



Jani Harju

**SELVITYS PUUKAASUN SOVELTUVUUDESTA LITIUMIN  
JALOSTUSLAITOKSEN POLTTOAINEEKSI**

SELVITYS PUUKAASUN SOVELTUVUUDESTA LITIUMIN  
JALOSTUSPROSESSIN POLTTOAINEEKSI

Jani Harju  
Opinnäytetyö  
3.5.2011  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
<b>Kone- ja tuotantotekniikka</b>	<b>Insinöörityö</b>	<b>39</b>	<b>+</b>	<b>1</b>
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
<b>Tuotantotalous</b>	<b>2011</b>			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
<b>Keliber Oy</b>	<b>Jani Harju</b>			
Työn nimi				
<b>Selvitys puukaasun soveltuvuudesta litiumin jalostusprosessin polttoaineeksi</b>				
Avainsanat				
<b>Puukaasu, kaasuttaminen, bioenergia, litium</b>				

Keliber Oy on aloittamassa litiumin rikastustoimintaa Kaustisella. Litiumin jalostuslaitoksen polttoaineeksi on alustavasti kaavailtu biokaasua. Koska lähi-alueelle on suunnitteilla muitakin biokaasulaitoksia, on herännyt huoli kaasun valmistamiseen tarvittavan biomassan riittävydestä, ja siksi biokaasulle on kartoitettu vaihtoehtoisia polttoaineita. Tässä työssä tutkitaan puukaasun soveltuvuutta jalostuslaitoksen polttoaineeksi.

Selvitystyö tehtiin yhteistyössä Keliber Oy:n sekä mahdollisen laitetoimittajan GasEK Oy:n kanssa. Työssä määritettiin jalostuslaitoksen ja ympäristöluvan asettamat rajoitteet polttoaineelle ja tutkittiin puukaasun mahdollisuuksia vastata näihin rajoitteisiin. Työssä selvitettiin myös mahdollisuus hyödyntää savukaasujen sisältämää hiilidioksidia jalostusprosessin hiilidioksiditarpeeseen. Lopuksi verrattiin arvioitua puukaasun hintaa muiden kohteeseen saatavilla olevien polttoaineiden hintoihin.

Työssä havaittiin puukaasun voivan vastata jalostuslaitoksen vaatimuksiin. Kaasun puhtaus on riittävää poltinkäytölle, ja raaka-aineen kulutus nostaa puukaasun hinnan kilpailemaan edullisimman kaasumaisen polttoaineen paikasta biokaasun kanssa. Hiilidioksidin määrä savukaasuissa laskettiin olevan riittävä prosessin tarpeisiin. Koska jalostuslaitos tarvitsee keskeytymättömän polttoaineen toimituksen, tulee valitun polttoainemuodon olla ehdottoman toimintavarmaa. Suurin riski nähtiinkin puukaasun valmistukseen tarvittavan energiapuun saatavuuden mahdollisessa rajoittumisessa tulevaisuudessa.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
1.1 Keliber Oy .....	6
1.2 Työn tavoite.....	6
2 PUUKAASU .....	7
2.1 Raaka-aine.....	7
2.2 Palaminen .....	8
2.2.1 Kosteuden poistuminen.....	8
2.2.2 Pyrolyysi.....	8
2.2.3 Jäännöshiilen palaminen.....	9
2.3 Kaasutus .....	9
2.4 Kaasun koostumus.....	11
2.5 Kaasun polttaminen.....	11
3 KAASUTINTYYPIT .....	14
3.1 Kiinteäkerroskaasutin .....	14
3.1.1 Vastavirtakaasutin.....	14
3.1.2 Myötävirtakaasutin .....	16
3.2 Leijukerroskaasutin .....	17
4 KAASUTINLAITTEIDEN VALMISTAJIA .....	19
4.1 GasEK Oy .....	19
4.2 CCM-Power Oy .....	19
4.3 Foster Wheeler Energia Oy.....	20
4.4 Agnion Energy Inc.....	21
5 LITIUMIN JALOSTUSLAITOKSEN VAATIMUKSET .....	22
5.1 Lämmöntarve .....	22
5.2 Hiilidioksidi .....	24
5.3 Ympäristölupa .....	24
6 LASKELMAT .....	25
6.1 Puukaasulaitos.....	25
6.2 Sähköntuotanto .....	28
6.3 Hiilidioksidi .....	29
6.4 Kannattavuusarvio.....	32

7 YHTEENVETO .....	36
LÄHTEET.....	37
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Keliber Oy

Keliber Oy on osakeyhtiö, jonka suurimpana omistajana on norjalainen kaivosyhtiö Nordic Mining ASA. Keliber Oy suunnittelee aloittavansa kaivostoinnin spodumeeniesiintymiltään Kokkolan Ullavan sekä Kaustisen alueilta. Valtauksilta kaivettu spodumeenimineraali jalostetaan litiumkarbonaatiksi Kaustiselle rakennettavassa jalostuslaitoksessa. Tuotantolaitos on suunniteltu yhteistyössä Outotec Oyj:n kanssa. (1.)

Litium on erittäin merkittävä aine akkuteollisuudessa, ja sen merkitys tulevaisuudessa kasvaa edelleen. Rahoituksen järjestyttyä kaivos tulisi olemaan Euroopan suurin litiumkaivos ja se tuottaisi merkittävän osan koko maailman litiumin tarpeesta. (2.)

## 1.2 Työn tavoite

Yhtiön alkuperäisen suunnitelman mukaan jalostuksen tarvitsema energia tultaisiin tuottamaan laitoksen viereen rakennettavalla biokaasulaitoksella, jota tuettaisiin termisellä kaasutuslaitoksella. Koska prosessi tarvitsee kaasumaisen polttoaineen ja biokaasun sisältämä hiilidioksidi voitaisiin hyödyntää jalostuksen myöhemmässä vaiheessa, biokaasu olisi ensisijainen vaihtoehto energian saannille. Kuitenkin lähialueelle on suunnitteilla muitakin biokaasulaitoksia, ja näin ollen on herännyt huoli kaasun valmistamiseen tarvittavan biomassan riittävydestä. (2.)

Tehtävänä työssä on selvittää puukaasun soveltuvuus energiavaihtoehtona litiumin jalostusprosessille. Lisäksi, mikäli kaasu soveltuu tarkoitukseen, tulisi tutkia eri kaasutinlaitevalmistajia sekä määrittää kaasun hinta. (Liite 1.)

## 2 PUUKAASU

Puukaasuksi kutsutaan puusta vähähappisella palamisella aikaan saatua polttokelpoisesta kaasua. Kaasutin muuttaa kiinteän polttoaineen kaasumaiseen muotoon. (3, s.179.) Kaasua voidaan polttaa sellaisenaan, mutta kaasu voidaan käyttää myös polttomootoreiden ja mikroturbiinien polttoaineena. Käyttökohteesta riippuen kaasua voidaan kuitenkin joutua puhdistamaan. (4.)

### 2.1 Raaka-aine

Kaasutettavaksi aineeksi kelpaavat miltei kaikki puupohjaiset aineet, puu eri muodoissaan, mustalipeä ja turve. Myös kivihiiltä ja polttoöljyä voidaan kaasuttaa. (5, 186.) Tässä työssä keskitytään puun kaasuttamiseen. Kaasuttamiseen käytettävä puu voi olla joko pellettinä, pilkkeenä tai useimmiten hakkeena.

Tuoreen puun kosteus on yleensä välillä 40...60 % (6). Puun kuiva-aineiden massasta on hiiltä 50,4 %, vetyä 6,2 %, happea 42,5 % ja typpeä 0,5 %. Lisäksi kuiva-aineissa on tuhkaa alle 1 %. (5, s. 38.)

Hake eli metsähake on yleisnimitys koneellisesti pienitylle puulle, jonka palakoko on yleisesti 0,5...3,0 cm. Palahakkeen palakoko on tätä suurempi, 5,0...10 cm. (7.) Hake on sopivaa kaasutukseen pienen palakoon tuoman nopean kuivumisen ja helpon käsiteltävyyden kannalta.

Metsähake jaotellaan kolmeen haketyyppiin, hakkuutähde-, kokopuu- ja rankahakkeeksi. Nimensä mukaisesti kokopuuhake valmistetaan karsimattomista puun rungoista ja oksista. Hakkuutähdehakkeeseen käytetään oksia ja latvoja, joita on jäänyt jäljelle puunkorjuusta. Rankahake on puun karsitusta rungosta valmistettua haketta. Yleensä rankahakkeen puuaine on korjuutöissä käyttämättä jäänyttä pienpuuta. (7.)

## **2.2 Palaminen**

Aineen palamisprosessi etenee aina tietyn tapahtumaketjun mukaan. Tämä ketjureaktio on eritelty seuraavien otsikoiden alle tarkastellen asiaa arinapolton yhteydessä. Pääreaktiot ovat kuitenkin kaikissa polttomenetelmissä samat: kosteuden poistuminen, pyrolyysi ja jäännöshiilen palaminen.

### **2.2.1 Kosteuden poistuminen**

Palamisreaktion ensimmäinen vaihe on kosteuden poistuminen. Kuivuminen alkaa 100...105 °C lämpötilassa (8, s. 42). Polttoaineen kuivaamiseen kuluva energia on suoraan pois tuotettavasta energiasta. Kosteuden poistamiseen kuluva energia voidaan säästää kuivaamalla polttoainetta etukäteen, lämmittämällä palamisilmaa tai kasvattamalla haihtumispinta-alaa palakokoa pienentämällä. Myös tulipesägeometrialla voidaan vaikuttaa kuivumisnopeuteen. (5, s. 467.)

Biopolttoaineilla kiinteän polttoaineen kosteus on jopa 30...60 % kokonaisuudesta. Suurin osa arinapinnasta ja tulipesätilasta on siis varattava kosteuden kuivattamiseen. Kuivuminen laskee tulipesän lämpötilaa, eli kun kuivuminen on nopeaa, myös palamistulos on parempi. (5, s. 467.)

Kosteus kasvattaa myös huomattavasti savukaasujen määrää. Kaasuttimen tapauksessa kaasuttimesta kosteus kasvattaa poistuvan kaasuseoksen määrää. Poistuvan seoksen sisältämä kosteus heikentää huomattavasti seoksen lämpöarvoa, mikä vaikuttaa suoraan prosessin hyötysuhteeseen ja kannattavuuteen. (5, s. 469.)

### **2.2.2 Pyrolyysi**

Polttoaineen kuivuttua jäljelle jää aine, joka koostuu haihtuvista sekä haihtumattomista aineista. Pyrolyysivaiheessa haihtuvat aineet kaasuuntuvat inerteiksi eli kemiallisesti reagoimattomiksi kaasuiksi sekä palamiskelpoisiksi



kaasuiksi. Lisäksi reaktiossa syntyy nestemäisiä terva-aineita, jotka palavat hyvin liekissä, mikäli happea on tarjolla riittävästi. (5, s. 468.) Pyrolyysi alkaa osittain jo kosteuden haihtumisen yhteydessä, mutta varsinainen hajoaminen puulla alkaa 200 °C:n lämpötilassa (8, s. 43).

Pyrolyysivaiheen alussa reaktio on endoterminen eli lämpöä sitova. Lämpötilan kasvaessa reaktio jatkuu eksotermisenä eli lämpöä vapauttavana reaktiona. Haihtuvien aineiden määrällä on suuri merkitys pyrolyysivaiheessa. Tämä vaikuttaa suuresti laitteistomitoitukseen, sillä haihtuvia aineita biopolttoaineilla on kuiva-aineen massasta noin 70 %, kun esimerkiksi voimalaitoshiilellä vain 30 %. Polttoaineen koostumus vaikuttaa luonnollisesti myös laitteiston suunnitteluun. (5, s. 468.) Pyrolyysi on polttoaineen kaasutuksen kannalta keskeisin reaktiovaihe. Kaasutusta käsitellään tarkemmin omassa luvussaan.

Vapaassa palamisessa puusta kaasuuntuneet aineet syttyvät hetkellisesti 180 °C:n lämpötilassa ja lämpötilan ylittäessä 225 °C palaminen jatkuu itsenäisesti. Palaminen loppuu kun polttoaine tai palamiseen tarvittava happi loppuvat tai lämpötila laskee alle syttymislämpötilan. (8, s. 43.)

### **2.2.3 Jäännöshiilen palaminen**

Pyrolyysivaiheen jälkeen kaikki kaasuuntuvat aineet ovat poistuneet polttoaineesta, jäljellä on enää puhdas hiili ja tuhka. Kun lämpöä ja happea on riittävästi saatavilla, hiili palaa hitaasti ja puhtaasti pinnaltaan ilman liekkiä (5, s. 468). Kaasutuksessa jäännöshiilen ei anneta palaa, vaan jäännöshiiltä kaasutetaan edelleen (3, s. 179).

## **2.3 Kaasutus**

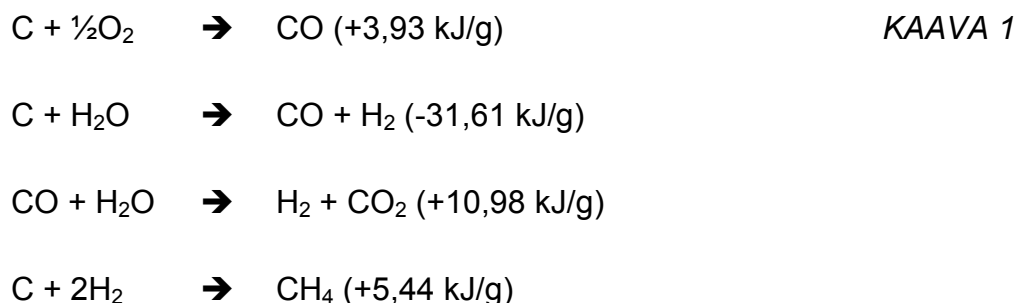
Puhtaan palamisen ylläpitäminen edellyttää suotuisia olosuhteita, jolloin happea on riittävästi ja lämpötila on tarpeeksi korkea. Näiden lisäksi tarvitaan palava aine. Jos jokin edellä mainituista puuttuu, palaminen loppuu kokonaan (5, s. 186). Kuitenkin ylläpitämällä alistokiömetrisiä, eli vähähappisia

olosuhteita, polttoaine saadaan reagoimaan ilman näkyvää palamista (3, s.180).

Kaasutuksen kannalta oleellista on taata reaktiolle riittävä lämpötila sekä tarvittava määrä kaasutettavaa polttoainetta. Näiden lisäksi vaaditaan alistokiömetriset olosuhteet. Alistokiömetrisissä olosuhteissa palamiseen tarvittavan hapen määrää rajoitetaan. (3, s.180.)

Hapettomassa tilassa polttoaineen haihtuvat aineet kaasuuntuvat pelkästään lämpötilan vaikutuksesta. Vapaassa palamistilanteessa kaasut palaisivat liekillä ja jäljelle jäänyt kiinteä kaasuuntumaton aine, hiili, ryhtyisi palamaan hitaasti pinnaltaan. Jäännöshiiltä voidaan kuitenkin edelleen kaasuttaa alistokiömetrisissä olosuhteissa kun jäännöshiili saadaan reagoimaan kaasutuskaasujen kanssa. (5, s.179.)

Kaavassa 1 (5, s. 179) esitetyt reaktiot tapahtuvat alistokiömetrisissä olosuhteissa kaasuttimessa. Reaktiossa vapautuva tai sitoutuva energia massaa kohti on ilmoitettu suluissa. Kemiallisen energian muuntuminen termiseksi energiaksi nostaa kaasun lämpötilaa, josta on hyötyä kaasua poltettaessa. Jos kaasun siirtomatka on pitkä, kaasun jäähtyminen ja näin energia menetetään, ellei sitä oteta talteen kaasutuksen jälkeen. Osa termisestä energiasta poistuu joka tapauksessa lämpöhäviönä ja näin laskee kaasuttimen hyötysuhdetta.



Puun kaasuttaminen on yleensä osittaiskaasutusta eli polttoaineen hiiltä ei kaasuteta loppuun asti, vaan se otetaan kaasuttimesta jäännöshiilenä. Jään-

nöshiiltä voidaan polttaa erillisessä hiilikattilassa. Jäännöshiilen lisäksi kaasuuntumatta jää tuhka, joka poistetaan yhdessä jäännöshiilen kanssa kaasutimesta. (3, s. 180.)

## 2.4 Kaasun koostumus

Taulukon 1 mukaan reaktiosta syntyvä puukaasu on enimmäkseen typpeä (N), hiilimonoksidia (CO) ja vetyä (H). Näiden lisäksi kaasutuksessa jää jäljelle hieman reagoimatonta jäännöshiiltä. Kaasutusprosessista riippuen kaasun sekaan jää myös enemmän tai vähemmän tervaa. Terva vaikuttaa kaasun lämpöarvoon positiivisesti, mutta sen aiheuttama lika ei ole toivottavaa laitteistoon. (3, s. 180.)

*TAULUKKO 1. Kaasutuksessa syntyvien kaasujen koostumuksia (til.-%) (5, s.180)*

Polttoaine	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Lämpöarvo MJ/Nm <sup>3</sup>
Puu (ilmakaasutus)	1 - 6	8 - 20	10 - 20	9 - 15	42 - 56	0 - 27	3,3 - 5,1

Puukaasun tarkka koostumus riippuu useista tekijöistä. Kaasun koostumukseen vaikuttavat polttoaineen ja polttoaineen kosteuden lisäksi kaasutintyyppi ja kaasuttimen säädöt. (9.) Tästä syystä Keliber Oy:lle tehdyssä raportissa laskut on laskettu GasEK Oy:n ilmoittamilla kaasun ominaisuuksilla. Selvityksen julkisessa versiossa laskuissa on käytetty taulukon 1 yleisiä arvoja.

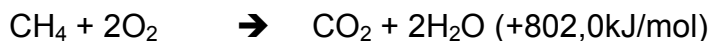
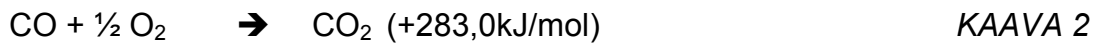
## 2.5 Kaasun polttaminen

Puukaasun hyötylämpöarvo on raaka-aineesta riippuen yleisesti välillä 3,5...5,5 MJ/nm<sup>3</sup> kohden. Verrattuna maakaasun 35,6 MJ/nm<sup>3</sup> tai biokaasun 14,4...21,6 MJ/nm<sup>3</sup> lämpöarvoihin voidaan puukaasun lämpöarvoa pitää pie-

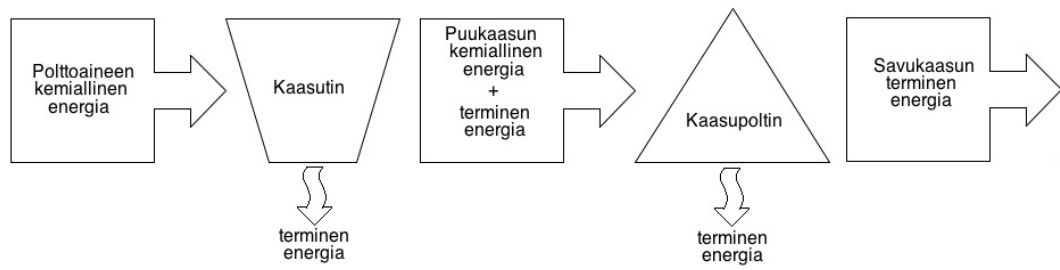
nenä. (6.) Pienlämpöarvoinen kaasu poikkeaa palamisteknisten ominaisuuksien osalta huomattavasti esimerkiksi maakaasusta. Vaikka palamisilman tarve on selvästi pienempi, kuitenkin syntyvän savukaasun määrä on selkeästi suurempi kuin maakaasulla tai polttoöljyllä energiayksikköä kohden. Myös kaasun teoreettinen palamislämpötila riippuu kaasun lämpöarvosta ja on siis laskettava erikseen jokaiselle kaasulle. (10, s. 15.)

Kaasun palamisnopeus on otettava huomioon poltinta suunniteltaessa ja se vaikuttaa myös liekin lämmönsiirto-ominaisuuksiin. Puukaasulla kaasun palamisnopeus on lähellä maakaasun palamisnopeutta puukaasun korkean vetytitoisuuden vuoksi. Puukaasun palamisnopeuteen vaikuttavat myös kaasun epäpuhtaudet ja epätasaisuus, jotka voivat aiheuttaa merkittäviä heittoja palamisnopeuteen. (10, s. 16.)

Puukaasun sisältämät typpi (N<sub>2</sub>) ja hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) eivät reagoi kaasua poltettaessa, vaan siirtyvät sellaisenaan savukaasuihin. Kaasun muut aineet, hiilimonoksidi, vety ja metaani reagoivat palotilanteessa hapen kanssa muuttuen hiilidioksidiksi ja vesihöydyksi kaavan 2 reaktioyhtälön mukaan. (4.)



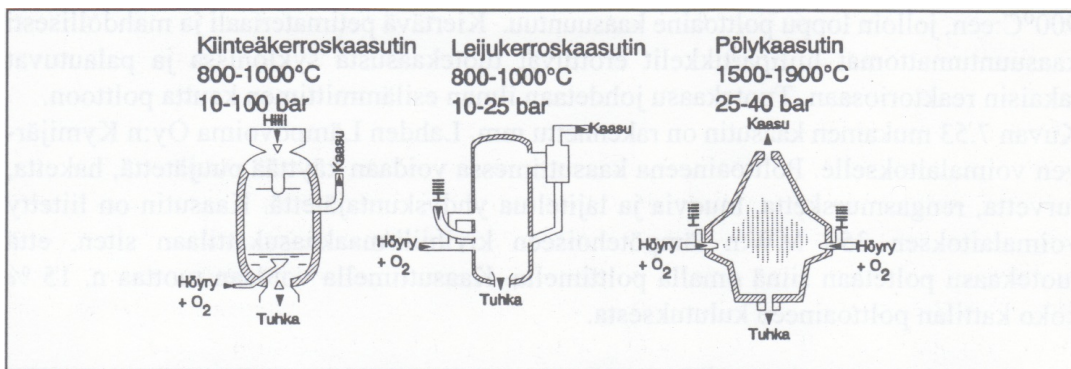
Koska puukaasua poltettaessa syntyy paljon savukaasuja, niiden mukana poistuva termien energia laskee polton hyötysuhdetta (kuva 1). Hyötysuhdetta voidaan nostaa ottamalla savukaasujen lämpö talteen, esimerkiksi prosessin muihin lämmön tarpeisiin tai paloilmän lämmittämiseen.



*KUVA 1. Energiavirtakaavio*

## 3 KAASUTINTYYPI

Kaasutusreaktorit on jaettu kolmeen ryhmään toimintaperiaatteensa mukaisesti (kuva 2): kiinteäkerros-, leijukerros- ja pölykaasuttimiin (5, s.181). Näistä kaksi ensimmäistä ovat mahdollisia vaihtoehtoja puun kaasuttamiseen. Pölykaasutin on tarkoitettu hienojakoisen hiilipölyn kaasuttamiseen, eikä sitä siksi käsitellä tässä enempää.



KUVA 2. Kaasutinreaktorityypit ja niiden toiminta-arvot paineistetussa kaasutuksessa (5, s. 181)

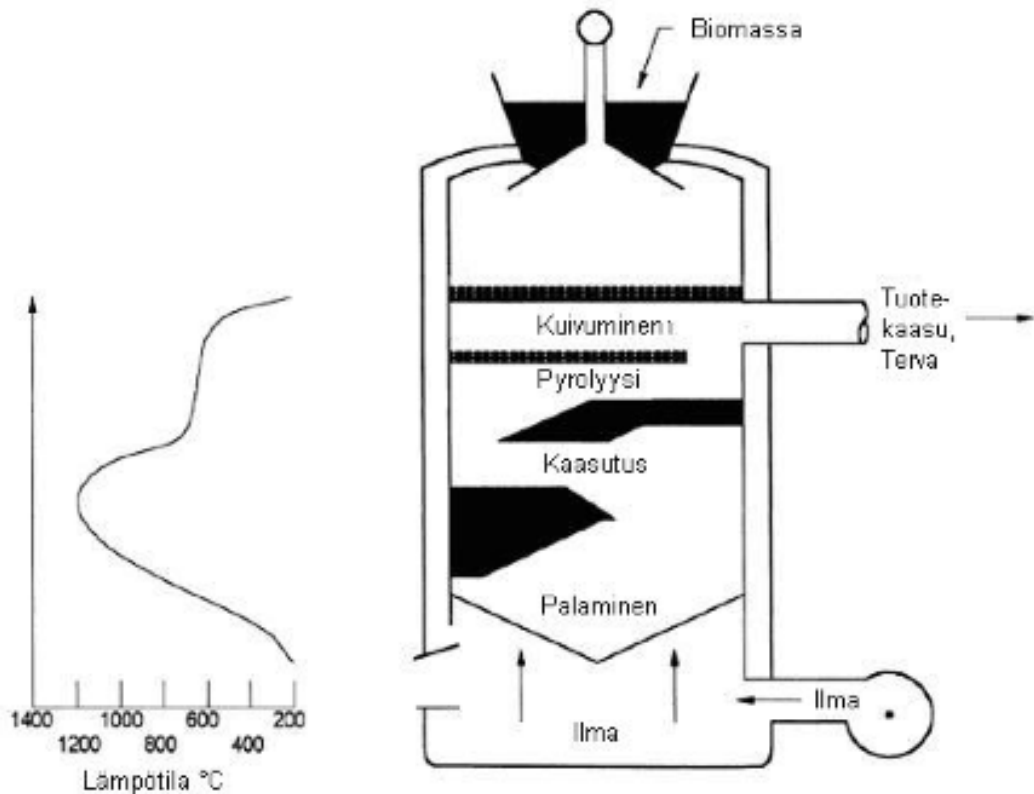
### 3.1 Kiinteäkerroskaasutin

Kiinteäkerroskaasuttimet jaetaan kaasutustekniikkansa mukaan vasta- ja myötävirtakaasuttimiin. Kaasuttimien rakenteille on yhteistä kiinteä arina, jonka päällä raaka-ainepatja on. Lisäksi kiinteäkerroskaasuttimet ovat leijukerroskaasuttimiin verrattuna yksinkertaisempia ja pienitehoisempia. Kiinteäkerroskaasutus on käytännöllisin tapa pienilämpöarvoisen kaasun tuottamiseen biomassaa kaasuttamalla. (11, s. 11.)

#### 3.1.1 Vastavirtakaasutin

Vastavirtakaasuttimessa polttoainevirta on vastakkaisuuntainen kaasuvirran kanssa. Kuvan 3 toimintamallin mukaisesti polttoaine syötetään kaasutti-

meen ylhäältä, jolloin se kuivuu tuotekaasun vaikutuksesta noin 200...300 °C:n lämpötilassa. Haihtunut kosteus siirtyy tuotekaasuun, jonka jälkeen poltto-aine kulkee pyrolyysivyöhykkeen läpi kokoajan kaasuuntuen. Haihtuvien aineiden kaasuuntuttua pyrolyysivyöhykkeessä, jäljelle jäänyt hiili kaasuuntuu osittain. Kaasuuntumaton hiili poistuu kaasuttimesta jäännöshiilenä. (11. s. 10.)



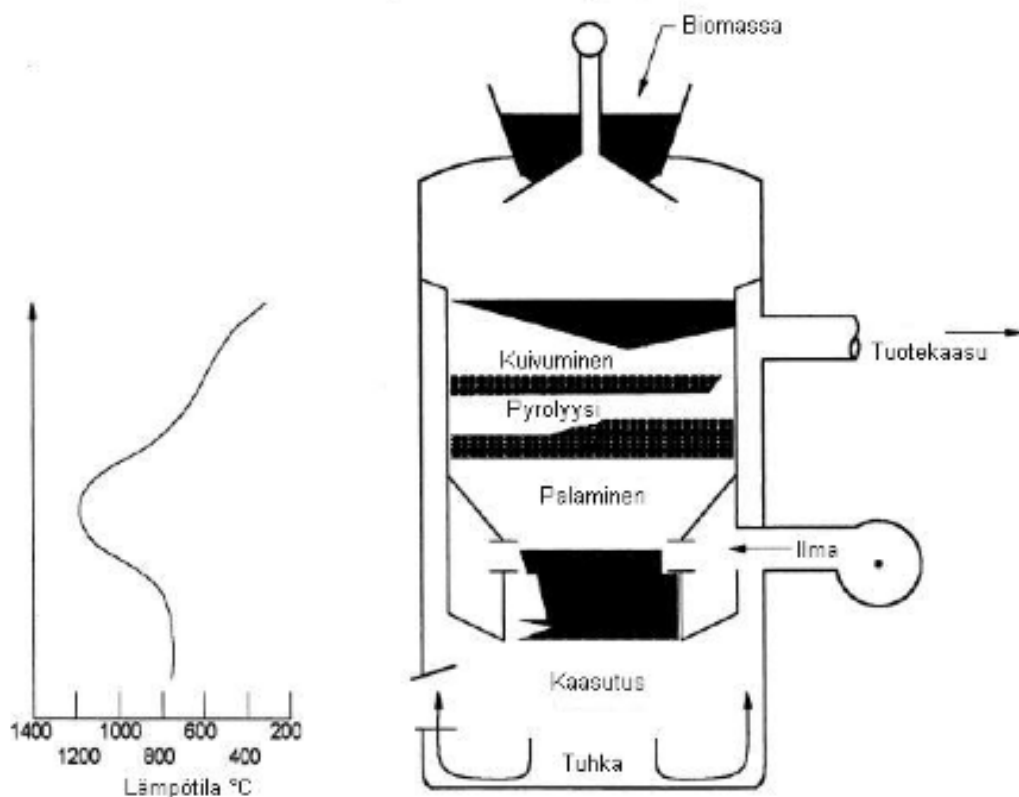
*KUVA 3. Vastavirtakaasuttimen toimintamalli ja lämpötilajakauma (11, s.11)*

Ilma syötetään kaasuttimen alapuolelta, jolloin kaasuuntumisreaktiot alkavat välittömästi raaka-ainepatjan alapinnasta. Syntynyt tuotekaasuvirta kulkee tuoreen raaka-aineen läpi luovuttaen samalla lämpöä kaasutukseen. Tästä syystä syntyneeseen tuotekaasuun jää korkea tervapitoisuus. Tuotekaasun matalasta poistumislämpötilasta johtuen kaasun epäpuhtaudet kondensoituvat helposti. (11, s.10.) Laitteistoa tukkivaa ja sotkevaa tervaa sisältävä kaasu asettaa rajoitteita putkistoille ja polttolaitteille, mutta toisaalta korkea tervapitoisuus nostaa kaasun lämpöarvoa.

Vastavirtakaasutin sietää hyvin epäpuhtauksia ja pientä palakokoa lisäksi sillä voidaan kaasuttaa jopa 60% kosteudeltaan olevaa raaka-ainetta. Laitteen koosta riippuen, vastavirtakaasuttimella saadaan tuotettua 1 - 10 MW:n terminen teho. (11, s.10.)

### 3.1.2 Myötävirtakaasutin

Myötävirtakaasuttimessa polttoainevirta on samansuuntainen kaasuvirran kanssa. Ylhäältä syötetty polttoaine kuivuu kaasuttimen yläosassa ennen laskeutumistaan pyrolyysi- ja palamisvyöhykkeiden läpi jatkaen kaasuuntumistaan. Pyrolyysissä syntyvät kaasut sekä terva kulkevat yli 1 000 °C:n palamisvyöhykkeen läpi, jossa terva palaa lähes kokonaan. Kaasut poistuvat noin 900 - 1 000 °C:n lämpötilassa (kuva 4), joten kaasuttimen kokonaishyötysuhde jää melko alhaiseksi. (11, s.11.)



KUVA 4. Myötävirtakaasuttimen toimintamalli ja lämpötilajakauma (11, s.12)

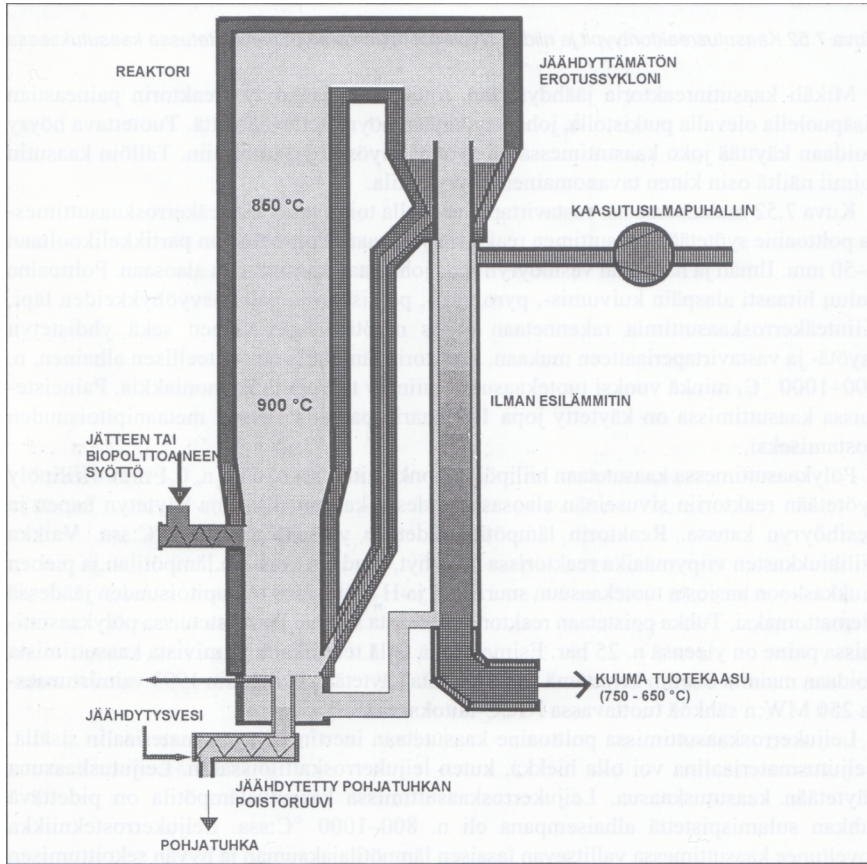


Myötävirtakaasutinsovellukset jäävät termiseltä teholtaan alle 1 MW:n luokkaan. Kaasun puhtauden ja järjestelmän yksinkertaisuuden vuoksi myötävirtakaasutin on kaikkein käytetyin kaasutintyyppi (11, s.11). Myötävirtakaasuttimet ovat yleisesti käytössä niin sanotuissa häkäpönttöautoissa ja pienissä CHP-energiantuontolaitoksissa.

### **3.2 Leijukerroskaasutin**

Leijukerroskaasuttimessa polttoainetta leijutetaan reagoimattoman materiaalin kanssa, aivan kuten leijukerroskattilassakin. Inerti leijuva materiaali on yleensä hiekkaa ja leijuttavana kaasuna käytetään syntyvän tuotekaasun ja paineilman seosta. Leijukaasuttimessa tapahtuva kaasutus soveltuu huonolaatuisille ja epätasaisille polttoaineille, sillä kaasutettava aine sekoittuu tehokkaasti leijutettaessa. Kaasuttimen lämpötila tulee pitää tuhkan sulamispistettä alhaisempana eli noin 800 - 1 000 °C:ssa. Leijukerroskaasuttimesta voidaan saada aikaan 20 - 500 MW:n terminen teho. (3, s.181).

Leijukerroskaasuttimen vaihtoehto on kiertopetikaasutin (kuva 5), jossa kiertopetikattilan tavoin leijupetinä oleva hiekka poistuu kaasun mukana, mutta kiertää takaisin leijutukseen jäähtyneenä. (3, s.182).



KUVA 5. Kiertopetikaasuttimen periaatekuva (3, s. 182)

## 4 KAASUTINLAITTEIDEN VALMISTAJIA

### 4.1 GasEK Oy

Reisjärveläinen GasEK kehittää ja valmistaa myötävirtaperiaatteella toimivia puun kaasuttimia. Kaasuttimien ensisijainen sovelluskohde ovat pienimuotoiseen yhdistetyn energian tuotantoon tarkoitettut CHP-voimalakontit. Kontti tuottaa sähköä generaattorilla, jota pyörittää puukaasulla käyvä moottori. Moottorilta tulevien pakokaasujen lämpö otetaan talteen lämmönsiirtimellä, jolloin se voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämpönä. Voimala tuottaa sähkötehoa 20...50 kW ja lämpötehoa 60...100 kW. (9.)

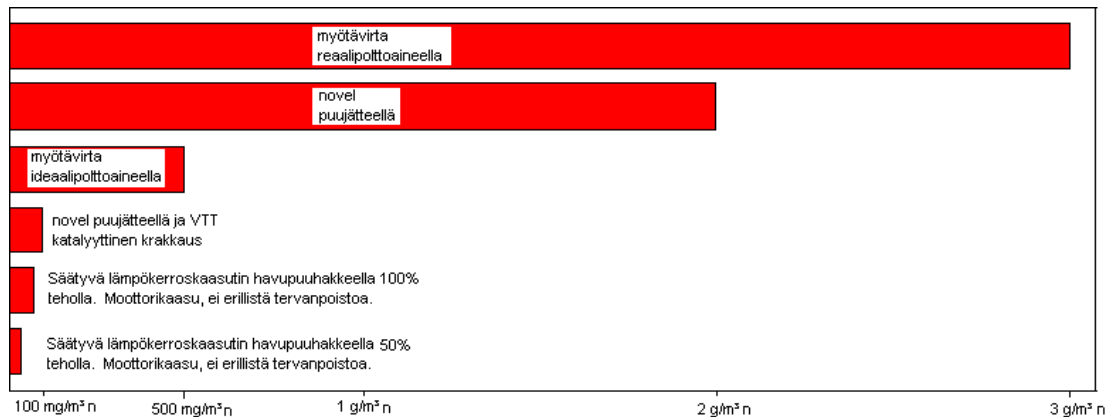
Kaasuttimen polttoaineena voidaan käyttää kaikkia puulajeja haketettuna. Kokopuuhakkeen kosteus tulee olla alle 45 %. Kaasun tervapitoisuus on pieni, ja kaasun puhtautta voidaan parantaa vesipesemällä pienhiukkaset kaasusta ennen polttoa. Yhtiön mittausten mukaan poltinkäytössä savukaasuisissa ei ole nokea eikä häkää. (9.)

GasEK:n ilmoittamat puukaasun koostumus ja lämpöarvo ovat salassa pidettäviä, eikä niitä ole selvityksen julkisessa versiossa. Keliber Oy:lle tehdyssä selvityksessä laskuissa on käytetty GasEK:n ilmoittamia arvoja. Julkisen version laskut on laskettu yleisillä taulukosta 1 löytyvillä arvoilla.

### 4.2 CCM-Power Oy

Oulunsalolainen CCM-Power Oy on kehittänyt kaasutinsovelluksen, joka yhdistää myötä- ja vastavirtakaasuttimien ominaisuuksia. Kaasutinta on kehitetty erityisesti lämpötilan hallinnan kannalta niin, että menetelmä kompensoi polttoaineen kosteutta, palakokoa ja kaasutehoa pitäen prosessin lämpötilan vakiona. Kuvan 7 mukaan menetelmällä valmistetussa kaasussa on hyvin vähän tervaa ja siksi sitä voidaan käyttää puhdistamatta esimerkiksi moottoreissa. Yhtiön tutkimuksien mukaan kaasutintyyppillä valmistettu kuivattu kaa-

su sisältää vetyä 15 %, hiilimonoksidia 21 % ja metaania 2 %. Kaasutin on toistaiseksi vasta koekäyttöasteella. (12.)



KUVA 7. Kaasun tervapitoisuus (12)

Kaasuttimien lisäksi CCM-Power Oy kehittää ja valmistaa EcoMarvel kuivureita hakkeen esikäsitteilyyn. Menetelmä perustuu kondensoivaan vastavirta-kuivaukseen, joka poistaa kosteuden nestemäisenä prosessista eikä energiaa kulu kosteuden höyryttämiseen.

Polttoaineen esikäsitteily laskee hakkuukostean hakkeen enintään 60 %:n kosteudesta 45 %:iin. Kuivauksen jälkeen polttoaine voidaan syöttää suoraan kaasuttimeen noin 100 celsiusasteisena, mikä edesauttaa kosteuden haihtumista kaasuttimessa. (12.)

### 4.3 Foster Wheeler Energia Oy

Foster Wheeler Energia Oy kehittää ja rakentaa erilaisia energiaratkaisuja teollisuuteen ja voimalaitoksille. Yhtiön tuotteiden joukossa on myös kierto-  
petitekniikalla toimiva kaasuttimia. Biomassan, hiilen, turpeen, kierrätyspuun ja muiden kaasutettavien kierrätysmateriaalien kuten auton renkaiden kaa-  
suttamiseen tarkoitettuja laitoksia yritys on toimittanut kokoluokissa 3...50 MWth. Yhtiön toimittamat sovellukset ovat olleet energialaitoksia yhdistettyyn sähkö- ja lämmöntuotantoon. (13.)

#### **4.4 Agnion Energy Inc.**

Saksalainen Agnion on kehittänyt oman Heatpipe-Reforme -tekniikan pellettien ja hakkeen kaasuttamiseen. Tekniikka on uudenlainen, eikä se ole minikään yllä esitetyn kaasutintyyppin sovellus. Lämpöputkitekniikalla tuotetussa kaasussa on suuri vetyttöisyys, 30...40 %. Vedyn lisäksi kaasussa on hiili-monoksidia 20...30 %, hiilidioksidia 10...20 %, metaania 5 % ja 20...30 % vettä. Menetelmällä voidaan tuottaa enintään 1 MW lämpöteho. Hieman yli kymmenen vuotta kehitetty innovatiivinen tekniikka on saanut tunnustusta kotimaassaan. Vielä menetelmä ei kuitenkaan ole kaupallisessa tuotannossa. (14.)

Riippuen menetelmän hinnasta uusi teknologia on hyvinkin mielenkiintoinen. Kaasun suuri vetyttöisyys viittaisi kaasun hyvään lämpöarvoon ja näin myös laitoksen hyvään hyötysuhteeseen.

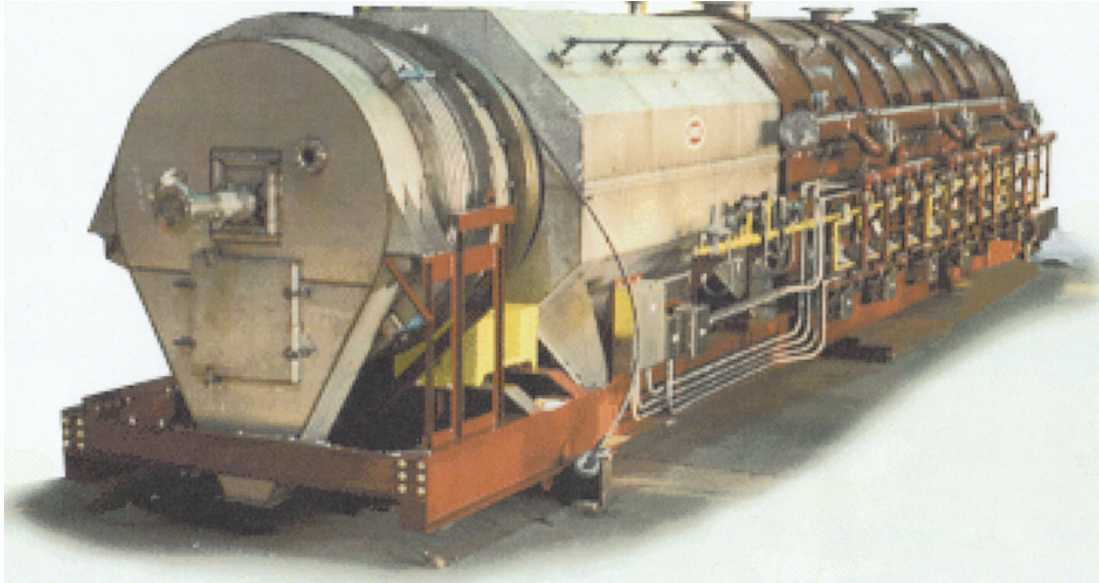
## 5 LITIUMIN JALOSTUSLAITOKSEN VAATIMUKSET

Kaustiselle rakennettava Keliber Oy:n litiumin jalostuslaitos rakennetaan noin viiden kilometrin päähän Kaustisen keskustasta. Matkaa lähimpään asutukseen on pari kilometriä. Energiantuotantolaitos rakennetaan vastaamaan jalostuslaitoksen tarpeita, eikä sille siis ole tarvetta ilman litiumin tuotantoa. (2.) Tästä syystä valitun energiantuotantomuodon tulee vastata mahdollisimman monipuolisesti litiumin rikastusprosessin tarpeisiin. Ympäri vuorokautisen kemiallisen prosessin ylläpitäminen vaatii käytettävältä polttoaineelta myös ehdotonta toimitusvarmuutta. Laitos on tuotannossa 8 160 tuntia vuodessa (2).

### 5.1 Lämmöntarve

Litiumin jalostuslaitos tarvitsee prosessinsa konversiouuneilleen kaasumaisen polttoaineen. Kuvan 8 kaltaisia pyöriviä epäsuorasti lämmitettäviä rumpu-uuneja on kaksi peräkkäin kahdessa rinnakkaisessa linjassa.

Ensimmäisessä uunissa rikasteesta poistetaan kosteus nostamalla lämpötila noin 500 °C:seen kolmella 400 kW:n kaasupolttimella. Jälkimmäisen uunin alkupäässä rikastetta kuumennetaan kahdella 300 kW:n kaasupolttimella ja uunin loppupäässä kuumennusta jatketaan sähkövastuksilla, jotta lämpötila saadaan säädettyä mahdollisimman tarkasti noin 1 050 °C:seen. Uunin loppupäässä on kaksi 100 kW:n sähkövastusta. Rikasteen viivytyä kuumassa uunissa riittävän kauan se jäähdytetään jäähdyttimessä noin 150 °C:seen. (2.)



*KUVA 8. Rumpu-uuni (15)*

Prosessia lämmitettäessä kaasun tulisi voida antaa prosessille mahdollisimman tarkasti noin 1 050 °C:n lämpötila. Vaikka poltettava kaasu ei olekaan tekemisissä itse jalostettavan aineen kanssa, tulisi kaasun olla mahdollisimman puhdasta. Noki, karsta ja mahdollinen terva lisäävät puhdistustöitä ja mahdollisia järjestelmän häiriöitä. Ennen kaikkea lämmitettävään kohteeseen muodostunut lika huonontaa lämmön siirtymistä rummun läpi lämmitettävään rikasteeseen. Suunnitelmien mukaan prosessi pysäytetään pienille huoltotöille kerran kuukaudessa ja kerran vuodessa varaudutaan suurempiin huolto-tehtäviin (2). Tämä asettaa kaasun puhtaudelle rajoitteita, jotta ylimääräisiä prosessin pysäytyksiä ei tarvittaisi ja toisaalta tarvittava lämmitysteho ei kasvaisi liikaa huonon lämmön siirtymisen takia.

Suunnitelmien mukaan kaasupolttimilla tuotettava lämpöteho olisi yhteensä kahdelle rumpuparille 3,6 MW. Selvityksessä puukaasulaitos mitoitetaan olettaen kokonaistehon tarve aluksi noin 5 MW:ksi. Puukaasulaitoksen säädettävyydestä riippuen laitoksella tuotetaan vain käyttöön tarvittava energiamäärä.

## 5.2 Hiilidioksidi

Litiumin jalostusprosessi tarvitsee hiilidioksidia noin 960 tonnia vuodessa. Hiilidioksidin lisääminen prosessiin tapahtuu lämmittämisen jälkeen. Näin savukaasut voidaan johtaa prosessiliuoksen läpi. Reagoidessaan prosessiliuos ottaa tarvittavan määrän hiilidioksidia savukaasusta. Ideaalitulanteessa kaasussa olisi yli 15 % hiilidioksidia, jolloin hiilidioksidia ei tarvitsisi tuoda muualta prosessiin. (2.) Mikäli savukaasujen hiilidioksidimäärä ei riitä täyttämään prosessin tarvetta, voidaan puuttuva hiilidioksidi ostaa laitoksen ulkopuolelta.

Esimerkiksi lähin hiilidioksidin valmistuslaitos on Kokkolassa, laitoksen omistaa Air Liquide Finland Oy. Kokkolasta hiilidioksidin toimitus paineistettuna jalostuslaitoksen painesäiliöön tapahtuisi kuorma-autokuljetuksella. Air Liquide Finland Oy:n mukaan hiilidioksidin keskimääräinen hinta olisi 150 €/t ilman toimituskustannuksia. (16.)

## 5.3 Ympäristölupa

Laitoksen energian tuottajaksi alustavasti suunnitellulle Lassila & Tikanoja Oyj:n rakentamalle biokaasulaitokselle on olemassa jo hyväksyty ympäristölupa. Suunnitelman mukaan biokaasulaitoksen tueksi rakennettaisiin termien kaasulaitos, jossa kaasutettaisiin muuhun hyötykäyttöön soveltumatonta palavaa puuperäistä jätettä. Näin ollen ympäristölupa kattaa myös pelkän puukaasulaitoksen. Ympäristöluvan mukaan laitoksessa saa vastaanottaa ja käsitellä puhdasta puuperäistä polttoainetta, kuten metsä- ja puuhaketta, puurua ja kuorta sekä muuta puhdasta biomassaa, jonka polttamiseen ei sovelleta jätteen polttamisesta annettua valtioneuvoston asetusta 362/2003. Kaasutetun raaka-aineen määrä saa olla yhteensä enintään noin 10 000 t vuodessa. (17, s. 35). Tuhkaa laitos saa tuottaa enintään 1 000 t vuodessa (17, s. 20).



## 6 LASKELMAT

### 6.1 Puukaasulaitos

Puukaasu pystyy vastaamaan laitoksen tarpeisiin hyvin. Merkittävin, mitoitukseenkin vaikuttava tekijä on puukaasun matala lämpöarvo. Matala lämpöarvo nostaa raaka-aineen tarvetta ja näin kasvattaa lopputuotteen hintaa suhteessa tuotettuun tehoon.

Puukaasun hyötylämpöarvo normaaliolosuhteissa, eli normaali paineessa ja lämpötilan ollessa 0°C, on 3,3...5,1 MJ/m<sup>3</sup>. Tarvittavan kaasumäärän laskemiseen käytetään arvoa 4,5 MJ/m<sup>3</sup>.

$$\dot{V} = \frac{\Phi}{H}$$

KAAVA 3

V = kaasun tilavuus [m<sup>3</sup>]

$\Phi$  = haluttu teho [MW]

H = lämpöarvo [MJ/m<sup>3</sup>]

Sijoittamalla arvot kaavaan 3 saadaan laskettua 5MW tuottamiseen tarvittavan puukaasun tilavuusvirta:

$$\dot{V} = \frac{5 \text{ MW}}{4,5 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}} = 1,11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

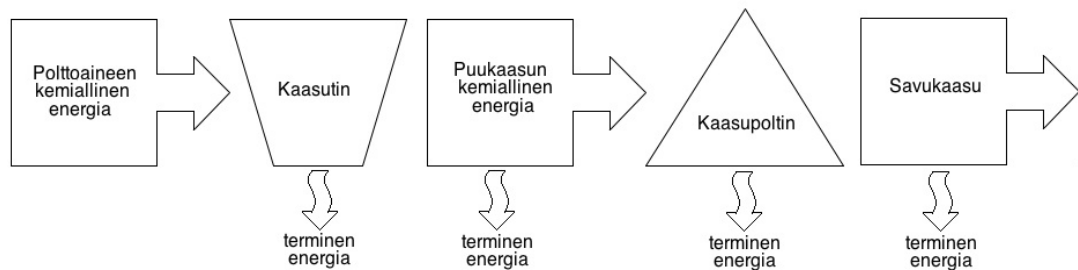
5 MWh:n energian tuottamiseksi tarvittava puukaasun tilavuusvirta on siis

$$\dot{V} = 1,11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3\,600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 4\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tarvittava kaasumäärä voitaisiin tuottaa esimerkiksi viidellä noin 1 MW puukaasuttimella. Mahdollisissa laiterikoissa tuotanto ei keskeytyisi kokonaan, kun vain rikkoutunut kaasutin jouduttaisiin ajamaan alas. Tällöin laitoksen

vaatimaan toimitusvarmuuteen pystyttäisiin vastaamaan hyvin. Tehontarpeen kasvaessa laitoksen skaalaaminen suuremmaksi olisi helppoa vain lisäämällä kaasuttimia tuotantoon.

Järjestelmän hyötysuhteen kannalta merkittävin kysymys on, mitä eri vaiheissa (kuva 9) syntyvällä ylimääräisellä termisellä energialla tehdään. Kaasutuksessa syntyvää lämpöä voidaan käyttää polttoaineen esikuivaukseen, polttoilman esilämmitykseen ja mahdollisesti tilojen lämmittämiseen. Puukaasun poltossa syntyvää hukkalämpöä savukaasujen jäähdyttämisestä voidaan käyttää laitoksen muihin lämmöntarpeisiin. Hyödyntämällä syntyvä termien energia tehokkaasti, voidaan laitoksen kannattavuutta parantaa. Samalla myös energian ympäristöystävällisyys korostuu entisestään. Kuitenkaan kaiken energian kierrättäminen ei taloudellisesti ole kannattavaa, eikä edes mahdollista. Järkevä termisen energian talteenotto tulee suhteuttaa investointikustannuksiin.



KUVA 9. Energian talteenotto

Myötävirtakaasuttimen keskimääräinen hyötysuhde on noin 95 %. Hyötysuhdetta laskevat vain lämpöhäviöt kaasuttimella. Lopusta energiasta 75 % menee kaasun kemialliseksi energiaksi ja 25 % kaasun lämmöksi. (18.)

Tarvittavan polttoaineen tilavuusvirta tunnissa saadaan jakamalla tarvittava haluttu energian määrä polttoaineen lämpöarvolla. Myötävirtakaasutuksen kuluttama hakemäärä voidaan siis arvioida kaavalla 4.

$$\dot{V} = \frac{E : \eta : x}{E_h}$$

KAAVA 4

$V$  = tarvittavan hakkeen tilavuusvirta [irto- $m^3$ ]

$E$  = haluttu energia [kWh]

$E_h$  = hakkeen lämpöarvo [kWh/irto- $m^3$ ]

$\eta$  = kaasuttimen hyötysuhde

$x$  = kaasun kemiallisen energian suhde.

Mäntyhakkeen lämpöarvon ollessa 810 kWh/irto- $m^3$  (19) voidaan kaavalla 4 laskea 5MWh:n energian tuottamiseen tunnissa tarvittava hakemäärä:

$$\dot{V} = \frac{5000 \text{ kWh} : 0,95 : 0,75}{810 \frac{\text{kWh}}{\text{irto-}m^3}} = 8,66 \text{ irto-}m^3$$

Vuorokaudessa tarvittava hakemäärä vastaa vajaata kahta täysperävaunu-rekkakuormaa haketta, täysperävaunurekan kuljettaman kostean hakkeen enimmäismäärän ollessa 110 irto- $m^3$  (20).

Vastaavasti männyn lämpöarvo on 4,15 kWh/kg (19), eli samaa kaavaa soveltaen 5MW:n energian tuottamiseen tunnissa tarvittavan hakemäärän massa:

$$m = \frac{5000 \text{ kWh} : 0,95 : 0,75}{4,15 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = 1690,97 \text{ kg}$$

$m$  = hakkeen massa [kg].

Laitoksen käyntiajan ollessa 8 160 tuntia vuodessa, vuoden raaka-ainetarve on noin 13 800 tonnia vuodessa.

$$1,691 \text{ t} \cdot 8160 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 13798 \frac{\text{t}}{\text{a}}$$

Ympäristöluvan asettama raja kaasutettavalle puupolttoaineelle biokaasulaitoksen tukena on 10 000 tonnia vuodessa, joten tässä kohdassa ympäristölupaan tulisi hakea muutosta.

Raaka-ainehakkeen kiinteät kaasuuntumattomat ainesosat jäävät tuhkaksi. Tätä tuhkaa on polttoaineen kuivamassasta noin 1 %. Lisäksi kaasutuksessa syntyvän jäännöshiilen osuus polttoaineen massasta noin 1 %. (18.) Kaasutettaessa vuodessa 13 798 t haketta syntyy siis noin 138 t tuhkaa ja saman verran jäännöshiiltä.

Ympäristölupa rajaa vuodessa syntyvän tuhkan määrän 1 000 tonniin vuodessa. Syntyvän tuhkan määrä ei siis ole rajoitteena ympäristöluvassa. Rajaus on kuitenkin tehty termisessä kaasutuslaitoksessa kaasutettavasta kierätyspuusta syntyvälle tuhalle. Ympäristöluvan mukaan tämä tuhka kuljetetaan kaatopaikalle. (17, s. 20.) Kaasutettaessa havupuuhaketta syntyvä tuhka on puhdasta tuhkaa, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi metsien lannoitteena.

Tuhkan mukana poistuva jäännöshiili voidaan polttaa sellaisenaan hiilikattilassa. Oulun yliopiston kemian laitoksen tekemien tutkimusten mukaan jäännöshiili on arvokasta aktiivihiihtä (18). Kaasutuksen sivutuotteen jalostaminen kaupalliseksi aktiivihieksi vaatii investointeja, mutta samalla se kasvattaisi energiamuodon kannattavuutta. Esimerkiksi kaasun valmistuksessa syntyvää termistä energiaa voitaisiin käyttää vesipesussa erotetun aktiivihieksen kuivaamiseen. Antti Pesola on diplomityössään alustavasti tutkinut GasEK:n kaasuttimessa sivutuotteena syntyvän jäännöshiilen liiketoimintamahdollisuuksia. (21, s. 53.)

Syntyvän jäännöshiilen suuresta määrästä johtuen aktiivihieksen jalostus samalla tontilla Keliber Oy:n litiumin jalostuslaitoksen kanssa voisi olla liiketoiminnallisesti kannattavaa. Mahdollista voisi olla myös muualla kaasutetun jäännöshiilen jalostaminen aktiivihieksi. Mahdollisuudet jalostaa aktiivihiihtä ja löytää sitä ostavia asiakkaita ovat siis selvittämisen arvoisia.

## **6.2 Sähköntuotanto**

Lisää selvitettävää tulee, mikäli puukaasulla päätetään tuottaa myös sähköä. Sähköä voidaan puukaasusta valmistaa mikroturbiineilla tai polttomootorilla

joka pyörittää generaattoria. Pienimuotoisimmillaan sähköntuotanto on, jos esimerkiksi 5 MW kaasutuslaitoksen kaasuttimet toimivat jatkuvasti täydellä teholla ja parhaalla hyötysuhteella. Jalostusprosessi ottaa tuotetusta kaasusta tarvitseman määrän ja loppu syntyvä puukaasu ohjataan sähköntuotantoon. Tämä olisi kaikkein kannattavin kaasuttimien säätötapa, koska ylimääräistä kaasua ei tarvitsisi hukata. Polttoaineen syöttö olisi myös vakio koko ajan ja järjestelmän toiminta tasainen.

Mikäli sähköntuotanto puukaasulla koetaan kannattavaksi, tulee selvittää järkevin muoto sähköntuotannolle. Jos kaasutinlaitosta skaalataan suuremmaksi sähköntuotantoa ajatellen, täytyy myös syntyvälle lämmölle olla käyttökohde tiedossa. Sähköntuotanto polttomoottorilla toimii vain noin 40 % hyötysuhteella, loppuenergia menee lämmöksi. Mikroturbiinilla hyötysuhde polttomoottorin kanssa samaa luokkaa, mikäli lämpöä ei hyödynnetä. Mikäli kaasuttimen kokoluokka kasvaa paljon, myös kaasutintyyppin vaihto leijukeroskaasuttimeen voi olla kannattavaa. Tällöin polttoaineena voidaan käyttää myös huonompilaatuista puuta.

Keskeisin ongelma sähköntuotannossa puukaasulla on kaasun epäpuhtaus. Kaasun terva ja noki aiheuttavat ongelmia moottorien toiminnassa. Jos tuotanto ei ole toimintavarmaa, ylimääräinen investointi sähköntuotantoon ei ole kannattavaa, ellei menetelmällä saavuteta merkittävää hyötyä.

### 6.3 Hiilidioksidi

Puukaasun palamisreaktio on esitetty jo aikaisemmin kaavassa 2. Laskettaessa palamiskaasun määriä käytetään puukaasun ainesuhteissa, jotka löytyvät taulukosta 2.

*TAULUKKO 2. Kaasun ominaisuudet*

Aine:	Moolimassa:	% / Nm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub>	2 g/mol	18 %

CO	28 g/mol	18 %
CO <sub>2</sub>	44 g/mol	15 %
CH <sub>4</sub>	16 g/mol	2 %
N <sub>2</sub>	28 g/mol	47 %

Oletetaan, että reaktioon on saatavilla riittävästi happea. Palamisessa noin tuhannen celsiusasteen lämpötilassa polttokaasussa olevat hiilidioksidi ja typpi eivät reagoi, vaan siirtyvät sellaisinaan savukaasuun. Palamisreaktio esitellään kaavassa 5.



Biokaasun tilavuudesta on 30...35 % hiilidioksidia ja sen lämpöarvo on yleisesti välillä 14,4...21,6 MJ/m<sup>3</sup> (6). Vastaavasti puukaasun hiilidioksidimäärä on noin puolet ja lämpöarvo vain noin kolmasosa biokaasun vastaavista arvoista. Tästä syystä kun puukaasulla tuotetaan sama energiamäärä, kuin biokaasulla, tarvitaan tilavuudeltaan neljä kertaa niin paljon puukaasua. Vastaavasti siis hiilidioksidia tuotetaan enemmän.

Esimerkiksi kun 5 MWh:n energian tuottamiseen biokaasulla tarvitaan 1 000 m<sup>3</sup> biokaasua, kun vastaava määrä puukaasua on 4 000 m<sup>3</sup>.

$$\dot{V} = \frac{5MW}{18 \frac{MJ}{m^3}} = 0,278 \frac{m^3}{s}$$

KAAVA 3

$$\dot{V} = 0,278 \frac{m^3}{s} \cdot 3600 \frac{s}{h} = 1000 \frac{m^3}{h}$$

Hiilidioksidia biokaasusun tilavuudesta on 30 % 1 000 m<sup>3</sup>:stä, eli 300 m<sup>3</sup>. Puukaasun tilavuudesta vastaavasti 15 % 4 000 m<sup>3</sup>:stä, eli 600 m<sup>3</sup>. Tunnissa tuotetun hiilidioksidin massa normaali paineessa ja lämpötilassa saadaan laskettua kaavalla 6.

$$m = \frac{V \cdot M}{V_m}$$

KAAVA 6

m = massa [g]

V = kaasun tilavuus [m<sup>3</sup>]

M = kaasun moolimassa [g/mol]

V<sub>m</sub> = moolitilavuus [22,4 dm<sup>3</sup>/mol]

Sijoittamalla arvot kaavaan 6 saadaan laskettua tunnissa tuotetun hiilidioksidin massa biokaasussa:

$$m = \frac{300m^3 \cdot 44 \frac{g}{mol}}{0,0224 \frac{m^3}{mol}} = 589285,71 g = 589,29 kg$$

Tunnissa tuotetun hiilidioksidin massa puukaasussa on

$$m = \frac{600m^3 \cdot 44 \frac{g}{mol}}{0,0224 \frac{m^3}{mol}} = 1178571,43 g = 1178,57 kg$$

Lasketut hiilidioksidimäärät ovat siis tuotekaasussa ennen polttamista. Polttamisen jälkeen hiilidioksidia on luonnollisesti vielä enemmän.

Kaavan 4 mukaan puukaasun hiilimonoksidi ja metaani muuttuvat reagoitessaan kokonaan hiilidioksidiksi. Näin ollen savukaasussa olevan hiilidioksidin määrä voidaan karkeasti laskea siten, että 35 % puukaasusta on palamisen jälkeen hiilidioksidia. Tunnissa poltetun savukaasussa olevan hiilidioksidin määrä normaali paineessa ja 0 °C lämpötilassa voidaan arvioida kaavalla 6.

$$m = \frac{4\,000\text{ m}^3 \cdot 35\% \cdot 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,0224 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}} = 2\,750\,000 \text{ g} = 2\,750 \text{ kg}$$

Mikäli kaikki hiilidioksidi saadaan otettua talteen, tuotettaessa puukaasulla 5 MWh lämpöenergiaa, syntyy 2 750 kg hiilidioksidia. Näin ollen laitoksen hiilidioksidin vuositarve 950 tonnia vuodessa, tulee tuotettua puukaasulla 15 vuorokaudessa.

Puukaasussa on siis enemmän hiilidioksidia suhteessa tuotettuun energiamäärään, kuin biokaasussa. Hiilidioksidin riittävyys ei siis ole rajoittavana tekijänä puukaasun soveltuvuudelle litiumin tuotantolaitokselle.

## 6.4 Kannattavuusarvio

Tilanne Kaustisella energiapuun tuotannossa on tällä hetkellä uutta laitosta ajatellen hyvä. Paikallinen lämpölaitos käyttää raaka-aineenaan vain turvetta, joten alueen energiapuut kuljetetaan Kokkolaan tai Pietarsaareen. Pitkillä kuljetusmatkoilla rahdin osuus energian hinnasta on merkittävä. Energiapuun ostajalle alueella on siis kysyntää. (22.)

Energiapuuta käytetään ensisijaisesti lämmöntuotantoon, joten puun käyttö sijoittuu ennen kaikkea talvelle. Tilastokeskuksen mukaan metsähakkeen keskihinta Suomessa 29.3.2011 oli 18,28 €/MWh. Hintaan sisältyy toimitus 50 kilometrin säteeltä. (23.) Puukaasun hinta saadaan laskettua kaavalla 7.

$$H = H_h : \eta : x$$

KAAVA 7



H = puukaasun hinta [€]

$H_h$  = hakkeen hinta [€/MWh]

$\eta$  = kaasuttimen hyötysuhde

x = kaasun kemiallisen energian suhde.

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan laskettua hinta puukaasun sisältämälle kemialliselle energialle.

$$H = 18,28 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} : 0,95 : 0,75 = 25,66 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

Huomioitavaa on, että yllä laskettu puukaasun hinta 25,66 €/MWh on hinta pelkälle kaasusta polttamalla aikaan saatavalle energialle. Mikäli puukaasun valmistuksessa syntyvää lämpöä voidaan käyttää hyödyksi, energian todellinen hinta jää laskettua pienemmäksi. Lisäksi hinnassa tulee huomioida säästöt, jotka syntyvät savukaasun sisältämän hiilidioksidin käytöstä prosessin myöhemmässä vaiheessa. Hinnassa ei ole huomioitu investointikustannuksia.

Keliber Oy:n toimitusjohtajan Ollé Sirenin 21.1.2010 tekemässä selvityksessä on vertailtu 4 MWh konversiolämmön tuottamista eri polttoaineilla. Selvityksen mukaan energian hinta biokaasulle on 23 €/MWh, propaanille 40,73 €/MWh ja nesteytetylle maakaasulle 54,20 €/MWh. Kaasumaisten polttoaineiden lisäksi selvityksessä on huomioitu sähkön 50,90 €/MWh ja raskaan polttoöljyn hinnat 47,20 €/MWh. Hinnoissa ei ole huomioitu mahdollisia investointikuluja, lisäksi voidaan olettaa energian hintojen nousseen vuoden takaisista tarjouspyynnöistä. (2.)

Puukaasu siis kilpailee edullisimman kaasumaisen polttoaineen paikasta biokaasun kanssa. Biokaasun hintaa on vaikea määrittää, koska sen tuotanto Suomessa on toistaiseksi hyvin vähäistä. Hinta kuitenkin seuraa kaasumaisen maakaasun hintaa. Maakaasun hinta putkistotoimituksena 29.3.2011 oli keskimäärin 29,74 €/MWh (23). Voidaan siis olettaa biokaasun hinnan olevan hyvin lähellä tätä hintaa ja siis myös lähellä puukaasun hintaa. Puukaa-

sun hinnan ollessa riippuvainen energiapuun paikallisesta hinnasta voisi olettaa puukaasun hintakehityksen olevan maltillisempaa kuin biokaasun.

Energiapuun myyjä voi saada tukea tietyin ehdoin puun myyntiin. Tukijärjestelmään on tulossa muutoksia vuoden 2012 alusta, jolloin pienenergiapuutuen piiriin hyväksyttävien kohteiden määrä todennäköisesti kasvaa. Selvitystä tehdessä mitään varmuutta ei kuitenkaan tulevista muutoksista vielä ollut. Todennäköistä silti on, että energiapuun tuotantoon tukea saadaan tulevaisuudessakin, mikä parantaa toiminnan kannattavuutta ja pitää energian hinnan kohdallaan. (22.)

Energiapuun ostaja, ei siis suoraan voi saada tukea kotimaisen energian käytöstä. Kuitenkin kotimaisten tai uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämistä edistäviin investointeihin voidaan hakea tukea elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselta. ELY-keskus voi myöntää enintään 300 000 €:n investointihankkeisiin korkeintaan 30 %:n suuruisen investointiavustuksen, joka tulee hakea ennen projektin aloittamista. (24).

Koska tarvittavan raaka-aineen määrä on suuri, ehkä järkevin tapa olisi raaka-aineen hankkiminen energiarankana. Laitokselle hankittu energiaranka, ja miksei myös muu hinnaltaan järkevä puu, voitaisiin hakettaa tehokkaasti järeällä hakkurilla ennen kaasutusta. Tällöin puun kuljetukset rankana voitaisiin hoitaa helpommin ja tehokkaammin kuin hakkeena. Luonnollisesti myös hankintahinta on edullisempi ilman haketusta.

Suuren energiapuumäärän jatkuvan toimituksen takaamiseksi voisi olla järkevää solmia sopimuksia yhden tai useamman energiapuun tai hakkeen hankintaketjun kanssa. Tällöin ostaminen keskitetysti helpottaisi raaka-aineen hankintaa. Tämän lisäksi pienet satunnaiset toimitukset alueen metsänomistajilta voisivat olla mahdollisia.

Polttoaineen hankinnassa tulee suunnitella tarkkaan ostettavan polttoaineen hinnoittelu. Useat energiapuuta ostavat laitokset hinnoittelevat ostettavan energiapuun tehollishintana, joka määräytyy puun massan ja kosteuden suh-

teen (22). Kaasutuslaitoksen tapauksessa hinnoittelun tulisi huomioida haluttu käyttökosteus ja mahdollisen hakkeen kuivaamisen vaikutus hintaan. Jos kaasutuksessa syntyvälle lämpöenergialle ei ole muuta käyttökohdetta, voisi olla järkevää käyttää hukkaenergia polttoaineen kuivaamiseen. Näin raaka-aine voitaisiin ostaa kosteampana ja siis myös edullisemmin.

Selvityksen tekohetkellä kuitenkin useissa uutisissa uutisoitiin energiapuun käytön lisääntymisestä ja hintatason noususta eripuolilla maata. Myös mahdolliset hallituksen tai Euroopan unionin tuet biopolttoaineille tai suoraan energiapuun käytölle saattavat lisätä energiapuun kuluttajia merkittävästi. Vaikka tilanne Kaustisella tällä hetkellä olisikin otollinen energiapuun hankinnan kannalta, energiapuun saatavuus myös tulevaisuudessa tulee olla taattu. Puun huono saatavuus tai korkea hinta voivat muodostua esteeksi vastata laitoksen jatkuvaan energian tarpeeseen.

## 7 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin puukaasulla tuotetun energian soveltuvuus litiumin tuotantoprosessille. Lisäksi selvitettiin puunkaasutusratkaisujen toimittajia sekä laskettiin puukaasuenergialle hinta ja verrattiin sitä muihin saatavilla oleviin kaasumaisiin polttoaineisiin.

Puukaasu on erittäin varteenotettava bioenergiamuoto, mutta sen soveltaminen teollisuuteen on toistaiseksi ollut vähäistä. Selvityksen mukaan puukaasu pystyy vastaamaan litiumin jalostusprosessin asettamiin vaatimuksiin. Verrattaen pienen tehontarpeen teollisuuslaitos pystyy tuottamaan tarvitsemansa lämpöenergian puukaasulla. Lisäksi prosessin tarvitsema hiilidioksidi voidaan ottaa puukaasun poltossa syntyvistä savukaasuista. Puukaasulla tuotetun energian hinta pystyy kilpailemaan hyvin muiden kohteeseen saatavilla olevien kaasumaisten polttoaineiden kanssa. Hinnan ollessa samaa luokkaa biokaasun hinnan kanssa muut tekijät vaikuttavat merkittävästi päätöksen tekoon. Ympäri vuorokautisen tuotannon tukemisessa toimitusvarmuus ja raaka-aineen saatavuus ovat merkittävässä asemassa.

Mitoituksen kannalta keskeisin kysymys on, halutaanko puukaasulla tuottaa myös sähköä. Jos puukaasulla tuotetaan myös sähköä, ratkaisumalli kokoluokan mukaan tulee määrittää tarkasti. Kuitenkin sähköntuotanto puukaasulla on kaasun epäpuhtauksien takia häiriöaltista, joten investoinnit sähköntuotantoon tulee suunnitella huolella. Pelkän lämmön tuottaminen puukaasulla pitää investoinnit yksinkertaisempina ja edullisempina.

Litiumin tuotanto on osa tulevaisuuden vähäpäästöistä teknologia-ajattelua. Vihreänä polttoaineena puukaasu soveltuu litiumintuotannon energianlähteeksi erittäin hyvin. Puukaasun tehtaalle antaman vihreän imagon lisäksi puukaasun raaka-aineen, energiapuun, ostaminen lisää lähialueen työllisyyttä. Kuitenkin energiapuun hintakehitys ja riittävyys tulevaisuudessa ovat merkittäviä epävarmuustekijöitä. Energiamuodon tulee tarjota keskeytymätön energiantuotanto litiumin jalostusprosessille.

## LÄHTEET

1. Keliber, Nordic Mining Group. Saatavissa: <http://www.keliber.no>. Hakupäivä 17.1.2011.
2. Sirén, Olle 2011. Keliber Oy. Toimitusjohtaja. Keskustelut 13.1.2010
3. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Helsinki: Edita.
4. Kaasutuksen teoriaa. Saatavissa: <http://www.ekomobiili.fi/Tekstit/teoriaa.htm>. Hakupäivä: 4.3.2011.
5. Raiko, Risto – Kurki-Suonio, Ilmari – Saastamoinen, Jaakko – Hupa, Mikko 2002. Poltto ja palaminen. 2. painos. Jyväskylä: Teknillistieteelliset akatemit.
6. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. 2009. Motiva Oy. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/biopolttoaineiden\\_lampoarvoja](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biopolttoaineiden_lampoarvoja). Hakupäivä: 4.3.2011.
7. Puupolttoaineet. 2009. Metsäkeskus. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/NR/exeres/DDB1741D-66E7-48D0-A43E-836FC652705C.htm>. Hakupäivä 7.2.2011.
8. Alakangas, Eija - Erkkilä, Ari – Oravainen, Heikki 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys. Polttopuun tuotanto ja käyttö. Jyväskylä: VTT.
9. GasEk Oy. Saatavissa: <http://www.gasek.fi>. Hakupäivä: 4.3.2011.
10. Leppälahti, Jukka – Kurkela, Esa 1986. Kotimaisten polttoaineiden kaasutus Osa 4. Pienlämpöarvoisen kaasun poltettavuus. Espoo: VTT.
11. Päällysaho, Jenni 2008. Biomassan kaasutusteknologiat. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta, Energiatekniikan osasto. Kandintyö.

[http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/42543/Bio\\_kaasutus.muok.pdf?sequence=1](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/42543/Bio_kaasutus.muok.pdf?sequence=1). Hakupäivä: 24.1.2011.

12. CCM-Power. Saatavissa: <http://www.ccm-power.fi>. Hakupäivä: 24.2.2011.

13. High-Value Gasification Solutions. Saatavissa: <http://www.fwc.com/publications/pdf/GasificationBrochure.pdf>. Hakupäivä: 4.3.2011.

14. Agnion. 2011. Saatavissa: <http://www.agnion-energy.eu>. Hakupäivä 4.3.2011.

15. Calciners. The A. J. Sackett & Sons Company. Saatavissa: <http://www.ajsackett.com/calciners.htm>. Hakupäivä 19.4.2011.

16. Sarasto, Seppo 2011. Air Liquide Finland Oy. RE: Hiilidioksidin hinta. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Jani Harju. 24.2.2011.

17. Lupapäätös, 37/2006/2. 2006. Lassila & Tikanoja Oyj:n Kaustisen Kala-veden biokaasulaitosta koskeva ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupahakemus. Helsinki: Länsi-Suomen ympäristölupavirasto.

18. Kantomaa, Juhani 2011. GasEK Oy. RE: Kaasun ja kaasuttimen ominaisuuksia. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Jani Harju. 28.2.2011.

19. Puu. Puulakeus. 2006. Saatavissa: <http://www.puulakeus.net/41.html>. Hakupäivä: 8.3.2011.

20. Metsä- ja kaukokuljetus. MetsäVerkko. Saatavissa: [http://virtuoosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun\\_korjuu/hankinta/index.htm](http://virtuoosi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuu/Energiapuun_korjuu/hankinta/index.htm). Hakupäivä 28.3.2011.

21. Pesola, Antti 2010. Sivutuoteteknologioiden liiketoimintapotentialin hyödyntäminen. Oulu: Oulun yliopisto, tuotantotalouden osasto. Diplomityö.

22. Nygård, Mikko 2011. Kaustisen metsänhoitoyhdistys. Toiminnanohjaaja. Puhelinkeskustelu: 11.3.2011.

23. Raaka-aineet, Taloussanomat 2011. Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/porssi/raaka-aineet/>. Hakupäivä 12.4.2011.

24. Energiapalvelut. TE-keskus. 2010. Saatavissa: <http://www.elykeskus.fi/fi/ELYkeskukset/pohjanmaaney/Yritystoimintateknologiajainnovaatiot/energiapalvelut/Sivut/default.aspx>. Hakupäivä 10.3.2011.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

## Tekijä

Jani Harju, 0400647135, t7haja00@students.oamk.fi

## Tilaaja

Keliber Oy

## Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot

Olle Sirén, 040-7789123, olle.siren@keliber.inet.fi

## Työn nimi

Selvitys puukaasusta energiavaihtoehtona

## Työn kuvaus

Keski-Pohjanmaalle sijoittuvan litiumkaivoksen käsittelylaitoksen tarvitsema energia on alustavasti suunniteltu hankittavaksi laitoksen läheisyyteen rakennettavasta biokaasulaitoksesta.

Opinnäytetyön tehtävänä on selvittää puukaasun mahdollista käyttöä vaihtoehtoisena tai tukevana energiaratkaisuna käsittelylaitokselle. Selvitys tapahtuu yhdessä Keliber Oy:n sekä puun kaasutuslaitteita valmistavan GasEK yrityksen kanssa.

Työssä on tarkoitus selvittää GasEK:n laitoksen tuottaman kaasun sopivuus tuotantoprosessille sekä vaihtoehtoisesti muiden mahdollisten puun kaasutusmenetelmien sopivuus ja kannattavuus.

## Työn tavoitteet

Selvittää puukaasun sopivuus litiumin tuotantoprosessille sekä määrittää puukaasulla tuotetun energian hinta.

## Tavoiteaikataulu

Opinnäytetyö on raporteineen valmis toukokuun 2011 loppuun mennessä.

## Päiväys ja allekirjoitukset

---

---

---