuorokaudessa. Molemmat uunit voivat käyttää polttoaineenaan biokaasua, mutta nykyisin vain toinen toimii sillä.

Ruotsissa Värössä toimii myös Götaverken Energyn (nykyinen Metso) vuonna 1986 toimittama biomassan kaasutuslaitos. Laitoksen teho on noin 22 MW. Siihen kuuluvat kiertävä leijukerroskaasutin, sekä biokaasulla toimiva rumpukuivain. Laitos käyttää polttoaineenaan kuusen- ja männynkuoren sekoitusta, joka puristetaan ennen kuivuria noin 35-40 % kuiva-ainepitoisuuteen. Värön meesauunissa voidaan polttaa biokaasun lisäksi öljyä, metanolia, sekä hajukaasuja. Metanolia ja hajukaasua poltetaan meesauunissa vain kun soodakattila on pysäytetty.

Kanadassa Domtarin Kamloopsin sellutehtaalla on käynnissä projekti biomassan kaasutuslaitteiston rakentamiseksi. 2009 rakennettavaan laitokseen tulee Nexterran

kaasutuslaitteisto. Kaasutin käyttää polttoaineenaan jätetuuta ja sen arvioitu teho on noin 60 MMBtu/hr (British Thermal Unit) käytettävää netto lämpöä. Laitoksen on kerrottu säästävän vuodessa 500 000 GJ:n verran maakaasua, 4.5 miljoonaa \$ tuotantokustannuksia, sekä vähentävän vuodessa 30 000 tonnia kasvihuonepäästöjä. Prosessissa puujäte kuivataan kuorikuivaimessa ja kaasutetaan Nexterran biomassan kaasuttimessa. Biokaasu paineistetaan ja poltetaan meesauunissa maakaasun ohella dual-polttimella. (Domtar Inc. Lime Kiln Gasification Project 2008)

Myös Suomessa Wisaforestilla toimi aiemmin 35 MW:n kaasutuslaitos, sekä Portugalissa Rodaolla 15 MW:n laitos. Nämä laitokset poistettiin myöhemmin käytöstä.

7. LIGNIINI

Ligniini on puussa oleva kuitujen sidosaine, amorfinen polymeeri. Sellua keitetessä ligniini eroaa puusta ja jää mustalipeän joukkoon. Ligniinin energiasisältö on varsin suuri, joten se on perinteisesti poltettu soodakattilassa. Nykyaikaisella tekniikalla ligniini voidaan kuitenkin poistaa mustalipeästä ja polttaa erillään tai myydä. Poistamalla ligniiniä mustalipeästä voidaan myös pyrkiä lisäämään tehtaan sellun tuotantoa ja vähentämään soodakattilan kuormitusta. Ligniini on myös erinomainen biopolttoaine ja soveltuu niin meesauunin kuin lämmityskattiloidenkin polttoaineeksi. Ligniiniä voidaan helposti myös kuivata ja puristaa pelletiksi. (Axelsson et al. 2006, 487)

7.1 Ligniinin erotus mustalipeästä

Ligniinin erottamiseksi mustalipeästä voidaan käyttää saostusta tai ultrasuodatusta. Saostuksessa mustalipeää poistetaan haihduttamalla sen ollessa 30 % kuiva-aine pitoisuudessa ja alennetaan sen pH-arvoa syöttämällä siihen hiilidioksidia tai happoa. Happona voidaan käyttää esimerkiksi rikkihappoa. PH-arvon laskiessa ligniini alkaa saostua. Mustalipeän pH-arvon ollessa 9, noin 70 % ligniinistä on saostunut. Tämän jälkeen ligniini on helppoa erottaa mustalipeästä suodattamalla. Lopuksi ligniini happo

pestään H_2SO_4 :llä. Rikkitasapainon säilyttämiseksi kierrosta on poistettava natriumsulfaattia (Na_2SO_4), joka vähentää myös natriumin määrää kierrossa. Natriumin määrää kierrossa kompensoidaan lisäämällä NaOH :ia. (Axelsson et al. 2006, 485)

Ultrasuodatus hyödyntää puoli läpäisevää membraanikalvoa, joka läpäisee keittoliuokset. Kalvon yli vallitsee paine-ero, joka saa keittoliuokset virtaamaan kalvon läpi, ligniinin jäädessä sen pinnalle. Teollisuudessa käytetyt suodattimet ovat yleensä putki- tai levysuodattimia.

7.2 Ligniini meesauunin polttoaineena

Ligniinin polttamisesta meesauunissa ei ole paljon käyttökokemuksia. Tutkimukset ja pilottihankkeet ovat kuitenkin osoittaneet ligniinin sopivan erinomaisesti meesauunin polttoaineeksi. Ligniinin lämpöarvo on kuivana yli 26 MJ/kg ja vielä 70 % kuiva-aine pitoisuudellakin lähes 24 MJ/kg. The University of British Columbia tutki maakaasun korvaamista ligniinillä osittain tai jopa kokonaan. Ligniiniä voidaan polttaa meesauunissa pulveriksi jauhettuna, joko maakaasun joukossa tai itsestään. Suurin ero ligniinin ja maakaasun palamisessa on liekin pituudessa. Ligniinin liekki on pitempi, kirkkaampi ja oranssi, kuten öljyä poltettaessa. Maakaasun liekki on puolestaan lyhyt ja sininen. Näin ollen myös ligniini liekin kuumin kohta on syvemmillä uunissa kuin maakaasulla. Ligniinillä poltettaessa myös petin lämpötila on kuumempi. Testeissä on huomattu parhaimman kalsinointi asteen saavutettavan ligniini liekillä juuri ennen uunin loppua. Maakaasuliekillä paras kalsinointi tapahtuu kalkin tullessa uunin kynnyksen yli kalkin jäähdyttimeen. Ligniiniä poltettaessa kalsinointi aste oli kuitenkin suurempi kuin maakaasulla poltettaessa. Testeissä ei ole huomattu merkittävää eroa ligniinin palamisominaisuuksiin erotettaessa se mustalipeästä hiilidioksidilla tai rikkihapolla. Ligniini liekillä tuotettu kalkki oli myös sammutettaessa yhtä reagoivaa kuin maakaasuliekillä tuotettu.

Ligniinin sisältämä rikki on sulfaatti muodossa, jolloin sen ei oleteta muodostavan SO₂:ta. Ligniinin tuhkan sisältämän natriumin ei myöskään ole huomattu aiheuttavan ongelmia meesauunin toiminnassa. (Richardson et al. 1990, 134)

7.3 Lignoboost

LignoBoost tarjoaa kaupallisia sovelluksia, joilla ligniini voidaan tehokkaasti erottaa mustalipeästä. Laitosta on kokeiltu ruotsalaisella Bäckhammarsin sellutehtaalla Kristinehamnissa. Laitos on ollut toiminnassa vuoden 2006 lopusta lähtien ja se tuottaa noin 4000 tonnia ligniiniä vuodessa. Laitokselta saadut kokemukset ligniinin erottamisesta mustalipeästä ja käyttämisestä energian tuotannossa ovat olleet positiivisia. Tuotettu ligniini käytetään pääasiassa energian tuotantoon. (The Lignoboost demonstration plant 2008)

8. PUU

Kiinteän puuaineksen polttaminen meesauunissa ei ole kovin yleistä. Puu purun polttaminen meesauuneissa on kuitenkin onnistunut hyvin ja siitä on saatu käyttökokemusta jo usean vuosikymmenen ajan. Se ei sovellu kuitenkaan meesauunin ainoaksi polttoaineeksi vaan sitä poltetaan yleensä perinteisen polttoaineen ohella.

Poltettaessa puuta meesauunissa se on murskattava riittävän pieneen partikkelikokoon. Murskauksessa voidaan käyttää esimerkiksi vasaramyllyä. Kuvassa 13 on esitetty Ruotsissa Lövhölménin tehtaalla käytössä oleva vasaramylly. Jauhamalla polttoaine pieneksi pyritään saamaan palamisesta riittävän täydellistä ja polttoaineen syötöstä tasaista. Vasaramyllyn käyttäminen voi lisätä huoltoseisakkien määrää, sillä myllyn vasarat on vaihdettava määrä välein. Poltettaessa meesauunissa kiinteää polttoainetta polttoaineen määrän mittaaminen on kuitenkin vaikeaa ja palaminen on usein epätasaista. Tämän vuoksi polttamisessa on käytettävä erikoispoltinta.



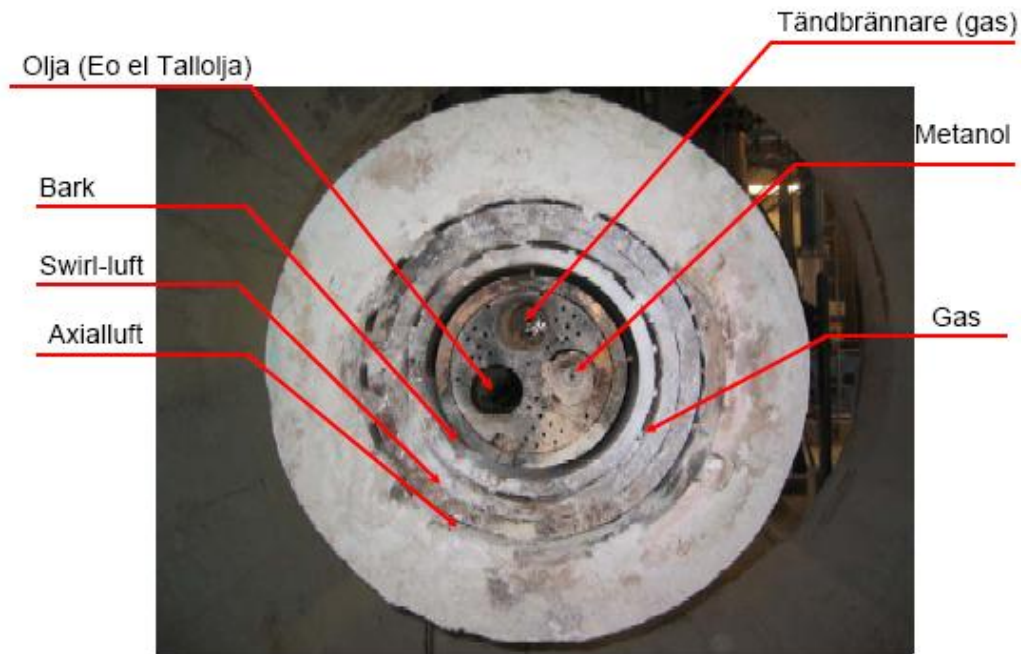
Kuva 13 Vasaramylly (Wadsborn et al. 2007, 10)

Murskattu puru kuivataan kuivurilla ennen polttamista. Kuivaukseen voidaan käyttää tehtaan muilta kattiloilta tulevia savukaasuvirtoja. Puun sisältämä kosteus huonontaa sen palamista. Raakapuu sisältää noin 50-60 % vettä. Märkää puuta poltettaessa liekin lämpötila on useita satoja asteita alhaisempi ja lämmönsiirto heikompaa kuin normaalilla liekillä. Tämän vuoksi puun sisältämä kosteus on oltava alle 15 % sen kokonaispainosta. Puun kuori sisältää kuitenkin vähemmän kosteutta ja haitallisia aineita kuin puun ydin, mutta se on jauhettava riittävän pieneen partikkelikokoon. (Gullichsen, Fogelholm 2000, 193)

Puun sisältämä hiili aiheuttaa ongelmia meesakerrossa. Epätäydellisen palamisen johdosta polttoaineesta jää hiiltä meesauuniin. Hiilijännös kulkeutuu kalkin mukana meesauunista kaustisointiin ja voi tukkia esimerkiksi meesasuoitimen. Hiilen poistaminen kalkista kemiallisesti on erittäin vaikeaa, sillä sitä on vaikeaa saada reagoimaan muiden aineiden kanssa. (Vakkilainen, keskustelu 2008) Lisäksi ongelmia aiheuttavat hiilen tuhkan sisältämät aineet. Hiilen tuhka sisältää alumiinia, piioksidia, fosforia ja magnesiumia, jotka ovat haitallisimpia prosessiin kuulumattomia aineita sellun valmistuksessa. (Gullichsen, Fogelholm 2000, 193)

Ruotsissa Lövhölménin ja Mönsteråsin tehtaiden meesauuneissa poltetaan puun purua. Lövhölméniin puunpolttolaitteisto rakennettiin jo 1979 ja Mönsteråsiin 1985. Laitteistot

käyttävät polttoaineenaan haketta ja puunkuorta. Hake ja kuori kuivataan ensin sooda- ja kuorikattiloiden savukaasujen lämmöllä ja jauhetaan vasaramyllyllä alle 1 millimetrin partikkeli kokoon. Kuvassa 14 on esitetty Mönsteråsin meesauunin poltin, joka soveltuu öljyn, puupurun, metanolin ja kaasun polttoon. (Wadsborn et al. 2007, 10)



Kuva 14 Mönsteråsin meesauunin kombipoltin. (Wadsborn et al. 2007, 12)

9. POLTTOAINEIDEN VAIKUTUS KAUSTISOINTIIN

9.1 Palamisominaisuudet

Verrattaessa vaihtoehtoisten polttoaineiden palamisominaisuuksia maakaasun ja polttoöljyn palamisominaisuuksiin, voidaan polttoaineet jakaa kahteen ryhmään; kiinteisiin, sekä nestemäisiin ja kaasumaisiin. Samassa olomuodossa olevilla polttoaineilla on huomattu olevan pääasiassa samanlaiset palamisominaisuudet. Ainoan poikkeuksen on tehnyt mäntyöljypiki, jonka ominaisuuden noudattavat kiinteiden polttoaineiden ominaisuuksia. Tutkittaessa polttoaineiden tuottamaa savukaasuvirtaa on

todettu, että kiinteät vaihtoehtoiset polttoaineet lisäävät 6-7 % savukaasuvirtaa verrattuna öljyyn, kun taas nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet vähentävät sitä. Poikkeuksen tekevät ligniini, joka vähentää savukaasuvirtaa ja mäntyöljypiki, joka lisää sitä. Myös kiinteiden polttoaineiden savukaasulämpötilat ovat öljyä korkeampia. Tästä johtuen uunin seinämän lämpötila nousee koko uunin matkalta. Kiinteiden polttoaineiden palamislämpötilat ovat 3-26 % öljyn palamislämpötilaa korkeampia. Nestemäisten polttoaineiden palamislämpötilat ovat puolestaan öljyn palamislämpötilaa alemmat. Poikkeuksen tekee jälleen mäntyöljypiki, jolla palamislämpötila on öljyä korkeampi.

Tutkittaessa tarvittavaa energia määrää tuotettua kalkki tonnia kohti, sekä energiahäviöitä, on huomattu kiinteiden polttoaineiden tarvitsevan enemmän energiaa, sekä aiheuttavan enemmän häviöitä kuin öljyn. Kiinteiden polttoaineiden suuremmat energiahäviöt voivat johtua petin suuremmista lämpötiloista. Nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet puolestaan tarvitsevat öljyä vähemmän energiaa kalkki tonnin tuottamiseen ja aiheuttavat vähemmän lämpöhäviöitä.

Myös liekin tyypissä ja lämmön siirtymistavoissa on huomattavia eroja eri polttoaineiden välillä. Kuten aiemmin on todettu maakaasu liekki palaa kirkkaalla liekillä, jolloin säteilylämmönsiirtoa ei juuri tapahdu. Esimerkiksi petrokoksia poltettaessa yli 95 % lämmönsiirrosta tapahtuu säteilemällä. Kiinteillä vaihtoehtoisilla polttoaineilla on myös pidempi liekki kuin öljyllä. Kiinteiden polttoaineiden palaminen kestää pidempään ja säteilylämmönsiirto on hillitympää. Tästä johtuen liekin kärjen lämpötila on hiukan alhaisempi. Nestemäisillä ja kaasumaisilla polttoaineilla liekin pituus on sama kuin öljyllä. Kaasutetulla puun kuorella liekin pituus kuitenkin on 69 % öljyliekkiä pidempi. (Ivansson, Svedin 2007, 547-548)

9.2 Epäpuhtaudet kemikaalikierrossa

Käytettävällä polttoaineella voi olla merkittävä vaikutus meesauunin toimintaan ja kaustisointikiertoon. Suurimmat ongelmat aiheutuvat polttoaineen mukana tulevasta prosessiin kuulumattomista NPE- aineista (Non process elements), kuten metalleista ja kemikaaleista. Näitä aineita tulee kiertoon muualtakin, mutta polttoaineen sisältämät aineet voivat lisätä niiden määrää merkittävästi. Lisääntyneiden epäpuhtauksien vuoksi joudutaan lisäämään meesan poistoa kierrosta ja siten myös kalkin korvaus tarve lisääntyy.

Epäpuhtaudet voidaan jakaa kolmeen ryhmään sen mukaan kuinka helposti ne liukenevat valko- tai viherlipeään. Vähiten ongelmia meesakerrossa aiheuttavat aineet, jotka liukenevat erittäin helposti sekä valko-, että viherlipeään. Tällaisia ovat muun muassa kalium ja kloori. Biomassan tuhka sisältää suuren määrän kaliumia.

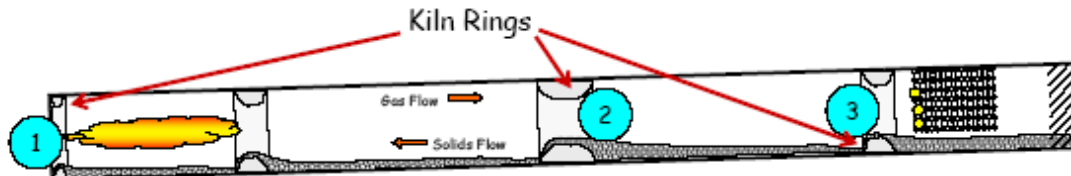
Toiseen ryhmään kuuluvat aineet, jotka liukenevat helpommin viherlipeään kuin valkolipeään. Näitä ovat muun muassa silika eli piidioksidi ja fosfori. Biomassan tuhka ja yksivuotiset kasvit sisältävät paljon silikaa. Silika saostuu kalkin kanssa meesauunissa. Silikaa sisältävällä kalkilla on usein alhainen kuiva-ainepitoisuus ja se on emäksinen. Tämän vuoksi se ei muodosta sintrautuneita rakeita vaan jää pölymäiseksi. Sintrautumiseen tarvitaan korkeampaa lämpötilaa, jolloin kalkin ylipalaminen lisääntyy. Silika sitoutuu lisäksi kalsiumoksidin (CaO) kanssa. Syntynyt sidos on pinta-alaltaan niin suuri, että sen sitoma vesi lisää kalkin kosteutta merkittävästi. Myös fosfaatit sitoutuvat kalkin kanssa ja estävät siten kalsinoitumista. Yksi mooli fosforia yhdistyy 1.5 mooliin CaO^8 ja lisää siksi merkittävästi reagoimattoman kalkin määrää.

Kolmanteen ryhmään kuuluvat aineet, jotka eivät liukene helposti viher- eikä valkolipeään. Tähän ryhmään kuuluvat metallit kuten magnesium, magnaani ja rauta. Magnesiumin kemiallinen reaktio muistuttaa hyvin paljon kalkin kemiallista reaktiota. Magnesiumkarbonaatti voi myös kalsinoitua MgO :ksi ja voidaan sammuttaa veteen kuten

kalkkikin. Se ei kuitenkaan kaustisoidu Na_2CO_3 :ksi. Alumiini puolestaan voi sitoutua magnesiumin ja silikaatin kanssa. Rauta ja magnaani ovat meesassa todennäköisesti hydroksidina ja laskevat meesan kuiva-aine pitoisuutta. Polttoaineiden sisältämä rikki aiheuttaa myös ongelmia. Suuri osa uuniin joutuneesta rikistä reagoi kalkin kanssa ja muodostaa kalsiumsulfaattia, joka kuitenkin liukenee lipeään kaustisoinnissa. Vapautuneesta kalsiumista muodostuu kalsiumkarbonaattia. Oksidoituessaan rikki lisää reagoimattoman kalkin määrää. Polttoaineen sisältämä rikki lisää myös meesauunin päästöjä. Mikäli rikki pääsee tekemisiin kosteuden kanssa, uunin TRS-päästöt voivat lisääntyä. Epätäydellinen palaminen lisää myös rikistä muodostuvan H_2S :n muodostumista. (Gullichsen, Fogelholm 2000, 145)

9.3 Renkaan muodostus

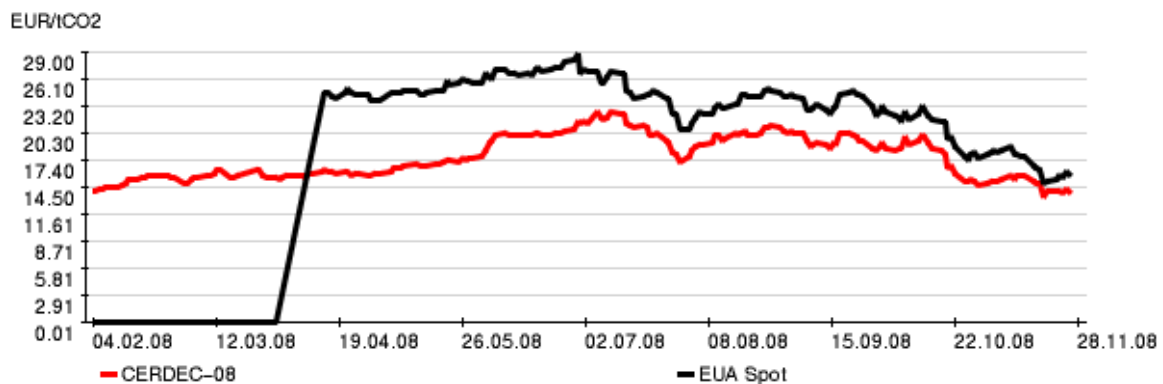
Vaihtoehtoisten polttoaineiden polttaminen voi lisätä myös uunin epästabiliutta. Kiinteiden polttoaineiden, kuten petrokoksin ja ligniinin, tasainen syöttäminen uuniin on usein vaikeaa. Myös poltettavan polttoaineen määrän arvioiminen muuten kuin palamisolosuhteita tarkkailemalla on hankalaa. Tästä johtuen uunin lämpötilat voivat vaihdella. Kuten kappaleessa 5.2 todettiin, rikki voi lisätä renkaan muodostusta meesauunissa. Kaikissa meesauuneissa kuitenkin esiintyy renkaan muodostusta. Siihen miten paljon uuniin muodostuu renkaita vaikuttavat muun muassa kalkin tuotantomäärä, ylimäärä ilman määrä, meesan kuiva-ainepitoisuus ja liekin palamisnopeus. Kuten kuvasta 15 nähdään, renkaita muodostuu eri osiin uunia. Suurin osa näistä renkaista kuitenkin hajoaa itsekseen meesan kuivuttua. Kuvan 15 numeron 2 rengas muodostuu uunin osassa, jossa meesasta alkaa muodostua palloja. Tarttuessaan toisiinsa osa molekyyleistä tarttuu myös uunin seinämiin. Rengas on alkuun pehmeä ja koostuu sekä CaCO_3 :sta, että CaO :sta. Mikäli uunin toiminta-arvot vaihtelevat ja renkaan lämpötila laskee, CaO reagoi CO_2 :n kanssa ja muodostaa CaCO_3 :sta. Tällöin rengas kovettuu eikä enää putoa pois oman painonsa ansiosta. Uunin epästabilius lisää merkittävästi tällaista renkaan muodostumista. (Gorog 2002, 13)



Kuva 15 Renkaan muodostus meesauunissa (Gorog 2002, 13)

10. VAIHTOEHTOISTEN POLTTOAINEIDEN VAIKUTUS TALOUTEEN

Muutoksella fossiilisten polttoaineiden käytöstä vaihtoehtoiisiin polttoaineisiin voi olla merkittävä taloudellinen vaikutus sellu- ja paperitehtaan toimintaan. Kuten aiemmin todettiin, vaihtoehtoiset polttoaineet ovat raskasta polttoöljyä ja maakaasua huomattavasti halvempia. Meesauunin suuresta käyttöasteesta ja polttoaineen kulutuksesta johtuen halvalla polttoaineella voidaan saada merkittäviä säästöjä tehtaalle. Tulevaisuudessa polttoaineen valinnalla voi olla vielä suurempi merkitys. Mikäli sellu- ja paperitehtaat jäävät tulevaisuudessa jaettavien päästöoikeuksien ulkopuolelle, ne joutuvat maksamaan itse aiheuttamansa päästöt. Nordpoolin määrittelemä CO₂-päästöjen hinta on tällä hetkellä noin 18 €/ t, CO₂. (Carbon contracts, 2008) CO₂-päästöhinnat muuttuvat jonkin verran päivittäin ja hintatilanne päivitetään joka tunti. Kuvassa 16 on esitetty hinnan muutokset kahdeksan viime kuukauden ajalta. EUA-Spot kertoo Euroopan sisäisten päästöjen hinnan.



Kuva 16 CO₂-päästöhinnan muutokset. (EUA Daily closing prices 2008)

Taulukkoon 3 on koottu mahdollisesti voimaan astuvista päästömaksuista aiheutuvat kulut polttoainelajeittain. Vertailussa on käytetty biokaasua, maakaasua ja raskasta polttoöljyä. Polttoaineen kulutus on arvioitu 650 000 tonnia vuodessa tuottavan sellutehtaan mukaan. Käytettävä CO₂ –päästöhinta on tämän hetkinen markkinahinta. Taulukon kohdassa muut kulut on arvioitu biomassan käytöstä aiheutuvat kulut kuten tarvittava sähkö, sekä korvattava kalkki. Taulukosta nähdään, että biopolttoaineen hintaerosta saatava säästö on maakaasuun verrattuna 3 miljoonaa euroa vuodessa ja raskaaseen polttoöljyyn verrattuna yli 10 miljoonaa euroa. Aiheutuvat kulut ja päästökaupparamaksut huomioituna biopolttoaineella saatava säästö olisi maakaasuun verrattuna 3,5 miljoonaa euroa vuodessa ja raskaaseen polttoöljyyn verrattuna lähes 12 miljoonaa euroa vuodessa. Tarkastelu on kuitenkin vain suuntaa antava ja ottaa huomioon vain polttoaineen hinnasta ja päästömaksuista syntyvät säästöt.

Taulukko 3 Päästöistä aiheutuvat kustannukset.

650 000 t/a sellutehdas		Yksikkö	Bio	Maakaasu	RPÖ
Polttoaine		MWh	381500	364000	350000
Yksikköhinta		€/MWh	13	22	45
Vuotuinen polttoaineen hinta		M€	5	8	15,8
CO2 päästökerroin		tCO2/MWh	0	0,2016	0,2786
Vuotuinen CO2 päästö		tCO2/a	0	73382	97510
CO2 hinta		€/tCO2	18	18	18
Vuotuinen CO2 hinta		M€	0	1,3	1,8
Muut kulut		M€/a	0,8	0	0
Yhteensä		M€/a	5,8	9,3	17,6
Vuotuiset säästöt biomassasta		M€/a	0	3,5	11,8

11. YHTEENVETO

Käytännön kokemus on osoittanut vaihtoehtoisten polttoaineiden pystyvän alentamaan merkittävästi meesauunin aiheuttamien kasvihuonepäästöjen määrää, sekä polttoainekustannuksia. Käytettävissä olevalla tekniikalla voidaan hyödyntää jo markkinoilla olevia vaihtoehtoisia polttoaineita ilman, että niiden käytöstä aiheutuisi merkittäviä ongelmia tehtaan toiminnalle. Laitokselle parhaiten soveltuva vaihtoehtoinen polttoaine riippuu tehtaan sijainnista, sekä aiemmin käytetystä polttoainejärjestelmästä.

Suomessa potentiaalisimmat vaihtoehdot ovat biomassan kaasutus, sekä ligniini. Polttamalla ligniiniä meesauunissa voidaan tulevaisuudessa myös lisätä sellutehtaan tuotantokapasiteettia. Ulkomailla myös petrokoksi on erittäin kilpailukykyinen vaihtoehto meesauunin polttoaineeksi. Vaikka fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään jo nyt vähentämään, laajempi siirtyminen vaihtoehtoisiin polttoaineisiin tapahtunee vasta uuden päästökauppakauden alettua.

LÄHTEET

Axelsson Erik, Olsson Marcus R., Berntsson Thore. 2006. Increased capacity in kraft pulp mills: Lignin separation and reduced steam demand compared with recovery boiler upgrade. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology. Nordic Pulp and Paper Research Journal Vol 21 no. 4/2006.

Berglin Niklas. STFI-Packfors 2008. Survey of operating experience in five mills. International Seminar and workshop on Biofuels in Lime Kilns. Stockholm. 24.09.2008.

Carbon contracts. [Nordpoolin internetsivuilla] Updated 01.12.2008. Viitattu 01.12.2008
Saatavissa: <http://www.nordpool.com/system/FinanceMarket/emissions>

Domtar Inc. Lime Kiln Gasification Project. [Nexterran internetsivut] Viitattu: 19.11.2008. Saatavissa: <http://www.nexterra.ca/industry/domtar.cfm>

Francey Sabrina, Honghi Tran, Jones Andrew. Pulp & Paper University of Toronto. 2008. Experience of burning petcoke and bark powder in lime kilns. Increasing energy and recovery efficiency in the kraft process and alternative fuels for lime kilns. University of Toronto. 11.-13.11.2008

Golebiowski E.A, Weakly Marvin. 2007. Pet Coke Grinding and Firing of Lime Recovery Kilns – An Overview. St. Peters, MO USA: Phoenix Process Engineering, Inc. TAPPI Engineering Conference, Jacksonville, Fla.

Gorog J. Peter. Weyerhaeuser. 2002. Lime Sludge Kiln Operation.

Gullichsen Johan, Fogelholm Carl-Johan. Fapet Oy. 2000. Chemical Pulping 6B. ISBN 952-5216-06-3

Isaksson Juhani. Metso Power. 2007. Meesauunikaasutin. Soodakattilapäivä 18.10.2007.

Isaksson Juhani. Metso Power. 2008. Biomass Gasification for Lime Kiln. STFI 24.09.2008

Ivansson Christofer, Svedin Kristoffer. 2007. Study of the lime reburning process with biofuels. International Chemical Recovery Conference.

Kiiskilä Erkki, Esko Mattelmäki. 1992. Ahlstrom recovery processes.

The Lignoboost demonstration plant. [Lignoboostin internetsivut] Published 26.02.2008.
Viitattu 21.11.2008. Saatavissa:
http://www.lignoboost.com/templates/Lignoboost/LBPage____2066.aspx

Nexterra's Gasification Technology. [Nexterran internetsivut] Viitattu: 17.11.2008.
Saatavissa: <http://www.nexterra.ca/technology/index.cfm>

Ohlström M., Savolainen, I VTT Prosessit. 2005. Teknologiaa kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. Taustatyö kansallisen ilmasto strategian päivitystä varten. KTM Julkaisuja 1/2005 Energiaosasto.

Richardson B., Watkinson A.P., Barr P.V. 1990. Combustion of lignin in a pilot lime kiln. December 1990 Tappi Journal.

Sagitov Marat. 2008. Status of biomass gasification. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology, Teknillinen tiedekunta.

Toropainen Teemu. 2003. Meesauunin polttovyöhykkeen lämmönsiirron ja palamisen mallinnus. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto.

Vakkilainen Esa, Pöyry Forest Industry. 2008 Alternative fuels for Lime kilns.

Vakkilainen Esa. Keskustelu 26.11.2008. Professori: Uusiutuva energia, Lappeenrannan Teknillinen yliopisto. Lappeenranta.

Voimalaitos polttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. [Tilastokeskuksen internetsivut]
Updated: 16.09.2008. Viitattu 15.11.2008. Saatavissa:
http://www.tilastokeskus.fi/til/ehkh/2008/02/ehkh_2008_02_2008-09-18_kuv_009.html

Wadsborn Rickard, Berglin Niklas, Richards Tobias. Varmeforsk. 2007. Konverterin av mesaugnar från olje- till biobränsleeldning: Drifterfaarenheeter och modellering. Stockholm. ISSN 1653-1248

EUA Daily closing prices. [Nordpoolin internetsivut] Updated: 01.12.2008. Viitattu: 01.12.2008. Saatavissa: <http://www.nordpool.com/system/FinanceMarket/emissions>